

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



TJAŠA ČIŽMAN

**KAZALNIKI KAKOVOSTI NOTRANJEGA ZRAKA IN
GOSPODARNOSTI REŠITEV PO EVROPSKEM
OKVIRU TRAJNOSTNE GRADNJE LEVEL(S) NA
PRIMERU PRENOVE VEČSTANOVANJSKE STAVBE V
LJUBLJANI**

DIPLOMSKA NALOGA

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2024

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

TJAŠA ČIŽMAN

**KAZALNIKI KAKOVOSTI NOTRANJEGA ZRAKA IN
GOSPODARNOSTI REŠITEV PO EVROPSKEM OKVIRU
TRAJNOSTNE GRADNJE LEVEL(S) NA PRIMERU PRENOVE
VEČSTANOVANJSKE STAVBE V LJUBLJANI**

Diplomska naloga št.:

**INDICATORS OF INDOOR AIR QUALITY AND COST-
EFFICIENT SOLUTIONS, ACCORDING TO THE EUROPEAN
FRAMEWORK FOR SUSTAINABLE BUILDINGS LEVEL(S)
ON THE CASE OF THE RENOVATION OF
MULTIAPARTMENT BUILDING IN LJUBLJANA**

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

izr. prof. dr. Mateja Dovjak

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

izr. prof. dr. Marjana Šijanec Zavrl

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

ZAHVALA

Najprej bi se zahvalila mentorici izr. prof. dr. Mateji Dovjak in somentorici izr. prof. dr. Marjani Šijanec Zavrl (GI ZRMK) za neizmerno strokovno pomoč in čas pri izdelavi in pisanju diplomske naloge.

Meritve smo izvedli v okviru programa LIFE IP CARE4CLIMATE, Akcija C4.4 Razvoj slovenskih kazalnikov trajnostne gradnje, kjer sodelujejo Gradbeni inštitut ZRMK, Zavod za gradbeništvo Slovenije in Ministrstvo za okolje in prostor. LIFE IP CARE4CLIMATE je integralni projekt, sofinanciran s sredstvi evropskega programa LIFE, sredstvi Sklada za podnebne spremembe in sredstvi partnerjev projekta.

Iskreno se zahvaljujem g. Antonu Jagodic, ki nam je odstopil svoj dom za meritve in ga. Nevi Jejčič s projekta LIFE IP CARE4CLIMATE za vso pomoč pri izdelavi diplomske naloge in izvedbi meritev.

Najlepša hvala Luciji Gyergyek, Lani Jeglič, Aleksandru Gajić, Žigi Hrovatin in vsem ostalim kolegom, ki so mi pomagali, da je na začetku skoraj nemogoč cilj danes dosežen.

Na koncu pa še zahvala moji družini in prijateljem za neprecenljivo podporo tekom študija in življenja.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	502.3:613.15:728.2(043.2)
Avtor:	Tjaša Čižman
Mentor:	izr. prof. dr. Mateja Dovjak
Somentor:	izr. prof. dr. Marjana Šijanec Zavrl
Naslov:	Kazalniki kakovosti notranjega zraka in gospodarnosti rešitev po evropskem okviru trajnostne gradnje Level(s) na primeru prenove večstanovanjske stavbe v Ljubljani
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univezitetni študij
Obseg in oprema:	63 str., 24 pregl., 36 sl., 54 virov
Ključne besede:	Level(s), trajnostna gradnja, kakovost notranjega zraka, prezračevanje, ogljikov dioksid, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka

Izvleček

Namen diplomske naloge je ovrednotiti kakovost notranjega zraka (IAQ) v prenovljeni večstanovanjski stavbi v Ljubljani po metodi Level(s), ki je enotni okvir za trajnostno vrednotenje stavb v njihovem življenjskem ciklu in temelji na zakonodaji EU. Za potrebe raziskave smo se osredotočili na kazalnik 4.1. Kakovost notranjega zraka, s katerim smo preverili lastnosti stavbe po vselitvi (raven 3). Raziskava je razdeljena na pet sklopov: 1. preučitev okvira Level(s) (zakonodajno osnovo in prenos v prakso); 2. preučitev kazalnika 4.1. Kakovost notranjega zraka; 3. določitev metodologije za potrebe vrednotenja IAQ; 4. izvedba meritev izbranih parametrov IAQ na ravni 3 in ovrednotenje razreda IAQ; 5. nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka. Meritve koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) (od 1. 9. do 17. 10. 2023) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) ter temperature zraka (T_a) (od 1. 9. do 24. 9. 2023) smo izvedli v treh različnih prostorih stanovanja: spalnica - S, dnevna soba - DS in kuhinja - K. Skladno z metodologijo Level(s) in SIST EN 16798-1:2019 smo določili trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so notranje razmere dosegle kategorijo kakovosti notranjega okolja (I – IV). Ugotovili smo, da obstoječe prezračevanje ne zagotavlja razmer I kategorije v celotnem trajanju meritev. Največja odstopanja od priporočenih vrednosti I kategorije se pojavijo pri RH_a (kategorija I: 40-60 %), kjer so izmerjene vrednosti nad priporočenimi v S 72 % opazovanega obdobja, v DS 75 % in v K 76 %. Pri C_{CO_2} je bil najbolj problematičen prostor S, kjer so izmerjene vrednosti odstopale od priporočenih (kategorija I: < 800 ppm) v 34 % opazovanega obdobja. T_a odstopa od priporočenih vrednosti (kategorija I: 23,5-25,5 °C) še posebej v K, kjer 63 % opazovanega obdobja presega priporočene vrednosti. Obravnavano stanovanje ima vgrajeno tudi mehansko prezračevanje, zato smo preverili, kako na C_{CO_2} vplivajo trije različni scenariji prezračevanja: 1. mehansko prezračevanje deluje z običajno jakostjo; 2. mehansko prezračevanje ne deluje; 3. mehansko prezračevanje deluje z višjo jakostjo. Pri 1. scenariju je bila C_{CO_2} od 451 ppm do 1542 ppm (povprečje 831 ppm); pri 2. scenariju od 452 ppm do 1009 ppm (povprečje 742 ppm, ni bilo prisotnih stanovalcev) in pri 3. scenariju od 433 ppm do 1609 ppm (povprečje 731 ppm). V zaključku raziskave smo predlagali ukrepe za optimizacijo prezračevalne strategije za stanovanje.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	502.3:613.15:728.2(043.2)
Author:	Tjaša Čižman
Supervisor:	Assos. Prof. Mateja Dovjak, Ph. D.
Co-supervisor:	Assos. Prof. Marjana Šijanec Zavrl, Ph. D.
Title:	Indicators of indoor air quality and cost-efficient solutions, according to the European framework for sustainable buildings Level(s) on the case of the renovation of multi-family building in Ljubljana
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	63 p., 24 tab., 36 fig., 54 ref.
Keywords:	Level(s), indoor air quality, sustainable construction, ventilation, carbon dioxide, indoor air temperature, indoor relative humidity

Abstract

The purpose of the thesis is to evaluate the indoor air quality (IAQ) in a renovated multi-family building in Ljubljana using the Level(s) method, a unified framework for the sustainable assessment of buildings throughout their lifecycle, based on EU legislation. For the research, we focused on the indicator 4.1. Indoor Air Quality with which we assessed the building's properties after occupancy (level 3). The study is divided into five sections: 1. examination of Level(s) framework; 2. study of indicator 4.1. Indoor Air Quality; 3. establishment of a methodology for evaluating IAQ; 4. execution of measurements of selected IAQ parameters (level 3) and assessment of IAQ category; 5. a set of measures to improve IAQ. Measurements of CO₂ concentrations (C_{CO_2}) (from September 1st to October 17th, 2023), relative humidity (RH_a) and air temperature (T_a) (from September 1st to September 24th, 2023) were performed in three different rooms within the apartment: bedroom (S), living room (DS) and kitchen (K). Following the Level(s) methodology and SIST EN 16798-1:2019, we determined the duration of measurements (h) and the percentage of the observation period (%) during which indoor conditions met the indoor environmental quality categories (I – IV). The existing ventilation system did not consistently achieve category I conditions throughout the measurement period. The most significant deviations from recommended values for category I occurred in RH_a (category I: 40-60 %), where measured values exceeded recommendations in S for 72 % of the observed period, DS for 75 % and K for 76 %. Regarding C_{CO_2} , the most problematic space was S, with measured values deviating from the recommended values (category I: < 800 ppm) for 34 % of the measurement period. Regarding T_a , the most significant deviations from recommended values (category I: 23.5-25.5 °C) were observed in K, where 63 % of the observed period exceeded recommended values. The apartment also had a mechanical ventilation system installed, so we examined how C_{CO_2} was affected by three different ventilation scenarios: 1. normal intensity of mechanical ventilation; 2. mechanical ventilation not operating; 3. higher intensity of mechanical ventilation. In scenario 1, C_{CO_2} ranged from 451 ppm to 1542 ppm (average 831 ppm); in scenario 2, it ranged from 452 ppm to 1009 ppm (average 742 ppm, with no occupants present), and in scenario 3, it ranged from 433 ppm to 1609 ppm (average 731 ppm). In conclusion, we proposed measures to optimize the ventilation strategy for the apartment.

KAZALO VSEBINE

POPRAVKI – ERRATA	I
ZAHVALA	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS	XIII
1 UVOD.....	1
2 METODE DELA	4
2.1 Gradbenotehnični opis obravnavane stavbe in prostorov	4
2.2 Opis in postopek meritev	8
2.2.1 Merilna oprema	8
2.2.2 Merilna mesta.....	10
2.3 Urnik prezračevanja	13
3 REZULTATI IN DISKUSIJA	15
3.1 Okvir Level(s), zakonodajna osnova in prenos v prakso	15
3.1.1 Šest makrociljev	16
3.1.2 Kazalniki trajnostne gradnje okvira Level(s)	16
3.1.3 Uporaba okvira Level(s)	17
3.2 Opis kazalnika 4.1. Kakovost notranjega zraka in pristopi za nadaljnjo presojo.....	19
3.2.1 Parametri, ki jih merimo s kazalnikom	20
3.2.2 Uporaba kazalnika.....	20
3.2.3 Raven 1: Idejna zasnova projekta.....	21
3.2.4 Raven 2: Podrobno načrtovanje in gradnja stavbe	24
3.2.5 Raven 3: Lastnosti zgrajene stavbe in stavbe v uporabi.....	32
3.3 Priporočila na področju kakovosti notranjega okolja	36
3.4 Rezultati meritev izbranih parametrov IAQ in vrednotenje razreda kakovosti notranjega zraka	37
3.4.1 Rezultati kontinuiranih meritev temperature zunanjega zraka (T_{out}) in relativne vlažnosti zunanjega zraka (RH_{out}).....	37
3.4.2 Rezultati kontinuiranih meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici	37
3.4.3 Rezultati kontinuiranih meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v dnevni sobi	41
3.4.4 Rezultati kontinuiranih meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji	45
3.4.5 Odvisnost posameznih parametrov kakovosti notranjega okolja in vpliv prezračevanja na primeru meritev v spalnici za dan 10. 9.	49
3.4.6 Koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v odvisnosti od scenarija prezračevanja.....	51
3.4.7 Koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v odvisnosti od temperature zunanjega zraka (T_{out})	52
3.5 Nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka.....	55

4

ZAKLJUČEK

57

VIRI.....

58

KAZALO SLIK

Slika 1: Pogled JZ – pred prenovo (povzeto po Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.).....	5
Slika 2: Pogled SV- pred prenovo (povzeto po Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.).....	5
Slika 3: Tloris nadstropja obravnavane stavbe (povzeto po Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.).....	7
Slika 4: Tloris obravnavanega stanovanja. Z zeleno sta označena preboja na fasadi za dovod/odvod zraka za prezračevalni sistem.....	8
Slika 5: Merilnik HOBO MX CO ₂ Logger (MX1102) (HOBO, 2015).....	9
Slika 6: Merilnik Tinytag Ultra 2 – TGU-4500 (Gemini Data Loggers, 2019).....	9
Slika 7: Merilnik Tinytag CO ₂ - TDE-0010 (Gemini Data Logger, 2017).....	10
Slika 8: Položaj merilnika C _{CO2} št. 3 in merilnika T _a in RH _a št. 20 v kuhinji	10
Slika 9: Položaj merilnika C _{CO2} št. 2 ob kavču in merilnika T _a in RH _a št. 17 na stopnicah pograda v dnevni sobi.....	11
Slika 10: Položaj merilnika C _{CO2} št. 1, merilnika T _a in RH _a št. 19 ter HOBO merilnika na omari v spalnici	11
Slika 11: Položaj merilnika T _{out} in RH _{out} št. 16 na okenski polici.....	12
Slika 12: Položaji merilnikov na tlorisu stanovanja (oranžna - Tinytag Ultra 2 (T _a , RH _a); modra - Tinytag CO ₂ ; zelena - HOBO)	12
Slika 13: Primer dnevnika prezračevanja za spalnico	14
Slika 14: Interaktivni zemljevid Evrope, ki prikazuje evropski indeks kakovosti zraka posamezne lokacije (EEA, 2017)	28
Slika 15: Časovna poteka temperature zunanjega zraka (T _{out}) in relativne vlažnosti zunanjega zraka (RH _{out}) v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	37
Slika 16: Časovni potek koncentracij CO ₂ (C _{CO2}) v zraku spalnice v obdobju od 1. septembra do 17. oktobra 2023	38
Slika 17: Časovni potek temperature zraka (T _a) v spalnici za obdobje od 1. septembra do 21. septembra 2023	39
Slika 18: Časovni potek koncentracij relativne vlažnosti zraka (RH _a) v spalnici v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	40

Slika 19: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	41
Slika 20: Časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v zraku dnevne sobe v obdobju od 1. septembra do 17. oktobra 2023.....	42
Slika 21: Časovni potek temperature zraka (T_a) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023	43
Slika 22: Časovni potek koncentracij relativne vlažnosti zraka (RH_a) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023	44
Slika 23: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_{out}) v dnevni sobi v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	45
Slika 24: Časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v zraku kuhinje v obdobju od 1. septembra do 17. oktobra 2023.....	46
Slika 25: Časovni potek temperature zraka (T_a) v kuhinji za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023.....	46
Slika 26: Časovni potek koncentracij relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	47
Slika 27: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in koncentracije relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	48
Slika 28: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici dne 10. septembra 2023	49
Slika 29: Časovna poteka relativne vlažnosti zraka (RH_a) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici dne 10. septembra 2023	50
Slika 30: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici dne 10. septembra 2023	50
Slika 31: Časovni potek koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici pri običajni stopnji delovanja mehanskega prezračevanja v obdobju od 8. oktobra do 10. oktobra 2023	51
Slika 32: Časovni potek koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici pri izklopljenem mehanskem prezračevanju v obdobju od 3. oktobra do 5. oktobra 2023	52
Slika 33: Časovni potek koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici pri višji stopnji delovanja mehanskega prezračevanja v obdobju od 25. septembra do 27. septembra 2023	52
Slika 34: Časovni potek temperature zunanjega zraka (T_{out}) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	53
Slika 35: Časovni potek temperature zunanjega zraka (T_{out}) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v dnevni sobi v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	53
Slika 36: Časovni potek temperature zunanjega zraka (T_{out}) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v kuhinji v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023	54

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Konstrukcijski sklop zunanje stene (prenovljeno).....	6
Preglednica 2: Scenarij mehanskega prezračevanja	13
Preglednica 3: Pregled makrociljev in njihovih ustreznih kazalnikov (Dodd in sod., 2021b)	17
Preglednica 4: Parametri kazalnika 4.1. Kakovost notranjega zraka (Dodd in sod., 2021a).....	20
Preglednica 5: Določitev pretokov za prezračevanje stanovanjskih stavb (iz Tabele B11 standarda SIST EN 16798-1:2019).....	25
Preglednica 6: Primerjava največjih dovoljenih vrednosti v RS in novih priporočenih vrednosti WHO (Uredba o nacionalnih zgornjih mejah emisij onesnaževal zunanjega zraka, Uradni list RS, št. 48/18 s spr.; WHO, 2021)	27
Preglednica 7: Priporočene in zakonsko zahtevane mejne vrednosti delcev PM _{2.5} in PM ₁₀ ter benzena v zunanjem zraku (Direktiva 2008/50/ES, WHO, 2006).....	28
Preglednica 8: Kategorije kakovosti dovedenega zraka (SUP), zahteve kakovosti notranjega zraka (IAQ) glede na zunanji zrak, primeri uporabe kategorije (Eurovent Recommendation 4/23, 2018)	29
Preglednica 9: Kriteriji za oceno tveganja za plesen (Dodd in sod., 2021a)	31
Preglednica 10: Excel preglednica za poročanje kazalnika 4.1. za raven 3.....	34
Preglednica 11: Izsek Tabele B.5 iz standarda SIST EN 16798-1:2019. Prikaz temperaturnih razponov za štiri kategorije kakovosti notranjega okolja v stanovanjskih stavbah in bivalnih prostorih	36
Preglednica 12: Tabela B.12 iz standarda SIST EN 16798-1:2019 prikazuje načrtovane koncentracije CO ₂ v zasedenih bivalnih prostorih in spalnicah.....	36
Preglednica 13: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na C _{CO2} po standardu SIST EN 16798-1:2019	38
Preglednica 14: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na T _a po standardu SIST EN 16798-1:2019	39
Preglednica 15: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na RH _a po standardu SIST EN 16798-1:2019	40
Preglednica 16: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na C _{CO2} po standardu SIST EN 16798-1:2019	42
Preglednica 17: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na T _a po standardu SIST EN 16798-1:2019	43

Preglednica 18: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na RH_a po standardu SIST EN 16798-1:2019	44
Preglednica 19: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na C_{CO_2} po standardu SIST EN 16798-1:2019	46
Preglednica 20: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na T_a po standardu SIST EN 16798-1:2019	47
Preglednica 21: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na RH_a po standardu SIST EN 16798-1:2019	47
Preglednica 22: Minimalna, maksimalna in povprečna koncentracija ter standardna deviacija izmerjenih parametrov T_a , RH_a in C_{CO_2}	48
Preglednica 23: Scenarij mehanskega prezračevanja v spalnici.....	51
Preglednica 24: Pogoji za ustrezno kakovost notranjega okolja glede C_{CO_2} , T_a in RH_a ter delež v opazovanem obdobju (izraženo v %), ko je pogoj ustreznosti dosežen in ko ni dosežen	55

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

IAQ	Kvaliteta notranjega zraka (angl. <i>indoor air quality</i>)
EU	Evropska unija
ODA	Kakovost zraka na prostem (angl. <i>outdoor air classification</i>)
SUP	Ciljna kakovost dovodnega zraka (angl. <i>supply air classification</i>)
VOC	Hlapne organske spojine (HOS, angl. <i>volatile organic compounds</i>)
CO ₂	Ogljikov dioksid
C _{CO2}	Koncentracija ogljikovega dioksida
ppm	Število delcev na milijon (angl. <i>parts per million</i>)
RH _a	Relativna vlažnost zraka
T _a	Temperatura zraka
PM	Trdni delec (angl. <i>Particulate matter</i>)

1 UVOD

Koncept trajnostnega razvoja je vpeljan v vse sektorje družbe, vključno v gradbeništvo. Predstavlja enega ključnih elementov pri doseganju ciljev globalnega prizadevanja za ohranjanje okolja in izboljšanje kakovosti življenja prebivalcev. Stavbe v svojem življenjskem ciklu proizvedejo kar 36 % emisij CO₂, porabijo 50 % vseh naravnih materialov in 40 % energije ter ustvarijo več kot 30 % vseh odpadkov (European Commission, 2022). Z uvajanjem trajnostnega razvoja v gradbeništvo bi lahko v Sloveniji zmanjšali rabo energije med 24 % do 50 %, znižali emisije CO₂ med 33 % in 39 % in zmanjšali porabo vode za 40 %, na področju Evrope pa so lahko ti rezultati še obetavnejši (Košenina, 2017).

Trajnostna gradnja prihodnosti pomeni gradnjo in razvoj okolju prijaznih, socialno odgovornih in ekonomsko vzdržnih infrastruktur ter bivalnih in delovnih prostorov za ljudi. Cilj trajnostne gradnje je ustvariti okolje, ki zadovoljuje potrebe sedanjih generacij, ne da bi ogrozilo možnosti za prihodnje generacije. Trajnostna raba naravnih virov je ena od bistvenih vidikov trajnostne gradnje in jo navaja tudi Uredba 305/2011, ki pravi: »Gradbeni objekti morajo biti načrtovani, grajeni in zrušeni tako, da je raba naravnih virov trajnostna in da se zagotovi predvsem naslednje: (a) ponovna uporaba ali možnost recikliranja gradbenih objektov, gradbenega materiala in delov po zrušenju; (b) trajnost gradbenih objektov; (c) uporabo okoljsko združljivih surovin in sekundarnih materialov v gradbenih objektih.«. Zahteva je prenesena v nacionalno zakonodajo, Gradbeni zakon (Ur. l. RS, št. 199/2021 s spr.). Trajnostna gradnja je postala globalni trend, ki je razširila pogled s faze uporabe stavb na njihov celoten življenjski cikel (Šijanec-Zavrl s sod., 2021), in je s tem postala tudi temeljni steber prihodnosti gradbenega sektorja pri načrtovanju in izvajanju gradbenih projektov. Pomembneje tudi v luči Evropskega zelenega dogovora (European Commission, 2024), Novega evropskega Bauhausa (European Union, 2024) in ciljev za trajnostni razvoj Agende 2030 (Republika Slovenija, 2015).

Prva vpeljava konceptov trajnostne gradnje se pojavi pri načrtovanju tradicionalnih stavb, kjer so se vgrajevali lokalno dostopni naravni materiali - v Sloveniji kamen, zemlja in les. V 19. stoletju je nastopila industrijska revolucija in razvoj modernizma v arhitekturi. Gradbeni sektor je doživel hitro rast in tehnološki napredek, vendar so se s tem povečale tudi okoljske težave, kot so podnebne spremembe, onesnaževanje, izčrpavanje naravnih virov in povečana raba energije. To je pripeljalo do razprav in pobud o trajnostni gradnji kot ključnem načinu za reševanje globalnih težav. Kot pravi začetek trajnostne gradnje v svetu lahko štejemo začetek 20. stoletja, ko so se pojavili prvi poskusi vpeljave trajnostnih pristopov v gradnjo. Deležniki graditve so zagovarjali uporabo naravnih materialov, pasivnih sončnih sistemov in boljše izolacije za izboljšanje energetske učinkovitosti stavb. V 80. letih so se začele oblikovati prve smernice za trajnostno gradnjo. Ena najpomembnejših prelomnic v razvoju tega koncepta je bila uvedba sistema LEED (angl. *Leadership in Energy and Environmental Design*) leta 1993 v Združenih državah Amerike. LEED je postal prvi mednarodno priznan sistem za ocenjevanje trajnosti stavb. Kasneje so se pojavili še drugi sistemi za certificiranje, kot so BREEAM (angl. *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), Green Star, DGNB (nem. *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*), HQE (fr. *The Haute Qualité Environnementale*) idr.. Ti certifikacijski sistemi so prinesli standardizirane smernice in kriterije ocenjevanja trajnosti stavb ter spodbudili širjenje trajnostne gradnje po vsem svetu. V Evropi se največ uporablja sistem DGNB, ki je nemški celovit sistem za certificiranje trajnosti stavb in mednarodno priznana metoda ocenjevanja

okoljskih, socialnih in ekonomskih vidikov trajnosti gradbenih projektov. Temelji na nemških zakonskih zahtevah in usmeritvah, zato je aplikacija v procesu graditve stavb pri nas otežena. V letu 2017 je inštitucija JRC (angl. *Joint Research Centre*) izdelala enotni evropski okvir za trajnostno vrednotenje stavb Level(s) (European Commission, 2017). Level(s) temelji na evropskem zakonskem okvirju ter omogoča rabo v vseh državah Evropske unije. Level(s) bomo uporabljali tudi v naši raziskavi. V Sloveniji se pod okriljem projekta LIFE IP CARE4CLIMATE (2019-2026) razvija nacionalna prilagoditev kazalnikov trajnostne gradnje evropskega okvira Level(s) (GI ZRMK, ZAG, 2020). Merila za trajnostno gradnjo stavb v Sloveniji in pilotne primere njihove uporabe v sodelovanju z Ministrstvom za okolje, podnebje in energijo (MOPE) in Ministrstvom za naravne vire in prostor (MNVP) pripravljata Gradbeni inštitut ZRMK (GI ZRMK) in Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG) (Šijanec-Zavrl s sod., 2023).

Okvir Level(s) vključuje kazalnike in merila za vrednotenje trajnostne učinkovitosti stavb v njihovem življenjskem ciklu. Pokriva tri tematike: 1. okoljska učinkovitost in raba virov; 2. zdravje in ugodje uporabnika; 3. stroški življenjskega cikla in vrednost stavbe ter ocena tveganj (Šijanec-Zavrl, 2021). V okviru tematike zdravja in ugodja se ocenjuje kakovost notranjega zraka, toplotno ugodje, razsvetljava in vizualno ugodje ter akustika in zaščita pred hrupom.

Za potrebe diplomske naloge se bomo osredotočili na kakovost notranjega zraka, ki jo bomo predstavili v okviru vrednotenja trajnostne učinkovitosti stavb Level(s). Na problematiko slabe kakovosti notranjega zraka v stanovanjskih in nestanovanjskih stavbah so nas opozorile številne raziskave (Dovjak s sod., 2021; Dovjak s sod., 2022; Azara s sod., 2018; Carrer s sod., 2015). Avtorji ugotavljajo, da se enostranski ukrepi dosega visoke energetske učinkovitosti stavbe in spregledano učinkovito prezračevanje, odrazi v slabi kakovosti zraka. Povprečen Evropejec v zaprtih prostorih preživi več kot 90 % svojega časa (WHO, 2014), predvidevamo pa, da se bo v prihodnosti ta delež še povečal. Tako smo v notranjem okolju izpostavljeni številnim dejavnikom tveganj za zdravje, kar ima lahko negativen vpliv na zdravje (Dovjak in Kuček, 2019).

Namen diplomske naloge je ovrednotiti kakovost notranjega zraka v prenovljeni večstanovanjski stavbi v Ljubljani po metodi Level(s). Naloga je razdeljena na pet sklopov. V prvem sklopu bomo preučili okvir Level(s) in sicer zakonodajno osnovo in prenos v prakso. V drugem sklopu bomo preučili kazalnik 4.1. Kakovost notranjega zraka in definirali pristope za nadaljnjo presojo. V tretjem sklopu bomo določili metodologijo za potrebe vrednotenja kakovosti notranjega zraka pri prenovi večstanovanjske stavbe. V fazi uporabe prenovljene večstanovanjske stavbe v Ljubljani bomo izvedli meritve izbranih parametrov kakovosti notranjega zraka (angl. *indoor air quality* - IAQ) in ovrednotiti razred kakovosti notranjega zraka (četrti sklop). V petem sklopu bomo na osnovi ugotovitev predhodnih korakov pripravili nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka.

Pri izdelavi diplomske naloge smo si določili naslednje cilje:

1. preučiti okvir Level(s) in sicer zakonodajno osnovo in prenos v prakso;
2. preučiti kazalnik 4.1. Kakovost notranjega zraka in definirati pristope za nadaljnjo presojo;
3. določiti metodologijo za potrebe vrednotenja kakovosti notranjega zraka pri prenovi večstanovanjske stavbe;

4. v fazi uporabe prenovljene večstanovanjske stavbe v Ljubljani izvesti meritve izbranih parametrov IAQ in ovrednotiti razred kakovosti notranjega zraka;
5. nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka.

2 METODE DELA

Za potrebe diplomske naloge smo izvedli pregled obstoječih shem za vrednotenje trajnosti stavb, kjer smo bili pozorni na obseg metode, vidike ocenjevanja trajnosti in vrednotenja. Preučili smo naslednje sheme:

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method),
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design),
- DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen),
- Active house,
- Green Star,
- Green Building Standard,
- HQE (The Haute Qualité Environnementale)
- Level(s).

V nadaljevanju naloge smo se osredotočili na shemo Level(s), saj spodbuja celovit pristop k trajnostni gradnji in pomaga pri doseganju ciljev Evropske unije za zmanjšanje ogljičnega odtisa in izboljšanje trajnosti stavb. Za potrebe vrednotenja kakovosti notranjega zraka smo za študijo primera izbrali prenovljeno večstanovanjsko stavbo. Kazalnik 4.1. smo uporabili v fazi, ko je bila stavba že v uporabi (raven 3), s čimer smo preverjali dejanske lastnosti notranjega zraka. Kazalnike trajnostne gradnje lahko sicer uporabljamo pri idejnem načrtovanju stavbe (raven 1), ob podrobnem načrtovanju in gradnji (raven 2) in ko je stavba v uporabi (raven 3). Različne ravni kazalnika bodo predstavljene v nadaljevanju.

2.1 Gradbenotehnični opis obravnavane stavbe in prostorov

Stavba (klasifikacija po Uredbi o razvrščanju objektov Ur. l. RS, št. 96/22: 11220 Tri- in večstanovanjske stavbe), ki je predmet obravnave, se nahaja na naslovu Einspielerjeva cesta 25 v Ljubljani. Večstanovanjska stavba je bila zgrajena leta 1922. Sestavljajo jo klet, pritličje, 1. nadstropje in mansarda.

Nosilna konstrukcija je iz nosilnih opečnih zidov, masivnega stropa v kombinaciji jeklenih nosilcev in opečnih obokov nad kletjo ter lesenih stropov v nadstropjih. Streha je klasična lesena dvokapnica s frčadami in izrezi za terase. Kritina je opečni zareznik. Okna imajo dvoslojno zasteklitev in lesen okvir. Okna, ki še niso bila predhodno zamenjana, so bila pri prenovi zamenjana z troslojno zasteklitvijo z lesenimi ali PVC okvirjem ($U_g \leq 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_w \leq 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Stavba spada pod registrirano nepremično dediščino Ljubljane, saj ima določene arhitekturno – likovne značilnosti. Skladno s kulturnovarstvenimi pogoji Zavoda za varstvo kulturne dediščine (ZVKDS) OE Ljubljana (št. 35102-0335/2014-24) je potrebno te značilnosti na fasadi dosledno ohraniti oziroma jih ponoviti pri prenovi. Usmeritve je potrebno upoštevati tudi pri namestitvi zunanjih enot klimatskih naprav, prezračevalnih sistemov, ter ostalih posegov v stavbo in zunanjo ureditev (Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, 2021).

Sliki 1 in 2 predstavljata zunanji pogled na stavbo pred prenovo z JZ in SV smeri.



Slika 1: Pogled JZ – pred prenovo (povzeto po Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.)



Slika 2: Pogled SV- pred prenovo (povzeto po Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.)

Energetska prenova stavbe (leta 2022) je vključevala dodatno toplotno zaščito vseh fasadnih sten in stropov v kleti proti ogrevanim prostorom. Toplotno se je izoliral pas podstrešja od kapnega roba strehe do sten stanovanj v mansardi in podstrehe nad mansardnimi stanovanji. Toplotna zaščita sten proti stanovanjem se je izvedlo tudi na neogrevanih stopniščih. Namestile so se zunanje klimatske naprave in prezračevalni sistem.

Zunanje fasadne stene so se z zunanje strani izolirale s toplotno izolacijo EPS v debelini 10 cm. Požarni pas v višini stropnih plošč oziroma nad odprtinami je izoliran z mineralno volno (ognjevarni razred A1) – višina 40 cm. Enako je izolirana tudi južna fasada do višine 2 m, zaradi parkirišča tik ob stavbi. V preglednici 1 je prikazan konstrukcijski sklop prenovljene zunanje stene in debeline slojev.

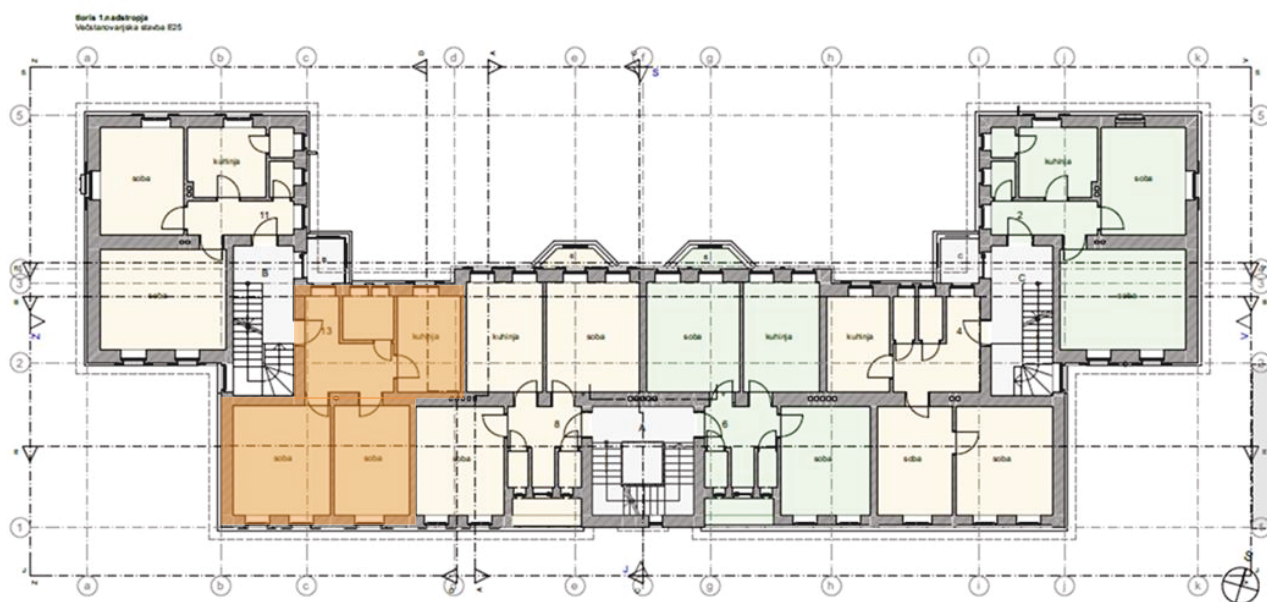
Preglednica 1: Konstrukcijski sklop zunanje stene (prenovljeno)

Sloj	Popis materialov	Debelina [cm]
Fasadni omet	Tankoslojni omet 1,0 cm: Izravnalni nosilni podložni sloj na mrežici	1,0
Toplotna izolacija	EPS 10,0 cm nalepljen na obstoječo fasadno steno	10,0
Obstoječi nosilni zid	Opečni zid 38 cm + 2,5 cm notranji omet + 2,5 cm zunanji omet	43,0

Staro stavbno pohištvo je zamenjano z novim v enakem izgledu. Na fasadah so se izvedle odprtine za dovod in odvod zraka (vgrajena PVC cev Ø15cm, neto Ø12,5cm) za centralni sistem prezračevanja v stanovanju. Vgradilo se je centralno prezračevalno napravo z rekuperacijo zraka (Lunos) za vsako stanovanje posebej, zaradi procesa vračanja toplote v stavbo, zmanjšanja rabe energije in posredno emisij CO₂ v okolje (Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, 2021).

V obravnavanem stanovanju sta vgrajena dva lokalna rekuperativna ventilatorja Lunos tip e2 (v spalnici in dnevni sobi) ter dva ventilatorja za odvod zraka iz kuhinje in kopalnice (z odvodom speljanim na streho). Prezračevalni sistem Lunos ima nastavljive stopnje delovanja (nastavljive volumnske pretoke), ki se nanašajo na volumen zraka, ki ga zagotovi sistem v časovni enoti [m³/h]. Rekuperativni ventilator Lunos e2 ima dve stopnji prezračevanja. Pri običajni stopnji delovanja je volumen zraka 15 m³/h, v našem primeru, ker imamo dva ventilatorja, znaša volumen zraka 30 m³/h; pri višji stopnji delovanja pa 30 m³/h, v primeru dveh ventilatorjev torej 60 m³/h. V zimskem času se stopnja delovanja samodejno regulira glede na relativno vlažnost zraka v prostoru (ko preseže vrednost 50 % se pretok zraka poveča) (Lunos Slovenija, 2010).

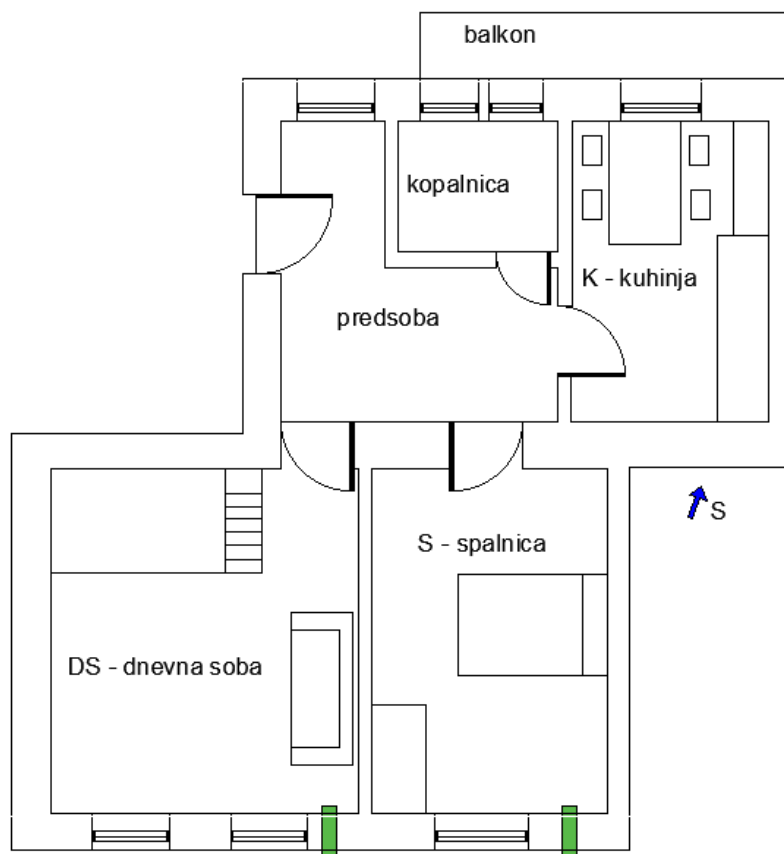
Na sliki 3 je prikazan tloris 1. nadstropja obravnavane stavbe. Z oranžno je označeno stanovanje, ki je predmet naše študije (stanovanje št. 13).



Slika 3: Tloris nadstropja obravnavane stavbe (povzeto po Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.)

Stanovanje, ki smo ga obravnavali v naši študiji je stanovanje št. 13, ki se nahaja v 1. nadstropju. Stanovanje sestavlja predprostor, kopalnica, kuhinja, dnevna soba in spalnica. V stanovanju živita dve osebi. Proti jugu sta orientirani dnevna soba in spalnica. V teh prostorih je tudi vgrajen Lunos prezračevalni sistem (v vsakem prostoru je en preboj). Severno sta orientirani kuhinja in kopalnica in sta brez prezračevalnega sistema.

Slika 4 prikazuje tloris obravnavanega stanovanja (št. 13).



Slika 4: Tloris obravnavanega stanovanja. Z zeleno sta označena preboja na fasadi za dovod/odvod zraka za prezračevalni sistem

V naši študiji smo obravnavali naslednje prostore: kuhinja (K), spalnica (S) in dnevna soba (DS).

2.2 Opis in postopek meritev

Za potrebe raziskovalne naloge smo v treh prostorih stanovanja (K-kuhinja, S-spalnica, DS-dnevna soba) izvedli kontinuirane meritve koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) [ppm], relativne vlažnosti (RH_a) [%] in temperature zraka (T_a) [°C]. Istočasno smo merili tudi relativno vlažnost (RH_{out}) [%] in temperaturo zraka (T_{out}) [°C] v zunanjem okolju. V nadaljevanju prikazujemo merilno opremo in merilna mesta.

2.2.1 Merilna oprema

Za meritve smo uporabljali tri merilnike (slika 5-7): 1) merilnik HOBO MX CO_2 Logger (MX1102) kontinuirno meri C_{CO_2} , T_a in RH_a ; 2) merilnik Tinytag Ultra 2 - TGU-4500 kontinuirno meri T_a in RH_a ; 3) merilnik Tinytag CO_2 – TGE-0010 kontinuirno meri C_{CO_2} .

Merilnik HOBO MX CO_2 Logger (MX1102) deluje po principu NDIR (angl. *Non-Dispersive Infra-Red*), ki je standardizirana metoda za merjenje koncentracij CO_2 . Merilno območje je od 0 do 5000 ppm, natančnost pri 25 °C, relativni vlažnosti zraka < 70 % ter tlaku 1013 hPa je ± 50 ppm oz. ± 5 %. Ob zagonu smo merilnik kalibrirali in določili nadmorsko višino, 300 m n.m.v. Časovni korak smo nastavili

na eno minuto. Merilnik deluje na baterije, z aplikacijo HOBOWare prenesemo rezultate meritev in jih shranimo v Excel datoteki (HOBO, 2015).

Tinytag Ultra 2 TGU-4500 je merilnik temperature in relativne vlažnosti zraka. Razpon temperature je med $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, razpon relativne vlažnosti pa med 0 % in 95 %. Natančnost pri $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ je $\pm 3,0\text{ \% RH}$. Časovni korak smo nastavili na dve minuti. Merilnik deluje na baterije, za prenos podatkov meritev potrebujemo programsko opremo Tinytag Explorer (Gemini Data Loggers, 2019).

Merilnik Tinytag CO₂ – TGE-0010 deluje po standardizirani metodi NDIR za merjenje koncentracij CO₂. Merilnik ima razpon od 0 do 2000 ppm, natančnost pri $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in tlaku 1013 hPa je $\pm 50\text{ ppm}$ oz. $\pm 2\text{ \%}$. Časovni korak smo nastavili na dve minuti. Merilnik deluje na baterije. Običajno se uporablja za spremljanje koncentracij CO₂ v šolah in na delovnih mestih, kjer koncentracija nad 1500 ppm pomeni previsoka raven CO₂ (po navedbi proizvajalca). Za izpis rezultatov meritev potrebujemo programsko opremo Tinytag Explorer (Gemini Data Loggers, 2017).



Slika 5: Merilnik HOBO MX CO₂ Logger (MX1102) (HOBO, 2015)



Slika 6: Merilnik Tinytag Ultra 2 – TGU-4500 (Gemini Data Loggers, 2019)

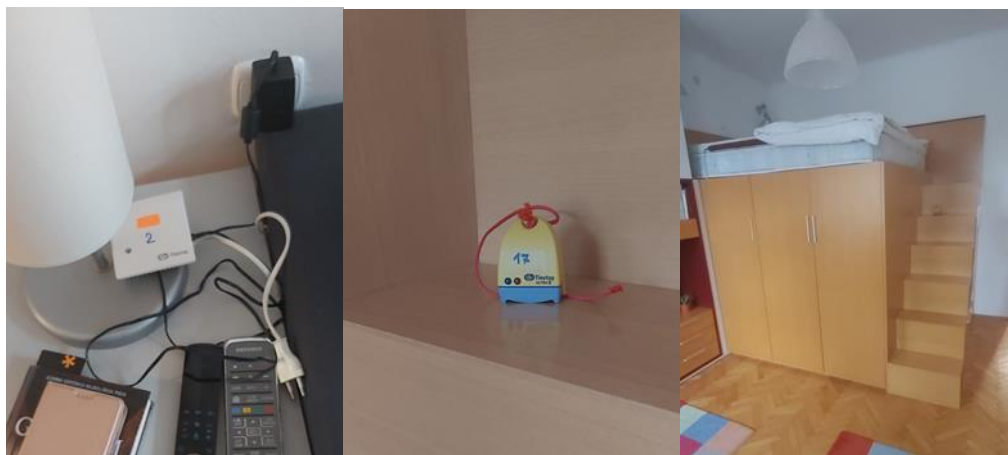
Slika 7: Merilnik Tinytag CO₂ - TDE-0010 (Gemini Data Logger, 2017)

2.2.2 Merilna mesta

Meritve smo izvajali v treh različnih prostorih, ki so največ uporabljeni s strani stanovalcev: kuhinja, dnevna soba in spalnica. V kuhinji smo merili C_{CO_2} z merilnikom Tinytag CO₂ (št. 3) in z merilnikom Tinytag Ultra 2 (št. 20) T_a in RH_a . Merilnike smo postavili v bivalno cono skladno s Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Ur. l. RS, št. 42/02). V kuhinji smo merilnike postavili na omarico (slika 8).

Slika 8: Položaj merilnika C_{CO_2} št. 3 in merilnika T_a in RH_a št. 20 v kuhinji

Dnevna soba je bivša otroška soba. C_{CO_2} smo merili z merilnikom Tinytag CO₂ (št. 2) na mizici ob kavču (slika 9), T_a in RH_a pa z Tinytag Ultra 2 (št. 17) na stopnicah, ki vodijo do dvignjenega ležišča (pograda) (slika 9).



Slika 9: Položaj merilnika C_{CO_2} št. 2 ob kavču in merilnika T_a in RH_a št. 17 na stopnicah pograda v dnevni sobi

V spalnici smo merili C_{CO_2} z merilnikom Tinytag CO_2 (št. 1) in T_a ter RH_a z Tinytag Ultra 2 (št. 19). Poleg tega smo merili tudi z merilnikom HOBO, ki hkrati meri C_{CO_2} , T_a in RH_a . Vsi merilniki so bili nameščeni na omarici, ki je prikazana na sliki 10.



Slika 10: Položaj merilnika C_{CO_2} št. 1, merilnika T_a in RH_a št. 19 ter HOBO merilnika na omari v spalnici

Z merilnikom Tinytag Ultra 2 (št. 16) smo na okenski polici merili tudi T_{out} in RH_{out} (slika 11). Okno je orientirano proti severu.



Slika 11: Položaj merilnika T_{out} in RH_{out} št. 16 na okenski polici

Na tlorisu stanovanja na sliki 12 so prikazani vsi merilniki in njihova pozicija. Z oranžno barvo so označeni merilniki T_a in RH_a Tinytag Ultra 2, z modro merilniki C_{CO_2} Tinytag CO₂ – TDE-0010, z zeleno barvo pa merilnik HOBO MX CO₂ Logger. V dnevni sobi (DS) se nahajata dva merilnika (Tinytag Ultra 2 št. 17 in Tinytag CO₂ št. 2), v spalnici (S) trije (Tinytag Ultra 2 št. 19, Tinytag CO₂ št. 1 in HOBO), v kuhinji (K) dva (Tinytag Ultra 2 št. 20 in Tinytag CO₂ št. 3) in eden na balkonu (Tinytag Ultra 2 št. 16).



Slika 12: Položaji merilnikov na tlorisu stanovanja (oranžna - Tinytag Ultra 2 (T_a , RH_a); modra - Tinytag CO₂; zelena - HOBO)

2.3 Urnik prezračevanja

Stanovanje, ki je bilo obravnavano v študiji, se prezračuje z naravnim in mehanskim prezračevanjem (hibridni način). Pri tem naravno prezračevanje pomeni »prezračevanje, pri katerem se izkoriščajo naravne fizikalne lastnosti zraka pri različnih temperaturah v prostih in zunaj njih, brez uporabe mehanskih naprav«, mehansko prezračevanje pa »prezračevanje, pri katerem se zamenjava odtočnega zraka z zunanjim doseže z mehansko napravo...« (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/02). Hibridno prezračevanje je »prezračevanje, pri katerem se hkrati uporabljata naravno in mehansko prezračevanje« (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/02).

Stanovanje ima vgrajen mehanski prezračevalni sistem Lunos v dnevni sobi in spalnici. V okviru diplomske naloge smo želeli preveriti kakovost notranjega zraka po prenovi pri različnih načinih uporabe sistema vgrajenega mehanskega prezračevanja, zato smo predvideli 3 različne scenarije prezračevanja (preglednica 2):

1. mehansko prezračevanje deluje z običajno stopnjo delovanja,
2. mehansko prezračevanje je izklopljeno,
3. mehansko prezračevanje deluje z višjo stopnjo delovanja od običajne.

Stopnja delovanja oz. jakost prezračevalnega sistema se nanaša na volumen zraka, ki ga zagotovi sistem v časovni enoti [m^3/h]. Rekuperativni ventilator Lunos e2 ima dve stopnji prezračevanja. Pri običajni stopnji delovanja je volumski pretok zraka $15 \text{ m}^3/\text{h}$, v našem primeru, ker imamo dva ventilatorja, znaša volumski pretok zraka $30 \text{ m}^3/\text{h}$; pri višji stopnji delovanja pa $30 \text{ m}^3/\text{h}$, v našem primeru $60 \text{ m}^3/\text{h}$ (Lunos Slovenija, 2010).

Preglednica 2 prikazuje obdobja uporabe različnih scenarijev mehanskega prezračevanja v dnevni sobi in spalnici. Vse ostale dni merjenja je bilo mehansko prezračevanje vklopljeno z običajno stopnjo delovanja.

Preglednica 2: Scenarij mehanskega prezračevanja

Datum	
Ponedeljek, 25. september 2023	Mehansko prezračevanje je delovalo z VIŠJO STOPNJO delovanja od običajne
Torek, 26. september 2023	
Sreda, 27. september 2023	
Ponedeljek, 2. oktober 2023	Mehansko prezračevanje je bilo IZKLOPLJENO
Torek, 3. oktober 2023	
Sreda, 4. oktober 2023	
Četrtek, 5. oktober 2023	
Petek, 6. oktober 2023	

Naravno prezračevanje z odpiranjem oken je bilo dovoljeno ves čas (v kombinaciji z mehanskim pomeni hibriden način). To smo spremljali s pomočjo dnevnika prezračevanja, ki ga je vodil uporabnik stanovanja. Pri tem je za vsak dan vpisoval kdaj so bila okna odprta, ali je bilo odprto celotno okno ali samo na kip ter število oken, ki so bila odprta. Vodili smo evidenco števila uporabnikov v prostoru ter aktivnost, ki se je izvajala v prostoru (npr. kuhanje, kosilo ...).

Primer dnevnika prezračevanja za spalnico je prikazan na sliki 13.

Datum	Ura	čas prezračevanja (od-do)	Število odprtih oken	Način odprtja okna (kip-K / v celoti-C)	Število uporabnikov v prostoru	Aktivnost uporabnika (prihod, odhod, telovadba, kuhanje, čiščenje,...), trajanje
ponedeljek, 28. avgust 2023		6:15-6:30	1	C	1	zračenje
torek, 29. avgust 2023		05:20-5:30	1	C	1	zračenje
sreda, 30. avgust 2023		6:45-7:10	1	C	1	zračenje
četrtek, 31. avgust 2023		5:20-6:00	1	C	1	zračenje
petek, 01. september 2023		7:00-8:25	1	C	1	zračenje
sobota, 02. september 2023		7:30-9:00	1	C	0	zračenje
sobota, 02. september 2023		22:30-23:00	1	C	0	zračenje
nedelja, 03. september 2023		8:45-9:30	1	C	0	zračenje
nedelja, 03. september 2023		18:45-19:00	1	C	0	zračenje
ponedeljek, 04. september 2023		05:30-6:05	1	C	1	zračenje
torek, 05. september 2023		6:10-6:45	1	C	1	zračenje
sreda, 06. september 2023		6:15-6:30	1	C	1	zračenje
četrtek, 07. september 2023		6:20-6:50	1	C	1	zračenje
petek, 08. september 2023		05:25-6:20	1	C	1	zračenje
sobota, 09. september 2023		8:25-9:00	1	C	0	zračenje
sobota, 09. september 2023		20:00-21:30	1	K	0	zračenje
nedelja, 10. september 2023		8:30-9:15	1	C	0	zračenje
nedelja, 10. september 2023		18:30-19:00	1	C	0	zračenje
ponedeljek, 11. september 2023		05:30-6:05	1	C	1	zračenje
torek, 12. september 2023		6:10-6:45	1	C	1	zračenje
sreda, 13. september 2023		6:15-6:30	1	C	1	zračenje
četrtek, 14. september 2023		6:20-6:50	1	C	1	zračenje
petek, 15. september 2023		05:25-6:20	1	C	0	zračenje
sobota, 16. september 2023		8:15-9:00	1	C	0	zračenje
sobota, 16. september 2023		21:00-21:30	1	C	0	zračenje
nedelja, 17. september 2023		8:30-9:00	1	C	0	zračenje
nedelja, 17. september 2023		16:30-17:30	1	K	1	zračenje
nedelja, 17. september 2023		20:30-20:40	1	C	1	zračenje

Slika 13: Primer dnevnika prezračevanja za spalnico

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Poglavje rezultati in diskusija je razdeljeno na 5 sklopov. V prvem sklopu bomo predstavili splošne značilnosti okvira Level(s), v drugem se osredotočimo na kazalnik 4.1. Kakovost notranjega zraka in kako ga apliciramo na različnih nivojih načrtovanja. V tretjem sklopu so predstavljena priporočila glede kakovostnega notranjega okolja po standardu SIST EN 16798-1:2019. V četrtem sklopu so prikazani rezultati meritev C_{CO_2} , T_a in RH_a v prostorih obravnavanega stanovanja in ovrednoten razred kakovosti notranjega zraka. Na koncu pa je predstavljen še nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti notranjega zraka (peti sklop).

3.1 Okvir Level(s), zakonodajna osnova in prenos v prakso

Level(s) je iniciativa Evropske komisije uvedena za spodbujanje trajnosti stavb in infrastrukture v Evropi. Je okvir ključnih kazalnikov trajnosti za stavbe, ki spodbuja celovit pristop k trajnostni gradnji in pomaga pri doseganju ciljev EU za zmanjšanje ogljičnega odtisa in izboljšanje trajnosti stavb, upoštevajoč obstoječe standarde. Sistem Level(s) ne podeljuje formalnih certifikatov ali ocen trajnosti stavb, ampak je namenjen zgolj kot orodje za boljše načrtovanje, gradnjo in upravljanje stavb z manjšim vplivom na okolje.

Okvir Level(s) zagotavlja sklop kazalnikov in skupna merila za merjenje trajnostne učinkovitosti stavb v njihovem življenjskem ciklu, pri čemer se ocenjujejo naslednji vidiki:

- okoljska učinkovitost,
- zdravje in udobje,
- stroški in vrednotenje v življenjskem ciklu ter
- morebitna tveganja za prihodnjo učinkovitost stavbe (Dodd in sod., 2021b).

Glavni vidik tematike zdravja in udobja, ki je osrednja tema diplomske naloge, je zdrav in udoben prostor, pri katerem se ocenjuje kakovost notranjega zraka, časovno trajanje izven območja toplotnega ugodja, razsvetljava in vizualno ugodje ter akustika in zaščita pred hrupom.

Posamezni kazalniki Level(s) so zasnovani z namenom obravnave vplivov stavbe na trajnostne prioritete na evropski ravni. Tako se lahko uporabnik metode pri načrtovanju in gradnji osredotoči na obvladljiv nabor konceptov in kazalnikov, s katerimi stavba prispeva k dosegu okoljskih ciljev EU in držav članic.

Pri trajnostni prenovi stavbe je potrebno izvesti prvi korak - celovita raziskava gradnje prvotne stavbe. Pri tem je dobrodošlo vključiti tudi mnenje in izkušnje stanovalcev. Ta korak je ključnega pomena za izboljšanje učinkovitosti, saj je treba vsako prenovo prilagoditi obstoječim zakonskim pogojem in tehničnim značilnostim stavbe, pričakovanim vzorcem zasedenosti in njeni lokalni umestitvi. Okvir Level(s) ponuja navodila, kako obravnavati šest makrociljev z vidika prenove, katere se smiselno prilagodi stavbi.

3.1.1 Šest makrociljev

Trajnostni okvir Level(s) temelji na šestih makrociljih, ki opisujejo strateške prednostne naloge za prispevek stavb k ciljem politike Evropske unije in držav članic:

- makrocilj 1: Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v celotnem življenjskem ciklu;
- makrocilj 2: Optimiziranje zasnove, inženirskega načrtovanja in oblikovnih značilnosti stavbe z namenom učinkovite rabe energije in življenjskega cikla materialov;
- makrocilj 3: Učinkovita raba vodnih virov;
- makrocilj 4: Oblikovanje prostorov in stavb, ki so udobne, in podpirajo zdravje in storilnost uporabnikov;
- makrocilj 5: Prilagajanje stavb predvidenim prihodnjim podnebnim spremembam in odpornost proti njim z namenom zaščititi zdravje in udobje uporabnikov;
- makrocilj 6: Optimiziranje stroškov in vrednosti stavb v življenjskem ciklu (Dodd in sod., 2021b).

V diplomski nalogi se bomo osredotočili na makrocilj 4: Zdravi in udobni prostori, ki poudarja ukrepe na ravni stavb za obvladovanje kritičnih vidikov kakovosti notranjega okolja:

- kakovost notranjega zraka za določene parametre in onesnaževala,
- stopnjo toplotnega udobja v povprečnem letu,
- kakovost umetne in naravne svetlobe ter povezanega vizualnega udobja in
- zmožnost gradbenih materialov in sklopov za doseg zadostne zvočne zaščite stavbe pred notranjimi in zunanjimi viri hrupa (Dodd in sod., 2021b).

3.1.2 Kazalniki trajnostne gradnje okvira Level(s)

Okvir Level(s) je zasnovan tako, da omogoča prilagodljivost pri izbiri in prilagajanju kazalnikov glede na specifične cilje in potrebe gradbenih projektov. Kazalniki trajnostne gradnje so bili razviti, zato da omogočajo merjenje učinkovitosti posameznega gradbenega projekta za posamezen makrocilj. Vsak kazalnik se ocenjuje s kvalitativnimi in kvantitativnimi kriteriji.

V spodnji preglednici 3 je predstavljenih vseh 16 kazalnikov okvira Level(s).

Preglednica 3: Pregled makrociljev in njihovih ustreznih kazalnikov (Dodd in sod., 2021b)

Makrocilj	Kazalnik
1. Emisije toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v življenjskem ciklu stavb	1.1. Energijska učinkovitost v fazi uporabe
	1.2. Potencial globalnega segrevanja v življenjskem ciklu
2. Učinkovita raba virov in krožnost v življenjskih ciklikih materialov	2.1. Popis količin, materialov in življenjskih dob
	2.2. Odpadki in materiali pri gradnji in rušenju
	2.3. Zasnova za prilagodljivost in prenovo
	2.4. Zasnova za razgradnjo, ponovno uporabo in recikliranje
3. Učinkovita raba vodnih virov	3.1. Poraba vode v fazi uporabe
4. Zdravi in udobni prostori	4.1. Kakovost notranjega zraka
	4.2. Časovno trajanje izven območja toplotnega udobja
	4.3. Razsvetljava in vizualno udobje
	4.4. Akustika in zaščita pred hrupom
5. Prilagajanje podnebnim spremembam in odpornost proti njim	5.1. Zaščita zdravja in toplotno udobje stanovalcev ali uporabnikov
	5.2. Povečano tveganje ekstremnih vremenskih dogodkov
	5.3. Povečano tveganje poplavnih dogodkov
6. Optimizirani stroški in vrednosti v življenjskem ciklu	6.1. Stroški v življenjskem ciklu
	6.2. Ustvarjanje vrednosti in izpostavljenost tveganju

3.1.3 Uporaba okvira Level(s)

Metodologija okvira Level(s) sledi dejanskim fazam graditve stavb in vključuje tri ravni uporabe kazalnikov trajnostne gradnje, ki obsegajo: 1. začetni koncept stavbe do načrtovanja; 2. podrobno načrtovanje in gradnja in 3. uporabo stavbe. Ravni omogočajo izbiro zahtevnosti poročanja o trajnosti projekta, skladno z razvojem projekta. Ravni, ki sledijo fazam izvedbe gradbenega projekta so:

- Raven 1: Idejna zasnova za gradbeni projekt – najpreprostejša raven, saj vključuje zgodnje kvalitativne ocene/podlage za idejno zasnovo in poročanje o konceptih, ki so bili uporabljeni ali naj bi bili uporabljeni.
- Raven 2: Učinkovitost podrobne zasnove in gradnje stavbe – vmesna raven, saj vključuje kvantitativno oceno načrtovane učinkovitosti in spremljanje gradnje v skladu s standardiziranimi enotami in metodami.
- Raven 3: Učinkovitost zgrajene stavbe in stavbe v uporabi, kako učinkovita je stavba po dokončanju in predaji stranki – najnaprednejša raven, saj vključuje spremljanje in raziskovanje dejavnosti na gradbišču ter v dokončani stavbi in njenih prvih stanovalcev ali uporabnikov.

Napredovanje po ravneh pomeni višjo zahtevnostno stopnjo metodologije, in tudi večjo natančnost in zanesljivost trajnostnega vrednotenja – višja kot je raven, bolj natančno nam bodo sporočeni rezultati zagotovili podatke, ki odražajo učinkovitost stavbe, ko je zgrajena in se uporablja.

3.2 Opis kazalnika 4.1. Kakovost notranjega zraka in pristopi za nadaljnjo presojo

Pri diplomski nalogi smo se osredotočili na četrti makrocilj okvira Level(s), Zdravi in udobni prostori in sicer na kazalnik 4.1. Kakovost notranjega zraka.

Kazalnik 4.1 naslavlja raven kakovosti zraka v stavbah in obvladovanje različnih onesnaževal notranjega zraka. Njegov glavni cilj je s tehničnimi sredstvi in vgrajenimi gradbenimi proizvodi - materiali, elementi in strojnimi elementi ter sistemi v stavbah zagotoviti kakovosten zrak, ki ne predstavlja tveganja za uporabnikovo zdravje (Dodd in sod., 2021a). Zato je potrebno obravnavano stavbo analizirati, pri čemer je ključno zagotoviti, da ima stavba zadostno in kakovostno izmenjavo zraka z zunanostjo, da zagotavlja kakovosten stavbni ovoj (brez toplotnih mostov in z zadovoljivo tesnostjo) in da z gradbenimi in finalnimi proizvodi v notranjost ne sproščajo zdravju škodljive snovi.

Vpliv kakovosti zraka v zaprtih prostorih na zdravje ljudi (IAQ) je odvisen od številnih spremenljivk, ki so tesno povezane z ravnmi onesnaževal (npr. CO₂, prah, hlapne organske spojine (angl. *volatile organic compounds* - VOC) itd.) in mikroklimatskimi razmerami (npr. vlažnost in temperatura zraka). Posledično je cilj tega kazalnika zagotoviti pristop k zagotavljanju ustreznega IAQ z obravnavanjem številnih različnih vidikov delovanja, in sicer:

- nadzor vira onesnaževal iz notranje opreme, gradbenih proizvodov,
- prezračevalna strategija za nadzor izmenjave zraka, CO₂ in vlažnosti,
- nadzor delovanja prezračevalnega sistema in ravni onesnaževal v stavbi,
- specifikacija filtra na dovodu zunanjega zraka,
- ocene tveganj za radon in rast ter razvoj plesni,
- anketa stanovalcev o kakovosti notranjih razmer v prostorih.

Osrednji cilj prezračevalne strategije je zagotoviti stanovalcem učinkovit režim prezračevanja, ki zajema filtriranje škodljivih zunanjih onesnaževal in zagotavljanje optimalne stopnje izmenjave zraka za preprečevanje visokih koncentracij CO₂, vlage in onesnaževal, ki izvirajo iz gradbenih materialov ali dejavnosti v prostorih. Pri tem moramo biti pozorni tudi na vgradnjo in uporabo primernih materialov, ki nimajo visokih izpustov emisij (ukrep na viru emisij - izbira nizkoemisijskega materiala).

Pozornost je treba nameniti tudi primerni vlažnosti v prostorih, saj prekomerno visoka vlažnost v prostoru (> 90 %) poveča intenzivnost fiziološkega vpliva vročih ali nizkih temperatur zraka ter omogoča rast in razvoj plesni, medtem ko lahko prenizka vlažnost (< 20 %) povzroči draženje oči, nosu in grla. Slab nadzor vlažnosti zunanjega zraka ali območij kuhinje in kopalnice lahko ustvarijo idealne pogoje za rast plesni, kar lahko posledično povzroči poslabšanje zdravja dihal ali alergij.

3.2.1 Parametri, ki jih merimo s kazalnikom

Parametri, ki jih lahko merimo s kazalnikom 4.1., so prikazani v preglednici 4. Delimo jih na parametre, ki se nanašajo na kakovost zraka v prostoru (parametri prezračevanja) in na onesnaževala (zunanj in notranji viri).

Preglednica 4: Parametri kazalnika 4.1. Kakovost notranjega zraka (Dodd in sod., 2021a)

4.1.1. Kakovost zraka v notranjih prostorih		4.1.2. Onesnaževala			
		Zunanji viri		Notranji viri	
Parameter	Enota	Parameter	Enota	Parameter	Enota
Stopnja prezračevanja (pretok zraka)	l/s/m ²	Skupni VOC	µg/m ³	Benzen	µg/m ³
Koncentracija CO ₂	ppm	CMR VOC*	µg/m ³	Radon	µg/m ³
Relativna vlažnost zraka	%	Vrednost R	decim. razmerje	Trdni delci < 2,5 µm	µg/m ³
Anketa uporabnikov	/	Formaldehid	µg/m ³	Trdni delci < 10 µm	µg/m ³

*CMR VOC označuje hlapne organske spojine razvrščene kot rakotvorne, mutagene ali strupene za razmnoževanje v skladu z Uredbo (ES) št. 1272/2008

3.2.2 Uporaba kazalnika

Kazalnik kakovosti notranjega zraka se uporablja na različnih nivojih projektiranja stavb:

- Idejno načrtovanje:
 - zasnova stavbnega ovoja in prezračevalnih sistemov za doseganje ciljne stopnje prezračevanja,
 - nadzor potencialnih virov vlage z zasnovo prezračevanja,
 - pregled stavb, ki jih je potrebno prenoviti, da bi ugotovili morebitne težave z zvezi z vlago in plesnijo,
 - projektne rešitve za identificirana področja toplotnih mostov in poškodb zaradi vlage v prenovljenih stavbah,
 - nadzor izvora izbranih onesnaževal z izbiro gradbenih proizvodov-materialov glede na testirane emisije.
- Podrobno projektiranje in gradnje:
 - preverjanje ustreznosti vgrajenih materialov in sistemov v primerjavi z načrtovanim.
- Preverjanje lastnosti zgrajene stavbe (pred uporabo):
 - meritve koncentracij onesnaževal notranjega zraka pred uporabo stavbe,
 - testiranje prezračevalnih sistemov in njihove ustreznosti glede na lokacijo.
- Preverjanje lastnosti stavbe med uporabo:
 - meritve koncentracij onesnaževal notranjega zraka med uporabo stavbe,
 - meritve nivoja CO₂ in relativne vlažnosti (Dodd in sod., 2021a).

V diplomski nalogi bomo kazalnik 4.1. uporabili pri preverjanju trajnostnih lastnosti stavbe med uporabo (raven 3). Iz nabora parametrov, ki jih lahko spremljamo v okviru kazalnika trajnostne gradnje 4.1., lahko za primer obravnavane stavbe izberemo meritve koncentracij CO₂ in relativne vlažnosti zraka. Poleg tega smo se odločili tudi za meritve temperature notranjega zraka.

3.2.3 Raven 1: Idejna zasnova projekta

Glavni namen ravni 1 okvira Level(s) je seznaniti uporabnika in projektanta s pomembnimi vidiki oblikovanja, ki predstavljajo ključne dejavnike, ki vplivajo na kakovost zraka in prispevajo k optimizaciji prezračevalne strategije za stavbo.

Seznam ustrezne idejne zasnove je sestavljen iz naslednjih konceptov načrtovanja povezanih s kakovostjo zraka v zaprtih prostorih:

1. razmisliti je potrebno, na kakšen način se bo stavba uporabljala in kakšna je raven pričakovanih bodočih stanovalcev/uporabnikov,
2. potrebno je osnovno razumevanje glavnih onesnaževal zraka v zaprtih prostorih, njihovi viri in na kakšen način se jih lahko minimalizira,
3. prednostna strategija prezračevanja (v kontekstu načrtovane uporabe različnih stavbnih con),
4. lokalna prezračevalna strategija za nadzor točkovnih virov v delih stavbe,
5. pomembnost *in-situ* merjenja (Dodd in sod., 2021a).

Za vsak koncept oblikovanja se v poročilu zapiše, ali je bil koncept uporabljen pri projektiranju ter kratek opis, na kakšen način je bil vključen v načrtovanje stavbe.

3.2.3.1 Vzorec uporabe stavbe in ravni pričakovanih uporabnikov

Pri načrtovanju potreb po prezračevanju je treba upoštevati, kakšna so pričakovanja bodočih stanovalcev/uporabnikov ter pričakovane vzorce uporabe stavbe. Slednje je še posebej pomembno, če se obremenitev z uporabniki (stopnja zasedenosti) bistveno razlikuje med eno in drugo cono ali v isti coni, vendar med različnimi obdobji dneva ali tedna.

V skladu s sistemom kategorij standarda SIST – TP CEN/TR 16798-2:2019 obstajajo štiri ravni pričakovanih kakovosti notranjega okolja (I, II, III in IV, pri čemer je kategorija I najvišja pričakovanja, IV pa najnižja):

- kategorija I: visoka pričakovanja glede kakovosti (upoštevajo se, kadar imajo prisotne ranljive uporabnike, na primer majhni otroci, starejši ljudje ali ljudje s funkcionalnimi oviranostmi);
- kategorija II: srednja pričakovanja glede kakovosti (običajna situacija);
- kategorija III: zmerna pričakovanja glede kakovosti (upoštevajo se pri situacijah, kjer bo zagotovljena sprejemljiva kakovost zraka, vendar je povečano tveganje, da kakovost zraka vpliva na storilnost uporabnikov);
- kategorija IV: nizka pričakovanja glede kakovosti (upoštevajo se samo za dele stavb, ki so zasedeni le za kratek čas, samo s strani majhnega deleža uporabnikov stavbe ali le v izjemnih okoliščinah, ki ne trajajo dlje časa).

Za doseganje kakovosti notranjega okolja je potrebno kompleksno razmišljanje, saj zajema več dejavnikov: IAQ (kazalnik 4.1.), toplotno udobje (kazalnik 4.2.) in osvetlitev (kazalnik 4.3.). Pri izboru kategorije kakovosti s strani projektanta je potrebno razumeti, da so dejavniki neodvisni. V splošnem je višja kategorija za IAQ zaželena, vendar to pomeni, da je potrebna večja količina prezračevanja in/ali

bolj fini filtri pri dovodu zunanjega zraka, posledično pa tudi večja poraba za delovanje mehanskega prezračevalnega sistema.

3.2.3.2 Glavni viri onesnaževal zraka v zaprtih prostorih

Za primerno načrtovanje kakovosti notranjega zraka je potrebno osnovno razumevanje glavnih onesnaževal v zraku v zaprtih prostorih, njihovi viri in kako jih je mogoče zmanjšati. Viri so lahko naravnega ali antropogenega izvora, v notranjosti ali zunanosti stavbe. Med najpogostejše notranje vire prištevamo materiale, pohištvo, sredstva za čiščenje, dihanje in aktivnosti (npr. pečenje na žaru, kajenje cigaret) ter tehnološke sisteme (npr. peči za ogrevanje). Notranja onesnaževala izvirajo predvsem iz notranjih virov (npr. VOC) ali zunanjih virov (npr. radon in benzen) ali kombinacije obojega (npr. prašni delci $PM_{2.5}$ in PM_{10}). Ukrepi, ki močno pripomorejo k zmanjšanju onesnaževal zraka v zaprtih prostorih so izbira materialov z nizkimi emisijami VOC in ostalih onesnaževal (npr. ftalati), ocena kakovosti zunanjega zraka in potencialnega vnosa delcev, plinastih onesnaževal v prezračevalne sisteme ter nadzor oz. kontrola difuzije vodne pare v gradbenih materialih in sklopih.

3.2.3.3 Prednostna strategija prezračevanja

Prezračevanje prostorov je mogoče doseči z naravno, mehansko ali kombinacijo obojega (hibridni način). Pri načrtovanju je potrebno razmisliti, kateri prezračevalni sistem je potreben, za izpolnjevanje potreb IAQ, ob upoštevanju pričakovanih vzorcev zasedenosti in stopnje zasedenosti v različnih delih stavbe.

Mehansko prezračevanje je po Level(s) primerno oz. potrebno pri stavbah s globoko obliko prostorov; pri stavbah, ki se nahajajo v hrupnih območjih, saj bi odpiranje oken povzročilo prekomerne ravni hrupa v notranjih prostorih in pri stavbah, pri katerih je cilj doseči visoko oceno energetske učinkovitosti in je zato pomembna zrakotesnost stavbe. V nekaterih conah stavbe se lahko v primerjavi z drugimi conami, določi potreba po dodatnem mehanskem prezračevanju, bodisi zaradi višje stopnje zasedenosti ali narave dejavnosti, ki potekajo v tej coni (npr. kuhinja, stranišča itd.).

Odločitve glede strategije prezračevanja bodo vplivale tudi na strategijo ogrevanja in hlajenja. Razmisliti je potrebno o tem, kako nadzirati kdaj je prezračevalni sistem vklopljen in izklopljen in, ko je vklopljen, s kolikšnim % največje zmogljivosti deluje.

3.2.3.4 Možnosti nadzora pretoka zraka v prezračevalnem sistemu

Pri načrtovanju je potrebno razmisliti o lokalnih prezračevalnih strategijah za nadzor točkovnih virov v delih stavbe. Pozornost je treba nameniti območjem, kjer je kakovost zraka potencialno najbolj ogrožena (npr. prostori za kuhanje, kopalnice, prostori za kadilce, sejne sobe z nizkimi stropi in občasno visoko gostoto ljudi, kopirne sobe itd.) in razmisliti, ali bi bilo zaželeno, da se uporabi ločen izpušni sistem za določena časovna obdobja z visoko specifično stopnjo prezračevanja. Določiti je treba namen ločenih

(in višjih) stopenj prezračevanja (npr. omejiti povečanje koncentracij CO₂, čim bolj zmanjšati tveganje za nastanek plesni ali zmanjšati negativne vplive na uporabnike.

Obstaja več načinov, kako lahko upravljamo nadzorni sistem:

- Neprekinjeno delovanje: zelo osnovno upravljanje, potrebujemo le izklop za vzdrževalne posege. Še posebej primerno za cone, ki so nenehno zasedene in/ali kjer bi vnos onesnaževal, CO₂ ali vlage hitro ogrozilo kakovost notranjega zraka pri odsotnosti mehanske ventilacije.
- Ročno upravljanje sistema: zelo osnovno upravljanje, še posebej uporabno v primerih, ko so urniki zasedenosti zelo težko predvidljivi.
- Sistemi s časovnim upravljanjem: bolj kompleksen sistem, sistem s senzorji prisotnosti. Enaki senzorji se uporabljajo tudi za sistem osvetlitve.
- Sistemi z upravljanjem glede na povpraševanje (na podlagi števila oseb): pretoki zraka se lahko avtomatsko prilagajajo predvidenemu številu oseb v različnih conah stavbe.
- Sistemi z upravljanjem glede na povpraševanje (na podlagi kazalca kakovosti zraka): pretoki zraka bi se prilagajali izmerjeni vrednosti kazalca kakovosti notranjega zraka v realnem času, kot so CO₂, vlaga ali VOC.

3.2.3.5 Spremljanje stanja z *in-situ* raziskavami

V primeru, da se odločimo, da bo strategija prezračevanja povezana s spremljanjem IAQ in stopnje prezračevanja v realnem času, je potrebno razmisliti o najbolj reprezentativnih lokacijah za namestitev senzorjev oz. opravljanje meritev. Najbolj pogosto se, v notranjih prostorih, spremlja koncentracije CO₂ (predvsem v prostorih, kjer stopnja zasedenosti zelo niha), relativne vlažnosti in emisij VOC.

3.2.4 Raven 2: Podrobno načrtovanje in gradnja stavbe

Raven 2 je namenjena določitvi značilnosti prezračevalnega sistema, materialov za notranjo opremo in, v primeru večjih prenov, načrtovanju izolacije ter drugih izboljšav, ki se nanašajo na zrakotesnost stavbnega ovoja. Ta raven služi kot podlaga za odločitve o metodološkem pristopu za kvantifikacijo potrebnih količin prezračevanja v različnih conah stavbe.

Pri načrtovanju je potrebno hkrati upoštevati kakovost zunanjega zraka, ki bo doveden v prezračevalni sistem (npr. slabša kakovost zaradi bližine cest in prometne obremenitve itd.) ter željeno kakovostjo notranjega zraka, pri čemer moramo upoštevati tudi emisije iz gradbenih materialov, biogene izvore onesnaževal in točkovne vire vlage. Vse te informacije bodo neposredno vplivale na specifikacije filtrov, kar posledično vpliva na dimenzioniranje sistemov in njegovo energetske učinkovitost.

Za podrobno zasnovo stavbe so potrebni naslednji koraki:

1. potrebno se je odločiti med metodami po standardu SIST EN 16798-1:2019, ki se uporabljajo za kvantifikacijo potrebnih prezračevalnih stopenj;
2. določiti urnik zasedenosti za glavne prezračevalne enote v stavbi in identificirati točkovne vire visoke vlažnosti;
3. določiti specifikacije materialov za izolacijo in materiale za finalno obdelavo ter notranjo opremo (pohištvo); pozorni moramo biti na izjave proizvajalcev oz. oznake izdelkov glede izpustov emisij VOC ali drugih nevarnih snovi;
4. določiti kakovost zraka na prostem (angl. *outdoor air classification* - ODA) za lokacijo stavbe;
5. izvesti projektne izračune ob upoštevanju korakov 1-4, da se določi ciljna kakovost dovodnega zraka (angl. *supply air classification* - SUP) za vsako od glavnih con stavbe, in določiti specifikacije prezračevalnih filtrov;
6. pri projektih prenove, v kolikor je to potrebno, izvesti oceno tveganja za rast in razvoj plesni, potrebno se je osredotočiti na obstoječe znake rasti plesni in/ali poškodbe materiala ter prepoznati območja kondenzacije vodne pare na površini in v notranjosti konstrukcijskega sklopa ter potencialne vzroke;
7. pripraviti dokumentacijo načrta, jasno navesti vse predpostavke, ki vplivajo na načrtovanje prezračevanja ter sestaviti specifikacije opreme in vire podatkov o preskusih izdelkov.

3.2.4.1 Metoda SIST EN 16798-1:2019 za načrtovanje stopenj prezračevanja

Level(s) navaja, da se je potrebno odločiti, katero metodo po standardu SIST EN 16798-1:2019 boste uporabili za določanje potrebnih količin zraka za prezračevanje (stopenj prezračevanja):

- Metoda 1: temelji na zaznani kakovosti zraka. Ta metoda se osredotoča na sposobnost prezračevalnega sistema, da odstrani dve vrsti emisij (emisije ljudi z biološkimi izločki ter emisij iz vgrajenih materialov v stavbi). Po standardu SIST EN 16798-1:2019 Tabela B7 zagotavlja referenčne prezračevalne stopnje (v l/s/oseba), ki upoštevajo odstranjevanje/redčenje emisij iz stavbe v različnih kategorijah notranje kakovosti zraka.
- Metoda 2: temelji na mejnih vrednostih koncentracije snovi v notranjem zraku (npr. CO₂). Ta metoda je zlasti pomembna tam, kjer je prezračevalni sistem zasnovan tako, da se samodejno odziva na različne stopnje zasedenosti. Ko se stopnje zasedenosti v območju stavbe povečajo,

prezračevalna stopnja pa se ne zviša, se raven CO₂ poveča. Osnovna, zunanja koncentracija CO₂ (v zunanjem zraku) lahko variira od 350 do 500 ppm (v Sloveniji okoli 420 ppm). Treba je predpostaviti stopnjo emisij CO₂ (npr. 20 l/h/oseba) in izračunati ocenjeno povečanje CO₂ za različne načrtne pretoke prezračevanja v istem obdobju.

- Metoda 3: temelji na predhodno določenih stopnjah pretoka prezračevanja. To je najpreprostejša od treh metod. Tabela B10 v SIST EN 16798-1:2019 zagotavlja privzete stopnje pretoka zraka za štiri kategorije notranje kakovosti zraka (I, II, III in IV) v enotah l/s/oseba in l/s/m². Te vrednosti segajo od 5,5 do 20 l/s/oseba in od 0,55 do 2 l/s/m². Ko se uporabijo v specifični situaciji stavbe (glede na gostoto zasedenosti oz. obremenitev prostora z uporabniki), je treba uporabiti privzete enote prezračevalnih stopenj, ki ustrezajo zahtevani kategoriji.

Najosnovnejša metoda je metoda 3, kjer se lahko sklicujemo na predhodno določene stopnje prezračevanja, odvisno od ciljne kategorije notranje kakovosti zraka, ki je zasnovana. Privzete stopnje pretoka prezračevalnega zraka za stanovanjske stavbe so prikazane v preglednici 5.

Preglednica 5: Določitev pretokov za prezračevanje stanovanjskih stavb (iz Tabele B11 standarda SIST EN 16798-1:2019)

Kategorija	Skupno prezračevanje, vključno z infiltracijo zraka		Dovedeni pretok zraka na osebo	Dovedeni pretok zraka, ki temelji na zaznan IAQ za ranljive skupine uporabnikov	
	l/(s m ²)	Št. izmenjav zraka na uro [1/h]	l/(s na osebo)	q _p [l/(s na osebo)]	q _B [l/(s m ²)]
I	0,49	0,7	10	3,5	0,25
II	0,42	0,6	7	2,5	0,15
III	0,35	0,5	4	1,5	0,1
IV	0,23	0,4			

3.2.4.2 Urnik zasedenosti prezračevalnih con in točkovni viri visoke vlažnosti

Urn timer zasedenosti je potrebno pri Level(s) upoštevati pri prezračevanju predvsem pisarniških stavb, stavb za vzgojo in izobraževanje in tudi stanovanj, saj bo pomagal oceniti rabo energije prezračevalnega sistema. Privzeti rasporedi zasedenosti so podani v Prilogi C standarda SIST EN 16798-1:2019 za različna območja stavbe kot so pisarne, sejne sobe, vrtec, stanovanjske hiše in stanovanja. Ti rasporedi so pomembni tudi za določitev ciljnih kakovosti zraka in izračun projektnih stopenj prezračevanja.

Specifične informacije, pomembne za prezračevalni sistem v razporedu zasedenosti, vključujejo:

- proizvodnjo vlage (v g/m²/h),
- proizvodnjo CO₂ (v l/m²/h),
- najmanjša stopnja prezračevanja (v l/s/m²),
- stopnja prezračevanja za emisije CO₂ (v l/s/m²),
- maksimalna koncentracija CO₂ nad zunanjo koncentracijo (ppm),
- minimalna relativna vlažnost zraka (%),
- maksimalna relativna vlažnost zraka (%).

3.2.4.3 Specifikacija materialov za opremo in izolacijo glede emisij VOC

Določiti je treba specifikacije za vgrajene materiale in notranjo opremo, pri čemer je potrebno biti pozoren na proizvajalčeve izjave o lastnostih in varnostne liste, ki vsebuje informacije o vsebnosti in emisijah nevarnih snovi (formaldehid, ftalati itd.).

Hlapne organske spojine (HOS, angl. *volatile organic compounds* – VOC) so snovi, ki imajo visok parni tlak pri sobni temperaturi (Kukec, 2021). Lahko se sproščajo iz gradbenih materialov, pohištva, čistil, razkužil, insekticidov, izdelkov za osebno higieno in parfumov, lakov (kozmetika), pisarniškega materiala (fotokopirni stroji, črnilo) in tobačnega dima (JRC, 1989). Imajo lahko akuten ali kroničen vpliv na zdravje (EPA, 2017).

Primeri so benzen, etilen glikol, formaldehid, metilen klorid, tetrakloretilen, toluen, ksilen in 1,3-butadiene itd.

Specifikacije po Level(s) za nadzor izvora emisij VOC na ravni 2 se nanašajo na: celotne hlapne organske spojine (angl. *total volatile organic compounds* – TVOCs), celotne CMR (angl. *carcinogenic, mutagenic, reprotoxic substances*) hlapne organske spojine, R-vrednost in formaldehid.

V skladu z SIST EN 16516:2018 je TVOC vsota koncentracij identificiranih in neidentificiranih hlapnih organskih spojin izračunano s seštevkem referenčnih sobnih koncentracij vsake posamezne spojine. Čeprav obstajajo zadržki glede te metrike, ker niso vse VOC enako škodljive zdravju, je uporabna metrika, ki lahko identificira potencialna žarišča emisij.

CMR VOC označuje hlapne organske spojine razvrščene kot rakotvorne, mutagene ali strupene za razmnoževanje v skladu z Uredbo (ES) št. 1272/2008 (Dodd in sod., 2021a).

R-vrednost je glavna metrika, ki je povezana z vrednostmi EU-LCI (angl. *labor cost index*). Vrednost R za posamezno VOC je razmerje med izmerjeno koncentracijo in vrednostjo EU-LCI. Na primer, izmerjena koncentracija $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in vrednost EU LCI $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bi ustrezala vrednosti R 0,12 (Dodd in sod., 2021a).

Formaldehid se zaradi pogostosti uporabe (formaldehidne smole kot premazi in veziva) in relativno visokih koncentracij šteje ločeno od ostalih CMR hlapnih organskih spojin (Dodd in sod., 2021a).

3.2.4.4 Kategorija kakovosti zunanjega zraka (ODA) za lokacijo stavbe

Level(s) poudarja, da je potrebno pri načrtovanju prezračevanja izhajati iz kakovosti zunanjega zraka. Pri tem lahko uporabimo podatke Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), merilne opreme na lokaciji ali pa evropske karte onesnaženosti zraka. Izmerjene vrednosti onesnaževal se primerjajo z mejnimi vrednostmi. V primeru visokih koncentracij zunanjih onesnaževal se priporoča mehansko prezračevanje s filtracijo.

Med zelo problematična onesnaževala prištevamo trdne delce $PM_{2.5}$ in PM_{10} , dušikov dioksid CO_2 in prizemni ozon O_3 . Delci so mešanica trdnih in tekočih delcev suspendiranih v zraku. Delci so različnih oblik, velikosti in sestave. Na splošno delimo delce na dve večji skupini: - grobo frakcijo (angl. *coarse particulate*), delci večji od $1\mu m$, - fino frakcijo (angl. *fine particulate*), delci manjši od $1\mu m$. Delci so vpleteni v številne procese – sodelujejo pri različnih kemijskih in fizikalnih pretvorbah v onesnaženi atmosferi in pri nastanku kislih padavin, vplivajo na vidnost in električne lastnosti atmosfere. Koncentracija in sestava delcev je odvisna predvsem od virov (naravnih in antropogenih) ter od meteoroloških pogojev (ARSO, 2003). Različne študije so pokazale tudi na povezavo med povišanimi koncentracijami delcev manjših od $10\mu m$ in porastom bolezni respiratornega in kardiovaskularnega sistema (ARSO, 2023).

V Uredbi o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Uradni list RS št. 52/02) so delci PM_{10} definirani kot delci v zraku, ki jih prepušča filter s 50 % neprepustnostjo za delce z aerodinamskim premerom $10\mu m$. Delci $PM_{2.5}$ pa so delci, ki jih prepušča filter s 50 % neprepustnostjo za delce z aerodinamskim premerom $2,5\mu m$ (ARSO, 2003).

Svetovna zdravstvena organizacija (angl. *World Health Organization* - WHO) je leta 2021 izdala nove smernice in priporočila o kakovosti zraka. Od leta 2005, ko so bile objavljene zadnje smernice, pa do aktualnih smernic, so nastali številni znanstveni dokazi, ki potrjujejo povezavo med onesnaženostjo zraka in negativnimi vplivi na zdravje populacije. Prav zato so določili strožje omejitve priporočenih koncentracij za delce $PM_{2.5}$ in PM_{10} , dušikov dioksid NO_2 , ogljikov monoksid CO , ozon O_3 in žveplov dioksid SO_2 (WHO, 2021).

Preglednica 6 prikazuje primerjavo med največjimi dovoljenimi vrednostmi v Republiki Sloveniji in novimi priporočenimi vrednostmi Svetovne zdravstvene organizacije (WHO).

Preglednica 6: Primerjava največjih dovoljenih vrednosti v RS in novih priporočenih vrednosti WHO (Uredba o nacionalnih zgornjih mejah emisij onesnaževal zunanjega zraka, Uradni list RS, št. 48/18 s spr.; WHO, 2021)

Parameter	Največja dovoljena vrednost v RS	Nove priporočene vrednosti WHO (2021)
PM_{10} (dnevno, $\mu g/m^3$)	50	45
$PM_{2.5}$ (dnevno, $\mu g/m^3$)	ni določena	15
O_3 (8-urna, $\mu g/m^3$)	120	100
NO_2 (dnevno, $\mu g/m^3$)	x	25
SO_2 (dnevno, $\mu g/m^3$)	125	40
CO (dnevno, $\mu g/m^3$)	x	4
x: največje vrednosti so merjeni v drugačnih časovnih intervalih, zato podatki niso primerljivi		

V državi ali regiji, kjer se nahaja stavba, so lahko postavljene strožje omejitvene vrednosti in omejitve za druga onesnaževala ali kombinacije onesnaževal. Z namenom varovanja zdravja je priporočljivo uporabljati strožje vrednosti.

Omejitvene vrednosti so določene tudi z Direktivo 2008/50/EC, ki so predstavljene v preglednici 7. Vrednosti so izražene kot časovno ovrednotena povprečja.

Preglednica 7: Priporočene in zakonsko zahtevane mejne vrednosti delcev $PM_{2.5}$ in PM_{10} ter benzena v zunanjem zraku (Direktiva 2008/50/ES, WHO, 2006)

Onesnaževalo	Koncentracija	Časovno povprečje	Vir
$PM_{2.5}$	10 $\mu g/m^3$	Letno	WHO, 2006
	20 $\mu g/m^3$	Letno	Direktiva 2008/50/ES
	25 $\mu g/m^3$	24 urno	WHO, 2006
PM_{10}	50 $\mu g/m^3$	24 urno	Direktiva 2008/50/ES
	50 $\mu g/m^3$	24 uro	WHO, 2006
	40 $\mu g/m^3$	Letno	Direktiva 2008/50/ES
	20 $\mu g/m^3$	Letno	WHO, 2006
Benzen	5 $\mu g/m^3$	Letno	Direktiva 2008/50/ES

Evropska agencija za okolje in Evropska komisija sta predstavili evropski indeks kakovosti zraka, ki zagotavlja javno dostopne informacije o trenutnem stanju kakovosti zraka na podlagi meritev iz več kot 2000 postaj za spremljanje kakovosti zraka po vsej Evropi. Indeks je sestavljen iz interaktivnega zemljevida (slika 14), na katerem je prikazano lokalno stanje kakovosti zraka na ravni postaj na podlagi petih ključnih onesnaževal: delcev ($PM_{2.5}$ in PM_{10}), ozona (O_3), dušikovega dioksida (CO_2) in žveplovega dioksida (SO_2) (Dodd in sod., 2021a). Zemljevid nam omogoča tudi izbiro posameznega mesta in merilne postaje, kar nam lahko zelo koristi pri načrtovanju prezračevanja in specifikacij filtrov.



Slika 14: Interaktivni zemljevid Evrope, ki prikazuje evropski indeks kakovosti zraka posamezne lokacije (EEA, 2017)

Standard SIST EN 16798-3:2018 določa tri ravni kakovosti zunanjega zraka, ki temeljijo na pričakovanih ravneh onesnaževal v zunanjem zraku, v primerjavi z mednarodnimi, nacionalnimi ali regionalnimi mejnimi vrednostmi (ODA(P) predstavlja kategorijo kakovosti zraka za delce, ODA(G) pa kategorijo za plinasta onesnaževala):

- ODA(P)1 in ODA(G)1 se uporabljata, ko se zunanji zrak obravnava kot čisti (tj. da ne presega mejnih vrednosti za prašne delce ali plinska onesnaževala) in kjer se lahko prekomerne obremenitve s prahom pojavijo le začasno (npr. zaradi cvetnega prahu);

- ODA(P)2 in ODA(G)2 se uporabljata, ko koncentracije prahu ali plinskih onesnaževal presegajo mejne vrednosti za največ 50 %;
- ODA(P)3 in ODA(G)3 se uporabljata, ko koncentracije prahu ali plinskih onesnaževal presegajo mejne vrednosti za več kot 50 %.

3.2.4.5 Kategorija kakovosti dovedenega zraka (SUP) in specifikacija filtrov

V fazi konceptnega načrtovanja prezračevanja bi morala biti stavba razdeljena na cone, ki temeljijo na kategorijah kakovosti dovedenega prezračevanega zraka (SUP). Kakovost dovedenega zraka bo odvisna od namena uporabe prezračevanega prostora.

V preglednici 8 so prikazane kategorije kakovosti dovedenega zraka (SUP), kakšne so zahteve kakovosti notranjega zraka (IAQ) glede na zunanji zrak ter v katerih primerih se ta kategorija lahko uporabi.

Preglednica 8: Kategorije kakovosti dovedenega zraka (SUP), zahteve kakovosti notranjega zraka (IAQ) glede na zunanji zrak, primeri uporabe kategorije (Eurovent Recommendation 4/23, 2018)

Kategorija	Zahteva IAQ v primerjavi z zunanjim zrakom	Stopnja zasedenosti	Primeri
SUP 1	Dovedeni zrak je < 25 % omejitve PM _{2.5} in PM ₁₀	n/p	Samo za komercialne/industrijske aplikacije z visokimi higienskimi zahtevami kot so bolnišnice, farmacija, proizvodnja polprevodnikov itd.
SUP 2	Dovedeni zrak je < 50 % omejitve PM _{2.5} in PM ₁₀	Stalno zasedeni prostori	Vrtci, šole, pisarne, hoteli, stanovanjske stavbe, sejne sobe, razstavniki prostori, konferenčne dvorane, gledališča, kinodvorane, koncertne dvorane
SUP 3	Dovedeni zrak je < 75 % omejitve PM _{2.5} in PM ₁₀	Začasno zasedeni prostori	Shrambe, trgovski centri, pralnice, servisni prostori, sobe s kopirnimi stroji
SUP 4	Dovedeni zrak je < 100 % omejitve PM _{2.5} in PM ₁₀	Kratkotrajno zasedeni prostori	Stranišča, stopnišča
SUP 5	Dovedeni zrak je < 150 % omejitve PM _{2.5} in PM ₁₀	Nezasedeni prostori	Prostori za zbiranje smeti, podatkovni centri, podzemne parkirne hiše

Z zgornje preglednice je razvidno, da je za pisarne in bivanjske prostore potrebna SUP 2 kategorija notranjega zraka. Posebej pri pisarnah je potencialno veliko prostorov, ki ne potrebujejo tako strogih zahtev glede kvalitete zraka (npr. podatkovni centri, sobe s kopirnimi stroji, stopnišča itd.).

Specifikacija filtrov bo odvisna tako od kategorije zunanjega zraka (ODA) kot od ciljne kakovosti notranjega zraka (SUP). Filtri za odstranjevanje delcev se lahko določijo v skladu s standardom SIST EN 16890:2017, in če se šteje za potrebno, tudi za odstranjevanje plinastih onesnaževal.

Filtre, ki lahko odstranijo plinasta onesnaževala (npr. ozon, benzen itd.), se lahko priporoča ali zahteva, kot je prikazano v spodnji matriki (na podlagi standarda SIST EN 16798-3:2018):

- ODA (G)1 – priporočeni plinski filtri, če je na območju zaželeno kakovost zraka SUP1,
- ODA (G)2 – plinski filtri so potrebni za SUP1 in priporočljivi za SUP2 in SUP3,

- ODA (G)3 – plinski filtri so potrebni za SUP1 in SUP2 ter priporočljivi za SUP3.

Za določitev razredov filtrov med kategorijo ODA(P) in SUP bi bilo mogoče ustvariti podobno matriko. Vendar standard SIST EN 16798-1:2019 še vedno uporablja razrede filtrov, določene v standardu SIST EN 779:2012, ki so zastareli. Stari standard SIST EN 779:2012 je določal odstranjevanje delcev s premerom 0,4 μm . Novi standard SIST EN 16890:2017 pa je od leta 2018 nadomestil standard SIST EN 779:2012 in uporablja bistveno drugačno metodo za oceno učinkovitosti odstranjevanja delcev PM₁, PM_{2,5} ali PM₁₀.

Pri mehanskih prezračevalnih sistemih so filtri potrebni, da zaščitijo naprave za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo ter da zagotovijo neprekinjeno delovanje z zagotavljanjem zraka stalne kakovosti. Filtri lahko tudi izboljšajo kakovost notranjega zraka, tako da odstranijo onesnaževala iz zunanjega zraka (npr. cvetni prah, drugi delci, vonjave in druga onesnaževala v plinastem agregatnem stanju), s čimer se izboljša kakovost notranjega zraka.

3.2.4.6 Ocena tveganja za rast in razvoj plesni

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) poudarja ključne dejavnike, ki lahko povzročijo rast in razvoj plesni, in so veliko tveganje za zdravje ljudi (WHO, 2019):

- nezadostno prezračevanje,
- položaj pohištva, ki ne omogoča prezračevanja med pohištvom in steno,
- pomanjkljiva zasnova konstrukcijskih sklopov (toplotna izolacija, hidroizolacija, parna ovira), toplotni mostovi,
- nekontrolirana zrakotesnost stavbnega ovoja,
- poškodbe in vlažni konstrukcijski sklopi,
- poškodovana hidroizolacija,
- aktivnosti uporabnikov (sušenje perila, nedelovanje kuhinjske nape),
- poplave.

Pri prenovah obstoječih stavb se priporoča strokovni pregled stanja vlažnosti in plesni v stavbi, saj ta omogoča razumevanje in diagnosticiranje problemov, ki so se skozi leta pojavili. Nato je mogoče sprejeti celovite ukrepe za odpravo težav pri prenovah.

Pojavnost in obseg vlažnosti in plesni je potrebno določiti v vsaki sobi, vsota teh površin se uporabi za določitev celotne klasifikacije. Preglednica 9 podaja oris sistema klasifikacije, ki se lahko uporabi za zelo osnovne preglede.

Preglednica 9: Kriteriji za oceno tveganja za plesen (Dodd in sod., 2021a)

Kriterij klasifikacije	Razred 1	Razred 2	Razred 3	Razred 4
Preverjeno stanje konstrukcij in vzdrževanje konstrukcije in inštalacij je bilo dokumentirano pred manj kot 5. leti	Da	Da		
Znane poškodbe zaradi vode ali pojava kondenzacije oz. kapilarnega dviga so bile sanirane	Da	Da	Da	
Vidna plesen v bivalnih prostorih: – manjše površine (npr. tesnilo v okenskem krilu), – manjše površine kažejo znake plesni, – večje površine kažejo znake plesni	Nič	< 400 cm ²	< 2500 cm ²	> 2500 cm ²
Ocenjena so bila tveganja za škodo zaradi vode in proaktivno sprejeti ukrepi za zmanjšanje tveganja v prihodnosti	Da			
Vlaga zaradi nedavne gradbene faze (samo za novogradnje)	Ne	Ne	Da	

Ocena tveganja se lahko izvede tudi pri projektih novih stavb. Priporočljivo je, da se osredotoči na ukrepe za nadzor točkovnih virov vlage, izogibanje območjem toplotnih mostov ter kontrola zrakotesnosti stavbnega ovoja. Poleg kvalitativne ocene tveganja za prepoznavanje območij visoke vlažnosti je potrebno zagotoviti ustrezno prisilno prezračevanje za nadzor nenadnih povečanj vlažnosti. Tehnične ocene se lahko izvedejo v skladu z naslednjima standardoma:

- metoda izračuna SIST EN ISO 6946:2017 za toplotno upornost in prehodnost gradbenih materialov,
- metoda izračuna SIST EN ISO 13788:2013 za higrotermalno učinkovitost gradbenih komponent in elementov.

Ti standardi zagotavljajo računsko metodo za kritično površinsko vlažnost, ki lahko povzroči rast plesni na notranjih površinah stavbe. Za izvedbo ocene tveganja so potrebni podatki o toplotnih značilnostih gradbenih izdelkov in o arhitekturnih detajlih načrtovanja, pri čemer je poseben poudarek na higrotermalnem odzivu sklopa (Dodd in sod., 2021a).

3.2.5 Raven 3: Lastnosti zgrajene stavbe in stavbe v uporabi

Namen ravni 3 je omogočiti uporabnikom, da objektivno ocenijo kakovost notranjega zraka (IAQ) na podlagi delovanja dokončane stavbe. Na tem nivoju se priporoča dvojni pristop.

Prvi pristop je objektivni in kvantitativen ter zasnovan na vzorčenju in spremljanju zraka v dveh ključnih fazah: (i) po dokončanju gradnje stavbe, vendar pred vselitvijo, in (ii) po vselitvi stanovalcev. Preizkus pred vselitvijo omogoča neposredno primerjavo z načrtovanimi ocenami glede prezračevanja, načrtovanimi omejitvami za CO₂, vlago, VOC emisije ter morebitnimi onesnaževalci iz zunanjega zraka. Preizkus po vselitvi stanovalcev/uporabnikov pa zajema morebitne dodatne vplive na IAQ, ki jih povzročajo dejavnosti prebivalcev ter namestitve pohištva in opreme v prostore.

Kljub temu pa vzorčenje in preizkušanje kakovosti notranjega zraka zagotavlja le delno sliko o kakovosti IAQ in morda ne sovпада s percepcijo stanovalcev o IAQ (samoocenjena kakovost notranjega zraka). Zato je drugi pristop subjektiven in temelji na povratnih informacijah uporabnikov, zbranih z anketo o IAQ med vselitvijo.

V primeru rezultatov nezadovoljstva je pomembno, da se pred sprejetjem ukrepov za izboljšanje, ugotovijo razlike v stopnjah zasedenosti in vzorcih uporabe med načrtovalskimi predpostavkami in dejansko uporabo.

3.2.5.1 Preverjanje lastnosti stavbe z meritvami

Za *in-situ* preiskave (bodisi pred vselitvijo bodisi po vselitvi) je postopek naslednji:

1. dogovor glede izbire parametrov, ki se bodo merili (npr. stopnja prezračevanja, relativna vlažnost zraka, delci, CO₂, radon, VOC itd.);
2. identifikacija ustreznih preskusnih standardov za izbrane parametre in pregled protokolov za spremljanje in vzorčenje;
3. priprava načrtov, ki določajo kdaj in v katerih fazah gradbenega projekta bo potrebno izvesti spremljanje in vzorčenje;
4. za vsak parameter se določi, ali vzorčenje in spremljanje lahko izvede interno osebje (npr. osebje upravljanja objektov) ali pa so potrebni zunanji strokovnjaki;
5. če bo spremljanje in vzorčenje izvedeno znotraj organizacije, je potrebno priskrbeti potrebno opremo;
6. določitev strategije za spremljanje in vzorčenje, vključno z lokacijo vzorčenja in senzorjev, časom izvajanja spremljanja in vzorčenja ter časovnim intervalom za spremljanje in vzorčenje;
7. analiza podatkov v certificiranem laboratoriju; če se podatki ustvarijo ob točki merjenja, je potrebna vzpostavitev sistema za beleženje podatkov.

CO₂ se uporablja kot indikator kakovosti notranjega zraka predvsem za prostore, v katerih predstavljajo glavni vir emisij ljudje, hkrati pa je tudi pokazatelj ustreznosti prezračevanja. Drugi viri emisij so še odprta ognjišča, razni grelci in peči na drva ali plin. Povišane koncentracije CO₂ nad mejno vrednostjo za bivalno okolje znižuje storilnost, povzročajo glavobol in utrujenost, vodi tudi do sindroma bolnih

stavb (ASHRAE, 2022). Za določen kontekst so spodaj navedeni učinki izpostavljenosti CO₂ v notranjem zraku:

- 350-500 ppm: tipične koncentracije CO₂ v zunanjem zraku (v Sloveniji okoli 420 ppm);
- 400-1000 ppm: tipične koncentracije v zasedenih notranjih prostorih z dobrim prezračevanjem;
- 1000-2000 ppm: zaspanost, v prezračevalnih conah, kjer je edini vir CO₂ človeška presnovna aktivnost, bi koncentracije nad 1000 ppm pomenile tudi večjo koncentracijo bioloških izločkov in vonjav (poslabšanje subjektivno dobljene samoocene kakovosti zraka);
- 2000-5000 ppm: motnje kognitivnih funkcij človeka: glavoboli, zaspanost, slaba koncentracija, izguba pozornosti, pospešen srčni utrip, rahla slabost;
- > 40000 ppm: izpostavljenost lahko povzroči resno pomanjkanje kisika, posledično trajno poškodbo možganov, komo ali celo smrt (ASHRAE, 2022).

Glavni razlog za merjenje CO₂ na kraju samem je, da je odličen kazalnik onesnaževal biogenega izvora (biofluent, biološki izločki). Presnovna aktivnost organizmov ustvarja biofluente in CO₂ (Zhang in sod., 2017), pri čemer so slednji veliko bolj verjetni povzročitelji neugodja (npr. vonjav). Ker pa so biološki izločki veliko bolj zapleteni za merjenje na kraju samem je bolj priročno meriti CO₂.

Poleg CO₂ je priporočeno meriti še prašne delce PM in hlapne organske spojine (VOC). Za prašne delce je zaželeno izvajati meritve predvsem na mestih, kjer je večja verjetnost morebitnih virov zaradi dejavnosti v stavbi (npr. obnova stavbe med njenim delovanjem, kuhanje, notranje izgorevanje goriva za ogrevanje/kuhanje, kajenje, uporaba aerosolov, uporaba sesalnikov itd.). Standard WELL (International Well Building Institute, 2016) določa omejitve 15 µg/m³ za PM_{2.5} in 50 µg/m³ za PM₁₀.

Meritve celotnih VOC so priporočene, saj zagotavljajo celovito sliko teh spojin v notranjem zraku. WELL standard določa mejo skupnih VOC pri 500 µg/m³ (International Well Building Institute, 2016). Formaldehid je tudi VOC, vendar se običajno poroča ločeno zaradi večjega tveganja za zdravje (klasificiran je kot karcinogen) (Kang in sod., 2021) in zaradi široke uporabe formaldehidnih smol v mnogih gradbenih materialih in izdelkih. WHO je priporočil omejitve za formaldehid v notranjem zraku pri 80 ppb (WHO, 2010), WELL standard pa določa omejitve pri 27 ppb (International Well Building Institute, 2016).

3.2.5.2 Preverjanje učinkovitosti delovanja stavbe z anketo zadovoljnosti stanovalcev/uporabnikov

Kakovost notranjega zraka (IAQ) je del širšega koncepta kakovosti notranjega okolja, ki zajema tudi druge vidike kot so toplotno ugodje, svetlobo in hrup. Čeprav je mogoče mnoge vidike kakovosti notranjega zraka fizično meriti, je skladnost meritev in zadovoljstva uporabnikov odvisna od subjektivne zaznave. Ker je namen oblikovanja stavb in delovanja sistemov stavb zagotoviti zadovoljliv bivalni ali delovni prostor za uporabnike, so ankete zelo pomembne za poročanje na ravni 3.

Level(s) poudarja, da se je potrebno odločiti, katera vprašanja želimo postaviti o kakovosti notranjega zraka (IAQ) in na katere vidike se osredotočiti (npr. vlažnost, suhost, vonj, zadušljivost). Vprašanja o IAQ se vključijo v del splošne ankete, ki zajema tudi druge vidike dobrega počutja.

Pomembno je zbrati demografske podatke anketiranih vključno z etažnostjo, saj bo to pomagalo ugotoviti morebitno pristranskost odgovorov/mnenj (npr. pomembno je vedeti, ali je razdelitev med »zadovoljnimi/nezadovoljnimi« enaka za osebe v pritličju in v zgornjem nadstropju). S pomočjo evidentiranega deleža nezadovoljnih bi lahko identificirali problemska področja, na osnovi katerih se določi popravila in prenove sistemov prezračevanja ali celo spreminja nastavitve obstoječega prezračevanja.

3.2.5.3 Oblika poročanja rezultatov ocenjevanja

Rezultate poročamo za vsako stavbno cono posebej kot je prikazano na spodnji preglednici 10 iz Excel datoteke.

Preglednica 10: Excel preglednica za poročanje kazalnika 4.1. za raven 3

Nivo 3 - 4.1.1 IAQ pogoji								
Reprezentativno testirano območje in čas/datum testiranja	Tlorisna površina (m ²)	Uporabljena metoda	Kategorija zmogljivosti prezračevanja	Stopnja prezračevanja	Enote	Stopnja zasedenosti (oseba/m ²)	CO ₂ (ppm nad koncentracijo v zunanem zraku)	Nadzor območja relativne vlažnosti (%)
Nivo 3 - 4.1.2 Ciljni onesnaževalci zraka v zaprtih prostorih			Reprezentativno testirano območje			Reprezentativno testirano območje		
Narava parametra IAQ	IAQ parametri	Faza oblikovanja	Po zaključku (pred vselitvijo)	Po vselitvi	Faza oblikovanja	Po zaključku (pred vselitvijo)	Po vselitvi	
Onesnaževala pretežno iz zunanjih virov	Radon (Bq/m ³)							
	PM _{2.5} (µg/m ³)							
	PM ₁₀ (µg/m ³)							
	Ozon (µg/m ³)							
	Benzen (µg/m ³)							
Vidiki kakovosti zraka (iz zunanjih in notranjih virov)	Relativna vlažnost (%)							
	CO ₂ (ppm notri)							
	CO ₂ (ppm zunaj)							
Onesnaževala pretežno iz notranjih virov	Skupni VOC (µg/m ³)	n/a			n/a			
	Skupni CMR VOCs (µg/m ³)	n/a			n/a			
	R-vrednost	n/a			n/a			
	Formaldehid (µg/m ³)	n/a			n/a			

Na ravni 3 je mogoče poročati o največ 12 različnih merjenih parametrih. Level(s) pri tem ne zahteva, da bodo za vsako cono v stavbi poročani vsi parametri hkrati. Odločitev o naboru parametrov, ki jih bomo spremljali in poročali na ravni 3 uporabe kazalnika 4.1., je odvisna od resnosti problematike v posamezni coni stavbe. Za določeno stavbo ali stavbno cono, se osredotočimo na:

- vnos zunanjih onesnaževal, ko se stavba nahaja v industrijskih ali prometnih območjih,
- vidike kakovosti zraka med obdobji visoke zasedenosti in/ali v mokrih obdobjih leta (prehodna obdobja),
- emisije onesnaževal iz notranjih virov, kadar so:
 - vgrajeni materiali večinoma iz tekstila ali lesa,
 - ko so bile stene in/ali stropi pred kratkim prepleskani ali

- celostno razumevanje vpliva zasedenosti prostorov na IAQ (npr. materiali za notranjo opremo, pohištvo, uporaba kuhinje in kopalnice). Z namenom pridobitve celotne slike, je smiselno izvesti preizkušanje pred in med vselitvijo.

3.3 Priporočila na področju kakovosti notranjega okolja

Pri prikazu rezultatov meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), relativne vlažnosti zraka (RH_a) in temperature zraka (T_a) smo za potrebe vrednotenja razreda kakovosti notranjega zraka privzeli mejne vrednosti po standardu SIST EN 16798-1:2019 (Preglednica 11 in 12).

Kategorije kakovosti notranjega okolja (I-IV) se delijo glede na temperaturni razpon, ki ga predpisuje standard SIST EN 16798-1:2019 v tabeli B.5. V našem primeru za tip stavbe upoštevamo stanovanjske stavbe in bivalne prostore ter temperaturni razpon za sezono brez ogrevanja (preglednica 11).

Preglednica 11: Izsek Tabele B.5 iz standarda SIST EN 16798-1:2019. Prikaz temperaturnih razponov za štiri kategorije kakovosti notranjega okolja v stanovanjskih stavbah in bivalnih prostorih

Vrsta stavbe/prostora	Kategorija	Temperaturni razpon za sezono brez ogrevanja, °C Stopnja izolativnosti obleke 0,5 clo
Stanovanjska stavba, bivalni prostori (spalnica, kuhinja, dnevna soba itd.) Sedeča dejavnost – 1,2 met	I	23,5 – 25,5
	II	23,0 – 26,0
	III	22,0 – 27,0
	IV	21,0 – 28,0

Za koncentracije CO_2 smo upoštevali tabelo B.12 iz standarda SIST EN 16798-1:2019. Tabela prikazuje mejne vrednosti koncentracij CO_2 za štiri kategorije kakovosti notranjega okolja. Standard navaja vrednosti koncentracij CO_2 za bivalne prostore in za spalnice. Pri tem je pomembno, da so navedene vrednosti v tabeli vrednost nad koncentracijo CO_2 v zunanjem zraku. V našem primeru smo privzeli, da je v zunanjem zraku koncentracija CO_2 420 ppm. To pomeni, da je za bivalne prostore mejna vrednost koncentracije CO_2 za I kategorijo 970 ppm, za II kategorijo 1220 ppm in za III kategorijo 1970 ppm. Pri spalnicah je mejna koncentracija za I kategorijo 800 ppm, za II kategorijo 970 ppm, za III kategorijo pa 1370 ppm.

Preglednica 12: Tabela B.12 iz standarda SIST EN 16798-1:2019 prikazuje načrtovane koncentracije CO_2 v zasedenih bivalnih prostorih in spalnicah

Kategorija	Načrtovana ΔC_{CO_2} za bivalne prostore (ppm nad zunanjo koncentracijo)	Načrtovana ΔC_{CO_2} za spalnice (ppm nad zunanjo koncentracijo)
I	550	380
II	800	550
III	1350	950
IV	1350	950

V stanovanjskih prostorih je priporočljiva relativna vlažnost zraka pod 60 %, kar zmanjšuje rast in razvoj gliv (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/02). Pri ovrednotenju rezultatov meritev koncentracij relativne vlažnosti (RH_a) smo za naš primer privzeli, da je za uporabnika udobna RH_a med 40 % in 60 %.

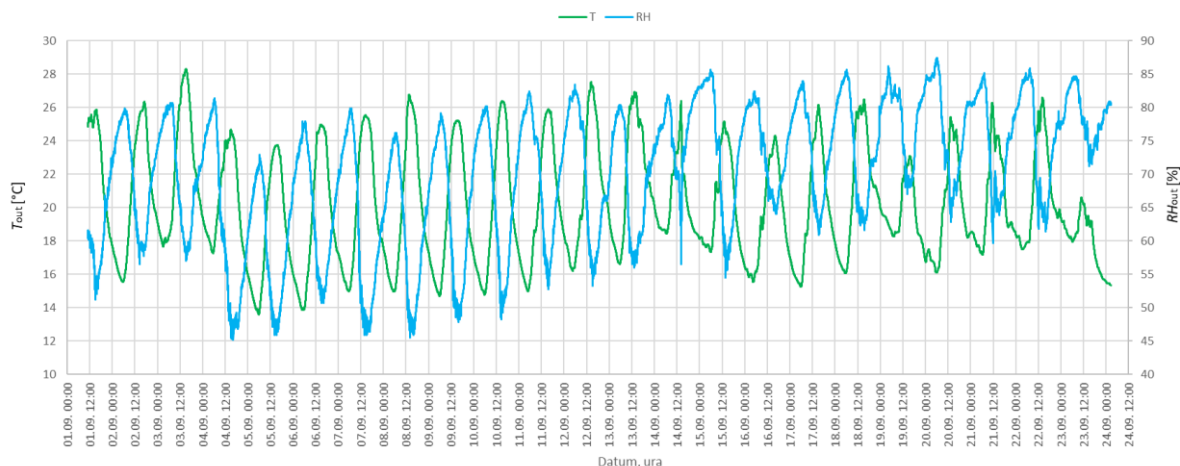
3.4 Rezultati meritev izbranih parametrov IAQ in vrednotenje razreda kakovosti notranjega zraka

3.4.1 Rezultati kontinuiranih meritev temperature zunanjega zraka (T_{out}) in relativne vlažnosti zunanjega zraka (RH_{out})

Kontinuirane meritve temperature zunanjega zraka (T_{out}) in relativne vlažnosti zunanjega zraka (RH_{out}) so potekale od 1. septembra do 24. septembra 2023 (slika 15). Na sliki navpične mrežne črte prikazujejo polnoč in poldne.

Zelena črt prikazuje časovni potek T_{out} . Te se gibljejo od 14 °C do 28 °C. Opazen je trend z najvišjimi temperaturami popoldne in najnižjimi temperaturami zgodaj zjutraj.

Modra črta pa prikazuje časovni potek RH_{out} . Te se gibljejo med 45 % in 87 %. Opazen je obratno sorazmeren trend v primerjavi s časovnim potekom temperature zunanjega zraka. Najnižje koncentracije RH_{out} so popoldne, najvišje pa zgodaj zjutraj.



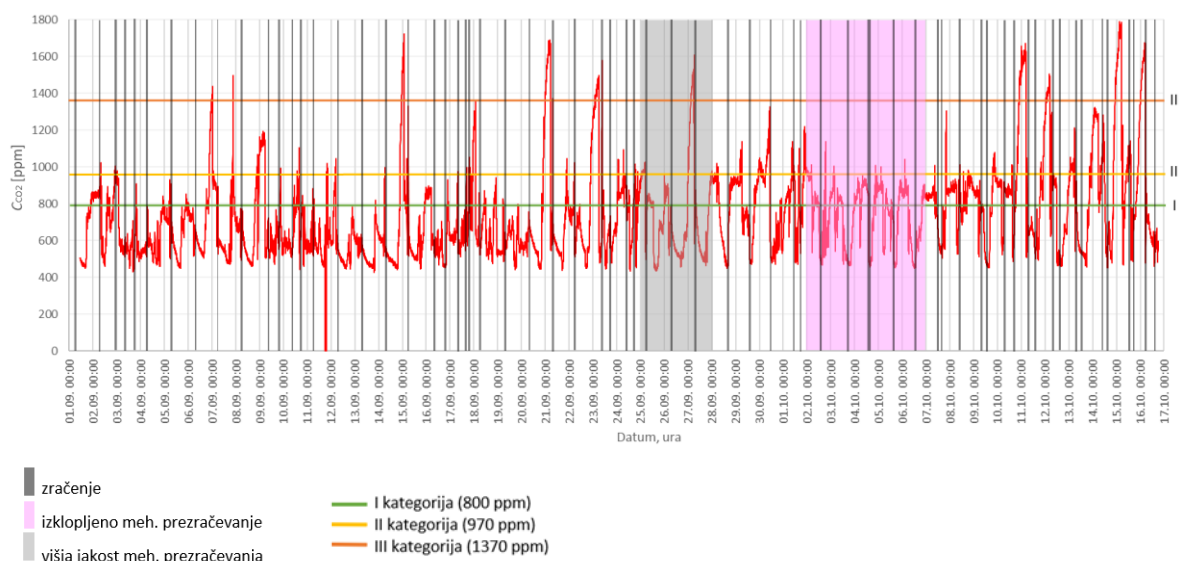
Slika 15: Časovna poteka temperature zunanjega zraka (T_{out}) in relativne vlažnosti zunanjega zraka (RH_{out}) v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

3.4.2 Rezultati kontinuiranih meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici

Slika 16 prikazuje časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici za obdobje od 1. septembra do 17. oktobra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobja prezračevanja, s sivo označeno območje prikazuje obdobje, ko je mehansko prezračevanje delovalo z višjo jakostjo od običajne, z rožnato barvo pa obdobje, ko je bilo mehansko prezračevanje izklopljeno. Z zeleno vodoravno črto je označena mejna C_{CO_2} za I kategorijo (800 ppm), z rumeno je označena mejna koncentracija za II kategorijo (970 ppm), z oranžno črto pa za III kategorijo (1370 ppm) (Dodd in sod., 2021a, SIST EN 16798-1:2019).

C_{CO_2} v notranjem zraku spalnice so v območju med 427 ppm in 1788 ppm, s povprečno vrednostjo 735 ppm. Najnižje C_{CO_2} (pod 1000 ppm) sovpadajo z obdobji prezračevanja, kar tudi nakazuje, da je CO_2 učinkovit kazalnik prezračevanja. Najvišje C_{CO_2} pa se pojavijo ponoči oziroma zgodaj zjutraj, saj v tem

času uporabnik spi in z dihanje ustvarja povišane količine CO₂ ter spalnice ne prezračuje dovolj učinkovito (glede na C_{CO_2}).



Slika 16: Časovni potek koncentracij CO₂ (C_{CO_2}) v zraku spalnice v obdobju od 1. septembra do 17. oktobra 2023

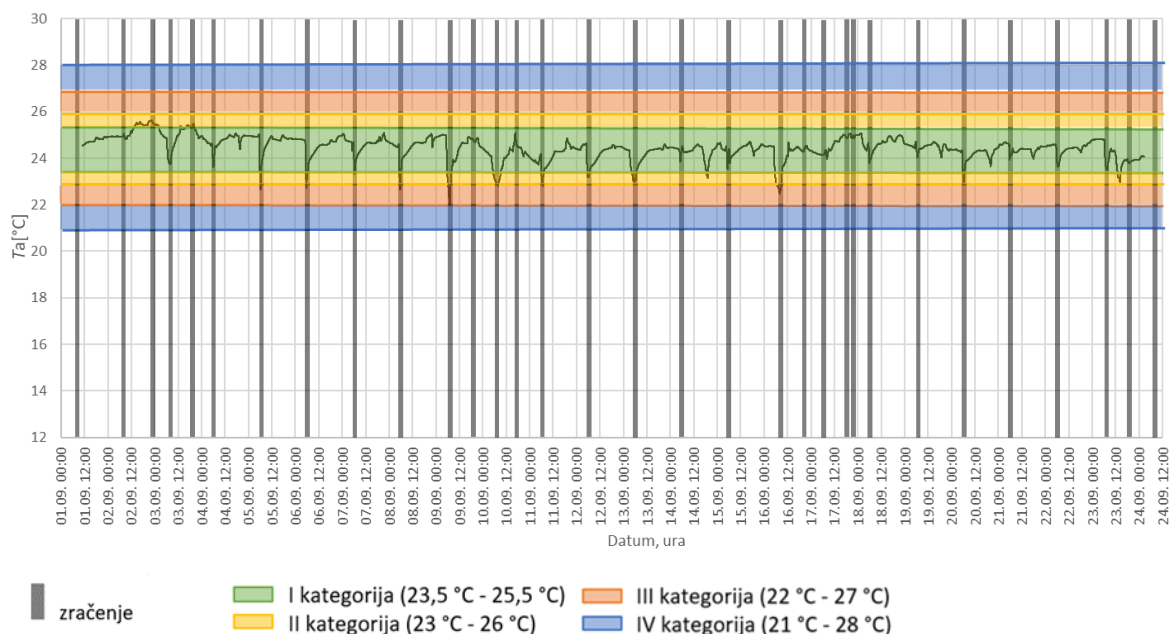
Po izvedenih meritvah smo izračunali trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so koncentracije CO₂ v zraku spalnice v območju različnih kategorij kakovosti notranjega okolja privzetih iz standarda SIST EN 16798-1:2019. Rezultati so prikazani v preglednici 13. Koncentracije CO₂ so bile v območju I kategorije ($C_{CO_2} < 800$ ppm) 714 ur (66 %); v II kategoriji ($800 \text{ ppm} < C_{CO_2} < 970$ ppm) 249 ur (23 %), v III kategoriji ($970 \text{ ppm} < C_{CO_2} < 1370$ ppm) 86 ur (8 %) in v IV kategoriji ($C_{CO_2} > 1370$ ppm) 38 ur (3 %). Zaželeno je, da bi bilo celotno opazovano obdobje C_{CO_2} v I kategoriji ($C_{CO_2} < 800$ ppm).

Preglednica 13: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na C_{CO_2} po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na C_{CO_2} [ppm]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16789- 1:2019
$C_{CO_2} < 800$	21426	42852	714	66	I
$800 < C_{CO_2} < 970$	7483	14966	249	23	II
$970 < C_{CO_2} < 1370$	2577	5154	86	8	III
$C_{CO_2} > 1370$	1128	2256	38	3	IV

Na sliki 17 je prikazan časovni potek temperature zraka (T_a) v spalnici za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo poldne in polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobja prezračevanja.

Podobno kot za C_{CO_2} , SIST EN 16798-1:2019 določa priporočene mejne vrednosti za temperaturo zraka v notranjih prostorih (razpone) za štiri kategorije kakovosti notranjega okolja. Z modro barvo je označeno območje IV kategorije (21-28 °C), z oranžno območje III kategorijo (22-27 °C), z rumeno območje II kategorijo (23-26 °C) in z zeleno območje I kategorije (23,5-25,5 °C).



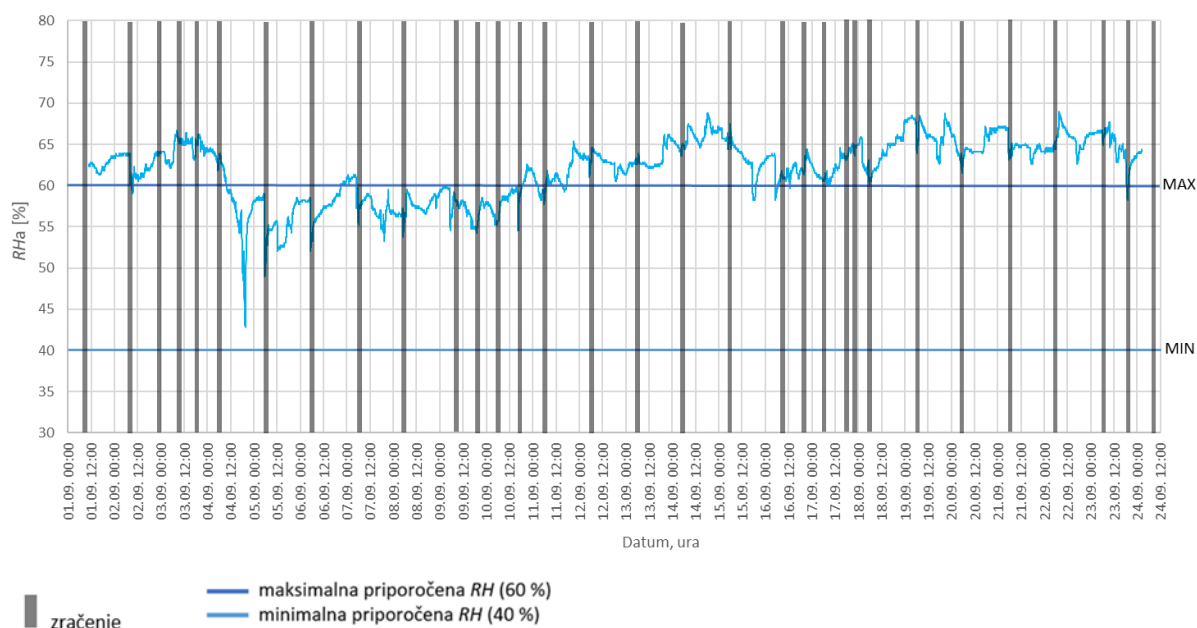
Slika 17: Časovni potek temperature zraka (T_a) v spalnici za obdobje od 1. septembra do 21. septembra 2023

Iz preglednice 14 je razvidno, da je večino opazovanega obdobja (95 %) temperatura zraka v območju od 23,5 °C do 25,5 °C, kar prostor uvršča v I kategorijo. V 4 % opazovanega obdobja se nahajamo v območju II kategorije in v 1 % v območju III kategorije.

Preglednica 14: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na T_a po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na T_a [°C]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798-1:2019
23,5 - 25,5	15498	30996	517	95	I
23,0 - 26,0	563	1126	19	4	II
22,0 - 27,0	246	492	4	1	III
21,0 - 28,0	0	0	0	0	IV

Na sliki 18 je prikazan časovni potek relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo poldne in polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobje prezračevanja. Oznaka MIN pri 40 % predstavlja minimalno vrednost RH_a , oznaka MAX pri 60 % pa maksimalno vrednost RH_a , pri kateri je uporabniku še udobno.



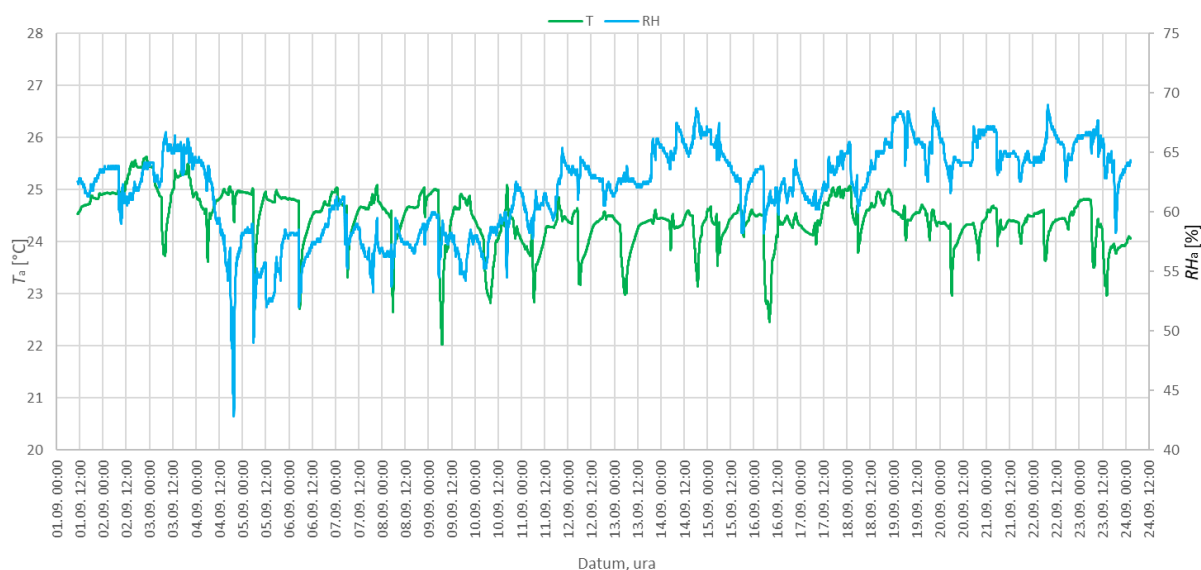
Slika 18: Časovni potek koncentracij relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

Ugotovili smo, da se le v 28 % opazovanega obdobja relativna vlažnost zraka v spalnici nahaja v območju ustrezne vlažnosti (40-60 %). 72 % opazovanega obdobja pa je relativna vlažnost nad 60 % relativne vlažnosti, kar rezultira v neudobju. Rezultati so prikazani v preglednici 15.

Preglednica 15: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na RH_a po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na RH_a [%]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798-1:2019
< 40	0	0	0	0	Neustrezno
40-60	4601	9202	153	28	Ustrezno
> 60	11706	23412	390	72	Neustrezno

Slika 19 prikazuje obratno sorazmernost med T_a in RH_a v spalnici. Zelena črta prikazuje časovni potek temperature zraka, modra črta pa časovni potek relativne vlažnosti zraka.

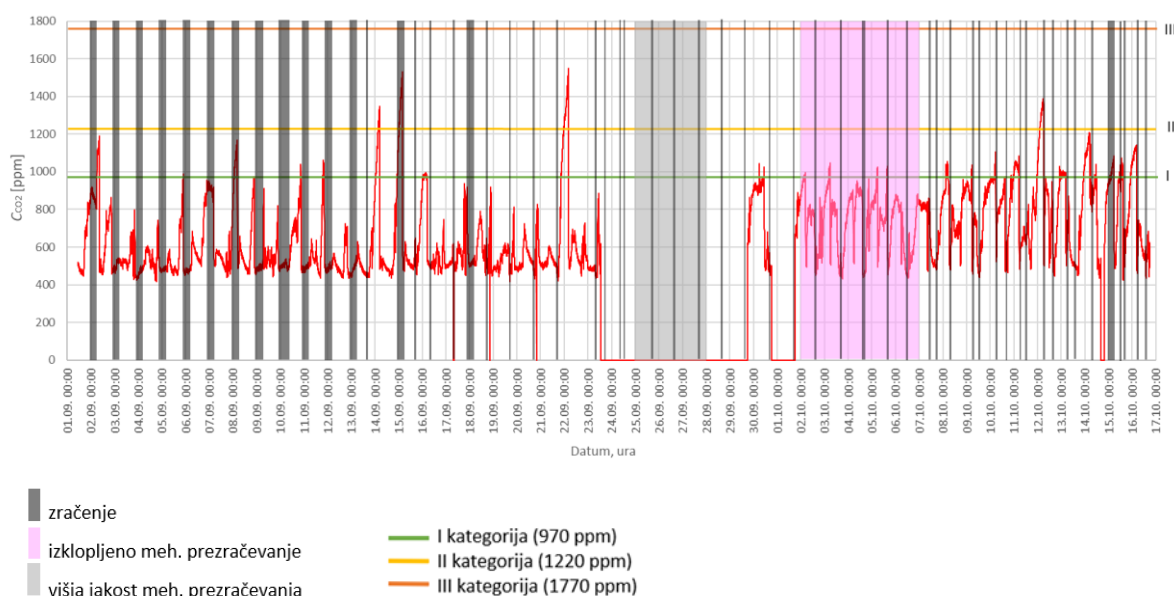


Slika 19: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

3.4.3 Rezultati kontinuiranih meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v dnevni sobi

Slika 22 prikazuje časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 17. oktobra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo polnoč. Enako kot pri prejšnjem primeru (slika 16) črno osenčena območja označujejo obdobja prezračevanja, sivo osenčena obdobje, ko je mehansko prezračevanje delovalo z višjo jakostjo od običajne, rožnato osenčeno pa obdobje, ko je bilo mehansko prezračevanje izklopljeno. Horizontalne črte označujejo mejne vrednosti C_{CO_2} glede na kategorijo kakovosti notranjega okolja: zelena, I kategorija (970 ppm); rumena, II kategorija (1220 ppm); oranžna, III kategorija (1770 ppm) (Dodd in sod., 2021a, SIST EN 16798-1:2019).

C_{CO_2} v notranjem zraku se v dnevne sobe so v območju med 415 ppm in 1548 ppm, s povprečno vrednostjo 666 ppm. Najnižje C_{CO_2} (pod 1000 ppm) sovpadajo z obdobji prezračevanja. Najvišje C_{CO_2} se pojavijo ponoči oziroma zgodaj zjutraj, saj v tem času uporabnik spi in z dihanje ustvarja povišane količine CO_2 ter ne prezračuje dovolj učinkovito (glede na C_{CO_2}).



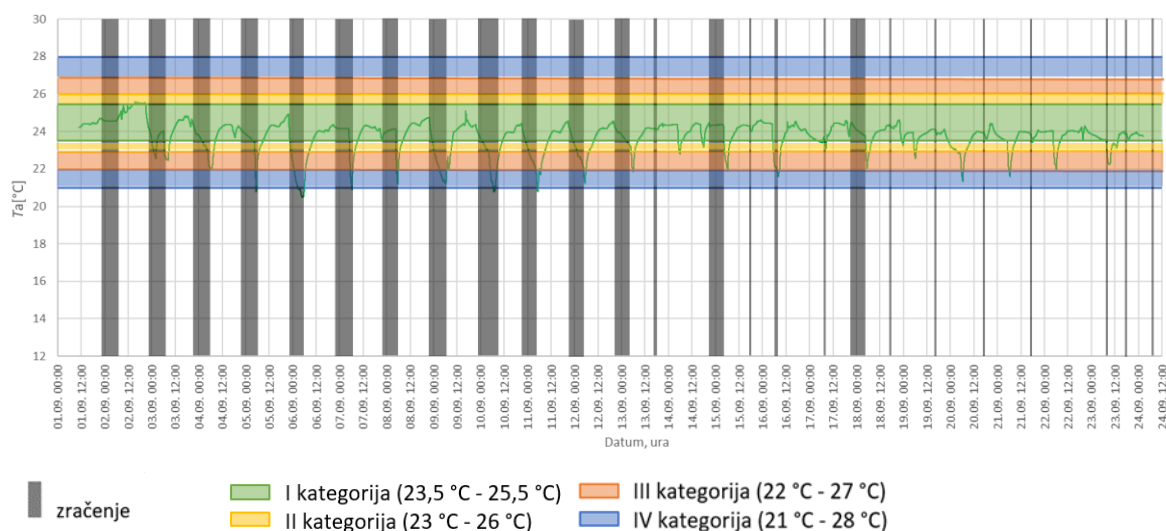
Slika 20: Časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v zraku dnevne sobe v obdobju od 1. septembra do 17. oktobra 2023

Po izvedenih meritvah smo izračunali trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so koncentracije CO_2 v zraku dnevne sobe v območju različnih kategorij kakovosti notranjega okolja privzetih iz standarda SIST EN 16798-1:2019. Rezultati so prikazani v preglednici 16. Koncentracije CO_2 so bile v območju I kategorije ($C_{\text{CO}_2} < 970$ ppm) 1012 ur (93 %); v II kategoriji ($970 \text{ ppm} < C_{\text{CO}_2} < 1220$ ppm) 61 ur (6 %) in v III kategoriji ($1220 \text{ ppm} < C_{\text{CO}_2} < 1770$ ppm) 14 ur (1 %). Zaželeno je, da bi bilo celotno opazovano obdobje C_{CO_2} v I kategoriji ($C_{\text{CO}_2} < 970$ ppm).

Preglednica 16: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na C_{CO_2} po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na C_{CO_2} [ppm]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798-1:2019
$C_{\text{CO}_2} < 970$	30371	60742	1012	93	I
$970 < C_{\text{CO}_2} < 1220$	1828	3656	61	6	II
$1220 < C_{\text{CO}_2} < 1770$	415	830	14	1	III
$C_{\text{CO}_2} > 1770$	0	0	0	0	IV

Na sliki 21 je prikazan časovni potek temperature zraka (T_a) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo poldne in polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobja prezračevanja. Po standardu SIST EN 16798-1:2019 so štiri kategorije kakovosti notranjega okolja naslednje: IV kategorija (21-28 °C), označena z modro barvo; III kategorija (22-27 °C), označena z oranžno barvo; II kategorija (23-26 °C), označena z rumeno barvo in I kategorija (23,5-25,5 °C), označena z zeleno barvo.



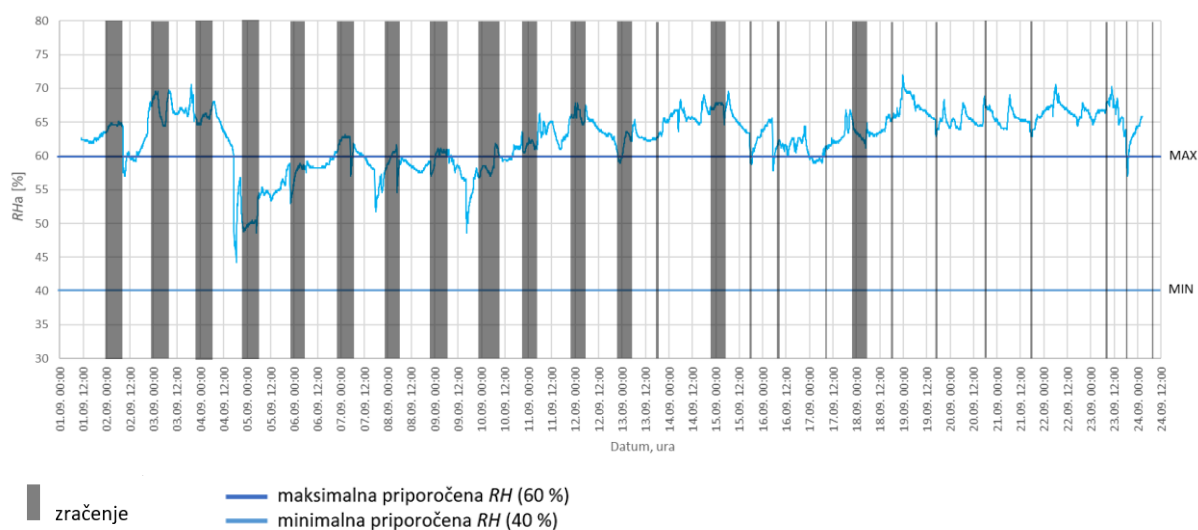
Slika 21: Časovni potek temperature zraka (T_a) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023

Iz preglednice 17 je razvidno, da je večino opazovanega obdobja (75 %) temperatura zraka v območju od 23,5 °C do 25,5 °C, kar prostor uvršča v I kategorijo. V 11 % opazovanega obdobja se nahajamo v območju II kategorije, v 9 % v območju III kategorije in v 4 % v območju IV kategorije. V 1 % opazovanega obdobja se nahajamo pod mejno vrednostjo 21 °C za IV kategorijo.

Preglednica 17: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na T_a po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na T_a [%]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798-1:2019
23,5 - 25,5	12184	24368	406	75	I
23,0 - 26,0	1820	3640	61	11	II
22,0 - 27,0	1555	3110	26	9	III
21,0 - 28,0	596	1192	10	4	IV
< 21,0	152	304	3	1	

Na sliki 22 je prikazan časovni potek relativne vlažnosti zraka (RH_a) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo poldne in polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobje prezračevanja. Oznaka MIN pri 40 % predstavlja minimalno vrednost RH_a , oznaka MAX pri 60 % pa maksimalno vrednost RH_a , pri kateri je uporabniku še udobno.



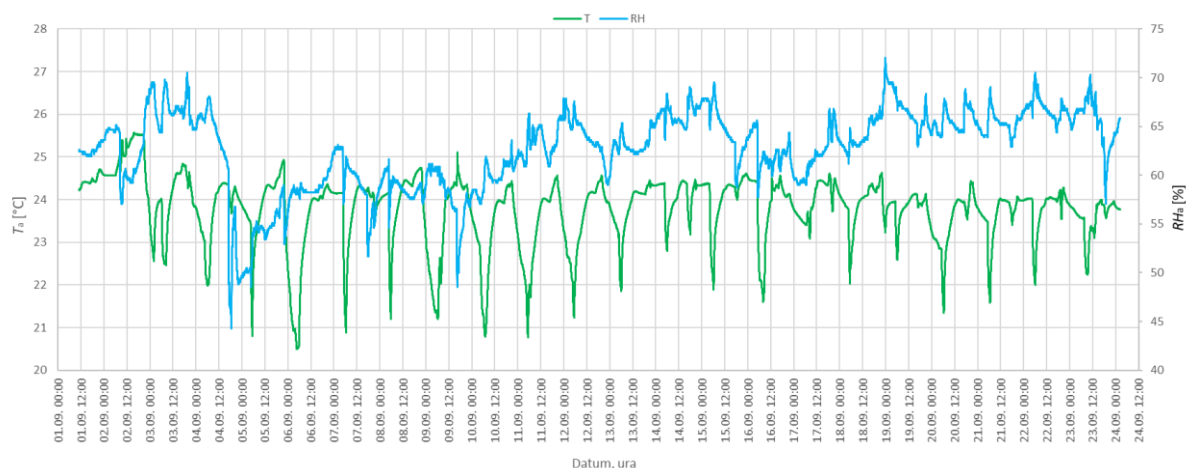
Slika 22: Časovni potek koncentracij relativne vlažnosti zraka (RH_a) v dnevni sobi za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023

Ugotovili smo, da se le v 25 % opazovanega obdobja relativna vlažnost zraka v dnevni sobi nahaja v območju ustrezne vlažnosti (40-60 %). 75 % opazovanega obdobja pa je RH_a nad 60 % relativne vlažnosti, kar rezultira v neudobju. Rezultati so prikazani v preglednici 18.

Preglednica 18: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na RH_a po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na RH_a [%]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798- 1:2019
< 40	0	0	0	0	Neustrezno
40-60	4094	8188	137	25	Ustrezno
> 60	12213	24426	407	75	Neustrezno

Slika 23 prikazuje obratno sorazmernost med T_a in RH_a v dnevni sobi. Zelena črta prikazuje časovni potek temperature zraka, modra črta pa časovni potek relativne vlažnosti zraka.

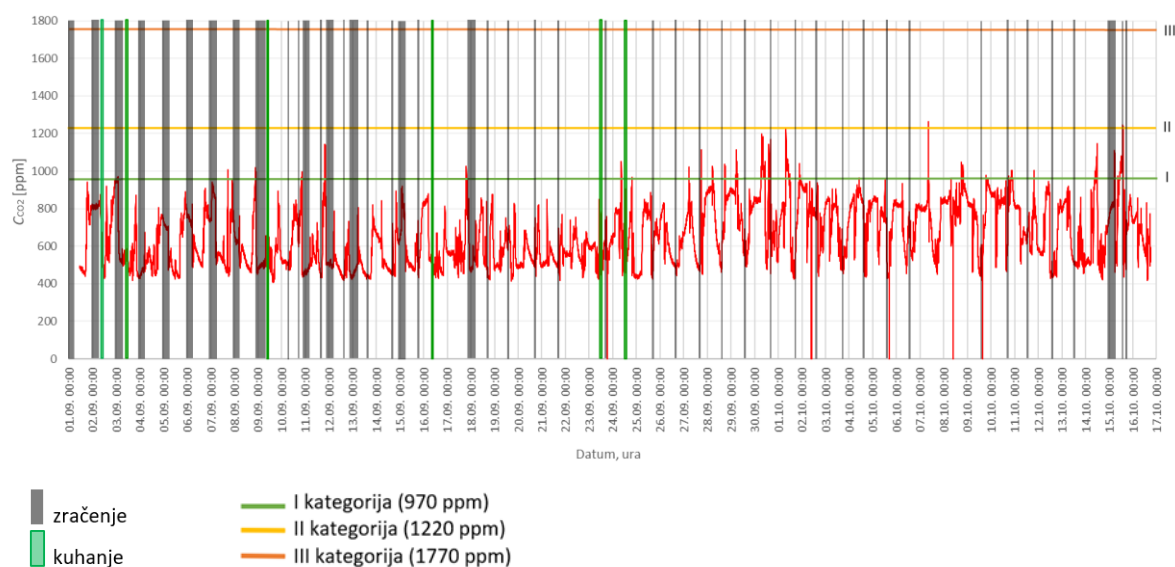


Slika 23: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_{out}) v dnevni sobi v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

3.4.4 Rezultati kontinuiranih meritev koncentracij CO_2 (C_{CO_2}), temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji

Slika 24 prikazuje časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v kuhinji za obdobje od 1. septembra do 17. oktobra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobja prezračevanja, zeleno osenčena območja pa obdobje kuhanja. Horizontalne črte označujejo mejne vrednosti C_{CO_2} glede na kategorijo kakovosti notranjega okolja: zelena, I kategorija (970 ppm); rumena, II kategorija (1220 ppm); oranžna, III kategorija (1770 ppm) (Dodd in sod., 2021a, SIST EN 16798-1:2019).

C_{CO_2} v notranjem zraku v kuhinji so v območju med 406 ppm in 1263 ppm, s povprečno vrednostjo 654 ppm. Najnižje C_{CO_2} (pod 1000 ppm) sovpadajo z obdobji prezračevanja. Najvišje C_{CO_2} se pojavijo, ko so v prostoru prisotni uporabniki. V času kuhanja je bilo okno ves čas odprto, zato kuhanje ni imelo velikega vpliva na koncentracije CO_2 .



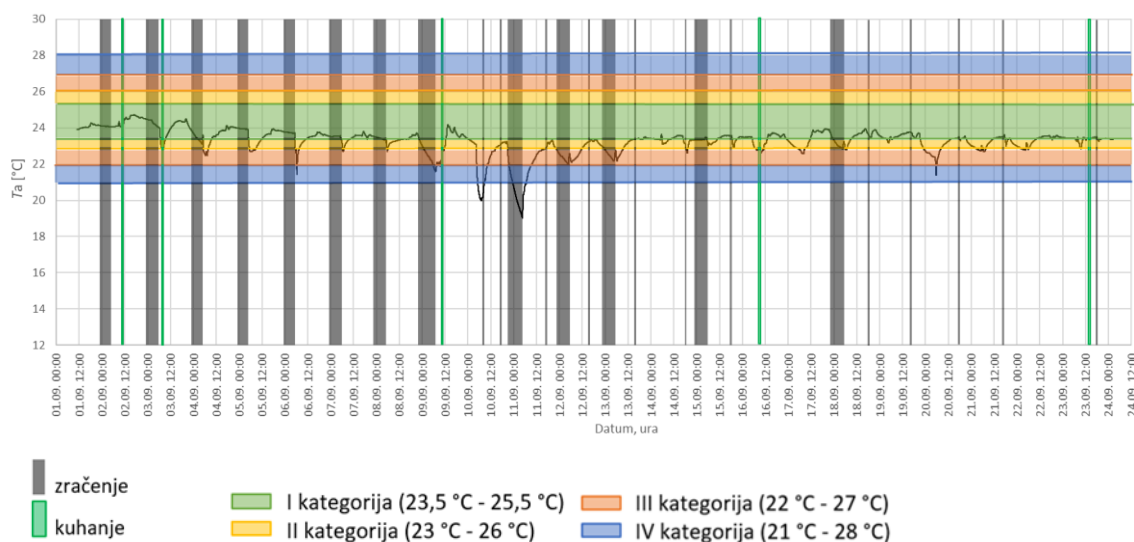
Slika 24: Časovni potek koncentracij CO_2 (C_{CO_2}) v zraku kuhinje v obdobju od 1. septembra do 17. oktobra 2023

Po izvedenih meritvah smo izračunali trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so koncentracije CO_2 v zraku kuhinje v območju različnih kategorij kakovosti notranjega okolja privzetih iz standarda SIST EN 16798-1:2019. Rezultati so prikazani v preglednici 19. Koncentracije CO_2 so bile v območju I kategorije ($C_{\text{CO}_2} < 970$ ppm) 1067 ur (98 %); v II kategoriji ($970 \text{ ppm} < C_{\text{CO}_2} < 1220$ ppm) 19 ur (2 %) in v III kategoriji ($1220 \text{ ppm} < C_{\text{CO}_2} < 1770$ ppm) 0,6 ure (0,1 %). Zaželeno je, da bi bilo celotno opazovano obdobje C_{CO_2} v I kategoriji ($C_{\text{CO}_2} < 970$ ppm).

Preglednica 19: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na C_{CO_2} po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na C_{CO_2} [ppm]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798- 1:2019
$C_{\text{CO}_2} < 970$	32019	64038	1067	98	I
$970 < C_{\text{CO}_2} < 1220$	578	1156	19	2	II
$1220 < C_{\text{CO}_2} < 1770$	17	34	0.6	0.1	III
$C_{\text{CO}_2} > 1770$	0	0	0	0	IV

Na sliki 25 je prikazan časovni potek temperature zraka (T_a) v kuhinji za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo poldne in polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobja prezračevanja, zeleno osenčena območja pa obdobje kuhanja. Po standardu SIST EN 16798-1:2019 so štiri kategorije kakovosti notranjega okolja naslednje: IV kategorija (21-28 °C), označena z modro barvo; III kategorija (22-27 °C), označeno z oranžno barvo; II kategorija (23-26 °C), označeno z rumeno barvo in I kategorija (23,5-25,5 °C), označeno z zeleno barvo.



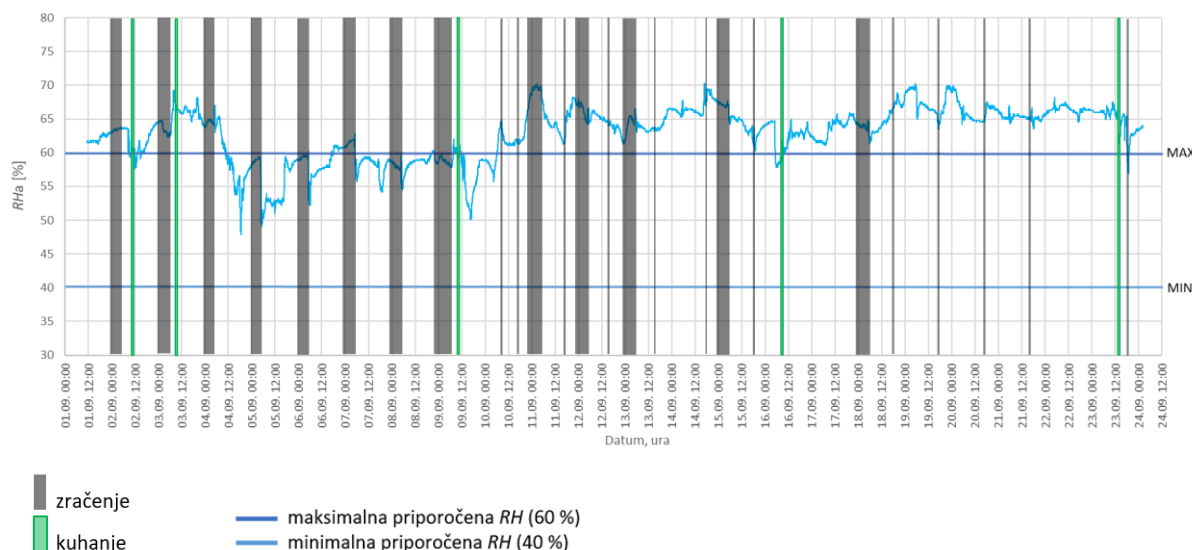
Slika 25: Časovni potek temperature zraka (T_a) v kuhinji za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023

Iz preglednice 20 je razvidno, da je T_a v območju od 23,5 °C do 25,5 °C (I kategorija) le 37 % opazovanega obdobja. V 39 % opazovanega obdobja se nahajamo v območju II kategorije, v 20 % v območju III kategorije in v 2 % v območju IV kategorije. V 2 % opazovanega obdobja se nahajamo pod mejno vrednostjo 21 °C za IV kategorijo.

Preglednica 20: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na T_a po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na T_a [%]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798-1:2019
23,5 - 25,5	6023	12046	201	37	I
23,0 - 26,0	6422	12844	214	39	II
22,0 - 27,0	3213	6426	107	20	III
21,0 - 28,0	321	642	5	2	IV
< 21,0	328	656	5	2	

Na sliki 26 je prikazan časovni potek relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji za obdobje od 1. septembra do 24. septembra 2023. Navpične mrežne črte prikazujejo poldne in polnoč. Črno osenčena območja označujejo obdobje prezračevanja, zeleno osenčena območja pa obdobje kuhanja. Oznaka MIN pri 40 % predstavlja minimalno vrednost RH_a , oznaka MAX pri 60 % pa maksimalno vrednost RH_a , pri kateri je uporabniku še udobno.



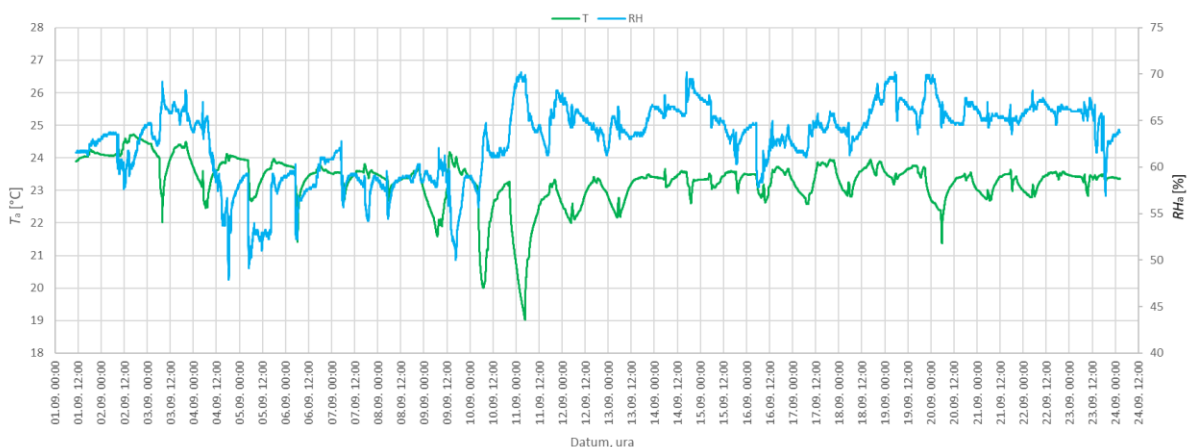
Slika 26: Časovni potek koncentracij relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

Ugotovili smo, da se le v 24 % opazovanega obdobja relativna vlažnost zraka v kuhinji nahaja v območju ustrezne vlažnosti (40-60 %). 76 % opazovanega obdobja pa je RH_a nad 60 % relativne vlažnosti, kar rezultira v neudobju. Rezultati so prikazani v preglednici 21.

Preglednica 21: Trajanje meritev (h) in delež v opazovanem obdobju (%), ko so razmere v območju kategorije kakovosti notranjega okolja IAQ (I – IV), glede na RH_a po standardu SIST EN 16798-1:2019

Kategorija IAQ glede na RH_a [%]	Št. meritev	Trajanje kategorije IAQ (minute)	Trajanje kategorije IAQ (h)	Delež v opazovanem obdobju [%]	Kategorija po SIST EN 16798-1:2019
< 40	0	0	0	0	Neustrezno
40-60	3965	7930	132	24	Ustrezno
> 60	12342	24684	411	76	Neustrezno

Slika 27 prikazuje obratno sorazmernost T_a in RH_a v kuhinji. Zelena črta prikazuje časovni potek temperature zraka, modra črta pa časovni potek relativne vlažnosti zraka.



Slika 27: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in koncentracije relativne vlažnosti zraka (RH_a) v kuhinji v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

V preglednici 22 so, zaradi boljšega pregleda rezultatov, za vse merjene parametre C_{CO_2} , T_a , in RH_a z različnimi merilniki in v različnih prostorih, prikazane minimalne, maksimalne in povprečne koncentracije ter standardna deviacija.

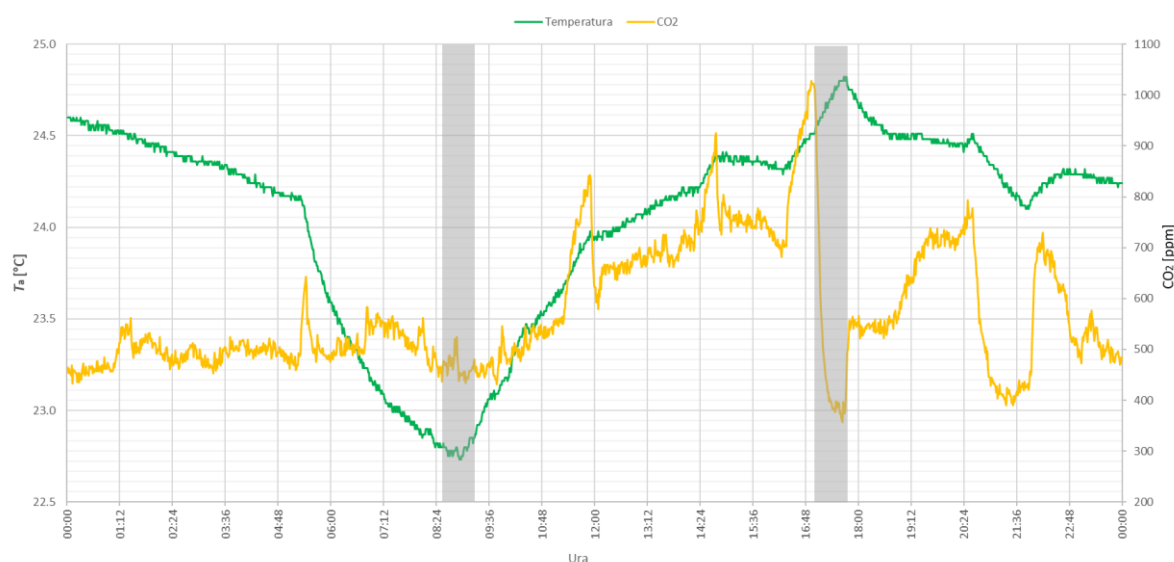
Preglednica 22: Minimalna, maksimalna in povprečna koncentracija ter standardna deviacija izmerjenih parametrov T_a , RH_a in C_{CO_2}

Koncentracija CO_2 (C_{CO_2})				
Št. merilnika	Prostor	MIN [ppm]	MAX [ppm]	AM $\pm$ ASD [ppm]
1	Spalnica	427	1788	735 $\pm$ 241
2	Dnevna soba	415	1548	666 $\pm$ 202
3	Kuhinja	406	1263	654 $\pm$ 155
Temperatura zraka (T_a)				
Št. merilnika	Prostor	MIN [°C]	MAX [°C]	AM $\pm$ ASD [°C]
16	Zunaj	14	28	20 $\pm$ 3
17	Dnevna soba	21	26	24 $\pm$ 1
19	Spalnica	22	26	25 $\pm$ 1
20	Kuhinja	19	25	23 $\pm$ 1
Relativna vlažnost zraka (RH_a)				
Št. merilnika	Prostor	MIN [%]	MAX [%]	AM $\pm$ ASD [%]
16	Zunaj	45	87	70 $\pm$ 10
17	Dnevna soba	44	72	63 $\pm$ 4
19	Spalnica	43	69	62 $\pm$ 4
20	Kuhinja	48	70	63 $\pm$ 4

3.4.5 Odvisnost posameznih parametrov kakovosti notranjega okolja in vpliv prezračevanja na primeru meritev v spalnici za dan 10. 9.

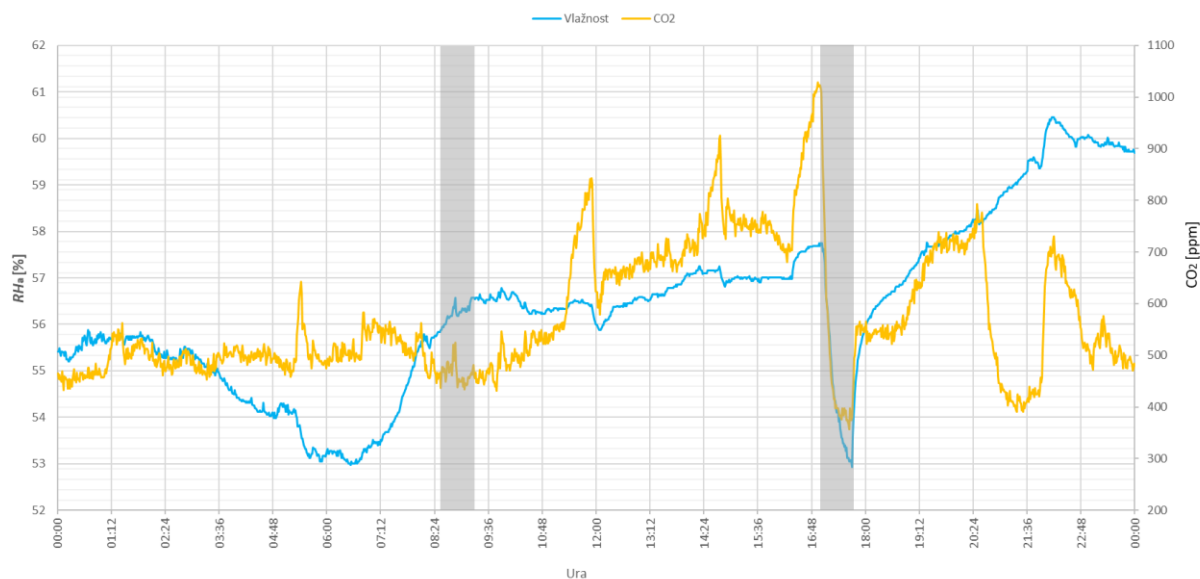
Zaradi velikega razpona opazovanega obdobja, smo preverili, kako parametri variirajo v obdobju 24 ur. Na slikah 28, 29 in 30 so prikazani dnevni poteki koncentracije CO_2 (C_{CO_2}), relativne vlažnosti (RH_a) in temperature zraka (T_a) v spalnici na izbrani dan 10.9.. Mehansko prezračevanje je delovalo z običajno stopnjo delovanja.

Slika 28 prikazuje odvisnost med T_a in C_{CO_2} v spalnici. Temperatura zraka v spalnici preko noči pada (24,6 °C ob polnoči, 22,8 °C ob 9. uri zjutraj), zaradi vpliva aktivnega sistema centralnega ogrevanja v nočnem času (nastavljena nižja nastavitvena temperatura sistema ogrevanja) in sočasnega vpliva toplotnega odziva stavbnega ovoja (transmisijske toplotne izgube). Preko dneva temperatura narašča (do 24,8 °C), pade šele po 18. uri, ko se znižajo tudi zunanje temperature. Pri drugem prezračevanju (približno ob 17. uri) temperatura naraste, saj so zunanje temperature višje od notranjih (okoli 26 °C), koncentracije CO_2 pa padejo iz 1030 ppm na 380 ppm. Pri prvem prezračevanju (zjutraj) temperatura rahlo pade, zaradi nizke zunanje temperature.



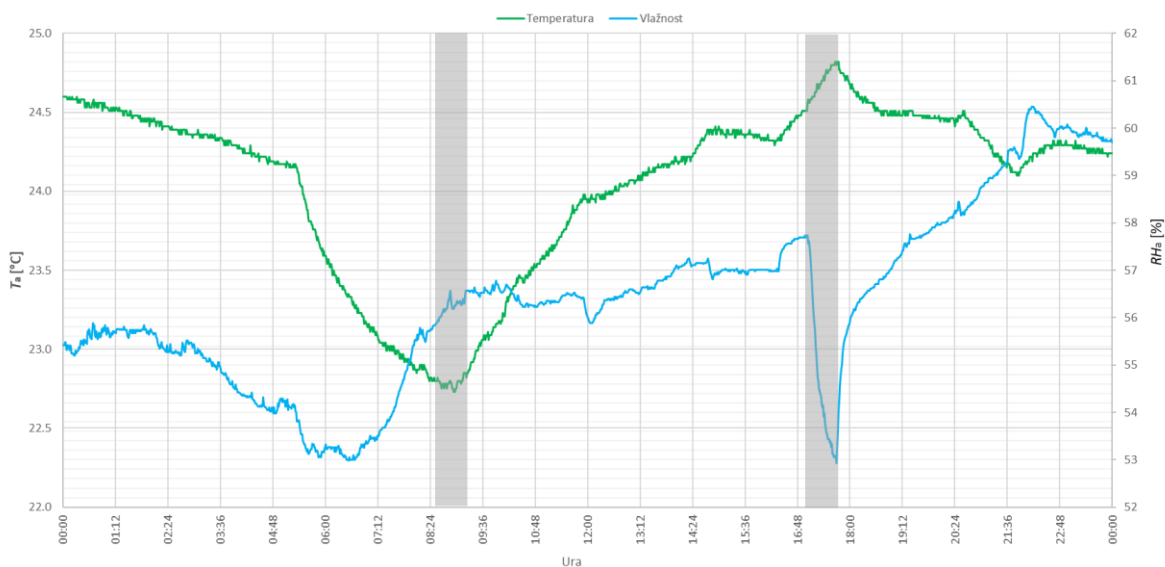
Slika 28: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici dne 10. septembra 2023

Slika 29 prikazuje časovni potek RH_a in C_{CO_2} v spalnici. Pri prvem prezračevanju zjutraj RH_a v spalnici naraste, saj so zunanje koncentracije relativne vlažnosti visoke (okoli 75 %). Pri drugem prezračevanju v popoldanskem času pa RH_a pade iz 58 % na 53 %, saj so zunanje vrednosti nizke (okoli 50 %).



Slika 29: Časovna poteka relativne vlažnosti zraka (RH_a) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici dne 10. septembra 2023

Slika 30 prikazuje časovni potek T_a in RH_a v spalnici. Parametra sta med seboj obratno sorazmerna in sledita zunanji temperaturi in zunanji koncentraciji relativne vlažnosti. V času prvega prezračevanja zgodaj zjutraj je T_{out} nizka (okoli 16 °C), RH_{out} pa visoka (okoli 75 %), zato T_a v spalnici pade, RH_a pa zraste. Pri drugem prezračevanju popoldne pa je T_{out} visoka (okoli 25 °C), RH_{out} pa nizka (okoli 53 %), zato T_a v spalnici zraste, RH_a pa pade.



Slika 30: Časovna poteka temperature zraka (T_a) in relativne vlažnosti zraka (RH_a) v spalnici dne 10. septembra 2023

3.4.6 Koncentracije CO₂ (C_{CO2}) v odvisnosti od scenarija prezračevanja

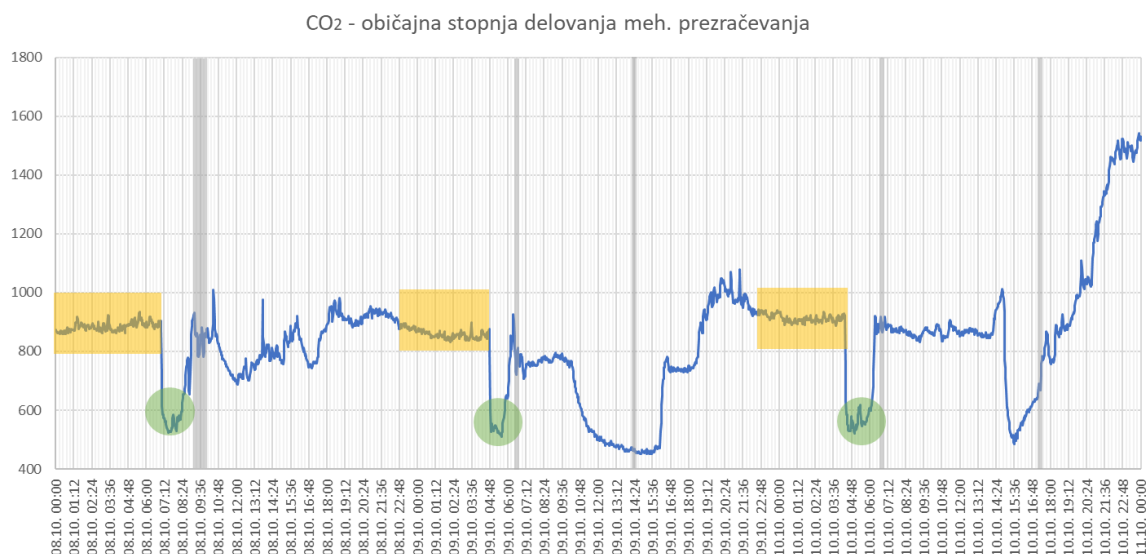
Preglednica 23 prikazuje različne scenarije prezračevanja, ki smo jih preučevali tekom študije. Preverili smo stanje, ko je mehansko prezračevanje delovalo z običajno stopnjo delovanja, ko je bilo mehansko prezračevanje izklopljeno in ko je mehansko prezračevanje delovalo z višjo stopnjo delovanja.

Preglednica 23: Scenarij mehanskega prezračevanja v spalnici

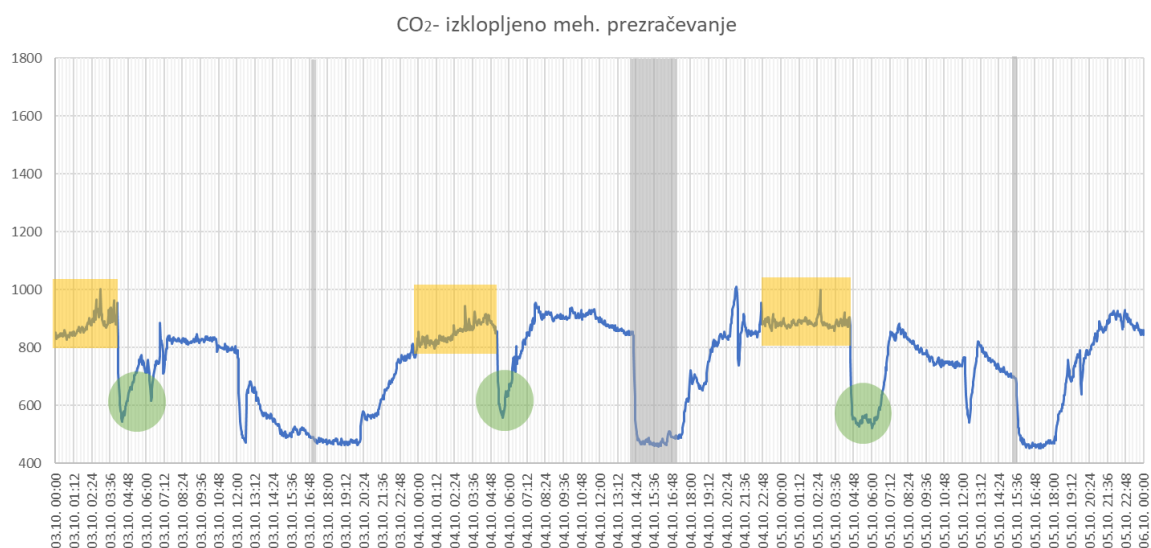
scenarij prezračevanja	običajna stopnja delovanja	izklopljeno	višja stopnja delovanja
obdobje	8.10. - 10.10.	3.10. - 5.10.	25.9. - 27.9.
AVG [ppm]	831	742	731
MIN [ppm]	451	452	433
MAX [ppm]	1542	1009	1609

V primeru mehanskega prezračevanja, ki je delovalo z običajno stopnjo delovanja, so znašale C_{CO2} v območju od 451 ppm do 1542 ppm (povprečje 831 ppm). V času, ko je bilo mehansko prezračevanje izklopljeno, ni bilo prisotnih stanovalcev, zato je znašala koncentracija v območju od 452 ppm do 1009 ppm (povprečje 742 ppm). V primeru mehanskega prezračevanja, ki je delovalo s višjo stopnjo delovanja, so znašale C_{CO2} v območju od 433 ppm do 1609 ppm (povprečje 731 ppm). Cilj učinkovitega prezračevanja je v dosegu čim nižje možne C_{CO2} (kategorija I). Če želimo še dodatno znižati C_{CO2} bodo potrebne izboljšave, katere bomo predlagali v poglavju 3.5 Nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka.

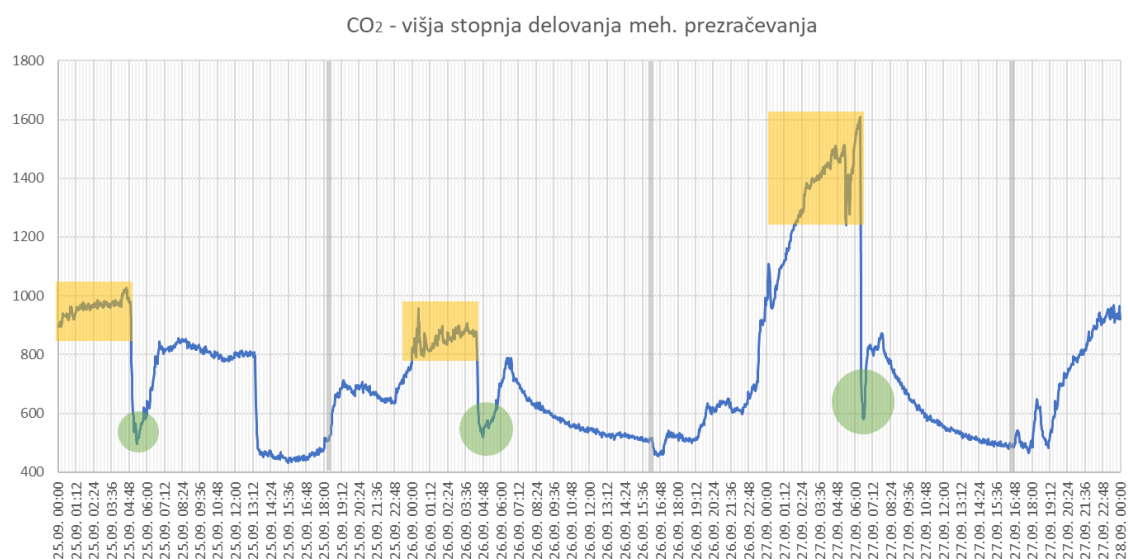
Slike 31, 32 in 33 prikazujejo časovni potek C_{CO2} v spalnici pri različnih scenarijih prezračevanja, ki so opisani v preglednici 23. Zaradi boljše preglednosti so z zelenim krogom označene kontinuirane nizke C_{CO2} zgodaj zjutraj. Z rumenim kvadratom pa visoke C_{CO2} ponoči, ko uporabnik spi. Sivo označena območja označujejo obdobje prezračevanja.



Slika 31: Časovni potek koncentracije CO₂ (C_{CO2}) v spalnici pri običajni stopnji delovanja mehanskega prezračevanja v obdobju od 8. oktobra do 10. oktobra 2023



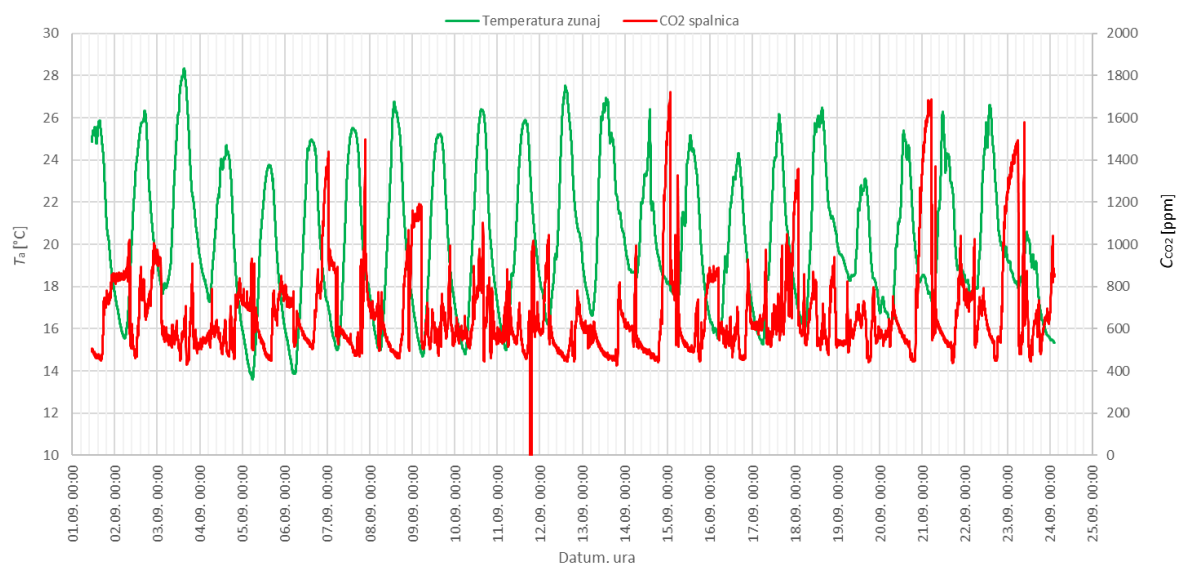
Slika 32: Časovni potek koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici pri izklopljenem mehanskem prezračevanju v obdobju od 3. oktobra do 5. oktobra 2023



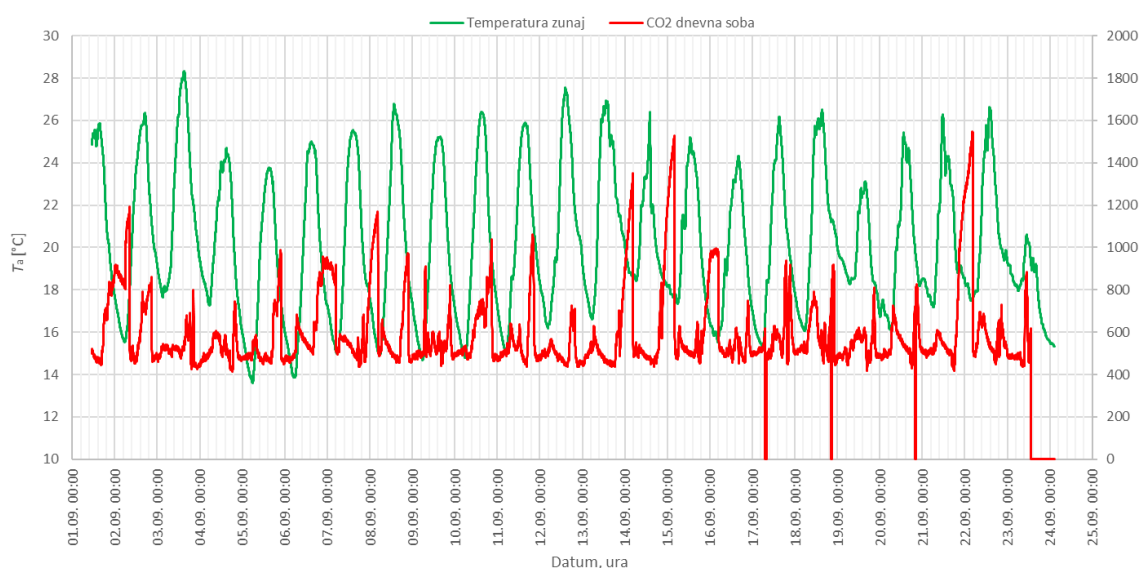
Slika 33: Časovni potek koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v spalnici pri višji stopnji delovanja mehanskega prezračevanja v obdobju od 25. septembra do 27. septembra 2023

3.4.7 Koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v odvisnosti od temperature zunanjega zraka (T_{out})

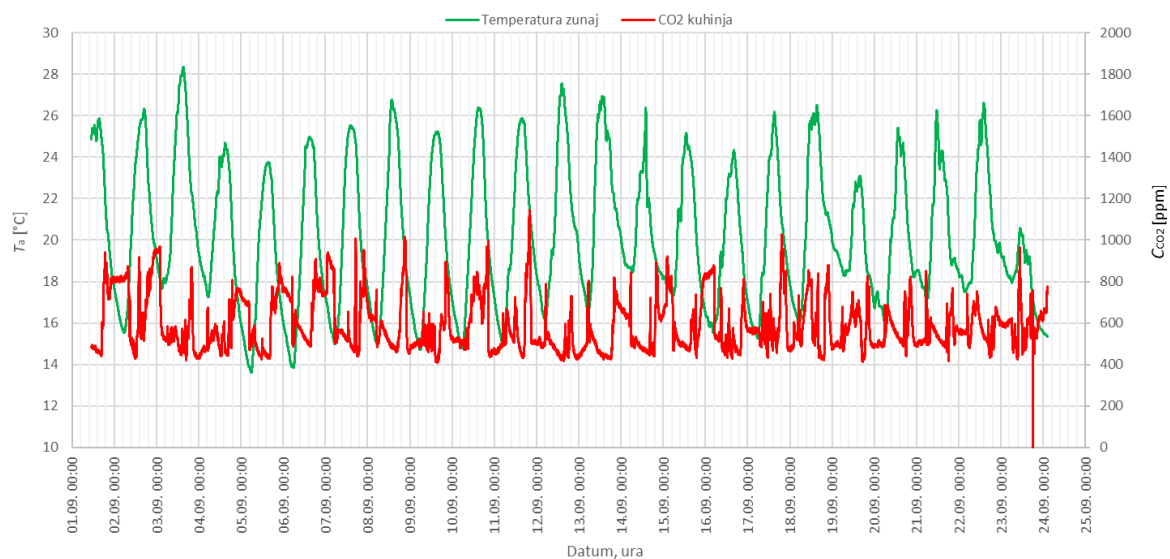
Slike 34-36 prikazujejo časovni potek T_{out} in C_{CO_2} v bivalnih prostorih (S, DS in K). Kot ugotavljajo ostale študije (Vene, 2023), se pojavlja značilen dnevni cikel, parametra pa sta obratno sorazmerna še posebej po učinkovitem kontroliranem prezračevanju (in nekontroliranem v primeru manj tesnega ovoja). Koncentracija CO_2 je najvišja v zgodnjih jutranjih urah in nato pade proti večeru, medtem ko T_{out} narašča proti večeru, najnižja pa je ravno v času visokih koncentracij CO_2 (zgodaj zjutraj). Povprečna temperatura zunanjega zraka je 20,2 °C.



Slika 34: Časovni potek temperature zunanega zraka (T_{out}) in koncentracije CO_2 (C_{CO2}) v spalnici v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023



Slika 35: Časovni potek temperature zunanega zraka (T_{out}) in koncentracije CO_2 (C_{CO2}) v dnevni sobi v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023



Slika 36: Časovni potek temperature zunanjega zraka (T_{out}) in koncentracije CO_2 (C_{CO_2}) v kuhinji v obdobju od 1. septembra do 24. septembra 2023

3.5 Nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka

Namen prezračevanja je zagotoviti zadostno količino svežega zraka za uporabnika. Pri tem je pomembno, da je zunanji zrak zadostne kakovosti. Stavba je locirana v Ljubljani, kjer je kakovost zraka pogosto slaba. Še posebej v hladni polovici leta, ko nastopi temperaturna inverzija, ter delu dneva, ko so prometne konice. V primeru mehanskega prezračevanja se priporoča vgradnja filtrov, ki preprečijo vstop zunanjih onesnaževal v notranjost. Te smo razložili v poglavju 3.2.4.5 Kategorija kakovosti dovedenega zraka (SUP) in specifikacija filtrov. V primeru naravnega prezračevanja, pa naj se vrši takrat, ko so koncentracije zunanjih onesnaževal nižje in ne v času prometnih konic.

Sistem mehanskega prezračevanja je načrtovan na volumne 15 do 30 m³/h, po Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb je najmanjši potreben vtok zunanjega zraka 15 m³/h na osebo. V stavbah z vgrajenimi mehanskimi sistemi za prezračevanje je zahtevana volumska izmenjava zraka lahko manjša, $n < 0,5 \text{ h}^{-1}$. Količina zraka za prezračevanje, zagotovljena mehansko ali naravno, vpliva na koncentracije notranjih onesnaževal, še posebej CO₂, katerega prištevamo med uveljavljene kazalnike učinkovitosti prezračevanja. Deležniki načrtovanja prezračevanja si naj prizadevajo doseči optimalno prezračevanje, kjer je zagotovljena kakovost notranjega okolja (CO₂ v spalnicah pod 800 ppm, v ostalih bivalnih prostorih pod 970 ppm – I kategorija kakovosti notranjega okolja po standardu SIST EN 16798-1:2019). Ta naj se določa po metodologiji predstavljeni v poglavju 3.3 Priporočila na področju kakovosti notranjega okolja.

Kot za CO₂ je tudi za temperaturo zraka (T_a) priporočeno, da se nahaja v I kategoriji, to pomeni, da je T_a med 23,5 in 25,5 °C. Pri relativni vlažnosti (RH_a) je priporočeno, da se nahaja med 40 in 60 %.

Preverili smo, kolikšen delež v opazovanem obdobju (izraženo v %) C_{CO_2} , T_a in RH_a v posameznih prostorih dosegajo priporočene vrednosti in koliko časa jih ne. Rezultati so prikazani v preglednici 24.

Preglednica 24: Pogoji za ustrezno kakovost notranjega okolja glede C_{CO_2} , T_a in RH_a ter delež v opazovanem obdobju (izraženo v %), ko je pogoj ustreznosti dosežen in ko ni dosežen

Spalnica	Pogoj	Ustrezno [%]	Neustrezno [%]
C_{CO_2} [ppm]	< 800 ppm	66 %	34 %
T_a [°C]	23,5 - 25,5 °C	95 %	5 %
RH_a [%]	40 - 60 %	28 %	72 %
Dnevna soba			
C_{CO_2} [ppm]	< 970 ppm	93 %	7 %
T_a [°C]	23,5 - 25,5 °C	75 %	25 %
RH_a [%]	40 - 60 %	25 %	75 %
Kuhinja			
C_{CO_2} [ppm]	< 970 ppm	98 %	2 %
T_a [°C]	23,5 - 25,5 °C	37 %	63 %
RH_a [%]	40 - 60 %	24 %	76 %

Največja odstopanja od priporočil (40-60 %) imamo pri RH_a , saj so v spalnici nad priporočeno vrednostjo kar 72 % opazovanega obdobja, v dnevni sobi 75 % in v kuhinji 76 %. Pri C_{CO_2} najbolj izstopa spalnica, saj je v 34 % nad priporočeno vrednostjo, v dnevni sobi ni ustrezno le 7 % opazovanega

obdobja in v kuhinji 2 %. Glede T_a največji problem nastopi v kuhinji, saj 63 % opazovanega obdobja temperatura ne dosega priporočil. V spalnici je neustrezno le 5 % opazovanega obdobja, v dnevni sobi pa 25 %.

Ugotovili smo, da obstoječe prezračevanje ne zagotavlja priporočenih vrednosti ves čas eksperimenta.

Glede koncentracij CO_2 so najpogostejša odstopanja od priporočenih vrednosti v spalnici (34 % opazovanega obdobja nad 800 ppm). Priporočali bi povečati jakost prezračevanja (volumski pretoki). Trend je tudi namestitev senzorjev CO_2 , ki so povezani z centralnim nadzornim sistemom, ki avtomatsko regulira prezračevanje. Alternativa so tudi barvni javljalniki - semaforji, ki označujejo prekoračene koncentracije CO_2 in opozarjajo uporabnike na dodatno prezračevanje. Poleg CO_2 pa se skuša znižati tudi ostala notranja onesnaževala, zato je priporočena vgradnja materialov, ki so nizkoemisijski. V ostalih prostorih so prekoračene vrednosti C_{CO_2} dokaj redke: v dnevni sobi 7 % in v kuhinji 2 %. Pogostejše prezračevanje je vseeno dobrodošlo.

Meritve relativne vlažnosti zraka so pokazale, da so v vseh prostorih večino časa RH_a nad priporočenimi koncentracijami (40-60 %): v spalnici 72 % opazovanega obdobja, v dnevni sobi 75 %, v kuhinji 76 %. Prekomerna vlažnost pogosto rezultira v rasti in razvoju plesni, zato predlagamo namestitev razvlažilnikov zraka ob podpori učinkovitega prezračevanja za čas, ko je RH_a presežena.

Temperature so najpogostejše nad priporočenimi vrednostmi v kuhinji (63 %) in v dnevni sobi (25 %). Priporočamo uporabo zunanjih senčil za preprečevanje pregrevanja prostorov v času visokih zunanjih temperatur poleti in prezračevanje le v zgornjih jutranjih in poznih večernih urah, ko so zunanje temperature zraka nižje.

4 ZAKLJUČEK

Če želimo doseči izboljšanje kakovosti življenja prebivalcev in ohranjanje okolja, bo morala biti graditev stavb trajnostna. Pri tem bo potrebno v vseh fazah graditve stavb (načrtovanje, gradnja, uporaba) v čim večji možni meri upoštevati okoljske, zdravstvene, ekonomske in socialne kazalnike in merila trajnostnega razvoja. Deležnikom graditve stavb bo v veliko pomoč enotni evropski okvir za trajnostno vrednotenje stavb Level(s). Ta je prilagojen evropskim normam. Okvir Level(s) vključuje kazalnike in merila za vrednotenje trajnostne učinkovitosti stavb v njihovem življenjskem krogu. Pokriva tri tematike: 1. okoljska učinkovitost in raba virov; 2. zdravje in udobje; 3. stroški in vrednotenje v življenjskem ciklu ter ocena tveganj.

Na problematiko slabe kakovosti notranjega zraka v prenovljenih stavbah so nas opozorile številne raziskave (Dovjak s sod., 2021; Dovjak s sod., 2022; Azara s sod., 2018; Carrer s sod., 2015). Tematika kakovosti zraka je eden izmed pomembnih področij, ki jih obravnava Level(s). Namen naše raziskave je bil ovrednotiti kakovost notranjega zraka v prenovljeni večstanovanjski stavbi v Ljubljani po metodi Level(s). Določili smo pet ciljev, katere smo realizirali v posameznih sklopih povzetih v nadaljevanju.

V prvem sklopu smo, po preučitvi različnih certifikacijskih shem, ugotovili, da je za potrebe naše študije najprimernejša shema Level(s), saj spodbuja celovit pristop k trajnostni gradnji in pomaga pri doseganju ciljev EU za zmanjšanje ogljičnega odtisa in izboljšanje trajnosti stavb. Preučili smo zakonodajno osnovo sheme in prenos v prakso. Glede na omenjeno problematiko slabe kakovosti notranjega zraka v prenovljenih stavbah smo v drugem sklopu preučili kazalnik 4.1. Kakovost notranjega zraka in definirali pristope za nadaljnjo presojo.

V tretjem sklopu smo določili metodologijo za potrebe vrednotenja kakovosti notranjega zraka pri prenovi večstanovanjske stavbe.

V fazi uporabe prenovljene večstanovanjske stavbe v Ljubljani smo izvedli meritve izbranih parametrov (C_{CO_2} , T_a in RH_a) kakovosti notranjega zraka (IAQ) in ovrednotiti razred kakovosti notranjega zraka in s tem ocenili, ali je bila energetska prenova stavbe učinkovita oz. ali so potrebne nadaljnje izboljšave (četrti sklop).

Ugotovili smo, da kljub energetski prenovi stavbe, trenutna strategija prezračevanja ne zagotavlja priporočenih vrednosti glede koncentracije CO_2 , relativne vlažnosti in temperature zraka v notranjih prostorih, zato smo v petem sklopu pripravili nabor ukrepov za izboljšanje kakovosti notranjega zraka. Glavna usmeritev za zmanjšanje RH_a v bivalnih prostorih so razvlažilniki zraka, skupaj s povečanim prezračevanjem v času visokih koncentracij RH_a . Povečano prezračevanje bi bilo potrebno tudi na nivoju zmanjšanja C_{CO_2} , poleg tega smo priporočili tudi namestitev senzorjev CO_2 , ki avtomatsko regulirajo prezračevanje. Glede previsokih temperatur v poletnem času pa smo podali predlog prezračevanja v zgornjih jutranjih in večernih urah, ko je zunanja temperatura zraka nižja, in uporabo zunanjih senčil v času visokih zunanjih temperatur čez dan.

Prikazan pristop vrednotenja kakovosti notranjega zraka (kazalnik 4.1.) po Level(s) se lahko na podoben način uporabi pri preverjanju še ostalih tematik trajnosti/kazalnikov okvira Level(s).

VIRI

ARSO. 2003. PROJEKT SILAQ – Meritve PM10 in PM2,5 delcev.

<https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/silaq.pdf>

(Pridobljeno 15. 1. 2024.)

ARSO. 2023. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2022.

http://hmljn.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/porocilo_2022_Merged.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2024.)

ASHRAE. 2022. ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide.

https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_indoorcarbondioxide_2022.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2024.)

Azara, A., Dettori, M., Castiglia, P., Piana, A., Durando, P., Parodi, V., Salis, G., Saderi, L., Sotgiu, G. 2018. Indoor radon exposure in Italian schools. International Journal of Environmental Research and Public Health 15(4): 749. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040749>

Carrer, P., Wargocki, P., Fanetti, A., Bischof, W., De Oliveira Fernandes, E., Hartmann, T., Kephelopoulou, S., Palkonen, S., Seppanen, O. 2015. What does the scientific literature tell us about the ventilation - health relationship in public and residential buildings?. Building and Environment 94: 273-286. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.011>

Direktiva 2008/50/ES o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo. Uradni list Evropske unije. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en> (Pridobljeno 8. 9. 2023.)

Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M. 2021a. Level(s) indicator 4.1: Indoor air quality user manual: introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1). European Commission, JRC.

Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M. 2021b. Okvir Level(s) – skupni okvir EU za ključne kazalnike trajnosti za poslovne in stanovanjske stavbe, Priročnik za uporabnike 1: Uvod v skupni okvir Level(s) (različica objave 1.1). European Commission, JRC.
<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/UM1.ENV-2020-00021-02-00-SL-TRA-00.pdf> (Pridobljeno 24. 11. 2023.)

Dovjak, M., Kuček, A. 2019. Creating Healthy and Sustainable Buildings. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19412-3>

Dovjak, M., Virant, B., Krainer, A., Šijanec Zavrl, M., Vaupotič, J. 2021. Determination of optimal ventilation rates in educational environment in terms of radon dosimetry. International Journal of Hygiene and Environmental Health 234: 113742. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113742>

Dovjak, M., Vene, O., Vaupotič, J. 2022. Analysis of ventilation efficiency as simultaneous control of radon and carbon dioxide levels in indoor air applying transient modelling. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(4): 2125. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042125>

EEA. 2017. Evropski indeks kakovosti zraka: informacije o trenutni kakovosti zraka na dosegu roke. <https://www.eea.europa.eu/sl/highlights/europsky-index-kvality-ovzdusia-aktualne> (Pridobljeno 20. 9. 2023.)

EPA. 2017. Health risk of radon. <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon> (Pridobljeno 15. 1. 2024.)

European Commission. 2017. Level(s) common framework. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/home> (Pridobljeno 3. 12. 2023.)

European Commission. 2022. Green Deal: New proposals to make sustainable products the norm and boost Europe's resource independence. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2013 (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

European Commission. 2024. The European Green Deal. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (Pridobljeno 12. 1. 2024.)

European Union. 2024. New European Bauhaus. https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_en (Pridobljeno 12. 1. 2024.)

Eurovent Recommendation 4/23. 2018. Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications.

Gemini Data Loggers. 2017. Data Sheet Tinytag CO₂ Logger. <https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2792-9800-0115.pdf> (Pridobljeno 16. 1. 2024.)

Gemini Data Loggers. 2019. Data Sheet Tinytag Ultra 2 Temperature/Relative Humidity Logger (-25 to +85 °C/0 to 95 % RH). TGU-4500. <https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/3769-tgu-4500.pdf> (Pridobljeno 16. 1. 2024.)

GI ZRMK, ZAG. 2020. LIFE IP CARE4CLIMATE: Akcija C4.4 Razvoj slovenskih kazalnikov trajnostne gradnje (LIFE17 IPC/SI/000007), integralni projekt, sofinanciran s sredstvi evropskega programa LIFE, sredstvi Sklada za podnebne spremembe in sredstvi partnerjev projekta. <https://kazalnikitrajnostnegradnje.si/> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

Gradbeni zakon. Uradni list RS, št. 199/2021 s spr. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO8244#> (Pridobljeno 24. 10. 2023.)

HOBO Data loggers. 2015. HOBO MX CO2 Logger (MX1102) Manual.
https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/19198-J%20MX1102%20Manual.pdf (Pridobljeno 15. 3. 2023.)

International WELL building institute. 2016. The WELL Building Standard.
<https://standard.wellcertified.com/sites/default/files/The%20WELL%20Building%20Standard%20v1%20with%20May%202016%20addenda.pdf> (Pridobljeno 15. 1. 2024)

JRC. 1989. European Collaborative Action. Indoor air quality & its impact on man. Report No. 4: Sick Building Syndrome.
https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/ECA/ECA_Report4.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2024.)

Kang, D.S., Kim, H.S., Jung, J.H., Lee, C.M., Ahn, Y.S., Seo, Y.R. 2021. Formaldehyde exposure and leukemia risk: a comprehensive review and network-based toxicogenomic approach. Genes and Environment 43: 13. <https://doi.org/10.1186/s41021-021-00183-5>

Košena, U. 2017. Certificiranje stavb po načelih trajnostne gradnje pri nas še v povojih. EOL: specializirana revija za trajnostni razvoj 117: 24-27. https://issuu.com/fit_media/docs/eol_117 (Pridobljeno 24. 1. 2024.)

Kukec, A., Galičič, A., Jovišić, R., Pohar, M., Golja, V. 2021. Emisije hlapnih in polhlapnih organskih spojin iz gradbenih proizvodov in ocena njihovega vpliva na zdravje. Javno zdravje: 03. https://nijz.si/wp-content/uploads/2022/11/kukec_jz_2021_03.pdf (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

Lunos Slovenija. 2010. Rekuperativni ventilator Lunos e2.
<https://www.ths.si/UserFiles/File/Prospekti/e2.pdf> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS, št. 42/02.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV4223> (Pridobljeno 19.12.2012)

Republika Slovenija. 2015. Uresničevanje Agende 2030.
<https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/uresnicevanje-agende-2030/> (Pridobljeno 12. 1. 2024.)

SIST EN 779:2012. Zračni filtri za delce pri splošnem prezračevanju – Ugotavljanje učinkovitosti filtracije. <https://cdn.standards.itech.ai/samples/30115/00b946711a414000a3654ce23a75f259/SIST-EN-779-2012.pdf> (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

SIST EN ISO 13788:2013. Higrotermalno obnašanje sestavnih delov stavb in elementov stavb - Notranja površinska temperatura za preprečevanje kritične vlage na površini konstrukcije in kondenzacije v konstrukciji – Računska metoda.
<https://cdn.standards.itech.ai/samples/31259/35eedc2760634161a5dfc9a9abe0f06c/SIST-EN-ISO-13788-2013.pdf> (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

SIST EN ISO 6946:2017. Gradbene komponente in gradbeni elementi – Toplotna upornost in toplotna prehodnost – Računske metode.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/41910/d645cc3c97c04336a7b2fc3058d85203/SIST-EN-ISO-6946-2017.pdf> (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

SIST EN 16890:2017. Pohištvo za otroke - Posteljni vložki za posteljice in zibelke – Varnostne zahteve in preskusne metode.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/36731/067ba1805493408090da5dd2b7c5d690/SIST-EN-16890-2017.pdf> (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

SIST EN 16798-3:2018. Energijske lastnosti stavb – Prezračevanje stavb – 3. del: Prezračevanje nestanovanjskih stavb – Zahtevane lastnosti za sisteme prezračevanja in klimatizacije prostorov – Modula M5-1, M5-4.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/41423/7bfa67e85275491ab0641f837e9c8fe8/SIST-EN-16798-3-2018.pdf> (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

SIST EN 16516:2018. Gradbeni proizvodi – Ocenjevanje sproščanja nevarnih snovi – Določevanje emisije v notranji zrak.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/67031/c23e97bdf8c0460499438e81d3ffbeff/SIST-EN-16516-2018-oprA1-2019.pdf> (Pridobljeno 25. 1. 2024.)

SIST EN 16798-1:2019. Energijske lastnosti stavbe – Prezračevanje stavb – 1. del: Vstopni podatki notranjega okolja za projektiranje in ocenjevanje energijskih lastnosti stavb glede kakovosti notranjega zraka, toplotnega okolja, razsvetljave in akustike – Modul M1-6.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/41425/f68c582c97134d01aa4c168cfe345631/SIST-EN-16798-1-2019.pdf> (Pridobljeno 13. 9. 2023.)

SIST – TP CEN/TR 16798-2:2019. Energijske lastnosti stavb - Prezračevanje stavb - 2. del: Razlaga in utemeljitev EN 16798-1 - Vstopni podatki notranjega okolja za projektiranje in ocenjevanje energijskih lastnosti stavb glede kakovosti notranjega zraka, toplotnega okolja, razsvetljave in akustike – Modul M1-6

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4f5c5a4b-80a8-48fe-ac02-2592efb99526/sist-tp-cen-tr-16798-2-2019> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

Šijanec-Zavrl, M., Tomšič, M., Jordan, S., Knez, F. 2021. Testna uporaba kazalnikov trajnostne gradnje Level(s) v slovenskem okolju. Pro Bauhaus 4: 92-100.

Šijanec-Zavrl, M., Tomšič, M., Jejčič, N., Jordan, S., Knez, F. 2023. Kazalniki trajnostne gradnje po evropskem merilu Level(s) – pilotni projekti. Gradbenik: revija za gradnjo, sanacije in gradbene materiale 27(4): 11-13.

Tehnično poročilo Energetska prenova stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe na Einspielerjevi ul. 25 v Ljubljani, PZI – energetska prenova stavbnega ovoja, številka projekta 02/2021 – 200 69 995, september 2021, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.

Tehnična smernica o energijski učinkovitosti stavb TSG-1-004: 2022. Uradni list RS, št. 199/21.

https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Graditev/TSG-1-004_2022_ure.pdf

(Pridobljeno 19. 12. 2023.)

Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:32008R1272> (Pridobljeno 25. 1. 2024.)

Uredba (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:32011R0305> (Pridobljeno 15. 12. 2023.)

Uredba o nacionalnih zgornjih mejah emisij onesnaževal zunanjega zraka. Uradni list RS, št. 48/18 s spr. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7668> (Pridobljeno 25. 1. 2024.)

Uredba o razvrščanju objektov. Uradni list RS, št. 96/22.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED8497&d-49687-s=3> (Pridobljeno 15. 12. 2023.)

Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku. Uradni list RS, št. 52/02 s spr. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=DRUG535> (Pridobljeno 25. 1. 2024.)

Vene, O. 2023. Analiza učinkovitosti prezračevanja stavb na osnovi meritev in simulacij koncentracij ogljikovega dioksida in radona. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.

WHO. 2006. Air quality guidelines. Global Update. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107823/9789289021920-eng.pdf?sequence=1> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

WHO. 2010. WHO guidelines for indoor air quality. Selected pollutants.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/260127/9789289002134-eng.pdf?sequence=1>

(Pridobljeno 26. 1. 2024.)

WHO. 2014. Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments.

<https://cp.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/Combined-or-multiple-exposure-to-health-stressors-in-indoor-built-environment.pdf> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

WHO. 2019. WHO guidelines for indoor air quality – dampness and mould.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/164348/9789289041683-eng.pdf?sequence=1> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

WHO. 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1> (Pridobljeno 15. 12. 2023.)

WHO. 2022. Ambient (outdoor) air pollution.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

(Pridobljeno 25. 1. 2024.)

Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z., Xie, J., Liu, J. 2017. Responses to human bioeffluents at levels recommended by ventilation standards. Procedia Engineering 205: 609-614.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817350907> (Pridobljeno 26. 1. 2024.)

»Ta stran je namenoma prazna«

