



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



**МОДЕЛ ИНТЕЛИГЕНТНЕ
ПЛАТФОРМЕ ЗА ОЦЕНУ КВАЛИТЕТА
УНУТРАШЊЕ СРЕДИНЕ У СЕКТОРУ
ЗГРАДАРСТВА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:
Ванр. проф. др Александар Анђелковић

Кандидат:
Игор Мујан

Нови Сад, 2021. године.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Игор Мујан
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	Др Александар Анђелковић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Наслов рада:	МОДЕЛ ИНТЕЛИГЕНТНЕ ПЛАТФОРМЕ ЗА ОЦЕНУ КВАЛИТЕТА УНУТРАШЊЕ СРЕДИНЕ У СЕКТОРУ ЗГРАДАРСТВА
Језик публикације (писмо):	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница 150 Поглавља 7 Референци 167 Табела 21 Слика 58 Графикона 0 Прилога 5
Научна област:	Машинско инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Термотехника, термоенергетика и управљање енергијом
Кључне речи / предметна одредница:	Комфор корисника објекта; индекс квалитета унутрашње средине; Нискобуџетна ИоТ платформа за мониторинг; Субјективна процена комфора.
Резиме на језику рада:	У данашње време, људи просечно проводе 87% времена у затвореним стамбеним и пословним просторима и додатних 6% у возилима. Тиме бивају изложени утицају унутрашњег окружења. Стога је веома важно у потпуности сагледати и разумети све факторе који утичу на квалитет унутрашње средине као и схватити њихов независан, комплексан и динамичан утицај на продуктивност и здравље људи. На основу прегледа постојеће литературе, дисертација даје везу између квалитета унутрашње средине и њеног утицаја на здравље и продуктивност корисника у стамбеним и пословним објектима. Нагласак студије је стављен на факторе који се могу активно мерити и контролисати: термички комфор, квалитет унутрашњег ваздуха, визуелни комфор и акустични комфор. Тренутно, поступци за процену квалитета унутрашње средине често су спорадични, скупи, наметљиви и ограничени на неколико параметара и само изводљиви од стране стручњака. Ово истраживање испитује свеобухватни модел процене квалитета унутрашње средине у оквиру три теренске студије. Процена квалитета унутрашње средине постиже се методологијом за интеграцију релевантних параметара у укупни индекс извођењем њихових појединачних тежинских коефицијената. Развијена је

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не корице се са тезом.

	<p>и употребљена нискобуџетна платформа „ENVIRA“ за континуирано мерење релевантних параметара квалитета унутрашње средине. У теренским студијама учествовало је укупно 125 испитаника - 69 у две канцеларије отвореног типа и 56 у образовној установи. Резултати регресионе анализе анкете корисника простора за канцеларије показали су да је квалитет унутрашњег ваздуха у просторијама најкритичнији параметар квалитета унутрашње средине са тежинским коефицијентом од 0,35, праћен термичким комфором (0,285), акустичним комфором (0,195) и визуелним комфором (0,17). Преференције корисника разликовале су се у образовном објекту где је термички комфор био најдоминантнија компонента (0,31), праћена квалитетом унутрашњег ваздуха и акустичним комфором подједнако (0,25) и осветљењем (0,19). Резултати показују да појединачни тежински коефицијенти нису еквивалентни и могу се разликовати међу типовима објеката. Коначно, средња апсолутна грешка између просечних резултата истраживања и укупног индекса квалитета унутрашње средине за три теренске студије износила је <3%, што сугерише да се платформа може користити за генерисање великих скупова података о квалитету унутрашње средине у истраживачке сврхе.</p>
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	28.05.2020.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	<p>Председник: Др Мирослав Кљајић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: Др Велимир Чонградац, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: Др Младен Томић, доцент, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: Др Марко Игњатовић, доцент, Машински факултет, Универзитет у Нишу</p>
Напомена:	

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Igor Mujan
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	PhD Aleksandar Anđelković, associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
Thesis title:	INTELLIGENT PLATFORM MODEL FOR INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT IN THE BUILDING SECTOR
Language of text (script):	Serbian language (cyrillic)
Physical description:	Number of: Pages 150 Chapters 7 References 167 Tables 21 Illustrations 58 Graphs 0 Appendices 5
Scientific field:	Mechanical Engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Thermotechnics, thermoenergetics, process engineering
Subject, Key words:	Occupants Comfort; Indoor Environmental Quality Index; Low-Cost Monitoring Platform; IoT sensing; Subjective Comfort Assessment.
Abstract in English language:	<p>Nowadays, people on average spend 87% of their time indoors, primarily in residential and commercial spaces and an additional 6% in vehicles. Thus, people are primarily exposed to the influences of the indoor environment. It is therefore very important to fully review and understand all the parameters that affect the indoor environmental quality. As well as understand their independent, complex and dynamic impact on productivity and health productivity of residential building occupants. Based on a review of the existing literature, the dissertation provides a link between the indoor environmental quality and its impact on the health and productivity of users in residential and commercial buildings. The emphasis of the study is placed on indoor environmental quality parameters that can be actively measured and controlled: thermal comfort, indoor air quality, visual comfort and acoustic comfort.</p> <p>Currently, procedures for assessing the indoor environmental quality are often sporadic, expensive, cumbersome and limited to a few parameters and limited to procedures only accessible to experts. This research examines a comprehensive indoor environmental quality assessment model within three field studies. The indoor environmental quality assessment is achieved by the methodology which integrates relevant parameters in the overall performance index with the derivation of their individual weighting coefficients. The low-budget platform "ENVIRA" was developed and used for continuous</p>

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	<p>measurement of relevant indoor environmental quality parameters. A total of 125 occupants participated in the field studies - 69 in two open offices and 56 in an educational institution. The results of regression analysis of the survey for office spaces showed that indoor air quality was considered the most critical parameter of indoor environmental quality with a weighting coefficient of 0.35, followed by thermal comfort (0.285), acoustic comfort (0.195) and illumination (0.17). The occupant preference differed in the educational building where thermal comfort was the most dominant component (0.31) followed by indoor air quality and acoustics (0.25), and lighting (0.19). The results show that the individual weighting coefficients are not equivalent and may differ between building types. Finally, the mean absolute error between the average survey results and the overall IEQ index for the three field studies was <3% suggesting that the platform can be used for generating large IEQ datasets for researchers and practitioners.</p>
Accepted on Scientific Board on:	28.05.2020.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	<p>President: PhD Miroslav Kljajić, associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: PhD Velimir Čongradac, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: PhD Mladen Tomić, assistant professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: PhD Marko Ignjatović, assistant professor, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš</p>
Note:	

Мујан, И. 2021.

МОДЕЛ ИНТЕЛИГЕНТНЕ ПЛАТФОРМЕ ЗА ОЦЕНУ КВАЛИТЕТА УНУТРАШЊЕ СРЕДИНЕ У СЕКТОРУ ЗГРАДАРСТВА

Докторска дисертација. Факултет техничких наука. Универзитет у Новом Саду

Резиме

У данашње време, људи просечно проводе 87% времена у затвореним стамбеним и пословним просторима и додатних 6% у возилима. Тиме бивају изложени утицају унутрашњег окружења. Стога је веома важно у потпуности сагледати и разумети све факторе који утичу на квалитет унутрашње средине као и схватити њихов независан, комплексан и динамичан утицај на продуктивност и здравље људи. На основу прегледа постојеће литературе, дисертација даје везу између квалитета унутрашње средине и њеног утицаја на здравље и продуктивност корисника у стамбеним и пословним објектима. Нагласак студије је стављен на факторе који се могу активно мерити и контролисати: термички комфор, квалитет унутрашњег ваздуха, визуелни комфор и акустични комфор.

Тренутно, поступци за процену квалитета унутрашње средине често су спорадични, скупи, наметљиви и ограничени на неколико параметара и само изводљиви од стране стручњака. Ово истраживање испитује свеобухватни модел процене квалитета унутрашње средине у оквиру три теренске студије. Процена квалитета унутрашње средине постиже се методологијом за интеграцију релевантних параметара у укупни индекс извођењем њихових појединачних тежинских коефицијената. Развијена је и употребљена нискобуџетна платформа „ENVIRA“ за континуирано мерење релевантних параметара квалитета унутрашње средине. У теренским студијама учествовало је укупно 125 испитаника - 69 у две канцеларије отвореног типа и 56 у образовној установи. Резултати регресионе анализе анкете корисника простора за канцеларије показали су да је квалитет унутрашњег ваздуха у просторијама најкритичнији параметар квалитета унутрашње средине са тежинским коефицијентом од 0,35, праћен термичким комфором (0,285), акустичним комфором (0,195) и визуелним комфором (0,17). Преференције корисника разликовале су се у образовном објекту где је термички комфор био најдоминантнија компонента (0,31), праћена квалитетом унутрашњег ваздуха и акустичним комфором подједнако (0,25) и осветљењем (0,19). Резултати показују да појединачни тежински коефицијенти нису еквивалентни и могу се разликовати међу типовима објеката. Коначно, средња апсолутна грешка између просечних резултата истраживања и укупног индекса квалитета унутрашње средине за три теренске студије износила је <3%, што сугерише да се платформа може користити за генерисање великих скупова података о квалитету унутрашње средине у истраживачке сврхе.

Кључне речи:

Комфор корисника објекта; индекс квалитета унутрашње средине; Нискобуџетна ИIoT платформа за мониторинг; Субјективна процена комфора.

Mujan, I. 2021.

INTELLIGENT PLATFORM MODEL FOR INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT IN THE BUILDING SECTOR

Doctoral dissertation. Faculty of Technical Sciences. University of Novi Sad

Abstract

Nowadays, people on average spend 87% of their time indoors, primarily in residential and commercial spaces and an additional 6% in vehicles. Thus, people are primarily exposed to the influences of the indoor environment. It is therefore very important to fully review and understand all the parameters that affect the indoor environmental quality. As well as understand their independent, complex and dynamic impact on productivity and health productivity of residential building occupants. Based on a review of the existing literature, the dissertation provides a link between the indoor environmental quality and its impact on the health and productivity of users in residential and commercial buildings. The emphasis of the study is placed on indoor environmental quality parameters that can be actively measured and controlled: thermal comfort, indoor air quality, visual comfort and acoustic comfort.

Currently, procedures for assessing the indoor environmental quality are often sporadic, expensive, cumbersome and limited to a few parameters and limited to procedures only accessible to experts. This research examines a comprehensive indoor environmental quality assessment model within three field studies. The indoor environmental quality assessment is achieved by the methodology which integrates relevant parameters in the overall performance index with the derivation of their individual weighting coefficients. The low-budget platform "ENVIRA" was developed and used for continuous measurement of relevant indoor environmental quality parameters. A total of 125 occupants participated in the field studies - 69 in two open offices and 56 in an educational institution. The results of regression analysis of the survey for office spaces showed that indoor air quality was considered the most critical parameter of indoor environmental quality with a weighting coefficient of 0.35, followed by thermal comfort (0.285), acoustic comfort (0.195) and illumination (0.17). The occupant preference differed in the educational building where thermal comfort was the most dominant component (0.31) followed by indoor air quality and acoustics (0.25), and lighting (0.19). The results show that the individual weighting coefficients are not equivalent and may differ between building types. Finally, the mean absolute error between the average survey results and the overall IEQ index for the three field studies was <3% suggesting that the platform can be used for generating large IEQ datasets for researchers and practitioners.

Key words:

Occupants Comfort; Indoor Environmental Quality Index; Low-Cost Monitoring Platform; IoT sensing; Subjective Comfort Assessment.

Садржај

Списак слика	iii
Списак табела	vi
Листа најчешће коришћених скраћеница	vii
1 Увод.....	1
1.1 Предмет и проблем истраживања	1
1.2 Циљ истраживања	1
1.3 Хипотезе истраживања	2
1.4 Метод рада	2
2 Преглед досадашње литературе и праксе.....	4
2.1 Увод.....	4
2.2 Методологија одабира литературе	6
2.3 Зелени сертификати (водичи) и КУС	8
2.4 Кључни физички и хемијски параметри за оцену квалитета унутрашње средине.....	10
2.4.1 Термички комфор	10
2.4.2 Квалитет унутрашњег ваздуха (КУВ).....	13
2.4.3 Визуелни комфор - осветљење	17
2.4.4 Акустички комфор - бука.....	19
2.5 Индивидуална контрола параметара КУС.....	20
3 Математички модел обраде података и оцене квалитета унутрашње средине ..22	
3.1 Модел компоненте термичког комфора - <i>ITK</i>	25
3.2 Модел компоненте квалитета унутрашњег ваздуха - <i>IKUV</i>	28
3.2.1 Подкомпонента <i>ICO2</i>	29
3.2.2 Подкомпонента <i>ITVOC</i>	29
3.2.3 Подкомпонента <i>IPM2,5</i>	30
3.3 Модел компоненте визуелног комфора - <i>IVK</i>	30
3.4 Модел компоненте акустичког комфора - <i>IAK</i>	31
4 Конструкција мерне станице: сензори, њихова осетљивост и платформа.....	32
4.1 Мерење параметара КУС.....	32
4.2 Платформа за холистичку оцену КУС „ENVIRA“	34
4.3 Опис нискобуџетне мерне станице.....	34
4.4 Принципи мерења физичких величина, евалуација сензора и калибрационе методе мерног уређаја у контролисаним лабораторијским условима.....	38
4.4.1 Експериментална припрема климатске коморе	38

4.4.2	Експерименталне активности у климатској комори.....	40
4.4.3	Референтна мерна опрема	41
4.4.4	Мерење концентрације суспендованих честица PM _{2,5} - Sensirion SPS30 45	
4.4.5	Мерење температуре сувог термометра, релативне влажности ваздуха и концентрације CO ₂ - Sensirion SCD30	53
4.4.6	Мерење атмосферског притиска.....	60
4.4.7	Мерење концентрације лакоиспарљивих органских једињења (TVOC) - Sensirion SGP30	62
4.4.8	Мерење средње температуре зрачења (Mean radiant temperature - MRT) 67	
4.4.9	Мерење звучног притиска - позадинска бука	72
4.4.10	Мерење јачине осветљења на хоризонталној равни.....	74
4.4.11	Мерење брзине струјања ваздуха	78
5	Мерење параметара квалитета унутрашње средине у стварним условима и обрада резултата	83
5.1	Теренска мерења, одабир објеката и анкета корисника	83
5.2	Параметри термичког комфора.....	87
5.3	Параметри КУВ	90
5.4	Параметри акустичког и визуелног комфора	92
5.5	Преглед индекса компоненти КУС	94
5.6	Тежински коефицијенти компоненти КУС засновани на анкетирању испитаника.....	97
6	Развој интелигентне платформе за квалитет унутрашње средине на „облаку“ 100	
7	Закључци и правци даљег истраживања.....	104
8	Литература.....	106
9	Списак публикација	116
10	Кратка биографија	117
11	Прилог 1 - Табеларни приказ резултата мерења на осредњих на минутном нивоу - Студија 1.....	118
12	Прилог 2 - Табеларни приказ резултата мерења на осредњих на минутном нивоу - Студија 2.....	122
13	Прилог 3 - Табеларни приказ резултата мерења на осредњих на минутном нивоу - Студија 3.....	127
14	Прилог 2 – Коришћени Arduino код.....	132
15	Прилог 5 - Типски изглед упитника.....	146

Списак слика

Слика 1 - Излазни подаци из програма за претраживање научних радова сортиран по броју и деценији продукције употребом кључних речи: indoor environment quality, health, productivity	7
Слика 2 - Учесталост декаде публикације у прегледу литературе.	8
Слика 3 - Међусобна зависност PMV и PPD.....	27
Слика 4 - Звучни притисак [μPa] и одговарајућа скала за нивое звучног притиска (dB)	29
Слика 5 - Приказ оригиналног решења прототипа мерне станице, платформе КУС ENVIRA	37
Слика 6 - Изглед климатске коморе Human-Oriented Built Environment Lab, Blue Factory, EPFL Фрибург, Швајцарска.	38
Слика 7 - Шематски приказ климатске коморе, укључујући положај испуштања загађења ваздуха, нискобуџетне и појединачне сензоре и референту опрему (истраживачке и професионалне мерне станице).	39
Слика 8 - Grimm Model 1371, Aerosol Technik лево, LI-COR 850 Biosciences десно.	41
Слика 9 - GrayWolf AdvancedSense Pro са IQ-610 Indoor Air Quality Probe лево и Aeroqual Photoionization Detector десно.	43
Слика 10 - Testo 435-1 логер (лево) са пратећим сондама: анемометар \varnothing 7.5 mm (централно) и глобус термометар \varnothing 150 mm, термопар тип К (десно).	43
Слика 11 - UNI-T UT352 (лево), Testo 545 Lux сонда (централно) и Testo 511 (десно).	44
Слика 12 - Изглед сензора Sensirion SPS30 (са кућиштем) лево, расклопљен уређај десно.	46
Слика 13 - Принцип рада Sensirion SPS30 методом дифракције ласерске светлости	47
Слика 14 - Масена дистрибуција честица за различите експерименталне активности.	49
Слика 15 - Корелација масене дистрибуције честица експерименталних активности са слике 14 респективно.	50
Слика 16 - Приказ детекције честица PM _{2,5} од стране SPS30 и референтног инструмента за време горења спирале против комараца.	51
Слика 17 - Приказ детекције честица PM _{2,5} од стране SPS30 и референтног инструмента за време кокања кокица.	51
Слика 18 - Приказ детекције честица PM _{2,5} од стране SPS30 и референтног инструмента за време паљења и горења свећа.	52
Слика 19 - Изглед сензора Sensirion SCD30. Сензор температуре и релативне влажности SHT31 и NDIR сензор концентрације CO ₂	53
Слика 20 - Конструкција сензора SHT31	53
Слика 21 - Упоредно мерење промене температуре у климатској комори ради уклањања систематске грешке мерења температуре.	55
Слика 22 - Voxplot опсега мерења температура за суве и хладне услове (лево) и топле и влажне (десно) за Testo 451 и SCD30.	56
Слика 23 - Упоредно мерење промене концентрације CO ₂ у климатској комори SCD30 и референтног инструмента за два термодинамичка стања	56
Слика 24 - Апсорпционе таласне дужине за различите гасове.	57

Слика 25 -Алгоритам корекције тачности сензора Sensirion SCD30.....	58
Слика 26 - Упоредно мерење промене концентрације CO ₂ за време експерименталне активности у климатској комори референтног LI-COR 850 и калибрисаног SCD30.	59
Слика 27 - Парсонсов коефицијент (PCC) корелације између LI-COR 850 и калибрисаног SCD30.	59
Слика 28 – Сензор атмосферског притиска BME280 без заштитног оклопа (лево), принцип мерења притиска MEMS сензора.	61
Слика 29 – Упоредно мерење атмосферског притиска на часовном нивоу помоћу референтног барометра Testo 511 и сензора BME280.....	61
Слика 30 - Сензор Sensirion SGP30 интегрисан у штампану плочу (лево) и изглед отвореног сензора (десно).....	63
Слика 31 – Упоредни дијаграм одзива сензора GrayWolf (GW), Aeroqual Photoionization Detector (AerPID) и Sensirion SGP30 на повећање концентрације TVOC у климатској комори изазване различитим активностима.	65
Слика 32 – Визуелни приказ конструкције црног глобус термометра.	69
Слика 33 – Упоредно мерење температуре конструисаног глобус термометра и референтног Testo сензора.	71
Слика 34 – Сензор звучног притиска Gravity: Analog Sound Level Meter.....	73
Слика 35 - Упоредни одзив нискобуџетног сензора Gravity: Analog Sound Level Meter и референтног професионалног мерача звучног притиска UNI-T UT352.	73
Слика 36 – Упоредна мерења снаге зрачења у радијационом спектру које људско око опажа од стране неколико истраживача (Sharpe et al., 2005).....	74
Слика 37 - TSL2561 на штампаној плочи. Сензор се налази у самом центру плоче.	75
Слика 38 – Упоредно мерење јачине осветљења на хоризонталној површини референтним логером Testo 545 и сензором TSL2561 при константној температури од 24,2 °C.....	76
Слика 39 - Конструкција термисторског анемометра са врућом жицом са константном температуром.....	78
Слика 40 – Употребљени сензор Modern Device Rev. P.....	81
Слика 41 – Упоредно мерење врзине струјања анемометром Средње вредности	82
Слика 42 - Теренска студија 1 (ТС1) - Пословна зграда „Vivifi Ideas“, Нови Сад Србија; Теренска студија 2 (ТС2) - Пословна зграда „NSPlakat“, Нови Сад, Србија; Теренска студија 3 (ТС3) - Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија;	84
Слика 43 - ТС1 (слева на десно) – Клима комора, каналски развод ваздуха, контролер система, сензор температуре и релативне влажности;	85
Слика 44 - Параметри термичког комфора за ТС1 осредњени на пет минута.	88
Слика 45 - Параметри термичког комфора за ТС2 осредњени на пет минута.	89
Слика 46 - Параметри термичког комфора за ТС3 осредњени на пет минута.	89
Слика 47 - Параметри КУВ за ТС1 осредњени на пет минута.	90
Слика 48 - Параметри КУВ за ТС2 осредњени на пет минута.	91
Слика 49 - Параметри КУВ за ТС3 осредњени на пет минута.	91
Слика 50 - Параметри визуелног и акустичког комфора за ТС1 осредњени на пет минута.	92
Слика 51 - Параметри визуелног и акустичког комфора за ТС2 осредњени на пет минута.	93
Слика 52 - Параметри визуелног и акустичког комфора за ТС3 осредњени на пет минута.	93

Слика 53 - Израчунати индекси компоненти индекса КУС за ТС1 осредњени на пет минута.	94
Слика 54 - Израчунати индекси компоненти индекса КУС за ТС2 осредњени на пет минута.	95
Слика 55 - Израчунати индекси компоненти индекса КУС за ТС3 осредњени на пет минута.	96
Слика 56 - Израчунат индекс КУС са тежинским коефицијентима према упитницима у односу на одговоре испитаника.	97
Слика 57 - Преглед коначне архитектуре ENVIRA платформе за мерење параметара и индекса КУС.	100
Слика 58 – Кориснички интерфејс креиране Blynk апликације за Android уређаје.	103

Списак табела

Табела 1 - Процедура мерења термичког комфора.	13
Табела 2 - Параметри који утичу на квалитет ваздуха у затвореном простору и њихове максимално дозвољене толеранције за људе препознате у различитим регионима света. (Миџан et al., 2019).....	14
Табела 3 - Метода мерења КУВ.....	17
Табела 4 - Метода мерења природног и вештачког осветљења.	19
Табела 5 - Метода мерења нивоа буке и звука.....	20
Табела 6 - Категорије квалитета унутрашње средине усвојене из стандарда EN 16798-1 (2019) и предложеног система бодовања <i>IKUS</i>	22
Табела 7 - Критеријуми из стандарда EN 16798-1 (Boerstra, 2019).	23
Табела 8 - ALDREN-TAIL индекс (Wargocki et al., 2019).....	24
Табела 9 - КУС тежински коефицијенти објављени у научној литератури и изведени из захтева неколико шема сертификације зелених објеката.	25
Табела 10 - Одабрани КУВ параметри и њихово усвајање према стандардима и сертификатима зелене градње.	28
Табела 11 – Нискобуџетне мерне станице за које произвођачи тврде да мере КУС.....	33
Табела 12 - Преглед одабраних сензора у мерној станици, опсег мерења, тачност калибрације и инструменти за калибрацију.	35
Табела 13 - Преглед сензора тренутно доступних у нискобуџетним мерним станицама (Demanega et al., 2021).	36
Табела 14 - Опис експерименталних активности и резултујуће загађење ваздуха са највишом концентрацијом у трајању од једног минута измерено референтном мерном опремом.....	40
Табела 15 - Основне техничке карактеристике референтне мерне опреме.....	44
Табела 16 - Дозвољена одступања сензора потребних за мерење КУС.	45
Табела 17 - Техничке карактеристике сензора Sensirion SPS30 наведене од стране произвођача.	47
Табела 18 - Техничке карактеристике сензора SHT31 одбијене од произвођача.	54
Табела 19 - Техничке спецификације сензора Sensirion SGP30.	63
Табела 20 - Техничке спецификације сензора Sensirion Gravity: Analog Sound Level Meter.	72
Табела 21 – Поређење просечних тежинских коефицијената из резултата регресионе анализе.	99

Листа најчешће коришћених скраћеница

- KUS* – Квалитет унутрашње средине (Indoor Environmental Quality – IEQ)
- KUV* – Квалитет унутрашњег ваздуха (Indoor Air Quality – IAQ)
- AK* – Акустичког комфор
- VK* – Визуелни комфор
- I_{KUS}* – Индекс квалитета унутрашње средине [%]
- I_{TK}* – Индекс термичког комфора [%]
- I_{KUV}* – Индекс квалитета унутрашњег ваздуха [%]
- I_{AK}* – Индекс акустичког комфора [%]
- I_{VK}* – Индекс визуелног комфора [%]
- I_{CO₂}* – Индекс подкомпоненте за угљен-диоксид [%]
- I_{TVOC}* – Индекс подкомпоненте за лакоиспарљива органска једињења [%]
- I_{PM_{2,5}}* – Индекс подкомпоненте за суспендоване чврсте честице ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) [%]
- K_{TK}* – Тежински коефицијент термичког комфора [-]
- K_{KUV}* – Тежински коефицијент квалитета унутрашњег ваздуха [-]
- K_{AK}* – Тежински коефицијент акустичког комфора [-]
- K_{VK}* – Тежински коефицијент визуелног комфора [-]
- PMV* – Предвиђена средња вредност изјашњавања о термичком комфору велике групе људи у датом окружењу (Predicted mean vote) [%]
- PPD* – Предвиђен проценат незадовољних термичким окружењем [%]
- PPD_{VK}* – Предвиђен проценат незадовољних визуелним комфором [%]
- PPD_{AC}* – Предвиђен проценат незадовољних акустичким комфором [%]
- c_{CO₂}* – Концентрација угљен-диоксида [ppm]
- c_{TVOC}* – Концентрација свих лакоиспарљивих органских једињења [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- c_{PM_{2,5}}* – Концентрација суспендованих чврстих честица у ваздуху ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2,5}* – Суспендоване чврсте честице у ваздуху мање од $2,5 \mu\text{m}$
- TVOC* – Укупно лакоиспарљива органска једињења
- LX* – Интензитет светлости на хоризонталној равни [lux]
- Stvarni_{ZP}* – Стварни ниво буке [dBA]
- Projektovani_{ZP}* – Пројектовани ниво буке [dBA]
- MRT* – Средња температура зрачења [$^{\circ}\text{C}$]
- RH* – Релативна влажност ваздуха [%]

Захвалност

Пре свега, желео бих да се захвалим ментору, др Александру Анђелковићу, на великој подршци, драгоценим саветима и разумевању што је допринело квалитету ове дисертације и њеном успешном завршетку.

Посебну захвалност дугујем др Душану Личини на великој стручној подршци током истраживања и пружања на располагање најсавременије климатске коморе, Human-Oriented Built Environment Lab, École polytechnique fédérale de Lausanne, у сврху испитивања сензора.

Захвалан сам на подршци друштва ASHRAE и додели бесповратних средстава за опрему на развоју „ENVIRA - Indoor Environment Quality Platform“.

Такође, желео бих да се захвалим и осталим члановима Комисије, др Мирославу Кљајићу, др Велимиру Чонградацу, др Марку Игњатовићу и др Младену Томићу, на корисним саветима и сугестијама, као и на указаном поверењу.

На крају, највећу захвалност на пруженој подршци и мотивацији дугујем својој породици, којој уједно и посвећујем ову дисертацију.

1 Увод

1.1 Предмет и проблем истраживања

Услед глобалног захтева, активно се ради на повећању енергетске ефикасности објеката смањењем топлотних губитака. Тренутно се, на нивоу научне заједнице, појавило чврсто мишљење да је поред саме енергетске ефикасности објекта, потребно узети у обзир и квалитет унутрашње средине како би се могла дати права оцена перформанси једног објекта.

Аспекти у којима је потребно допунити постојеће стандарде и правилнике на пољу оцена енергетских перформанси објеката:

- Боље условљавање при одабиру конструкционих материјала при новој градњи и реконструкцији – стварање услова за бољи квалитет унутрашње средине.
- Редовне инспекције и континуално праћење параметара техничких система објеката како би се задржао предвиђени квалитет унутрашње средине.
- Употреба индивидуалног управљања параметрима унутрашње средине у просторијама, која је услед бојазни за повећаном потрошњом енергије сведена на тренутни минимум.

Стога је потребно квантификовати све узрочнике неодговарајућег квалитета унутрашње средине (КУС) и имплементирати систем за њихово проактивно кориговање и дејствовати на њиховом интегрисању у постојеће правилнике и стандарде на пољу енергетских перформанси објеката.

1.2 Циљ истраживања

Сврха и циљ овог истраживања јесте развој нове платформе за оцену квалитета унутрашње средине. Платформа има задатак да пружи тренутни индекса квалитета унутрашње средине у зградама (I_{KUS}) применом до сада познатих научних сазнања, измерених и израчунатих физичких параметара окружења. I_{KUS} интегрише индексе квалитета термичког комфора, квалитета ваздуха, квалитета осветљења и буке у јединствени показатељ јасан кориснику и тиме представља допринос овог истраживања.

Физички и хемијски сигнали термичког комфора, квалитет унутрашњег ваздуха, нивоа осветљења и буке се мере помоћу мерне станице са ARDUINO микроконтролером и одговарајућим сензорима. Решење мерне станице која интегрише све потребне сензоре за мерење параметара КУС тренутно није доступно на тржишту и она представља допринос овог истраживања.

Обрада сигнала се врши у микроконтролеру, где се групе сирових сигнала претварају груписане физичке и хемијске величине, математичким функцијама.

Величине се бежичним путем шаљу ESP8266 микроконтролером на „облак“. Софтверски пакет на „облаку“ са алгоритмима врши обраду података и прорачун

тренутног I_{KUS} . Кориснику платформе су поред I_{KUS} доступни сви релевантни подаци КУС који се мере за одређени временски период. Ово су подаци од највишег значаја за обнављање, надоградњу и оптимизацију алгорита. Ово представља додатну вредност платформе, омогућавајући корисницима да извуку суштину из података.

Како би I_{KUS} имао највишу вредност у затвореном простору, платформа обавештава корисника у реалном времену о параметрима који негативно утичу на КУС и на које је пожељно да корисник утиче.

Пондерисање и провера свих фактора који утичу на индекс квалитета унутрашње средине извршиће се подацима из упитника добијеним од стране корисника одабраних објеката. Ови упитници ће такође проверити исправност одзива платформе на параметре КУС. За време попуњавања упитника биће вршено континуално мерење свих параметара који утичу на КУС.

1.3 Хипотезе истраживања

- На основу постављеног циља, дефинисана је и основна хипотеза, да квалитет унутрашњег окружења има мерљив утицај на квалитет живота и рада људи у затвореним урбаним срединама.
- Мерењем релевантних параметара и њиховом сложенем међузависном анализом могу се квантификовати услови у простору и дефинисати предлози оперативних стратегија рада КГХ постројења.

За проверу хипотезе, у оквиру истраживања потребно је да се испуне следећи задаци:

- Избор кључних физичких и хемијских карактеристика квалитета унутрашњег окружења који ће се пратити и мерити;
- Развој мерне станице за прикупљање неопходних параметара квалитета унутрашњег окружења;
- Развој математичког модела за оцену квалитета унутрашњег окружења са кључним параметрима окружења као улазним променљивим;
- Спровести анализу оперативних стратегија и показати њихов утицај на квалитет унутрашњег окружења;
- Оправданост примене концепта праћења квалитета унутрашњег окружења у поређењу са традиционалним концептом праћења искључиво параметара који утичу на енергетску ефикасност објекта.

1.4 Метод рада

Предложено истраживање је интердисциплинарно. У складу са постављеним циљевима истраживања, примениће се одговарајућа методологија заснована на следећем:

- Преглед досадашњих ставова и праксе приликом анализе концепта квалитета унутрашње средине;
- Израда пилот мерно регулационе мобилне станице за мерење неопходних параметара квалитета унутрашње средине;
- Баждарење сензора мерне станице сензорима високе класе тачности у контролисаним условима;
- Дефинисање математичког модела индекса квалитета унутрашње средине (I_{KUS}) у програмском окружењу;
- Експериментална анализа I_{KUS} изабраних карактеристичних окружења унутар објекта;
- Калибрација модела платформе према примерима добре праксе, најновијим научним сазнањима и анкети корисника објекта;
- Примена калибрисаног модела у различитим околностима и у различитим сценаријима.

Начин избора, величина и конструкција узорка:

- Величина и избор узорка одређена је лабораторијским условима приликом калибрације и тестирања рада уређаја. У реалним условима рада, платформа ће бити постављена на више различитих локација са различитом површином, наменом, и различитим бројем корисника (20÷50 корисника по мерењу).

Методe статистичке обраде података и осталих релевантних података:

- Аналитичко-синтетичка метода – Метода ће бити примењена приликом упознавања са постојећим истраживањима у предметној области и приликом формулисања закључака и судова.
- Метода дедукције и индукције – Метода ће бити примењена приликом доношења општих закључака и појединачних закључака.
- Статистичка метода – Метода ће бити примењена приликом обрађивања полазних података.
- Компаративна метода – Метода ће бити коришћена за поређење резултата.
- Анкета – Метода ће бити коришћена за поређење резултата.

2 Преглед досадашње литературе и праксе

2.1 Увод

У данашње време, људи просечно проводе 87% времена у затвореним стамбеним и пословним просторима и додатних 6% у возилима и тиме бивају изложени утицају унутрашњег окружења (Klepeis et al., 2001). Стога је веома важно у потпуности сагледати и разумети све факторе који утичу на квалитет унутрашње средине (КУС) као и схватити њихов независан, комплексан и динамичан утицај на продуктивност и здравље људи.

Уопштено, сви аспекти унутрашњег окружења имају огроман утицај на квалитет живота људи и продуктивност радника (Woo, 2011). Процењује се да Сједињене Америчке Државе и Велика Британија имају губитке око 38 милијарди долара и 18 милијарди фунти годишње респективно услед смањене продуктивности радника, за које су, између осталог, задужена и обољења изазвана лошим квалитетом унутрашње средине (Fisk et al., 2012). Студија утицаја КУС на студенте је показала да неадекватни параметри окружења могу имати приметан утицај на когнитивне способности студената (Shan et al., 2018). Исход ове студије је могуће генерализовати на нивоу популације у истим климатским условима. Стручна јавност је у последњој деценији сковала нови термин „presenteeism“ који се односи на раднике који имају смањену продуктивност услед здравствених проблема и других догађаја (Centre for Mental Health, 2011; Johns, 2010; Turpin et al., 2004).

Сектор зградарства мора поседовати моралну одговорност да обезбеди здраве објекте у којима се корисници осећају задовољно окружењем и да пружи услове за просперитет. Тренутно, приметан је тренд пројектовања објеката при коме се пружа приоритет минималној енергетској потрошњи и минималном утицају објекта на околину (Baleta et al., 2019; Ingraio et al., 2018; Naidoo and Gasparatos, 2018). Лидери у креирању и примени стандарда и регулатива у области зградарства су тренутно BREAAAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) из Велике Британије, USGC (United States Green Council) са програмом LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) и Green Star из Аустралије. Ови програми пружају оцену квалитета објекта са становишта зелене градње и енергетске ефикасности и сертификацију истих. У последњим итерацијама, стандарди зелене градње, препознају потребу за комфором корисника у зградарству и укључују категорију КУС као категорију коју бодују. Међутим, на основу обимне студије, истраживачи су закључили да се задовољство корисника зелених објеката не повећава са бодовима које објекти остварују за испуњавање одређених параметара КУС, супротно њиховом очекивању (Altomonte et al., 2017). International Well Building Institute са стандардима WELLv1™ и WELLv2™ пилот пројектом тренутно се истиче као лидер на пољу КУС. Примарни циљ ових стандарда јесте задовољство и благодет корисника објеката док при томе задовољавају и остале критеријуме зеленог зградарства. У току су тестови који ће доказати да ли ови стандарди испуњавају постављене циљеве (International Well Building Institute, 2014; 2018).

Најзначајнији параметри које КУС евалуира, категорисани су као:

- Термички комфор
- Квалитет унутрашњег ваздуха (КУВ)

- Визуелни комфор - осветљење
- Акустички комфор - бука

Ове четири категорије су препознате као примарне у затвореном окружењу са становишта утицаја на здравље, комфор и продуктивност корисника објеката. Поред поменутих, постоје и други фактори попут просторног распореда објекта, биофилије, повезаности објекта са јавним и приватним услугама, итд. Ови фактори се у раду неће узимати у обзир, како на њих није могуће активно утицати током животног века објекта, већ се дефинишу при конципирању објекта.

Тренутно, перформансе објеката односе се на операционе трошкове и цену изнајмљивања простора. Потребно је извршити адаптацију оваквог приступа евалуације, где ће се поред оперативних перформанси објекта, у обзир узимати и продуктивност радника која може да износи и 92% годишњег улагања у једном предузећу. (Fuller, 2010; Wargocki and Seppänen, 2006).

У протеклој деценији, сектор комерцијалног зградарства широм света почео је да препознаје значај квалитета животне средине у затвореном простору. Нагли пораст пажње на КУС првенствено је последица уверења да он има велики утицај на перформансе и продуктивност радне снаге. Као што је већ поменуто, научни докази који поткрепљују ову тврдњу још увек нису једнозначни. Међутим, истраживачи су готово сигурни да је виши ниво комфора који се пружа корисницима објекта у корелацији са лакшим издавањем пословног простора. Тренутно се КУС објеката процењују помоћу две стратегије (Heinzerling et al., 2014):

- Евалуације након заузећа – ЕНЗ (Post Occupancy Evaluation),
- и мерења инструментима.

Подаци прикупљени инструменталним мерењима третирају се као објективна оцена субјективне процене коју је извршио ЕНЗ. Као што је претходно поменуто, интеракцију између параметара КУС карактерише значајна променљивост у простору и времену због њихове сложене природе (Parkinson et al., 2015). Стога, бележење такве врсте узорка мерења КУС, представља изазове техничке и логистичке природе.

Тренутно је уобичајен приступ пројектовању објекта кроз пројектовање енергетских перформанси. Ова метода може бити у директном сукобу са комфором, здрављем и продуктивношћу корисника објекта. Уобичајена пракса је да се омотач зграде учини херметички заптивеним и да се смањи стопа вентилације, тиме повећавајући концентрацију загађивача ваздуха, што може имати негативне ефекте. Из прегледа научних радова, јасно је да професионалци и истраживачи почињу да дају предност здравим објектима високих перформанси (Mujaan et al., 2019).

Бројне студије се спроводе како би се утврдило да ли постојећи зелени водичи пружају задовољавајуће КУС услове и да ли је задовољство корисника веће од оног у несертификованом грађевинском фонду (Altomonte et al., 2017). Тренутно, према доступним подацима, општи став у научној заједници јесте да метрике које се користе за добијање КУС кредита треба поузданије дефинисати како би се повезале са метриком задовољства људи са КУС у будућим итерацијама водича за

сертификацију зелених објеката и стандардима. Такође, потребно је вршити обуку станара и корисника о новим сазнањима на пољу КУС уз конципирање оперативних стратегија рада објекта, како оне имају потенцијал за даље побољшање задовољства са КУС. Много пажње мора се посветити прилагодљивом континуалном праћењу и надзору објеката и раду централизованих система климатизације и вентилације како би се фино регулисали параметри КУС.

Може се приметити да истраживачи на пољу КУС почињу да схватају међусобне везе између већ успостављених аспеката комфора и здравља КУС који су претходно тестирани одвојено (Al Hogg et al., 2016).

Веће стопе вентилације и природна вентилација које осигуравају квалитет унутрашњег ваздуха могу имати негативне ефекте на акустични комфор, јер стварају позадинску буку, омогућавају спољашњој буци да продре у објекат и могу изазвати незадовољство. Даље, канцеларије отвореног типа обично се користе при пројектима зелених објеката како би се максимално искористило дневно светло, али им недостају звучне баријере и стварају акустично незадовољство (Altomonte et al., 2017). Слично томе, употреба подног грејања на ниским температурским режимима избацује употребу тепиха који добро пригушују звук, што може бити разлог за незадовољство. Избор материјала који се користе у затвореном простору може имати огроман утицај на све аспекте КУС и треба их пажљиво бирати у фази пројектовања. Треба их одабрати на начин који минимализује лакоиспарљива органска једињења и непријатне мирисе и максимизују апсорпцију звука.

Математички модели засновани на подацима (data driven models) тренутно дају занимљиве резултате на пољу термичког комфора и требало би подстаћи проширивање истраживања на холистички приступ КУС. Како овај приступ захтева велике узорке података, у ту сврху може да послужи мноштво јефтине уређаја спремних за потрошачко тржиште. Могуће је да ће нови модели пронаћи нове везе између унутрашњих параметара који утичу на квалитет средине и прихватљивост и задовољство корисника и станара објеката.

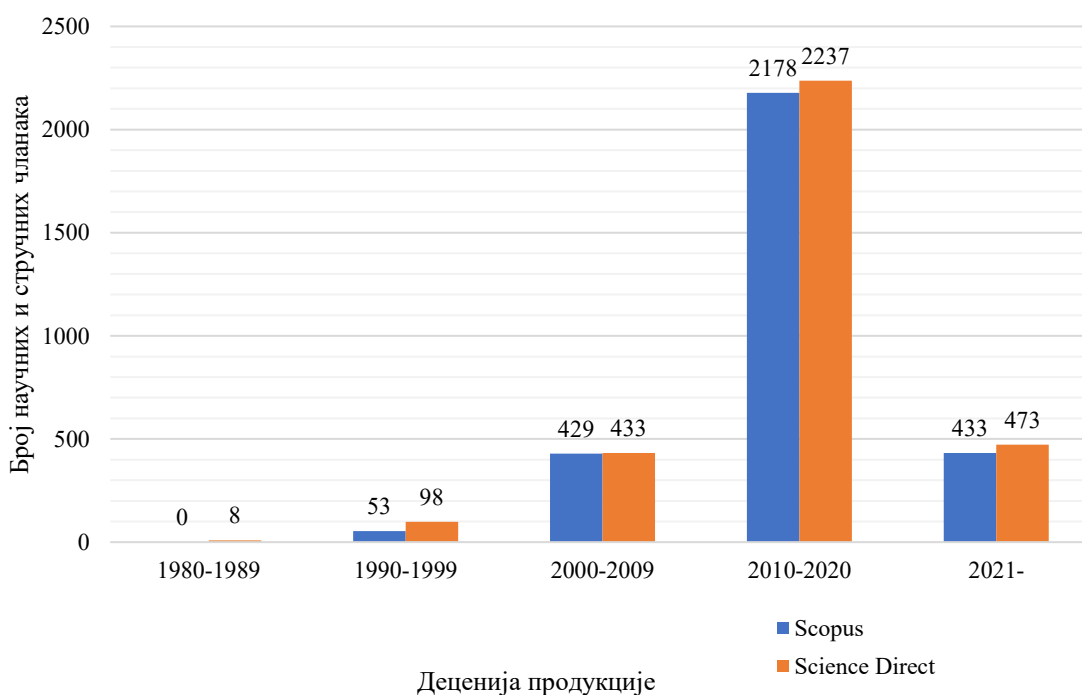
2.2 Методологија одабира литературе

За стварање полазне тачке истраживања коришћен је широк спектар литературе. За потребе дисертације коришћене су књиге, стандарди, чланци из научних и стручних часописа, чланци са конференција и неакадемска литература. Употреба неакадемске литературе била је оправдана ради добијања информација о тренутним и новим јефтиним КУС сензорским уређајима које нису доступне у рецензираним чланцима. Сврха је била документовање и анализа кључне литературе и приказивање најсавременијих трендова у КУС у погледу продуктивности и здравља корисника и станара објеката. Методологија студије била је: идентификовати, прикупити и класификовати.

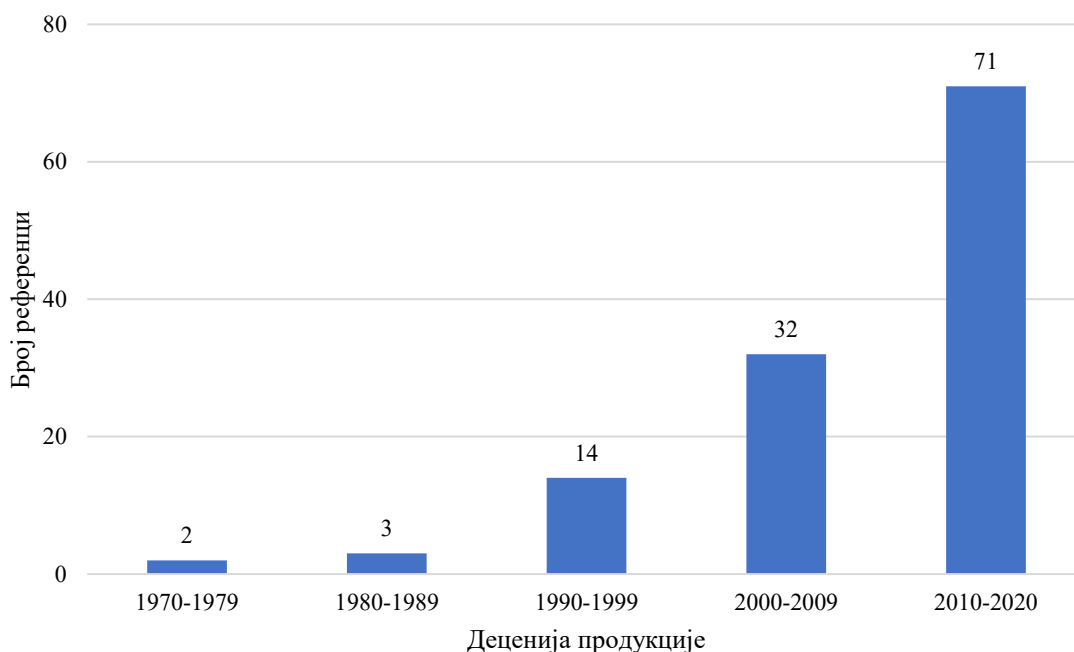
Утврђене су кључне речи за истраживање: квалитет унутрашње средине (indoor environment quality), продуктивност (productivity), здравље (health). У ту сврху коришћени су претраживачи Scopus и Science Direct. Слика 1 приказује резултате претраживача за научне чланке када се унесу кључне речи квалитет унутрашњу животне средине, продуктивност, здравље. Резултати су послужили као полазна

тачка за даљу класификацију помоћу претраживача, а према релевантности истраживачких чланака. Најважнији чланци су прикупљени за истраживање и преглед. Након почетног прегледа, цитати и библиографије прикупљених чланака коришћени су за стицање додатних сазнања о утицају КУС на здравље и продуктивност људи, а релевантна литература је даље усвајана. Састоји се од истраживачких чланака, књига, стандарда, зелених водича и неакадемске литературе.

Прегледана литература је у распону од 1970. до 2021. године, док је главни фокус на литератури од 2000. године па надаље. Слика 1 указује на растуће интересовање ка кључним речима о квалитету унутрашње средине, продуктивности и здрављу у последњој деценији са врхунцем интересовања у претходних пет година. Претраживач Science Direct и претраживач Scopus показују да је 2020. била најпродуктивнија са 651, односно 665 резултата претраживања. Преглед се односи на укупно 122 продукције које се састоје од 99 истраживачких чланака, 6 књига, 6 водича, 8 стандарда и 3 чланка из неакадемске литературе. Расподела прегледаних референци заснована на деценији објављивања дата је на слици 2.



Слика 1 - Излазни подаци из програма за претраживање научних радова сортиран по броју и деценији продукције употребом кључних речи: indoor environment quality, health, productivity



Слика 2 - Учесталост декаде публикације у прегледу литературе.

Следећи ову методологију, увод је категоризован у следеће сегменте: Зелени сертификати (водичи) и КУС, Кључни физички и хемијски параметри за оцену квалитета унутрашње средине (термички комфор, квалитет унутрашњег ваздуха, визуелни комфор и акустички комфор), Индивидуална контрола параметара КУС.

2.3 Зелени сертификати (водичи) и КУС

Тренутно се одрживост грађевинског фонда промовише кроз неколико система сертификације зелених објеката. Тренутно, водећи сертификати сортирани хронолошки од најстаријег ка најмлађем су:

- Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) (BREEAM, 2017) из Уједињеног Краљевства,
- Green Star (GBCA, 2011) из Аустралије,
- и Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (Council, 2003) из Сједињених Држава.

Ови сертификати, начелно, имају сличан приступ вредновању објеката и садрже категорије као што су одрживост локације, енергетска ефикасност објекта, потрошња воде, материјали и конструкције итд. Уз актуелну стручну полемику, у последњих неколико година, у водичима је почела имплементација категорије задовољства корисника са КУС. Тренутно још увек нису у потпуности окарактерисани сви фактори за које је познато да имају утицаја на КУС. Допринос система зелених сертификата у побољшању услова рада у затвореном простору покренут је чињеницом да плате радника драстично надмашују инвестиционе и оперативне трошкове самих објеката (Bendewald et al., 2014).

У радном канцеларијском окружењу, унутрашња средина утиче на задовољство корисника објеката, као и на њихово здравље и самопроцену

перформансе рада (Bluyssen, 2014; Lamb and Kwok, 2016; Lan et al., 2014). Општа је претпоставка да сертификација зграде доводи до побољшања КУС (USGBC, 2018). Међутим, доследност ове претпоставке тренутно није једнозначно потврђена због различитих метрика и метода коришћених у анализама. Истраживачи су известили о бољим когнитивним перформансама у зеленим сертификованим објектима (MacNaughton et al., 2017), док су други, такође, известили о томе да се у канцеларијама са зеленом сертификацијом могу очекивати бољи резултати когнитивних функција од оних у конвенционалним канцеларијама (Allen et al., 2016; MacNaughton, 2016). Ове констатације треба узети са резервом, јер су други истраживачи открили да радници у зградама са зеленим сертификатом имају тенденцију вишег оцењивања КУС него у конвенционалним објектима, док задовољство са радом није веће (Leaman and Bordass, 2007). Студија која се састоји од огромне базе података о 93 канцеларијске зграде са оценом LEED са преко 11.000 одговора корисника, открила је да задовољство корисника није порасло са кредитима додељеним одређеном КУС фактору како је иницијално очекивано (Altomonte et al., 2017). Штавише, на задовољство на радном месту нису утицале унапређиване верзије сертификата (Altomonte et al., 2017).

2.4 Кључни физички и хемијски параметри за оцену квалитета унутрашње средине

2.4.1 Термички комфор

Термички комфор представља субјективно стање задовољства ума термичким окружењем и процењује се субјективном проценом (ASHRAE, 2017a). Представља најдуже проучавани и веома важан параметар КУС. Тек када људи осећају термички комфор, могу да остварују максималну продуктивност. Како би постигла овај осећај, особа доживљава когнитивне процесе који повезују физичке, физиолошке и психолошке факторе (ASHRAE, 2017b). Термички комфор игра важну улогу у продуктивности, а при стабилним температурама од 21-25 °C остварују се најбољи услови за рад и боравак у просторијама. Приметно је да ако се прекорачи ова горња граница, за сваки 1°C преко границе, продуктивност се смањује за 2% (CIBSE, 2013; Wargocki and Serränen, 2006). На термички комфор првенствено утиче шест параметара: температура ваздуха, релативна влажност ваздуха, брзина струјања ваздуха, средња температура зрачења, метаболизам човека и ниво одевености (ASHRAE, 2017a, 2017b). Сходно томе, прва четири параметра су везана за окружење, док су последња два персонална и на њих треба обратити пажњу у фази пројектовања објеката. Постоје и секундарни фактори који такође утичу на термички комфор као што су неравномерност параметара унутрашњег окружења, спољни климатски услови, старосна доб, пол, визуелна стимулација итд. (ASHRAE, 2017a, 2017b).

Термички комфор комбинује велики број динамичких фактора који могу, али не морају бити у директној вези (ниво одевености, метаболичка активност особе, положај тела, позиција прозора, расположење итд.). Постизање потпуног термичког комфора врло је сложен процес и потребно је познавање реакција људи на динамичке промене у простору. Термички комфор има и индивидуални и географски карактер, јер на њега утичу фактори као што су старост, пол, метаболизам итд. (Cena and De Dear, 2001; Ngoc et al., 2014). Примећено је да се продуктивност повећава када се топлотни комфор побољша од прихватљивих граница до тачке која кориснику објекта више одговара (De Dear et al., 2013). Студије су такође показале да људи различитог пола, старости и индекса телесне масе преферирају различите термичке услове. Жене показују већу нелагодност од мушкараца у контролисаном затвореном окружењу, јер су осетљивије на промене које доводе до одступања од оптималног термичког комфора и показују већу нетрпељивост према хладним условима (ASHRAE, 2017b).

Литература се бави овом темом и користи термичку осетљивост, термичку прихватљивост и термички приоритет као алате за описивање субјективних осећања људи у затвореном простору (Langevin et al., 2013). Термички комфор представља субјективно стање, док је термички осећај објективно стање и описује се као правац и интензитет сензуалне перцепције човекове затворене околине. Термички осећај представљен је на скали од 7 тачака: веома хладно (-1), хладно (-2), благо хладно (-1), неутрално (0), благо топло (+1), топло (+2) и вруће (+3) (ASHRAE, 2017a; Fanger, 1970).

Један од пионира на овом пољу је Поул Оле Фангер (1970) који је створио аналитички модел за одређивање термичког комфора за објекте са централно контролисаним ГВК (грејање вентилације и климатизација) системима. Физички параметри просторије (температура ваздуха, брзина струјања ваздуха, релативна влажност ваздуха, температура глобус термометра) користе се са додатком људске променљиве (ниво одевености и метаболичка активност) за израчунавање предвиђене средње вредности изјашњавања о термичком комфору велике групе људи у датом окружењу, познат као индекс PMV (Predicted mean vote). PMV индекс се даље користи за израчунавање процента незадовољних корисника унутрашњим термичким окружењем или PPD (Percentage of Dissatisfied) индекса (ISO 7730 International Standard, 1994). PPD индекс процењује стопу незадовољства условима у просторији (веома хладно / вруће) и предвиђа субјективни осећај од -3, -2, ..., +2, +3 на Ликертовој скали. Као основа за ову методологију користе се метода „равнотеже топлоте“ и људски физиолошки фактори. Фангеров модел PMV/PPD, потпомогнут међународним стандардима, има доминантан положај и сматра се применљивим на било ком делу света у објектима са централизованим КГХ системима.

Иако је Фангеров модел комфора и даље најкоришћенији модел, на крају двадесетог века, Де Дир и Брагер увели су адаптивни модел прихватања комфора који бележи раст популарности (Brager and de Dear, 1998; Dear et al., 1998). Мора се рећи да овај модел, иако није нов, представља промену у размишљању на тему термичког комфора. Адаптивни модел проблему термичког комфора приступа са идејом да су корисници у објекту део система комфора у целини. Де Дир и Брагер су овај адаптивни процес класификовали као физиолошки, психолошки и као навике. Главна премиса овог модела је да корисници објекта у природно проветраваном објекту постижу термички комфор у ширем опсегу температура од људи у зградама са централним ГВК системима. Деведесетих година прошлог века, подржано од стране ASHRAE, спроведене су ригорозне теренске студије како би се тестирао и верификовао овај модел и покушао објаснити модел адаптивне регресије (уноси биланса топлоте за режим PMV / PPD) (Dear et al., 1998).

Каснија студија са неколико поједностављења (температура сувог термометра) еволуира у први адаптивни модел термичког комфора препознат у стандарду ASHRAE 55 и користи је као опција за зграде без икаквих расхладних система, а касније и за зграде у мешовитом режиму рада. Модел је од тада, осим неких малих разлика, поновљен у Европи кроз SCATS пројекат који је касније уступио место европском стандарду за адаптивни термички комфор (Mølhave, 2008). Модел је негативно критикован због поделе грађевинског фонда у две категорије: природно проветраване и климатизоване. Стога овај модел испада из домета централно контролисаних система ГВК у објектима, јер овакви системи не пружају потребне могућности прилагођавања. Последња итерација ASHRAE стандарда 55 (2017а) сугерише да би се овај адаптивни модел могао користити са централизованим системом ГВК ако би се корисницима пружиле могућности прилагођавања.

Претходно поменути PMV/PPD и адаптивни модели дизајнирани су да предвиде просечне нивое комфора за велики узорак корисника, док су истраживачи утврдили да то не мора бити случај за малу групу појединаца (Goldstein and Talon, 2015). Такође, улазне податке потребне за ове моделе може бити тешко добити (нпр. изолациона својства одеће, брзина метаболизма итд.) и због тога се нагађају или

поједностављују (Auffenberg et al., 2015). Нови приступ на пољу термичког комфора тренутно добија на значају на пољу персоналног комфора. Ким и сарадници (2018) га дефинишу као модел који предвиђа реакцију појединца на термички комфор, уместо предвиђања просечног одзива великог узорка људи. Јединице које се користе за анализу личног термичког комфора су индивидуални корисници, док се њихове повратне информације користе за даљи развој и „тренирање“ овог модела заснованог на подацима.

Модели персоналног комфора показали су нека занимљива побољшања у односу на конвенционалне моделе термичког комфора, наиме у постизању тачности до 40% употребом машинског учења и диверзификацијом типова података прикупљених од сензора и одговора испитаника (Kim et al., 2018). Модел омогућава додавање новог скупа променљивих које претходно поменути модели не могу да обухвате (нпр. индекс телесне масе, пол итд.). Створени су различити облици модела личног комфора користећи улазне параметре стварног унутрашњег окружења и повратне информације од корисника како би се предвидео њихов термички комфор. Уобичајени алгоритми машинског учења који су коришћени у такве сврхе су неуронске мреже, Бајесове мреже, нејасна логика, логичка регресија итд. (Agi et al., 2008; Vermejo et al., 2012; Choi and Yeom, 2019; Peng and Hsieh, 2017). Аутори наводе да тренутно најбоље резултате показују модели који предвиђају понашање корисника објекта на основу података прикупљених из њихове интеракције са системима индивидуалне контроле параметара КУС. Термичке преференције корисника могу се претпоставити на основу њиховог понашања за време грејања/хлађења и могу се користити за управљање свакодневним комфором ради побољшања задовољства корисника и смањења потрошње енергије. Индустрија и истраживачи признају да два главна модела која теже великом узорку испитаника не дају увек добре резултате у мањем обиму. На пример, аутомобилска индустрија тестира персоналне термичке моделе комфора у возилима који су такође теоретски примењиви на објектима. Истраживачи у овој области још увек нису поставили оквир за обједињено моделовање и њихова главна тежња је тачност предвиђања. Ови модели нису добро повезани са успостављеном и признатом методологијом дефинисања термичког комфора, и ретко се покушавају интегрисати у реалне сценарије у зградарству.

Тренутно је најбоља доступна архива о термичком комфору ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. Представља огромну базу података која се састоји од истраживања на терену, која је прикупљена и усаглашена током протеклих двадесет година. База података је бесплатна и отворена за јавност на интернету, са више од 81.000 студија о климатским условима у затвореном простору, упарених са одговорима испитаника о субјективном осећају за време боравка у простору током мерења климатских услова (Földváry Ličina et al., 2018).

Термички комфор препознат је још седамдесетих година прошлог века као важан фактор, а његов утицај је квантификован незадовољством људи у просторији. Након спровођења мерења потребних за одређивање термичког комфора, потребно је тражити повратне информације од људи који бораве и раде у том простору и по потреби кориговати модел. Стандарди у овој области сигурно представљају добру полазну основу за дизајн ГВК система. У табели 1, наведени су параметри који се мере у простору и списак људи који тамо бораве.

Табела 1 - Процедура мерења термичког комфора.

Мерени параметар	Мерна опрема	Упитник	Одговор корисника објекта
Средња температура зрачења	Глобус термометар	<ul style="list-style-type: none"> • Старосна доб • Распон старосне доби • Метаболизам • Активност корисника 	<ul style="list-style-type: none"> • Веома хладно • Хладно • Задовољавајуће • Топло • Вруће
Релативна влажност	Хигрометар		
Температура ваздуха	Термометар		
Брзина струјања ваздуха	Анемометар		

2.4.2 Квалитет унутрашњег ваздуха (КУВ)

КУВ је показатељ квалитета ваздуха у зградарству и има врло снажан утицај на квалитет живота у стамбеним зградама и продуктивност у пословним и јавним објектима (Olesen, 2005). Већи број студија је забележио и експериментално потврдио ефекат КУВ на пословни сектор који се одражава на продуктивност, свакодневне задатке попут решавања основних математичке операција, куцања текста, лектуре, итд. (Fanger, 2000; Langer and Bekö, 2013; Ng et al., 2012; Wargocki et al., 2000). Студије спроведене у комерцијалним и стамбеним зградама, које су тренутно у употреби, показале су да велики број радника и становника изражава незадовољство квалитетом ваздуха и да је такође у директној вези са здравственим проблемима који се јављају на радном месту (Bluyssen, 1996; Fisk et al., 1993; Mendell, 1993). Симптоми могу бити благи као лагана респираторна иритација или екстремнији, доводећи до синдрома болесног објекта (СБО), па чак и до астме (Seppänen and Fisk, 2002). СБО је директно повезан са зградом, а најчешћи симптоми су запаљење очију (свраб и печење), иритација носа и синуса, а ређе иритација респираторног система, главобоља, летаргија и ментални умор (Mendell and Smith, 1990; Otto et al., 1992). Област квалитета ваздуха у затвореном простору директан је покушај истраживача да разумеју, квантификују и превазиђу ове здравствене симптоме.

Основа КУВ је мерење параметара који су у сложеној просторној и временској зависности:

- Температуре сувог термометра,
- релативне влажности ваздуха,
- брзине струјања ваздуха,
- концентрације угљен-диоксида,
- концентрације угљен-монооксида,
- концентрације формалдехида
- концентрације азот-диоксида,
- концентрације озона,
- концентрације сумпор-диоксида,
- концентрације лакоиспарљивих органских једињења,
- и нивоа загађења суспендованим честицама.
- концентрације кисеоника,
- концентрације амонијака,

Главни параметри који утичу на КУВ и њихове максимално дозвољене толеранције могу се наћи у табели 2. На ове параметре утичу и услови изван објекта (азот-диоксид, сумпор-диоксид), конструкција саме зграде, систем ГВК, просторни распоред и процеси рада и живота. Да би се добио свеобухватан КУВ одређеног објекта, потребно је извршити физичко, хемијско и биолошко испитивање (Bluysen, 2004; Mølhav, 2008). Литература предлаже широк спектар студија као што су студије биомаркера, студије о особама изложеним контролисаним лабораторијским условима ваздуха и студије о појединцима у стварним условима и стању унутрашње средине. Због сложености и међусобне повезаности параметара, КУВ је веома сложен ентитет за мерење (Szczyrek et al., 2015).

Табела 2 - Параметри који утичу на квалитет ваздуха у затвореном простору и њихове максимално дозвољене толеранције за људе препознате у различитим регионима света. (Мујан et al., 2019)

Параметар		САД			ЕВРОПА			КИНА		ЈАПАН
Температура ваздуха	граница	22,5-26 °C лети 20,0-23,5 °C зими			22-27 °C лети 20-23 °C зими			22-28 °C лети 16-24 °C зими		17-28 °C
	референца	ANSI/ASHRAE			WHO			AQSIQ		MHLW
Релативна влажност ваздуха	граница	40-60% лети 30-60% зими			25-45%			40-80% лети 30-60% зими		40-70% за 8 h
	референца	ANSI/ASHRAE			WHO			AQSIQ		MHLW
Струјање ваздуха	граница	0,25 m/s			0,25 m/s			0,3 m/s лети 0,2 m/s зими		0,5 m/s
	референца	WHO			WHO			AQSIQ		MHLW
Вентилација (спољашњи ваздух)	Препоручује се према простору или броју корисника у зависности од врсте и намене објекта.									
Угљен диоксид	граница	8 h	Спољна конц.		1 h	8 h	24 h	24 h		24 h
	референца	5.000 ppm	< 700 ppm (1 800 mg/m ³)		10.000 ppm	5.000 ppm	1.000 ppm	1.000 ppm		1.000 ppm
Угљен моноксид	граница	ASHRAE/ACGIH			WHO/МАК			AQSIQ		MHLW
	референца	1h	8h	Макс	30 min	8h		1h	1h	24h
Формалдехид	граница	30 min	1h	8h	5 min	30 min	8h	1h		5h
	референца	0,081 ppm	76 ppb	27 ppb	1 ppm	0,081 ppm	0,3 ppm	0,08 ppm		0,08 ppm
Азот-диоксид	граница	ASHRAE/OSHA/EPA			WHO/МАК/ HSC			AQSIQ		MHLW
	референца	15 min	1 h	1 год.	1 h	1 год.		1 h	1 год.	Нема тренутног консензуса
граница	5 ppm	3 ppm	0,05 ppm	0,1 ppm	0,02 ppm		240 ug/m ³	80 ug/m ³		
Озон	граница	AGGIH/NAAQs/EPA			WHO/МАК			AQSIQ, SEPA		Нема тренутног консензуса
	референца	1h	8h		8h	max		1h		
Сумпор-диоксид	граница	ASHRAE/OSHA/EPA			WHO			AQSIQ		Нема тренутног консензуса
	референца	0,1 ppm	0,05 ppm		0,064 ppm	0,05 ppm		0,16 mg/m ³		
Лакоиспарљива органска једињења	граница	8 h	1 год.		1 h	24 h	1 год.	1 h		Нема тренутног консензуса
	референца	2 ppm	80 ug/m ³		0,133 ppm	0,048 ppm	0,012 ppm	0,5 mg/m ³		
Суспендоване честице мање од 2,5 микрометара	граница	ASHRAE/OSHA/EPA			WHO/МАК			SEPA		Нема тренутног консензуса
	референца	Нема тренутног консензуса			8 h			8 h		
Суспендоване честице мање од 10 микрометара	граница	Велика Британија			300 ug/m ³			0,6 mg/m ³		Нема тренутног консензуса
	референца	8 h	24 h	1 год.	24 h	1 год.		Нема тренутног консензуса		
Укупно суспендоване честице у ваздуху	граница	3 mg/m ³	35 ug/m ³	15 ug/m ³	25 ug/m ³	10 ug/m ³		Нема тренутног консензуса		
	референца	ASHRAE/ACGIH/EPA			WHO			AQSIQ		
Укупно суспендоване честице у ваздуху	граница	8 h	1 год.		8 h	24 h	1 год.	24 h		Нема тренутног консензуса
	референца	10 mg/m ³	150 ug/m ³	50 ug/m ³	4 mg/m ³	50 ug/m ³	20 ug/m ³	0,15 mg/m ³		
Укупно суспендоване честице у ваздуху	граница	ASHRAE/ACGIH/EPA			WHO/МАК			AQSIQ		Нема тренутног консензуса
	референца	8 h			Нема тренутног консензуса			Нема тренутног консензуса		
Укупно суспендоване честице у ваздуху	граница	15 ug/m ³			Нема тренутног консензуса			Нема тренутног консензуса		Нема тренутног консензуса
	референца	OSHA			Нема тренутног консензуса			Нема тренутног консензуса		

Екстремно мале честице <1,0 микрометара	граница	Нема тренутног консензуса	Нема тренутног консензуса	Нема тренутног консензуса	Нема тренутног консензуса
	референца				

КУВ се може контролисати помоћу три поступка:

- поступак принудне вентилације свежим ваздухом,
- КУВ процедуре
- и поступак природне вентилације.

Ова три поступка могу се користити независно или у комбинацији за постизање одговарајућег КУВ. Поступак броја измена ваздуха принудном вентилацијом диктира стопу вентилације спољним ваздухом, узимајући у обзир површину објекта, намену и обрасце употребе објекта. Процедура КУВ се може користити за било коју зону или систем и одређује количину убаченог спољног ваздуха на основу ограничења концентрација загађивача и њихових ограничења дозвољених унутар објекта у комбинацији са перцепцијом прихватљивости унутрашњег ваздуха од стране корисника објекта. Поступак природне вентилације састоји се од мера за директну инфилтрацију спољашњег ваздуха кроз отворе на спољном омотачу објекта и дозвољено је да се користи у било којој зони објекта, али са пратећим вентилационим системом (ASHRAE, 2016; 2016). Студије европских истраживача су то потврдиле и примећују високу корелацију између слабо проветрених простора који имају стопе вентилације мање од 10 l/s по особи и СБО. Такође, у добро проветреним просторијама долази до повећања продуктивности (Dimitroulopoulou and Bartzis, 2013; Fisk, 2009; Kosonen and Tan, 2004; Seppänen et al., 1999). Међутим, са становишта потрошње енергије, јасно је да већи број измена ваздуха повећава потрошњу енергије вентилационог система смањујући на тај начин укупну енергетску ефикасност објекта.

Да би се задовољиле потребе за свежим ваздухом у просторијама, постоји много примена ГВК система, од основних система природне вентилације, преко хибридних ГВК система, до чисто механичких ГВК система. Хибридни системи који се састоје од природне и принудне вентилације најбоље испуњавају енергетске, здравствене и производне аспекте, иако такви системи нису увек погодни. У објектима са климатизационим системима, са или без овлаживања, измерен је значајан статистички пораст једног или више симптома СБО код корисника, између 30% и 200%, у односу на објекте са природном вентилацијом (Seppänen and Fisk, 2002).

Избор вентилационог система треба извршити у складу са спољним климатским условима, у зависности од врсте објекта и врсте активности коју људи обављају у просторијама. Системи централне механичке вентилације доминирају у топлим и влажним климатским зонама, али у скорије време постоји тенденција преласка на персонализовану вентилацију. Наиме, поред стандардне централне вентилације, кориснику се пружа прилика да врши фину регулацију услова у свом најближем окружењу и да постигне себи одговарајуће климатске услове. Такви системи такође постижу уштеду енергије до 30% у односу на централне вентилационе системе, пружајући корисницима пријатније услове рада. Такви системи пружају кориснику свеж ваздух директно у животном или радном простору (Sekhar et al., 2005).

Загађивачи ваздуха један су од узрока смањене продуктивности у канцеларијском простору. Главни представници у литератури су лакоиспарљива органска једињења (VOC – volatile organic compounds). Хемијски и микробиолошки VOC утичу на квалитет ваздуха у затвореном простору (Wolkoff, 2013). VOC у унутрашњој средини могу имати природно порекло, али их првенствено производе људи. Вештачки произведени VOC се претежно стварају у петрохемијској индустрији, технолошким процесима, сагоревањем конвенционалних горива итд. (Panagiotaras, 2014). Унутрашњи извори потичу од људских активности као што су кување или пушење и из грађевинских материјала од којих је зграда направљена као и опреме и намештаја у унутрашњем простору. Примећено је да нове зграде имају веће концентрације VOC компонената у ваздуху које се смањују током времена (Shin and Jo, 2013). Већина компонената VOC изазива осетљивост и иритацију дисајних путева.

Проблем мерења VOC је у томе што имају велику разноликост у физичким и хемијским карактеристикама, а развој стандардизованих поступака за њихово узорковање и анализу показао се тешким (Collier-Oxandale et al., 2020). Ове компоненте углавном утичу на људску психу, па је неопходно утврдити специфичности њиховог утицаја. Дакле, VOC имају субјективни утицај, а њихово посматрање и мапирање у одређеном окружењу је сложен задатак. Фангер је, као врло доминантан истраживач у овој области, представио јединице Olf и Decipol за мерење поменутих унутрашњих извора загађења ваздуха (Fanger, 1988). Стопа емисије загађења ваздуха представљена је јединицом Olf као стопом емисије стандардизоване особе. Најчешће коришћени материјали за грађевинске материјале емитују око 0,1 до 0,2 olf/m². Decipol представља субјективни ниво КУВ. Ако је брзина вентилације 10 l/s по станару/кориснику објекта, корисник има процењени квалитет ваздуха од 1 decipol. Даље, употребом ове методологије може се одредити приближан број људи који су незадовољни условима у просторији коришћењем функција.

КУВ, иако већ одавно познат, и даље је врло актуелан предмет истраживања због великог броја испарљивих честица које имају различите последице на људско здравље, проблема њиховог мерења у простору и времену и њихове сложене међусобне везе. Руководилац објекта или енергетски менаџер треба да има свеобухватну слику о тренутном квалитету унутрашњег ваздуха у корист система BMS (Building management system - Систем надзора и управљања објектом) како би контролисао рад централног вентилационог система или саветовао о стратегијама примене природне вентилације и обезбедио довољне количине свежег ваздуха за људе. Такође, у случају повећаног нивоа загађења у спољном окружењу, систем би требало да ради у режиму потпуне рецикулације и спречи продирање загађујућих материја. Табела 3 даје параметре који се мере да би се одржао ниво квалитета ваздуха у простору унутар препоручених граница.

Табела 3 - Метода мерења КУВ.

Мерени параметар	Мерна опрема	Упитник
Стопа вентилације	BMS (Систем управљања објектом)	Субјективна перцепција корисника о КУВ
Нивои унутрашњег загађења ваздуха	Сензори (CO ₂ , формалдехиди, VOC, суспендоване честице, итд.)	
Нивои спољашњег загађења ваздуха	Сензори (CO, CO ₂ , суспендоване честице, итд.)	

Аспект квалитета унутрашње средине који је доживео драматичан помак у разматрању је унутрашње струјање ваздуха. Струјање ваздуха првобитно се третирало само у негативном контексту унутрашњег хлађења као „промаја“. Ризик од промаје је у почетку био критеријум термичког комфора који је процењивао изложеност корисника објекта температури и брзини ваздуха, што је са даљим студијама еволуирало и дало осећај незадовољства код корисника. Тофтум и сарадници (2002) потврдили су склоност корисника ка бржем струјању ваздуха у контролисаним условима који зависе од термичких сензација и температуре. Забележене су значајне разлике у реакцијама корисника објеката. ASHRAE Стандард 55 из 2010. године препознао је да се распони температура повезани са термичком прихватљивошћу могу проширити са брзином ваздуха до 0,8 m/s, а са индивидуалном контролом и до 1,2 m/s. Међутим, КУВ стандарди не дозвољавају тако драстично повећање струјања ваздуха унутар објекта. За поновну процену овог веома важног параметра КУВ потребна је сарадња између стручњака у овим областима.

2.4.3 Визуелни комфор - осветљење

Људима је потребна дневна светлост да би њихов биолошки сат правилно функционисао и имали енергију за физичку и менталну активност током дана (Agiés, 2005). Како већина људи већи део дана проводи у затвореном простору, неопходно је архитектонски конципирати објекат тако да се у потпуности искористи дневно природно осветљење (Leech et al., 2002). Људски визуелни комфор постиже се на најбољи начин уз дневну светлост. Позитивно утиче на људску психу, а људи који имају приступ овој светлости током дана углавном су опуштенији и ведрији (Li, 2010).

Широм света потрошња енергије у зградама износи око 40% укупне потрошње енергије (постоје одступања у зависности од индустријског развоја) (Omer, 2012). Осветљење је препознато као доминантан потрошач електричне енергије у зградама са уделом од око 33%. Највећи утицај на потрошњу енергије, а самим тим и на емисију гасова стаклене баште, примећује се у пословним објектима у којима удео потрошње електричне енергије достиже 40% (Krarti et al., 2005). Одговарајуће мере за повећање удела дневне светлости у шеми осветљења објекта пружају могућности за смањење утицаја објекта на животну средину и стварање услова за пријатнији рад и живот људи (Busch et al., 1993). Компаније које су примениле ову методологију извештавају да се изостајање са посла смањило за 15%

и да су радници били 47% „присутнији“ на радном месту када је пројекат објекта дао предност максимизирању дневног осветљења. (Romm and Browning, 1998).

Корисници објекта преферирају дневну светлост (Aries et al., 2010). Иако тренутно постоје различити типови осветљења који могу опонашати спектар дневне светлости, примећено је да они утичу на физиолошке и психолошке процесе особа и могу ометати двадесетчетворочасовни унутрашњи људски сат (Rea et al., 2002). Нивои интензитета дневног светла су за једну децималу већи од оних који су створени вештачким светлом и узрокују лучење хормона мелатонина задуженог за унутрашњу регулацију сата (van Bommel and van den Beld, 2004). Тиме се повећава пажња радника при обављању монотоних послова и повећава продуктивност.

Тако се фактор дневног осветљења (ДФ) дефинише као осветљеност затвореног простора дневним светлом. Рачуна се као количина светлости која улази у затворени простор током облачног времена и узима у обзир директну светлост, рефлексију светлости од спољних извора и рефлексију од унутрашњих извора (Fontoyont, 2014). Препоручени нивои ДФ зависе од простора и могу драматично варирати. Истовремено, у просторијама са одговарајућом температуром ваздуха и без продора директног сунчевог зрачења приметно је повећање продуктивности. ДФ такође утиче на квалитет сна у стамбеним објектима након радног времена и али су приметне варијације у зависности од старосне доби, пола и годишњег доба (Serghides et al., 2015).

Међу корисницима унутрашњег простора нема стварног консензуса око димензија и облика прозорских отвора. Међутим, познато је да физичка својства и њихова геометрија имају велики утицај на осветљеност објеката (McNicoll and Lewis, 1994). Већина станара сматра да је приступ прозорима важан и да су неопходни одговарајући нивои осветљења (Wotton and Barkow, 1983). Оно што је важно је оријентација прозора, са становишта акумулације топлоте и инфилтрације ваздуха услед ветра. Показано је да корисници не желе директну сунчеву светлост (Rubin et al., 1978). На контролу прозора директно утичу временски услови, температура ваздуха, доба године и активности које се одвијају у објекту (Zhang and Barrett, 2012). Ако су прозори неадекватно постављени, људи морају да користе елементе за сенчење. Даље, то приморава људе да користе вештачко осветљење и тако повећавају потрошњу електричне енергије и производњу CO₂. Визуелни комфор драстично утиче на укупну продуктивност и здравље и мора се размотрити ограничавање количине вештачког осветљења и омогућавање оптималних количина природног светла у затвореном (Yun et al., 2012).

Пројектовање дневног амбијенталног осветљења треба да буде у складу са локалним климатским условима, у складу са наменом и распоредом простора као и његовом доступношћу. Треба напоменути да осветљење на одређеним радним местима треба пројектовати у складу са препорученим нивоима осветљења доступним у правилницима и стандардима. Ови нивои се драстично разликују од поменутог амбијенталног осветљења. Природно и вештачко осветљење могу се лако мерити сензорима, а индекс рефлексије може се добити помоћу прорачуна. Такође, корисници такође треба да изразе своје мишљење и могу се извршити фина прилагођавања. У доњој табели 4 дат је принцип прикупљања података о осветљењу у затвореном простору.

Табела 4 - Метода мерења природног и вештачког осветљења.

Мерени параметар	Мерна опрема	Упитник
Интензитет амбијенталне и вештачке светлости cd/m ²	Сензор хоризонталне осветљености	Перцепција корисника о нивоу осветљења
Однос дневне/вештачке светлости	Сензори осветљености праћени прорачуном	
Индекс хоризонталне рефлексије	Прорачун	

2.4.4 Акустички комфор - бука

Чуло слуха је једно од основних пет људских чула. Светска здравствена организација дефинише све нежељене звукове као буку. Ефекти буке на људе огледају се у психолошким ефектима као што су нервоза и смањена концентрација. Примарна карактеристика буке јесу звучни притисак тј. мера звучне енергије коју емитује извор звука, изражена у децибелима (dBA), и звучна снага, која има исти смисао као и притисак, али мерена под унапред дефинисаним условима. Акустични комфор у објекту представља акустично окружење погодно за станаре, задржавајући првобитну намену зграде и штитећи људе од буке.

Бука и акустика имају велики утицај на пројектовање објекта. Бука је веома важан фактор у пословном простору, али не толико и у стамбеним зградама. Стога је контрола буке од суштинског значаја за ефикасан рад људи, а лоше дизајнирани простори могу проузроковати незадовољство запослених и смањење продуктивности. (Frontczak et al., 2012). Унутрашњи и спољашњи извори буке утичу на унутрашње окружење. Спољни извори укључују копнени и ваздушни транспорт и рад машина. Најчешћи интерни извори су људски разговор, рад машина и канцеларијска опрема (Vanbury and Berry, 2005). Неутрални звучни притисак у комерцијалним зградама у нормалним условима достиже ниво од 70 dB (Mui and Wong, 2006).

Постоји директна корелација између продуктивности корисника објекта и звучног комфора у комерцијалном сектору зградарства (Landström et al., 1995). Незадовољство корисника у било ком објекту потиче из незадовољства неким параметром унутрашњег окружења. Према томе, сугерисано је да промена температуре од 1 °C изван термонеутралних услова има исти ефекат на термички комфор као повећање буке за само 2,6 dB при краткотрајној изложености и за 2,9 dB при дуготрајној изложености (Pellerin and Candas, 2004). Такође је примећено да људи изложени повећаном нивоу буке имају висок крвни притисак и повећано лучење хормона који узрокују стрес (Evans et al., 1998). Исти истраживачи су закључили да повишени нивои буке утичу на способност памћења и смањења концентрације, а у неким случајевима доводе до анксиозности.

Спољни елементи објекта, као и у случају осветљења, могу допринети заштити људи од буке. Са унутрашњим изворима буке, британски стандард не

дозвољава нивое буке изнад 40 dB за отворени канцеларијски распоред и 45 dB за затворене канцеларије. Када се ови нивои не могу постићи, пројектанти користе систем јавних звучника кроз који емитују звукове који прикривају буку „белим шумом“ који емитује велики број звучних фреквенција са истим интензитетом (Council, 2014).

Акустични комфор у просторији може се постићи правилном употребом материјала који апсорбују звучне таласе. Квалитет собне акустике дефинише се као време одјека буке и њеног апсорбовања у просторији. Он је повезан са апсорпционим карактеристикама површина просторије и њеном запремином (Council, 2014). Архитектонско правилно просторно планирање и употреба одговарајућих материјала могу допринети смањењу буке у пословним и стамбеним објектима. Као што је поменуто, студије показују да је мерење унутрашњих и спољних извора буке важно. Такође је важно упоредити тренутне препоруке за нивое буке са измереним вредностима и применити мере које одговарају намени објекта ако је то потребно. Анкетирање корисника простора један је од услова за уочавање проблема и његово адекватно превазилажење. Табела 5 даје поступак мерења нивоа буке.

Табела 5 - Метода мерења нивоа буке и звука.

Мерени параметар	Мерна опрема	Упитник
Унутрашњи ниво буке	Сензор звучног притиска (dBA)	Перцепција корисника о нивоу буке
Спољашњи ниво буке	Сензор звучног притиска и прорачун (dBA)	

2.5 Индивидуална контрола параметара КУС

У последње време извршено је много истраживања на пољу система индивидуалног комфора уз помоћ симулационих алата. Претпоставка је да корисници објекта преферирају интеракцију са објектом и да имају одређену личну аутономију над постизањем термичког комфора чији је значај изједначен са ефикасношћу грејања и хлађења објекта (Haldi and Robinson, 2011; Rijal et al., 2009).

Позната британска студија открила је да су комфор, здравље и продуктивност радника повезани са њиховом перцепцијом личне термичке контроле (Leaman and Bordass, 2001). Од тада, међународни зелени сертификати почињу да препознају потребу за личном контролом животне средине у својим одељцима о КУВ. То се врши путем кредита који награђују пројекте који пружају корисницима објекта висок ниво управљања термичким системом (LEED, BREEAM, Green Star...). Ови системи се могу разликовати по својој конструкцији и могу бити једноставни попут управљања термостатом или сложени попут персонализованих система за вентилацију са грејачима и површинама са контролисаном температуром, потенцијално задовољавајући 100% комфора (Bauman et al., 1998). Велики број ових система развијен је у последњих 15 година како би се задовољиле потребе корисника за термичким комфором и КУВ, а такође и да би се смањила потрошња енергије централизованим ГВК системима (De Dear et al., 2013; Oh et al., 2014).

Ови системи имају одличну примену у пословном простору због просторног распореда (De Dear et al., 2013). Ово решење је већ доказало да смањује потрошњу енергије за до 30% у поређењу са конвенционалним централизованим ГВК

системима (Oh et al., 2014). Овим системима треба систематски приступити, пре свега обуком радника, како не би значајно повећали потрошњу енергије неправилним руковањем (Day, 2014).

Преглед литературе потврђен је објављеним прегледним научним радом категорије M21a (Мијан et al., 2019).

3 Математички модел обраде података и оцене квалитета унутрашње средине

Стандард EN 16798-1 (2019) користиће се као полазна основа за развој индекса КУС (I_{KUS}). Стандард описује КУС као скуп унутрашњих параметара који могу или не морају бити у међусобној вези. Поред тога, Стандард препознаје пет параметара КУС:

- термичко окружење,
- КУВ,
- влажност,
- осветљење
- и буку.

Ових пет категорија препознато је по свом утицају на задовољство комфором људи и потрошњу енергије унутар објекта. Друга категорија (KUS_{II}) представља нормалан ниво очекивања, док се прва категорија (KUS_I) очекује у затвореном окружењу пројектованим за људе са посебним потребама (нпр. новорођенчад, пацијенти и старије особе). Очекује се да ће ниже категорије комфора бити повезане са смањеним задовољством корисника објекта. Међутим, сви параметри морају бити унутар нивоа за који је познато да не доводе до здравствених ризика. Табела 6. резимира четири стандардне категорије КУС које очекују људи.

Табела 6 - Категорије квалитета унутрашње средине усвојене из стандарда EN 16798-1 (2019) и предложеног система бодовања I_{KUS} .

EN 16798-1		Предложени свеобухватна I_{KUS} оцена (%)
Категорија	Ниво очекивања	
KUS_I	Висок	$75 < I_{KUS} \leq 100$
KUS_{II}	Средњи	$50 < I_{KUS} \leq 75$
KUS_{III}	Умерен	$25 < I_{KUS} \leq 50$
KUS_{IV}	Низак	$0 \leq I_{KUS} \leq 25$

У табели 6 дати су неки аспекти и критеријуми које дефинише EN 16798-1. Ови критеријуми дају основе за прорачуне енергетске ефикасности канцеларијских, образовних, стамбених и других унутрашњих окружења која су првенствено намењена људском боравку. Стандард пружа параметре које треба поштовати при пројектној фази и током експлоатације и рада система ГВК и осветљења (Boerstra, 2019) који су приказани у табели 7.

Табела 7 - Критеријуми из стандарда EN 16798-1 (Boerstra, 2019).

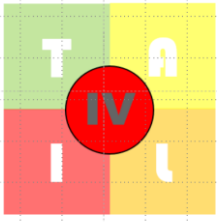
КУС аспект	Тип простора	Категорија			Напомена
		I	II	III	
Распон температуре зими	Стамбени објекти - спаваћа соба	21 - 25 °C	20 - 25 °C	18 - 25 °C	Оперативне температуре за ниво одевености 0,5 лети и 1,0 clo зими, и активношћу 1,2 met
	Канцеларије	21 - 23 °C	20 - 24 °C	19 - 25 °C	
	Школске учионице	21 - 23 °C	20 - 24 °C	19 - 25 °C	
Распон температура лети	Стамбени објекти - спаваћа соба	23,5 - 25,5 °C	23 - 26 °C	22 - 27 °C	Дефинисане су и температуре за адаптивни модел
	Канцеларије	23,5 - 25,5 °C	23 - 26 °C	22 - 27 °C	
	Школске учионице	23,5 - 25,5 °C	23 - 26 °C	22 - 27 °C	
Максимална CO ₂ концентрација	Стамбени објекти - спаваћа соба	380	550	950	Дозвољени нивои ppm изнад спољашње концентрације
	Канцеларије	550	800	1 350	
	Школске учионице	550	800	1350	
Минимални ниво осветљења	Стамбени објекти - дневна соба		-		Према стандарду EN 12464-1
	Канцеларије		500 lx		
	Школске учионице		500 lx		
Минимални ниво буке	Стамбени објекти - спаваћа соба	25 dB	30 dB	35 dB	
	Канцеларије	35 dB	40 dB	45 dB	
	Школске учионице	30 dB	34 dB	38 dB	

Пројекат ALDREN (Alliance for Deep Energy Renovation) представља најновији корак ЕУ ка спровођењу рапидних реконструкција постојећег грађевинског фонда ради побољшања енергетске ефикасности (Wargocki et al., 2019; Wei et al., 2020). Пројекат је усвојио шему категорија из EN 16798-1 и претворио је у ALDREN-TAIL индекс. Сврха овог индекса је да се током обнове постојећег грађевинског фонда у обзир узме и КУС. Метрика укључује четири индекса (укупно 12 физичких параметара):

- индекс термичког комфора (Т),
- индекс удобности акустике (А),
- индекс квалитета ваздуха у затвореном простору (I)
- и индекс комфора осветљења (L).

Свака од компонената може бити оцењена једном од четири боје и то од зелене до црвене (висок до ниског квалитета). Укупни КУС означен је римским бројевима од I до IV (висок до ниског квалитета средине), с тим што свеобухватна оцена КУС постаје једнака најнижем квалитету од четири компоненте како би се подстакло даље побољшање КУС. Табела 8. даје систем визуелног бодовања индекса ALDREN-TAIL.

Табела 8 - ALDREN-TAIL индекс (Wargoeki et al., 2019)

TAIL индекс		Квалитет компоненти	Свеобухватни квалитет
		Зелена - висок квалитет Жута - средњи квалитет Наранџаста - умерен квалитет Црвена - низак квалитет	I - висок квалитет II - средњи квалитет III - умерен квалитет IV - низак квалитет
Мерени параметри			
T	A	I	L
Температура ваздуха	Ниво буке	CO ₂	Дневно светло
		Вентилациона стопа	Јачина осветљења
		Релативна влажност ваздуха	
		Видљива буђ	
		Бензен	
		Формалдехиди	
		PM _{2.5}	
		Радон	

Међутим недостатак овог индекса се огледа у чињеници да није могуће мерење индекса у реалном времену и потребна је експертска анализа која је често недостижна крајњим корисницима објекта. Стога ће се у даљем делу поглавља направити осврт на научна истраживања која дефинисала КУС индекс параметрима које је могуће пратити у реалном времену.

Чијанг и сарадници (2001) су први дефинирали I_{KUS} као полиномску једначину која се састоји од седам параметара унутрашње средине са припадајућим тежинским факторима. Студија је обухватила 28% тајванских центара за негу старијих особа и користила је консултативни аналитички хијерархијски поступак за одређивање тежинских фактора. Вонг и сарадници (2008) су користили мултиваријантни логистички регресивни модел како би пронашли релативне тежинске уделе из 293 истраживања у пословним објектима. Нкубе и Рифат (2012) утврдили су тежинске факторе на основу две пословне зграде у Великој Британији и пронашли сличне резултате онима које су известили Чијанг и сарадници (2001). Пијасечки и сарадници (2017) предлажу систем једнаких тежинских коефицијената, на основу прегледа литературе али без теренских мерења. Овакав приступ оправдавају чињеницом да је методологија прорачуна сваке од компонента КУС заснована на резултатима субјективне перцепције људи о тренутним условима унутрашње средине. Недавно су Бурати и сарадници (2018) истраживали седам универзитетских учионица и анкетирали 928 учесника како би утврдили I_{KUS} , међутим, њихова студија је изоставила КУВ. Табела 9 приказује студије у којима су објављени тежински коефицијенти за КУС параметре.

Табела 9 - КУС тежински коефицијенти објављени у научној литератури и изведени из захтева неколико шема сертификације зелених објеката.

Аутор	Број испитаника	Тежински коефицијент			
		K_{TK}	K_{KUV}	K_{AK}	K_{VK}
(Chiang et al., 2001)	12 тајванских центара за негу старијих особа	0,24	0,34	0,19	0,23
(Wong et al., 2008)	293	0,31	0,25	0,24	0,19
(Cao et al., 2012)	500	0,316	0,118	0,224	0,171
(Ncube and Riffat, 2012)	70	0,30	0,36	0,18	0,16
(ASHRAE, 2012)	52,980	0,12	0,2	0,39	0,29
(Kim and Haberl, 2012)	323	0,12	0,2	0,39	0,25
(Fassio et al., 2014)	17	0,31	0,25	0,24	0,19
(Mihai and Iordache, 2016)	115	0,251	0,241	0,263	0,245
(Piasecki et al., 2017)	Без анкете - предлог аутора	0,25	0,25	0,25	0,25
(Buratti et al., 2018)	928	0,35	-	0,35	0,30
Систем сертификације зелених објеката		Релативна алокација КУС категорије			
(BREEAM, 2017)		0,17	0,28	0,28	0,33
(The U.S. Green Building Council, 2019)		0,06	0,47	0,12	0,35
(Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2007)		0,25	0,25	0,25	0,25

Постојеће студије обично прихватају I_{KUS} као индекс који има линеарну зависност са пондерисаним компонентама приказаним у једначини (3.1). Четири компоненте животне средине израчунавају се на основу физичких мерења унутрашњих параметара животне средине. У пракси се тежински коефицијенти K_i најчешће изводе из резултата статистичке регресије. Улазни подаци за регресиону анализу добијају се резултатима упитника након заузећа (ЕНЗ). Испитаници дају субјективно мишљење о њиховом укупном задовољству КУС и задовољству са сваким параметром КУС, дајући тако „тежину“ сваком параметру КУС у њиховој субјективној перцепцији укупног КУС.

У овој студији, I_{KUS} има распон од 0% до 100% задовољства испитаника и раздвојен је у категорије као што је приказано у табели 6.

$$I_{KUS} = K_{TK} \cdot I_{TK} + K_{KUV} \cdot I_{KUV} + K_{AK} \cdot I_{AK} + K_{VK} \cdot I_{VK} \quad (3.1)$$

3.1 Модел компоненте термичког комфора - I_{TK}

Модел компоненте термичког комфора базира се на ASHRAE 55 и ISO 7730 стандарду, који предвиђају средње гласање корисника задовољством термичким окружењем у објектима са централним системима грејања и хлађења (ASHRAE, 2017a; ISO, 2005). Стандарди усвајају овај модел од Поул Оле Фангера, који је истраживао утицај термичких параметара животне средине на задовољство људи (Fanger, 1970).

PMV се израчунава једначином (3.2), док се његове компоненте M , W , E_p , C_{dis} и E_{dis} представљају размену топлоте између унутрашње средине и човека и израчунавају једначинама (3.3 - 3.6).

$$PMV = (0,303e^{-2,1M} + 0,028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{dis} - E_{dis}] \quad (3.2)$$

$$H = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{od} [(t_{od} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{od} \cdot h_c (t_{od} - t_a) \quad (3.3)$$

$$C_{dis} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \quad (3.4)$$

$$E_{dis} = 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) \quad (3.5)$$

$$E_p = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \quad (3.6)$$

При чему су :

M - Стопа метаболизма (W/m^2);

W - Ефективни механички рад (W/m^2);

H - Осетни губици топлоте;

E_p - Размена топлоте перспирацијом;

C_{dis} - Размена топлоте конвекцијом путем дисања;

E_{dis} - Евапоративна размена топлоте дисањем;

I_{od} - Изолација одеће (mK/W);

f_{od} - Коефицијент површине одеће;

t_v - Температура ваздуха ($^{\circ}C$);

t_{MRT} - Средња температура зрачења ($^{\circ}C$);

v_{ar} - Хоризонтална брзина струјања ваздуха (m/s);

p_a - Парцијални притисак водене паре (Pa);

t_{od} - Температура на спољњој површини одеће ($^{\circ}C$);

t_{ko} - Температура коже ($^{\circ}C$);

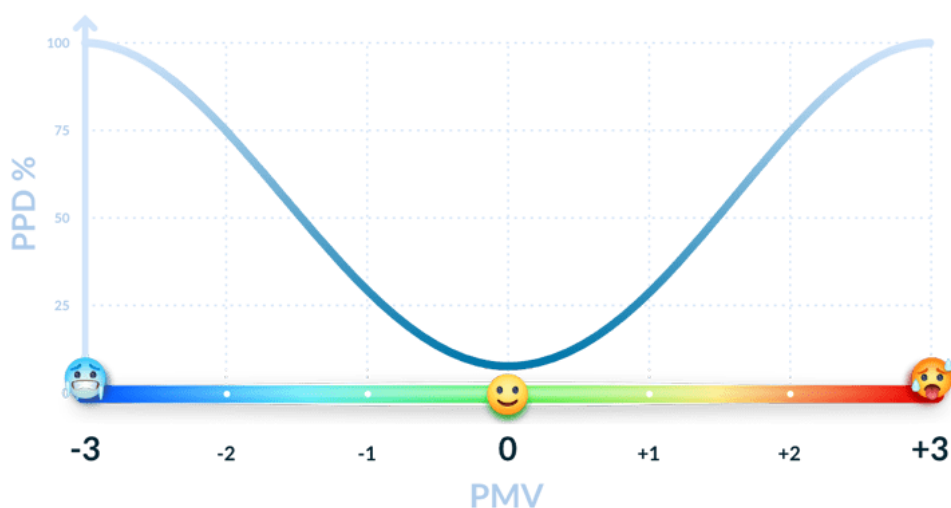
Иницијално, спољња температура одеће t_{od} није позната и представља потешкоћу у овој методологији. Потребно је решити једначину (3.7) итеративним поступком на основу температуре коже особе као иницијалне претпоставке, која се налази у једначини (8).

$$t_{od} = t_{ko} - I_{od} \cdot 3,69 \cdot 10^{-8} \cdot f_{od} \cdot [(t_{od} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - I_{od} \cdot f_{od} \cdot h_p \cdot (t_{od} - t_a) \quad (3.7)$$

$$t_{ko} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) \quad (3.8)$$

Свака наредна итерација претпостављена вредност t_{od} као аритметичку средину претпостављене и израчунате вредности једначине (3.7). Процес итерације се зауставља произвољно када је итеративна промена t_{od} довољно мала (нпр. $> 0,01$ °C). Прорачун индекса PMV је директан, када се утврди вредност t_{od} , применом формула од (3.3) до (3.6). Метаболичка стопа се може одредити на основу стандардизованих активности особа у затвореном простору за које су експериментално измерене вредности. Ниво одевености (изолација одеће) се може одредити на основу визуелне инспекције људи у просторији и одабрати на основу познатих табеларних вредности (ASHRAE, 2017a; ISO, 2005).

PMV се понаша слично обрнутој Гаусовој расподели када се користи за корелацију предвиђања процента незадовољних (PPD) људи. Прорачун за PPD налази се у једначини (3.9). Након тога, I_{TC} се израчунава као директна корелација са параметром PPD. PPD се одузима од савршеног прихватања термичког окружења, а резултат од 100% приказан је у једначини (10).



Слика 3 - Међусобна зависност PMV и PPD

Зоне термичке удобности (А, Б и Ц) дефинисане су у распонима вредности PMV:

- од -0,2 до 0,2,
- -0,5 до 0,5,
- и -0,7 до 0,7.

Ово одговара вредностима PPD мањим од 6, 10 и 15% респективно. Са слике се може уочити да и када испитаници унутрашњи простор сматрају термички неутралним ($PMV = 0$) проценат незадовољних је 5%. Ово је последица индивидуалних разлика међу људима и модел претпоставља да ће ове разлике увек утицати на незадовољство појединаца.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (3.9)$$

$$I_{TK} = 100 - PPD \quad (3.10)$$

3.2 Модел компоненте квалитета унутрашњег ваздуха - I_{KUV}

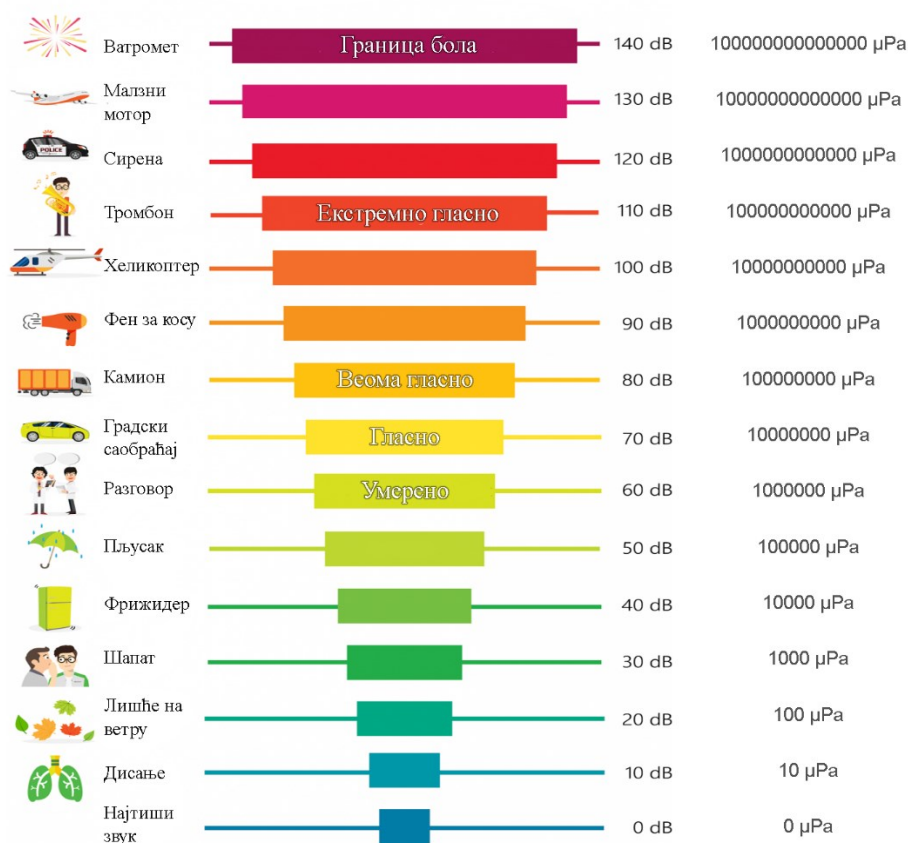
Извори загађења ваздуха у затвореном простору, активности људи, стопе вентилације, као и спољно окружење могу утицати на квалитет ваздуха у затвореном простору (WHO, 2010). Задовољство људи унутрашњим окружењем може бити директно повезано са физичким, хемијским или биолошким карактеристикама загађења ваздуха у затвореном простору. Како би се извела вредност индекса за КУВ, фокус је стављен на три најчешће проучавана загађивача ваздуха: угљен-диоксид, укупна концентрација лакоиспарљивих органских једињења (TVOC) и суспендоване честице мање од 2,5 микрона ($PM_{2,5}$). Ови загађивачи су већином фаворизовани КУВ параметри од стране већине зелених сертификата и неких стандарда као што је приказано у Табели 10. Најнижи ниво задовољства са једним од ових параметара представља I_{KUV} приказано у формули (3.11).

$$I_{KUV} = \min (I_{PM_{2,5}}, I_{TVOC}, I_{CO_2}) \quad (3.11)$$

Табела 10 - Одабрани КУВ параметри и њихово усвајање према стандардима и сертификатима зелене градње.

Стандарди и сертификати зелене градње	КУВ параметар		
	CO ₂	TVOC	PM _{2,5}
BES	x	x	
BREEAM		x	
DGNB		x	
EN 16798	x		x
HQE		x	x
KLIMA	x	x	
LEED	x	x	x
Level (s)	x		x
NABERS	x	x	
OsmoZ	x	x	x
WELL		x	x

Тренутно не постоји интернационални консензус око граничних вредности параметара КУВ што је видљиво у табели 2. Такође, познате су само граничне вредности концентрација КУВ параметара које се не смеју прекорачити због здравствених последица на људе. Прегледом научне литературе установљено је да истраживачи још увек нису пронашли једнозначну везу између концентрација различитих задрљања унутрашњег ваздуха и задовољства људи у затвореном простору. Стога су индекси за гасовите загађиваче ваздуха у овом раду, угљен-диоксид I_{CO_2} , укупна концентрација лакоиспарљивих органских једињења I_{TVOC} и суспендоване честице мање од 2,5 микрона $I_{PM_{2,5}}$ изведени из концепта мерења звучног притиска у децибелима, која не представља апсолутну јединицу (Jokl, 2000). Она представља логаритамску промену у односу на мерену и референтну вредност (слика 3).



Слика 4 - Звучни притисак [μPa] и одговарајућа скала за нивое звучног притиска (dB)³

3.2.1 Подкомпонента I_{CO_2}

Ограничења су постављена између спољних концентрација CO_2 од 415 ppm за неприлагођене особе до нивоа токсичности од 15 000 ppm приказаних у једначини (3.12) (Hansen, 2017). Према томе, затворени простор са спољним концентрацијама CO_2 имао би оцену 100, док би праг токсичности био оцењен са оценом 0. I_{CO_2} је у директној корелацији са тренутно измереном концентрацијом CO_2 у ppm (c_{CO_2}) у једначини (3.12). Меродавност оваквом приступу даје и веома добро поклапање са граничним концентрацијама CO_2 по категоријама комфора из стандарда EN 16798-1 када се вентилационе стопе преведу граничне концентрације CO_2

$$I_{CO_2} = 100 - 70 \cdot \log \frac{c_{CO_2}}{415} \quad (3.12)$$

3.2.2 Подкомпонента I_{TVOC}

Слично претходној подкомпоненти, граничне концентрације TVOC се преносе на логаритамску скалу где се доња граница од $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ користи за савршене

³ <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/sound-vs-noise>

услове (10% од границе), док је горња граница усвојена од Немачке савезне агенције за животну средину (2018) од $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Максимално дозвољена концентрација представља просек за дугорочни боравак у просторији који не треба прекорачити. Треба напоменути да друге европске државе допуштају и виши горњи праг концентрација TVOC, али је одабрана најнижа граница у циљу повећања ригорозности индекса. Директно израчунавање TVOC подкомпоненте записано је у једначини (3.13) где c_{TVOC} представља концентрацију TVOC у $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$I_{TVOC} = 100 - 100 \cdot \log \frac{c_{TVOC}}{30} \quad (3.13)$$

3.2.3 Подкомпонента $I_{PM_{2,5}}$

Међу загађивачима ваздуха у облику суспендованих честица, за представника су изабране честице мање од $2,5 \mu\text{m}$ ($PM_{2,5}$). Како тренутно не постоје стандарди нити смернице за изложеност људи чврстим суспендованим честицама у затвореном простору и не постоје студије које директно повезују изложеност са задовољством људи унутрашњим ваздухом, за добијање $PM_{2,5}$ подкомпоненте коришћена је скала граничних вредности United States Environmental Protection Agency (EPA) (2012) AQI скале. AQI скала се креће у границама концентрације од $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ до $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ за горњу границу опасних окружења по здравље људи (просек у 24 сата). Међутим, горња граница ове подкомпоненте постављена је на $150,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, јер ово представља тачку прелома за врло нездраву средину за ширу јавност. Као горњи критеријум за добар квалитет ваздуха коришћен је ниво $PM_{2,5}$ од $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2010). Подкомпонента $I_{PM_{2,5}}$ изведена је слично као и претходни КУВ фактори где $c_{PM_{2,5}}$ представља концентрације $PM_{2,5}$ у $\mu\text{g}/\text{m}^3$, према једначини (3.14):

$$I_{PM_{2,5}} = 100 - 85 \cdot \log \frac{c_{PM_{2,5}}}{10} \quad (3.14)$$

3.3 Модел компоненте визуелног комфора - I_{VK}

Квалитет унутрашњег осветљења састоји се од многих аспеката попут нивоа осветљености, расподеле светлости, одсјаја, дневне светлости, карактеристика вештачког осветљења, усмерености светлости итд. (Kruisselbrink et al., 2018). Одређене активности захтевају специфичан интензитет светлости на хоризонталној равни, што признају стандарди (European committee for standardization, 2011; Illuminating Engineering Society, 2013). Неколико студија је развило модел регресије за незадовољство људи нивоом осветљења на хоризонталној радној површини (PPD_{VK}) заснован на теренским студијама у хонгконшким пословним зградама (Mui and Wong, 2006; Wong et al., 2008). Једначина (3.15) је усвојена из тих студија и применљива је за интензитет светлости у опсегу од 200 до 1600 lx. Вредност LX представља тренутно измерену јачину светлости на хоризонталној равни (радном столу) у луксима.

$$PPD_{VK} = \frac{100}{1 + e^{(-1.017 + 0.00558 \cdot LX)}} \quad (3.15)$$

I_{VK} се даље израчунава као:

$$I_{VK} = 100 - PPD_{VK} \quad (3.16)$$

3.4 Модел компоненте акустичког комфора - I_{AK}

Уз повећану забринутост јавности у последњим годинама, доказано је да бука проузрокује штетне здравствене последице и смањује продуктивност на радном месту (World Health Organisation, 2018). Стандард AS/NZS 2107:2016 (2016) коришћен је као референца за утврђивање незадовољства PPD_{AK} од повећања позадинске буке (пондерисано dBA), што су даље прилагодили Нкубе и Рифат (2012) у једначини (3.17). Стварни ниво звучног притиска ($Stvarni_{ZP}$) и пројектовани ниво звучног притиска у соби ($Projektovani_{ZP}$) мере се у децибелима.

$$PPD_{AC} = 2(Stvarni_{ZP} - Projektovani_{ZP}) \quad (3.17)$$

Компонента I_{AK} се даље рачуна према једначини (3.18):

$$I_{AC} = 100 - PPD_{AC} \quad (3.18)$$

Методологија интеграције компоненти у јединствени индекс КУС и резултати тренских испитивања прихваћена су научном часопису Journal of Cleaner Production категорије M21a (Мујан et al., 2021).

4 Конструкција мерне станице: сензори, њихова осетљивост и платформа

4.1 Мерење параметара КУС

Традиционално, научници и професионалци врше оцену КУС користећи мерну опрему лабораторијског нивоа и комплексну методологију одређивања КУС (Chiang et al., 2001; Fassio et al., 2014). Високи инвестициони трошкови и неприступачност опреме широј јавности, као и методологија тумачења експерименталних података одвраћају кориснике објеката од индивидуалног праћења КУС параметара.

Са недавном појавом на тржишту нискобуџетних (потрошачких) интернет интелигентних мерних станица (Internet of Things - IoT), научна заједница је показала повећано интересовање за њихову евалуацију. Како професионални сензори за КУС достижу цене које крајњи корисник не може приуштити, термин нискобуџетни се сматра у распону цена до четири стотине фунти, што је тренутно највиша цена за уређај доступан на потрошачком тржишту (Tiele et al., 2018).

Међутим, већина теренских и контролисаних евалуација фокусира се преваходно на КУВ, а највише на могућности сензора за детекцију концентрације броја суспендованих честица (Sousan et al., 2017). Замора и сарадници (Zamora et al., 2020) извели су једногодишњу процену три нискобуџетна монитора за КУВ, али су извештавали о резултатима само за сензоре $PM_{2.5}$. Друге студије су прошириле опсег истраживања укључивањем сензора PM_{10} (Singer and Delp, 2018; Wang et al., 2020). Студија која је изведена у оквиру ове докторске дисертације направила је свеобухватну евалуацију нискобуџетних мерних станица. Поред евалуације способности мерних станица и појединачних сензора да детектују концентрације суспендованих честица, тестиране су и способности детекције угљен-диоксида, укупно лакоиспарљивих органских једињења, температуре ваздуха и релативне влажности (Demanega et al., 2021). У оквиру ове студије је изведено баждарење прототипа мерне станице „ENVIRA“ која има улогу прикупљања релевантних параметара КУС.

Истраживачи се окрећу јефтиним и аутономним уређајима за праћење КУС. Иако професионални сензори за КУС достижу цене које крајњи корисник не може приуштити, термин нискобуџетни се сматра у распону цена до четири стотине фунти, што је тренутно највиша цена за уређај доступан на потрошачком тржишту. Ови уређаји су намењени постављању на различите положаје унутар просторија у објектима и омогућавају узорковање просторних параметара. Уколико би мерење било континуирано у времену, временски аспект проблема би се боље разумео. Даље би се подаци о КУС, у реалном времену, давали руководиоцима објеката и оператерима како би могли да изврше благовремена прилагођавања комфора. Бежична способност слања сигнала ових уређаја повећала би флексибилност КУС уређаја. Бежична комуникација би додатно смањила трошкове рада и драстично скратила време преношења сигнала, као и објединила све податке у једном рачунару или серверу у облаку. Бежичне технологије су већ коришћене у истраживањима КУВ и термичког комфора и могу се надоградити на КУС.

Тренутно, на тржишту нема доступних нискобуџетних КУС монитора. Да бисмо могли да окарактеришемо узајамну потребу и значај компонената КУС кроз развој модела интегралног модела КУС са тежинским коефицијентима (Wei et al., 2020), важно је имати могућност мерења КУС холистички. Истраживачки радови представљају неколико нискобуџетних уређаја заснованих на Arduino платформи, тренутно у фази развоја. Такође, мерне станице КУС се развијају само као концептуална решења. Њихова примена на терену и свеобухватне перформансе су углавном непознате. Али и сарадници (2016) створили су мноштво јефтених сензора заснованих на Arduino платформи за надзор КУС. Ђин и сарадници (2018) су представили мобилну аутономну КУС сензорску станицу. Карам и сарадници (2018) развили су софистицирану станицу КУС за надзор са интегрисаним аналитичким софтвером и Mesh мрежним способностима. Међутим, шира јавност у тренутној итерацији, ову станицу не може сматрати јефтином нити лаком за употребу. Како је примена нискобуџетних монитора у континуираној експанзији, неколико студија је показало како се оне могу користити за просторно-временско мапирање параметара животне средине у затвореном простору (Li et al., 2018; Scarpa et al., 2017). Најперспективнију платформу SAMBA за потрошаче представили су Паркинсон и сарадници (2019a, 2019b) са уникатним пројектним решењем хардвера. Поседује најсавременије могућности, компактан дизајн интуитиван крајњим корисницима, али тренутно није доступан на тржишту и нема тржишну цену.

Данас постоји само мали број јефтених потрошачких уређаја који тврде да мере КУС параметре и налазе се у фази прототипа као што је приказано у Табели 11. Иако њихови произвођачи тврде да јединице пружају све потребне КУС параметре.

Табела 11 – Нискобуџетне мерне станице за које произвођачи тврде да мере КУС.

Назив		SAMBA	SERINUS	IEQ Chek	True Blue IEQ	Kaiterra	IAMS	IEQ fixed system	Omni	Awair 2nd Edition	
Мерне способности	Термички комфор	Темп. ваздуха	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		Темп. зрачења	✓	✓					✓		
		Брзина ваздуха	✓	✓					✓		
		Рел. влажност	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	КУВ	CO ₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
		CO	✓	✓	✓	✓					
		NO _x			✓	✓					
		O ₂			✓						

		Сусп. Честице РМ	✓	✓	✓		✓			✓	✓	
		Формалдехид	✓	✓		✓						
		TVOC	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
Осветљење	Хориз. осветљење	✓	✓					✓				
Акустика	Звучни притисак	✓	✓									

4.2 Платформа за холистичку оцену КУС „ENVIRA“

Како би се унапредило истраживање на пољу свеобухватне евалуације КУС и дао допринос развоју тежинских коефицијената за КУС компоненте, пројектована је и развијена нискобуџетна платформа заснована на Arduino архитектури под називом „ENVIRA“. Платформа је пројектована да има компактну бежичну станицу за мерење параметара КУС у реалном времену, чиме је поједностављена њена примена и интеграција IoT-а (Internet of Things). Платформа има два нивоа: један са лако разумљивим КУС информацијама који крајњем кориснику омогућавају интеракцију са унутрашњом средином; и други који пружа богат скуп података за даљу употребу од стране истраживача и професионалаца.

Платформа се у потпуности ослања на open-source хардвер и софтвер, пружајући могућност широј примени од стране заједнице за даљи развој и раст. Даље је пружен увид у систем надзора КУС ENVIRA, његове компоненте и поступке калибрације. На крају, представљени су резултати праћења КУС из три студије случаја (две канцеларије отвореног типа и једна образовна установа) у којима се користи платформа за прикупљање података и процену КУС. Подаци се упоређују са субјективном перцепцијом КУС од стране корисника простора која је утврђена употребом анкете. На крају, расправља се о резултатима са њиховим импликацијама на холистички приступ јединственом индексу КУС.

4.3 Опис нискобуџетне мерне станице

Нискобуџетни прототип КУС мерне станице развијен је за платформу „ENVIRA“ у сврху теренских мерења. Прототип је компактан, приближних је димензија 20 x 25 x 10 cm (Д x В x Ш) намењен за постављање на радну површину корисника. Тело уређаја направљено је од ПЛА (Полимлечна киселина) пластике и одштампано је на тродимензионалном штампачу као оригинално конструктивно решење. Решење користи што је могуће више природне вентилације и минимизира самозагревање, а истовремено не дозвољава директни контакт сензора и сунчеве светлости. Уређај се тренутно напаја директно зидним струјним прикључком са

минимално 12V једносмерне струје. У будућности ће бити омогућен аутономни рад уз употребу батерија (слика 1). Малопродajни трошкови мерне станице су око 130 €, док трошкови пројектовања, калибрације и производње нису процењени.

Мерна станица заснована је на Arduino Mega 2560 Rev3 архитектури, јер је тренутно једини микроконтролер у Arduino серији који може да испуни мноштво захтева потребних за рад игре сензора. У употребљеној варијанти микроконтролера уграђен је јефтини Wi-Fi микрочип ESP8266. Тренутно ESP8266 омогућава уређају да се повеже на било коју 2,4 GHz-ху мрежу. Микроконтролер је програмиран кроз интегрисано развојно окружење на C или C++ (Arduino.cc). Плоча прихвата различите улазе једносмерног напона (препоручује се 7-12V) и има излаз 5,5V и 3V једносмерне струје, док се један пин може користити директно без трансформације. 70 улазних пинова (54 дигиталних и 16 аналогних) пружају довољан потенцијал интеграције сензора са I2C и UART серијским комуникационим протоколима.

Сензори, који су интегрисани у мерну станицу, су одабрани на основу прегледа научне литературе и тренутно најсавременијих нискобуџетних сензора на тржишту. Такође у оквиру експерименталних активности за потребе докторске дисертације тестиране су и тренутно комерцијално доступне нискобуџетне станице. У табели 13 дат је преглед сензора унутар комерцијалних нискобуџетних мерних станица КУВ.

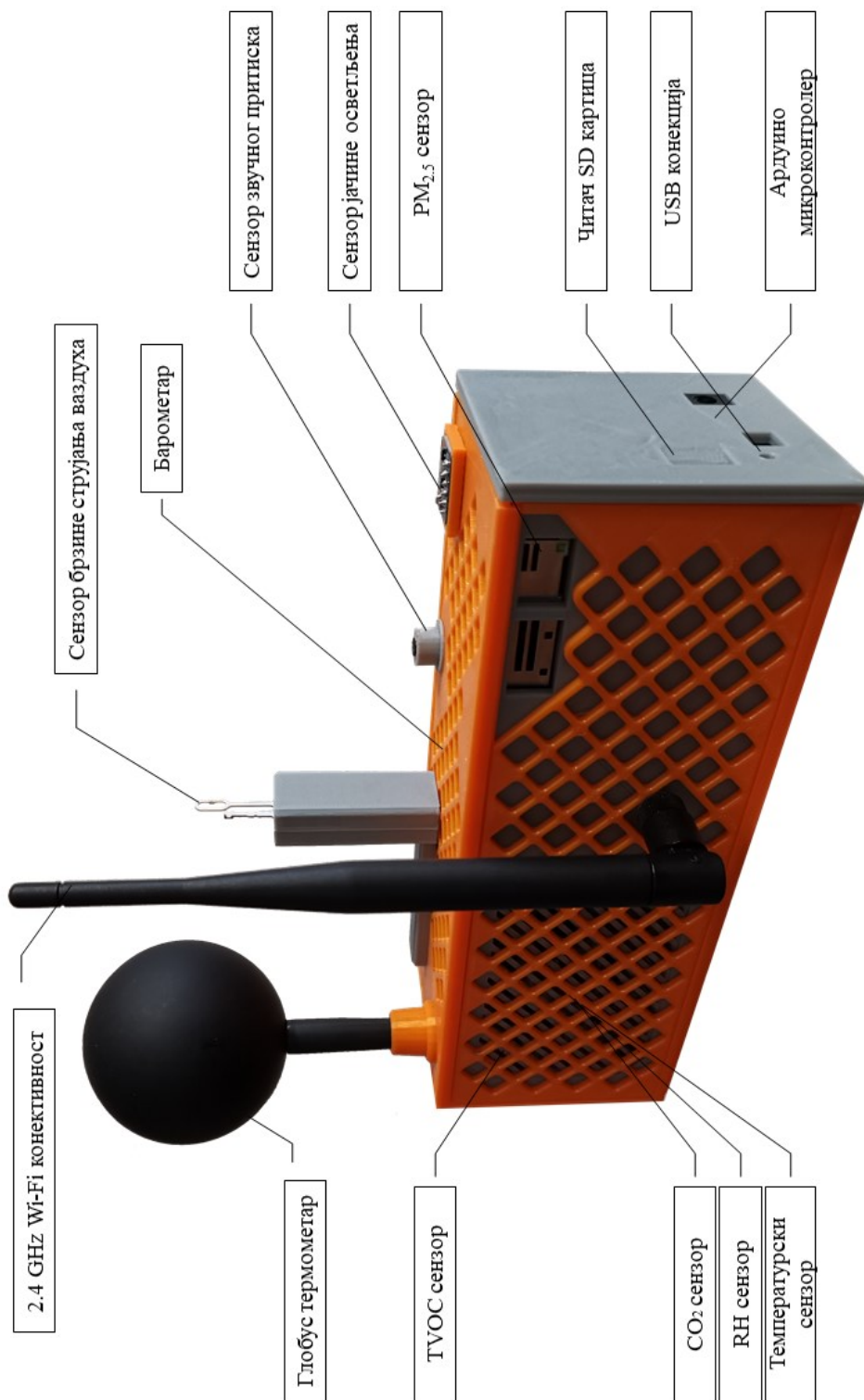
Табела 12 - Преглед одабраних сензора у мерној станици, опсег мерења, тачност калибрације и инструменти за калибрацију.

КУС параметар	Произвођач	Модел	Опсег мерења	Калибрисана тачност	R ²	Референтни инструмент
Глобус термометар	-	NTC Термистор	-40 – 100 °C	± 0,3 °C (10 - 35 °C)	0,99	Testo 480, термопар тип К
Температура сувог термометра	Sensirion	SCD30	-40 – 70 °C	± 0.3 °C (10-35 °C)	0,99	Testo 435, Анемометар са топлом жицом
Релативна влажност	Sensirion	SCD30	0 - 100%	± 2%	0,98	LI-COR LI-850
Брзина струјања ваздуха	Modern device	Rev. P	0 - 6 m/s	±5%	0,97	Testo 435, Анемометар са топлом жицом
CO ₂	Sensirion	SCD30	400 - 10.000 ppm	± 30 ppm ± 3%	0,98	LI-COR LI-850
TVOC	Sensirion	SGP30	0 - 60.000 ppb	-	**	GrayWolf AdvancedSense Pro - IQ-610
PM _{2,5}	Sensirion	SPS30	0 - 1.000 µg/m ³	-	**	GRIMM - Model 1371
Звучни притисак	DFROBOT	SKU:SEN 0232	30 - 130 dBA	±1,5 dB	0,99	UNI-T UT352
Јачина осветљења у хориз. равни	Adafruit	TSL2561	0,1 - 40.000 lx	± 7,3 lx	0,99	Testo Lux 545
Атмосферск и притисак	Bosch	BME280	300 - 1.100 hPa	± 3 hPa	0,99	Testo 511

У табели 12 дат је преглед одабраних сензора и калибрационих података. Принципи мерења физичких величина, евалуација сензора и калибрационе методе описане су у секцији 4.3. На слици 5 приказан је изглед оригиналног решења прототипа мерне станице, платформе КУС ENVIRA.

Табела 13 - Преглед сензора тренутно доступних у нискобуџетним мерним станицама (Demanega et al., 2021).

Мерна станица	Малоп. цена		Темп.	Рел. влажност	PM опсег	PM концентрација	TVOC	CO ₂
AirVisual Pro	\$269	Опсег	-10 – 40 °C	0 – 95%	0,3 – 2,5 µm	-	-	400 - 10.000 ppm
		Сензор	Sensirion SHT30		AirVisualM25b		-	SenseAir S8
Awair 2nd Edition	\$199	Опсег	-40 – 125 °C ± 0,2 °C	0 – 100% ±2%	0,3 – 2,5 µm	0 – 1.000 µg/m ³ ±15 µg/m ³ или ±15%	0-60.000 ppb ±10%	0 - 60.000 ppm ± 10%
		Сензор	Sensirion SHT30		Honeywell HPMA115S0-XXX		Sensirion SGP30	Amphenol T6703-5K
Clarity Node ^c	\$1000	Опсег	15 – 45; ±1 °C	30 - 85, ±5%	0,3 - 10 µm	0 – 1.000 µg/m ³ ±10 µg/m ³ или ±10%	-	-
		Сензор	Није специфич.	Није специфич.	Plantower PMS 6003		-	-
Foobot	\$199	Опсег	15 – 45 °C ± 1 °C	30 - 85% ± 5%	0,3 – 2,5 µm	0 – 1.300 µg/m ³ ±20%	±10%	на основу TVOC
		Сензор	Sensirion SHT20		SHARP GPY1010AU0F		iAQ-Core C	iAQ-Core C
Kaiterra Laser Egg + CO ₂	\$199	Опсег	20 – 60 °C ± 8%	0 - 100% ± 8%	0,3 – 2,5 µm	1 – 999 µg/m ³ ±8%	-	400 – 5.000 ppm ±8%
		Сензор	Sensirion SHT30		Plantower PMS 3003		-	SenseAir S8
uHoo	\$329	Опсег	-40 – 85 °C ± 0,5 °C	0 - 100% ± 3%	0,3 – 2,5 µm	0 - 200 µg/m ³ ±15 µg/m ³ или ±10%	0-1.200 ppb ±10 ppb или ±5%	400 - 10.000 ppm ±50 ppm или ±3%
		Сензор	Bosch BME280		Shinyei ppd42		CSS811	ELT T110
Netatmo inside	\$165	Опсег	0 – 50 °C ±0,3 °C	0 - 100% ±3%	-	-	-	0 - 5.000 ppm ±5%
		Сензор	Sensirion SHT20		-	-	-	MH-Z14 NDIR CO ₂ Module
Netatmo outside	\$165	Опсег	-40 – 65 °C ±0,3 °C	0 - 100% ±3%	-	-	-	-
		Сензор	Sensirion SHT20		-	-	-	-



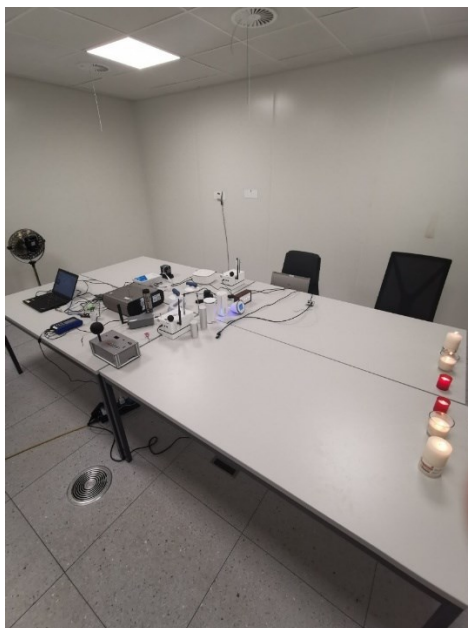
Слика 5 - Приказ оригиналног решења прототипа мерне станице, платформе КУС ENVIRA

4.4 Принципи мерења физичких величина, евалуација сензора и калибрационе методе мерног уређаја у контролисаним лабораторијским условима

4.4.1 Експериментална припрема климатске коморе

Калибрација мерне станице "ENVIRA" као и њених појединачних сензора извршена је за време евалуације перформанси нискобуџетних потрошачких КУВ мерних станица и појединачних сензора у климатској комори која се припада Human-Oriented Built Environment Lab-у, смештеном на локалитету Blue Factory, EPFL Фрибург, Швајцарска и приказана је на слици 6. Експерименталне активности резултата у оквиру истраживања спроведене су од 11.02 до 22.02.2020. Експерименталне методе су даље настављене у Лабораторији за термотехнику, Факултета техничких наука, у марту и априлу 2020. године. Испитивања су примарно изведена у оквиру научне студије нискобуџетних мерних станица. Научни рад категорије M21a потврђује адекватност експерименталних метода (Demanega et al., 2021).

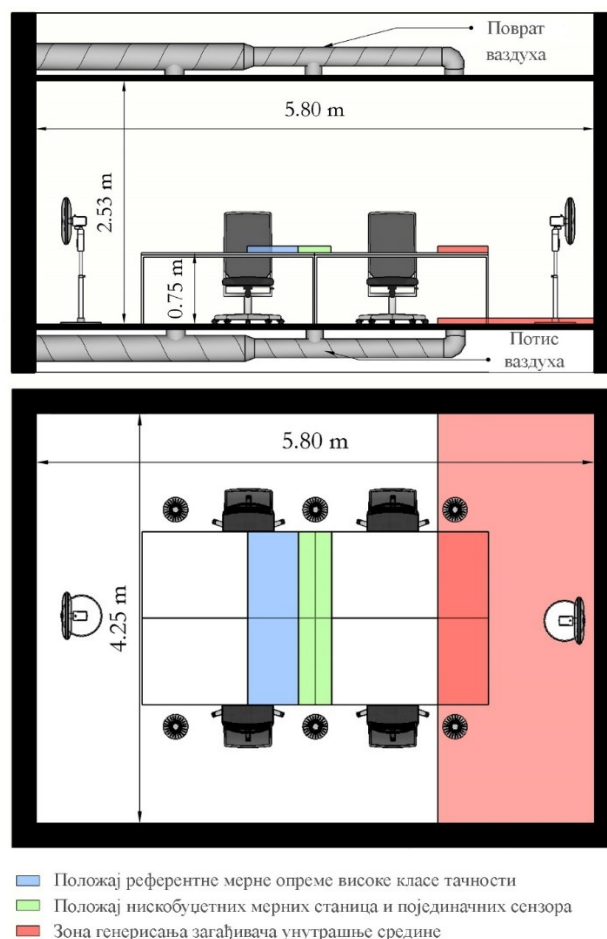
Климатска комора има нето запремину $63,3 \text{ m}^3$ и површину око 25 m^2 . Комора је опремљена системом грејања, вентилације и климатизације који се независно контролише, што омогућава потпуну контролу температуре ваздуха, релативне влажности и брзине вентилације. Комора је такође опремљена двостепеним системом за филтрацију честица високе ефикасности (ХЕПА филтер са 99,97% ефикасности филтрације честица већих од $0,3 \mu\text{m}$ и веће). Током испитивања мерних станица и појединачних сензора, омотач коморе био је херметички заптивен. Филтрирани ваздух се доводио кроз шест подно постављених дифузора и одводио кроз шест дифузора на плафону, како би се имитирало мешање ваздуха које се типично среће у објектима.



Слика 6 - Изглед климатске коморе Human-Oriented Built Environment Lab, Blue Factory, EPFL Фрибург, Швајцарска.

Како би се размена ваздуха обезбедила искључиво инфилтрацијом ГВК, систем је искључен два минута пре почетка генерисања загађења ваздуха и испитивања мерних станица и појединачних сензора. Анализом промене концентрације CO_2 утврђено је да је инфилтрациона стопа током експеримената била је $0,34 \text{ h}^{-1}$. Сваки експеримент је трајао један час уз непрекидно прикупљање података. Генерисање загађења ваздуха сигнализирало би почетак сваког експеримента, које је у зависности од извора трајало од петнаест минута до једног часа у оквиру времена експеримента. После сваког једносатног експеримента, климатизација је радила у максималном капацитету све док концентрације загађености ваздуха нису пале на исти ниво као пре генерисања загађења.

Референтна мерна опрема, нискобуџетне странице и појединачни сензори били су постављени на радну површину стола на висини од 75 cm изнад пода просторије. Мерне станице су постављене тако да имају једнаку удаљеност од подручја генерисања извора загађења ваздуха (слика 7). Како би се обезбедила максимална уједначеност расподеле загађивача ваздуха у простору, коришћена су два самостојећа механичка вентилатора, окренута према зидовима коморе. Унутрашњи извори топлоте су сведени на минимум како би се одржали стабилни климатски услови током експерименталних мерења.



Слика 7 - Шематски приказ климатске коморе, укључујући положај испуштања загађења ваздуха, нискобуџетне и појединачне сензоре и референтну опрему (истраживачке и професионалне мерне станице).

4.4.2 Експерименталне активности у климатској комори

Учинак нискобуџетних мерних станица и појединачних сензора тестиран је у два термодинамичка услова:

- топлом и влажном (ТВ) ($26\pm 1^\circ\text{C}$, $70\pm 5\%$)
- и хладном и сувом (ХС) ($20\pm 1^\circ\text{C}$, $30\pm 5\%$).

Дате вредности температуре и релативне влажности представљају вредности на почетку експеримената са максималним одступањима за сваки услов измереним референтном мерном опремом. Одабране су термодинамичке карактеристике ваздуха које се често срећу у затвореном простору и покривају многе климатске услове широм Света.

Употребом овакве методологије, процена перформанси је извршена на два супротна краја стандардне зоне термичког комфора (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE, 2017; Comite Europeen de Normalisation (CEN), 2019). Резултати тестираних сензора упоређивани су са подацима мерења добијених референтном мерном опремом.

Осам уобичајених извора загађења ваздуха у затвореном простору симулирано је унутар климатске коморе. Сваки извор је такође испитан у два различита термодинамичка климатска услова, стога је укупно изведено 16 експеримената. Извори загађења су изабрани на основу научне литературе и очекиване расподеле величина суспендованих честица PM, TVOC и CO₂. Резиме извора загађења ваздуха и највеће концентрације загађивача ваздуха у једном минуту за дате експерименталне услове дати су у табели 14.

Табела 14 - Опис експерименталних активности и резултујуће загађење ваздуха са највишом концентрацијом у трајању од једног минута измерено референтном мерном опремом.

Извор	Услов	Опис активности	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀	Укупан број	CO ₂	TVOC
			μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	бр/cm ³	ppm	ppb
Горење свеће	Хладно и суво	Шест свећа упаљених помоћу две свеће. Угашене након једног часа.	89	106	117	$3,2 \times 10^4$	928	39
	Топло и влажно	Осам свећа упаљених помоћу две свеће. Угашене након једног часа.	110	114	122	$7,8 \times 10^4$	998	151
Горење спирале за комарце	Хладно и суво	Две спирале за комарце тињале су 30 минута унутар коморе након чега су извађене.	2.346	2.384	2.387	$5,5 \times 10^5$	623	352
	Топло и влажно	Једна спирала за комарце тињала је 15 минута унутар коморе након чега је извађена.	512	515	517	$1,5 \times 10^5$	499	113
Сушење лака	Хладно и суво	Дрвена плоча димензија 0.45x0.45 m ² обилно је премазана лаком на уљаној бази. Плоча је остављена у комори за време трајања експеримента.	4	6	10	$3,1 \times 10^3$	532	10.435
	Топло и влажно	Дрвена плоча димензија 0.45x0.45 m ² обилно је премазана лаком на уљаној бази. Плоча је извађена из коморе након 15 минута.	2	2	2	$1,5 \times 10^3$	459	3.781
Освеживач ваздуха	Хладно и суво	Аутоматски потрошачки освеживач ваздуха, подешен на најинтензивније подешавање (осмоминутни интервал)	34	36	44	$8,3 \times 10^3$	578	229
	Топло и влажно		3	5	11	$1,5 \times 10^3$	460	347
Есенцијал но уље	Хладно и суво		10	10	10	$1,4 \times 10^4$	559	237

	Топло и влажно	Две посуде са водом и есенцијалним уљем су загрејане свећанама (упаљене шибицом)	30	31	31	$4,7 \times 10^4$	551	388
Усисавање тепиха	Хладно и суво	Три тепиха ($1.2 \times 0.5 \text{ m}^2$) усисавана унутар коморе у трајању од 15 минута	6	49	727	$1,4 \times 10^3$	1.065	163
	Топло и влажно		8	43	592	$3,0 \times 10^3$	865	259
Кокање кокица	Хладно и суво	80 g кукуруза и 20 g сунцокретовог уља употребљени су за припрему кокица на електричном грејачу.	291	413	643	$1,5 \times 10^5$	930	83
	Топло и влажно		127	244	450	$5,6 \times 10^4$	631	296
CO ₂ убризгавање	Хладно и суво	Климатска комора је најпре заптивена а потом је убризган CO ₂ из боце чистог CO ₂ до жељене концентрације.	7	9	28	$2,6 \times 10^3$	3.784	89
	Топло и влажно		4	5	15	$2,8 \times 10^3$	3.900	111

4.4.3 Референтна мерна опрема

Grimm Model 1371, Aerosol Technik је коришћен за референтно праћење броја и концентрације суспендованих честица у ваздуху у реалном времену. Уређај комбинује оптичку сензорску јединицу за расипање светлости која разврстава и броји честице у 31 кош (филтер) од 0,25 до 35 μm и анализатор електричне покретљивости који раздваја честице у 10 кошева од 10 до 193 nm. Мерења су вршена у једноминутним интервалима. Калибрација miniWRAS-а је верификована коришћењем монодиспергованих честица полистиренског латекса пречника 1.005 μm и 2.005 μm (PSL, Thermal Scientific, 405 US). Оваква процедура обезбеђује грешку мању од 10%.

Масена концентрација честица добија се на основу избројаног броја честица и густине честица. Густина честица се може одредити на основу извора загађења из литературе или директно гравиметријским методама. Битно је нагласити да се густина честица може значајно разликовати у зависности од извора загађивача (Wang et al., 2020). Током експерименталних мерења нису извршена гравиметријска мерења заснована на маси честица и није било предвиђено да се усвоје различите вредности густине за сваки експеримент из литературе због постојања могућности увођења додатне грешке. Стога су све честице претпостављене као сферне честице густине $1,68 \text{ g/cm}^3$ за све експерименталне активности.



Слика 8 - Grimm Model 1371, Aerosol Technik⁴ лево, LI-COR 850 Biosciences⁵ десно.

⁴ <https://www.grimm-aerosol.com/products-en/indoor-air-quality/the-wide-range-hybrid/1371/>

⁵ https://www.licor.com/env/products/gas_analysis/LI-830_LI-850/specs

Гасни анализатор LI-COR 850 Biosciences (LI-COR) коришћен је као референтни мерни инструмент за мерење концентрација CO₂ и релативне влажности ваздуха. За концентрације LI-COR 850 има могућност мерења у опсегу од 0-20.000 ppm и максималну грешку мерења од 1,5% измерене вредности коју специфицира произвођач. Уређај такође директно мери концентрацију водене паре у ваздуху са грешком од 1,5%. Овај податак, у комбинацији са мерењем атмосферског притиска и температуре сувог термометра, прорачуном даје вредност релативне влажности у климатској комори. Укупна израчуната грешка мерења релативне влажности ваздуха не прелази ± 2% укључујући амбијенталне параметре. Уређај врши мерења CO₂ у интервалу од 10 секунди која су касније осредњена на једноминутном нивоу. Калибрација уређаја је извршена калибрационим гасовима на концентрацијама од 0 и 1500 ppm пре почетка експерименталних мерења. Grimm 1371 и LI-COR 850 су приказани на слици 8.

Због тренутних технолошких ограничења на пољу мерења TVOC у реалном времену (Nirlo et al., 2015) за мерења TVOC није узета у обзир права референца. Као алтернатива, постављене су две TVOC мерне станице професионалног нивоа (слика 9):

- GrayWolf AdvancedSense Pro у пару са IQ-610 Indoor Air Quality Probe сондом која поседује 10,6 eV ламу и распон мерења 0,02-20 ppm;
- Aeroqual Photoionization Detector са 10,6 eV лампом и распоном мерења 0,01-20 ppm и фабричком калибрацијом и грешком мањом од < ±0,2 ppm + 10% мерене вредности.

Лампа унутар PID сензора емитује фотоне УВ светлости за јонизацију циљаних гасова који генеришу електрично наелектрисане јоне. Електрично поље привлачи јоне и резултира електричном струјом пропорционалној концентрацији VOC. Оба референтна мерна уређаја су калибрисана од стране произвођача на присуство изобутена у синтетичком ваздуху до три месеца пре експеримената. GrayWolf је додатно калибрисан у једној тачки са синтетичким ваздухом непосредно пре почетка експеримената. Концентрације TVOC су забележене на сваких 10 секунди за GrayWolf који су касније упросечени на минутном нивоу и једноминутном нивоу за Aeroqual.



Слика 9 - GrayWolf AdvancedSense Pro са IQ-610 Indoor Air Quality Probe⁶ лево и Aeroqual Photoionization Detector десно⁷.

Анемометар Testo 425 и логер Testo 435-1 коришћени су за референтно мерење температуре сувог термометра као и у накнадним мерењима референтне брзине струјања ваздуха. Анемометар са топлом жицом користи NTC термистор и мери температуру у опсегу од -20 до +70 °C са максималном грешком $\pm 0,2$ °C. Мерења температуре ваздуха су вршена у интервалима од 1 секунде и просечно су трајала 1 минут. Анемометар и логер су у пару калибрисани у службеној лабораторији компаније Testo непосредно пре експерименталних активности. За мерење средње температуре зрачења употребљен је такође Тесто 451 логер са глобус термометром пречника \varnothing 150 mm унутар кога се налази термопар тип К класе тачности 1 према стандарду EN 60584-2. Логер и пратеће сонде су приказани на слици 10.



Слика 10 - Testo 435-1 логер (лево)⁸ са пратећим сондама: анемометар \varnothing 7.5 mm (централно)⁹ и глобус термометар \varnothing 150 mm, термопар тип К (десно)¹⁰.

⁶ <https://graywolfsensing.com/iaq/>

⁷ <https://www.aeroqual.com/product/pid-sensor-0-2000ppm>

⁸ <https://www.testo.com/en-IN/testo-435-1/p/0560-4351>

⁹ <https://www.testo.com/en-IN/hot-wire-probe-for-m/s-and-degc-o-probe-head-7-5-mm-with-tel/p/0635-1025>

¹⁰ <https://www.testo.com/en-IN/globe-probe-o-150mm-tc-type-k-for-measuring-radiant-heat/p/0602-0743>

Референтна мерења за средњу температуру зрачења, брзину струјања ваздуха, јачину светлости на хоризонталној равни, звучни притисак и атмосферски притисак нису изведена у склопу евалуације мерних станица и појединачних сензора. Како би се тестирали и калибрисали сензори примењени у мерној станици платформе ENVIRA, извршена су независна испитивања у климатској комори и Лабораторији за термотехнику. За звучни притисак је употребљен UNI-T UT352 опсега мерења 30 - 130 dB и грешком мерења $\pm 1,5$ dB. За мерење нивоа осветљења употребљена је Testo 545 Lux сонда са распоном мерења од 0 до +100.000 lx, Ц класе тачности. Атмосферски (апсолутни) притисак мерен је инструментом Testo 511 које мери у опсегу од 300 до 1200 hPa са грешком мерења ± 3 hPa.



Слика 11 - UNI-T UT352 (лево)¹¹, Testo 545 Lux сонда (централно)¹² и Testo 511 (десно)¹³.

Основне техничке карактеристике референтне опреме приказане су у табели 15.

Табела 15 - Основне техничке карактеристике референтне мерне опреме.

GRIMM - Модел 1371		Гасни анализатор LI-COR LI-850		Testo 435 са Testo анемометром са топлом жицом (Ø 7,5 mm)	
Мерени параметар	PM ₁₀ , PM _{2,5} , и PM ₁ према EN 481	Мерни опсег за CO ₂	0 до 20.000 ppm	Опсег мерења температура	-20 до +70°C
Маса прашине	0,1 µg/m ³ - 100 mg/m ³	Прецизност	у 1,5% мерења	Грешка	±0,2°C
Распон величина честица	10 nm - 35 µm	Релативна влажност	0% - 100%	Опсег мерења брзине ваздуха	0 до +20 m/s

¹¹ https://www.uni-trend.com/meters/html/product/Environmental/Environmental_Tester/UT350/UT352.html

¹² <https://testo.rs/en/etaloniranje/testo-545-light-meter/>

¹³ <https://testo.rs/en/etaloniranje/testo-511-pocket-sized-absolute-pressure-meter/>

Број кошева	41 укупно	Грешка	± 2% (20 - 80 %)	Грешка	±(0,03 m/s + 5% од мерене вредности)
GrayWolf AdvancedSense Pro - IQ-610		Aeroqual Photoionization Detector		Testo 435 са глобус термометром Ø 150 mm, термопар тип К	
Опсег VOC	0,02 -20 ppm Резолуција 1 ppb, LOD <5 ppb	Распон VOC	0 - 20 ppm	Опсег мерења температура	0 до +120 °C
		Грешка фабричке калибрације	<±0,2 ppm + 10%	Класа тачности	1
Testo 545 Lux сонда		UNI-T UT352		Testo 51	
Опсег мерења	Од 0 до +100.000 lx	Опсег мерења	30 - 130 dB	Опсег мерења	300 од 1.200 hPa
Класа тачности	Ц	Грешка	± 1,5 dB	Грешка	±3 hPa

У табели 16 приказана су дозвољена одступања сензора потребних за мерење КУС. Такође је приказан утицај грешке на прорачун одређених компоненти КУС.

Табела 16 - Дозвољена одступања сензора потребних за мерење КУС.

Параметар	Дозвољена грешка мерења и њен утицај на прорачун	Опсег мерења	Референца
Мерење температуре сувог термометра (°C)	± 0.5 °C ± 0.08 PMV ± 0.6 %PPD	5 °C-40 °C	EN ISO 7726
Мерење средње температуре зрачења (°C)	± 2 °C ± 0.28 PMV ± 3 %PPD	0 °C-50 °C	EN ISO 7726
Мерење релативне влажности (%)	± 5 RH ± 0.07 PMV ± 0.5 %PPD	0 %-90 %	EN ISO 7726
Мерење релативне брзине струјања ваздуха (m/s)	± 0.05 + 0.05va m/s ± 0.03 PMV ± 0.2% PPD	0.05-1 m/s	EN ISO 7726
Мерење CO ₂ концентрације (ppm)	± 15 ppm	1-3000 ppm	EN 12599; ISO 16000-26
Мерење концентрације лакоиспарљивих једињења TVOC (µg/m ³)	-	-	-
Мерење суспендованих чврстих честица мањих од 2,5µm (µg/m ³)	-	0-250 µg/m ³	EPA AQI
Звучни притисак dB(A)	± 3 dB(A)	30-40 dB <55 dB(A)	EN 16789 EN 12599
Мерење јачине осветљења на хоризонталној равни (lx)	± 25 lx	100-800 lx	EN 12464-1

4.4.4 Мерење концентрације суспендованих честица PM_{2,5} - Sensirion SPS30

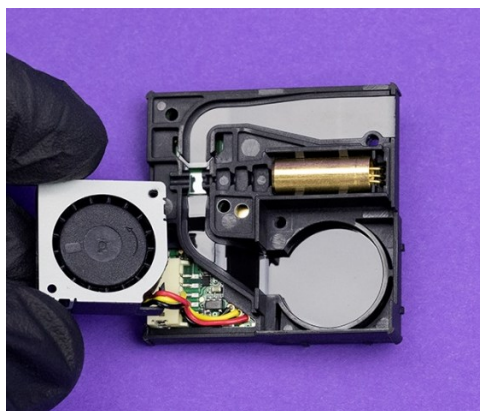
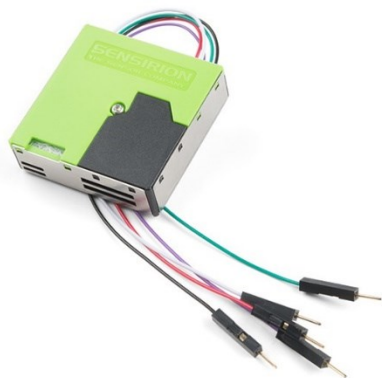
У прошлости, вредности суспендованих честица су се мериле као „масена концентрација“ у µg/m³. Разлог се огледа у томе што традиционални и најтачнији начин мерења представља гравиметријска метода. При овом поступку користе се филтери који пропуштају честице до одређене величине и познате су масе када су

потпуно чисти. На крају периода узорковања маса филтера се поново мери како би се одредила укупна акумулисана маса честица на филтеру у μg . Масена концентрација добија се дељењем разлике нове и првобитне масе филтера са укупном запремином ваздуха која је прошла кроз филтер за произвољан временски период експеримента.

Гравиметријске методе имају практична ограничења у свакодневној примени:

- инструменти имају велике габарите,
- имају врло високу цену,
- мере само једну величину честица по мерењу,
- узорковање у реалном времену није могуће,
- не могу да изброје број честица.

Како би се превазишли ови недостаци, све већу популарност на тржишту праћења квалитета ваздуха стичу оптички бројачи честица који имају могућност мерења у реалном времену. Такође, оптичка детекција је постала најраспрострањенија техника због своје једноставности употребе и односа цене и перформанси. Честица пролази кроз извор светлости (обично ласерски сноп) и узрокује расипање или апсорпцију долазеће светлости, која се затим детектује фотодиодом и претвара у вредности броја и масене концентрације честица у реалном времену. Ова технологија омогућава минијатуризацију сензора који у претходних неколико година налазе широку примену у зградарству.



Слика 12 - Изглед сензора Sensirion SPS30 (са кућиштем) лево¹⁴, расклопљен уређај десно¹⁵.

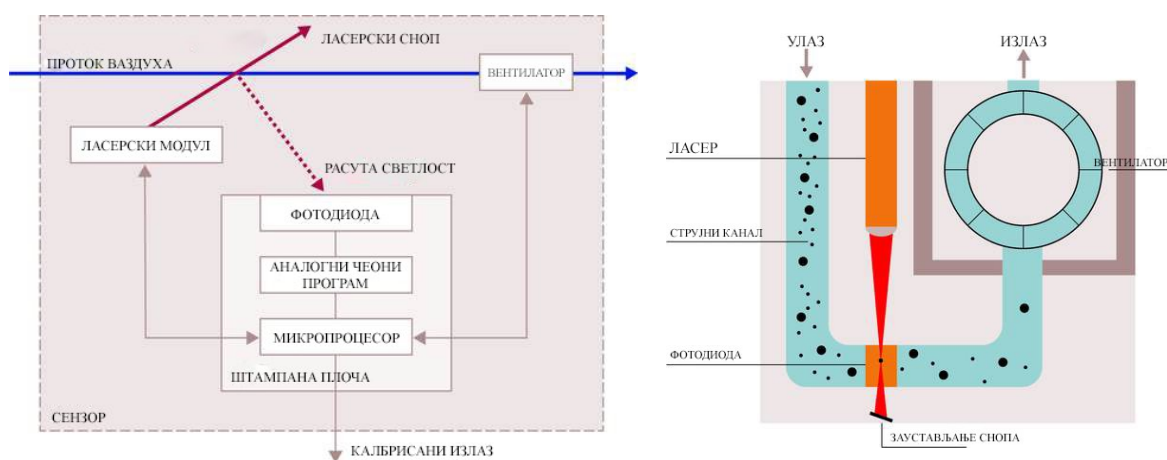
Sensirion SPS30 (слика 12) сензор за мерење концентрације суспендованих честица $\text{PM}_{2,5}$ одабран је на основу чињенице да представља технолошки помак на пољу нискобуџетних оптичких сензора. Његов принцип мерења заснован је на

¹⁴ www.sensirion.com

¹⁵ <https://www.mistywest.com/posts/teardown-sensirion-particle-matter-sensor/>

методи дифракције ласерске светлости. Унутар сензора помоћу вентилатора ствара се контролисани проток ваздуха.

Како је приказано на слици 13, унутрашња повратна петља између микропроцесора и вентилатора стабилизује број обртаја вентилатора и самим тим проток ваздуха кроз сензор. Честице путују унутар сензора од улаза до излаза, ношене ваздушном струјом. У складу са фотодиодом, честице у ваздушној струји пролазе кроз фокусирани ласерски зрак, како је приказано црвеном бојом на слици 13, узрокујући расипање светлости. Распршену светлост детектује фотодиода и претвара у излазну концентрацију масе/броја честица путем интегрисаних алгоритама у унутрашњем микроконтролеру SPS30.



Слика 13 - Принцип рада Sensirion SPS30 методом дифракције ласерске светлости¹⁶

SPS30 користи иновативну технологију самочишћења сензора која се не среће код других нискобуџетних сензора. У теорији ова способност сензору омогућава прецизна мерења током свог животног века дужег од десет година (уобичајен је 2 године). Техничке карактеристике сензора, налазе се у табели 17.

Табела 17 - Техничке карактеристике сензора Sensirion SPS30 наведене од стране произвођача

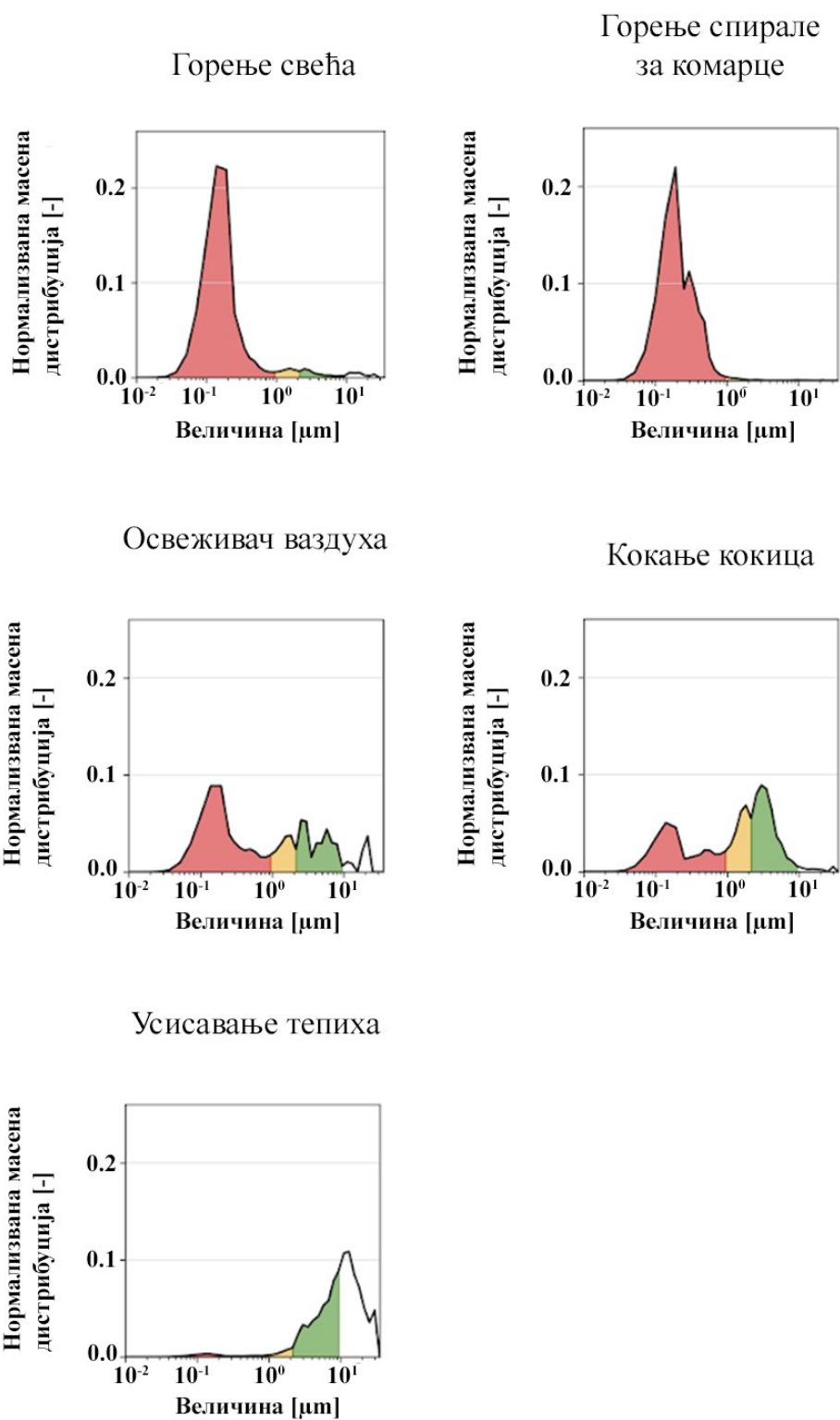
Параметар	Услови	Вредност	Јединица
Опсег мерења масене концентрације	-	0 - 1.000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Опсег величина масених концентрација	PM _{1,0}	0,3 - 1,0	μm
	PM _{2,5}	0,3 - 2,5	μm
	PM ₄	0,3 - 4,0	μm
	PM ₁₀	0,3 - 10,0	μm
Грешка мерења за PM ₁ и PM _{2,5}	0 - 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	± 10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	100 - 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	± 10	% М.В.

¹⁶ <https://www.sensirion.com/en/about-us/newsroom/sensirion-specialist-articles/particulate-matter-sensing-for-air-quality-measurements/>

Грешка мерења за PM ₄ и PM ₁₀	0 - 100 µg/m ³	±25	µg/m ³
	100 - 1000 µg/m ³	±25	% м.в.
Максимално годишње повећање грешке	0 - 100 µg/m ³	±1.25	µg/m ³ / год.
	100 - 1000 µg/m ³	±1.25	% м.в. / год.
Опсег мерења броја честица	-	0 - 3.000	#/cm ³
Опсег мерења броја честица	PM _{0.5}	0,3 - 0,5	µm
	PM _{1.0}	0,3 - 1,0	µm
	PM _{2.5}	0,3 - 2,5	µm
	PM ₄	0,3 - 4,0	µm
	PM ₁₀	0,3 - 10,0	µm
Грешка мерења броја честица PM _{0.5} , PM ₁ и PM _{2.5}	0 - 1000 бр./cm ³	±100	#/cm ³
	1000 - 3000 бр./cm ³	±10	% м.в.*.
Грешка мерења броја честица PM ₄ , PM ₁₀	0 - 1000 бр./cm ³	±250	#/cm ³
	1000 - 3000 бр./cm ³	±25	% м.в.
Максимално дугорочно повећање грешке мерења броја честица	0 - 1000 бр./cm ³	±12,5	#/cm ³ / год.
	1000 - 3000 бр./cm ³	±1,25	% м.в. / год.
Интервал узорковања	-	1 ±0,04	s
Време потребно за стартовање сензора	Број 200 - 3000 бр./cm ³	8	s
	концентрација 100 - 200 бр./cm ³	16	s
	50 - 100 бр./cm ³	30	s
Карактеристике излазног сигнала	Масена концентрација PM _{2.5}	Калибрисано према TSI DustTrak™ DRX 8533 Амбијенталном режиму	
	Број честица PM _{2.5}	Калибрисано према TSI OPS 3330	
Животни век	Непрекидни режим рада (24h)	> 10	год.
Маса	-	26,3 ±0,3	g

*м.в. - мерена вредност.

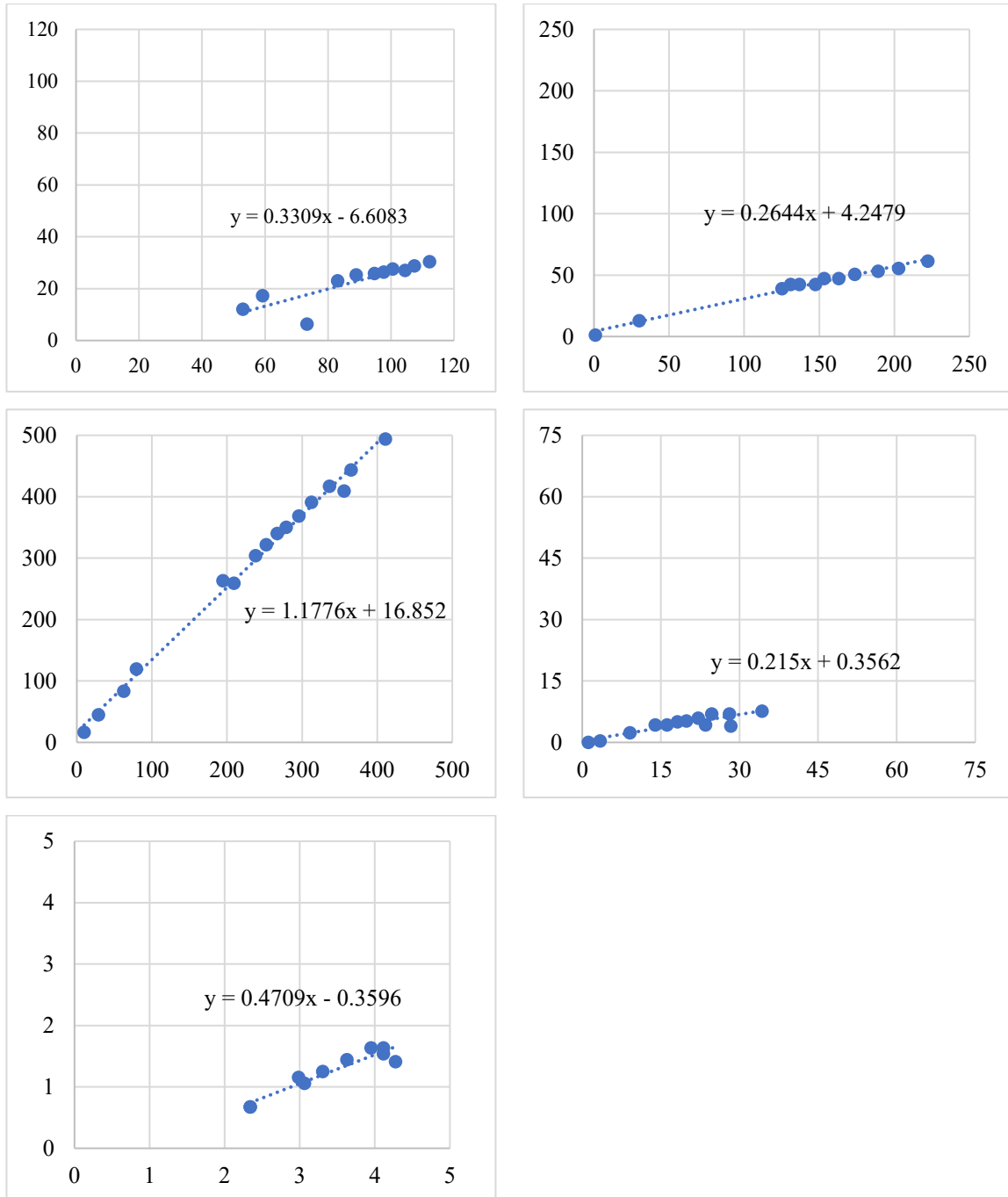
Како би се провериле тврдње произвођача и способности мерења суспендованих честица у широком мерном опсегу (PM₁ - PM₁₀), сензор је подвргнут тестирању у климатској комори. Све слике у овој секцији су дате за топле и влажне услове како није било значајних одступања за хладне и суве услове. У Табели 14 дат је резиме шеснаест експерименталних активности које су генерисале широк спектар загађења ваздуха, укључујући и суспендоване честице различитих величина. Паљење и горење свећа и спирала против комараца допринело је значајном стварању ултрафиних и финих честица у опсегу пречника до 0,2 µm. Кокање кокица створило је најшири спектар величина честица са најзначајнијим уделом масене концентрације величине око 3,0 µm. Највећа концентрација честица величине преко 10,0 µm произведена је усисавањем, просечног пречника 13,1 µm. Освеживач простора, свеће, спирала против комараца и кокице допринели су стварању финих честица са широким спектром емисија финих честица (Слика 14).



Слика 14 - Масена дистрибуција честица за различите експерименталне активности.

Освеживач простора генерисао је најнижу концентрацију честица са вршном концентрацијом 4 μg/m³ PM_{2,5} док је сагоревање спирале против комараца резултирало највишом концентрацијом PM_{2,5} од 515 μg/m³. Као што је приказано на

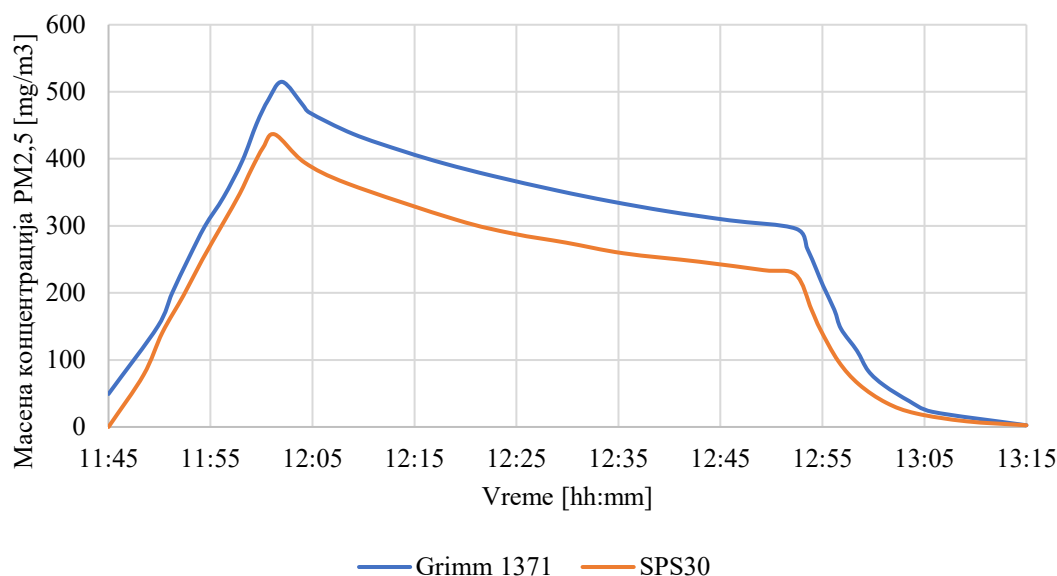
слици 15, сензор Sensirion SPS30 је имао врло јаку корелацију са подацима Grimm 1371 на промене концентрације суспендованих честица у ваздуху. Парсонсов коефицијент корелације (PCC) за све експерименте био је већи од 0,80. Квантитативно слагање се разликовао од извора до извора услед величине генерисаних честица и њихових концентрација.



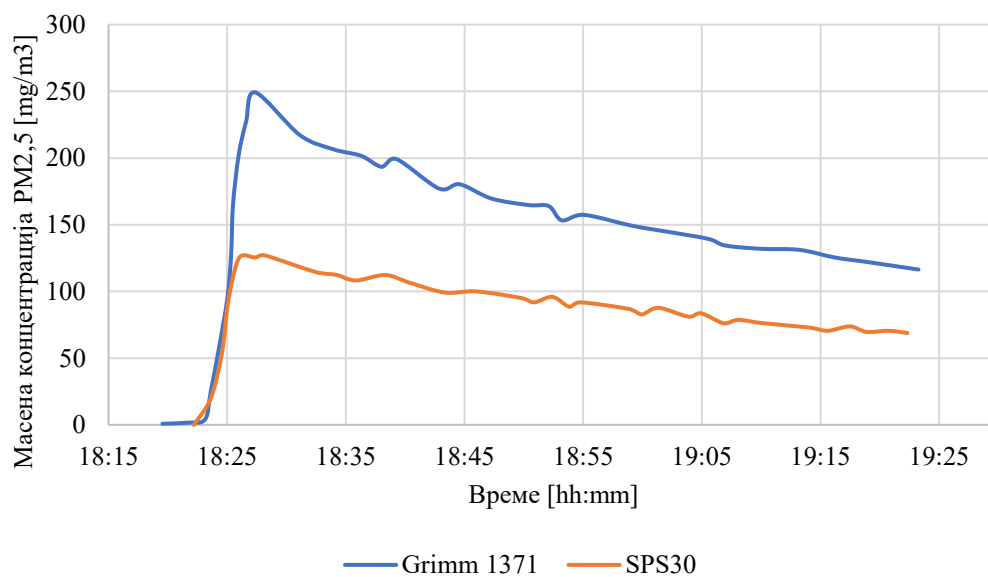
Слика 15 - Корелација масене дистрибуције честица експерименталних активности са слике 14 респективно.

SPS30 је пријављивао мању концентрацију финих честица за 24% током сагоревања спирале против комараца, за 71% током кокања кокица и за 73% током горења свећа.

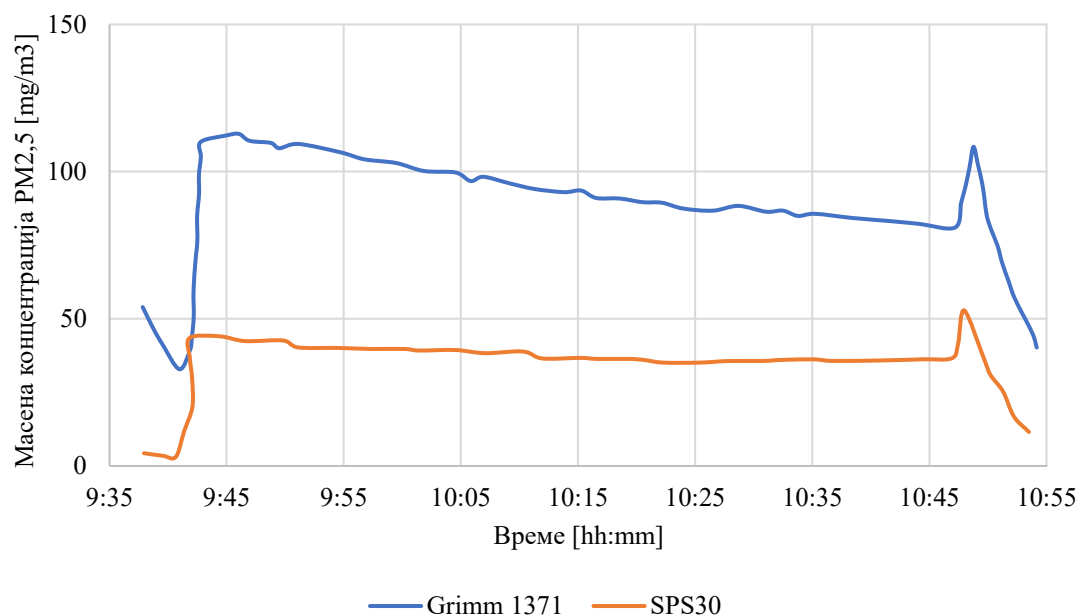
Сензор је веома лоше реаговао на промену концентрације PM_{10} у случају активности усавања за 89%. Чак је и корелација са референтним подацима била слаба и Парсонсовим коефицијентом корелације мањим од 0,30. Значајно боља веза пронађена је за SPS30 сензор током кокања кокица када је Парсонсов коефицијент корелације био 0,92, иако је сензор забележио концентрацију у просеку за 75% мању од референтне.



Слика 16 - Приказ детекције честица $PM_{2,5}$ од стране SPS30 и референтног инструмента за време горења спирале против комараца.



Слика 17 - Приказ детекције честица $PM_{2,5}$ од стране SPS30 и референтног инструмента за време кокања кокица.

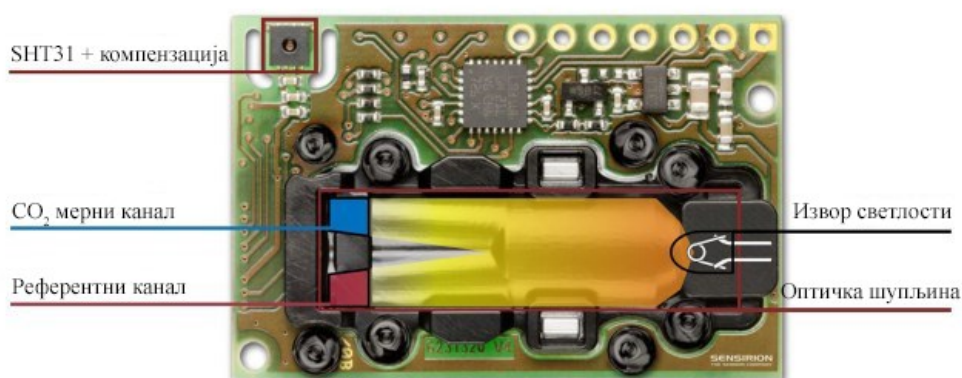


Слика 18 - Приказ детекције честица $PM_{2,5}$ од стране SPS30 и референтног инструмента за време паљења и горења свећа.

За време експерименталних активности слична веза је примећена за већину сензора који имају могућност мерења PM_{10} честица (Demanega et al., 2021). Тиме је закључено да технологија нискобуџетних сензора још увек није дорасла овом задатку иако су постављена висока очекивања у могућностима SPS30 сензора. Ово представља и основни разлог не уврштавања PM_{10} категорије као параметра за оцену квалитета унутрашњег ваздуха. Како ова технологија буде сазрела у наредним годинама, PM_{10} ограничења је потребно уврстити у укупну оцену КУС како она такође могу утицати на здравље и продуктивност корисника објекта.

4.4.5 Мерење температуре сувог термометра, релативне влажности ваздуха и концентрације CO₂ - Sensirion SCD30

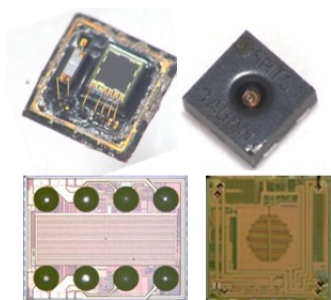
Одабрани модул Sensirion SCD30 (слика 19) има могућност мерења 3 физичка параметра унутрашњег окружења. У исти сензорски модул постављен је недисперзивни инфрацрвени сензор за детекцију концентрације CO₂ уз сензор влажности и температуре SHT31 који тренутно представља „златни“ стандард на пољу нискобуџетних сензора. Влажност и температура околине мере се помоћу алгоритама који моделују и компензују спољње изворе топлоте без потребе за било каквим додатним компонентама. Веома мала висина модула омогућава лаку интеграцију у различите примене и велики број произвођача нискобуџетних мерних станица се одлучује за овај сензор (Табела 12).



Слика 19 - Изглед сензора Sensirion SCD30. Сензор температуре и релативне влажности SHT31 и NDIR сензор концентрације CO₂¹⁷.

4.4.5.1 Мерење температуре сувог термометра и релативне влажности ваздуха

Сензор температуре и сензор влажности заједно чине једну целину (SHT31). Оваква конфигурација, омогућава прецизно одређивање тачке росе у реалном времену, без настанка грешака услед температурних градијената између сензора влаге и температуре (слика 20). На површини од свега 2,5x2,5 mm² налази се веза ових сензорских елемената са јединицом појачивача сигнала, аналогно-дигиталним претварачем, меморијом података о калибрацији, као и дигиталним интерфејсом.



Слика 20 - Конструкција сензора SHT31¹⁸.

¹⁷ <https://www.mistywest.com/posts/teardown-sensirion-particle-matter-sensor/>

¹⁸ <https://www.systemplus.fr/reverse-costing-reports/relative-humidity-sensors-technology-and-cost-review/>

Капацитивни и отпорнички принципи мерења релативне влажности су традиционално доказани као стандард за хигрометре у прошлости. Сензорски елемент капацитивног хигрометра је изграђен од кондензатора. Диелектрик је полимер који апсорбује или ослобађа влагу пропорционално релативној влажности околине и на тај начин мења капацитивност кондензатора. Ова промена капацитета може се мерити електричним колом и омогућава одређивање релативне влажности ваздуха.

Сензоре релативне влажности ваздуха Sensirion SCD30 користи CMOSens® технологију, Капацитивност сензорског чипа обезбеђује систем микро-машински обрађених „finger“ електрода са различитим заштитним и полимерним слојевима. Оваква изведба истовремено штити сензор од поремећаја што није било доступно ранијих итерација нискобуџетних сензора.

Табела 18 - Техничке карактеристике сензора SHT31 одбијене од произвођача¹⁹.

Параметар	Услов	Вредност	Јединица
Сензор релативне влажности			
Грешка мерења	Типично	±2	%RH
Поновљивост	Ниска	0,25	%RH
	Средња	0,15	%RH
	Висока	0,10	%RH
Резолуција	Типично	0,01	%RH
Хистерезис	на 25 °C	±0,8	%RH
Опсег мерења	Проширен	0 - 100	%RH
Одзив	T63%	8	s
Дугорочно повећање грешке	Типично	<0,25	%RH/год
Сензор температуре сувог термометра			
Грешка мерења	типично од -40°C до 90°C	±0,3	°C
Поновљивост	Ниска	0,24	°C
	Средња	0,12	°C
	Висока	0,06	°C
Резолуција	Типично	0,015	°C
Опсег мерења	-	-40 - 125	°C
Одзив	T63%	>2	s
Дугорочно повећање грешке	Максимални	<0,03	°C/ год.

Препоручени опсези мерења температуре су од 5 до 60 °C и релативне влажности 20-80 %RH. При овим условима, сензор задржава све карактеристике специфициране од стране произвођача. Сирови излазни сигнал температуре сувог термометра и релативне влажности, преносе као 16-битне скаларне вредности. Компонента сензора врши њихову линеаризацију и компензацију утицаја температуре и промене напона. За претварање силових сигнала у физичку величину користе се следеће формуле.

¹⁹ https://www.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital-971521.pdf

Конверзиона формула за релативну влажност у %РВ:

$$PB = 100 \cdot \frac{C_{PB}}{2^{16}-1} \quad (4.1)$$

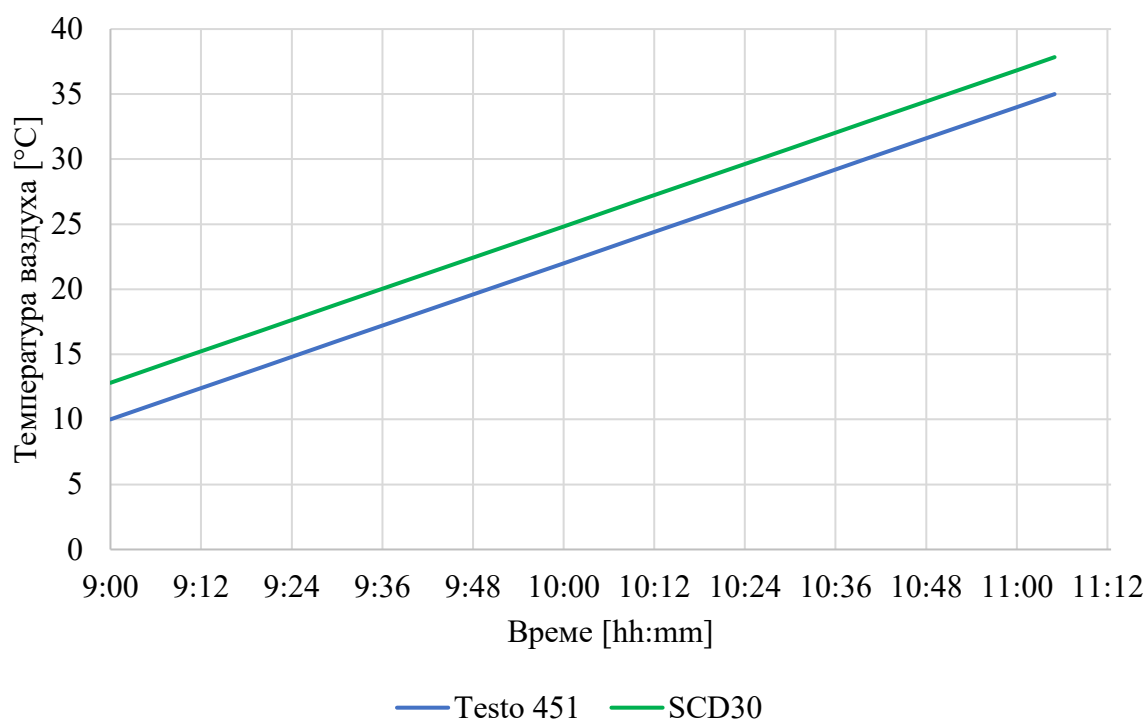
Конверзиона формула за температуру сувог термометра у °С:

$$T = -45 + 175 \cdot \frac{C_T}{2^{16}-1} \quad (4.2)$$

При чему су:

- C_{PB} - Сирови излазни сигнал релативне влажности.
- C_T - Сирови излазни сигнал температуре.

Прецизност рада сензора SHT31 је у директној вези са интервалом мерења концентрације CO_2 у паралелном раду SCD30. Наиме, што је интервал мерења CO_2 краћи, већи је број паљења инфрацрвене лампе. Даље, инфрацрвена лампа доводи до самозагревања целог сензорског склопа. У директној комуникацији са произвођачем сензора ово је потврђено и очекивана систематска грешка је +3 °С. На основу ове информације, изведена су иницијална мерења у климатској комори у распону температура од 10 до 35 °С.

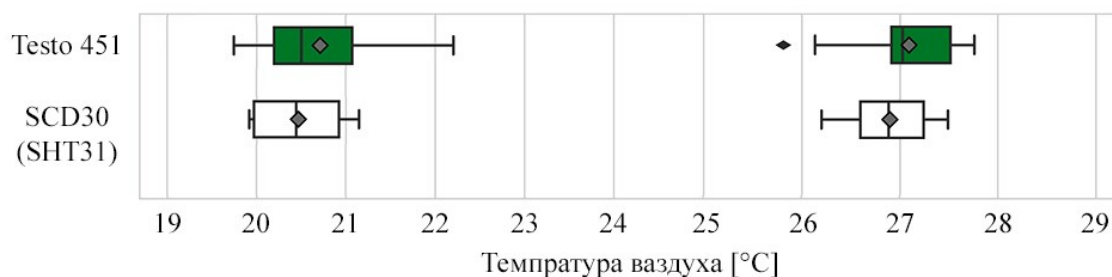


Слика 21 - Упоредно мерење промене температуре у климатској комори ради уклањања систематске грешке мерења температуре.

Сензор је укључен 30 минута пре почетка мерења, како би достигао равнотежну температуру. Након овог периода, отпочета су мерења са постепеним порастом температуре у току два часа. Просечна систематска грешка мерења је +2,83 °С и није уочен утицај промене амбијенталне температуре на величину и знак грешке

(слика 21). Битно је напоменути да је ова грешка у директној корелацији са мерењем релативне влажности. Уносом ове поправке путем дигиталног интерфејса врши се корекција за оба читавања.

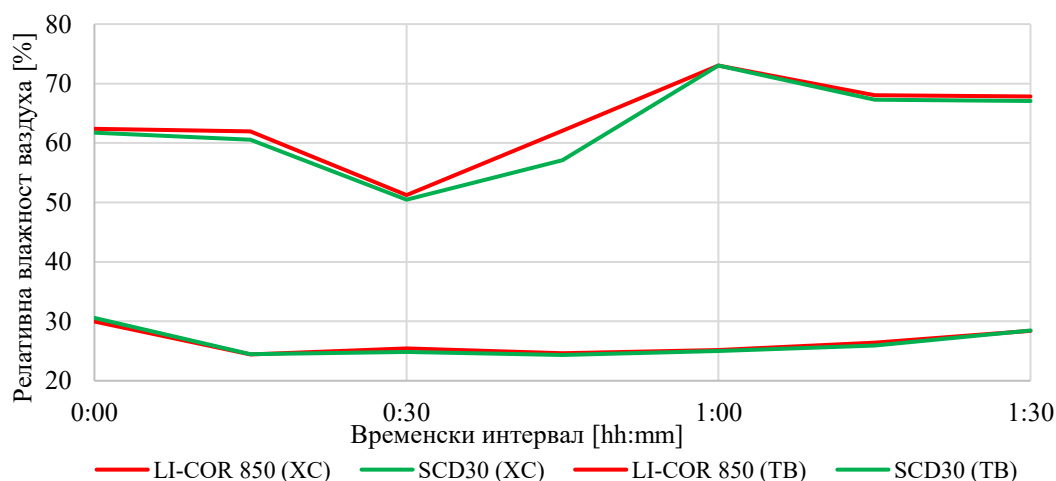
Након ове корекције, извршена су мерења у климатској комори. Резултати промене температуре ваздуха забележени са SCD30 два термодинамичка стања приказани су на слици 22. Температура ваздуха током хладних и сувих услова варирала је од 19,7 °C до 22,2 °C (средња вредност = 20,7 °C), и 25,8 °C до 27,7 °C (средња вредност = 27,1 °C) током топлих и влажних услова према референтном Testo термометру.



Слика 22 - Boxplot опсега мерења температура за суве и хладне услове (лево) и топле и влажне (десно) за Testo 451 и SCD30.

SCD30 је одступао од референтне вредности за мање од 0,5 °C у просеку у оба стања и тиме је био у складу са ISO 7726 (Standard, 1998).

Промена релативне влажности ваздуха у климатској комори током оба симулирана термодинамичка стања приказана је на слици 23. LI-COR 850 је измерио вредности релативне влажности у опсегу од 24% до 30% RH (средња вредност = 26% RH) за хладне и суве услове и 51% до 73% RH (средња вредност = 64% RH) за топле и влажне услове. Са дијаграма је приметно да SCD30 постиже већу прецизност и има боље динамичке карактеристике при нижим вредностима релативне влажности.

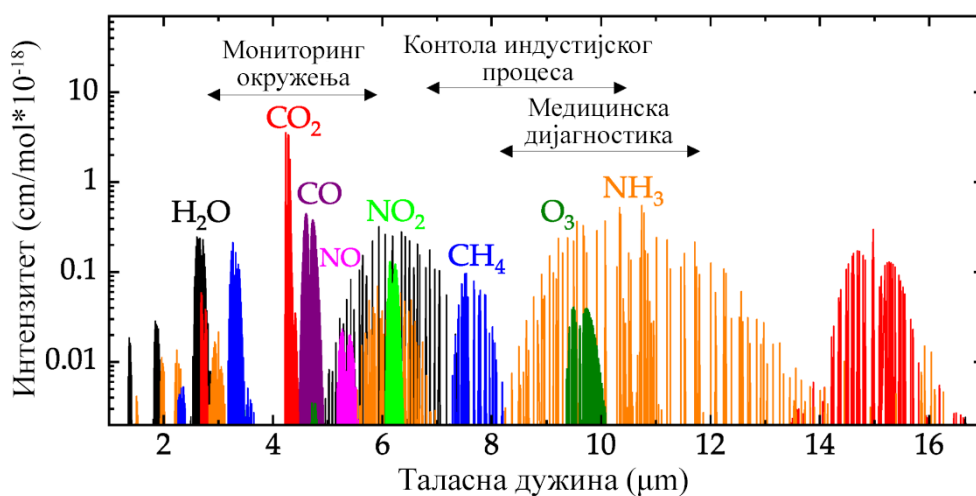


Слика 23 - Упоредно мерење промене концентрације CO₂ у климатској комори SCD30 и референтног инструмента за два термодинамичка стања

SCD30 је показао добро слагање са референтним инструментом у оба термодинамичка стања. Средња апсолутна грешка за хладне и влажне услове износи 0,5% RH и 1,6% RH у топлим и влажним условима.

4.4.5.2 Мерење концентрације CO₂

Sensirion SCD30 функционише као недисперзивни инфрацрвени сензор (NDIR). Ова метода мерења концентрације CO₂ заснива се на чињеници да молекули CO₂ апсорбују инфрацрвено зрачење одређених таласних дужина. Што је већа концентрација CO₂, веће је и упијање зрачења. Таласна дужина од 4,3 μm има максималну апсорпцију CO₂ и минималну апсорпцију осталих гасова у ваздуху (слика 24).



Слика 24 - Апсорционе таласне дужине за различите гасове²⁰.

Извор инфрацрвеног зрачења постављен је на једној страни цеви (слика 19). На супротној страни су постављена два сензора са оптичким филтерима. Први сензор има пропусни филтер за таласну дужину 4,3μm и мери интензитет зрачења. Други референтни сензор има пропусни филтер за таласну дужину 4 μm, коју гасови у ваздуху минимално апсорбују и мери интензитет зрачења. Према Ламбер-Беровом закону измерени интензитет зрачења на овим таласним дужинама је у директној вези са концентрацијом CO₂.

Сензор се може калибрисати путем два алгорита²¹, дефинисана од стране произвођача као на слици 25, којима се постиже:

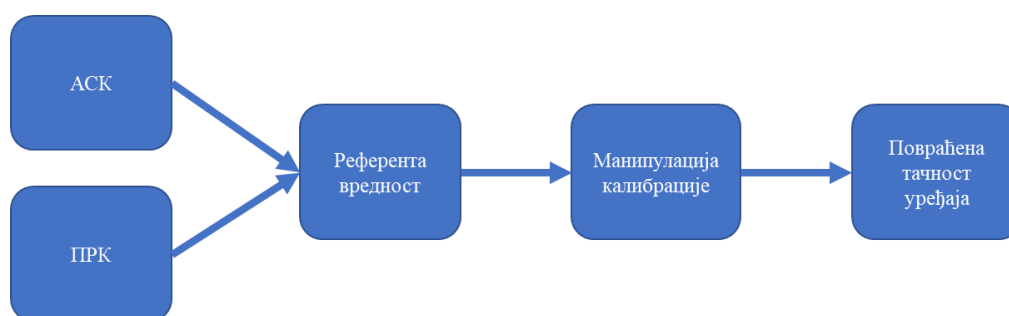
- аутоматска самокалибрација - АСК
- принудна рекалибрација - ПРК

АСК аутономно генерише референтну вредност анализирајући промену концентрације CO₂ током одређеног временског периода, тиме коригујући

²⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Nondispersive_infrared_sensor#/media/File:Mid-infrared_absorption_spectra_of_Gases.png

²¹ https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.5_CO2/Sensirion_CO2_Sensors_SCD30_Field_Calibration.pdf

калибрациону криву. Најновија референтна вредност чува се у трајној меморији сензора. Правилна примена ове методе захтева рад сензора у режиму континуалног мерења и искључивање сензора би одложило идентификацију нове референтне вредности. АСК се може активирати и деактивирати путем дигиталног интерфејса, што није увек могуће код нискобуџетних сензора. Ова метода захтева да сензор буде редовно изложен ваздуху са концентрацијом CO₂ од око 400 ppm, као што је случај у добро проветреним зградама током ноћи без присуства људи. Чест је случај да објекти не поседују адекватан централизован ГВК систем и концентрације CO₂ унутар објекта не падају на вредности спољњих концентрација у дужем временском периоду. Тада, самокалибрација преписује ове вредности у меморију као амбијенталну и долази да великих грешака у мерењу концентрацијом CO₂. Стога је овај алгоритам искључен.



Слика 25 -Алгоритам корекције тачности сензора Sensirion SCD30.

Када се примењује ПРК корисник мора да обезбеди референтну вредност за концентрације CO₂ која се користи се за ажурирање калибрације ради враћања фабричке тачности. Најновија референтна вредност чува се у трајној меморији на сензорском уређају и задржаће се док је не препише или нова референтна вредност преко ПРК или АСК. Сензор треба да ради два минута у непрекидном режиму са произвољним периодом мерења.

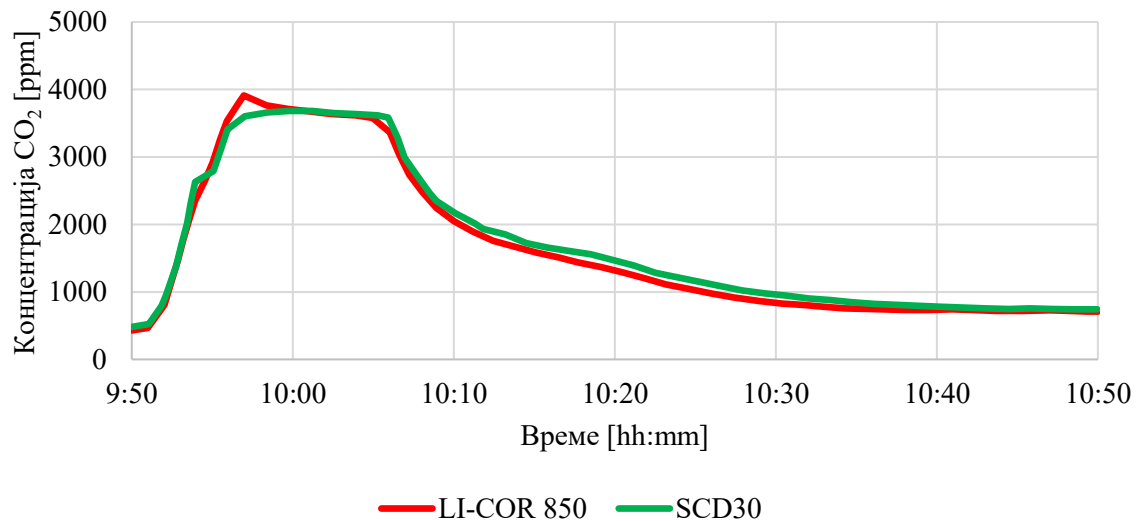
Референтна вредност може се генерисати на три начина:

- употребом калибрисаног референтног сензора;
- излагањем SCD30 окружењу са контролисаном концентрацијом CO₂;
- излагањем спољашњем ваздуху (~ 400 ppm).

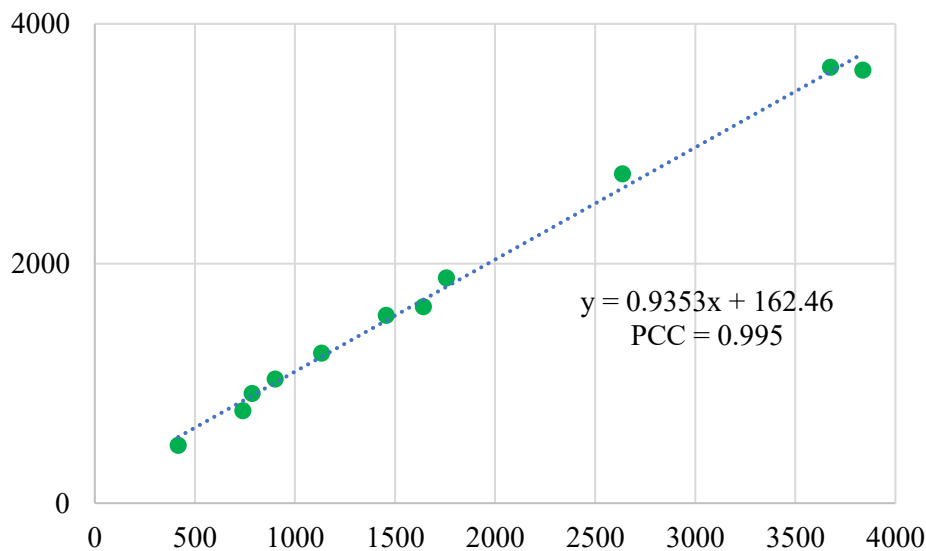
ПРК калибрација је моментална и може се извршити више пута у произвољним интервалима.

Иницијалним мерењима је установљено да је сензор изгубио фабричку калибрацију и да је систематска грешка мерења +319 ppm настала механичким напрезањима у транспорту. Алгоритмом ПРК извршена је калибрација сензора у климатској комори где је прецизно контролисана концентрација CO₂ и верификована је референтним мерним инструментом LI-COR 850. Вредност је преписана у трајну меморију сензора и коришћена у даљим експериментима. Интервал мерења сензора је три секунде.

У климатској комори су проверени одзив и прецизност сензора у два поменута термодинамичка стања. Климатска комора је најпре заптивена, а потом је убризган CO_2 из боце чистог CO_2 до жељене концентрације. Након постизања жељене концентрације (око 4000 ppm), довод CO_2 је обустављен и концентрација се постепено смањивала инфилтрацијом ваздуха у комору. Резултати сензора за топле и влажне услове су дати на слици испод као и РСС како није било разлике за хладе и суве услове на сликама 26 и 27. Апсолутна грешка мерења за време експерименталних активности није била већа од 3% и поред веома нагле динамичке промене концентрације CO_2 што задовољава потребе мерења КУС.



Слика 26 - Упоредно мерење промене концентрације CO_2 за време експерименталне активности у климатској комори референтног LI-COR 850 и калибрисаног SCD30.



Слика 27 - Парсонсов коефицијент (PCC) корелације између LI-COR 850 и калибрисаног SCD30.

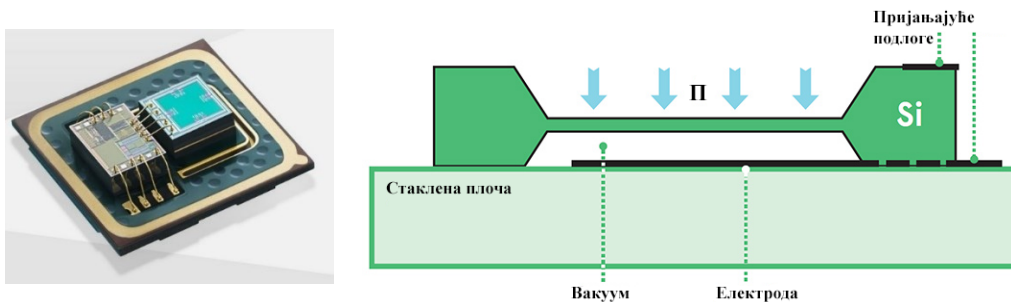
4.4.6 Мерење атмосферског притиска

Сензори притиска били су један од првих сензора који су минијатуризовани и масовно произведени по ниској цени кроз производњу микроелектромеханичких система (MEMS). Сви модерни нискобуџетни сензори притиска користе исти основни принцип рада и сличну архитектуру која је приказана на слици 28 (десно). Сензор притиска има танку флексибилну деформабилну мембрану. Мембрана покрива референтну шупљину која је типично заптивена при ниском вакуумском притиску. Када је притисак виши изван него у референтној шупљини, мембрана се деформише ка референтној шупљини. Мембрана је причвршћена на круту подлогу, тако да се сва деформација јавља у мембрани, а не на раму. Метода мерења представља мерење деформације у мембрани. Било који проводни материјал, попут метала, промениће отпор када дође до његовог напрезања. Ови уређаји се, на одговарајући начин, називају и тензометрима. Полупроводнички материјали, попут допираног силицијума, остварују велику промену отпора услед деформација због својства материјала названог пиезоотпор. Велика промена отпора је корисна за конструкцију сензора, тако да већина савремених сензора притиска користи пиезорезистивни мерач напрезања за претварање механичких сила у електричне промене.

На мерења концентрације CO₂ засноване на NDIR принципу утиче надморска висина. Како би се ова грешка отклонила, SCD30 пружа могућност компензације грешке настале због надморске висине различите од нивоа мора. Сензор BMP280 употребљен је за мерење атмосферског притиска и прерачунавање у надморску висину. Овај сензор такође има способност мерења температуре и релативне влажности ваздуха, међутим сензор има мању прецизност од сензора SHT31 и стога није употребљен за ову сврху.

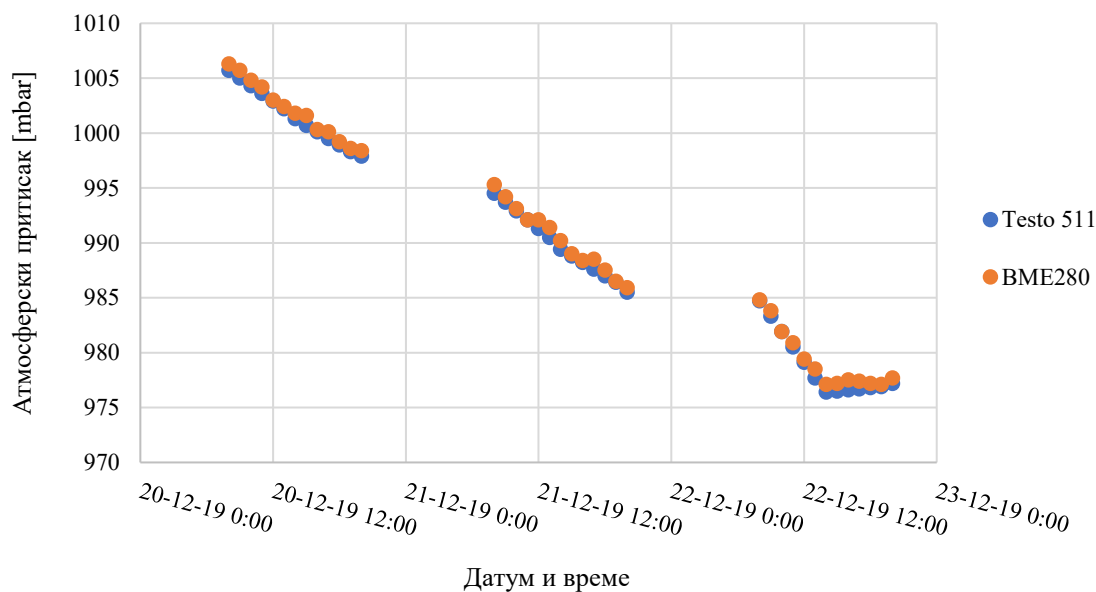
Сензор притиска израђен је управо као микроелектромеханички сензор (MEMS) и користи пиезоелектрични отпорник за мерење апсолутног притиска на квадратној мембрани. Велики квадратни силицијумски чип на слици 28 (лево) је сензор притиска, док је мањи правоугаони чип сензор влажности. Сензор притиска је изузетно компактне изведбе, приближно 800 μm x 800 μm. При подешавању највише резолуције мерења, БМЕ280 може да измери и 0,2 Pa промене притиска, што је еквивалентно 1,7 cm промене висине.

Релативна грешка мерења сензора притиска је ±0,12 hPa, док је апсолутна грешка ±10 hPa према документацији произвођача а опсег мерења је од 300 до 1100 hPa.



Слика 28 – Сензор атмосферског притиска BME280 без заштитног оклопа (лево)²², принцип мерења притиска MEMS сензора²³.

Тачност мерења сензора је проверена у односу на референтни барометар Тесто 511 на часовном нивоу у три узастопна дана од 19.12.2019. до 21.12.2019. године у трајању од 8h до 20h. Резултати мерења приказани су на слици 29 док је средња апсолутна грешка мерења за овај период износила 27 Pa. Ова веома мала грешка, оправдава употребу сензора за компензацију мерења концентрације CO₂.



Слика 29 – Упоредно мерење атмосферског притиска на часовном нивоу помоћу референтног барометра Тесто 511 и сензора BME280.

²² www.bosch-sensortec.com

²³ www.avnet.com

4.4.7 Мерење концентрације лакоиспарљивих органских једињења (TVOC) - Sensirion SGP30

Тржиште гасних сензора је у процесу експанзије са растућом потражњом за локализованим информацијама о квалитету ваздуха у животној средини. Као резултат тога, постојеће технологије сензора за гас доживљавају нове техничке помаке као што су:

- смањење величине,
- мала енергија потребна за рад,
- повећана селективност,
- откривање различитих врста гасова
- и нижи јединични трошак.

Ова потреба за свеприсутним мерењем концентрација гасова у животној средини пружила је прилику за минијатурне уређаје створене технологијом MEMS. Сензори за гас могу се поделити према њиховом принципу рада:

- каталитички,
- електро-хемијски,
- ChemFET,
- резонантни,
- полупроводник металног оксида (MOS),
- инфрацрвени (ИР),
- хроматографија,
- фотојонизација,
- хеми-луминисценција...

MOS сензори су најпогоднији за нискобуџетну примену због ниске цене и мале снаге. Принцип функционисања MOS гасног сензора заснива се на промени проводљивости гасно осетљивог MOS полупроводничког слоја или слојева при излагању гасовима, који се могу мерити и анализирати. Специфични MOS осетљиви слој гаса реагује на гасове који оксидирају повећањем отпора слоја и смањењем гасова смањењем отпора слоја. У зависности од врсте гаса и типа сензора, одређени MOS сензор за гас реагује у опсегу концентрација од неколико ppb до % -опсега.

Коришћењем различитих MOS полупроводничких материјала за гасно осетљиве слојеве могу се детектовати различити гасови и мешавине гасова. Осетљивост MOS гасних сензора може се побољшати коришћењем специфичних катализатора у овим слојевима.

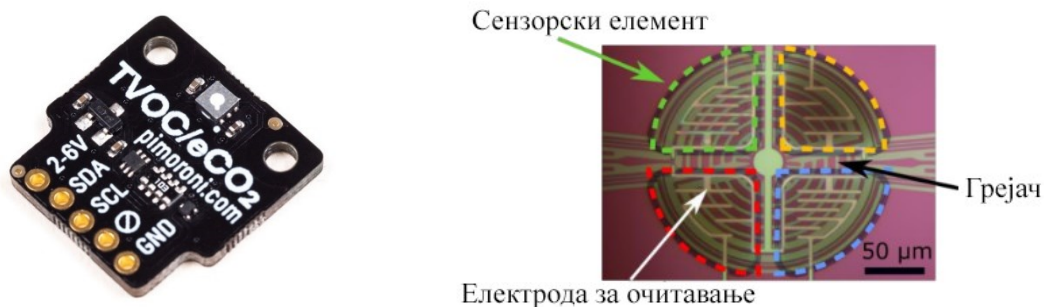
Типови сензора се разликују према:

- конструкцији сензора (димензије, кућиште итд.),
- осетљивост на одређене гасове,
- унакрсној осетљивости,

- времену одзива.

SGP30 представља детектор летљивих органских једињења (VOC) у широком опсегу, који је у стању да детектује различите VOC, а тиме и TVOC. SGP30 сензори за гас се фабрички калибришу помоћу етанола, јер етанол служи као стабилан, поуздан и економичан представник за TVOC.

SGP30 је први метал-оксидни гасни сензор који садржи више сензорских елемената на једном чипу, и пружа детаљније информације о квалитету ваздуха.



Слика 30 - Сензор Sensirion SGP30 интегрисан у штампану плочу (лево) и изглед отвореног сензора (десно)

Табела 19 - Техничке спецификације сензора Sensirion SGP30²⁴

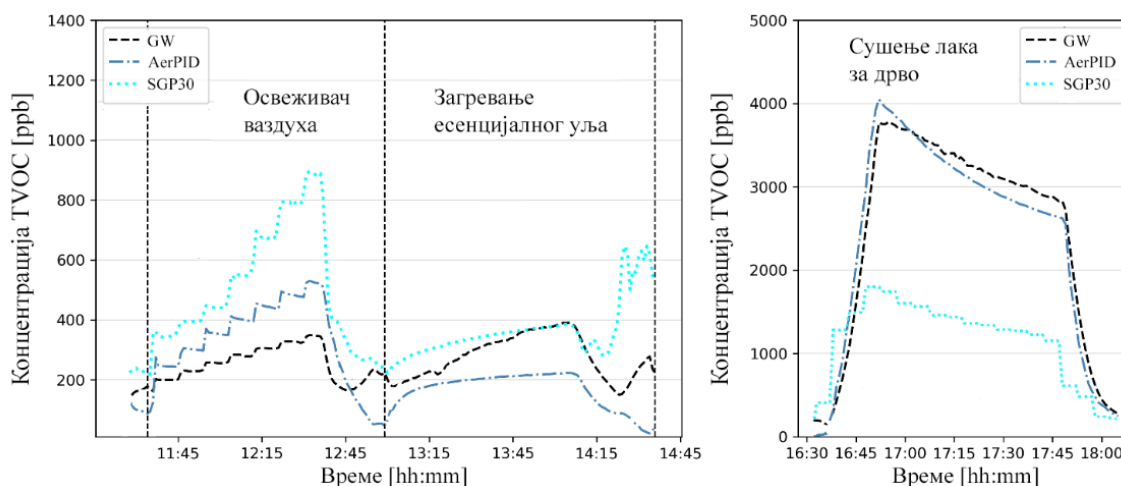
Параметар	Сигнал	Вредности	Коментари
Опсег мерења	Етанол	0 ppm – 1.000 ppm	
	Водоник	0 ppm – 1.000 ppm	
Наведен опсег мерења	Етанол	0,3 ppm - 30 ppm	Наведени опсег мерења покрива концентрације очекиване у унутрашњем окружењу.
	Водоник	0,5 ppm - 10 ppm	
Грешка	Етанол	Типично 15% мерене величине	Грешка се рачуна према: $\ln(c/c_{ref}) = \frac{(s_{ref} - s_{out})}{a}$ $a = 512$ s_{out} : EthOH/H ₂ при концентрацији c s_{ref} : EthOH/H ₂ при 0.5 ppm H ₂
	Водоник	Типично 10% мерене величине	
Дугорочно повећање грешке	Етанол	Типично 1,3% мерене величине	Убрзани животни тест силиксаном
	Водоник	Типично 1,3% мерене величине	
Резолуција	Етанол	0,2 % мерене величине	

²⁴ https://www.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion_Gas_Sensors_SGP30_Datasheet_EN-1148053.pdf

	Водоник			Резолуција излаза етанола и H ₂ сигнала у релативној промени измерене концентрације
Фреквенција узорковања	Етанол	Макс. 40 Hz		
	Водоник			
Опсег мерења	TVOC	0 ppb – 60.000 ppb		
	CO ₂ eq	400 ppm – 60.000 ppm		
Резолуција	TVOC	0 ppb – 2.008 ppb	1 ppb	
		2.008 ppb – 11.110 ppb	6 ppb	
		11.110 ppb – 60.000 ppb	32 ppb	
	CO ₂ eq	400 ppm – 1.479 ppm	1 ppm	
		1.479 ppm – 5.144 ppm	3 ppm	
		5.144 ppm – 17.597 ppm	9 ppm	
		17.597 ppm – 60.000 ppm	31 ppm	
Фреквенција узорковања	TVOC	1 Hz		
	CO ₂ eq	1 Hz		

Сигнали четири сензорска елемента мере се оптимизованим појачалом који покрива мерни опсег од осам редова величина (слика 30). Ово је пресудно за мерење широког спектра различитих MOS сензорских материјала као и различитих концентрација гасова помоћу једне хардверске платформе.

Сигнали се даље обрађују у фази дигиталне обраде сигнала алгоритмима. Како би се постигла већа прецизност мерења могуће је вршити компензацију релативне влажности. Такође, појединачни параметри калибрације записују се током баждарења сензора у једнократну програмибилну меморију на чипу уколико континуална калибрација није могућа. Ово омогућава конверзију сирових сигнала сензора у калибрисане излазне сигнале као што су концентрације испарљивих органских једињења. Вредности мерења релативне влажности сензора SHT31 употребљени су као референтне вредности за калибрацију сензора SGP30.



Слика 31 – Упоредни дијаграм одзива сензора GrayWolf (GW), Aeroqual Photoionization Detector (AerPID) и Sensirion SGP30 на повећање концентрације TVOC у климатској комори изазване различитим активностима.

Слика 31 приказује да постоји блиска корелација између одзива професионалних сензора GrayWolf и Aeroqual Photoionization Detector на изворе загађења ваздуха. Иако су референтни сензори калибрисани истим гасовима, у тестовима је њихов квантитативни одзив одступао и два пута. Највише концентрације TVOC постигнуте су за време активности сушења уљаног лака за дрво (10.435 ppb – CX; 3.781 ppb – TB). Све остале активности проузроковале су значајно мањи пораст TVOC (од 5 до 530 ppb).

Иако за време тестова није постојало стварно референтно мерење, дијаграм показује добре динамичке карактеристике сензора SGP30 са приближним временским одзивом професионалних уређаја. Као и други сензори у овој класи, при изузетно високим концентрацијама TVOC примећује се смањени одзив при концентрацијама већим од 1.000 ppb генерисаним при сушењу лака за дрво у оба термодинамичка стања. Ова чињеница сугерише да при овим концентрацијама долази до могућег засићења сензора иако је распон мерења који произвођач прописује далеко већи и у границама од 0 до 60.000 ppb.

За време рада освеживач ваздуха SGP30 измерио више концентрације TVOC од GrayWolf до 99% и 47% у односу на Aeroqual Photoionization Detector. При загревању есенцијалног уља SGP30 је приказивао блиске резултате GrayWolf са средњом релативном грешком од 17%.

Како су услови за категорије подкомпоненте I_{TVOC} дефинисани у стандардима преко концентрације TVOC у $\mu\text{g}/\text{m}^3$ потребно је извршити конверзију читавања сензора која су изворно у ppb. Како би ово било могуће, потребно је дефинисати смешу гасова која представља типичну смешу TVOC за употребу. На основу ове смеше се може израчунати просечна моларна маса која се даље може користити за директно претварање ppb у $\mu\text{g}/\text{m}^3$ применом следеће једначине:

$$\rho_{\text{микс гасова}} [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{M_{\text{микс гасова}} [\text{g}/\text{mol}]}{V_m \times 1000 \text{ppb}} \cdot c_{\text{микс гасова}} [\text{ppb}] \quad (4.3)$$

Излазни сигнал ppb-TVOC код сензора SGP30 калибрисан је за мешавину гасова коју користе Молхави и сарадници (1997), а садржи састав од 22 волатилних органских једињења у концентрацијама сличним онима које се просечно одређују у стамбеним затвореним срединама. Средња моларна маса ове смеше је 110 g/mol и стога је 1 ppb TVOC одговара концентрацији од 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ²⁵.

Међутим, треба напоменути да овај приступ представља поједностављење јер се стварни састав гаса у унутрашњој средини може значајно разликовати током времена и у зависности од типа унутрашњег окружења. За конверзије које се односе на различите смеше од оних које су предложили поменути аутори, потребно је одредити одговарајућу концентрацију честица ($c_{\text{микс гасова}}$) на основу релативног одзива сензора SGP30.

²⁵ https://www.catsensors.com/media/pdf/Sensor_Sensirion_IAM.pdf

4.4.8 Мерење средње температуре зрачења (Mean radiant temperature - MRT)

Према стандарду ISO 7726 (2002) средња температура зрачења представља униформну температуру имагинарног затвореног простора у коме је пренос топлоте зрачењем са људског тела једнак преносу топлоте зрачењем у стварном неуниформном затвореном простору. Средњу температуру зрачења је могуће мерити инструментима који дозвољавају интеграцију хетерогеног зрачења површина просторије у средњу вредност.

Црни глобус термометар представља мерни уређај који се најчешће користи за апроксимацију вредности средње температуре зрачења која се добија на основу средње температуре измерене црним термометром и брзине струјања ваздуха у непосредној близини глобуса.

Прецизност мерења у многоме зависи од затвореног простора у коме се мере параметри, класе тачности црног глобус термометра, као и начина и прецизности мерења брзине струјања ваздуха. Максималне грешке мерења температуре црног глобус термометра и анемометра дефинише стандард ISO 7726. Сферни облик глобус термометра даје добру апроксимацију облика тела у седећем положају, док елипсоидне изведбе термометра добро апроксимирају седећи и стојећи положај тела.

Како би се мерила средња температура зрачења, црни глобус термометар је потребно поставити у просторију од интереса. Глобус тежи топлотној равнотежи услед преноса топлоте зрачењем и конвекцијом. Температура глобуса при топлотној равнотежи дозвољава мерење температуре помоћу температурског сензора у центру сфере. При употреби ове методе, сматра се да су једнаке температуре: унутрашње површине сфере, спољњег ваздуха у просторији и средња температура на спољњој површини сфере. Стандардна димензија црног глобус термометра износи Ø150 mm и израђује се од бакра.

Једначина за израчунавање средње температуре зрачења добија се из топлотног биланса зрачења и конвекције:

$$q_r + q_c = \varepsilon_g \sigma (\bar{T}_r^4 - T_g^4) + h_{cg} (T_a - T_g) = 0 \quad (4.4)$$

q_r – размена топлоте зрачењем између глобуса и околних површина [W/m^2].

q_c – размена топлоте конвекцијом ваздуха у просторији око глобуса [W/m^2].

Размена топлоте зрачењем је:

$$q_r = \varepsilon_g \sigma (\bar{T}_r^4 - T_g^4) \quad (4.5)$$

Где су:

ε_g – емисивност глобуса [-]

σ – Штефан-Болцманова константа [$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$]

\bar{T}_r – Средња температура зрачења [K],

T_g – Температура глобус термометра [K],

Размена топлоте конвекцијом дата је у једначини испод:

$$q_c = h_{cg}(T_a - T_g) \quad (4.6)$$

h_{cg} – коефицијент прелаза топлоте у непосредној близини глобуса и одређује се на два начина у зависности од типа конвекције:

$$h_{cg} = 1,4 \left(\frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4} \quad (4.7)$$

за природну конвекцију,

$$h_{cg} = 6,3 \frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (4.8)$$

за принудну конвекцију, при чему је D пречник кугле у [m] а v_a хоризонтална брзина струјања ваздуха [m/s].

Средња температура зрачења се рачуна преко формуле (4.4)

$$\bar{T}_r = 4 \sqrt{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma} (T_g - T_a)} \quad (4.9)$$

У случају природне конвекције, једначина (4.9) постаје:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0,25 \times 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{|t_g - t_a|}{D} \right)^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (4.10)$$

У случају принудне конвекције (4.7) постаје:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v_a^{0,6}}{\varepsilon_g \times D^{0,4}} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (4.11)$$

Како се средња температура зрачења одређује за просторије са централизованим КГХ системима, у прорачуну је употребљена једначина 4.11.

Тренутне тржишне цене комерцијалних црних глобус термометара превазилазе ранг цена опреме са којим је могуће третирати уређај као нискобуџетни. Цене се у просеку крећу између 450 и 600 ЕУР²⁶ за сам сензор без логера. Због ове чињенице и габарита стандардног глобуса који не одговарају базној станици и постављању на радни сто, конструисан је уникатни црни термометар (слика 32).

На основу доступних сензора на тржишту, утврђено је да се као сензори за мерење температуре унутар црног глобуса уобичајено користе термоелементи. Термоелементи не одговарају употреби у комбинацији са одабраним микроконтролером мерене станице. Веома мале разлике напона између топлог и хладног краја термоелемента захтевају додатне појачиваче сигнала и посложују и покупују изведбу термометра. Такође, очекиване грешке мерења су веће од 0,5 °C

²⁶ <https://www.testo.com/en-UK/globe-probe-o-150mm-tc-type-k-for-measuring-radiant-heat/p/0602-0743>

код већине типова термоелемената што искључује њихову употребу према ISO 7726. Стога је одабран термистор као сензор мерења температуре унутар глобуса са релативном грешком мерења од 1%.



Слика 32 – Визуелни приказ конструкције црног глобус термометра.

Термистор је уређај конструисан за мерење температуре и састоји се од полупроводничког материјала. Услед промене температуре, вредност отпора се интензивно мења, што омогућава одређивање температуре са високом тачношћу. У овом случају, на познатој јачини струје у колу и константној температури, одржава се константан напон.

Да би се користио термистор, потребно га је повезати са електричним колом, на пример Витстоновим мостом, и да се врши мерење јачине струје и напона на уређају. По једноставном Омовом закону, одређује се отпор. За потребе мерења температуре, најчешћи је случај да се израђују као термистори са негативним температурским коефицијентима (NTC). Односно, да се њихов отпор смањује са повећањем температуре.

Како би се извршила конверзија мереног отпора у температуру, потребно је користити Стајнхарт-Харт једначину која омогућава добру апроксимацију претварања вредности отпора у температуру, и која у општем облику гласи:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3 \quad (4.12)$$

T – температура [K],

R – отпор при T [Ω],

A, B и C – Стајнхарт-Харт-ови коефицијенти, који варирају у зависности од врсте и модела термистора и температурног опсега.

Како термистори немају линеарну зависност између температуре и отпора, у практичним применама се користи модел линеарне апроксимације, која у зависности од степена полинома има тачност само у ограниченим опсезима мерења. Да би се добио шири опсег тачних мерења температура, сложенија трансфер функција отпор – температура пружа вернију карактеризацију перформанси.

Стајнхарт-Харт-ова једначина трећег реда је најчешће коришћена апроксимација:

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c (\ln R)^3 \quad (4.13)$$

Термистори се такође могу окарактерисати једначином параметра В (или β), која је у основи Стајнхарт-Харт једначина изнад:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R}{R_0} \quad (4.14)$$

При чему су:

$$a = \frac{1}{T_0} - \left(\frac{1}{B}\right) \ln R_0, \quad b = \frac{1}{B}, \quad c = 0$$

R_0 – отпор на $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$

Трансформацијом претходне једначине, В се може одредити као нагиб функције $\ln R$ и $1/T$ износи 3.950 за употребљени 10 kΩ термистор са негативним температурским коефицијентом. Стога је могуће директним читавањем отпора преко једначине (4.14) израчунати вредност температуре сувог термометра.

Техничке карактеристике употребљеног термистора су:

- Отпор на 25 °C: 10 K ± 1 %
- B25/50: 3.950 ± 1 %
- Опсег мерења термистора: -55 °C до 125 °C
- Опсег мерења проводника (жице): -55 °C до 105 °C
- Пречник: 3,5 mm
- Дужина проводника: 10 cm

Очекивана грешка мерења температуре овом методом састоји се из грешке мерења самог термистора, али и аналогног кола логера (микроконтролера). Очекивана грешка се може израчунати тако што ће се прво узети у обзир грешка отпора термистора. Термистор има грешку мерења од 1%, што значи да на 25 °C може читати 10.100 до 9.900 Ω. На 25 °C разлика од 450 Ω представља 1 °C, па грешка од 1% значи око ±0,25 °C (одступање је калибрисано одређивањем отпора термистора у леденом купатилу од 0 °C и уврштавањем систематске грешке у једначину). Употребом термистора са грешком 0,1% систематска грешка мерења се може смањити на ±0,03 °C, међутим оволика прецизност термометра није потребна.

Друга грешка се јавља на претварачу наизменичне у једносмерну струју, јер за сваки бит који је погрешан, отпор на 25 °C може бити погрешно измерен и до 50

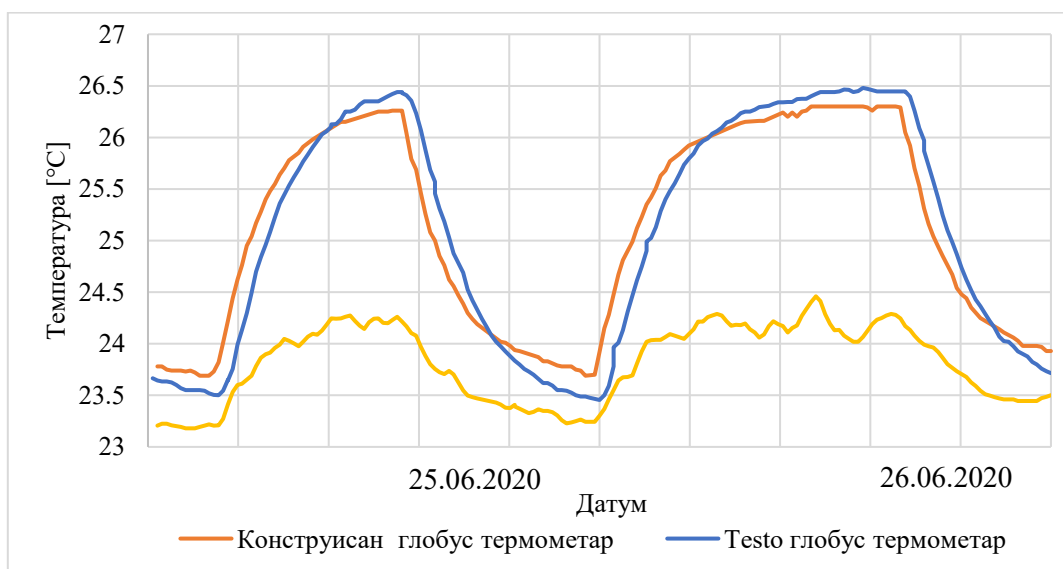
Ω. Ова грешка отпора је за ред величине мања од основне грешке $\pm 0,1$ °C, али не постоји начин да се калибрише.

Након конструкције термометра, тестиран је на неколико температура унутар опсега мерења црног глобуса у односу на Testo 435 и анемометар са топлом жицом са средњом релативним грешком мањом од 1,5%.

Даље, било је потребно одредити нови пречник глобуса и материјал израде. Као полазну тачку за одабир новог пречника глобус термометра као и материјала од кога ће бити израђен, послужила је студија Андреса и сарадника (2020) у којој је тестирано 18 комбинација температурских сензора и глобуса различитих пречника израђених од метала и полиетилена. Студија је утврдила да пречник кугле утиче на грешку мерења, тј. да пречник мањи од $\varnothing 150$ mm приказује нижу температуре од стварне, али и да је мерење могуће вршити нестандартним димензијама глобус термометра. Алфано и сарадници (2021) су урадили слична испитивања и утврдили да при истом пречнику глобуса, материјал глобуса нема утицаја на грешку мерења. Сампајо и сарадници (2019) су такође вршили тестове нестандартних димензија глобуса и утврдили да су одступања у мерењима израженија у спољашњој средини (и до 6 °C за пречник 69 mm) услед директног сунчевог зрачења, док су у затвореном простору она веома мала.

На основу прегледа литературе одабрана је црна кугла од полиетилена пречника $\varnothing 100$ mm. Кугла је израђена од црног мат полиетилена и није потребно наносити слојеве мат фарбе како би се постигла емисивност 0,95.

Прецизност мерења је проверена у лабораторији за термотехнику. На слици 33 приказано је упоредно мерење температуре конструисаног глобус термометра и референтног Testo сензора уз мерење температуре ваздуха сувог термометра.



Слика 33 – Упоредно мерење температуре конструисаног глобус термометра и референтног Testo сензора.

Са дијаграма се примећује да конструисани термометар има мању инерцију од референтног термометра и да има бржи одзив на промене температуре изазване конекцијом и зрачењем околних површина просторије. Апсолутна грешка мерења није прелазила $\pm 0,3$ °C за време тестирања термометра. Стога се без додатних поправки овај сензор сматра подобним за мерење температуре црног термометра.

4.4.9 Мерење звучног притиска - позадинска бука

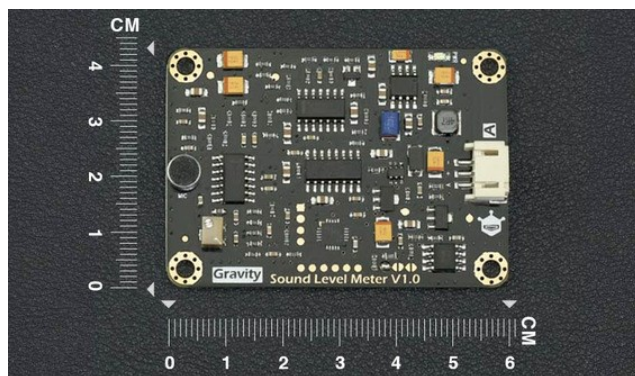
За потребе мерења јачине звучног притиска које одговарају замишљеном одговору људског слуха, користе се уређаји са А - пондерисањем (А - фреквенцијско пондерисање). Мерења јачине звучног притиска дефинисано је у различитим међународним стандардима као што је IEC 61672, као и у разним националним стандардима као што је ANSI S1.4. (САД). „А“ пондерисан опсег је најчешће коришћен и покрива пуни фреквенцијски опсег од 20Hz па све до високофреквентних 20 kHz. Људско ухо је најосетљивије на фреквенције звука између 500 Hz и 6 kHz (посебно око 4 kHz), док на нижим и вишим фреквенцијама људско ухо није врло осетљиво. Пондер „А“ прилагођава читавања нивоа звучног притиска тако да одражавају осетљивост људског уха и стога је по целом свету овлашћен за мерење ризика од оштећења слуха. Било који одобрени мерач нивоа звука који испуњава IEC 61672 има услов да садржи најмање А-пондер филтер. Мерења се обично приказују као dB (A) или dBA.

Тренутно, а пољу нискобуџетних сензора за мерење нивоа амбијенталног звучног притиска постоји изузетно ограничен избор. Као оптимално решење у односу на цену и поузданост одабран је сензор Gravity: Analog Sound Level Meter (GravASLM) који је предвиђен да ради у пару са Arduino микоконтролером. Сензор користи микрофон са ниским нивоом шума у комбинацији са инструментним колом, што га чини изузетно прецизним. Сензор се купује као калибрисан од стране произвођача. Техничке спецификације сензора су у табели испод.

Табела 20 - Техничке спецификације сензора Sensirion Gravity: Analog Sound Level Meter²⁷

Мерни опсег:	30 dBA ~ 130 dBA
Грешка мерења:	$\pm 1,5$ dB
Пондерисана фреквенција:	А-пондерисано (A-Weighted)
Одзив фреквенције:	31,5 Hz ~ 8,5 kHz
Најмање време одзива:	125 ms
Улазни напон:	3,3 ~ 5,0 V
Излазни напон:	0,6 ~ 2,6 V
Величина јединице:	60 mm * 43 mm

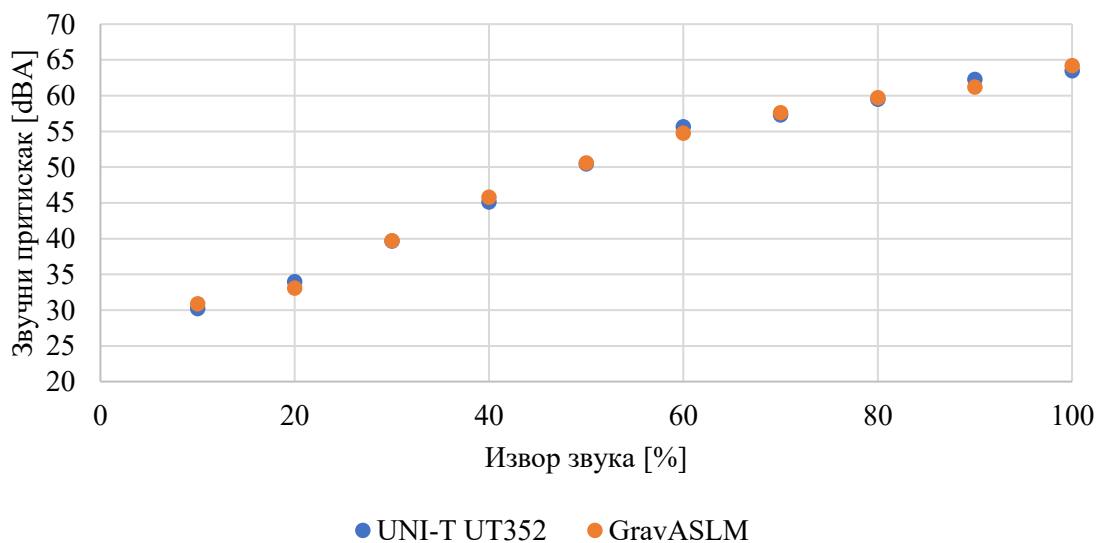
²⁷ <https://www.digikey.com/catalog/en/partgroup/gravity-analog-sound-level-meter/75066>



Слика 34 – Сензор звучног притиска Gravity: Analog Sound Level Meter

Сензор је конципиран тако да вредност звучног притиска у децибелима линеарно зависи од излазног напона. Ово доводи до једноставне конверзије напона у децибеле без потребе за сложеним алгоритмом. Ова линеарна релација пружа могућност читавања приближног А-пондерисаног нивоа звучног притиска.

Како би се проверила калибрација сензора и алгоритма произвођача, извршено је мерење константног звучног сигнала у десет тачака. При сваком сукцесивном мерењу, јачина звука се подизала за 10% од максималне вредности. Минимална вредност мерења, била је 10% од максималне вредности.

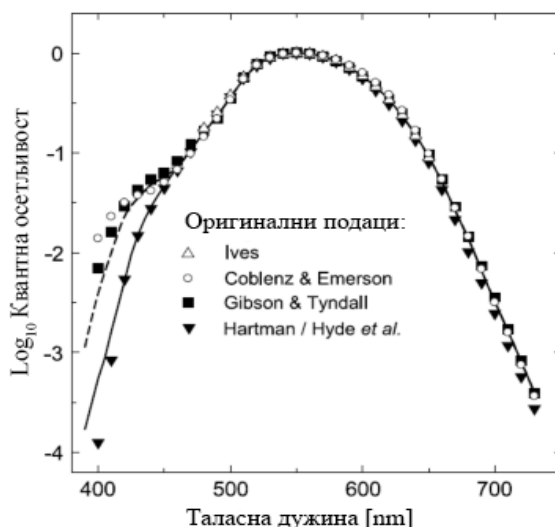


Слика 35 - Упоредни одзив нискобуџетног сензора Gravity: Analog Sound Level Meter и референтног професионалног мерача звучног притиска UNI-T UT352.

Сензор је показао веома добре перформансе у опсегу очекиваних вредности нивоа буке у унутрашњој средини. Средња апсолутна грешка мерења износи 0,6 dB. Пошто није постојала могућност мерења према актуелним европским стандардима, усвојена је апсолутна грешка мерења прописана од стране произвођача од $\pm 1,5$ dB.

4.4.10 Мерење јачине осветљења на хоризонталној равни

Осетљивост људског ока на узак спектар светлосног зрачења је битна карактеристика коју светлосни сензор мора да поседује. Људско око опажа светлост као снагу зрачења у уском радијационом спектру са таласним дужинама између 380 nm и 780 nm. Таласне дужине светлости испод видног спектра су ултравиолетне док су таласне дужине изнад у инфрацрвеном спектру (Sharpe et al., 2005).



Слика 36 – Упоредна мерења снаге зрачења у радијационом спектру које људско око опажа од стране неколико истраживача (Sharpe et al., 2005).

За мерење светлости користе се оптички детектори. Оптички детектори су обично подељени у две класе, фотонске и термичке. Термички детектори користе везу између зрачења и топлоте. Зрачење упија површина детектора сензора, узрокујући његово загревање. Добијени пораст температуре се затим може претворити у напон који се може мерити. Термички детектори се углавном разликују по начину мерења температуре. Температура се може мерити помоћу термоелемената (најчешће редно везнаих) или термистора (Болометар). Galou-Cell мери пораст притиска у затвореној шупљини испуњеној гасом, док пироелектрични детектори користе кристале чија електрична оријентација изразито зависи од температуре.

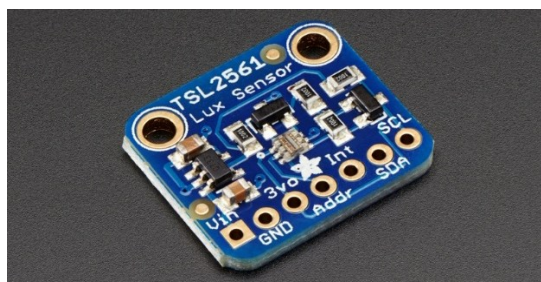
Фотонски детектори користе унутрашњи или спољни фотоелектрични ефекат. Детектори који користе спољни фотоелектрични ефекат су фотоћелије, фотомултипликатор и микроканалне плоче. Спољни фотоелектрични ефекат описује процесе у којима енергија фотона узрокује емисију електрона из метала или полупроводничког материјала ако га фотон погоди. Сви ови детектори имају танку металну плочу са заједничким ниским емисијама, често алкални метал. Метална плоча делује као фотокатода и извор је фотоелектрона. Штавише, сви детектори који користе спољни фотоелектрични ефекат имају фотокатоду која је смештена у високом вакууму како би могла да детектује ослобођене електроне. Детектори који користе унутрашњи фотоелектрични ефекат су фотопроводљиви детектори и

фотодиоде. Унутрашњи фотоелектрични ефекат описује процес апсорпције фотона у полупроводницима који активирају електроне за прелазак из валентног појаса у проводни појас. Активирани електрони доприносе струјном току. Фотопроводљиви детектори примењују овај ефекат и мере повећану проводљивост због активираних електрона. Јединица мере је лумен по квадратном метру или лукс [$\text{lm}/\text{m}^2 = \text{lx}$].

Сензор TSL2561 примарно је намењен за детекцију нивоа амбијенталног осветљења. Основна примена сензора је у електронској индустрији за контролу позадинског осветљења или контраста екрана на основу амбијенталног осветљења, опонашајући људско око. Други конвенционални силиконски детектори светлости, који су такође доступни на нискобуџетном тржишту имају превелик одзив на инфрацрвено зрачење које људско око не види. Уколико је садржај инфрацрвене светлости велик у амбијенталном осветљењу (волфрамске сијалице), силиконски сензори имају велику грешку мерења и нису погодни за апроксимацију амбијенталног осветљења.

Сензор TSL2561 превазилази проблем инфрацрвене светлости употребом две фотодиоде. Једна фотодиода, на каналу 0, је осетљива на широк спектар светлости, тј. видљиву и инфрацрвену светлост. Друга диода, на каналу 1, је примарно осетљива на инфрацрвену светлост. Вредност дигиталног сигнала са канала 1 користи се као компензација излазног дигиталног сигнала 0, како би се добила вредност приближна одзиву људског ока на јачину осветљења у луксима. TSL2561 представља светлосно-дигитални претварач 16-битном резолуцијом и распоном мерења од 0 lx – 40.000 lx.

Како би се повећала прецизност мерења при ниским нивоима осветљења могуће је извршити корекцију појачања са 1 на 16. У испитивањима сензора резолуција сензора је измерена је вредност од 0.03 lx у опсегу мерења до 800 lx приближно људском оку што га чини погодним за фотометријска мерења (Laux et al., 2014). У тестирањима ових истраживача у прототипској комори сензор је остваривао између 130 lx и 160 lx за сијалице са светлосним флуksom од 25 lm до 30 lm и вредности између 300 lx и 500 lx за светлосни флуks од 200 lm до 300 lm. Стога је извршена евалуација сензора.



Слика 37 - TSL2561 на штампаној плочи. Сензор се налази у самом центру плоче.²⁸

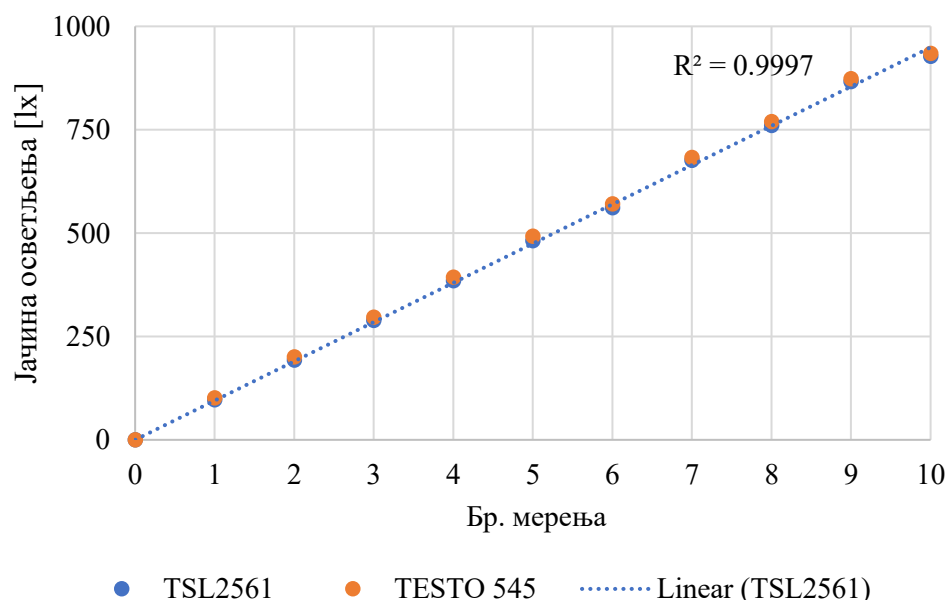
Методологију за правилну калибрацију сензора за мерење интензитета светлости прописују стандарди CIE69 (1987) или актуелни европски стандард EN 13032 (2012). Према стандардима, потребан је и фотометријски извор светлости са познатом јачином осветљења. Уколико је познато растојање између извора светлости и сензора за мерење интензитета светлости могуће је израчунати јачину светлости на

²⁸ <https://www.adafruit.com/product/439>

сензору и упоредити је са резултатима мерења. Променом интензитета светлости извора или променом растојања извора и пријемника, могуће је вршити валидацију за различите интензитета светлости. У пракси је чешћи случај постепене промене интензитета извора светлости.

Међутим, услови у доступним лабораторијама нису задовољавали потребне услове према поменутиим стандардима и специјална фотометријска опрема није била доступна. Стога је једини начин био да се сензор евалуира у односу на калибрисани фотометар. Тесто 545 је употребљен као референтни фотометар. LED панели унутар климатске коморе послужили су као извор светлости. Треба нагласити да стандардне сијалице употребљене за потребе експеримента одступају од стандардом прописаних вредности за изворе светлости. Потенциометром је могућа контрола нивоа осветљења и проверена су читавања у 10 тачака. За евалуацију није коришћена комора коју је могуће конструисати, јер може доћи до већих грешки мерења која су изазвана порастом температуре услед загревања коморе од извора зрачења. Стандарди прописују температуру од $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, на којој је потребно изводити евалуацију фотометра. Такође, у мањим коморама, излагање сензора директном извору светлости може довести до грешке и избегава се. Проблем употребе референтног фотометра и сензора истовремено ради евалуације је у томе што није могуће истовремено поставити сензоре на исту позицију, чиме се уводи грешка мерења.

За време мерења је такође одржавана константна температура ($24,2\text{ °C}$) како би се елиминисала грешка узрокована променом температуре фотодиоде. Очекиван је линеарни одзив сензора при константној температури.



Слика 38 – Упоредно мерење јачине осветљења на хоризонталној површини референтним логером Тесто 545 и сензором TSL2561 при константној температури од $24,2\text{ °C}$

Са слике 38 може се уочити да TSL2561 показује линеаран одзив на промену интензитета извора осветљења. Интензитет извора није био одређен у луменима већ је линеарно окретан потенциометар. Такође, може се уочити да оба фотометра показују линеарну зависност и измерена средња грешка мерења износи $-7,3$ lx.

4.4.11 Мерење брзине струјања ваздуха

Иако постоји мноштво физичких принципа мерења брзине струјања флуида, са становишта димензија мерне станице, било је потребно одабрати компактан тип сензор са добрим динамичким карактеристикама. Мерење врзине струјања флуида врућом жицом је техника за мерење брзине флуида која задовољава ове потребе. Анемометар за врућом жицом састоји се од две сонде са жицом затегнутом између њих. Жица је уобичајено направљена од волфрама, платине или платине-иридијума. Мала термисторска куглица често се користи у верзијама кола са константном температуром (Perry, 1982). На слици 39 доле приказано термисторски анемометар са врућом жицом



Слика 39 - Конструкција термисторског анемометра са врућом жицом са константном температуром²⁹

Анемометар са топлом жицом функционише по следећем принципу: електрична струја се шаље кроз жицу, због чега се жица загрева. Ваздух струји преко уређаја, чиме хлади жицу, одношењем топлоте низструјно. Процес загревања и хлађења жице може се описати енергетским билансом, чијим решавањем се може одредити брзина ваздуха који струји преко жице (Qpedia, 2007).

Предности анемометара са топлом жицом у односу на друге сензоре за мерење брзине флуида је та што се изводе као веома компактни сензори и тиме се смањује утицај самог анемометра на флуидну струју. Друга предност ових анемометара је у чињеници да жица има веома малу инерцију и то их чини погодним за брзе динамичке промене брзине струјања ваздуха.

Анемометри са топлом жицом се изводе у две изведбе:

- са константном струјом,
- са константном температуром.

²⁹ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Hot_wire_anemometer.jpg

У режиму константне струје постоји опасност од сагоревања жице ако је проток ваздуха који хлади жицу није довољно висок. У случају да је проток превисок, жица се неће довољно загрејати да пружи квалитетне податке (Perry, 1982).

Ово су основни разлози зашто већина анемометара са врућом жицом употребљава изведбу са константном температуром, а даља расправа ће се ограничити на ову конструкцију.

Како би се добили најтачнији могући подаци, анемометри са врућом жицом обично се користе као део конфигурације Витстоновог моста. Коло се састоји од два позната фиксна отпорника и трећег променљивог отпорника. Сонда са врућом жицом је четврти отпорник који затвара мост. Мост је уравнотежен када је $R_1 / R_A = R_2 / R_3$, што резултира или нултом грешком напона или грешком напона одређене вредности у једначини. Коло са константном температуром користити чињеницу да је отпор врућом жице R_A променљив у функцији од температуре. На почетној радној тачки се R_3 подешава тако да мост буде уравнотежен. Како се брзина ваздуха изнад жице повећава или смањује, температура жице се мења, а тиме и отпор. Овај ефекат доводи до неуравнотежености моста, што резултира разликом напона између тачака 1 и 2. Појачало даље детектује ту разлику и прилагођава повратну струју у складу с тим да одржи температуру и отпор жице константним и на тај начин поново уравнотежи мост. Ове промене у струји могу се мерити и користити за израчунавање брзине протока преко жице.

Општа једначина равнотеже топлоте за жицу је (Perry, 1982). при стационарним условима:

$$Q_g = Q_T + Q_A \quad (4.14)$$

При стационарним условима нема акумулације топлоте и Q_A је једнако нули. Генерисана топлота се изражава на следећи начин:

$$Q_g = I^2 R_A \quad (4.15)$$

Где је:

I – струја у колу

R_A – отпор жице на температури t_A

Како би се одредило Q_T потребно је направити однос између отпора жице и опште једначине преноса топлоте. Отпор жице у функцији од температуре се може записати као:

$$R_w = R_o [1 + C(q_w - q_o) + C_1(q_w - q_o)^2 + \dots] \quad (4.16)$$

Корисна емпиријска једначина преноса топлоте која описује пренос топлоте за флуид који пролази преко бесконачне шипке. Уколико се одбаце чланови вишег реда и примене гранични услови да је $R_o = R_g$ када је $t_o = t_g$

$$\Delta q = \frac{R_A - R_o}{R_o C} \quad (4.17)$$

Где су:

R_g – отпор жице када су температуре жице и флуида једнаке

R_o – отпор жице на датој референтној температури

t_o – иницијална референтна температура

C – температурски коефицијент отпора

Ако се занемаре кондукција и зрачење Q_T се може записати на следећи начин:

$$Q_T = \alpha A_z \Delta q \quad (4.18)$$

Где је:

A_z – Површина жице изложена флуидној струји

α – коефицијент прелаза топлоте

Уколико се искористи једначина за Нуселтов број за бесконачну шипку и искористе стандардне једначине за Рејнолдсов и Прантлов број и сређивањем претходних једначина се добија једначина позната као Кингов закон.

$$I^2 = \left(\frac{R-1}{R}\right) \left[\frac{0.42kA_s}{R_oCd} \left(\frac{mC_p}{k}\right)^{0.2} + \frac{0.57kA_s}{R_oCd} \left(\frac{mC_p}{k}\right)^{0.33} \left(\frac{rd}{m}\right)^{0.5} \sqrt{v_a} \right] \quad (4.19)$$

Где су:

d – карактеристична дужина/пречник жице

k – термичка проводљивост гаса

c_p – специфична топлота на константном притиску

v_a – брзина струјања ваздуха

Анемометар се калибрише цртањем дијаграм са координатним системом $I^2 - \sqrt{v_a}$. Линеарна функција „best fit“ даје зависност ове две вредности.

Важно је напоменути да поменута анализа поједностављује пренос топлоте у анемометру са топлом жицом. Комплетна анализа треба да узме у обзир и аксијалну проводљивост жице, губитак топлоте на тачкама причвршћивања жице на сонди, аеро-еластично понашање жице и динамички одзив система како за загрејану жицу тако и за мерна кола.

Значајан проблем приликом одабира сензора који задовољавају нискобуџетни критеријум мерне станице поред црног глобус термометра представљао је и одабир анемометра са топлом жицом. Комерцијални сензори (без логера), доступни на тржишту, се крећу у ценовном распону од 250 до 800 EUR уколико задовољавају стандард EN 16798.

Rev. P сензор представља тренутно једини сензор на пољу нискобуџетних сензора који може да испуни захтеве мерења брзине струјања ваздуха за потребе одређивања средње температуре зрачења у просторији. Његова малопродајна цена је тренутно око 35 EUR. Предност овог сензора је потенциометар који олакшали калибрацију анемометра. Калибрисање сензора се врши иницијално у лабораторијским условима од стране произвођача, међутим кориснику су дате могућности да врши додатне корекције и калибрације. Сензор такође укључује хардверску компензацију за температуру околине. Слово P у називу сензора сугерише да сензор користи термисторе са позитивним температурним коефицијентом (PTC). Мана употребе термистора јесте употреба вишег напона за загревање сензорског елемента како би постигао радну температуру. Стога је сензор повезан на напон 12 V и захтева додатно напајање из мреже које микроконтролер не може да пружи. Предност високог напона је у могућности мерења изузетно високих брзина струјања ваздуха. Модул поседује и наменски сензор температуре околине који је независан од напона напајања. Аналогни излаз сензора температуре такође је скалиран на 3,3 V. Излазни напон (одзив на брзину струјања ветра) сензора такође је скалиран на максималних 3,3 V излаза са високом прецизношћу (термистори 0,1%). Ово је прилагођено све већој употреби плоча од 3,3 V и микроконтролера.

Спецификације сензора:

- Напон напајања: 10 - 12 V
- Струја: ~ 40 mA – незнатно расте са већим брзинама ваздуха
- Измерене брзине ветра: 0-150 MPH
- Компензација температуре околине

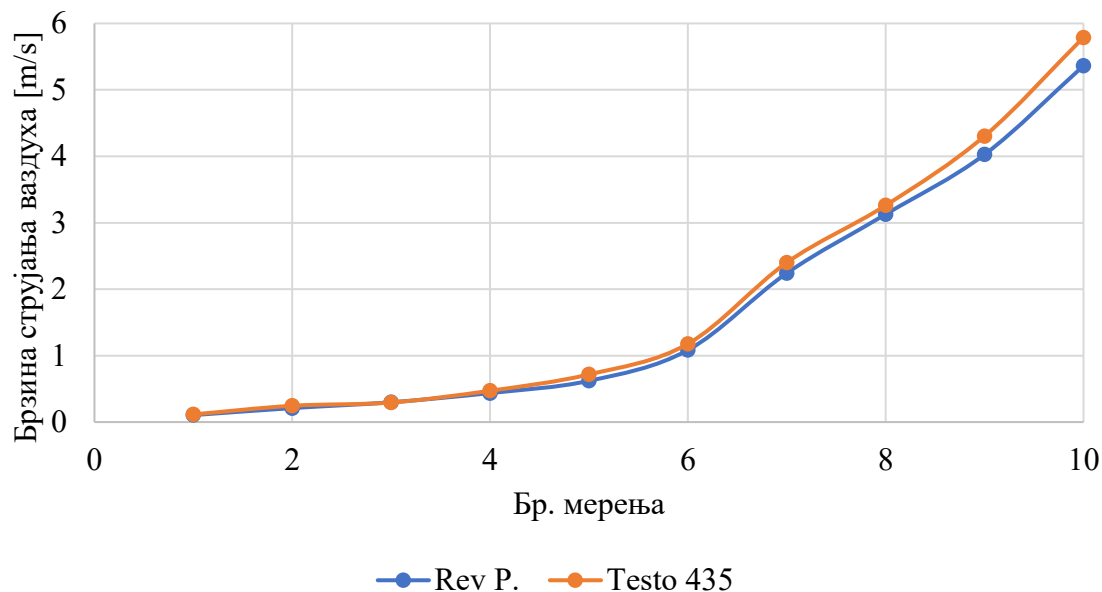


Слика 40 – Употребљени сензор Modern Device Rev. P³⁰

Произвођач такође даје поправку за различите амбијенталне температуре које се срећу у радним условима до 34 °C Која је добијена регресивном анализом и уврштена је у коначни код израчунавања брзине струјања ваздуха. Једина студија која је евалуирала рад серије овог сензора (итерација P2) без потенциометра у условима ваздушног тунела утврдила је да је грешка мања од $\pm 0,5$ m/s у односу на референтни анемометар (Prohasky and Watkins, 2014). Мана коју је студија потврдила јесте угао мерења сензора који га чини неадекватним за режиме струјања са

³⁰ <https://moderndevice.com/product/wind-sensor-rev-p/>

изразитим турбулентним струјањем. Како се не очекују брзине струјања у тестираним режимима и из углова већих од 15° са сваке стране од хоризонта сензор је упоређен са Testo анемометром унутар глатке цеви дужине 3 m и пречника 150 mm израђене од ПВЦ-а. На један крај канала постављен је турбински вентилатор са потенциометром док су на другом крају у канал постављени анемометри. Резултати мерења су приказани на слици 41. Свака тачка на дијаграму представља средњу вредност мерења 25 поновљених мерења са размаком од 5 секунди за 10 вредности позиције потенциометра које покривају и већи опсег од очекиваног за услове унутрашњег простора.



Слика 41 – Упоредно мерење врзине струјања анемометром Средње вредности

Веома мала одступања су примећена при малим брзинама струјања ваздуха око 2 m/s при чему је апсолутна грешка мерења -0,16 m/s. Као што је и очекивано на основу прегледа научног рада, при већим брзинама струјања долази до већег одступања и при максималном раду вентилатора и брзини нешто нижој од 6 m/s апсолутна грешка расте на -0,43 m/s. Како су брзине мерене у тренским испитивањима биле мале, није било потребе за увођењем поправке.

5 Мерење параметара квалитета унутрашње средине у стварним условима и обрада резултата

5.1 Теренска мерења, одабир објеката и анкета корисника

Како би се могао израчунати индекс I_{KUS} (једначина 3.1), примењена је комбинација теренских мерења и анкетирања корисника објеката. Три објекта су одабрана за студије случаја: два пословна објекта са канцеларијама отвореног типа и једна образовна установа - амфитеатар Факултета техничких наука.

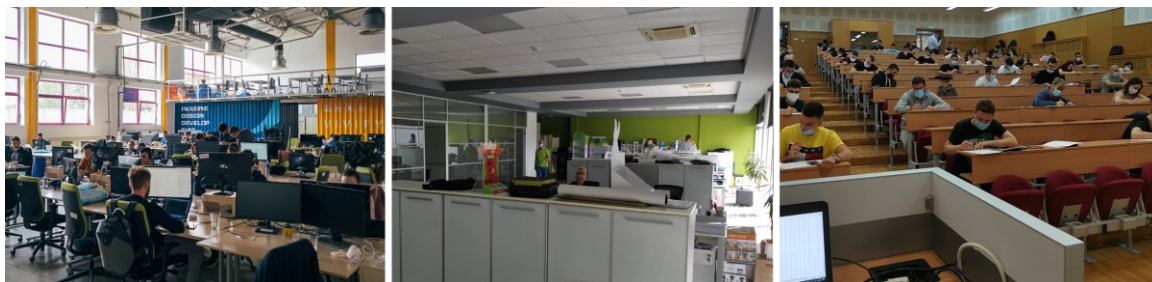
Пословни објекти су одабрани на основу њихових система механичке вентилације и њихове локације - Нови Сад, Србија. Објекат прве теренске студије поседује механички систем климатизације са кровном комором за припрему ваздуха (Lennox FDM 100 H). Максимални капацитет система износи 18.500 m³/h са могућношћу директне рецикулације ваздуха на комори. Ваздух се у простор дистрибуира кроз 8 жалузина пречника 600 mm. Жалузине поседују електромоторни погон и постављају се у 2 позиције – зимски или летњи режим. Регулација влажности ваздуха се врши адијабатним овлаживачем ваздуха који је независан од централне коморе за припрему ваздуха и постављен је у дистрибутивном каналу. Рад клима коморе се регулише помоћу једног термостатског сензора који мери температуру и релативну влажност и позиционираног западном зиду на висини од 1,5 m. Сигнал температуре се шаље на контролер централне клима коморе док се сигнал релативне влажности шаље на овлаживач ваздуха. Иако корисници простора имају приступ контролеру клима коморе, контролер је закључан за сва подешавања осим паљења и гашења система. У летњем режиму хлађења је подешена температура на 25 °C док је за зимски режим дефинисана температура од 20 °C. Корисници простора немају могућност коришћења природне вентилације нити регулације засенчења. Такође, прва локација је изабрана како би се утврдило да ли корисници објекта придају већу важност акустичкој компоненти КУС јер су нивои буке смањени непосредно пре тестова помоћу каналских пригушивача буке са 78 на 53 dB.

Друга студија случаја изведена је у канцеларијском простору отвореног типа на првој етажи пословног објекта. Објекат који се састоји из пословног и фабричког дела, поседује комплексне термо-техничке системе који се састоје од климатизационих и ВРВ система. Фирма која је омогућила приступ мерењу је корисник овог простора и не поседује детаљне податке о карактеристикама система. У канцеларијском простору од интереса, грејање и хлађење врши се помоћу четвороцевног система и 5 плафонских касетних вентило-конвектора. Корисници простора немају могућност регулације температуре у простору и она се врши централним аутоматским системом. Корисници простора имају веома малу могућност природне вентилације (путем отварања 3 стаклена портала - за време студије били су затворени) и имају могућност контроле сенчења прозора помоћу ролетни на моторни погон. У простор се убацује свеж ваздух који се узима са вентилационе гране просторије за дораду штампе, међутим капацитет ваздуха није познат. Друга студија случаја је од интереса такође због канцеларијског простора

који је у директној вези са штампаријом, при чему се очекује повишена концентрација TVOC.

За обе пословне зграде, пројектовани ниво буке постављен је на 35 dBA као А-пондерисани континуирани еквивалентни ниво звучног притиска у складу са CEN стандардом (2019). Неки правилници и водичи постављају виши ниво пројектоване буке за отворене канцеларије на 45 dBA као што је ASHRAE удружење (2019). Нижа вредност је коришћена као строжи услов.

Факултетски амфитеатар је изабран као тачка поређења, тј. како би се тестирано да ли тип унутрашњег простора игра улогу у прихватању четири компоненте КУС од стране корисника и да ли се може применити једнообразна шема тежинских коефицијената на различите типове објеката. Систем климатизације амфитеатра је изведен као подпротисни. Ваздух се извлачи помоћу кровног вентилатора Systemair DVS 400e4 максималног капацитета око 3.992 m³/h, док се свеж ваздух увлачи директно из спољашње средине на основу разлике притисака. Припрема фреона за хлађење врши се помоћу спољне инвертерске климатизационе јединице Midea MDV-D335W/CSN1 капацитета хлађења 33.5 kW. У режиму грајања, поменута Midea јединица има капацитет грејања 35 kW. За догревање бочних зона простора користи се радијаторско грејање које је прикључено на систем даљинског грејања. Температурска регулација врше се помоћу зидне управљачке јединице.



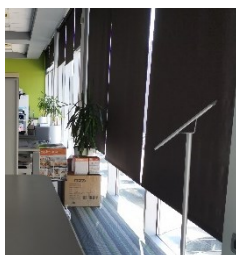
Слика 42 - Теренска студија 1 (TC1) - Пословна зграда „Vivifi Ideas“, Нови Сад Србија; Теренска студија 2 (TC2) - Пословна зграда „NSPlakat“, Нови Сад, Србија; Теренска студија 3 (TC3) - Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија;

Сва три објекта теренских студија су визуелно представљена на слици 42 док су карактеристични елементи ГВК система приказани на слици 43. Смернице Светске Здравствене Организације (2000) за буку у заједници пружају 35 dBA као прихватљиви ниво буке у школским учионицама. Ова вредност је коришћена као основа за 100% задовољство при израчунавању индекса акустике у ФС3. Директива СЗО (2000) и нивоима буке у заједничким просторијама дају 35 dBA као прихватљив ниво буке у учионицама. Ова вредност је употребљена као базна вредност од 100% задовољства за прорачун акустичког индекса у ТС3.

Теренска студија 1



Теренска студија 2



Теренска студија 3



Слика 43 - TC1 (слева на десно) – Клима комора, каналски развод ваздуха, контролер система, сензор температуре и релативне влажности;
TC2 (слева на десно) – Касетни клима конвектори, систем сенчења, природна вентилација;

TC3(слева на десно) – Спољна фреонска јединица и одсисни вентилатор, касетне јединице и вентилациони канали, зидни контролер;

Субјективна перцепција КУС корисника објеката, процењена је коришћењем упитника у папирном формату чија се форма налази у прилогу 5. Анкета је подељена корисницима након периода аклиматизације и паралелно са периодом када су вршена физичка КУС мерења са мерном станицом и платформом ENVIRA.

Након кратких упутстава која објашњавају концепт анкете, учесници су самостално попунили питања. Општа питања су обухватала информације о полу, старосној групи и хроничним обољењима корисника. Будући да учесници анкете нису попуњавали упитник истовремено, затражено је да напишу тачно време по завршетку анкете. Сходно томе, могло би се извршити поређење између израчунатог индекса КУС у реалном времену и укупног задовољства људи у затвореном простору. Постављена су додатна питања у вези са перцепцијом компоненти КУС и о КУС у целини. За одређивање нивоа задовољства коришћена је скала од 1 до 5, при чему 1 представља потпуно незадовољство, а 5 потпуно задовољство. Једини изузетак био је топлотни комфор где је коришћена Ликертова скала од 7 тачака у

распону од -3 до +3, са нулом која означава неутрално стање. Конкретна питања су била:

1. По вашем мишљењу, какво је ваше задовољство тренутним квалитетом унутрашњег окружења?
2. Каква је ваш тренутни термички субјективни осећај?
3. Како доживљавате тренутни квалитет ваздуха у соби?
4. Како доживљавате тренутну позадинску буку?
5. Како доживљавате тренутни ниво осветљености изнад вашег радног стола?

Мерење прве теренске студије (ТС1) обављено је 6. августа 2020. године. У ТС1 су се очекивали одлични нивои КУС пошто је централна ГВК јединица недавно адаптирана, а систем канала је делимично реконструисан. ENVIRA је постављена у средиште простора на висини радног стола (75 cm) и испод ваздушног дифузора пречника 600 mm (на висини 5,4 m) како би се забележило потенцијално кретање ваздуха. Мерења су трајала непрекидно три сата између 11:00h и 14:00h, током којих су становници испуњавали анкету о свом прихватању окружења. У време тестирања било је присутно 34 запослена (22 мушкарца и 12 жена) и сви су добровољно пристали да учествују у анкети. 7 запослених било је између 18 и 25 година, док остали нису били старији од 35 година. Сви присутни запослени били су доброг здравственог стања и ниједан није имао хроничне болести. Стопа метаболизма одређена је из интензитета канцеларијског рада на 64 W/m^2 (1,1 Met) и изолација одеће из визуелне процене на 0,55 Clo.

Друга теренска студија (ТС2) изведена је 26. августа 2020. године континуираним мерењима КУС у трајању од 10:30 h до 15:00 h. ENVIRA је постављена за слободни радни сто, исте оријентације као и други столови (4 стола, 10 редова). Анкету је попунило 36 запослених (16 мушкараца и 20 жена). Једна анкета је морала бити изостављена јер је запослени имао хроничну астму. Радници су примарно били у старосној групи од 36 до 45 година (97%). Изолација одеће утврђена је као 0,55 Clo, док је интензитет канцеларијског рада износио 70 W/m^2 (1,2 Met).

Треће мерење (ТС3) одржано је у амфитеатру Факултета техничких наука, Нови Сад, 9. септембра 2020. између 17:00 h и 20:00 h. ENVIRA је била смештена у средиште амфитеатра, као и у једном углу простора ради поређења мерења. Амфитеатар нема прозоре и користи механичку вентилацију и вештачко осветљење. Током континуираног мерења анкету је попунило 56 студената и наставног особља. Водећа старосна група била је између 18 и 25 година (96%) и претежно мушког пола (80%). Све анкете сматрале су се валидним, јер ниједан корисник није пријавио хроничне болести. За активности писања је претпостављена метаболичка активност од 64 W/m^2 (1,1 Met), а просечна изолација одеће процењена је на 0,5 Clo.

5.2 Параметри термичког комфора

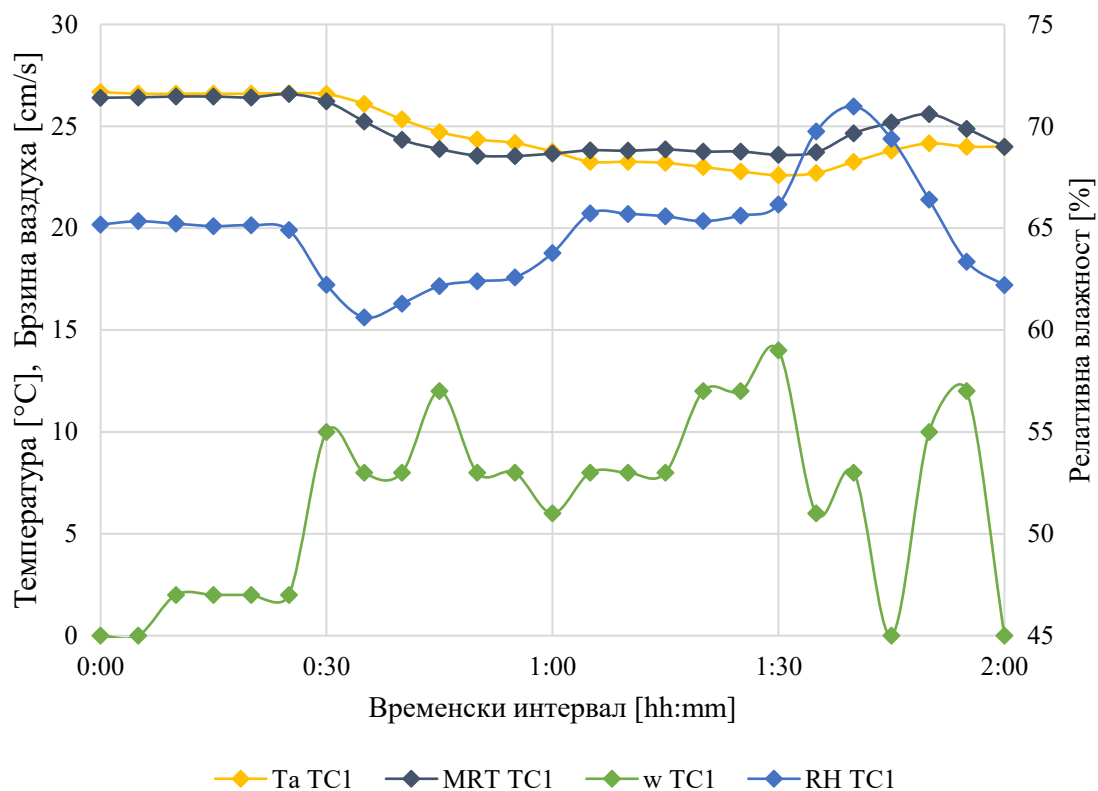
Континуирани параметри термичког комфора, осредњени на пет минута, приказани су на сликама 44 - 46. Како би се могле упоредити три теренске студије, дијаграми су приказани као двочасовни временски интервали у којима су забележене највеће промене параметара КУС и у којима је највећи број испитаника попунио анкету.

У ТС1 очекивали су се одлични параметри пошто је централна ГВК јединица недавно адаптирана новој намени, а систем вентилационих канала је делимично реконструисан. ENVIRA је постављена у средиште простора на нивоу радног стола (висина 75 cm) и испод 600 mm ваздушног дифузора (висина 5,4 m) како би забележила потенцијално кретање ваздуха.

Док је био у режиму климатизације од временског интервала око 0:30 h, систем је снизио температуру просторије са 26 °C на 23 °C. Након преласка система у систем вентилације у 1:30 h температура у простору се постепено подиже на 25 °C. Приметно је да је релативна влажност флукуирала између 60 и 71% RH и прати рад климатизационог система слично температурској промени. Флукуација релативне влажности била је први знак да постоји проблем са сервисираним ГВК системом јер је термостат постављен за летње услове од 26 °C и 55% RH.

Касније је утврђено да је узрок неправилног рада система централни зидни термостат, који није калибрисан у претходних пет година, а од тада су му перформансе деградирале. Даље, утврђено је да је накнадна уградња контролера за релативну влажност није била правилно изведена. Адијабатски овлаживач ваздуха није примао сигнал и остајао је угашен током рада система.

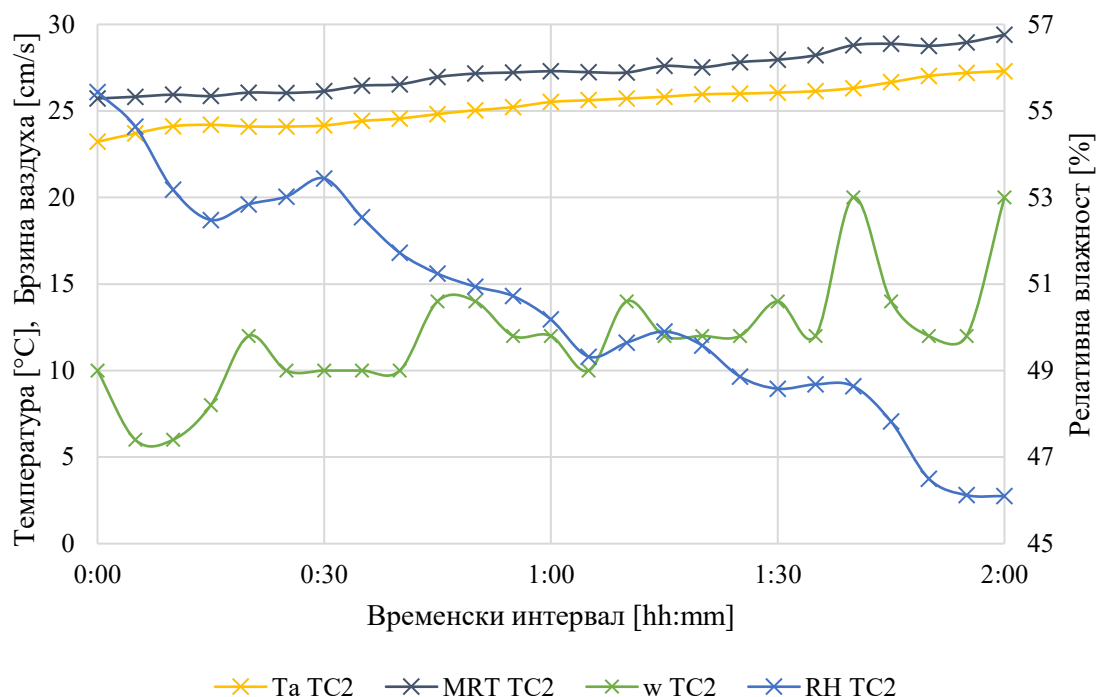
Такође, корисници су се жалили на ниску температуру, јер су били одевени за лагане летње пословне активности. Брзина ваздуха није прелазила 0,3 m/s, а средња температура зрачења је имала минимално одступање од температуре просторије.



Слика 44 - Параметри термичког комфора за TC1 осредњени на пет минута.

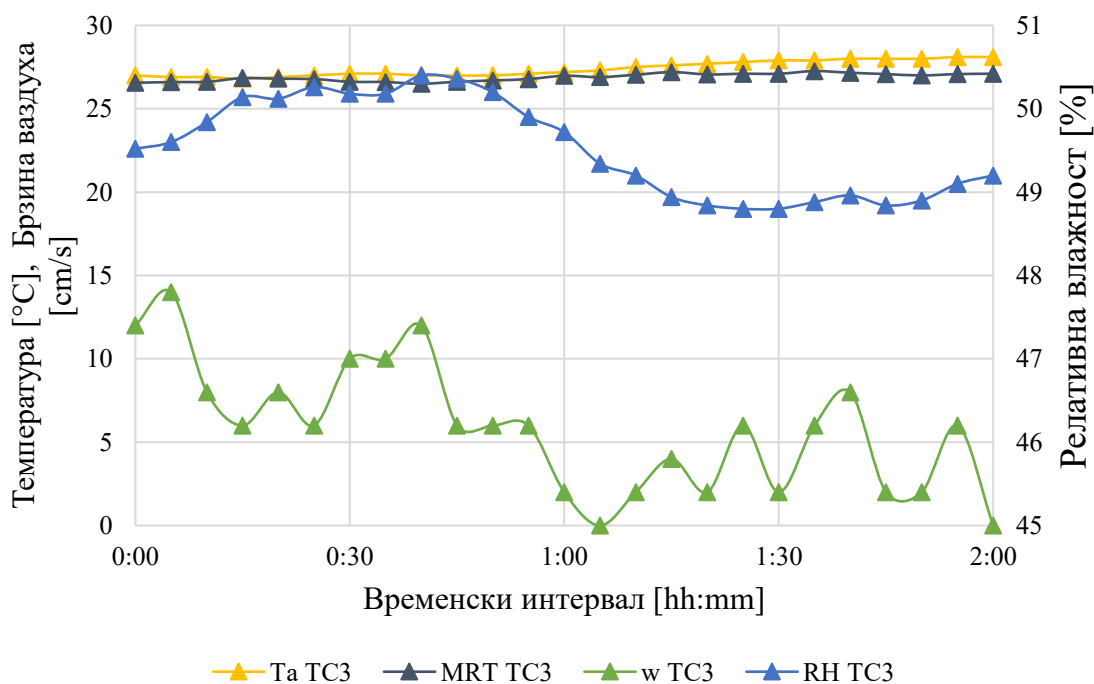
TC2 је показала да се параметри термичког комфора нису могу одржавати константним током периода мерења и да ГВК систем није могао надокнадити добитак топлоте кроз столарију (стаклени зид). Мерна опрема је постављена на незаузети радни сто, исте оријентације као и други (4 стола, 10 редова).

Отприлике од 0:30 h на услове у просторији почиње утицај директног сунчевог зрачења, а температура за време експеримента расте до 27,5 °C, док средња температура зрачења достиже 29,5 °C, узроковано зрачењем са стаклене фасаде. Такође, како температура ваздуха расте, примећује се пад RH са задате вредности термостата од 55%. Брзине струјања ваздуха веће од дозвољених нису забележене.



Слика 45 - Параметри термичког комфора за TC2 осредњени на пет минута.

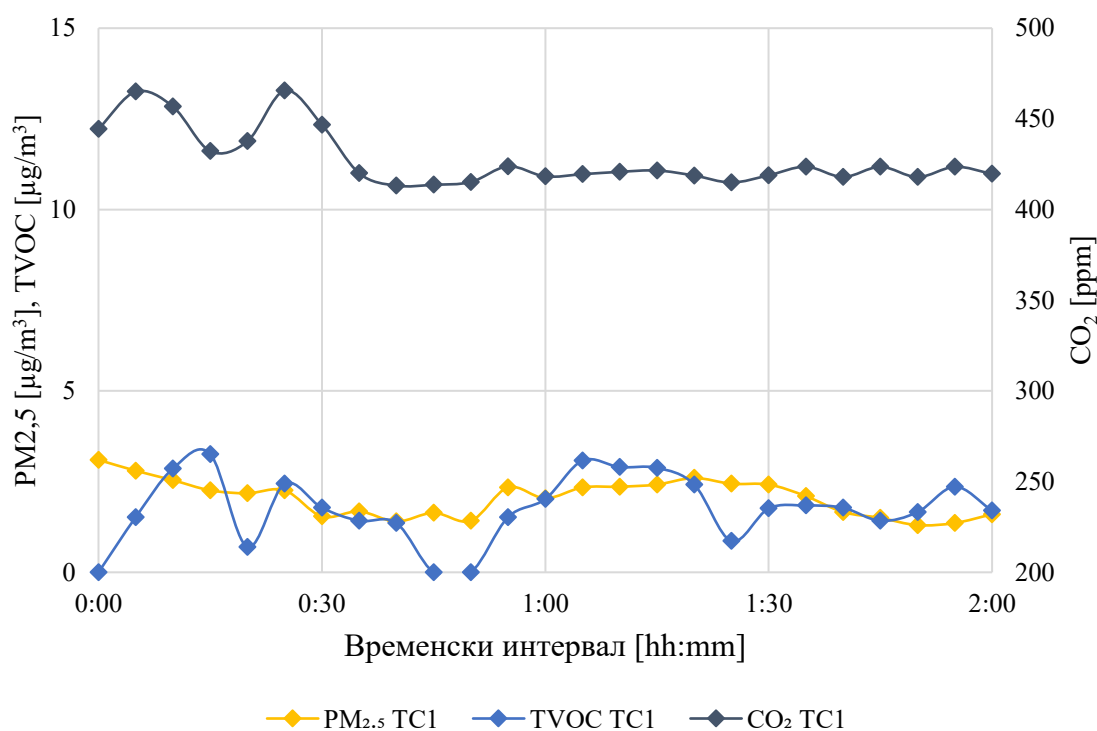
TC3 је имао најстабилније термичке услове. Мерени у центру амфитеатра, као и у једном углу амфитеатра ради поређења, са занемаривим одступањима. Међутим, температура сувог термометра била је висока око 28 °C, што је за 2 °C више од задате вредности термостата. Средња температура зрачења је показала одступање од собне температуре пред завршетак мерења око 20:00 h. Релативна влажност је била стабилна и одржавана у опсегу 50% RH.



Слика 46 - Параметри термичког комфора за TC3 осредњени на пет минута.

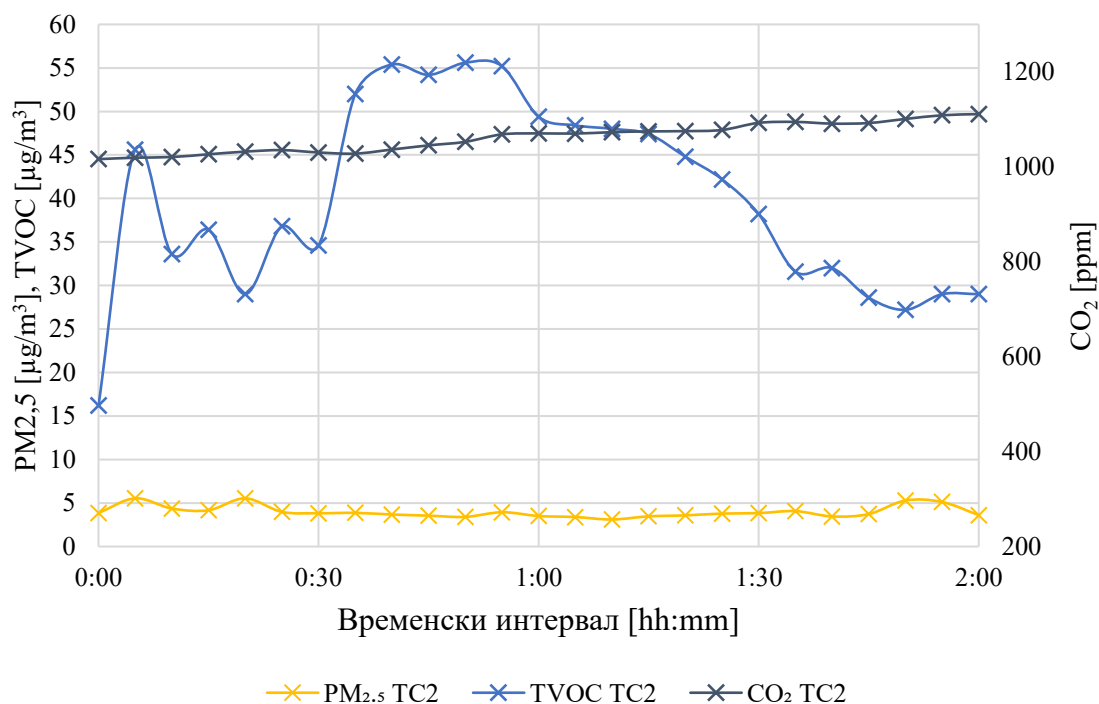
5.3 Параметри КУВ

Континуирана мерења показују одличне параметре КУВ у ТС1. Ово је било и очекивано јер ГВК систем има запремински проток који далеко премашује потребе корисника на 18.500 m³/h (више од 30 l/s по особи) јер је усвојен из претходне индустријске употребе. Концентрација CO₂ може се сматрати једнаком оној изван објеката. Исто важи и за PM_{2,5} и TVOC, јер су током мерења били веома блиско нули. Континуално праћени параметри су приказани на слици 47.



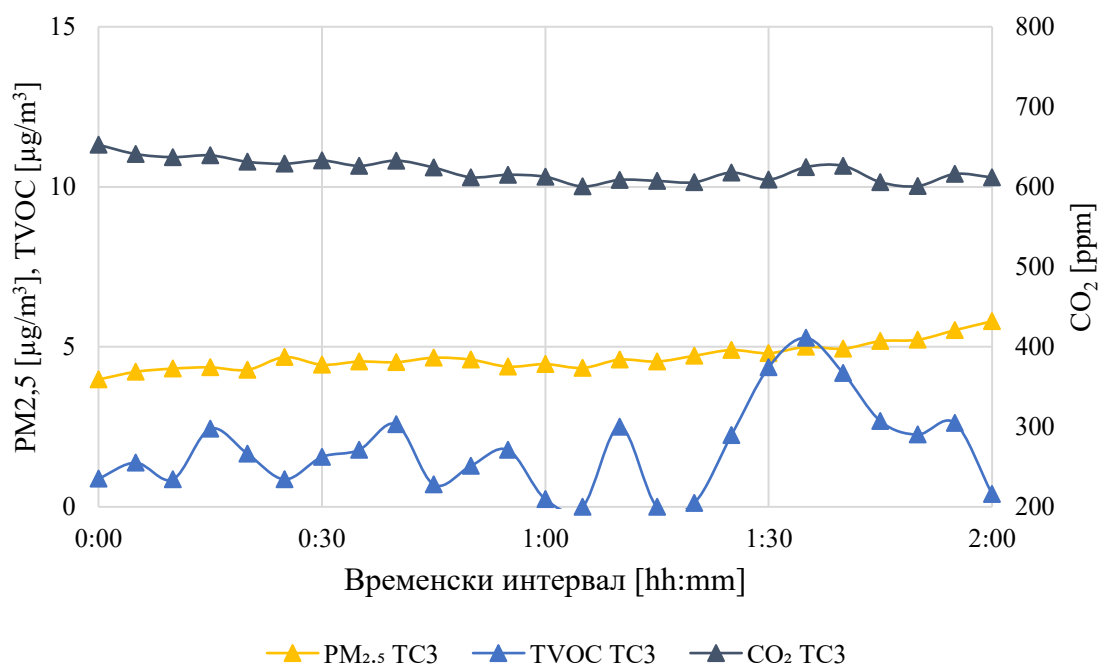
Слика 47 - Параметри КУВ за ТС1 осредњени на пет минута.

Избор ТС2 показао се тачним у погледу КУВ очекивања. Канцеларијски простор директно је повезан са штампаријом, вратима. Услед учестале потребе запослених за координацијом свакодневних задатка између канцеларијског простора и штампарије, врата остају отворена у дужем временском периоду. Скок TVOC може се приметити од самог почетка интервала у 00:00h и достиже пик од 55 µg/m³, међутим недовољно значајан да би имао већи утицај на КУВ компоненту. Концентрације PM_{2,5} биле су ниске, док су концентрације CO₂ континуирано расле до краја студије на 1.125 ppm. Сви подаци указују на неадекватну стопу вентилације за ову отворену канцеларију са могућим последицама по здравље радника (слика 48).



Слика 48 - Параметри КУВ за TC2 осредњени на пет минута.

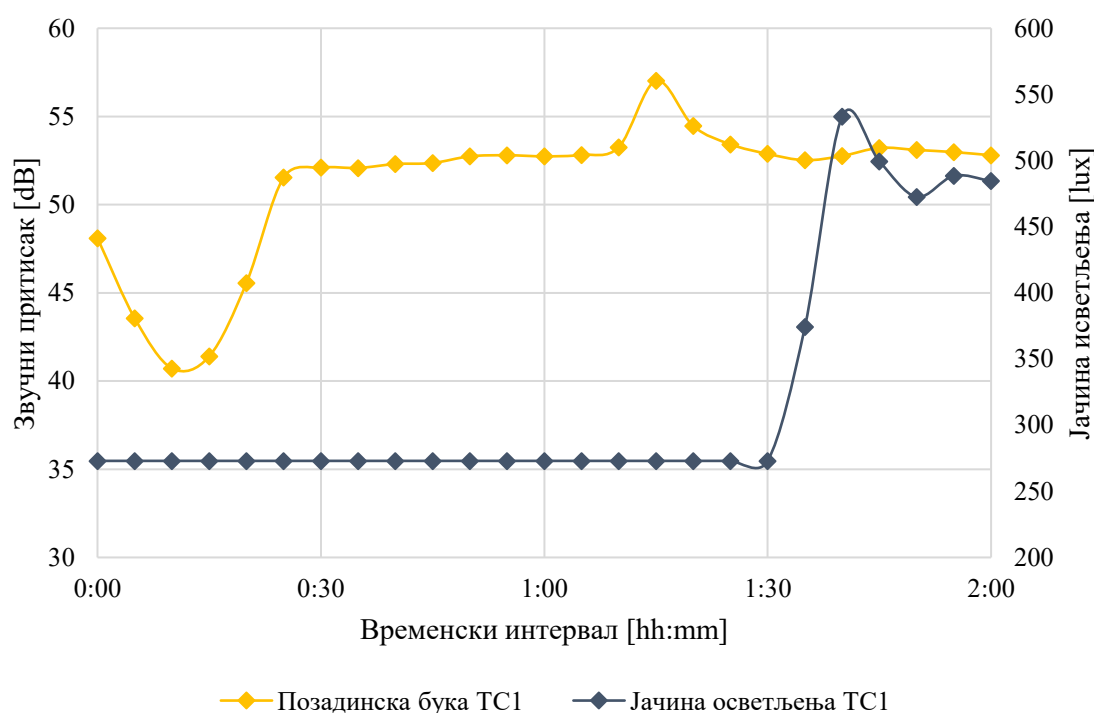
Одлични КУВ услови се могу уочити у TC3 (слика 49). Концентрације PM_{2.5} и TVOC су ниске и стабилне. Смањење концентрације CO₂ настало је услед смањења присуства учесника, који су постепено напуштали амфитеатар након завршених задатака и обављене анкете КУС.



Слика 49 - Параметри КУВ за TC3 осредњени на пет минута.

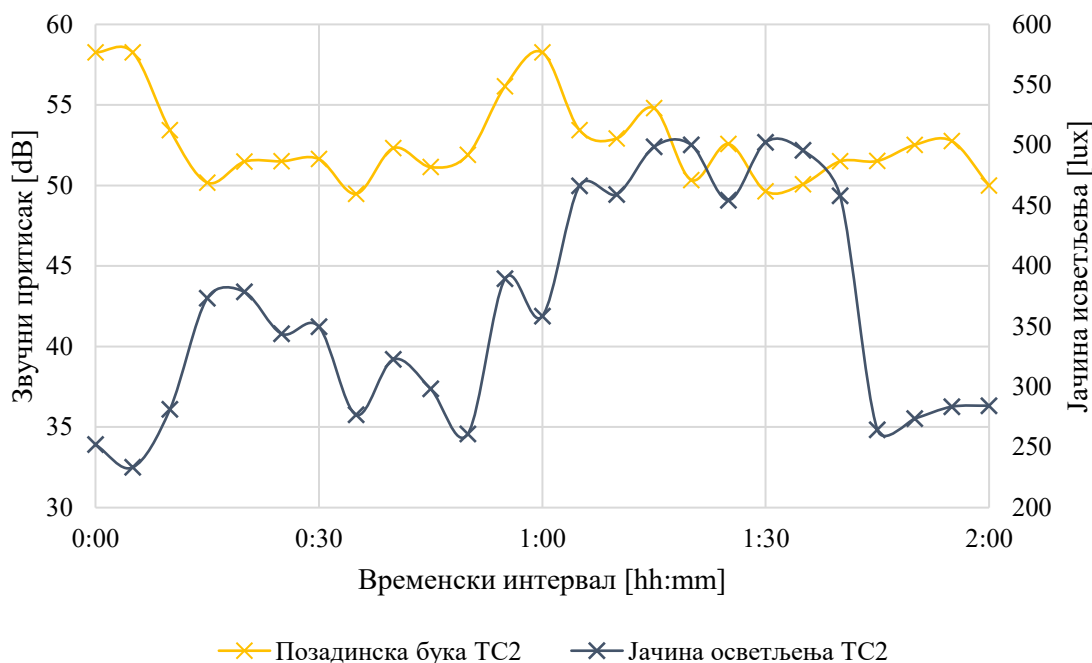
5.4 Параметри акустичког и визуелног комфора

Водећи узрочник позадинске буке у ТС1 представља централни систем ГВК, који је као што је претходно поменуто, прерађен из индустријске употребе (штампарија). Пре накнадне уградње пригушивача буке, позадинска бука је измерена 78 dB за време рада система. Након уградње, бука је смањена на 53 dB, што је потврђено мерењима (јединица ГВК се укључује у 25. минути интервала). Мали пик на слици 50 приписује се индустријском расхладном компресору који се у том тренутку на кратко укључио. Будући да се корисници објекта претежно баве рачунарским програмирањем, осветљењу не придају велику пажњу. Објекат има довољно вештачке расвете, која се ретко користи. Дневно осветљење даје ~ 250 lx на нивоу стола, док са укљученим групама осветљења осветљење, на нивоу стола достиже ~ 500 lx, што је приказано као скок на дијаграму.



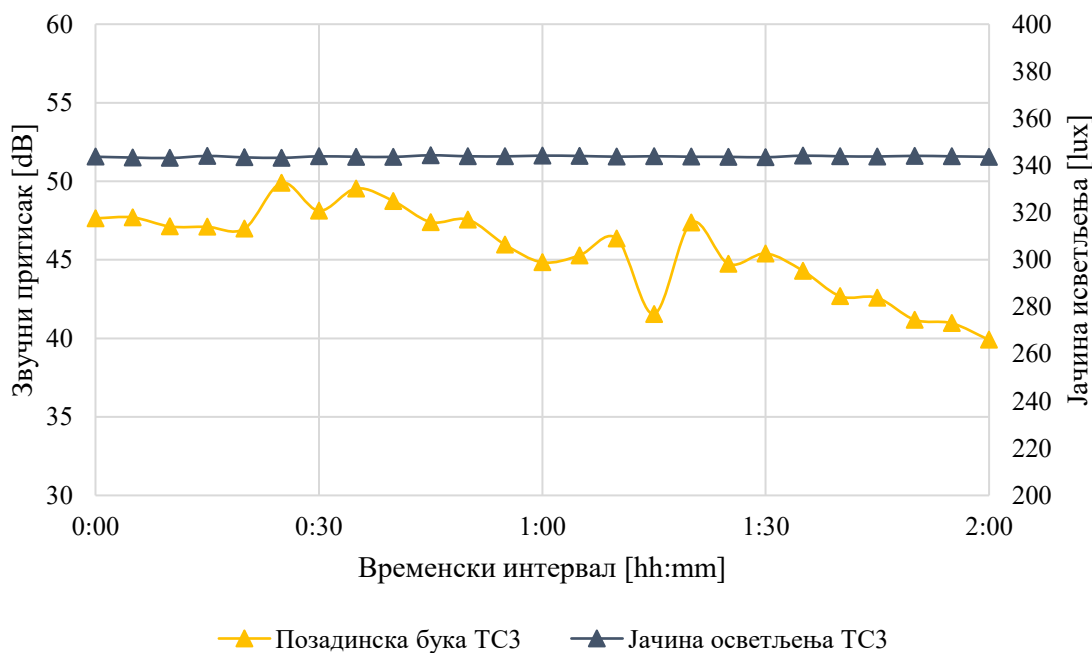
Слика 50 - Параметри визуелног и акустичког комфора за ТС1 осредњени на пет минута.

Корисници објекта у ТС2 имају адекватне услове осветљења до интервала око 1:00 h. Након тога, директни утицај сунчеве светлости је очигледан. У 1:30 h сунчева светлост постаје неподношљива за кориснике најближе стакленом зиду и користи се систем засенчења, обарајући ниво осветљење на ~280 lx. Позадинској буци углавном доприносе канцеларијски послови и рад са странкама и износе око 50 dB. Иако је канцеларија професионално звучно изолована од штампарије, пикове на дијаграму проузрокује остављање отворених врата (слика 51).



Слика 51 - Параметри визуелног и акустичког комфора за TC2 осредњени на пет минута.

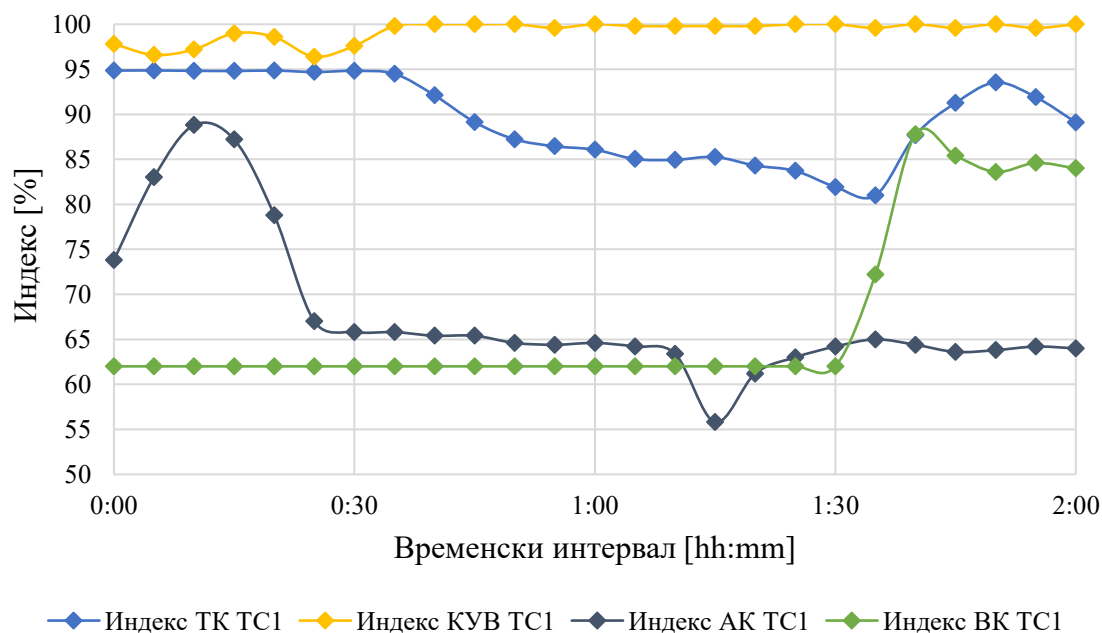
Слика 52 приказује континуално мерене параметре TC3. Амфитеатар нема прозоре и у потпуности се ослања на вештачко осветљење. Јачина осветљења је константна за период мерења на ~345 lx. Соба је опремљена зидним плочама за пригушивање буке како би се смањио одјек. Како се попуњеност амфитеатра смањује, тако и позадинска бука постепено опада од 50 на 40 dB. Од образовне установе очекује се нижа позадинска бука.



Слика 52 - Параметри визуелног и акустичког комфора за TC3 осредњени на пет минута.

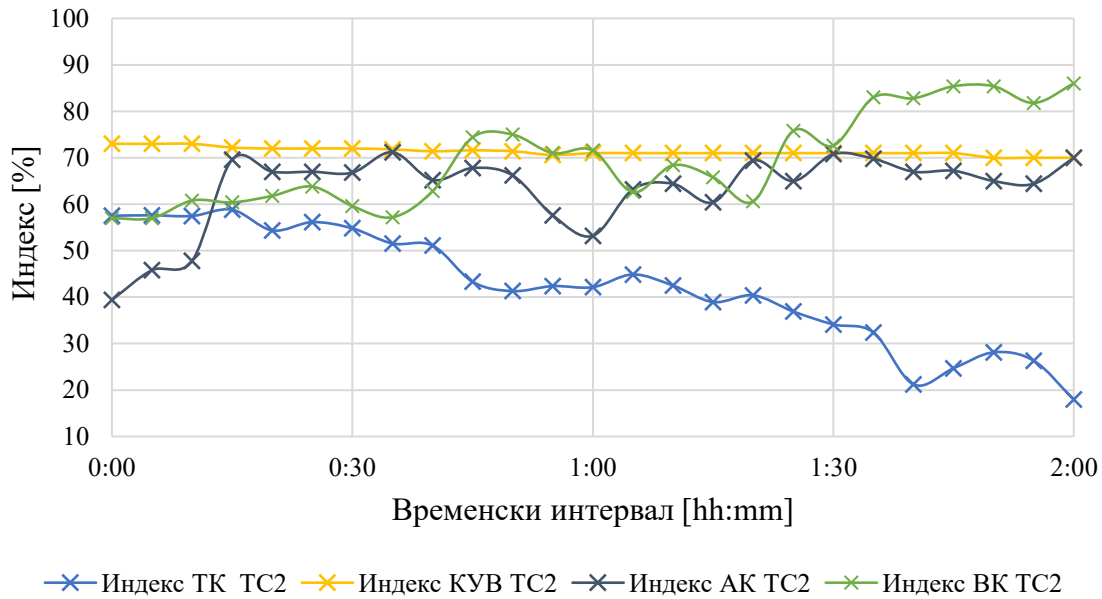
5.5 Преглед индекса компоненти КУС

На сликама 53 - 55 приказани су резултати континуираног израчунавања компоненти КУС индекса у три теренске студије, према методологији из поглавља 3. Генерално, компоненте КУВ, индекса КУС рангиране су највише у свим зградама, постигавши категорију *I* у TC1 и TC3, док је TC2 постигао *II* категорију квалитета.



Слика 53 - Израчунати индекси компоненти индекса КУС за TC1 осредњени на пет минута.

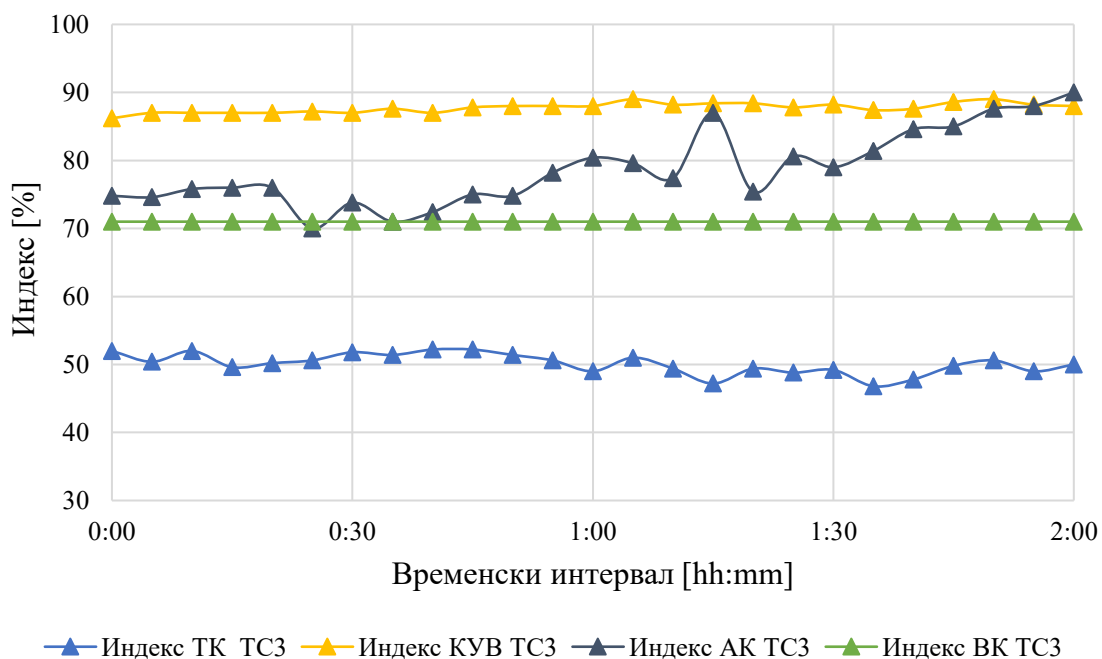
Термички комфор се показао као компонента са највише негативног утицаја у TC2 и TC3. У TC3 се кретао између *II* и *III* категорије, а у TC2 се од *II* категорије развио у практично неподношљиво термичко окружење за кориснике простора, изазвано директним сунчевим зрачењем кроз прозоре.



Слика 54 - Израчунати индекси компоненти индекса КУС за TC2 осредњени на пет минута.

Компонента визуелног комфора била је доследна у све три теренске студије и у II категорији. TC1 је постигао I категорију након што је на захтев извођача експеримента укључено вештачко осветљење. TC2 показује добар пример драстичног утицаја дневног светла на индекс, са великом временском варијацијом вредности.

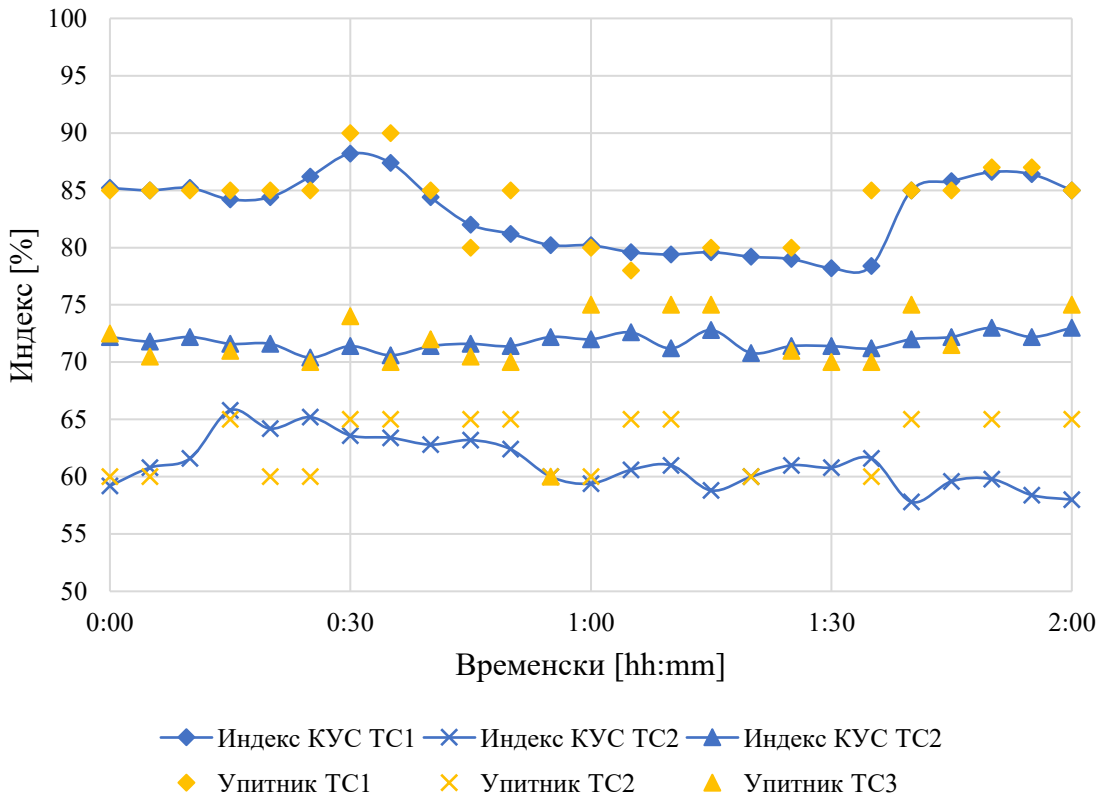
Испоставља се да TC2 има најбољу акустичну компоненту комфора, само одступајући од I категорије у кратком временском периоду. Бука вентилационог система одржавала је TC1 константно у II категорији, док је у TC3 флукутирала у зависности од канцеларијских активности.



Слика 55 - Израчунати индекси компоненти индекса КУС за ТС3 осредњени на пет минута.

Слика 56 приказује временску промену укупног индекса КУС. Резултати ТС1 показују да су се услови одржавали на високом квалитету и да квалитет није опадао испод *I* категорије, што се углавном приписује КУВ и термичком комфору. Резултати ТС2 показују да је отворена канцеларија континуирано постизала *II* категорију компоненти КУВ, акустичког и визуелног комфора које компензују негативни утицај термичког комфора.

У ТС3 термички комфор је такође био компонента која је највише утицала на КУС резултате. То је главни разлог због којег је ТС3 континуирано падао у *II* категорију. Услови термичког окружења били су најстабилнији од свих експеримената, чак и уз континуирану промену заузетости просторије. *I* категорија би се постигла ако би се применио једноставан корак подешавања термостата за 2 °С нижу температуру.



Слика 56 - Израчунат индекс КУС са тежинским коефицијентима према упитницима у односу на одговоре испитаника.

5.6 Тежински коефицијенти компоненти КУС засновани на анкетањању испитаника.

У литератури је доступно неколико метода које се могу користити за процену тежинских коефицијената сваке компоненте КУС. Две најважније су употреба процеса аналитичке хијерархије (Analytical Hierarchy Process - АНР) и фитовање резултата субјективне евалуације регресионим моделима. Чијанг и Лаи (2002) извели су тежинске коефицијенте повезане са пет главних фактора који доприносе перципираном КУС користећи АНР и тестирали модел у домовима за негу старих особа на Тајвану. Процес аналитичке хијерархије (АНР) је математичка техника доношења одлука која пружа ефикасни алат за бављење задацима којима су потребне сложене технике доношења одлука. Процес је први пут развио Сати (Zahedi, 1986), а сада се широко примењује у науци и инжењерским процесима доношења одлука.

Чијанг и Лаи (2002) укључили су стручне консултанте са у тој области и користећи однос конзистентности да би филтрирали нулту хипотезу. То је подразумевало разлагање проблема одлучивања (у овом случају ефеката променљивих на укупни КУС) у хијерархију лакше разумљивих подкомпоненти које би се могле проценити појединачно. Извршено је поређење подкомпоненти у погледу њиховог релативног утицаја на КУС, а тежински коефицијенти су додељени свакој јединици користећи субјективне процене.

АНР је мање информативан у поређењу са евалуацијом стварних корисника у објектима иако пружа одређени увид у релативну важност сваког од параметара КУС. Тежински коефицијенти засновани на евалуацији корисника пружиће емпиријске доказе о релативном значају компоненти. КУС индекс се креће између 0 - 100, а зависне компоненте се такође се крећу између 0 - 100, тј. (100 - PPD), дакле, тежински коефицијенти једначине 3.30 дају представу о томе који параметри носе већу важност.

Извршена је регресиона анализа како би се добила боља слика о релативној важности сваког од параметара који доприносе перципираном КУС за сваки од три објекта. За спровођење регресионе анализе коришћен је статистички софтвер SPSS. Иако је употреба статистичких метода за одређивање релативних тежинских коефицијената сваког од фактора који који утичу на свеобухватни индекс релативно лака, треба бити изузетно опрезан како би се избегло кршење одређених правила. Једна од основних претпоставки у већини статистичких поступака је да су посматрања независна, тј. да информације о резултатима било ког од посматраних случајева не помажу у предвиђању резултата било ког другог посматрања (Kahane, 2014). Ова претпоставка је испуњена само ако се за одабир студија случаја користе посебни методи одабира, попут једноставног случајног узорка, као што је случај у овој студији. Анализа појединачних објеката (или група сличних типова) не доводи до кршења ове претпоставке груписаним запажањима (зависност узрокована физичком, географском или социјалном близином), већ њихова засебна анализа очигледна је предност повезана са успостављањем било каквог понашања типичног те врсте канцеларија. Ово је један од важних разлога зашто се ова студија спроводи како би се установили сви обрасци који могу бити повезани са одређеним типовима објеката.

Коришћена је вишеструка линеарна регресија јер не постоји мултиколинеарност између I_{KUS} и његових компоненти, са пресретањем постављеним на 0. То је логично јер би се могло очекивати да ако су све компоненте I_{TK} , I_{KUV} , I_{VK} , и I_{AK} једнаке нули, I_{KUS} такође треба да буде једнак нули. Ако се овај услов не примени, модели за све три теренске студије показују малу вероватноћу (п-вредност $> 0,35$) и $R^2 < 0,45$. Са пресретањем постављеним на 0 и подешеним $R^2 > 92,45\%$ и $F < 0,0001$, значи да је готово не постоји могућност да сви тежински коефицијенти могу бити нула и да се нулта хипотеза може одбацити.

Поред укупног индекса КУС, слика 56 такође приказује резултате анкете о субјективној перцепцији КУС. Као што се види, може се уочити блиска сагласност између I_{KUS} и анкетом оцењеног КУС. Прво, слично претходно поменутих студијама у поглављу 3, резултати субјективне анкете показују да је квалитет ваздуха у затвореном простору био субјективно најкритичнија КУС компонента за испитанике у обе пословне зграде, са $K_{KUV_{TC1}} = 0.33$ ($p = 0.001$), $K_{KUV_{TC2}} = 0.37$ ($p = 0.002$), праћено термичком комфором $K_{TK_{TC1}} = 0.29$ ($p = 0.005$), $K_{TK_{TC2}} = 0.28$ ($p = 0.007$). Акустички комфор $K_{AK_{TC1}} = 0.22$ ($p = 0.03$), $K_{AK_{TC2}} = 0.17$ ($p = 0.07$) и визуелни комфор $K_{VK_{TC1}} = 0.16$ ($p = 0.17$), $K_{VK_{TC2}} = 0.18$ ($p = 0.21$) оцењени су да имају мањи допринос и налазе се на трећем или четвртном месту.

Даље, тежински коефицијенти су упросечени за TC1 и TC2 дајући I_{KUS} једначину заменом коефицијената у једначину 3.1:

$$I_{KUS_{sr}} = 0.285 \cdot I_{TK} + 0.35 \cdot I_{KUV} + 0.195 \cdot I_{AK} + 0.17 \cdot I_{VK} \quad (5.1)$$

Када је регресија примењена на образовну установу (ТСЗ), коефицијенти су се разликовали ($R^2=93,1\%$ и $F=0,0002$). У том случају, термички комфор је најдоминантнија компонента, са $K_{TK_{ТСЗ}} = 0.31$ ($p = 0.00006$), праћен квалитетом ваздуха у затвореном и акустиком, оба са тежинским коефицијентима 0,25. Визуелни комфор има најмању важност $K_{VK_{ТСЗ}} = 0,19$ ($p = 0.33$). Једначина (3.1) има облик:

$$I_{KUS_{ТСЗ}} = 0.31 \cdot I_{TK} + 0.25 \cdot I_{KUV} + 0.25 \cdot I_{AK} + 0.19 \cdot I_{VK} \quad (5.2)$$

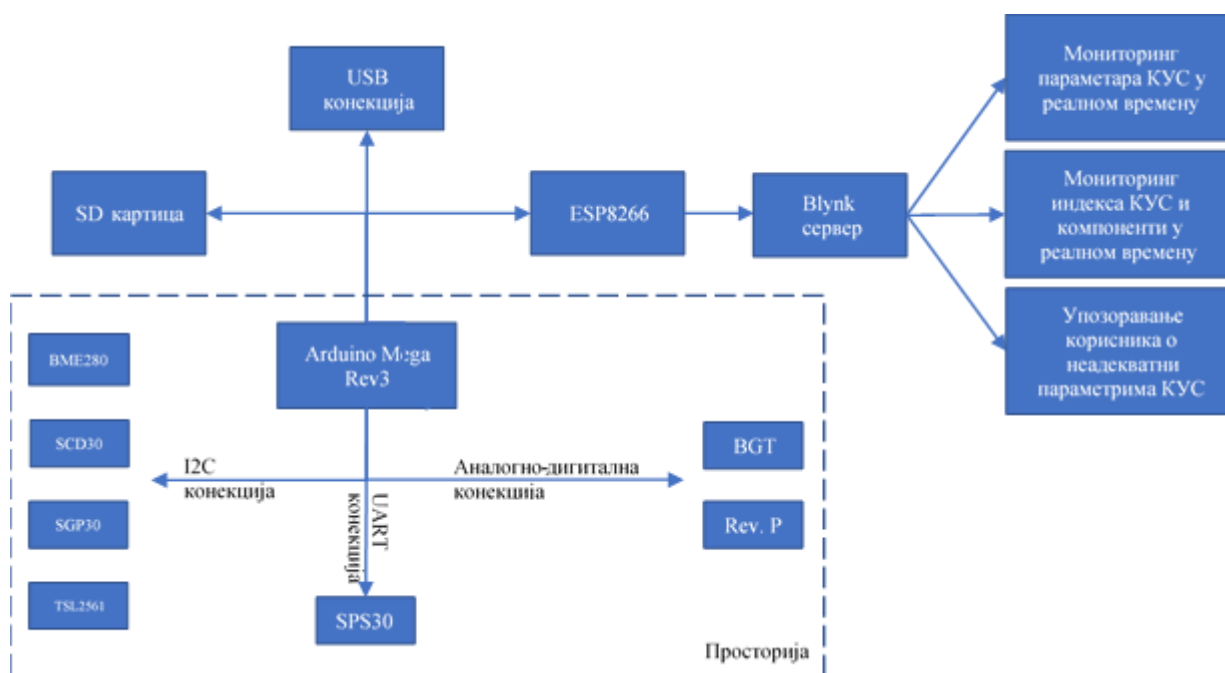
Једначина се сада боље поклапа са предложеном „грубим“ шемом (Piasecki et al., 2017) у којој су све компоненте КУС подједнако важне - сви тежински коефицијенти су 0,25 (Табела 21). Разлике у резултатима између канцеларијских и образовних зграда имплицирају да корисници имају различите преференције КУС у зависности од типа и намене унутрашњег окружења као и њихових активности унутар објекта.

Табела 21 – Поређење просечних тежинских коефицијената из резултата регресионе анализе.

Тип објекта	Број испитаника	Тежински коефицијент			
		K_{TK}	K_{KUV}	K_{AK}	K_{VK}
Пословни објекти из претходних студија	863	0,31	0,31	0,21	0,17
Пословни објекти из дисертације	69	0,285	0,35	0,195	0,17
Образовни објекти из претходних студија	132	0,30	0,24	0,25	0,21
Образовни објекат - Факултет техничких наука	56	0,31	0,25	0,25	0,19
Без анкете - предлог аутора		0,25	0,25	0,25	0,25

6 Развој интелигентне платформе за квалитет унутрашње средине на „облаку“

Сврха и циљ овог истраживања јесте развој нове интелигентне платформе засноване на основна четири елемента: мерење сигнала, комуникација, прикупљање и обрада сигнала, обрада података у „облаку“ и активирање. Коначни изглед платформе за мерење параметара КУС дат је на слици 56. Платформа прикупља све релевантне параметре КУС потребне за израчунавање индекса термичког комфора, квалитета унутрашњег ваздуха, визуелног и акустичког комфора. Даље, платформа врши прорачун свеобухватног индекса КУС на основу тежинских коефицијената додељених компонентама регресивном анализом од стране испитаника. Платформа складишти мерења свих физичких величина локално, путем .CSV датотеке на SD картицу која се континуално допуњује новим подацима. Корисник, такође може да прати мерења у реалном времену повезивањем рачунара са мерном станицом USB конекцијом и коришћењем серијског монитора.



Слика 57 - Преглед коначне архитектуре ENVIRA платформе за мерење параметара и индекса КУС.

Велике серије података које се складиште локално су намењене за употребу од стране научне јавности и ентузијаста на пољу КУС. Међутим, овакав приступ може бити збуњујући и компликован крајњим корисницима платформе.

У циљу превазилажења овог проблема платформа је повезана са (Internet of Things - IoT) сервисом. Убрзано усвајање и развој уређаја повезаних путем интернета подржава нову дигиталну основу за градско урбано окружење. Општа повезаност уређаја, људи, машина и објеката у IoT дотиче готово све аспекте КУС. IoT као технолошка интеграција је саставни део КУС „облака“ као система са динамичким

понашањем. КУС „облак“ балансира сталну повезаност и приступ информацијама, интелигентне сензоре и уређаје, информационе и операционе технологије на основу података кроз мрежни вредносни ланац. Како би платформа могла да комуницира са IoT сервером на „облаку“, унутар мерне станице је интегрисан микроконтролер ESP8266. Контролер пружа повезивање са 2.4 GHz-ним бежичним мрежама.

Иницијално је платформа конципирана тако да прикључене мерне станице искључиво врше агрегацију силових улазних параметра КУС, док би се сва обрада силових података вршила на „облаку“. Даље, корисник може да врши праћење релевантних параметара у реалном времену и има увид у историјске трендове параметара. Резултати са платформе имају улогу окидача за одлуке тј. остваривање коначног резултата потребног за задовољавање захтева и сврхе КУС. Овим се омогућава тренутно обавештење о висококвалитетним индикаторима којима се може управљати, који имају улогу у доношењу одлука и оптимизацији рада BMS система. Резултати надзора се могу слати кориснику на мобилни уређај или web страницу. Тренутно, на нискобуџетном нивоу приступа, платформа не може да задовољи све предвиђене захтеве, првенствено по питању обраде података на „облаку“, те се сва обрада података врши директно на микроконтролеру мерне станице, а обрађени подаци се шаљу на IoT сервер. Такође, како је платформа у прототипској фази, веза са BMS системима није остварена.

IoT сензори су јефтини, независни и једноставни за уградњу и одржавање. Заједно са робусном, скалабилном и малом енергетском потрошњом IoT везе, они могу бити распоређени широм објекта како би стекао свеобухватан увид у различите функције објекта. Обједињени на IoT мрежном пролазу, подаци сензора могу се затим проследити на одговарајући BMS сервер користећи отворене интерфејсе (нпр. MQTT, REST API). Ово омогућава аутоматизовано извршавање релевантних уаdataка попут интуитивне реконфигурације опреме, активирања или искључивања, заказивања одржавања или окидача упозорења. Таква IoT архитектура заобилази скупе, наметљиве модификације постојеће „жичане“ инфраструктуре, додајући нови слој података за ефикасније управљање објектима. Поред тога, увиди у различите аспекте објекта могу се објединити у једној платформи како би се омогућиле поједностављене и интегрисане управљачке активности. Поред значајних економских предности, употреба IoT бежичног повезивања уноси велику флексибилност у мрежну архитектуру. Постојећи сензори се могу једноставно преместити или се инсталирати додатни дуж линије како се појаве нови захтеви и потребе за реновирањем.

Енергетска ефикасност је била главни подстицај за примену BMS-а, а IoT технологије би вам могле помоћи управо у томе. До недавно, ГВК опрема је често била регулисана на једнообразан, унапред дефинисан начин, узрокујући проблеме попут прегревања или подгревања у целом или деловима објекта. У том контексту, улази подаци IoT сензора у стварном времену омогућавају управљање микро-зонираном опремом за постизање веће енергетске ефикасности али и квалитета унутрашње средине.

Штавише, користећи податке о заузетости објеката, управници, такође могу открити важне трендове у ГВК -у и потребама осветљења за оптимизацију распореда укључивања и искључивања опреме (Mataloto et al., 2019).

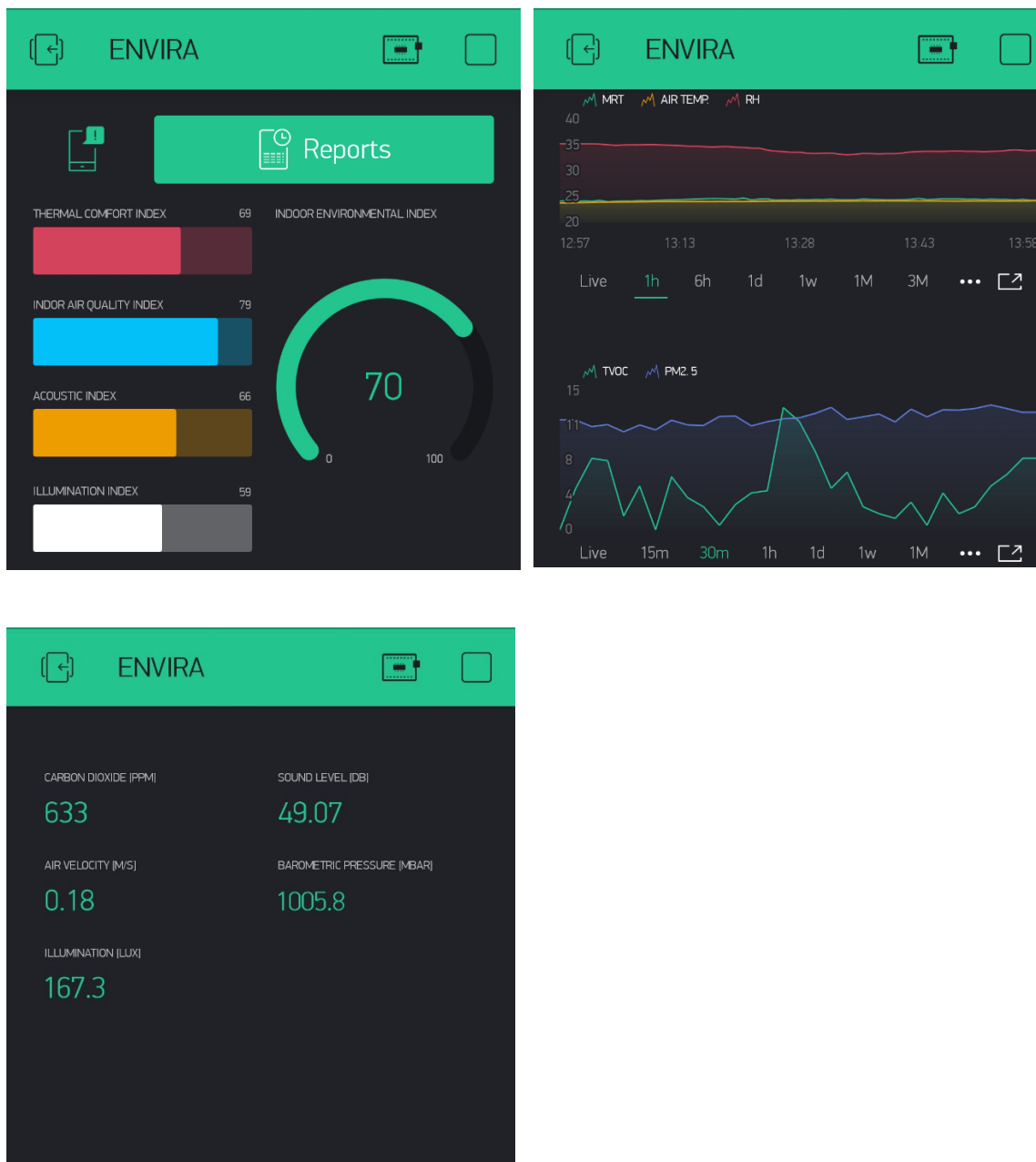
Што се тиче праћења потрошње, бежични помоћни мерачи помажу у испоруци података о потрошњи на одвојеним зонама објекта и врше поређење са објектима исте намене. Имајући ове увиде у стварном времену, оператери објеката могу брзо да идентификују и пронађу проблеме у раду система и дефинишу оперативне стратегије.

Власници објеката схватају важност односа са корисницима објекта. Данас је све већа распрострањеност технологија паметних кућа и паметних објекта и очекивања модерних корисника су све захтевнија (Neagu et al., 2019). Температура у затвореном простору некад је била кључни показатељ комфора, али то више није случај. Квалитет унутрашње средине сада даје идеалне климатске услове за добробит и продуктивност људи. С тим у вези, бежични IoT сензори су моћни инструменти који помажу у одржавању здравог и оптималног унутрашњег окружења.

Користећи податке о кретању, управници такође могу тачно да процене употребу различитих грађевинских подручја како би сходно томе дали приоритет активностима чишћења. Ово осигурава санитарне стандарде високог квалитета и одговарајуће погодности за одржавање у читавом објекту.

У оквиру ове студије, одабрана IoT платформа Blynk пружа могућност повезивања хардвера са „облаком“ и креације iOS, Android и Web апликације без познавања софтверског програмирања и праћење података у реалном времену и историјских података који долазе са уређаја, даљинским управљањем са било ког места у свету. Ова могућност пружа погодност приказивања свих релевантних параметара КУС на начин да и недовољно едуковани корисници на пољу КУС могу да прате промене стања у простору свог боравка. Одлука одабира платформе се испоставила добром јер се Blynk у претходној години развио у комплетан пакет софтвера потребан за израду прототипа, примену и даљинско управљање повезаним електронским уређајима у обиму од персоналних IoT пројеката до милиона комерцијално повезаних производа.

Blynk платформа такође пружа услуге обавештавања корисника о вредностима параметара од интереса у реалном времену. Ово је веома корисно на пољу КУС. Обавештења су подешена тако да корисника информишу о параметрима чије се граничне вредности премаше и упозоре их о потенцијалним штетним последицама на њихово здравље и продуктивност и објасне стратегије за смањење параметра испод граничне вредности. Такође, путем обавештења, могуће је едуковати корисника о КУС и слати кратке стратегије за постизање високе категорије квалитета КУС.



Слика 58 – Кориснички интерфејс креиране Blynk апликације за Android уређаје.

На слици 58 је приказан кориснички интерфејс преузет са Android уређаја. Иницијално, корисник има одмах увид у индексе компоненти КУС и индекс свеобухватног КУС. У левом горњем углу, корисник има на располагању могућност укључивања или искључивања обавештења. Поред, на дугмету Reports, корисник може да прими путем електронске поште историју дневних мерења релевантних параметара на осредњену на часовном нивоу. Испод, на слици 2 се налазе графикони параметара окружења који се освежују у реалном времену и могу се приказати за период до једног месеца у назад. Даље, дате су тренутне вредности параметара КУС чији приказ је прихватљивији у бројном формату.

7 Закључци и правци даљег истраживања

Тренутно истраживачи, практичари и особе задужене за развој програма за сертификацију зелених објеката теже да развију и примене нове метрике и алате за процену КУС како би побољшали људско здравље, продуктивност и благостање. Нови алати морају бити континуирани, приступачни, тачни, поуздани, интуитивни и ненаметљиви крајњим корисницима. Последњих година сведоци смо прилива јефтиних КУС монитора на тржиште, што је отворило прилику управницима објеката и станарима да добију свеобухватне информације о свом окружењу и да поступају према њима. Ипак, већина постојећих КУС платформи за надзор још увек није у стању да процени квалитет унутрашњег окружења на свеобухватан начин.

У овој дисертацији представљена је методологија истраживања за развој нискобуџетне сензорске платформе „ENVIRA“ за континуално праћење КУС. Приказана је њена употреба у три теренске студије у објектима (два пословна објекта и један образовни објекат). Комбинацијом континуираних мерења појединачних параметара КУС (термички комфор, квалитет унутрашњег ваздуха, визуелни комфор и акустички комфор) и података о перцепцији испитаника о КУС заснованих на анкетама, ова студија даје нове резултате о важности појединачних параметара који се користе за процену укупних перформанси КУС.

Користећи регресиону анализу, одређена је линеарна једначина за индекс КУС са тежинским коефицијентима за сваку од четири категорије КУС. Израчунат укупни индекс КУС и резултати перцепције испитаника са КУС показали су добро слагање. Добијени резултати за тежинске коефицијенте показују да су корисници имали сличне преференције у објектима канцеларијског типа, док су се преференције разликовале у образовној згради. Тренутно неки програми сертификације зелених зграда придоду једнак значај свим четири категоријама КУС. Даља истраживања су потребна како би се боље разумели тежински коефицијенти појединих КУС компонената, посебно у односу на различите типологије зграда.

Поред континуиране процене параметара КУВ, платформа ENVIRA показала је потенцијал да идентификује недостатке ГВК система, што би могло довести до побољшаних процедура за одржавања система и смањења потрошње енергије у зградарству. Стога, предложена сензорска платформа показује потенцијал као одличан алат за енергетски ефикасно управљање ГВК системима путем података. У блиској будућности, платформа ENVIRA биће прилагођена за употребу мреже Zigbee, која је тренутно фаворизирана у индустрији система управљања зградама (BMS). Тако ће платформа бити способна за BMS интеграцију. Даље, платформа ће бити развијена за подршку више уређаја у паралелном режиму рада и праћењу података који ће омогућавати сложене просторно-временске анализе.

Спроведена студија поседује и неколико ограничења које је битно навести. Прво, једначине коришћене за одређивање КУС компоненти и КУС индекса из измерених параметара нису искључиве и у литератури могу се наћи одговарајуће алтернативе. Друго, тренутно платформа користи претпоставку употребе статичке изолације одеће (температура на спољашњој површини одеће) и статичке метаболичке стопе особе. Даљи развој платформе истраживаће могућност

интеграцију паметних преносивих сензора за праћење ових параметара. Нижетић и сарадници (2020) показали су да ови уређаји могу прецизније да прикупе ове параметре. Њихова студија је такође показала да, без обзира на сезону, ниво активности динамички варира између 1,0 и 2,0 Met, што је изнад статичких вредности прописаних у ASHRAE и ISO стандардима.

Мерења су била ограничена на неколико сати за време трајања анкете, а будуће теренске студије требало би да обухвате дуже временске интервале. Такође, сви резултати су добијени током сезоне хлађења и треба их верификовати у условима грејања централним ГВК системом. Мерења у три објекта у теренским студијама нису спроведена истог дана (већ у размаку од једног месеца), што би могло довести до додатних пристрасности у резултатима.

Даље, уређај је постављен на једном месту, у средишту просторије за мерење просечних параметара. Међутим, услови у великим отвореним канцеларијама не могу се увек сматрати хомогеним. У будућим студијама потребно је поставити неколико уређаја који покривају одређене површине простора, а индекс треба упросечити како би се постигла највећа тачност.

Иако модел показује добро слагање са прошлим истраживањима и теренским подацима, потребно је у даља истраживања укључити већи грађевински фонд (у броју и у типу) са већим бројем анкетираних испитаника како би резултати били прихваћени на општем нивоу. Такође, тренутни резултати репрезентативни су за континенталне климатске услове са топлим летима и специфични су за канцеларијске и образовне просторе.

Упркос ограничењима, ова студија показује успешан развој и примену нове јефтине КУС платформе за надзор и нуди јединствене увиде који подржавају даље усавршавање јединственог КУС индекса.

8 Литература

- Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., Elsarrag, E., 2016. Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. *Build. Environ.* 105, 369–389. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>
- Ali, A.S., Zanzinger, Z., Debose, D., Stephens, B., 2016. Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Build. Environ.* 100, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.010>
- Allen, J.G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., Spengler, J.D., 2016. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ. Health Perspect.* 124, 805–812. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>
- Altomonte, S., Schiavon, S., Kent, M.G., Brager, G., 2017. Indoor environmental quality and occupant satisfaction in green-certified buildings. *Build. Res. Inf.* 1–20. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1383715>
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE, 2017. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE Stand. - 55 7, 6.
- Andrés, F., Vega, O., Paola, A., Ríos, M., Osorio Saraz, J.A., Gonzalo Vargas Quiroz, L., Damasceno, A., 2020. Assessment of black globe thermometers employing various sensors and alternative materials. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107891>
- Architectural Joint Technical Committee AV-004 Acoustical, 2016. As/Nzs 2107:2016.
- Ari, S., Wilcoxon, P., Khalifa, H.E., Dannenhoffer, J.F., Isik, C., 2008. A practical approach to individual thermal comfort and energy optimization problem. *Annu. Conf. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc. - NAFIPS.* <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2008.4531261>
- Aries, M.B.C., 2005. Human Lighting Demands, healthy lighting in an office environment. *Tech. Univ. Eindhoven 2005* 158. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6100/IR594257>
- Aries, M.B.C., Veitch, J.A., Newsham, G.R., 2010. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *J. Environ. Psychol.* 30, 533–541. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.12.004>
- ASHRAE, 2019. *Ashrae Handbook 2019: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications: SI Edition.*
- ASHRAE, 2017a. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE Stand. - 55 7, 6.
- ASHRAE, 2017b. *ASHRAE Handbook of Fundamentals.*
- ASHRAE, 2016. Standard 62.1 - Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE Stand. 1–70. <https://doi.org/ISSN 1041-2336>
- ASHRAE, 2012. *Performance measurement protocols for commercial buildings: best practices guide.*
- ASHRAE 62.2, 2016. *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings including Appendix D 2016.*
- Auffenberg, F., Stein, S., Rogers, A., 2015. A personalised thermal comfort model using a Bayesian network. *IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell.* 2015-Janua, 2547–2553.

- <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1038/bmt.2013.28>
- Baleta, J., Mikulčić, H., Klemeš, J.J., Urbaniec, K., Duić, N., 2019. Integration of Energy, Water and Environmental Systems for a Sustainable Development. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.01.035>
- Banbury, S.P., Berry, D.C., 2005. Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics* 48, 25–37. <https://doi.org/10.1080/00140130412331311390>
- Bauman, F.S., Carter, T.G., Baughman, A. V., Arens, E.A., 1998. Field study of the impact of a desktop task/ambient conditioning system in office buildings. *ASHRAE Trans.* 104, 1153–1171. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.009>. Keywords
- Bendewald, M., Hutchinson, H., Muldavin, S., Torbert, R., 2014. How to Calculate and Present Deep Retrofit Value - A guide for Owner-Occupants 105.
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H., 2000. New WHO Guidelines for Community Noise. *Noise Vib. Worldw.* 31, 24–29. <https://doi.org/10.1260/0957456001497535>
- Bermejo, P., Redondo, L., De La Ossa, L., Rodríguez, D., Flores, J., Urea, C., Gámez, J.A., Puerta, J.M., 2012. Design and simulation of a thermal comfort adaptive system based on fuzzy logic and on-line learning. *Energy Build.* 49, 367–379. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.032>
- Blyussen, P., 2014. The Healthy Indoor Environment: How to assess occupants' wellbeing in buildings.
- Blyussen, P.M., 2004. Sensory Evaluation of Indoor Air Pollution Sources. *Handb. Environ. Chem.* 4, 179–217. <https://doi.org/10.1007/b94835>
- Blyussen, P.M., 1996. European indoor air quality audit project in 56 office buildings. *Indoor Air* 6, 221–238. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1996.00002.x>
- Boerstra, A.C., 2019. New health & comfort promoting CEN standard. *REHVA J.* 4, 2.
- Brager, G.S., de Dear, R.J., 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy Build.* 27, 83–96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
- BREEAM, 2017. Building Research Establishment Environmental Assessment Method.
- British Standards Institution, 2012. Light and lighting — Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires Part 1 : Measurement and file format 3.
- Buratti, C., Belloni, E., Merli, F., Ricciardi, P., 2018. A new index combining thermal, acoustic, and visual comfort of moderate environments in temperate climates. *Build. Environ.* 139, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.038>
- Busch, J.F., Du Pont, P., Chirarattananon, S., 1993. Energy-efficient lighting in Thai commercial buildings. *Energy* 18, 197–210. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(93\)90104-L](https://doi.org/10.1016/0360-5442(93)90104-L)
- Cao, B., Ouyang, Q., Zhu, Y., Huang, L., Hu, H., Deng, G., 2012. Development of a multivariate regression model for overall satisfaction in public buildings based on field studies in Beijing and Shanghai. *Build. Environ.* 47, 394–399. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.022>
- Cena, K., De Dear, R., 2001. Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. *J. Therm. Biol.* 26, 409–414. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00052-3](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00052-3)
- Centre for Mental Health, 2011. Managing Presenteeism: A Discussion Paper. Work 1–4.
- Chiang, C.M., Chou, P.C., Lai, C.M., Li, Y.Y., 2001. A methodology to assess the indoor environment in care centers for senior citizens. *Build. Environ.* 36, 561–568. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00024-X)
- Choi, J.-H., Yeom, D., 2019. Development of the data-driven thermal satisfaction

- prediction model as a function of human physiological responses in a built environment. *Build. Environ.* 150, 206–218.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.007>
- CIBSE, 2013. The limits of thermal comfort : avoiding overheating in European buildings. CIBSE Tm52 1–25. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CIE, 1987. CIE 69-1987: Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters 44.
- Collier-Oxandale, A., Feenstra, B., Papapostolou, V., Zhang, H., Kuang, M., Der Boghossian, B., Polidori, A., 2020. Field and laboratory performance evaluations of 28 gas-phase air quality sensors by the AQ-SPEC program. *Atmos. Environ.* 220, 117092. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117092>
- Comite Europeen de Normalisation (CEN), 2019. EN 16798-1 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Cen.
- Council, U.S.G.B., 2003. Leadership in energy and environmental design. Green Build. Rat. Syst. Exist. Build. Upgrad. Oper. Maint. (LEED-EB), version 2.
- Council, W.G.B., 2014. Health, Wellbeing & Productivity in Offices.
- Day, J.K., 2014. ENVIRONMENTAL SATISFACTION, LEARNING, AND BEHAVIORS IN BUILDINGS.
- De Dear, R.J., Akimoto, T., Arens, E.A., Brager, G., Candido, C., Cheong, K.W.D., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S.C., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H., Zhu, Y., 2013. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air* 23, 442–461. <https://doi.org/10.1111/ina.12046>
- Dear, D., Dear, R.J. De, Ph, D., 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Trans.*
- Demanege, I., Mujan, I., Singer, B.C., Anđelković, A.S., Babich, F., Licina, D., 2021. Performance assessment of low-cost environmental monitors and single sensors under variable indoor air quality and thermal conditions. *Build. Environ.* 187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107415>
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2007. Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen gegründet, Bautechnik. <https://doi.org/10.1002/bate.200790183>
- Dimitroulopoulou, C., Bartzis, J., 2013. Ventilation rates in European office buildings: A review. *Indoor Built Environ.* 23, 5–25. <https://doi.org/10.1177/1420326X13481786>
- European committee for standardization, 2011. BSI Standards Publication Light and lighting — Lighting of work places Part 1 : Indoor work places 1–57.
- Evans, G.W., Bullinger, M., Hygge, S., 1998. Chronic Noise Exposure and Physiological Response: A Prospective Study of Children Living Under Environmental Stress. *Psychol. Sci.* 9, 75–77. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00014>
- Fanger, P.O., 2000. Indoor air quality in the 21st century: Search for excellence. *Indoor Air-International J. Indoor Air Qual. Clim.* 10, 68–73. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010002068.x>
- Fanger, P.O., 1988. Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy Build.* 12, 1–6. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90051-5)
- Fanger, P.O., 1970. Thermal Comfort.
- Fassio, F., Fanchiotti, A., de Lieto Vollaro, R., 2014. Linear, non-linear and alternative algorithms in the correlation of IEQ factors with global comfort: A case study. *Sustain.* 6, 8113–8127. <https://doi.org/10.3390/su6118113>

- Fisk, W.J., 2009. Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. *Indoor Air* 19, 159–165.
- Fisk, W.J., Black, D., Brunner, G., 2012. Changing ventilation rates in U.S. offices: Implications for health, work performance, energy, and associated economics. *Build. Environ.* 47, 368–372. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.001>
- Fisk, W.J., Mendell, M.J., Daisey, J.M., Faulkner, D., Hodgson, A.T., Nematollahi, M., Macher, J.M., 1993. Phase 1 of the California Healthy Building Study: A Summary. *Indoor Air* 3, 246–254. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1993.00005.x>
- Földváry Ličina, V., Cheung, T., Zhang, H., de Dear, R., Parkinson, T., Arens, E., Chun, C., Schiavon, S., Luo, M., Brager, G., Li, P., Kaam, S., Adebamowo, M.A., Andamon, M.M., Babich, F., Bouden, C., Bukovianska, H., Candido, C., Cao, B., Carlucci, S., Cheong, D.K.W., Choi, J.H., Cook, M., Cropper, P., Deuble, M., Heidari, S., Indraganti, M., Jin, Q., Kim, H., Kim, J., Konis, K., Singh, M.K., Kwok, A., Lamberts, R., Loveday, D., Langevin, J., Manu, S., Moosmann, C., Nicol, F., Ooka, R., Oseland, N.A., Pagliano, L., Petráš, D., Rawal, R., Romero, R., Rijal, H.B., Sekhar, C., Schweiker, M., Tartarini, F., Tanabe, S. ichi, Tham, K.W., Teli, D., Toftum, J., Toledo, L., Tsuzuki, K., De Vecchi, R., Wagner, A., Wang, Z., Wallbaum, H., Webb, L., Yang, L., Zhu, Y., Zhai, Y., Zhang, Y., Zhou, X., 2018. Development of the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. *Build. Environ.* 142, 502–512. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.022>
- Fontoynt, M., 2014. *Daylight Performance of Buildings* 304 pages.
- Frontczak, M., Schiavon, S., Goins, J., Arens, E., Zhang, H., Wargocki, P., 2012. Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. *Indoor Air* 22, 119–131. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00745.x>
- Fuller, S., 2010. Life-Cycle Cost Analysis (LCAA). <https://doi.org/10.1360/zd-2013-43-6-1064>
- GBCA, 2011. *Green Star Green Star – Performance*.
- German federal environment agency, 2018. *Fuide values I and II. German committee on indoor guide values [WWW Document]. URL www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/german-committee-on-indoor-guide-values (accessed 2.11.21).*
- Goldstein, N., Talon, C., 2015. *Smart Offices : How Intelligent Building Solutions Are Changing the Occupant Experience*. INTEL Spons. White Pap. 1–13.
- Haldi, F., Robinson, D., 2011. The impact of occupants' behaviour on building energy demand. *J. Build. Perform. Simul.* 4, 323–338. <https://doi.org/10.1080/19401493.2011.558213>
- Hansen, H.H., 2017. *Guidelines for ventilation requirements in buildings*.
- Heinzerling, D., Schiavon, S., Webster, T., Arens, E., 2014. Indoor environmental quality assessment models: a literature review and a proposed weighting and classification scheme.
- Illuminating Engineering Society, 2013. *The Lighting Handbook - 10th Edition*.
- Ingrao, C., Messineo, A., Beltramo, R., Yigitcanlar, T., Ioppolo, G., 2018. How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. *J. Clean. Prod.* 201, 556–569. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.080>
- International Well Building Institute, 2014. *The WELL Building Standard Version 1.0* 218.
- International WELL Building Institute, 2018. *WELL Building Standard® v2.1. Int.*

- WELL Bild. Inst. 283.
- ISO, 2005. ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. *Management* 3, 605–615.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.11.005>
- ISO 7730 International Standard, 1994. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort 32. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Jin, M., Liu, S., Schiavon, S., Spanos, C., 2018. Automated mobile sensing: Towards high-granularity agile indoor environmental quality monitoring. *Build. Environ.* 127, 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.003>
- Johns, G., 2010. Presenteeism in the workplace : A review and research agenda 542, 519–542. <https://doi.org/10.1002/job>
- Jokl, M. V., 2000. Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC. *Build. Environ.* [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00042-6)
- Kahane, L., 2014. Regression Basics. *Regres. Basics.*
<https://doi.org/10.4135/9781483385662>
- Karami, M., Mcmorrow, G.V., Wang, L., 2018. Continuous Monitoring of Indoor Environmental Quality using an Arduino-based Data Acquisition System Continuous Monitoring of Indoor Environmental Quality using an Arduino- based Data Acquisition System. *J. Build. Eng.* 19, 412–419.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.014>
- Kim, H., Haberl, J.S., 2012. Field-test of the new ASHRAE/CIBSE/USGBC performance measurement protocols for commercial buildings: Basic level. *ASHRAE Trans.* 118, 135–142.
- Kim, J., Schiavon, S., Brager, G., 2018. Personal comfort models – A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control. *Build. Environ.* 132, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.023>
- Klepeis, N.E., Nelson, W.C., Ott, W.R., Robinson, J.P., Tsang, A.M., Switzer, P., Behar, J. V, Hern, C., Engelmann, W.H., 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants.
- Kosonen, R., Tan, F., 2004. The effect of perceived indoor air quality on productivity loss. *Energy Build.* 36, 981–986. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.005>
- Krarti, M., Erickson, P.M., Hillman, T.C., 2005. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Build. Environ.* 40, 747–754.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.08.007>
- Kruisselbrink, T., Dangol, R., Rosemann, A., 2018. Photometric measurements of lighting quality: An overview. *Build. Environ.* 138, 42–52.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.028>
- Lamb, S., Kwok, K.C.S., 2016. A longitudinal investigation of work environment stressors on the performance and wellbeing of office workers. *Appl. Ergon.* 52, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.010>
- Lan, L., Wargocki, P., Lian, Z., 2014. Thermal effects on human performance in office environment measured by integrating task speed and accuracy. *Appl. Ergon.* 45, 490–495. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.06.010>
- Landström, U., Åkerlund, E., Kjellberg, A., Tesarz, M., 1995. Exposure levels, tonal components, and noise annoyance in working environments. *Environ. Int.* 21, 265–275. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(95\)00017-F](https://doi.org/10.1016/0160-4120(95)00017-F)

- Langer, S., Bekö, G., 2013. Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics. *Build. Environ.* 69, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.013>
- Langevin, J., Wen, J., Gurian, P.L., 2013. Modeling thermal comfort holistically : Bayesian estimation of thermal sensation , acceptability , and preference distributions for of fi ce building occupants. *Build. Environ.* 69, 206–226. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.017>
- Laux, T.A., Prof, S., Fernando, A., Lopes, D., 2014. Design and Construction of a Test Rig Prototype to Execute the Full-Battery Runtime Test for Pico-PV Systems.
- Leaman, A., Bordass, B., 2007. Are users more tolerant of “green” buildings? *Build. Res. Inf.* 35, 662–673. <https://doi.org/10.1080/09613210701529518>
- Leaman, A., Bordass, B., 2001. Assessing building performance in use 4: The Probe occupant surveys and their implications. *Build. Res. Inf.* 29, 129–143. <https://doi.org/10.1080/09613210010008045>
- Leech, J.A., Nelson, W.C., Burnett, R.T., Aaron, S., Raizenne, M.E., 2002. It’s about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 12, 427–432. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500244>
- Li, D.H.W., 2010. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. *Appl. Energy* 87, 2109–2118. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.004>
- Li, J., Li, H., Ma, Y., Wang, Y., Abokifa, A.A., Lu, C., Biswas, P., 2018. Spatiotemporal distribution of indoor particulate matter concentration with a low-cost sensor network. *Build. Environ.* 127, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.001>
- MacNaughton, P., 2016. Green Buildings and Health. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1997.tb04820.x>
- MacNaughton, P., Satish, U., Laurent, J.G.C., Flanigan, S., Vallarino, J., Coull, B., Spengler, J.D., Allen, J.G., 2017. The impact of working in a green certified building on cognitive function and health. *Build. Environ.* 114, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.041>
- Mataloto, B., Ferreira, J.C., Cruz, N., 2019. LoBEMS — IoT for Building and Energy. *Mdpi* 27.
- McNicol and Lewis, J., 1994. Daylighting in Buildings 32.
- Mendell, M.J., 1993. Non-Specific Symptoms In Office Workers: A Review And Summary Of The Epidemiologic Literature. *Indoor Air* 3, 227–236. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1993.00003.x>
- Mendell, M.J., Smith, A.H., 1990. Consistent pattern of elevated symptoms in air-conditioned office buildings: A reanalysis of epidemiologic studies. *Am. J. Public Health* 80, 1193–1199. <https://doi.org/10.2105/AJPH.80.10.1193>
- Mihai, T., Iordache, V., 2016. Determining the Indoor Environment Quality for an Educational Building. *Energy Procedia* 85, 566–574. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.246>
- Mølhave, 2008. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. *Indoor Air* 83.
- Molhave, L., Clausen, G., Berglund, B., Ceaurriz, J., Kettrup, A., Lindvall, T., Maroni, M., Pickering, A.C., Risse, U., Rothweiler, H., Seifert, B., Younes, M., 1997. Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations*. *Indoor Air* 7, 225–240. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1997.00002.x>

- Mui, K.W., Wong, L.T., 2006. Acceptable illumination levels for office occupants. *Archit. Sci. Rev.* 49, 116–119. <https://doi.org/10.3763/asre.2006.4915>
- Mujan, I., Anđelković, A.S., Munčan, V., Kljajić, M., Ružić, D., 2019. Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review. *J. Clean. Prod.* 217, 646–657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.307>
- Mujan, I., Licina, D., Kljajić, M., Anač, A., Anačulić, A., Anđelković, A.S., 2021. Development of indoor environmental quality index using a low-cost monitoring platform. *J. Clean. Prod.* 312, 127846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127846>
- Naidoo, M., Gasparatos, A., 2018. Corporate environmental sustainability in the retail sector: Drivers, strategies and performance measurement. *J. Clean. Prod.* 203, 125–142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.253>
- Ncube, M., Riffat, S., 2012. Developing an indoor environment quality tool for assessment of mechanically ventilated office buildings in the UK - A preliminary study. *Build. Environ.* 53, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.003>
- Neagu, G., Ianculescu, M., Alexandru, A., Florian, V., Rădulescu, C.T.Z., 2019. Next generation IoT and its influence on decision-making. An illustrative case study. *Procedia Comput. Sci.* 162, 555–561. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.023>
- Ng, L.C., Musser, A., Persily, A.K., Emmerich, S.J., 2012. Indoor air quality analyses of commercial reference buildings. *Build. Environ.* 58, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.008>
- Ngoc, T., He, C., Knibbs, L.D., Dear, R. De, Morawska, L., 2014. Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings. *Energy Build.* 85, 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.021>
- Nirlo, E.L., Crain, N., Corsi, R.L., Siegel, J.A., 2015. Field evaluation of five volatile organic compound measurement techniques: Implications for green building decision making. *Sci. Technol. Built Environ.* 21, 67–79. <https://doi.org/10.1080/10789669.2014.969172>
- Nižetić, S., Pivac, N., Zanki, V., Papadopoulos, A.M., 2020. Application of smart wearable sensors in office buildings for modelling of occupants' metabolic responses. *Energy Build.* 226, 110399. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110399>
- Oh, M.S., Ahn, J.H., Kim, D.W., Jang, D.S., Kim, Y., 2014. Thermal comfort and energy saving in a vehicle compartment using a localized air-conditioning system. *Appl. Energy.* <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.089>
- Olesen, B.W., 2005. Indoor Environment- Health-Comfort and Productivity. 8th REHVA World Congr. CLIMA 2005 1–17. <https://doi.org/10.1093/brain/awg236>
- Omer, A.M., 2012. Energy, Environment and Sustainable Development. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0109-4>
- Otto, D.A., Hudnell, H.K., House, D.E., Mølhave, L., Counts, W., 1992. Exposure of humans to a volatile organic mixture. I. Behavioral assessment. *Arch. Environ. Health* 47, 39–44.
- Panagiotaras, D., 2014. Comprehensive Experience for Indoor Air Quality Assessment: A Review on the Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs). *J. Phys. Chem. Biophys.* 4. <https://doi.org/10.4172/2161-0398.1000159>
- Parkinson, T., Parkinson, A., de Dear, R., 2019a. Continuous IEQ monitoring system: Performance specifications and thermal comfort classification. *Build. Environ.* 149, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.016>
- Parkinson, T., Parkinson, A., de Dear, R., 2019b. Continuous IEQ monitoring system:

- Context and development. *Build. Environ.* 149, 15–25.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.010>
- Parkinson, T., Parkinson, A., de Dear, R., 2015. Introducing the SAMBA indoor environmental quality monitoring system. *Living Learn. Res. a Better Built Environ.* 49th Int. Conf. Archit. Sci. Assoc. 1139–1148.
- Pellerin, N., Candas, V., 2004. Effects of steady-state noise and temperature conditions on environmental perception and acceptability. *Indoor Air* 14, 129–136.
<https://doi.org/10.1046/j.1600-0668.2003.00221.x>
- Peng, B., Hsieh, S.-J., 2017. Data-Driven Thermal Comfort Prediction With Support Vector Machine. Vol. 3 *Manuf. Equip. Syst.* V003T04A044.
<https://doi.org/10.1115/MSEC2017-3003>
- Perry, A.E., 1982. Hot-wire Anemometry.
- Piasecki, M., Kostyrko, K., Pykacz, S., 2017. Indoor environmental quality assessment: Part 1: Choice of the indoor environmental quality sub-component models. *J. Build. Phys.* 41, 264–289. <https://doi.org/10.1177/1744259117702882>
- Prohasky, D., Watkins, S., 2014. Low cost hot-element anemometry verses the TFI cobra. *Proc. 19th Australas. Fluid Mech. Conf. AFMC 2014.*
- Qpedia, 2007. Understanding Hot-Wire Anemometry 13–17.
- Rea, M.S., Figueiro, M.G., Bullough, J.D., 2002. Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research. *Light. Res. Technol.* 34, 177–187.
<https://doi.org/10.1191/1365782802lt057oa>
- Rijal, H.B., Humphreys, M.A., Nicol, J.F., 2009. Understanding occupant behaviour: The use of controls in mixed-mode office buildings. *Build. Res. Inf.* 37, 381–396.
<https://doi.org/10.1080/09613210902904221>
- Romana D', F., Alfano, A., Dell'isola B, M., Ficco, G., Palella, B.I., Riccio, G., 2021. On the measurement of the mean radiant temperature by means of globes: An experimental investigation under black enclosure conditions. *Build. Environ.* 193, 107655. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107655>
- Romm, J.J., Browning, W.D., 1998. Greening the Building and the Bottom Line: Increasing Productivity Through Energy-Efficient Design. *Rocky Mt. Inst.* 16.
- Rubin, A.I., Collins, B.L., Tibbott, R.L., 1978. Window blinds as a potential energy saver—a case study. *NBS Build. Sci. Ser.* 112, 89.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b00867>
- Sampaio, C.A.D.P., Terezo, R.F., Júnior, I.V., Silva, L.M.C., Borges, L.K., 2019. HYSTERESIS AND THERMAL INERTIA OF SPHERES OF ALTERNATIVE MATERIALS FOR BLACK GLOBE THERMOMETERS This research was conducted with the objective of evaluating the thermal inertia and hysteresis of the following materials in a wind tunnel : hollow copper sph 4430, 567–572.
- Scarpa, M., Ravagnin, R., Schibuola, L., Tambani, C., 2017. Development and testing of a platform aimed at pervasive monitoring of indoor environment and building energy. *Energy Procedia* 126, 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.155>
- Sekhar, S.C., Gong, N., Tham, K.W., Cheong, K.W., Melikov, A.K., Wyon, D.P., Fanger, P.O., 2005. Findings of personalized ventilation studies in a hot and humid climate. *HVAC R Res.* 11, 603–620. <https://doi.org/10.1080/10789669.2005.10391157>
- Seppänen, O., Fisk, W.J., 2002. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air* 12, 98–112. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2002.01111.x>
- Seppanen, O.A., Fisk, W.J., Mendell, M.J., 1999. Association of Ventilation Rates and CO2 Concentrations with Health and Other Responses in Commercial and

- Institutional Buildings. *Indoor Air* 9, 226–252. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.00003.x>
- Serghides, D.K., Chatzinikola, C.K., Katafygiotou, M.C., 2015. Comparative studies of the occupants' behaviour in a university building during winter and summer time. *Int. J. Sustain. Energy* 34, 528–551. <https://doi.org/10.1080/14786451.2014.905578>
- Shan, X., Melina, A.N., Yang, E.H., 2018. Impact of indoor environmental quality on students' wellbeing and performance in educational building through life cycle costing perspective. *J. Clean. Prod.* 204, 298–309. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.002>
- Sharpe, L.T., Stockman, A., Jagla, W., Jaägle, H., 2005. A luminous efficiency function, $V^*(\lambda)$, for daylight adaptation. *J. Vis.* 5, 948–968. <https://doi.org/10.1167/5.11.3>
- Shin, S.H., Jo, W.K., 2013. Longitudinal variations in indoor VOC concentrations after moving into new apartments and indoor source characterization. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 3696–3707. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1296-z>
- Singer, B.C., Delp, W.W., 2018. Response of consumer and research grade indoor air quality monitors to residential sources of fine particles. *Indoor Air* 28, 624–639. <https://doi.org/10.1111/ina.12463>
- Sousan, S., Koehler, K., Hallett, L., Peters, T.M., 2017. Evaluation of consumer monitors to measure particulate matter. *J. Aerosol Sci.* 107, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.02.013>
- Standard, I., 2002. ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. *ISO Stand.* 2002, 1–56.
- Standard, I., 1998. ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. *ISO Stand.* 1998, 1–56. <https://doi.org/ISO 7726:2020>
- Szczurek, A., Maciejewska, M., Teuerle, M., Wyłomańska, A., 2015. Method to characterize collective impact of factors on indoor air. *Phys. A Stat. Mech. its Appl.* 420. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.094>
- The U.S. Green Building Council, I., 2019. LEED reference guide for building design and construction, U.S. Green Building Council.
- Tiele, A., Esfahani, S., Covington, J., 2018. Design and development of a low-cost, portable monitoring device for indoor environment quality. *J. Sensors* 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5353816>
- Toftum, J., Melikov, A.K., Tynel, A., Bruzda, M., Fanger, P.O., 2002. Human preference for air movement. *Proc. Roomvent 2002*.
- Turpin, R.S., Ozminowski, R.J., Sharda, C.E., Collins, J.J., Berger, M.L., Billotti, G.M., Baase, C.M., Olson, M.J., Nicholson, S., 2004. Reliability and validity of Stanford Presenteeism Scale. *J. Occup. Environ. Med. Am. Coll. Occup. Environ. Med.* 46, 1123–1133.
- United States Environmental Protection Agency, 2012. The National Ambient Air Quality Standards for Particle Matter: Revised Air Quality Standards for Particle Pollution and Updates to the Air Quality Index (AQI). *Environ. Prot. Agency* 1–5.
- van Bommel, W., van den Beld, G., 2004. Lighting for work: a review of visual and biological effects. *Light. Res. Technol.* 36, 255–266. <https://doi.org/10.1191/1365782804li122oa>
- Wang, Z., Delp, W.W., Singer, B.C., 2020. Performance of low-cost indoor air quality monitors for PM_{2.5} and PM₁₀ from residential sources. *Build. Environ.* 171, 106654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106654>
- Wargocki, P., Mandin, C., Wei, W., 2019. Aldren-Tail index for rating IEQ. *ASHRAE J.* 61, 66–68.

- Wargocki, P., Seppänen, O., 2006. REHVA Guidebook 6: Indoor climate and productivity in offices. REHVA Guideb.
- Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen, G., Fanger, P.O., 2000. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome(SBS) Symptoms and Productivity. *Indoor Air* 222–236.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004222.x>
- Wei, W., Wargocki, P., Zirngibl, J., Bendžalová, J., Mandin, C., 2020. Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy Build.* 209, 109683.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109683>
- WHO, 2010. World Health Organization- WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, WHO Guidelines.
- Wolkoff, P., 2013. Indoor air pollutants in office environments: Assessment of comfort, health, and performance. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216, 371–394.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.08.001>
- Wong, L.T., Mui, K.W., Hui, P.S., 2008. A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices. *Build. Environ.* 43, 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.001>
- Woo, J., 2011. The impact of work environment on mood disorders and suicide: evidence and implications. *Int. J. Disabil.* 7, 185–200.
- World Health Organisation, 2018. Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018).
- Wotton, E., Barkow, B., 1983. An Investigation of the Effects of Windows and Lighting in Offices. *Int. Daylighting Conf.* 405–411.
- Yun, G.Y., Kong, H.J., Kim, H., Kim, J.T., 2012. A field survey of visual comfort and lighting energy consumption in open plan offices. *Energy Build.* 46, 146–151.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.035>
- Zahedi, F., 1986. The Analytic Hierarchy Process—A Survey of the Method and its Applications. *Interfaces (Providence)*. 16, 96–108.
<https://doi.org/10.1287/inte.16.4.96>
- Zamora, M.L., Rice, J., Koehler, K., 2020. One year evaluation of three low-cost PM2.5 monitors. *Atmos. Environ.* 235, 117615.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117615>
- Zhang, Y., Barrett, P., 2012. Factors influencing the occupants' window opening behaviour in a naturally ventilated office building. *Build. Environ.* 50, 125–134.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.018>

9 Списак публикација

Списак научних радова који су објављени и прихваћени за објављивање на основу истраживања у оквиру рада на докторској дисертацији:

у истакнутим међународним часописима категорије M21a:

- **Mujan, I.**, Licina, D., Kljajić, M., Čulić, A., Anđelković, A.S., 2021. Development of indoor environmental quality index using a low-cost monitoring platform. J. Clean. Prod. 312, 127846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127846>
- Demanega, I., **Mujan, I**³¹, Singer, B.C., Anđelković, A.S., Babich, F., Licina, D., 2021. Performance assessment of low-cost environmental monitors and single sensors under variable indoor air quality and thermal conditions. Build. Environ. 187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107415>
- **Mujan, I.**, Anđelković, A.S., Muncan, V., Kljajić, M., Ružić, D., 2019. Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review. J. Clean. Prod. 217, 646-657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.307>

Радови са међународних скупова штампани у целости (M33):

- **Mujan I**, Anđelković A, Muncan V; Indoor Environment Quality and its Impact on Health and Productivity - A Literature Review, 3rd SEE SDEWES Conference 2018, Novi Sad, 2018,
- **Mujan I**, Anđelković A, Muncan V; Indoor Environment Quality and its Impact on Health and Productivity - A Review, SPLITECH 2018, SPLIT, 2018

³¹ Први коаутор рада

10 Кратка биографија

Игор Мујан је рођен 25. маја 1987. године у Новом Саду. Завршио је основну школу “Ђорђе Натошевић” у Новом Саду 2002. године, а затим средњу школу “Гимназија Исидора Секулић” у Новом Саду 2006. године. Исте године уписује основне академске студије Енергетике и процесне технике на Факултету техничких наука у Новом Саду. Завршава трогодишњи програм у октобру 2009. године, а мастер диплому стиче у септембру 2011. године.



Запослен је на Департману за Енергетику и процесну технику – Катедра за топлотну технику Факултета техничких наука у Новом Саду од 2012. године. Држао је вежбе из неколико предмета на основим и мастер студијама: Инжењеринг енергетских система, Мерење и регулисање, Грејање, вентилација и климатизација, Топлотни апарати, Енергетски прегледи, Конструисање у енергетици и процесној техници, Неконвенционални системи грејања и хлађења.

Игор је аутор и коаутор седам радова објављених у међународним часописима на SCI листи. Држао је десет предавања на међународним конференцијама категорије М33. Као истраживач у области топлотне технике учествовао је на кооперативном пројекту Министарства науке образовања и технолошког развоја и Факултета техничких наука. "Енергетски системи у јавним зградама" ТР33058.

Нови Сад, 2021.

Игор Мујан

11 Прилог 1 - Табеларни приказ резултата мерења на осредњих на минутном нивоу - Студија 1

Датум	Време	Температура сувог термометра [°C]	Релативна влажност ваздуха [%]	Температура црног термометра [°C]	MRT	Брзина струјања ваздуха [m/s]	Атмосферски притисак [hPa]	Угљен-диоксид [ppm]	Укупно лакоиспарљива органска једињења (TVOC) [µg/m ³]	Суспендоване честице (PM2,5) [µg/m ³]	Ниво осветљења на радној површини [lux]	Ниво позадинске буке [dB]
06.08.2020.	12:00	26,7	65,1	26,5	26,4	0	1008,00	437,40	0,00	3,40	273,00	48,50
	12:01	26,7	65	26,4	26,3	0	1008,00	440,00	0,00	2,00	273,00	48,40
	12:02	26,7	65,1	26,4	26,4	0	1008,00	439,20	0,00	3,70	273,00	47,80
	12:03	26,7	65,3	26,5	26,4	0	1008,00	443,40	0,00	3,10	273,00	48,20
	12:04	26,6	65,4	26,5	26,5	0	1008,00	462,40	0,00	3,30	273,00	47,60
	12:05	26,6	65,2	26,4	26,4	0	1008,00	453,20	0,00	3,70	273,00	48,00
	12:06	26,6	65,3	26,5	26,5	0	1008,00	452,70	0,00	2,10	273,00	48,10
	12:07	26,6	65,4	26,6	26,5	0	1008,00	448,00	1,00	3,40	273,00	40,90
	12:08	26,6	65,2	26,4	26,4	0	1008,00	447,60	6,60	1,30	273,00	40,60
	12:09	26,6	65,6	26,4	26,3	0	1008,00	523,50	0,00	3,50	273,00	40,20
	12:10	26,6	65,5	26,4	26,3	0	1008,00	512,00	2,60	3,20	273,00	42,50
	12:11	26,6	65,2	26,5	26,5	0	1008,00	452,60	2,30	1,50	273,00	40,20
	12:12	26,6	65,2	26,5	26,5	0	1008,00	447,40	4,20	3,10	273,00	40,70
	12:13	26,6	65,1	26,6	26,6	0	1008,00	438,50	1,00	3,40	273,00	39,60
	12:14	26,6	65,1	26,5	26,4	0,1	1008,00	433,20	4,20	1,50	273,00	40,60
	12:15	26,6	65,1	26,5	26,4	0	1008,00	431,00	3,40	3,00	273,00	40,40
	12:16	26,6	65,1	26,5	26,5	0	1008,00	431,50	5,40	3,10	273,00	41,30
	12:17	26,6	65,1	26,6	26,6	0	1008,00	431,00	1,40	1,00	273,00	40,70
	12:18	26,6	65,1	26,3	26,2	0,1	1008,00	433,40	4,40	3,20	273,00	40,40
	12:19	26,6	65,1	26,6	26,6	0	1008,00	434,20	1,70	1,00	273,00	44,20
	12:20	26,6	65,1	26,5	26,4	0	1008,00	434,50	0,40	2,80	273,00	41,30
	12:21	26,6	65,1	26,5	26,5	0	1008,00	436,20	1,00	2,50	273,00	41,80
	12:22	26,6	65,1	26,4	26,3	0	1008,00	434,20	0,00	1,60	273,00	41,20
	12:23	26,6	65,2	26,4	26,4	0,1	1008,00	434,40	0,30	2,90	273,00	52,20
	12:24	26,6	65,2	26,5	26,5	0	1008,00	449,00	1,80	1,10	273,00	51,30
	12:25	26,6	65,1	26,5	26,5	0	1008,00	441,40	1,20	2,80	273,00	51,50
	12:26	26,6	65,3	26,5	26,5	0,1	1008,00	505,80	3,80	2,40	273,00	51,00
	12:27	26,6	65,1	26,6	26,6	0	1008,00	482,20	1,80	1,20	273,00	51,60
12:28	26,6	65	26,7	26,7	0	1008,00	454,00	1,20	2,70	273,00	51,70	

12:29	26,7	64	26,6	26,6	0	1008,00	444,40	4,20	2,20	273,00	51,90
12:30	26,7	63,1	26,5	26,3	0,1	1008,00	436,40	1,40	0,70	273,00	52,00
12:31	26,7	62,7	26,6	26,6	0,1	1008,00	456,30	4,40	2,30	273,00	51,90
12:32	26,5	62,4	26,4	26,3	0,1	1008,00	427,60	1,70	2,30	273,00	52,30
12:33	26,5	61,8	26,3	26,1	0,1	1008,00	445,20	0,40	0,40	273,00	52,20
12:34	26,5	61,1	26,1	25,8	0,1	1008,00	468,50	1,00	2,00	273,00	52,10
12:35	26,3	60,3	26	25,8	0,1	1008,00	432,80	0,00	0,20	273,00	52,40
12:36	26,3	60,5	25,7	25,5	0	1008,00	419,40	0,30	2,10	273,00	51,90
12:37	26,1	60,4	25,6	25,2	0,1	1008,00	414,20	1,80	2,70	273,00	52,20
12:38	26	60,8	25,2	24,8	0,1	1008,00	419,00	1,20	1,00	273,00	51,90
12:39	25,8	61,1	25,2	24,9	0,1	1008,00	414,80	3,80	2,40	273,00	52,00
12:40	25,6	61,1	25	24,6	0,1	1008,00	411,00	1,80	0,40	273,00	52,00
12:41	25,5	61,4	24,8	24,5	0,1	1008,00	418,80	0,00	2,20	273,00	52,00
12:42	25,4	61,1	24,8	24,3	0,1	1008,00	418,70	1,80	0,40	273,00	52,30
12:43	25,2	61,3	24,5	24,3	0	1008,00	410,20	3,20	2,20	273,00	52,20
12:44	25	61,6	24,4	24	0,1	1008,00	407,20	0,00	1,80	273,00	53,00
12:45	24,9	62	24,4	24	0,2	1008,00	407,70	0,00	0,20	273,00	52,60
12:46	24,8	62,2	24,3	24,1	0,1	1008,00	413,20	0,00	2,10	273,00	52,20
12:47	24,7	62,1	24,3	23,9	0,1	1008,00	416,20	0,00	2,50	273,00	52,50
12:48	24,6	62,2	24	23,7	0,1	1008,00	415,40	0,00	0,80	273,00	52,20
12:49	24,6	62,3	24	23,7	0,1	1008,00	415,80	0,00	2,60	273,00	52,30
12:50	24,5	62,3	23,9	23,3	0,1	1008,00	415,00	0,00	0,40	273,00	52,90
12:51	24,4	62,5	24	23,7	0,1	1008,00	415,20	0,00	2,20	273,00	52,20
12:52	24,4	62,3	23,9	23,7	0	1008,00	418,80	0,00	1,90	273,00	52,30
12:53	24,3	62,3	23,9	23,6	0,1	1008,00	413,30	0,00	0,50	273,00	53,10
12:54	24,2	62,6	23,8	23,5	0,1	1008,00	413,60	0,00	2,10	273,00	53,20
12:55	24,2	62,7	23,7	23,3	0,2	1008,00	418,40	0,00	0,90	273,00	52,30
12:56	24,2	62,4	23,7	23,5	0,1	1008,00	420,70	0,00	2,90	273,00	52,60
12:57	24,2	62,4	23,8	23,6	0,1	1008,00	419,50	0,00	2,60	273,00	52,90
12:58	24,2	62,6	23,8	23,6	0	1008,00	429,00	1,00	2,50	273,00	53,10
12:59	24,1	62,8	23,8	23,7	0	1008,00	431,60	6,60	2,80	273,00	53,10
13:00	23,9	63,1	23,8	23,8	0,1	1008,00	421,40	0,00	2,60	273,00	52,60
13:01	23,8	63,7	23,7	23,7	0	1008,00	416,40	2,60	1,10	273,00	53,00
13:02	23,8	63,7	23,5	23,4	0,1	1008,00	419,70	2,30	2,80	273,00	53,10
13:03	23,7	63,9	23,6	23,6	0	1008,00	418,60	4,20	1,10	273,00	52,60
13:04	23,6	64,5	23,7	23,8	0,1	1008,00	415,20	1,00	2,60	273,00	52,40
13:05	23,4	65,2	23,7	23,9	0,1	1008,00	415,30	4,20	2,40	273,00	52,80
13:06	23,3	65,6	23,6	23,8	0,1	1008,00	420,00	3,40	1,10	273,00	52,90
13:07	23,3	65,7	23,6	23,7	0	1008,00	422,20	5,40	3,10	273,00	52,30
13:08	23,2	66	23,7	24	0,1	1008,00	421,00	1,40	3,10	273,00	53,40
13:09	23,1	66,1	23,5	23,7	0,1	1008,00	419,00	1,00	2,00	273,00	52,70

13:10	23,2	66,2	23,7	23,9	0,1	1008,00	419,20	6,60	3,10	273,00	52,80
13:11	23,3	65,8	23,7	23,8	0,1	1008,00	415,60	0,00	0,80	273,00	53,00
13:12	23,3	65,5	23,6	23,8	0	1008,00	420,70	2,60	3,10	273,00	52,80
13:13	23,3	65,4	23,6	23,8	0,1	1008,00	419,50	4,30	3,60	273,00	53,60
13:14	23,2	65,6	23,5	23,7	0,1	1008,00	429,00	1,00	1,20	273,00	54,10
13:15	23,2	66	23,6	23,8	0	1008,00	431,60	6,60	2,80	273,00	53,90
13:16	23,3	65,9	23,7	23,9	0,1	1008,00	421,40	0,00	1,40	273,00	54,60
13:17	23,2	65,5	23,7	24	0,1	1008,00	416,40	2,60	3,20	273,00	55,30
13:18	23,2	65,3	23,6	23,8	0,1	1008,00	419,70	4,00	3,30	273,00	58,90
13:19	23,1	65,2	23,6	23,8	0,1	1008,00	418,60	1,20	1,40	273,00	62,40
13:20	23,1	65,4	23,6	23,9	0,1	1008,00	415,20	4,20	3,10	273,00	55,60
13:21	23	65,3	23,5	23,7	0,1	1008,00	415,30	1,40	1,80	273,00	54,20
13:22	23	65,4	23,5	23,8	0,1	1008,00	420,00	4,40	3,00	273,00	54,50
13:23	23	65,3	23,4	23,8	0,2	1008,00	422,20	1,70	3,40	273,00	54,30
13:24	22,9	65,3	23,3	23,6	0,1	1008,00	421,00	0,40	1,70	273,00	53,70
13:25	22,9	65,3	23,4	23,6	0,1	1008,00	419,00	1,00	3,20	273,00	54,30
13:26	22,8	65,5	23,3	23,7	0,1	1008,00	413,20	0,00	3,10	273,00	53,90
13:27	22,8	65,7	23,3	23,5	0,1	1008,00	415,00	0,30	1,90	273,00	53,30
13:28	22,7	65,8	23,3	24,1	0,2	1008,00	413,20	1,80	2,90	273,00	52,60
13:29	22,7	65,8	23,4	23,9	0,1	1008,00	414,20	1,20	1,10	273,00	53,00
13:30	22,7	65,6	23,2	23,5	0,1	1008,00	417,60	3,80	2,70	273,00	53,10
13:31	22,7	65,2	23,2	23,5	0,1	1008,00	420,20	1,80	2,80	273,00	53,00
13:32	22,6	65,9	23,2	23,7	0,2	1008,00	416,40	0,00	1,00	273,00	52,30
13:33	22,5	66,7	23,3	23,9	0,2	1008,00	420,70	1,80	2,90	273,00	52,80
13:34	22,5	67,4	23	23,4	0,1	1008,00	419,50	1,40	2,70	273,00	53,20
13:35	22,5	68,4	23,2	23,4	0,1	1008,00	429,00	4,40	0,90	273,00	52,50
13:36	22,6	69	23,3	23,5	0	1008,00	431,60	1,70	2,90	273,00	52,10
13:37	22,7	69,9	23,4	23,7	0,1	1008,00	421,40	1,70	1,10	273,00	52,40
13:38	22,8	70,5	23,5	23,8	0	1008,00	416,40	0,40	3,00	517,20	52,90
13:39	22,9	70,9	23,7	24,2	0,1	1008,00	419,70	1,00	2,60	535,20	52,70
13:40	23	71,4	23,7	24,3	0,1	1008,00	418,60	1,40	0,90	549,70	53,20
13:41	23,1	71,3	24	24,7	0,1	1008,00	415,20	4,40	2,60	535,80	51,90
13:42	23,3	71	24,1	24,6	0,1	1008,00	415,30	1,70	2,40	511,20	52,50
13:43	23,4	70,6	24,4	24,9	0,1	1008,00	420,00	0,40	0,40	534,20	52,30
13:44	23,5	70,6	24,5	24,8	0	1008,00	420,70	1,00	2,00	535,70	53,90
13:45	23,6	70,2	24,7	25	0	1008,00	419,50	0,00	1,90	535,30	53,80
13:46	23,7	69,7	24,8	25	0	1008,00	429,00	0,30	0,40	500,20	54,40
13:47	23,8	69,3	24,9	25,2	0	1008,00	431,60	1,80	2,30	481,00	52,60
13:48	23,9	69	24,9	25,2	0	1008,00	421,40	1,20	0,80	493,40	52,20
13:49	24	68,7	25,1	25,5	0	1008,00	416,40	3,80	2,10	487,00	53,10
13:50	24,1	68,1	25,1	25,5	0,1	1008,00	419,70	2,00	2,20	477,70	53,30

13:51	24,1	67,2	25,1	25,7	0,1	1008,00	418,60	2,80	0,40	473,10	53,00
13:52	24,2	66,4	25,1	25,7	0,1	1008,00	415,20	1,70	1,90	473,00	53,20
13:53	24,2	65,6	25,1	25,7	0,1	1008,00	415,30	0,40	0,40	466,30	52,70
13:54	24,2	64,7	25	25,4	0,1	1008,00	420,70	1,40	1,60	472,60	53,30
13:55	24,1	64,1	24,9	25,4	0,1	1008,00	419,50	6,00	2,10	485,30	53,10
13:56	24,1	63,3	24,5	24,9	0,1	1008,00	429,00	0,00	0,90	486,00	53,10
13:57	23,9	63,3	24,5	25	0,2	1008,00	431,60	0,00	1,80	493,20	52,50
13:58	23,9	63,4	24,4	24,6	0,1	1008,00	421,40	1,40	1,70	489,60	53,10
13:59	24	62,7	24,3	24,5	0,1	1008,00	416,40	4,40	0,30	488,30	53,10
14:00	24	62,2	24	24	0	1008,00	419,70	1,70	1,60	484,50	52,80
14:01	23,9	61,8	23,9	24	0,1	1008,00	418,60	0,40	1,60	482,40	53,00
14:02	23,8	62,1	23,7	23,7	0	1008,00	420,70	1,40	0,20	476,60	53,40
14:03	23,7	62,2	23,8	23,8	0,1	1008,00	419,50	4,40	2,40	481,40	54,30
14:04	23,6	62,1	23,6	23,6	0	1008,00	429,00	1,70	0,00	484,60	53,30
14:05	23,6	61,8	23,6	23,6	0	1008,00	431,60	0,40	1,60	489,40	53,10
14:06	23,7	61,2	23,5	23,5	0,1	1008,00	421,40	2,00	1,80	500,30	53,40
14:07	23,6	61,1	23,4	23,3	0,1	1008,00	416,40	1,70	0,30	505,20	54,10
14:08	23,5	61,4	23,2	23,1	0,1	1008,00	419,70	0,40	1,40	510,20	52,90
14:09	23,4	61,3	23,3	23,1	0,1	1008,00	418,60	1,40	1,60	512,20	52,60
14:10	23,4	61,3	23,4	23,3	0,1	1008,00	415,20	1,70	0,60	518,20	53,60
14:11	23,3	61,2	23,2	23,2	0,1	1008,00	415,30	0,40	1,80	515,90	54,50
14:12	23,1	61,1	23,2	23,2	0,2	1008,00	420,00	1,40	0,60	522,50	54,30
14:13	22,9	61,6	23	23,2	0,2	1008,00	422,20	0,00	1,90	522,40	53,20
14:14	22,8	61,9	22,9	23	0,2	1008,00	421,00	0,00	2,00	519,40	52,90
14:15	22,7	62	22,7	22,7	0,1	1008,00	419,00	0,00	2,00	516,90	54,20

12 Прилог 2 - Табеларни приказ резултата мерења на осредњих на минутном нивоу - Студија 2

Датум	Време	Температура сувог термометра [°C]	Релативна влажност ваздуха [%]	Температура црног термометра [°C]	MRT	Брзина струјања ваздуха [m/s]	Атмосферски притисак [hPa]	Угљен-диоксид [ppm]	Укупно лакоиспарљива органска једињења (TVOC) [µg/m ³]	Суспендоване честице (PM2,5) [µg/m ³]	Ниво осветљења на радној површини [lux]	Ниво позадинске буке [dB]
26.08.2020.	11:45	23,3	54,5	24,1	24,9	0,2	1007,0	1112,4	2,4	2,9	263,6	53,4
	11:46	23,3	54,7	24,2	25,0	0,2	1007,0	1115,8	2,5	3,2	265,4	53,4
	11:47	23,3	54,8	24,2	24,7	0,1	1007,0	1122,0	6,2	3,1	268,1	53,5
	11:48	23,3	54,9	24,2	24,8	0,1	1007,0	1132,8	4,6	3,2	269,3	55,3
	11:49	23,4	54,6	24,5	25,1	0,1	1007,0	1153,8	6,8	3,2	272,5	50,7
	11:50	23,4	54,4	24,4	25,0	0,1	1007,0	1151,0	4,5	7,9	272,7	54,4
	11:51	23,5	53,9	24,4	24,9	0,1	1007,0	1148,8	3,6	19,2	276,9	54,7
	11:52	23,5	53,7	24,4	25,1	0,1	1007,0	1149,0	4,8	7,7	278,0	54,3
	11:53	23,5	53,7	24,3	24,7	0,1	1007,0	1153,4	3,0	3,9	279,4	51,7
	11:54	23,5	53,6	24,3	24,7	0,1	1007,0	1154,5	5,2	3,5	281,9	50,8
	11:55	23,5	53,7	24,4	24,9	0,1	1007,0	1157,4	6,4	3,4	283,3	50,4
	11:56	23,5	53,5	24,4	25,1	0,2	1007,0	1157,8	3,8	3,4	286,6	50,4
	11:57	23,5	53,3	24,3	25,2	0,2	1007,0	1158,6	2,4	8,6	287,5	54,3
	11:58	23,5	53,2	24,3	24,8	0,1	1007,0	1155,7	2,0	6,0	289,2	50,7
	11:59	23,5	53,5	24,4	25,1	0,2	1007,0	1150,8	1,8	8,5	290,9	51,1
	12:00	23,6	53,4	24,4	25,1	0,2	1007,0	1150,4	0,6	9,0	292,4	51,8
	12:01	23,6	53,2	24,4	25,2	0,2	1007,0	1150,8	4,3	3,5	296,2	52,4
	12:02	23,6	53,3	24,4	24,9	0,1	1007,0	1157,4	3,2	3,4	298,2	55,3
	12:03	23,6	53,4	24,4	25,1	0,1	1007,0	1163,0	3,0	3,1	300,6	50,4
	12:04	23,6	53,6	24,2	24,5	0,1	1007,0	1163,2	1,2	9,5	303,3	50,3
	12:05	23,5	53,9	24,4	25,2	0,1	1007,0	1169,5	5,2	9,4	307,3	50,9
	12:06	23,5	53,8	24,5	25,2	0,1	1007,0	1172,8	7,8	3,8	310,1	49,6
	12:07	23,5	53,8	24,4	25,0	0,1	1007,0	1176,0	5,2	3,1	313,3	51,6
	12:08	23,6	53,8	24,6	25,4	0,2	1007,0	1175,0	14,7	3,7	286,0	51,5
12:09	23,6	53,9	24,5	25,3	0,1	1007,0	1175,8	19,6	3,5	252,7	50,3	
12:10	23,6	53,9	24,6	25,7	0,2	1007,0	1179,0	21,8	3,2	251,0	55,1	
12:11	23,5	54,0	24,4	25,3	0,2	1007,0	1177,0	17,8	7,5	259,4	55,9	
12:12	23,5	54,3	24,5	25,6	0,2	1007,0	1175,2	18,2	5,4	261,3	52,7	
12:13	23,4	54,7	24,5	25,5	0,2	1007,0	1178,6	12,0	4,8	262,7	52,6	
12:14	23,4	54,8	24,3	25,0	0,1	1007,0	1179,8	13,8	3,1	265,8	52,2	

12:15	23,4	54,6	24,4	25,4	0,2	1007,0	1182,0	11,2	3,0	273,2	50,5
12:16	23,3	54,7	24,5	25,8	0,3	1007,0	1178,5	6,7	2,8	271,1	51,5
12:17	23,3	54,8	24,3	25,4	0,2	1007,0	1181,2	3,2	3,3	269,9	50,0
12:18	23,3	54,6	24,2	25,2	0,2	1007,0	1186,4	2,0	4,2	272,5	50,8
12:19	23,2	54,8	24,3	25,1	0,1	1007,0	1180,2	2,0	5,8	275,9	49,1
12:20	23,2	54,8	24,4	25,7	0,2	1007,0	1183,2	2,4	6,0	278,8	53,0
12:21	23,1	54,8	24,4	25,9	0,2	1007,0	1189,6	1,8	4,9	281,7	53,7
12:22	23,1	54,8	24,3	25,3	0,2	1007,0	1193,4	1,4	3,1	284,4	51,7
12:23	23,1	54,9	24,4	26,0	0,2	1007,0	1195,2	2,8	3,2	291,1	52,0
12:24	23,1	55,3	24,5	25,7	0,1	1007,0	1199,4	5,0	2,9	298,5	53,6
12:25	23,0	55,3	24,5	26,0	0,2	1007,0	1210,6	1,8	3,0	241,4	51,5
12:26	23,0	55,2	24,5	26,0	0,2	1007,0	1213,5	1,3	6,5	243,7	53,6
12:27	23,0	55,5	24,6	25,9	0,2	1007,0	1217,0	4,4	8,8	247,1	51,3
12:28	23,0	55,5	24,4	25,3	0,1	1007,0	1218,2	3,8	3,2	230,3	52,0
12:29	23,0	55,7	24,6	26,1	0,2	1007,0	1222,6	7,8	2,9	229,5	53,7
12:30	23,1	55,7	24,7	25,6	0,1	1007,0	1229,0	8,7	3,0	233,4	60,2
12:31	23,1	55,7	24,7	25,4	0,1	1007,0	1236,8	9,8	2,6	231,8	67,7
12:32	23,2	55,5	24,9	25,5	0,1	1006,8	1241,4	12,0	2,9	238,2	69,1
12:33	23,3	55,3	24,9	25,9	0,1	1007,0	1245,2	11,6	2,9	233,6	66,3
12:34	23,4	55,0	25,0	26,2	0,1	1007,0	1255,8	8,8	4,0	228,2	63,3
12:35	23,5	55,0	25,0	26,2	0,1	1007,0	1258,6	10,8	3,3	233,1	68,2
12:36	23,6	54,9	25,1	26,0	0,1	1007,0	1262,6	10,2	3,5	235,4	63,2
12:37	23,7	54,7	25,0	25,7	0,1	1007,0	1265,2	12,2	2,9	237,0	56,1
12:38	23,8	54,4	25,1	25,6	0,0	1007,0	1254,6	13,6	3,2	234,5	59,3
12:39	23,9	54,2	25,1	25,6	0,0	1007,0	1243,2	12,4	3,1	228,5	64,2
12:40	24,0	53,9	25,5	25,9	0,0	1007,0	1245,8	12,2	2,8	230,0	64,2
12:41	24,1	53,5	25,3	26,2	0,1	1006,8	1246,5	14,2	3,2	239,4	64,0
12:42	24,1	52,9	25,3	25,7	0,0	1007,0	1236,8	9,0	2,9	231,5	69,1
12:43	24,2	52,9	25,3	26,0	0,1	1006,6	1229,2	9,0	3,0	313,3	59,0
12:44	24,2	52,7	25,2	25,9	0,1	1006,8	1234,8	6,7	3,4	286,0	49,3
12:45	24,2	52,6	25,3	26,0	0,1	1006,6	1246,2	3,8	4,1	252,7	50,0
12:46	24,2	52,3	25,2	25,9	0,1	1007,0	1253,4	1,6	6,4	251,0	53,1
12:47	24,2	52,6	25,1	25,4	0,0	1007,0	1258,2	0,2	3,7	259,4	49,7
12:48	24,2	52,5	25,3	25,9	0,1	1006,7	1259,5	1,7	3,3	261,3	48,3
12:49	24,2	52,4	25,4	26,1	0,1	1007,0	1264,6	0,0	3,9	262,7	49,8
12:50	24,1	52,7	25,2	25,9	0,1	1007,0	1267,0	1,2	3,4	265,8	49,6
12:51	24,1	52,6	25,3	26,1	0,1	1006,4	1271,6	2,4	6,3	273,2	52,0
12:52	24,1	53,0	25,3	25,8	0,1	1006,5	1271,3	6,7	6,5	271,1	49,9
12:53	24,1	52,9	25,3	26,2	0,1	1006,0	1271,4	5,2	5,1	269,9	51,8
12:54	24,1	53,0	25,3	26,3	0,2	1006,6	1272,2	1,6	5,2	272,5	54,1
12:55	24,1	53,0	25,4	25,9	0,1	1007,0	1272,0	5,5	3,6	275,9	54,0
12:56	24,1	52,9	25,4	25,9	0,1	1007,0	1268,0	0,4	4,0	278,8	52,1

12:57	24,1	52,9	25,3	26,2	0,1	1007,0	1267,0	1,8	3,5	281,7	50,4
12:58	24,1	53,1	25,3	26,2	0,1	1007,0	1269,6	2,4	3,4	284,4	49,0
12:59	24,1	53,2	25,3	26,0	0,1	1007,0	1271,0	1,0	3,2	291,1	52,0
13:00	24,1	53,5	25,3	26,0	0,1	1007,0	1275,4	1,8	2,8	298,5	51,8
13:01	24,1	53,6	25,3	26,0	0,1	1006,8	1276,4	2,6	2,9	241,4	51,7
13:02	24,1	53,5	25,3	26,1	0,1	1006,8	1276,6	5,0	2,6	243,7	52,5
13:03	24,2	53,4	25,3	26,1	0,1	1006,7	1275,0	2,0	2,9	247,1	50,7
13:04	24,3	53,2	25,5	26,5	0,1	1006,4	1284,2	2,4	2,8	230,3	51,5
13:05	24,3	53,1	25,5	26,3	0,1	1006,2	1303,6	2,6	3,1	229,5	49,6
13:06	24,4	52,7	25,5	26,4	0,1	1006,0	1308,2	1,7	2,9	233,4	50,0
13:07	24,4	52,4	25,7	26,5	0,1	1006,0	1296,2	3,2	3,2	231,8	48,2
13:08	24,5	52,3	25,7	26,5	0,1	1006,0	1293,2	2,6	3,2	238,2	49,0
13:09	24,5	52,2	25,8	26,6	0,1	1006,0	1291,6	1,6	2,9	233,6	50,6
13:10	24,5	51,9	25,8	26,5	0,1	1006,0	1291,2	1,7	3,0	228,2	50,3
13:11	24,5	52,0	25,8	26,5	0,1	1006,0	1292,4	7,6	6,1	233,1	52,7
13:12	24,5	51,7	25,8	26,6	0,1	1006,0	1291,4	5,6	3,3	235,4	53,3
13:13	24,6	51,6	25,9	26,6	0,1	1006,0	1297,8	7,8	2,6	355,0	53,8
13:14	24,7	51,4	25,8	26,5	0,1	1006,0	1302,8	6,8	3,1	355,0	51,5
13:15	24,7	51,2	26,0	27,0	0,2	1006,0	1301,0	8,4	2,6	360,5	50,1
13:16	24,8	51,5	25,9	26,7	0,1	1006,0	1295,8	13,0	2,7	367,9	48,8
13:17	24,8	51,3	26,1	27,0	0,1	1006,0	1319,3	12,3	3,8	373,9	55,5
13:18	24,9	51,1	26,1	26,8	0,1	1006,0	1327,0	14,0	3,9	379,2	50,2
13:19	24,9	51,1	26,1	27,3	0,2	1006,0	1327,2	13,6	3,0	385,2	51,1
13:20	25,0	50,8	26,2	27,5	0,2	1006,0	1326,2	13,6	2,8	384,0	54,7
13:21	25,0	51,1	26,2	27,0	0,1	1006,0	1322,3	12,3	8,0	357,0	51,8
13:22	25,0	51,1	26,3	27,3	0,1	1006,0	1316,7	20,5	25,2	375,5	49,8
13:23	25,1	50,8	26,2	26,9	0,1	1006,0	1314,6	17,4	5,5	393,1	52,1
13:24	25,1	50,9	26,2	27,1	0,2	1006,0	1317,3	17,5	3,4	383,2	51,1
13:25	25,1	51,0	26,2	27,1	0,2	1006,0	1312,0	19,4	3,5	381,1	53,3
13:26	25,2	51,0	26,5	27,1	0,1	1006,0	1309,4	19,4	3,5	337,5	49,4
13:27	25,2	50,8	26,4	27,2	0,1	1006,0	1310,4	18,6	3,5	331,0	54,6
13:28	25,3	50,5	26,6	27,2	0,1	1006,0	1307,8	18,8	3,1	365,6	56,2
13:29	25,3	50,3	26,6	27,5	0,1	1006,0	1292,8	20,8	3,3	304,2	67,3
13:30	25,4	50,6	26,5	27,3	0,1	1006,0	1298,0	24,6	3,5	288,4	59,5
13:31	25,5	50,6	26,5	27,3	0,1	1006,0	1337,8	22,5	3,5	335,1	59,8
13:32	25,5	50,1	26,6	27,4	0,2	1006,0	1359,2	21,0	3,5	361,2	63,8
13:33	25,6	49,8	26,6	27,2	0,1	1006,0	1365,0	17,2	3,5	349,0	55,9
13:34	25,6	49,8	26,6	27,3	0,1	1006,0	1362,0	17,6	3,3	415,0	52,3
13:35	25,6	49,5	26,6	27,2	0,1	1006,0	1353,5	14,3	3,6	290,4	54,1
13:36	25,6	49,2	26,6	27,5	0,1	1006,0	1337,8	15,0	3,9	336,4	52,1
13:37	25,6	49,4	26,6	27,1	0,1	1006,0	1322,8	14,6	4,0	336,0	53,0
13:38	25,6	49,1	26,6	27,2	0,1	1006,0	1319,0	13,8	3,9	249,5	54,5

13:39	25,7	49,4	26,6	27,2	0,1	1006,0	1319,8	31,0	4,0	171,6	53,5
13:40	25,7	49,5	26,4	26,8	0,1	1006,0	1366,8	35,4	3,8	264,1	52,2
13:41	25,7	49,5	26,6	27,2	0,1	1006,0	1383,2	28,6	4,3	313,2	54,7
13:42	25,7	49,9	26,6	27,2	0,1	1006,0	1374,7	30,7	3,9	345,3	53,1
13:43	25,7	49,8	26,7	27,5	0,2	1006,0	1365,6	35,6	4,1	374,9	54,6
13:44	25,8	49,5	26,6	27,4	0,2	1006,0	1356,8	32,4	4,3	315,9	50,0
13:45	25,8	49,9	26,8	27,5	0,1	1006,0	1354,0	35,4	4,1	314,3	63,3
13:46	25,8	50,0	26,7	27,4	0,1	1006,0	1362,5	35,7	4,5	292,9	56,6
13:47	25,8	49,7	26,9	27,7	0,2	1006,0	1357,4	31,8	4,1	279,8	52,7
13:48	25,8	49,9	26,9	27,6	0,1	1006,0	1347,8	35,2	4,3	298,8	50,4
13:49	25,9	50,0	26,9	27,8	0,1	1006,0	1340,0	32,2	4,7	305,5	51,0
13:50	25,9	50,0	26,9	27,6	0,1	1006,0	1333,6	33,8	4,3	255,6	50,7
13:51	25,9	49,8	26,9	27,4	0,1	1006,0	1329,4	32,4	4,4	209,0	48,8
13:52	26,0	49,5	27,0	27,5	0,1	1006,0	1322,2	33,2	4,1	235,7	50,2
13:53	26,0	49,4	26,9	27,6	0,2	1006,0	1316,7	29,3	4,4	283,2	49,8
13:54	26,0	49,2	26,8	27,5	0,1	1006,0	1321,4	30,2	3,8	321,4	52,2
13:55	26,0	49,1	27,0	27,7	0,1	1006,0	1320,6	25,4	4,5	358,4	55,7
13:56	26,0	48,9	27,1	27,8	0,1	1006,0	1316,8	32,8	4,7	379,4	54,4
13:57	26,0	48,8	27,1	28,0	0,1	1006,0	1306,8	34,3	4,9	382,0	54,1
13:58	26,0	48,8	26,9	27,8	0,2	1006,0	1298,2	33,2	6,8	391,4	50,1
13:59	26,0	48,7	27,0	27,8	0,1	1006,0	1295,0	34,4	6,1	435,9	48,6
14:00	26,0	48,7	27,1	28,0	0,2	1006,0	1292,8	38,5	4,6	409,1	49,7
14:01	26,0	48,7	27,1	27,9	0,1	1006,0	1294,8	39,4	4,4	358,8	49,5
14:02	26,1	48,7	27,2	27,9	0,1	1006,0	1302,6	41,4	7,1	308,3	49,2
14:03	26,1	48,4	27,2	28,1	0,2	1006,0	1302,0	41,8	5,8	322,5	50,8
14:04	26,1	48,4	27,1	27,9	0,1	1006,0	1303,5	39,7	4,6	393,6	49,0
14:05	26,1	48,3	27,1	27,8	0,1	1006,0	1302,8	42,0	4,2	468,4	50,4
14:06	26,1	48,8	27,2	27,9	0,1	1006,0	1307,2	49,2	5,5	468,5	50,1
14:07	26,1	48,9	27,4	28,1	0,1	1006,0	1316,5	50,7	5,6	468,3	50,5
14:08	26,2	48,7	27,4	28,4	0,1	1006,0	1321,6	50,4	4,4	465,6	50,6
14:09	26,2	48,7	27,6	28,9	0,2	1006,0	1323,4	51,2	4,8	461,5	48,8
14:10	26,2	48,6	27,6	29,1	0,2	1006,0	1320,2	53,2	4,5	460,6	50,0
14:11	26,3	48,7	27,5	28,7	0,2	1006,0	1316,3	56,0	5,4	460,2	51,7
14:12	26,3	48,7	27,6	28,6	0,2	1006,0	1321,4	58,2	4,8	448,2	51,4
14:13	26,4	48,7	27,6	28,7	0,2	1006,0	1322,8	60,0	4,4	462,7	51,4
14:14	26,4	48,5	27,7	28,9	0,2	1006,0	1317,8	58,2	4,5	464,5	53,0
14:15	26,5	48,2	27,8	29,0	0,2	1006,0	1305,6	58,4	4,8	501,4	50,5
14:16	26,6	48,0	27,9	28,8	0,1	1006,0	1283,2	59,8	4,6	512,2	52,5
14:17	26,7	47,7	28,0	28,7	0,1	1006,0	1275,6	58,2	4,6	489,1	51,7
14:18	26,7	47,6	28,1	29,4	0,2	1006,0	1270,2	55,3	4,3	494,2	54,2
14:19	26,8	47,6	28,0	28,5	0,1	1006,0	1270,8	56,6	4,6	496,2	48,7
14:20	26,9	47,1	28,0	28,9	0,2	1006,0	1268,2	52,8	4,7	496,9	49,9

14:21	27,0	46,9	28,1	28,8	0,1	1005,4	1268,4	55,4	4,2	505,9	53,0
14:22	27,0	46,3	28,0	28,7	0,1	1006,0	1267,5	50,0	4,2	515,0	55,6
14:23	27,1	46,2	28,2	28,8	0,1	1006,0	1260,2	49,0	4,3	489,8	55,1
14:24	27,1	46,0	28,0	28,6	0,1	1005,8	1234,8	51,8	4,2	493,6	49,0
14:25	27,1	46,1	28,1	28,8	0,1	1005,2	1233,2	52,6	4,1	471,7	51,8
14:26	27,2	46,1	28,3	28,8	0,1	1005,6	1250,0	52,0	4,3	425,9	59,8
14:27	27,2	46,1	28,2	28,8	0,1	1005,4	1239,8	55,4	4,0	407,2	51,7
14:28	27,2	46,1	28,3	29,1	0,1	1005,0	1255,8	56,6	3,8	453,9	50,2
14:29	27,3	46,2	28,3	29,3	0,2	1005,0	1251,5	57,2	4,3	513,6	50,3
14:30	27,3	46,1	28,4	29,4	0,2	1005,0	1254,2	52,2	4,5	514,9	50,0
14:31	27,3	46,1	28,5	29,4	0,2	1005,0	1261,6	54,4	4,3	511,2	49,1
14:32	27,3	46,3	28,5	29,4	0,1	1005,0	1269,2	55,6	4,5	499,9	48,9
14:33	27,4	46,4	28,7	29,7	0,1	1005,0	1270,8	57,0	5,2	494,3	51,4
14:34	27,4	46,4	28,6	29,8	0,2	1005,0	1268,6	63,6	4,3	492,3	52,8
14:35	27,4	46,0	28,8	30,0	0,2	1005,2	1266,4	62,8	4,6	492,8	54,9
14:36	27,5	46,0	28,6	29,6	0,2	1005,7	1263,0	66,3	4,5	503,0	57,5
14:37	27,4	46,4	28,6	29,5	0,1	1005,2	1262,4	70,2	4,0	503,1	50,3
14:38	27,5	46,3	28,7	29,7	0,2	1005,0	1277,8	72,0	3,8	477,9	48,9
14:39	27,5	46,3	28,7	29,3	0,1	1005,2	1265,4	73,2	4,2	501,9	52,3
14:40	27,6	45,9	28,6	29,3	0,1	1005,0	1256,3	71,8	5,0	522,8	55,6
14:41	27,7	45,7	28,8	29,5	0,1	1005,0	1257,6	72,4	4,5	535,0	56,5
14:42	27,7	45,6	28,7	29,3	0,1	1005,0	1246,6	93,2	4,8	541,1	56,6
14:43	27,8	45,4	29,0	29,4	0,0	1005,0	1228,5	115,0	4,7	440,5	51,7
14:44	27,9	44,9	28,9	29,3	0,0	1005,0	1214,6	107,8	4,7	251,0	54,5
14:45	28,0	44,8	28,9	29,3	0,1	1005,0	1207,8	105,4	4,4	259,4	50,6
14:46	28,0	44,5	28,8	29,4	0,2	1005,0	1211,2	102,6	4,3	261,3	52,4
14:47	28,0	44,2	28,6	28,9	0,1	1005,0	1211,7	99,5	4,6	262,7	51,8
14:48	28,1	44,1	28,4	28,5	0,0	1005,0	1205,6	94,4	4,4	265,8	51,0
14:49	28,1	43,6	28,4	28,6	0,1	1005,0	1207,8	93,8	4,3	273,2	56,1
14:50	28,2	43,0	28,2	28,2	0,2	1005,0	1214,2	88,2	4,4	271,1	53,7
14:51	28,2	43,4	28,1	28,1	0,0	1005,0	1212,5	86,5	4,5	269,9	51,3
14:52	28,2	43,4	28,1	28,1	0,1	1005,0	1208,0	83,2	4,9	272,5	52,6
14:53	28,2	43,1	28,1	28,0	0,1	1005,0	1208,4	82,2	3,8	275,9	50,6
14:54	28,2	43,2	28,1	28,0	0,1	1005,0	1204,7	83,8	4,3	278,8	50,8
14:55	28,2	42,7	28,1	27,9	0,2	1005,0	1204,4	75,2	4,2	281,7	52,5
14:56	28,3	42,7	27,8	27,5	0,1	1005,0	1202,0	76,0	4,2	284,4	49,7
14:57	28,3	42,9	27,8	27,6	0,0	1005,0	1197,2	70,8	3,8	291,1	50,8
14:58	28,2	43,2	27,7	27,6	0,0	1005,0	1187,8	73,8	4,1	278,8	50,2
14:59	28,2	43,3	27,7	27,6	0,0	1005,0	1180,6	72,4	3,8	281,7	50,2
15:00	28,2	43,3	27,8	27,6	0,1	1005,0	1176,0	72,0	3,8	284,4	49,8
15:01	28,2	43,2	27,8	27,7	0,0	1005,0	1181,6	70,0	3,9	291,1	49,0
15:02	28,2	43,4	27,9	27,9	0,0	1005,0	1183,5	71,5	3,8	269,9	50,2

13 Прилог 3 - Табеларни приказ резултата мерења на осредњих на минутном нивоу - Студија 3

Датум	Време	Температура сувог термометра [°C]	Релативна влажност ваздуха [%]	Температура црног термометра [°C]	MRT	Брзина струјања ваздуха [m/s]	Атмосферски притисак [hPa]	Угљен-диоксид [ppm]	Укупно лакоиспарљива органска једињења (TVOC) [µg/m³]	Суспендоване честице (PM2.5) [µg/m³]	Ниво осветљења на радној површини [lux]	Ниво позадинске буке [dB]
09.09.2020.	17:00	26,0	54,8	26,9	27,3	0,1	991,0	633,6	3,2	5,3	342,1	50,9
	17:01	26,1	54,6	27,0	27,6	0,2	991,0	636,2	1,0	5,2	341,8	57,4
	17:02	26,2	54,6	26,8	27,0	0,0	991,0	644,0	2,2	5,3	342,2	51,5
	17:03	26,2	54,3	26,9	27,2	0,1	991,0	645,8	2,4	5,4	342,4	52,2
	17:04	26,2	54,1	26,9	27,1	0,0	991,0	646,0	2,4	4,9	342,3	53,8
	17:05	26,3	53,6	27,0	27,3	0,1	991,0	643,0	1,4	5,1	342,5	56,0
	17:06	26,3	53,9	27,0	27,2	0,0	991,0	651,6	1,4	4,3	342,7	51,5
	17:07	26,4	53,4	27,1	27,3	0,0	991,0	669,0	1,7	4,6	342,9	54,5
	17:08	26,5	53,1	27,2	27,5	0,1	991,0	665,0	0,4	5,0	342,4	51,4
	17:09	26,5	52,9	27,0	27,2	0,1	991,0	671,0	1,0	4,8	341,9	51,6
	17:10	26,6	52,7	27,0	27,1	0,0	991,0	679,2	0,0	4,8	342,2	52,0
	17:11	26,6	52,4	27,1	27,6	0,2	991,0	683,0	0,3	4,4	342,0	51,5
	17:12	26,7	52,0	27,0	27,1	0,1	991,0	680,2	1,8	4,7	343,0	46,6
	17:13	26,7	51,9	27,0	27,1	0,1	991,0	679,6	1,2	4,0	342,6	48,2
	17:14	26,8	51,6	26,9	27,0	0,1	991,0	668,7	1,8	4,3	343,3	44,7
	17:15	26,8	51,2	26,9	27,0	0,1	991,0	662,8	1,8	4,1	342,9	50,9
	17:16	26,8	51,1	27,0	27,0	0,1	991,0	661,4	1,2	3,9	342,6	52,4
	17:17	26,9	50,9	26,9	26,9	0,1	991,0	659,0	1,2	4,3	343,3	45,3
	17:18	26,9	50,9	26,9	27,0	0,1	991,0	660,4	1,4	3,9	343,7	46,6
	17:19	26,9	50,6	26,9	26,8	0,1	990,4	658,8	4,4	3,9	343,5	44,6
	17:20	26,9	50,7	26,9	26,9	0,1	991,0	656,8	1,7	4,3	343,3	48,5
	17:21	26,9	50,5	26,9	26,9	0,1	990,3	660,0	0,4	4,0	343,3	43,4
	17:22	26,9	50,8	27,0	27,1	0,1	990,2	665,6	1,0	3,9	343,3	45,5
	17:23	26,9	50,7	27,0	27,1	0,0	990,0	668,0	0,0	4,1	343,8	49,7
	17:24	27,0	50,5	27,0	27,1	0,1	990,0	662,8	0,3	4,0	343,1	46,7
	17:25	27,0	50,3	27,0	27,0	0,1	990,0	657,2	1,8	4,1	343,2	47,0
	17:26	27,0	50,2	27,0	27,0	0,1	990,0	658,8	1,2	4,0	342,9	44,8
	17:27	27,0	50,0	26,8	26,6	0,2	990,0	664,2	1,8	4,1	343,2	44,7
17:28	27,1	49,9	26,9	26,8	0,1	990,0	662,0	1,8	4,1	343,5	46,6	

17:29	27,1	49,7	26,7	26,2	0,2	990,0	656,6	0,0	3,9	343,7	50,7
17:30	27,1	49,7	26,7	26,4	0,1	990,0	658,8	1,8	3,8	343,7	51,1
17:31	27,1	49,4	26,7	26,5	0,1	990,0	657,2	1,2	4,3	343,4	44,5
17:32	27,0	49,6	26,8	26,7	0,1	990,0	650,8	0,4	3,8	344,1	47,6
17:33	27,0	49,4	26,7	26,5	0,2	990,0	649,8	1,0	3,9	343,8	46,7
17:34	27,0	49,5	26,8	26,7	0,1	990,0	646,2	0,0	4,1	343,7	48,3
17:35	27,0	49,7	26,7	26,5	0,2	990,0	645,5	0,3	4,5	343,0	45,9
17:36	26,9	49,7	26,7	26,6	0,2	990,0	644,0	1,8	3,9	343,2	50,0
17:37	26,9	49,5	26,9	26,9	0,1	990,0	641,2	1,2	4,3	343,1	49,1
17:38	26,9	49,5	26,6	26,4	0,1	990,0	637,8	1,8	4,1	343,8	47,7
17:39	26,9	49,6	26,7	26,6	0,1	990,0	636,2	1,8	4,3	343,9	45,8
17:40	26,9	49,8	26,7	26,6	0,0	990,0	636,8	1,2	4,2	342,8	49,2
17:41	26,9	49,7	26,8	26,7	0,1	990,0	635,6	1,0	4,9	342,5	48,2
17:42	26,9	49,9	26,6	26,4	0,1	990,0	636,2	0,0	4,2	343,2	47,0
17:43	26,9	49,9	26,8	26,8	0,1	990,0	639,2	0,3	4,0	343,6	44,9
17:44	26,8	49,9	26,7	26,6	0,1	990,0	637,6	1,8	4,3	343,9	46,3
17:45	26,8	50,0	26,9	26,9	0,0	990,0	638,0	1,2	4,4	343,8	45,6
17:46	26,8	50,1	26,8	26,8	0,1	990,0	639,0	3,8	4,2	344,3	46,5
17:47	26,8	50,2	26,9	27,0	0,1	990,0	639,2	1,8	4,3	343,9	49,1
17:48	26,8	50,1	26,8	26,7	0,1	990,0	640,2	1,2	4,4	344,0	50,1
17:49	26,8	50,3	26,8	26,8	0,0	990,0	640,4	4,2	4,5	344,3	44,2
17:50	26,9	50,2	26,8	26,8	0,1	990,0	636,2	1,4	4,5	343,7	46,9
17:51	26,9	50,1	26,8	26,8	0,1	990,0	633,0	4,4	4,4	343,1	46,2
17:52	26,9	50,1	26,9	26,8	0,1	990,0	630,0	1,7	4,1	344,1	46,3
17:53	26,9	50,1	26,9	26,8	0,1	990,0	630,2	0,4	4,2	343,2	49,5
17:54	26,9	50,1	26,8	26,8	0,0	990,0	626,8	0,4	4,2	343,3	46,0
17:55	27,0	50,1	26,8	26,7	0,1	990,0	627,0	1,0	4,5	343,1	52,4
17:56	27,0	50,2	26,8	26,8	0,0	990,0	625,6	0,0	4,6	343,1	48,5
17:57	27,0	50,3	26,8	26,7	0,0	990,0	630,5	0,3	4,7	343,5	48,9
17:58	27,0	50,4	26,8	26,8	0,1	990,0	631,6	1,8	5,0	343,0	49,9
17:59	27,0	50,3	26,9	26,9	0,1	990,0	629,4	1,2	4,6	343,7	49,8
18:00	27,0	50,2	26,9	26,8	0,1	990,0	633,0	3,8	4,4	344,0	46,8
18:01	27,0	50,2	26,7	26,4	0,1	990,0	636,0	1,8	4,6	344,4	49,0
18:02	27,1	50,2	26,8	26,7	0,1	990,0	636,4	1,2	4,5	343,6	46,7
18:03	27,1	50,2	26,8	26,7	0,1	990,0	632,4	1,0	4,2	343,8	48,7
18:04	27,1	50,1	26,7	26,5	0,1	990,0	626,8	0,0	4,5	343,8	49,4
18:05	27,1	50,1	26,7	26,6	0,1	990,0	624,8	0,3	4,5	343,6	51,4
18:06	27,1	50,3	26,9	26,9	0,0	990,0	627,2	1,8	4,5	344,1	50,2
18:07	27,1	50,1	26,8	26,7	0,1	990,0	627,4	1,2	4,7	343,6	52,1
18:08	27,1	50,2	26,7	26,4	0,2	990,0	625,5	3,8	4,5	343,2	46,7
18:09	27,1	50,2	26,7	26,4	0,1	990,0	626,0	1,8	4,5	344,1	47,3

18:10	27,1	50,2	26,7	26,4	0,2	990,0	626,8	1,2	4,6	343,5	50,0
18:11	27,0	50,4	26,6	26,4	0,1	990,0	631,2	4,2	4,3	343,7	47,0
18:12	27,0	50,5	26,7	26,5	0,1	989,7	634,8	1,4	4,3	344,0	46,8
18:13	27,0	50,5	26,7	26,6	0,1	989,8	636,4	4,4	4,5	343,3	52,5
18:14	27,0	50,4	26,7	26,6	0,1	989,6	634,4	1,7	4,9	343,9	47,4
18:15	27,0	50,4	26,7	26,5	0,1	989,2	629,2	0,4	5,0	344,6	48,9
18:16	27,0	50,3	26,8	26,6	0,1	989,0	623,6	1,0	4,3	344,5	49,8
18:17	27,0	50,3	26,7	26,5	0,1	989,0	623,4	0,0	4,9	344,0	45,5
18:18	26,9	50,4	26,8	26,7	0,0	989,0	623,6	0,3	4,6	344,3	47,8
18:19	26,9	50,4	26,8	26,8	0,0	989,0	620,8	1,8	4,5	344,4	45,0
18:20	27,0	50,3	26,7	26,6	0,1	989,0	614,6	1,2	4,8	344,1	49,6
18:21	27,0	50,3	26,8	26,7	0,0	989,0	611,0	3,8	4,5	344,1	48,0
18:22	27,0	50,2	26,8	26,7	0,1	989,0	610,0	0,4	4,8	344,0	45,0
18:23	27,0	50,1	26,9	26,8	0,1	989,0	611,0	1,0	4,5	343,8	46,9
18:24	27,0	50,1	26,8	26,7	0,0	989,0	613,2	0,0	4,4	343,7	48,3
18:25	27,1	50,0	26,8	26,6	0,1	989,0	615,8	0,3	4,6	344,2	47,1
18:26	27,1	49,9	26,9	26,8	0,1	989,0	614,5	1,8	4,5	343,4	43,3
18:27	27,1	49,9	26,9	26,8	0,0	989,0	614,8	1,2	4,5	344,2	48,1
18:28	27,1	49,9	26,9	26,8	0,1	989,0	616,4	3,8	4,1	343,8	46,7
18:29	27,1	49,8	26,9	26,9	0,0	989,0	613,6	1,8	4,2	343,8	44,6
18:30	27,1	49,8	27,0	26,9	0,1	989,0	611,5	1,2	4,1	344,3	44,7
18:31	27,2	49,9	27,0	26,9	0,0	989,0	613,2	0,0	4,4	344,6	45,9
18:32	27,2	49,7	27,1	27,1	0,0	989,0	614,4	0,0	4,6	344,1	47,6
18:33	27,2	49,7	27,0	27,0	0,0	989,0	614,3	0,0	4,9	343,9	42,8
18:34	27,2	49,5	27,1	27,0	0,0	989,0	609,4	0,0	4,3	344,2	43,2
18:35	27,3	49,4	27,0	26,9	0,0	989,0	605,0	0,0	4,0	344,0	44,0
18:36	27,3	49,3	26,9	26,8	0,0	989,0	602,0	0,0	4,4	344,2	45,0
18:37	27,3	49,3	27,1	27,0	0,0	989,0	597,7	0,0	4,4	343,8	45,5
18:38	27,3	49,4	27,1	27,0	0,0	989,0	596,6	0,0	4,4	344,4	46,7
18:39	27,4	49,3	27,0	26,8	0,0	989,0	601,0	0,0	4,5	344,0	45,2
18:40	27,4	49,2	27,0	26,9	0,0	989,0	606,7	1,0	4,3	343,7	47,2
18:41	27,4	49,2	27,1	27,1	0,0	989,0	604,8	6,6	4,8	344,0	44,6
18:42	27,5	49,3	27,1	26,9	0,1	989,0	606,6	0,0	5,1	343,2	45,2
18:43	27,5	49,1	27,2	27,1	0,0	989,0	612,6	2,6	4,4	343,9	48,9
18:44	27,5	49,2	27,3	27,2	0,0	989,0	612,8	2,3	4,4	344,0	45,9
18:45	27,6	49,0	27,4	27,3	0,1	989,0	613,4	0,0	4,2	343,6	42,9
18:46	27,6	49,0	27,2	27,0	0,0	989,0	607,4	0,0	4,6	344,2	40,6
18:47	27,6	48,9	27,2	27,1	0,0	989,0	604,6	0,0	4,9	344,1	40,2
18:48	27,6	48,9	27,4	27,4	0,1	989,0	604,8	0,0	4,6	343,8	42,7
18:49	27,7	48,9	27,3	27,2	0,0	989,0	606,8	0,0	4,4	344,1	41,3
18:50	27,7	48,9	27,2	27,1	0,0	989,0	606,6	0,0	4,8	343,9	44,4

18:51	27,7	48,9	27,2	27,0	0,0	989,0	604,2	0,0	4,5	343,8	48,2
18:52	27,7	48,8	27,3	27,1	0,1	989,0	604,4	0,0	4,9	343,5	44,7
18:53	27,7	48,8	27,3	27,1	0,0	989,0	606,2	0,0	4,8	343,7	42,3
18:54	27,8	48,8	27,2	27,0	0,0	989,0	607,0	0,6	4,6	343,8	57,2
18:55	27,8	48,8	27,2	27,0	0,0	989,0	609,2	1,7	4,7	343,2	47,7
18:56	27,8	48,8	27,4	27,3	0,1	989,0	612,0	1,0	4,8	343,6	44,0
18:57	27,8	48,8	27,4	27,1	0,1	989,0	614,6	1,0	5,3	343,7	47,0
18:58	27,8	48,9	27,3	27,0	0,1	989,0	630,7	4,5	4,9	344,0	45,5
18:59	27,9	48,7	27,3	27,1	0,0	989,0	622,6	3,0	4,8	344,0	39,5
19:00	27,9	48,7	27,2	27,0	0,0	989,0	610,6	3,4	5,1	343,8	46,9
19:01	27,9	48,7	27,3	27,1	0,0	989,0	600,4	2,6	4,7	342,6	47,3
19:02	27,9	48,8	27,3	27,0	0,1	988,7	595,0	3,8	4,7	343,2	46,2
19:03	27,9	48,9	27,4	27,2	0,0	988,8	608,6	6,4	4,9	344,1	44,3
19:04	27,9	48,9	27,3	27,2	0,0	988,8	630,2	5,6	4,6	343,9	42,3
19:05	27,9	48,9	27,4	27,2	0,1	989,0	627,0	5,2	5,1	344,3	45,2
19:06	27,9	49,0	27,5	27,3	0,0	988,8	627,8	7,3	4,8	344,5	42,9
19:07	27,9	48,8	27,4	27,2	0,1	989,0	630,0	4,6	4,7	344,0	44,3
19:08	27,9	48,8	27,4	27,1	0,1	989,0	620,8	2,0	5,1	343,8	45,9
19:09	27,9	48,9	27,6	27,5	0,0	989,0	617,8	7,3	5,3	344,4	43,2
19:10	27,9	49,0	27,4	27,2	0,1	989,0	621,0	9,2	4,9	344,3	43,9
19:11	28,0	49,0	27,4	27,2	0,1	989,0	639,8	1,0	5,3	343,0	41,5
19:12	28,0	49,0	27,3	27,1	0,1	989,0	635,4	5,2	4,7	344,5	46,1
19:13	28,0	48,9	27,4	27,2	0,1	989,0	621,3	2,7	4,8	344,1	43,1
19:14	28,0	48,9	27,3	27,1	0,0	988,4	613,6	2,8	5,0	343,7	38,8
19:15	28,0	48,9	27,4	27,1	0,0	988,2	610,0	3,8	5,5	343,0	41,5
19:16	28,0	48,8	27,5	27,2	0,1	988,0	606,7	3,0	4,8	343,7	46,1
19:17	28,0	48,8	27,3	27,1	0,0	988,0	604,4	1,2	5,1	344,0	44,0
19:18	28,0	48,8	27,2	26,9	0,0	988,0	603,6	2,6	5,3	344,4	41,1
19:19	28,0	48,9	27,3	27,1	0,0	988,0	604,4	2,8	5,2	344,1	40,2
19:20	28,0	48,8	27,2	26,8	0,0	988,0	604,7	3,0	5,0	344,3	41,1
19:21	28,0	48,9	27,3	27,0	0,0	988,0	599,0	2,0	5,1	344,1	40,8
19:22	28,0	48,9	27,3	27,0	0,0	988,0	600,2	1,6	5,1	343,9	42,4
19:23	28,1	48,9	27,3	27,0	0,1	988,4	600,8	2,0	5,5	344,2	39,6
19:24	28,0	49,0	27,4	27,2	0,0	988,8	599,8	2,7	5,4	344,1	42,0
19:25	28,0	49,0	27,4	27,1	0,1	989,0	602,8	2,4	5,4	344,1	41,7
19:26	28,1	49,2	27,4	27,2	0,0	988,2	625,4	4,0	5,6	343,2	41,1
19:27	28,1	49,1	27,3	27,0	0,1	988,0	623,7	2,5	5,2	343,8	40,4
19:28	28,1	49,1	27,4	27,1	0,0	988,0	616,6	2,2	5,4	344,3	42,8
19:29	28,1	49,1	27,3	27,0	0,1	988,0	611,8	2,0	6,0	344,2	38,8
19:30	28,1	49,2	27,3	27,1	0,0	988,0	611,8	0,4	5,8	343,7	39,9
19:31	28,1	49,2	27,3	27,1	0,0	988,0	611,0	3,2	5,9	343,3	44,0

19:32	28,1	49,2	27,3	27,0	0,0	988,0	610,4	5,0	5,8	343,7	47,1
19:33	28,1	49,2	27,4	27,1	0,0	988,0	605,4	2,0	5,7	343,3	49,7
19:34	28,1	49,2	27,3	27,0	0,0	988,0	598,0	2,8	6,0	343,8	41,1
19:35	28,1	49,2	27,2	26,8	0,1	988,0	596,0	1,2	6,4	343,8	38,4
19:36	28,1	49,3	27,3	26,9	0,1	988,0	594,4	3,2	6,6	344,1	42,3
19:37	28,1	49,3	27,2	26,9	0,0	988,0	594,2	5,0	6,4	344,2	46,3
19:38	28,1	49,3	27,3	27,0	0,0	988,0	593,8	1,7	5,8	344,3	39,0
19:39	28,1	49,4	27,3	26,9	0,0	988,0	594,8	2,8	6,2	343,9	46,6
19:40	28,1	49,4	27,2	27,1	0,0	988,0	594,8	1,8	5,7	343,9	38,7
19:41	28,1	49,4	27,2	26,8	0,0	988,0	594,2	1,2	5,7	343,7	38,1
19:42	28,1	49,4	27,3	26,7	0,1	988,0	592,0	0,0	6,2	344,1	39,8
19:43	28,1	49,4	27,1	26,5	0,1	988,0	589,0	0,0	6,1	344,5	39,0
19:44	28,1	49,4	27,0	26,3	0,1	988,0	586,8	0,0	6,0	343,9	42,8
19:45	28,1	49,6	26,9	25,9	0,1	988,0	586,8	0,0	6,8	342,4	39,8
19:46	28,0	49,8	26,8	26,1	0,1	988,0	582,0	0,0	6,7	343,0	47,0
19:47	28,0	49,8	26,6	25,9	0,1	988,0	576,4	0,0	6,3	343,7	42,8
19:48	27,9	50,0	26,8	26,3	0,0	988,0	575,0	0,0	6,5	343,2	42,8
19:49	27,8	50,1	26,8	26,3	0,1	988,0	576,2	0,0	6,5	342,9	42,2
19:50	27,8	50,1	26,8	26,3	0,1	988,0	578,0	0,0	6,4	342,4	46,6
19:51	27,8	50,1	26,8	26,4	0,0	988,0	580,8	0,0	6,4	343,3	42,5
19:52	27,7	50,2	26,8	26,4	0,1	988,0	583,8	0,0	5,9	343,1	50,6
19:53	27,7	50,1	26,8	26,4	0,1	988,0	585,7	0,0	6,1	343,7	40,4
19:54	27,7	50,2	26,7	26,1	0,1	988,0	590,0	0,0	5,9	343,8	42,8
19:55	27,7	50,2	26,6	26,0	0,1	988,0	590,8	0,0	5,7	343,2	41,2
19:56	27,7	50,1	26,7	26,1	0,1	988,0	590,0	0,0	5,9	343,0	48,3
19:57	27,6	50,3	26,5	26,0	0,1	988,0	590,5	0,0	6,2	342,2	51,7

14 Прилог 2 – Коришћени Arduino код

```
#define BLYNK_PRINT Serial

#include <ESP8266_Lib.h>
#include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>
#include <ds3231.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

// You should get Auth Token in the Blynk App.
// Go to the Project Settings (nut icon).
char auth[] = "xxx";

// Your WiFi credentials.
// Set password to "" for open networks.
char ssid[] = "xxx";
char pass[] = "xxx";

// Hardware Serial on Mega, Leonardo, Micro...
#define EspSerial Serial3

// or Software Serial on Uno, Nano...
//#include <SoftwareSerial.h>
//SoftwareSerial EspSerial(2, 3); // RX, TX

// Your ESP8266 baud rate:
#define ESP8266_BAUD 115200

ESP8266 wifi(&EspSerial);
////////////////////////////////////
#include "paulvha_SCD30.h"
#include "sps30.h"
#include "SparkFunBME280.h"
////////////////////////////////////
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "Adafruit_TSL2591.h"

Adafruit_TSL2591 tsl = Adafruit_TSL2591(2591);

void displaySensorDetails(void)
{
  sensor_t sensor;
  tsl.getSensor(&sensor);
  Serial.println(F("-----"));
  Serial.print(F("Sensor:      ")); Serial.println(sensor.name);
  Serial.print(F("Driver Ver:  ")); Serial.println(sensor.version);
  Serial.print(F("Unique ID:   ")); Serial.println(sensor.sensor_id);
  Serial.print(F("Max Value:   ")); Serial.print(sensor.max_value);
  Serial.println(F(" lux"));
  Serial.print(F("Min Value:   ")); Serial.print(sensor.min_value);
  Serial.println(F(" lux"));
  Serial.print(F("Resolution:  ")); Serial.print(sensor.resolution,
4); Serial.println(F(" lux"));
```

```

    Serial.println(F("-----"));
    Serial.println(F(""));
}

void configureSensor(void)
{
    // You can change the gain on the fly, to adapt to brighter/dimmer
    light situations
    //tsl.setGain(TSL2591_GAIN_LOW);    // 1x gain (bright light)
    tsl.setGain(TSL2591_GAIN_MED);    // 25x gain
    //tsl.setGain(TSL2591_GAIN_HIGH);  // 428x gain

    // Changing the integration time gives you a longer time over which to
    sense light
    // longer timelines are slower, but are good in very low light
    situations!
    //tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_100MS); // shortest
    integration time (bright light)
    // tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_200MS);
    tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_300MS);
    // tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_400MS);
    // tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_500MS);
    // tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_600MS); // longest
    integration time (dim light)
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
#include "Adafruit_SGP30.h"

Adafruit_SGP30 sgp;

uint32_t getAbsoluteHumidity(float temperature, float humidity) {
    // approximation formula from Sensirion SGP30 Driver Integration
    chapter 3.15
    const float absoluteHumidity = 216.7f * ((humidity / 100.0f) * 6.112f
* exp((17.62f * temperature) / (243.12f + temperature)) / (273.15f +
temperature)); // [g/m^3]
    const uint32_t absoluteHumidityScaled = static_cast<uint32_t>(1000.0f
* absoluteHumidity); // [mg/m^3]
    return absoluteHumidityScaled;
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
/*define communication channel to use for SPS30
    valid options:
        I2C_COMMS                use I2C communication
        SOFTWARE_SERIAL          Arduino variants (NOTE)
        SERIALPORT               ONLY IF there is NO monitor attached
        SERIALPORT1              Arduino MEGA2560, Sparkfun ESP32 Thing :
MUST define new pins as defaults are used for flash memory
        SERIALPORT2              Arduino MEGA2560 and ESP32
        SERIALPORT3              Arduino MEGA2560 only for now

    NOTE: Softserial has been left in as an option, but as the SPS30 is
    only
    working on 115K the connection will probably NOT work on any device.
*/
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
#define SP30_COMMS SERIALPORT1

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

/* define driver debug
  0 : no messages
  1 : request sending and receiving
  2 : request sending and receiving + show protocol errors */
////////////////////////////////////
#define DEBUG 0

////////////////////////////////////
//                                     BME280                                     //
////////////////////////////////////
/* define the BME280 address.
   Use if address jumper is closed (SDO - GND) : 0x76.*/
#define I2CADDR 0x77

/* Define reading in Fahrenheit or Celsius
  1 = Celsius
  0 = Fahrenheit */
#define TEMP_TYPE 1

/* define whether hight Meters or Foot
  1 = Meters
  0 = Foot */
#define BME_HIGHT 1
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
#define SoundSensorPin A1 //this pin read the analog voltage from the
sound level meter
#define VREF 5.0 //voltage on AREF pin,default:operating voltage
////////////////////////////////////
// which analog pin to connect
#define THERMISTORPIN A13
// resistance at 25 degrees C
#define THERMISTORNOMINAL 10000
// temp. for nominal resistance (almost always 25 C)
#define TEMPERATURENOMINAL 25
// how many samples to take and average, more takes longer
// but is more 'smooth'
#define NUMSAMPLES 1
// The beta coefficient of the thermistor (usually 3000-4000)
#define BCOEFFICIENT 3950
// the value of the 'other' resistor
#define SERIESRESISTOR 10000

File myFile;
struct ts t;
int pinCS = 53;

int samples[NUMSAMPLES];

const int OutPin = A14; // wind sensor analog pin hooked up to Wind
P sensor "OUT" pin
const int TempPin = A15; // temp sesnsor analog pin hooked up to Wind
P sensor "TMP" pin
////////////////////////////////////
////////// NO CHANGES BEYOND THIS POINT NEEDED //////////
////////////////////////////////////

// function prototypes (sometimes the pre-processor does not create
prototypes themself on ESPxx)
void serialTrigger(char * mess);

```

```

void ErrtoMess(char *mess, uint8_t r);
void Errorloop(char *mess, uint8_t r);
void GetDeviceInfo();
bool read_all();

// create constructors
SPS30 sps30;
SCD30 airSensor;
BME280 mySensor; //Global sensor object

// status
bool detect_BME280 = false;
bool SCD30_detected = false;

float voltageValue, dbValue;
float steinhart;
float TVOC;
float calculateLuxy ;
BlynkTimer timer;

// This function sends Arduino's up time every second to Virtual Pin
(5).
// In the app, Widget's reading frequency should be set to PUSH. This
means
// that you define how often to send data to Blynk App.
void Noise()
{
  Blynk.virtualWrite(V0, dbValue);
}
void CSD30()
{
  Blynk.virtualWrite(V1, airSensor.getCO2());
  Blynk.virtualWrite(V2, airSensor.getTemperature());
  Blynk.virtualWrite(V3, airSensor.getHumidity());
}
void SGP3()
{
  Blynk.virtualWrite(V4, sgp.TVOC);
  Blynk.virtualWrite(V5, sgp.rawH2);
  Blynk.virtualWrite(V6, sgp.rawEthanol);
}
void SPS31()
{
  Blynk.virtualWrite(V7, sps30.GetMassPM1());
  Blynk.virtualWrite(V8, sps30.GetMassPM2());
  Blynk.virtualWrite(V9, sps30.GetMassPM4());
  Blynk.virtualWrite(V10, sps30.GetMassPM10());
}
void SPS32()
{
  Blynk.virtualWrite(V11, sps30.GetNumPM1());
  Blynk.virtualWrite(V12, sps30.GetNumPM2());
  Blynk.virtualWrite(V13, sps30.GetNumPM4());
  Blynk.virtualWrite(V14, sps30.GetNumPM10());
}
void TSL()
{
  uint32_t lum = tsl.getFullLuminosity();
  uint16_t ir, full;
  ir = lum >> 16;

```

```

    full = lum & 0xFFFF;
    Blynk.virtualWrite(V15, full);
    Blynk.virtualWrite(V16, full - ir);
    Blynk.virtualWrite(V17, tsl.calculateLux(full, ir), 1);
}
void Pressure()
{
    Blynk.virtualWrite(V18, mySensor.readFloatPressure() / 100, 0);
}
void BGT()
{
    Blynk.virtualWrite(V19, steinhart);
}
void WindSpeed()
{
    int windADunits = analogRead(OutPin);
    float windMPH = pow((((float)windADunits - 264.0) / 85.6814),
3.36814);
    Blynk.virtualWrite(V20, windMPH / 2.237);
}

void setup() {
    char buf[30];

    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
    pinMode(pinCS, OUTPUT);

    // SD Card Initialization
    if (SD.begin())
    {
        Serial.println("SD card is ready to use.");
    } else
    {
        Serial.println("SD card initialization failed");
        return;
    }
    // Set ESP8266 baud rate
    EspSerial.begin(ESP8266_BAUD);
    delay(10);

    Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass);
    // You can also specify server:
    //Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass, "blynk-cloud.com", 80);
    //Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass, IPAddress(192,168,1,100), 8080);

    timer.setInterval(10000L, Noise);
    timer.setInterval(10000L, CSD30);
    timer.setInterval(10000L, SGP3);
    timer.setInterval(10000L, SPS31);
    timer.setInterval(10000L, SPS32);
    timer.setInterval(10000L, TSL);
    timer.setInterval(10000L, Pressure);
    timer.setInterval(10000L, BGT);
    timer.setInterval(10000L, WindSpeed);
    //////////////////////////////////////

    //////////////////////////////////////
    Serial.println(F("Trying to connect"));
}

```



```

// set driver debug level
sps30.EnableDebugging(DEBUG);

// Begin communication channel;
if (sps30.begin(SP30_COMMS) == false) {
    Errorloop("could not initialize communication channel.", 0);
}

// check for SPS30 connection
if (sps30.probe() == false)
    Errorloop("could not probe / connect with SPS30", 0);
else
    Serial.println(F("Detected SPS30"));

// reset SPS30 connection
if (sps30.reset() == false) {
    Errorloop("could not reset", 0);
}

// read device info
GetDeviceInfo();

// set SCD30
airSensor.setDebug(DEBUG);

// This will init the wire, but NOT start reading
if (airSensor.begin(Wire, false) == false)
    Serial.println(F("cound not start SCD30"));
else
{
    Serial.println(F("Detected SCD30"));

    if (airSensor.getSerialNumber(buf))
    {
        Serial.print(F("\tSerial number : "));
        Serial.println(buf);
    }
    else
        Serial.println(F("could not read serial number"));
}

// set BME280 I2C address.
mySensor.setI2CAddress(I2CADDR);

if (mySensor.beginI2C() == false) // Begin communication over I2C
    Serial.println(F("The BME280 did not respond. Please check
wiring."));
else
{
    detect_BME280 = true;
    Serial.println(F("Detected BME280"));
}

// This will cause readings to occur every two seconds
if (airSensor.begin() == false)
    Serial.println(F("cound not start SCD30"));
else
    SCD30_detected = true;

```

```

// start measurement
if (sps30.start() == true)
    Serial.println(F("Measurement started"));
else
    Errorloop("Could NOT start measurement", 0);

if (SP30_COMMS == I2C_COMMS) {
    if (sps30.I2C_expect() == 4)
        Serial.println(F(" !!! Due to I2C buffersize only the SPS30 MASS
concentration is available !!! \n"));
}

if (tsl.begin())
{
    Serial.println(F("Found a TSL2591 sensor"));
}
else
{
    Serial.println(F("No sensor found ... check your wiring?"));
    while (1);
}

/* Display some basic information on this sensor */
displaySensorDetails();

/* Configure the sensor */
configureSensor();

if (! sgp.begin()) {
    Serial.println("Sensor not found :(");
    while (1);
}
Serial.print("Found SGP30 serial #");
Serial.print(sgp.serialnumber[0], HEX);
Serial.print(sgp.serialnumber[1], HEX);
Serial.println(sgp.serialnumber[2], HEX);

// If you have a baseline measurement from before you can assign it to
start, to 'self-calibrate'
//sgp.setIAQBaseline(0x8E68, 0x8F41); // Will vary for each sensor!
}

int counter = 0;

void advancedRead(void)
{
    // More advanced data read example. Read 32 bits with top 16 bits IR,
bottom 16 bits full spectrum
    // That way you can do whatever math and comparisons you want!
    uint32_t lum = tsl.getFullLuminosity();
    uint16_t ir, full;
    ir = lum >> 16;
    full = lum & 0xFFFF;
    Serial.print(F("\t"));
    Serial.print(ir);
    Serial.print(F("\t"));
    Serial.print(full);
    Serial.print(F("\t"));
}

```

```

Serial.print(full - ir);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(tsl.calculateLux(full, ir), 1);

}

void loop() {
  Blynk.run();
  timer.run(); // Initiates BlynkTimer
  ////////////

  ////////////
  read_all();
  advancedRead();

  if (! sgp.IAQmeasure()) {
    Serial.println("Measurement failed");
    return;
  }
  Serial.print(F("\t"));
  Serial.print(sgp.TVOC);
  Serial.print(F("\t"));

  if (! sgp.IAQmeasureRaw()) {
    Serial.println("Raw Measurement failed");
    return;
  }
  Serial.print(sgp.rawH2);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sgp.rawEthanol);

  uint8_t i;
  float average;

  // take N samples in a row, with a slight delay
  for (i = 0; i < NUMSAMPLES; i++) {
    samples[i] = analogRead(THERMISTORPIN);
    //delay(10);
  }
  // average all the samples out
  average = 0;
  for (i = 0; i < NUMSAMPLES; i++) {
    average += samples[i];
  }
  average /= NUMSAMPLES;

  // convert the value to resistance
  average = 1023 / average - 1;
  average = SERIESRESISTOR / average;

  steinhart = average / THERMISTORNOMINAL; // (R/Ro)
  steinhart = log(steinhart); // ln(R/Ro)
  steinhart /= BCOEFFICIENT; // 1/B * ln(R/Ro)
  steinhart += 1.0 / (TEMPERATURENOMINAL + 273.15); // + (1/To)
  steinhart = 1.0 / steinhart; // Invert

```

```

steinhart -= 273.15; // convert to C
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(steinhart);

// read wind
int windADunits = analogRead(OutPin);
// Serial.print("RW "); // print raw A/D for debug
// Serial.print(windADunits);
// Serial.print("\t");

// wind formula derived from a wind tunnel data, anemometer and some
fancy Excel regressions
// this scalin doesn't have any temperature correction in it yet
float windMPH = pow((((float)windADunits - 264.0) / 85.6814),
3.36814);
Serial.print(F("\t"));
Serial.println (windMPH / 2.237);

counter++;
if (counter == 30) {
    counter = 0;

    uint16_t TVOC_base, eCO2_base;
    if (!sgp.getIAQBaseline(&eCO2_base, &TVOC_base)) {
        Serial.println("Failed to get baseline readings");
        return;
    }
    Serial.print("****Baseline values: eCO2: 0x");
Serial.print(eCO2_base, HEX);
    Serial.print(" & TVOC: 0x"); Serial.println(TVOC_base, HEX);
}
myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
    myFile.print(t.mday);
    myFile.print("/");
    myFile.print(t.mon);
    myFile.print("/");
    myFile.print(t.year);
    myFile.print(",");
    myFile.print(t.hour);
    myFile.print(":");
    myFile.print(t.min);
    myFile.print(":");
    myFile.print(t.sec);
    myFile.print(",");
    myFile.print(dbValue, 1);
    myFile.print(",");
    myFile.print(sps30.GetMassPM1());
    myFile.print(",");
    myFile.print(sps30.GetMassPM2());
    myFile.print(",");
    myFile.print(sps30.GetMassPM4());
    myFile.print(",");
    myFile.print(sps30.GetMassPM10());
    myFile.print(",");
    myFile.print(sps30.GetNumPM0());
}

```

```

myFile.print(",");
myFile.print(sps30.GetNumPM1());
myFile.print(",");
myFile.print(sps30.GetNumPM2());
myFile.print(",");
myFile.print(sps30.GetNumPM4());
myFile.print(",");
myFile.print(sps30.GetNumPM10());
myFile.print(",");
//myFile.print(sps30.GetPartSize);
myFile.print(airSensor.getCO2());
myFile.print(",");
myFile.print(airSensor.getTemperature());
myFile.print(",");
myFile.print(airSensor.getHumidity());
myFile.print(",");
myFile.print(mySensor.readFloatPressure() / 100, 0);
myFile.print(",");
myFile.print(sgp.TVOC);
myFile.print(",");
myFile.print(sgp.rawH2);
myFile.print(",");
myFile.print(sgp.rawEthanol);
myFile.print(",");

uint32_t lum = tsl.getFullLuminosity();
uint16_t ir, full;
ir = lum >> 16;
full = lum & 0xFFFF;
myFile.print(ir);
myFile.print(",");
myFile.print(full);
myFile.print(",");
myFile.print(full - ir);
myFile.print(",");
myFile.print(tsl.calculateLux(full, ir), 1);
myFile.print(",");

myFile.print(steinhart);
myFile.print(",");

myFile.println(windMPH / 2.237);

myFile.close(); // close the file
}
// if the file didn't open, print an error:
else {
    Serial.println("error opening test.txt");
}
delay(10000);
}
/**
 * @brief : read and display device info
 */
void GetDeviceInfo()
{
    char buf[32];
    uint8_t ret;

    //try to read serial number

```

```

ret = sps30.GetSerialNumber(buf, 32);
if (ret == ERR_OK) {
    Serial.print(F("\tSerial number : "));
    if (strlen(buf) > 0) Serial.println(buf);
    else Serial.println(F("not available"));
}
else
    ErrtoMess("could not get serial number", ret);

// try to get product name
ret = sps30.GetProductName(buf, 32);
if (ret == ERR_OK) {
    Serial.print(F("\tProduct name : "));

    if (strlen(buf) > 0) Serial.println(buf);
    else Serial.println(F("not available"));
}
else
    ErrtoMess("could not get product name.", ret);

// try to get article code
ret = sps30.GetArticleCode(buf, 32);
if (ret == ERR_OK) {
    Serial.print(F("\tArticle code : "));

    if (strlen(buf) > 0) Serial.println(buf);
    else Serial.println(F("not available"));
}
else
    ErrtoMess("could not get Article code .", ret);
}

/**
 * @brief : read and display all values
 */
bool read_all()
{
    static bool header = true;
    uint8_t ret, error_cnt = 0;
    struct sps_values val;

    // loop to get data
    do {
        ret = sps30.GetValues(&val);

        // data might not have been ready / retry max 3 times
        if (ret == ERR_DATALENGTH) {

            if (error_cnt++ > 3) {
                ErrtoMess("Error during reading values: ", ret);
                return (false);
            }
            delay(1000);
        }

        // if other error
        else if (ret != ERR_OK) {
            ErrtoMess("Error during reading values: ", ret);
            return (false);
        }
    }
}

```

```

} while (ret != ERR_OK);

// only print header first time
if (header) {
    Serial.print(F("=Date=\t"));
    Serial.print(F("\t=Time=\t"));
    Serial.print(F("\t=Noise="));
    Serial.print(F("\t===== SPS30
====="));
    if (SCD30_detected) Serial.print(F("\t===== SCD30 ====="));

    if (detect_BME280) Serial.print(F("\t===== BME280 ====="));
    Serial.print(F("\t===== TSL2591 ====="));
    Serial.print(F("\t===== SGP30 ====="));
    Serial.print(F("\t==BGT=="));
    Serial.print("\n");
    Serial.print(F("\t\t\t\t\t\t\t-----Mass -----
--- Number ----- -Average-"));
    if (SCD30_detected) Serial.print(F("\tCO2      Hum.      Temp.));
    if (detect_BME280) Serial.print(F("\tAtmPr.  Hum.      Temp.));
    Serial.print(F("\tInfra.  FullSp.  Duff.  Illum"));
    Serial.print(F("\n\t\t\t\t\t\t\t Concentration
[Î¼g/m3]          Concentration [#/cm3]          [Î¼m]"));

    Serial.println(F("\nDate\t\tTime\t\tdB\tP1.0\tP2,5\tP4.0\tP10\tP0.5\
tP1.0\tP2,5\tP4.0\tP10\tPrtSize\ttco[ppm]\trH[%]\tTdb[*C]\tPb[hPa]\trH[%]
\tTdb[*C]\tir\tfull\tfull-ir\tlux\ttVOC\tH2\tEthanol\tTbg[*C]\tair
speed[m/s]\n"));

    header = false;
}

voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;
dbValue = voltageValue * 50.0; //convert voltage to decibel value

DS3231_get(&t);
Serial.print(t.mday);
Serial.print("/");
Serial.print(t.mon);
Serial.print("/");
Serial.print(t.year);
Serial.print("\t");
Serial.print(t.hour);
Serial.print(":");
Serial.print(t.min);
Serial.print(":");
Serial.print(t.sec);
Serial.print("\t");
Serial.print(dbValue, 1);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.MassPM1);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.MassPM2);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.MassPM4);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.MassPM10);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.NumPM0);

```

```

Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.NumPM1);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.NumPM2);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.NumPM4);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.NumPM10);
Serial.print(F("\t"));
Serial.print(val.PartSize);

if (SCD30_detected) {
  Serial.print(F("\t"));
  Serial.print(airSensor.getCO2());
  Serial.print(F("\t"));
  Serial.print(airSensor.getHumidity(), 1);
  Serial.print(F("\t"));

  if (TEMP_TYPE) Serial.print(airSensor.getTemperature(), 2);
  else Serial.print(airSensor.getTemperatureF(), 2);
}

if (detect_BME280) {
  Serial.print(F("\t"));
  Serial.print(mySensor.readFloatPressure() / 100, 0);
  Serial.print(F("\t"));
  Serial.print(mySensor.readFloatHumidity(), 1);
  Serial.print(F("\t"));

  if (TEMP_TYPE) Serial.print(mySensor.readTempC(), 2);
  else Serial.print(mySensor.readTempF(), 2);
}

}

/**
 @brief : continued loop after fatal error
 @param mess : message to display
 @param r : error code

 if r is zero, it will only display the message
 */
void Errorloop(char *mess, uint8_t r)
{
  if (r) ErrtoMess(mess, r);
  else Serial.println(mess);
  Serial.println(F("Program on hold"));
  for (;;) delay(100000);
}

/**
 @brief : display error message
 @param mess : message to display
 @param r : error code
 */
void ErrtoMess(char *mess, uint8_t r)

```



```

{
  char buf[80];

  Serial.print(mess);

  sps30.GetErrDescription(r, buf, 80);
  Serial.println(buf);
}

/**
  serialTrigger prints repeated message, then waits for enter
  to come in from the serial port.
*/
void serialTrigger(char * mess)
{
  Serial.println();

  while (!Serial.available()) {
    Serial.println(mess);
    delay(2000);
  }

  while (Serial.available())
    Serial.read();
}

```


Питање 15 - Да ли болујете од неке болести која може имати утицаја на вашу перцепцију унутрашњег окружења

ДА	<input type="checkbox"/>
НЕ	<input type="checkbox"/>

Уколико сте заокружили ДА, молим вас да дате кратко образложење у пољу испод:

Уколико имате неких коментара у вези са квалитетом унутрашње средине коју упитник није покрио, молим вас да образложите у пољу испод.

Крај упитника, хвала Вам на сарадњи.

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укорицити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
МОДЕЛ ИНТЕЛИГЕНТНЕ ПЛАТФОРМЕ ЗА ОЦЕНУ КВАЛИТЕТА УНУТРАШЊЕ СРЕДИНЕ У СЕКТОРУ ЗГРАДАРСТВА
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за енергетику и процесну технику
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Истраживање се реализује у оквиру израде докторске дисертације под називом „Модел интелигентне платформе за оцену квалитета унутрашње средине у сектору зградарства”, у оквиру Докторских академских студија, научна област Машинско инжењерство на Факултету техничких наука у Новом Саду, Универзитета у Новом Саду.
1. Опис података
1.1 Врста студије <i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> У овој дисертацији представљена је методологија истраживања за развој нискобуџетне сензорске платформе „ENVIRA“ за континуално праћење квалитета унутрашње средине. Приказана је њена употреба у три теренске студије у објектима (два пословна објекта и један образовни објекат). Комбинацијом континуираних мерења појединачних физичких параметара квалитета унутрашње средине (термички комфор, квалитет унутрашњег ваздуха, визуелни комфор и акустички комфор) и података о перцепцији испитаника о КУС заснованих на упитницима, ова студија даје нове резултате о важности појединачних параметара који се користе за процену укупних перформанси квалитета унутрашње средине.
1.2 Врсте података а) квантитативни б) квалитативни
1.3. Начин прикупљања података а) анкете, упитници, тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи

- в) генотипови: навести врсту _____
- г) административни подаци: навести врсту _____
- д) узорци ткива: навести врсту _____
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____
- е) текст, навести врсту _____
- ж) мапа, навести врсту _____
- з) остало: описати _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека: .xlsx
- б) SPSS фајл, датотека: .sav
- в) PDF фајл, датотека _____
- г) Текст фајл, датотека _____
- д) JPG фајл, датотека _____
- е) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли: Велик број
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.): 125 испитаника

1.3.3. Поновљена мерења

- а) да
- б) не**

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак између поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип _____

б) корелационо истраживање, навести тип: Корелационо истраживање између субјективног осећаја корисника објекта квалитетом унутрашње средине и измерених физичких параметара унутрашње средине.

ц) анализа текста, навести тип _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

Калибрисана пилот мерна станица за мерење параметара унутрашње средине: мери следеће параметре унутрашње средине: Средња температура зрачења, температура сувог термометра, релативна влажност ваздуха, брзина струјања ваздуха, концентрација CO₂, концентрација TVOC, концентрација PM_{2.5}, звучни притисак, јачина осветљења у хоризонталној равни и атмосферски притисак.

Упитник о квалитету унутрашње средине: Општа питања су обухватала информације о полу, старосној групи и хроничним обољењима корисника. Будући да учесници анкете нису попуњавали упитник истовремено, затражено је да напишу тачно време по завршетку анкете. Сходно томе, могло би се извршити поређење између израчунатог индекса квалитета (КУС) унутрашње средине у реалном времену и укупног задовољства људи у затвореном простору. Постављена су додатна питања у вези са перцепцијом компоненти КУС и о КУС у целини према стандарду EN16798-1. За одређивање нивоа задовољства коришћена је скала од 1 до 5, при чему 1 представља потпуно незадовољство, а 5 потпуно задовољство. Једини изузетак био је топлотни комфор где је коришћена Ликертова скала од 7 тачака у распону од -3 до +3, са нулом која означава неутрално стање.

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? _____
- б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да **Не**
- в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података
- _____

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Сва питања у упитнику била су обавезна, тако да није било попуњених упитника који су елиминисани због недостајућих података. Пре самог попуњавања упитника, испитаницима је прочитано упутство које се налази на почетку сваког упитника. Уведена су контролна питања како би се проверило да ли испитаници на питања одговарају механички. Такође, испитаници су питани да ли болују од неке болести која може имати утицаја на резултате анкете и који дисквалификује исту.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

За време уноса података у упитник, анкетар је био присутан и доступан да отклони све недоумице испитаника. Контрола уноса података вршена је од стране анкетара.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у _____ репозиторијум.

3.1.2. URL адреса _____

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- а) Да
- б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____
- в) **Не**

Ако је одговор не, навести разлог Релевантни подаци о мерењима физичких параметара унутрашње средине су приложени у дисертацији. Подаци упитника неће бити депоновани у репозиторијум и неће бити у отвореном приступу. Пре реализације истраживања, није тражена сагласност испитаника да се подаци поставе у отворен приступ. Поред тога, постоји ризик од неовлашћеног преузимања, обраде и објављивања целине или дела прикупљених података истраживања, као и објављивања целине или дела резултата добијених обрадом тако прикупљених података. То даље може имати утицај на интегритет научних радова који су у припреми за објаву, а који се базирају на резултатима добијеним из базе података конкретног

истраживања.

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

Подаци неће бити у отвореном приступу због, како је наведено, постојања ризика од неовлашћеног преузимања и обраде података и/или резултата истраживања од стране трећих лица. Подаци се чувају у електронској форми на рачунару и на екстерном диску власника података.

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен?

/

3.2.2. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

/

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

Заинтересовани истраживачи могу да контактирају власника података (контакт подаци су дати у одељку 6 овог документа) и да образложе своје потребе и захтеве у погледу преузимања и коришћења података и/или резултата који представљају основу за конкретно истраживање.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? /

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- a) Подаци нису у отвореном приступу
 - b) Подаци су анонимизирани
 - ц) Остало, навести шта
-
-

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

- a) јавно доступни
- b) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области
- ц) затворени**

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.2. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Игор Мујан, мејл адреса: igor.m@uns.ac.rs

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Игор Мујан, мејл адреса: igor.m@uns.ac.rs

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Игор Мујан, мејл адреса: igor.m@uns.ac.rs