

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Darius SKIRMANTAS

UŽSTATYTOS APLINKOS
DAUGIAKRITERĖS NEUROANALIZĖS
METODO IR INTELEKTINĖS SPRENDIMŲ
PARAMOS SISTEMOS KŪRIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (T 002)

Vilnius, 2022

Disertacija rengta 2017–2022 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

prof. habil. dr. Artūras KAKLAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. dr. Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

Nariai:

prof. dr. Egidijus KAZANAVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, informatikos inžinerija – T 007),

prof. habil. dr. Edyta Anna PLEBANKIEWICZ (Krokuvos technologijos universitetas, Lenkija, statybos inžinerija – T 002),

doc. dr. Jonas ŠAPARAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002),

prof. habil. dr. Leonas USTINOVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2022 m. rugpjūčio 30 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto Senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel. (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vilniustech.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2022 m. liepos 29 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto talpykloje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto 2022-035-M mokslo literatūros knyga

doi:10.20334/2022-035-M

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2022

© Darius Skirmantas, 2022

darius.skirmantas@vilniustech.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Darius SKIRMANTAS

DEVELOPMENT OF A MULTIPLE CRITERIA
NEUROANALYSIS METHOD AND
INTELLIGENT DECISION-SUPPORT
SYSTEM FOR BUILT ENVIRONMENT

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (T 002)

Vilnius, 2022

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2017–2022.

Supervisor

Prof. Dr Habil. Artūras KAKLAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

The Dissertation Defence Council of Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof. Dr Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

Members:

Prof. Dr Egidijus KAZANAVIČIUS (Kaunas University of Technology, Informatics Engineering – T 007),

Prof. Dr Habil. Edyta Anna PLEBANKIEWICZ (Cracow University of Technology, Poland, Civil Engineering – T 002),

Assoc. Prof. Dr Jonas ŠAPARAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002),

Prof. Dr Habil. Leonas USTINOVICIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a. m. on 30 August 2022.**

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vilniustech.lt

A notification on the intended defending of the dissertation was sent on 29 July 2022. A copy of the doctoral dissertation is available for review at Vilnius Gediminas Technical University repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama užstatytos aplinkos įtaka žmonių gyvenimo kokybei ir emocinei būsenai. Darbo tyrimų objektą sudaro užstatyta aplinka ir jame dalyvaujančios ir savo tikslus norinčios įgyvendinti suinteresuotos grupės. Disertacijos tikslas – sukurti užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinį metodą (UADARM) ir sistemą (UADARS), leidžiančius suinteresuotoms grupėms (nekilnojamojo turto vystytojams, statybos bendrovėms, pastatus administruojančioms kompanijoms, savivaldybėms, projektuotojams, mokslo institucijoms ir t. t.) prisidėti kuriant ir valdant mus supančią aplinką.

Darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai: sukurti rekomendacinį metodą, identifikuoti rekomendacinės sistemos problemas ir įvertinti jų patikimumą. Remiantis parinktais metodais, pagrįsti duomenų analizės ir rekomendacinės sistemos naudingumas, duomenų analizės metodai ir rekomendacinė sistema ir atlikti empiriniai sukurtų sistemų patikrinimai.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir 4 priedai.

Pirmajame skyriuje apžvelgiami ankstesni tyrimai, susiję su užstatytos aplinkos įtaka žmonių emocinei būsenai, analizuojami matavimo metodai ir sistemos, galinčios tinkamai įvertinti emocinį lygį. Išvadose įvertinami ankstesni tyrimai ir apibendrinama, kas atlikta naujo šioje disertacijoje.

Antrajame skyriuje aprašyta sukurta užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės bei rekomendacinė sistema (UADARS), leidžianti matuoti, analizuoti ir atvaizduoti žmonių nuotaikas ir patogumo lygį užstatytoje aplinkoje. Ši sistema praktiškai išbandyta Vilniaus šviestų festivalio metu 2019 ir 2020 metais.

Trečiajame skyriuje detaliai pateikta sukurta sumanių, adaptyvių pastatų valdymo sistema (SAPVS). Pasitelkus projekto naudingumo laipsnio ir investicinės vertės nustatymo, teikiant rekomendacijas (INVAR) (angl. Degree of Project Utility and Investment Value Assessments along with Recommendation Provisions) metodą, atlikta daugiakriterė SAPVS sistemos alternatyvų analizė ir skaičiavimai bei nustatytos geriausios alternatyvos, palengvinančios sprendimų priėmimą suinteresuotoms asmenų grupėms, ir suformuluotos išvados.

Disertacijos tema paskelbti penki straipsniai. Du iš jų – „Clarivate Analytics Web of Science“ duomenų bazės leidiniuose. Publikuoti du pranešimai tarptautinėse konferencijose.

Abstract

The doctoral dissertation examines the impact of the built environment on human quality of life and emotional well-being. The research object of the dissertation is the built environment and the stakeholders involved and willing to achieve their objectives in this environment. The dissertation aims to develop a multi-criteria built environment data analysis and decision-support method, entitled as UADARM, and a smart decision-support system that enables stakeholders, including real estate developers, construction companies, building management companies, municipalities, designers, scientific institutions and others, to contribute to the development and management of the built environment.

The doctoral dissertation addresses several main tasks: developing a recommendation method, identifying any issues with the decision-support system and assessing the system's reliability. The selected methods were used to justify the usefulness of the data analysis and decision-support system, data analysis methods, and the decision-support system. Empirical research of the developed systems were carried out.

The doctoral dissertation consists of an introduction, three chapters, general conclusions, a list of references to previous research, a list of the author's publications on the subject of the dissertation and 4 annexes.

The first chapter reviews previous scientific research on the impact of the built environment on human emotional wellbeing and studies the measurement methods and systems that can properly assess the emotional level of (dis)satisfaction. The conclusions section evaluates previous research and offers a summary of what is new in this dissertation.

The second chapter describes the multi-criteria built environment analysis and decision-support system (UADARS), which allows to measure, analyse and display of human mood and comfort levels in the built environment. The system was used and practically tested during the Vilnius Light Festival in 2019 and 2020.

The third chapter covers the development of a smart and adaptive building management system (SAPVS). Multi-criteria analysis and calculations on a range of options under the SAPVS system were carried out by using the INVAR method; the best options to facilitate decision-making for stakeholders were identified, and conclusions were drawn.

Five articles were published on the subject of the doctoral dissertation. Two of them were published in the *Clarivate Analytics Web of Science* database. Two presentations were made on the subject of the study at international conferences.

Žymėjimai

Simboliai

$A_{1/3}$ – 1/3 realaus laiko susijaudinimo reikšmė;
 A_r – realaus laiko susijaudinimas;
 a_x – alternatyva;
 F – kvėpavimo dažnis;
 l – susijusių rangų grupėje skaičius, įvertinant k ekspertui;
 m – kriterijų skaičius;
 n – lyginamų variantų skaičius;
 P – pulsas;
 q_i – i kriterijaus reikšmingumas;
 Q_j – santykinis reikšmingumas;
 S_{+j} – įvertintų minimizuojančių normalizuotų kriterijų suma;
 S_{-j} – įvertintų maksimizuojančių normalizuotų kriterijų suma.

Santrumpos

ASCII – Amerikos standartinis informacijos mainų kodas (angl. *American Standard Code For Information Interchange*);

BIM – pastato informacinis modeliavimas (angl. *Building Information Modeling*);

CIM – miesto informacinis modeliavimas (angl. *City Information Modeling*);

COPRAS – daugiakriteris kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas (angl. *COmplex PROportional Assessment*);

DI – daiktų internetas;

DMX512 – skaitmeninis multipleksas (angl. *Digital Multiplex 512*);

EEG – elektroencefalografija (angl. *Electroencephalography*);

EmBaGIS – GIS emocinis barjeras (angl. *Emotional Barrier-GIS*);

ES – Europos Sąjunga;

GIS – geografinė informacinė sistema (angl. *Geographic Information System*);

GPS – pasaulinė padėties nustatymo sistema (angl. *Global Positioning System*);

GSR – galvaninis odos atsakas (angl. *Galvanic Skin Response*);

http – hiperteksto perdavimo protokolas (angl. *Hypertext Transfer Protocol*);

INVAR – projekto naudingumo laipsnio ir investicinės vertės nustatymo metodas, teikiant rekomendacijas (angl. *Degree of Project Utility and Investment Value Assessments along with Recommendation Provisions*);

IoE – visko internetas (angl. *Internet of Everything*);

IoT – daiktų internetas (angl. *Internet of Things*);

IP – interneto protokolas (angl. *Internet Protocol*);

IT – informacinės technologijos;

JSON – „JavaScript“ objektų žymėjimas (angl. *JavaScript Object Notation*);

KD₁₀ – kietosios dalelės 10 μm;

KD_{2,5} – kietosios dalelės 2,5 μm;

LED – šviesos diodas (angl. *Light Emitting Diode*);

M2M – mašina mašinai (angl. *Machine-to-Machine*);

MTC – mašinos tipo komunikacija (angl. *Machine Type Communication*);

NDIR – nedispersinis infraraudonųjų spindulių jutiklis (angl. *Nondispersive infrared sensor*);

NFC – artimo lauko komunikacija (angl. *Near-Field Communication*);

PAD – emocinės būsenos duomenų bazė (angl. *Pleasure-Arousal-Dominance*);

PPGIS – visuomenės dalyvavimo geografinės informacijos sistema (angl. *public participation geographic information system*);

RGB – raudona, žalia, mėlyna (angl. *Red, Green, Blue*);

RGBAW – raudona, žalia, mėlyna, balta (angl. *Red, Green, Blue and White*);

RH – santykinis drėgnumas (angl. *Relative Humidity*);
ROCK – Kultūros paveldo regeneravimas ir optimizavimas kūrybiniuose ir žinių miestuose (angl. *Regeneration and Optimisation of Cultural heritage in creative and Knowledge cities*);
SAVAS – sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras;
SAPVS – sumanių, adaptyvių pastatų valdymo sistema;
SPS – sprendimų paramos sistema;
ŠVOK – šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistema;
TVOC – bendras lakiųjų organinių junginių kiekis (angl. *Total volatile organic compounds*);
UADARM – užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinis metodas;
UADARS – užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinė sistema;
UDP – vartotojo datagramos protokolas (angl. *User datagram protocol*);
UNESCO – Jungtinių Tautų švietimo, mokslo ir kultūros organizacija (angl. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*);
VGTU SVNT – Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai	2
Tyrimų metodika.....	3
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	3
Ginamieji teiginiai.....	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	6
1. UŽSTATYTA APLINKA IR PATOGUMAS JOJE – MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ	7
1.1. Užstatytos aplinkos poveikis gyvenimo patogumui	7
1.1.1. Viešosios atviros erdvės koncepcija	15
1.1.2. Personalizuotos klimato kontrolės sistemos	18
1.2. Emocinių būsenų matavimo metodai	19
1.3. Užstatytos aplinkos suinteresuotų grupių biožemėlapiai.....	22
1.4. Personalizuotų aplinkos parametrų valdymo sistemų patentų apžvalga.....	25

1.4.1. Aplinkos kontrolės sistema ir jos metodas.....	25
1.4.2. Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo paslaugų individualizavimo metodas ir sistema	25
1.4.3. Personalizuotas pastato komforto valdymas.....	26
1.4.4. Kambario temperatūros ir drėgmės kontrolės metodas ir įtaisas	27
1.4.5. Individuali oro kondicionavimo sistema.....	29
1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	30
2. UŽSTATYTOS APLINKOS DAUGIAKRITERIS ANALIZĖS METODAS IR SISTEMA	33
2.1. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinio metodo kūrimo etapai	33
2.2. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinė sistema ir jos architektūra.....	41
2.2.1. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinės sistemos architektūra	41
2.2.2. Matavimo ir atvaizdavimo įrenginių posistemis	43
2.2.3. Modelių bazės.....	62
2.3. Antrojo skyriaus išvados	66
3. PASTATŲ APLINKOS PARAMETRŲ PERSONALIZUOTAS VALDYMAS	69
3.1. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos kūrimo etapai	69
3.2. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos įrangos posistemis.....	72
3.2.1. Matavimo prietaisų posistemis	73
3.2.2. Erdvių aplinkos keitimo įrenginių posistemis.....	77
3.2.3 Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos duomenų bazė	81
3.3. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos programinės įrangos vartotojo sąsaja.....	81
3.4. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos modelių bazė ir sistemos veikimo etapai	85
3.4.1. Patalpos aplinkos parametrų valdymo modelis.....	87
3.4.2. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos rezultatų analizė	96
3.5. Trečiojo skyriaus išvados	106
BENDROSIOS IŠVADOS	109
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	113
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	121
SUMMARY IN ENGLISH.....	123
PRIEDAI.....	139
A priedas. Aplinkos valdymo sistemų patentų palyginimas.....	140
B priedas. Aplinkos parametrų matavimo prietaiso charakteristikos	141
C priedas. Normalizuota sprendimų matrica	142
D priedas. Kiekybinė ir kokybinė informacija, susijusi su alternatyvomis	143

Contents

INTRODUCTION	1
Problem formulation	1
Relevance of the dissertation.....	2
Research object	2
Aim of the dissertation	2
Tasks of the dissertation.....	2
Research methodology	3
The scientific novelty of the dissertation.....	3
The practical value of the research findings.....	3
Defended statements	5
Approval of the research findings	5
Structure of the dissertation.....	6
1. BUILT ENVIRONMENT AND COMFORT IN IT – ANALYSIS OF SCIENTIFIC LITERATURE.....	7
1.1. Impact of the built environment on the comfort of living	7
1.1.1. Concept of urban open space.....	15
1.1.2. Personalised climate control systems.....	18
1.2. Methods for measuring affect states.....	19
1.3. Bio maps of built environment stakeholders	22
1.4. Review of patents for personalised environmental management systems.....	25
1.4.1. Environmental control system and its method.....	25

1.4.2. Method and system for individualisation of heating, ventilation and air conditioning services	25
1.4.3. Personalised building comfort management	26
1.4.4. Method and device for controlling room temperature and humidity	27
1.4.5 Individual air conditioning system.....	29
1.5. Conclusions of the first chapter and formulation of tasks of the dissertation....	30
2. MULTI-CRITERION ANALYTICAL METHOD AND SYSTEM FOR THE BUILT ENVIRONMENT	33
2.1. Stages in the development of the multi-criteria built environment data analysis and decision-support method.....	33
2.2. Multi-criteria built environment data analysis and decision-support system and its architecture	41
2.2.1. Multi-criteria built environment data analysis and decision-support system architecture	41
2.2.2. Measurement and display equipment subsystem	43
2.2.3. Model bases	62
2.3. Conclusions of the second chapter	66
3. PERSONALISED MANAGEMENT OF BUILDING SPACES.....	69
3.1 Smart adaptive building management system development stages	69
3.2 Smart adaptive building management system equipment subsystem	72
3.2.1. Measuring instruments subsystem	73
3.2.2. Spatial change subsystem	77
3.2.3 Smart adaptive building management system database.....	81
3.3. Smart adaptive building management system software user interface	81
3.4. Stages and model base of personalised quality management system of building spaces	85
3.4.1. Indoor environment parameter management model	87
3.4.2. Analysis of smart adaptive building management system results.....	96
3.5. Conclusions of the third chapter.....	106
GENERAL CONCLUSIONS	109
REFERENCES	113
LIST OF THE PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	121
SUMMARY IN ENGLISH.....	123
ANNEXES.....	139
Annex A. Comparison of environmental management systems patents.....	140
Annex B. Characteristics of the measuring device for environment parameters....	141
Annex C. Normalised decision matrix	142
Annex D. Quantitative and qualitative information relates to alternatives.....	143

Įvadas

Problemos formulavimas

Užstatyta aplinka – tai žmogaus sukurta architektūrinė ir inžinerinė įvairovė, padedanti žmonėms kasdienėje veikloje. Užstatytos aplinkos ar dizaino sąvokos pirmiausia suponuoja miestų ar gyvenamųjų vietų erdvių vaizdus. Įgimtas žmogaus siekis – gyventi ir leisti laisvalaikį aplinkoje, kuri teiktų džiaugsmą, būtų patogi ir harmoninga. Nemažą savo gyvenimo laiko dalį žmonės praleidžia darbe, mokykloje, universitete ar darželyje. Daug dėmesio architektai skiria darbo vietoms, laisvalaikio zonoms biurų kompleksuose ir netgi miego zonoms (nuo to priklauso žmonių darbo našumas) projektuoti. Pogulio kambariai egzistuoja tokiose gerai žinomose korporacijose kaip UBER, miego krėslai – centrinėje GOOGLE būstinėje. Visi šie pavyzdžiai liudija viena – užstatyta aplinka gali sužadinti emocijas.

Žmogų supanti aplinka per sukeltą emociją kuria bendrą žmogaus savijautą. Individai, kaip visuomenė, bendrauja su architektūra. Jei būtų galima geriau suprasti, kokią įtaką negraži architektūra daro mūsų gyvenimui, priimant atitinkamus sprendimus, būtų galima išvengti praeityje padarytų klaidų.

Tiriamąją darbo problemą sudaro užstatytos aplinkos poveikio savijautai vertinimas, todėl biometrinių technologijų naudojimas galėtų būti vienas iš sprendimų objektyviau įvertinti žmogaus patogumą užstatytoje aplinkoje. Taikant užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinį metodą UADARM ir

sistemą UADARS galima priimti racionalesnius sprendimus ir padidinti žmogaus fizinę ir emocinę gerovę.

Darbo aktualumas

Šiandien daugiau nei pusė pasaulio gyventojų gyvena miestuose, tačiau prognozuojama, kad iki 2050 m. šis skaičius išaugs iki dviejų trečdalių. Tai reiškia, kad tuomet jau du trečdaliai pasaulio gyventojų kasdien bus supami žmogaus sukurtos aplinkos – pastatų, parkų, žaliųjų erdvių ir kt. Intuityviai, apsiribojant atskirais pastatais ir dažniausiai nesistengiant kurti bendros urbanizuotos aplinkos harmonijos, žmogų supančios erdvės atliepia paskirties ar pritaikymo objekto poreikius: spalvingi vaikų darželiai ir žaidimų aikštelės, funkcionalūs visuomeninės paskirties pastatai, gamtos artumo pojūtį kuriantys parkai.

Užstatytos aplinkos poveikio tyrimo aktualumą didina miesto gyventojų senėjimo, polinkio į stresą ir psichinius sutrikimus faktas. Trūkstant supratimo apie viešųjų erdvių poveikį žmogui, šis tyrimas veda į naują pamatuotą suvokimą, kad vis daugiau žmonių nuolatos esant urbanizuotoje aplinkoje ir kartu senstant visuomenei svarbu kurti ne tik fiziškai judėti patogią, bet ir psichologiškai komfortišką aplinką.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektą sudaro užstatyta aplinka ir jame dalyvaujančios ir savo tikslus joje norinčios įgyvendinti suinteresuotos grupės.

Darbo tikslas

Šios disertacijos tikslas – sukurti daugiakriterės duomenų analizės rekomendacinį metodą (UADARM) ir sistemą (UADARS), galinčią bekontakčiu būdu įvertinti žmogaus komforto būseną užstatytoje aplinkoje, kuri prisidėtų kuriant tvarią ir patogią, į žmogų orientuotą užstatytą aplinką.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti reikia:

1. Parinkti metodus, skirtus integruotai užstatytos aplinkos daugiakriterių duomenų analizei atlikti bei įvertinti jų patikimumą.

2. Identifikuoti užstatytos aplinkos daugiakriterės duomenų analizės bei rekomendacinės (UADARS) sistemos problemas.
3. Pagrįsti UADARS sistemos naudingumą.
4. Modifikuojant UADARM metodą sukurti sumanių, adaptyvių pastatų valdymo sistemą (SAPVS).
5. Atlikti sukurtų sistemų metrologinių parametrų patikrinimą, bei veikimo etapų nuoseklumą.

Tyrimų metodika

Rengiant disertaciją buvo remtasi mokslinėmis publikacijomis, technologinių jutiklių gamintojų pateiktomis charakteristikomis. Kuriant UADARM metodą ir UADARMS sistemą, buvo integruotas projekto naudingumo laipsnio ir investicinės vertės nustatymo metodas, teikiant rekomendacijas INVAR (angl. *Degree of Project Utility and Investment Value Assessments along with Recommendation Provisions*). Biometriniais duomenims matuoti panaudoti bekontakčiai jutikliai ir kameros.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės bei rekomendacinės sistemos kūrimo procese integruoti daugiakriteriai sprendimų priėmimo, statistiniai, rekomendaciniai, biometrinės analizės metodai ir sistemos.
2. Sukurtas inovatyvus užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinis UADARM metodas, apjungiantis INVAR metodą ir bekontaktes matavimo sistemas.
3. Sukurtos inovatyvios bekontaktės užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės sistema UADARS, bei sumanių, adaptyvių pastatų valdymo sistema SAPVS.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Šioje disertacijoje daugiausia dėmesio skiriama žmonių patogumui juos supančioje aplinkoje, t. y. miesto erdvėse, parkuose, mikrorajonuose, poilsio zonose,

muziejuose, verslo centruose ir t. t. Siekiama sukurti tokią sistemą, kuri būtų mobili, efektyvi ir bekontaktė, leidžianti išmatuoti ir įvertinti šimtus tūkstančių gyventojų, netrikdant jų, eliminuojant jų reakciją į kontaktinius jutiklius ir pašalinant subjektyvią dalyvio nuomonę rankomis sudarinėjant žemėlapius ar pildant apklausų duomenis.

Turint bekontaktes matavimo sistemas, būtų galima analizuoti gyventojų emocijas įvairiuose miestų rajonuose, įvertinant pasitenkinimo lygį gyvenamąja aplinka. Miestų savivaldybių administracijos galėtų įvertinti, kuriuose mikrorajonuose žmonės jaučiasi laimingi, o kuriuose jų emocinis lygis turi neigiamą atspalvį. Taip pat būtų galima lyginti šalies įvairių miestų emocinį lygį išvengiant iki šiol naudotų selektyvių apklausų, kurios iš tiesų ne visuomet atspindi, ką jaučia asmuo. Taip pat pastebėta, kad žmogus ne visuomet gali pats identifikuoti ir suprasti savo emocijas. Apklausos metu uždavinėjant klausimus, vienokį ar kitokį atsakymą gali lemti tuo metu esama emocinė žmogaus būseną ir tai, kaip jis jaučiasi būtent tuo metu. Naudojant neinvazines, nuotoline sistemas būtų išvengta kontakto su apklausos dalyviu, o tai labiau atspindėtų jo būseną.

Sujungiant projektavimo programas su pastatų informaciniu modeliavimu BIM (angl. *Building Information Modeling*) ir miestų informaciniu modeliavimu CIM (angl. *City Information Modeling*) moduliais bei įtraukiant didelės apimties duomenis, kurie sujungtų gyventojų emocinę būseną, būtų galima turėti visapusi miesto daugiasluoksnį žemėlapi su įvairia lengvai prieinama informacija, panaudojama tolesniuose užstatytos aplinkos projektavimo etapuose.

Tai būtų įrankis, nurodantis gaires savivaldybėms, nekilnojamojo turto ir projektų vystytojams, kaip reikia kurti užstatytą aplinką, kad žmonės joje galėtų jaustis patogiai.

Tyrimų rezultatai ir sistemos buvo praktiškai pritaikytos šiuose projektuose:

- „Horizon 2020. Regeneration and Optimisation of Cultural heritage in creative and Knowledge cities (ROCK)“. 2017–2020.
- Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS). 2018–2021.
- „Horizon 2020. Building Information modelling adapted to efficient renovation (BIM4REN)“. 2018–2020.
- „Erasmus+ programme. Integrating education with consumer behaviour relevant to energy efficiency and climate change at the Universities of Russia, Sri Lanka and Bangladesh (BECK), Project leader“. 2018–2021.

Ginamieji teiginiai

1. Taikant biometrinius (temperatūros, kvėpavimo dažnio, pulso, veido emocijų) matavimo, daugiakriterės analizės ir rekomendacinius metodus, sukurtas inovatyvus, užstatytos aplinkos daugiakriteris analizės rekomendacinis metodas (UADARM). Pasitelkus šį metodą sudarytas racionalus pagrindas užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės problemų sprendimų priėmimui, perprantant ir modeliuojant sudėtingas situacijas.
2. Taikant UADARM metodą, kuriama inovatyvi užstatytos aplinkos daugiakriterė analitinė-rekomendacinė sistema. Joje susijungia matematikos, statybos inžinerijos mokslo, informatikos, ekonomikos, sprendimų priėmimo ir kitų sričių teorijos bei metodikos. UADARM – tai metodų visuma, sprendžianti sudėtingas statybos inžinerijos problemas, kurią pasitelkdamos suinteresuotos grupės gali priimti objektyvius sprendimus.
3. Palyginti su savidiagnostikos testais, sukurtoji užstatytos aplinkos daugiakriterė duomenų analitinė-rekomendacinė sistema leidžia objektyviau įvertinti suinteresuotoms grupėms kiekybinius ir kokybinius užstatytos aplinkos aspektus, remiantis emociniais ir fiziologiniais žmonių rodikliais.
4. Sukurtoji užstatytos aplinkos daugiakriterė duomenų analitinė-rekomendacinė sistema padeda identifikuoti neigiamus veiksnius ir parrenka racionaliausias personalizuotas rekomendacijas konkrečiam žmogui, siekiančiam padidinti savo patogumą užstatytoje aplinkoje.

Darbo rezultatų apibavimas

Disertacijos tema publikuoti penki moksliniai straipsniai. Detalus publikacijų sąrašas pateiktas disertacijos „Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas“ skyriuje.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti dviejose tarptautinėse konferencijose:

- Kaklauskas, A., Velykorusova, A., Skirmantas, D. Development of the video neuroadvertising method and recommender system. 17-asis tarptautinis koliokviumas „Tvarūs sprendimai užstatytoje aplinkoje“, 2019, Vilnius, Lietuva.

- Kaklauskas, A., Binkytė-Vėlienė, A., Vetlovienė, I., Skirmantas, D., Kuzminskė, A. An affective, intelligent, tutoring system for passive house neuromarketing. „EDULEARN20: 12-oji tarptautinė švietimo ir naujų mokymosi technologijų konferencija”, 2020, Palma, Ispanija.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai ir bendrosios išvados, literatūros ir šaltinių bei autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas.

Darbo apimtis – 138 puslapių, tekste pateikta 9 numeruotos formulės, 41 paveikslai ir 27 lentelės. Rašant disertaciją naudotasi 94 literatūros šaltiniais.

Užstatyta aplinka ir patogumas joje – mokslinės literatūros analizė

Skyriuje pateikta žmogaus patogumo užstatytoje aplinkoje literatūros analizė. Nagrinėjamas aplinkos poveikis žmonių patogumui per jų patiriamą emociją. Apžvelgiamos personalizuotos klimato kontrolės sistemos, virtualiosios realybės pritaikymas užstatytos aplinkos vizualizacijai prieš pradedant statybos darbus. Aprašoma BIM ir CIM integracijos svarba miestams valdyti. Skyriaus tematika publikuotas straipsnis (Kaklauskas et al., 2019).

1.1. Užstatytos aplinkos poveikis gyvenimo patogumui

Užstatyta aplinka paliečia visus mūsų gyvenimo aspektus. Ji apima pastatus, infrastruktūrą, kelius, tiltus, parkus. Paprastai tai galima apibūdinti kaip žmogaus sukurtas erdves, suteikiančias žmonėms gyvenamąsias, darbo ir poilsio erdves.

Užstatyta aplinka reiškia žmogaus sukurtą aplinką, kuri sudaro sąlygas žmogaus veiklai, pradedant nuo pastatų ir parkų ar žaliųjų erdvių iki rajonų ir miestų. Užstatyta aplinka atlieka esminį vaidmenį formuojant fizinę, fiziologinę ir psichologinę žmogaus gerovę, atsižvelgiant į tai, kad daugiau nei tris ketvirtadalius savo laiko praleidžiame patalpose (Zou, 2019).

Užstatyta aplinka yra materialus, erdvinis ir kultūrinis žmogaus darbo produktas, sujungiantis fizinius elementus ir gyvenimo energiją darbo ir žaidimo formomis. Ji apibrėžiama kaip žmogaus sukurta erdvė, kurioje žmonės gyvena, dirba ir kuria kasdienybę (Roof & Oleru, 2008). Užstatytos aplinkos plėtra yra skirta tenkinti jos gyventojų poreikius. Žmogaus poreikiai gali būti fiziologiniai arba socialiniai ir gali būti svarbūs saugumui, pagarbai ir saviraiškai. Žmonės nori, kad jų užstatyta aplinka būtų estetiškai patraukli ir prieinama vietoje, su išvystyta infrastruktūra, patogiu susisiekimu ir gerais keliais (Kaklauskas, 2016a).

Suvokdami užstatytą aplinką, žmogaus jutimai veikia kartu, bet netiesiogiai. Dėmesys gyvenimo pojūčiams gali parodyti alternatyvią vietos geografiją, siūlant įžvalgą apie jausmus, praktikas ir išgyvenimus, dažnai paslėptus po bendra nuomone. Taigi kiekvienas pojūtis gali būti reikšmingas keičiant užstatytą aplinką.

Pastangos įvertinti miesto poveikį žmogaus emocijoms tiek subjektyviu, tiek objektyviu požiūriu pastaraisiais dešimtmečiais buvo susijusios su įvairių metodų ir priemonių kūrimu ir taikymu (Kaklauskas, 2019).

Emocijos architektūroje dažnai gali būti susietos su tuo, kaip architektūra skleidžia „vietos pojūtį“ – kai emocijas, patirtas dėl tam tikros architektūros, gali suformuoti jos „vietos pojūtis“ (Lehman, 2019). Neuromokslų tyrimai parodė, kad emocijas patiriame dar prieš jas sąmoningai suvokdami (Eberhard, 2009). Kaip ir trumpalaikės būsenos, tiesiogiai susijusios su aplinkos dirgikliais (Schreuder, 2016), galima manyti, kad emocijos yra tvirtai susijusios su jutiminiu suvokimu. Vieša erdvė reiškia gatves, parkus ir pastatus. Dizaineriai arba reaguoja į bendruomenę savo darbu, arba jie formuoja bendruomenės nuomonę diktodami savo sprendimus. „Pastatai nėra tik išraiškingos skulptūros. Jie parodo mūsų asmeninius ir kolektyvinius kaip visuomenės siekius. Puiki architektūra gali suteikti mums vilties. Puiki architektūra gali išgydyti“ (Murphy, 2006). Sukurti memorialai gali sukelti tokias emocijas kaip pasididžiavimas, liūdesys ar dėkingumas. Panašiai kiti pastatų tipai gali nustebinti ar netgi sušvelninti nuotaiką. Viskas priklauso nuo to, kaip suprojektuota konkreti vieta – ji sukelia emocinį atsaką joje gyvenantiems ar esantiems žmonėms.

Aplinkos psichologas Ellardas (2011) teigė, kad net neįmantrus pastatas, pavyzdžiui, daugiabutis, gali sukelti stresą. Buvo nustatyta, kad pėstieji skuba praeiti teritoriją, kur dominuoja monolitiniai, griežti pastatai. Anot jo, gali labai pakenkti buvimas šalia tokių pastatų, ypač tiems, kurie gyvena netoliese. Niūri aplinka gali sukelti stresą ir impulsyvų, rizikingą elgesį, o labiau stimuliuojantys, turintys lieknės, elegantiškesnės dizainą objektai palyginti gali teigiamai paveikti žmogaus nuotaiką.

Iš dalies užstatytą aplinką galima apibendrinti kaip architektūrą. Klausimas, kas yra architektūra, yra vienas elementariausių, bet kartu ir sudėtingiausių, kurių užduoda patys architektai. Tai filosofinis klausimas, į kurį rasti tikslų atsakymą be detalaus pagrindimo ir argumentacijos sunku. Jei menininkų darbai svyruoja nuo

tikrovės iki abstraktaus atvaizdavimo, architektai dirbdami turi nuo abstraktaus pereiti iki realių objektų, atsižvelgdami į visus inžinerijos, saugos, funkcijos, klimato ir ekonomiškumo apribojimus.

Šiandien daugiau nei pusė pasaulio gyventojų gyvena miestuose, tačiau prognozuojama, kad iki 2050 m. šis skaičius išaugs iki dviejų trečdalių. Viešosios erdvės yra gyvybiškai svarbi tokių miestų sudedamoji dalis, todėl klausimas, kas sukuria puikią viešąją erdvę, kas daro šias erdves patogesnes tiek psichologiškai, tiek fiziologiškai, kai kuriems žmonėms labiau nei kitiems (Daly et al., 2016) tampa ypač aktualus.

Kartu Europos miestai tampa vis senesni. ES 2018 m. senėjimo ataskaitoje teigiama, kad iki 2070 m. daugiau nei pusė europiečių bus vyresni nei 65 metai („The 2018 Ageing Report“). Dėl prastos sveikatos ir ribotų pajamų vyresnio amžiaus žmonės gali būti labiau linkę į izoliaciją, depresiją ir psichinį nuosmukį. Šiame kontekste miesto dizaino panaudojimas gerovei skatinti tampa ypač aktualus. Greta pastatų vidaus ir interjero dizaino yra kuriami virtualiosios realybės ir scenarijų testavimo modeliai, kurie padeda miesto planuotojams ir architektams gauti realaus laiko atsiliepimus apie jų dizaino poveikį psichinei sveikatai, ypač vyresnio amžiaus žmonėms. Neurologai, architektai, menininkai ir epidemiologai dabar mato, kaip tai padaryti, tikrindami žmonių emocinę reakciją į tokias erdves ir pastatus dar prieš padedant pirmą plytą (Burke, 2019).

Neurologijos žinios gali suteikti įrodymais pagrįstų ir objektyvių duomenų, kurių nebuvimas iki šiol buvo vienas didžiausių dabartinių teorijų trūkumų bandant ištirti žmogaus patirtį užstatytoje aplinkoje. Neuromokslų žinių raida ne tik leis mums efektyviai suvokti žmonių poreikius, atsakymus ir patirtį užstatytoje aplinkoje, bet ir toliau atliks vis svarbesnį vaidmenį, teikdama kryptį būsimai architektūros ir užstatytos aplinkos studijų sričiai (Karakas, 2019).

Emocinės būsenos yra gyvybiškai svarbios pažintiniams procesams, tokiems kaip samprotavimai ir sprendimų priėmimas, taip pat socialiniam elgesiui. Žinojimas, kaip aplinka individams sukelia emocinę reakciją, suteikia pagrindą suprasti, kaip žmonės įsitraukia ir sąveikauja su erdvėmis (Roe & Aspinall, 2010), ir suteikia galimybę viešųjų erdvių dizaineriams, planuotojams ir valdytojams įvertinti žmonių reakcijas į įvairius stimulus (Roe et al., 2013) apstatytoje aplinkoje. Vis dėlto dar nėra aiškiai suprantama, kaip skirtingi aplinkos dirgikliai sąveikauja, todėl reikia ištirti, kaip žmonės emociškai reaguoja į daugialypius stimulus, su kuriais susiduriama kasdieniame gyvenime, kai naudojasi skirtingomis erdvėmis.

Labai svarbu suprasti neigiamas emocines reakcijas viešosiose erdvėse, nes pastangos sumažinti nerimo patirtį viešosiose erdvėse tampa vis aktualesnės visuomenėse, kuriose nerimas laikomas šiuolaikinio gyvenimo mieste simptomu (Dillon, 2005). Lederbogenas et al. (2011) susiejo miesto aplinką su stresu. Moks-

lininkai pastebėjo, kad nuotaikos ir nerimo sutrikimai yra labiau paplitę tarp miestiečių. Šizofrenijos dažniau pasireiškia žmonėms, gimusiems ir užaugusiems miestuose.

Trūksta supratimo, kaip viešosios erdvės gali būti suprojektuotos, kad jos sumažintų nerimą ir padidintų jų vartotojų psichologinio komforto jausmą (Dillon, 2005). Anot Dillono (2005), psichologinis komfortas miesto erdvėse yra susijęs su tuo, kaip viešosios erdvės dizainas veikia psichologinės įtraukties ar atskirties lygį. Komfortas gali būti laikomas pusiausvyra tarp atsipalaidavimo ir stimuliacijos. Įeidami į erdvę ją suvokiame savo pojūčiais. Jutimo dirgikliai sukelia susijaudinimą, kuris gali sukelti psichologinę ir fiziologinę reakciją į komfortą ar diskomfortą.

Architektūrinį dizainą pirmiausia skatina erdvės, tūrio, tekstūros, šviesos, šešelio, medžiagų, programos ir realistinių elementų, tokių kaip kaina, konstrukcija ir technologijos, manipuliavimas, siekiant estetinio, funkcinio tikslo. Tai skiria architektūrą nuo inžinerinio projektavimo, kurį dažniausiai lemia kūrybinis matematinių ir mokslinių principų taikymas. Architektūroje nėra vieno modelio, kuris atitiktų viską. Kiekvienas pastato projektas turėtų atitikti unikalų kontekstą: vietą, klimatą, socialinius, biudžetą ir medžiagas. Pastatams turi būti suteikta galimybė senėti, prisitaikyti prie besikeičiančių reikalavimų ir jie turi būti lankstūs pritaikant įvairius naudojimo atvejus. Jie taip pat turėtų būti sukurti tvariai tiek medžiagoms, kurias naudoja statyboms, tiek energijos ištekliams, kurių jiems reikia, veikti. Architektūra neišvengiamai dalyvauja svarbiuose pokyčiuose, turinčiuose įtakos mūsų gyvenimui (Demery, 2010).

Yuanyuan et al. (2021) tyrinėjo užstatytos aplinkos Uhano mieste poveikį višumenės emocijoms, remdamiesi socialinės žiniasklaidos duomenimis. Užstatytos aplinkos projektavimo įtaką emocijoms, matuojant neurofiziologines koreliacijas ir subjektyvius rodiklius, tyrinėjo Bower et al. (2019). Wee et al. (2019) tyrinėjo, kokią įtaką daro užstatyta aplinka žmonių keliavimo elgsenai joje. Ma ir Cao et al. (2019) analizavo, kaip užstatytos aplinkos suvokimas tarpininkauja kelionių elgsenai. Kent et al. (2017) nustatė, kad suvokiami užstatytos aplinkos savybių vertinimai dažniau buvo siejami su subjektyvia gerove.

Aplinkos psichologas Ellardas (2011) teigė, kad net neįmantrus pastatas, pavyzdžiui, daugiabutis, gali sukelti stresą. Buvo nustatyta, kad pėstieji skuba praeiti teritoriją, kur dominuoja monolitiniai, griežti pastatai. Anot jo, gali labai pakenkti buvimas šalia tokių pastatų, ypač tiems, kurie gyvena netoliese. Niūri aplinka gali sukelti stresą ir impulsyvų, rizikingą elgesį, o labiau stimuliuojantys, turintys lieknės, elegantiškesnį dizainą objektai palyginti gali teigiamai paveikti žmogaus nuotaiką.

Pastato interjeras turėtų būti sukonstruotas taip, kad būtų naudinga erdvė. Priešingai nei projektuojant tai, kas padiktuotų asmeniui, kaip jaustis, tai bus lankstumas, leidžiantis žmonėms tai patirti ir ištirti. Šiuo tikslu dizainu turi

būti atsižvelgta į užduotis, kurias žmonės turi atlikti savo darbo vietoje. Erdvių įvairovė, įskaitant vietas grupiniam ar individualiam darbui, suteikia optimalias sąlygas ir pozityvesnę darbo aplinką. Tarp formos ir funkcijų, į kurias turi atsižvelgti dizaineriai ir architektai, yra pusiausvyra, kuri gali pasirodyti sudėtinga, jei nėra tikrų prototipų.

Galima išskirti keletą tiek teorinių, tiek empirinių aspektų, nulemiančių disertacijos reikšmę. Teorinėje plotmėje tyrimo naujumą pirmiausia lemia statinių ir infrastruktūros objektų vertinimas per žmogaus komforto būsenas. Antra, komforto būsenų susiejimas su žmogaus fiziologiniais pokyčiais. Trečia, tyrimui naujumo ir išskirtinumo suteikia pasitelktų empirinio tyrimo metodų visuma, vertinant žmogaus būsenas skirtinguose aplinkose ir matuojant fizinius žmonių pokyčius per patiriamas emocijas. Empirinėje plotmėje darbo naujumą ir reikšmę tiek Lietuvos, tiek pasaulio tyrimų statybų inžinerijos diskurse lemia sukonstruotos teorinės priegijos pritaikymas ir praktinis tyrimo modelis.

Žmogaus emocijos, fiksuojamos kaip neverbalinė kalba, plačiai tyrinėjamos įvairių mokslo sričių: medicinos, saugumo, pedagogikos, verslo, pramogų ir t. t. Tad bendrai paėmus žmogaus emocinės būsenos įtaka jo fiziologiniams parametrams – ne naujas analizės objektas. Pirmosios išvalgos, kad žmogaus emocijos atspindi neverbalinėje jo kalboje, aptiriamos ir tyrinėjamos dar XIX a. Bellas (1806), detalai tyrinėdamas žmogaus fiziologiją (kaukolę, veido ir kūno raumenis), jo raidą, pateikia iliustruotus žmogaus būsenų paaiškinimus ir taip sukuria emocinės išraiškos aiškinimo pagrindus. Veido raumenų veiklą reiškiant emocijas detaliau tyrinėjo Burgessas (1839), Duchenne (1862), Gratiolet (1865). XIX a. viduryje atkreiptas dėmesys ir į odos laidumo pokyčius, priklausomai nuo žmogaus emocijų. 1849 m. vokiečių gydytojas Emilis du Bois-Reymondas pastebėjo, kad žmogaus oda yra elektriškai aktyvi, o vėliau Romainas Vigouroux, išmatavęs emociškai sutrikusių žmonių grupės odos varžą, konstatavo, kad elektrinė odos varža padidėdavo isteriškų pacientų (Vigouroux, 1879). Drąsiausias XIX amžiui išvadas apie universalias žmogaus emocijų išraiškas pateikė Darvinas (1872), teigdamas, kad „pati išraiška ar emocijų kalba, kaip ji kartais vadinama, žmonijos gerovei yra neabejotinos svarbos“ ir „pagrindinės žmogaus reiškiamos išraiškos yra tos pačios visame pasaulyje“ (Darwin, 1872).

Visgi neverbalikos mokslas daugiau dėmesio ir pripažinimo sulaukė tik XX a. antroje pusėje. Tuomet jau empiriniais skaičiavimais buvo bandoma pagrįsti, kokią dalį žmogaus komunikacijos sudaro neverbalinė kalba. Mehrabianas (1972) apskaičiavo, kad neverbalinė kalba sudaro 55 proc. žmogaus komunikacijos, o Burgoono (1994) teigimu, neverbalinė komunikacija sudaro 60–65 proc. visos tarpasmeninės komunikacijos.

Keičiantis technologinėms galimybėms neverbalinė komunikacija ir emocijos buvo pradėtos tirti išplėstiniuose integruotuose tyrimuose, pasitelkiant kontaktinius arba bekontaktinius jutiklius, termovizinius matavimus. Jinwoo et al. (2019),

norėdami išsiaiškinti, kokios užstatytos aplinkos savybės sukelia fizinį ir fiziologinį diskomfortą pėstiesiems, naudojo kontaktinius jutiklius, registruojančius pėsčiųjų eisenos stabilumą, pagreitį ir širdies susitraukimų dažnį. Be to, tiriamųjų buvo paprašyta pateikti subjektyvų vertinimą skalėje nuo 0 iki 10. Turėdamas šiuos duomenis, mokslininkas tyrinėjo ryšį tarp fiziologinių reakcijų ir esamų užstatytos aplinkos savybių, su kuriomis susiduria tiriamieji. Pavlidis et al. (2002) naudojo infraraudonųjų spindulių kameras savo tyrimams, teigdami, kad veido zonų temperatūra koreliuoja su patiriamomis emocijomis būsenomis. Cabanacas et al. (1991) nustatė, kad streso lygis koreliuoja su padidėjusia kraujotaka kaktos kraujagyslėse. Zenju et al. (2004) konstatavo, kad nosies odos temperatūra pakyla tada, kai psichinės būsenos keičiasi į malonias, ir krinta, kai keičiasi į nemalonias. Albarranas et al. (2017) atliko studiją, kurioje tyrinėjo, kaip keičiasi žmogaus veido zonų temperatūra, priklausomai nuo išgyventų emocijų, t. y. džiaugsmo, pasibjaurėjimo, pykčio, baimės ir liūdesio.

Tyrimai buvo atliekami ir su primatais. Chotard et al. (2018) panaudojo termografinio tyrimo metodą, tirdami teigiamas ir neigiamas primatų emocijas, o Heintzas et al. (2019) atliko tyrimus su trimis gorilomis. Abiem atvejais buvo prieita prie tos pačios išvados, kad infraraudonųjų spindulių termografija gali aptikti emocinį susijaudinimą, tačiau norint nustatyti pastebėtų pokyčių valentinumą reikalingi papildomi rodikliai.

Buvo pavienių bandymų emocinę būseną susieti su aplinkos ir vietos parametrais. Nummenmaa et al. (2013) tyrimuose panaudojo topografinę savianalizės priemonę, norėdami atskleisti, kad skirtingos emocinės būsenos yra susijusios su topografiškai skirtingais ir kultūriškai universaliais kūno pojūčiais. Fergusonas et al. (2018) analizavo užstatytos aplinkos poveikį psichologinei sveikatai. Visgi pasitelkus savianalizės metodą išlieka didelis subjektyvumo faktorius. Su patikimumo iššūkiais susidurta ir sudarinėjant miesto žemėlapius pasitelkus socialinių medijų platformas, pavyzdžiui, „Twitter“ (Resch et al., 2016), „Foursquare“ (Williams, 2011), „Instagram“, „Flickr“ (Wagner & Figueroa-Alfaro, 2016). Socialinių medijų platformų duomenys nėra patikimi dėl eksperimentinių įrodymų, kad emocinis užkrėtimas vyksta be tiesioginės žmonių sąveikos ir tam pakanka vaizduoti emociją išreiškiantį draugą socialiniuose tinkluose net nepateikiant jokių verbalinių užuominų.

Iki šiol dauguma tyrimų atlikta panaudojant jutiklius, kurių metu emocijos yra matuojamos kontaktiniu būdu arba per nedidelį atstumą. Kontaktiniai jutikliai „Affectiva Q-sensor“ ankstesniuose tyrimuose buvo panaudoti Jeongmi et al. (2015) analizuojant turistų emocijas, keliaujant Filadelfijoje (JAV). Kontaktiniu būdu matuojant žmogaus odos laidumą, temperatūrą bei analizuojant judesius, buvo matuojamas elektroderminis aktyvumas (Kim, Fesenmaier et al., 2015). Reifas et al. (2021) tyrinėjo emocijų laike ir erdvėje supratimą, pasitelkdamis GPS ir biometrinių jutiklių duomenis. Tačiau plačiau kalbėti apie dideles turistų grupes,

remdamiesi šiuo tyrimu, deja, negalime, nes tyrime dalyvavo tik du asmenys, kurių elektroderminis aktyvumas buvo matuojamas.

Noldas (2004) naudojo kontaktinį biometrinį jutiklį, matuojantį žmogaus odos laidumą susiejant šį parametą su padėties vieta, panaudojant globalios padėties nustatymo įrenginį GPS, ir taip sudarinėjo „Biožemėlapi“ su „tūkstančiais“ dalyvių 16-oje šalių.

Buvo keletas bandymų dekonstruoti, kas priverčia viešąją erdvę „dirbti“ jos vartotojams. Vieni sutelkdavo dėmesį į tai, kaip erdvės veikia žmogaus emocijas, naktį apšviečiant jas skirtingais apšvietimo įrenginiais. Vienas jų – erdvių plokštuminis apšvietimas, kai apšviečiamas grindinys. Kitas apšvietimo metodas buvo panaudotas konkrečių architektūrinių objektų apšvietimui (Rankel, 2014). Kiti svarstė, kaip vartotojai suvokia ir supranta erdvę, o treči – kaip erdvė gali paveikti fiziologinį komfortą (Gomez, 2013).

2007 m. *Fraunhofer* institutas sukūrė „Feel-o-Meter“. Tai aštuonių metrų aukščio skulptūra, sukurta atspindėti miesto nuotaiką realiuoju laiku. Speciali programa analizuoja gyventojų veido išraiškas, o iš neoninių vamzdžių ir plieno pagaminta skulptūra perteikia miesto gyventojų emocinę būseną. Ji gali pasidaryti laiminga, liūdna ar neutrali, priklausomai nuo miesto lankytojų.

Nors skulptūra buvo skirta parodyti žmonėms, kad jų emocijas galima „pamatyti“, vienas iš instaliacijos kūrėjų Bismarckas et al. (2012) pažymi, kad buvo siekiama, jog žmonės pradėtų svarstyti, ar jie nori, kad kiti perskaitytų jų emocijas, ir ar jie patys nori sužinoti kitų emocijas, taip pat ar jie nori būti privatūs, ar vieši. Bismarckas mano, kad geriau vengti viešo demonstravimo.

Mokslininkai (Kramer et al., 2014) teigia, kad laimingos ar liūdnos emocijos yra užkrečiamos. Galų gale, ar žinant tikrąjį savo kaimynų ar rajonų pulsą tam tikrą dieną pasikeis jūsų savijauta ir gyvenimas? Gali būti įdomu sužinoti, kas nutiktų, jei mums kasdien būtų suteikta galimybė viešai parodyti asmenines emocijas.

Tačiau trūksta literatūros tyrinėjant, kaip šie veiksniai gali sąveikauti tarpusavyje ir paveikti žmogaus patirtį viešosiose erdvėse.

Emocinės būsenos yra gyvybiškai svarbios pažintiniams procesams, tokiems kaip samprotavimai ir sprendimų priėmimas, taip pat socialiniam elgesiui. Žinojimas, kaip aplinka individams sukelia emocinę reakciją, suteikia pagrindą suprasti, kaip žmonės įsitraukia ir sąveikauja su erdvėmis (Roe & Aspinall, 2010) ir suteikia galimybę viešųjų erdvių dizaineriams, planuotojams ir valdytojams įvertinti žmonių reakcijas į įvairius stimulus (Roe et al., 2013) užstatytoje aplinkoje. Amerio et al. (2020) teigia, kad norint ištirti užstatytos aplinkos poveikį psichinei sveikatai reikalingas sustiprintas tarpdisciplininis požiūris, apimantis miestų planavimą, visuomenės psichikos sveikatą, aplinkos sveikatą, epidemiologiją ir sociologiją.

Kaklauskas et al. (2020) analizavo emocinių ir biometrinių būsenų įtaką emocinei užstatytos aplinkos turto vertei. Labai svarbu suprasti neigiamas emocines reakcijas užstatytoje aplinkoje, nes pastangos sumažinti nerimo patirtį viešosiose erdvėse tampa vis aktualesnės visuomenėse, kuriose nerimas laikomas šiuolaikinio gyvenimo mieste simptomu (Dillon, 2005). Lederbogenas et al. (2011) susiejo miesto aplinką su stresu. Mokslininkai pastebėjo, kad nuotaikos ir nerimo sutrikimai yra labiau paplitę tarp miestiečių. Šizofrenijos dažniau pasireiškia žmonėms, gimusiems ir užaugusiems miestuose. Tyrimai rodo, kad žmonių ugdymas ir gyvenimas mieste turi skirtingą poveikį socialiniam streso vertinimui. Gyvenimas mieste buvo susijęs su padidėjusiu smegenų migdolinio kūno aktyvumu, nes miesto „auklėjimas“ paveikė perigenualinę priekinę smegenų žievę – pagrindinį migdolinio kūno veiklos reguliavimo regioną. Smegenų migdolinis kūnas veikia sudėtingai ir dalyvauja įvairiose funkcijose, nors ji išsiskiria savo vaidmeniu emociniame apdorojime, daugiausia baimės. Tačiau ji taip pat dalyvauja atminties ir sprendimų priėmimo procese.

Neigiamą emocinį atsaką, pavyzdžiui, baimę, gali sukelti stresą sukeliantys miesto veiksniai, kurie, kaip manoma, kelia grėsmę mūsų gerovei (Ellis, 2013). Nusikalstamumo baimė gali apriboti žmonių naudojimąsi aplinka. Kita vertus, aplinkos dirgikliai taip pat sukelia ir teigiamas emocines reakcijas.

Bendrai paėmus trūksta supratimo, kaip viešosios erdvės gali būti suprojektuotos, kad jos sumažintų nerimą ir padidintų jų vartotojų psichologinio komforto jausmą (Dillon, 2005). Anot Dillon (2005), psichologinis komfortas miesto erdvėse yra susijęs su tuo, kaip viešosios erdvės dizainas veikia psichologinės įtraukties ar atskirties lygį. Komfortas gali būti laikomas pusiausvyra tarp atsipalaidavimo ir stimuliacijos. Įeidami į erdvę ją suvokiame savo pojūčiais. Jutimo dirgikliai sukelia emocinį susijaudinimą, kuris gali sukelti psichologinę ir fiziologinę reakciją į komfortą ar diskomfortą.

Negana to, architektūra gali leisti ne tik gerai jaustis supančioje užstatytoje aplinkoje, ji taip pat gali gydyti. Daugelis ligoninių pacientų sulaukia asmeninio gydytojo dėmesio tik kartą per dieną, slaugytojų – kelis kartus, tačiau jie visą vieną regį supančią aplinką. Tai gali padaryti juos dar jautresnius aplinkai, kurioje jie yra. Geras dizainas svariai prisideda prie pacientų sveikatos rezultatų (Lawson, 2003).

Emocinė būseną – labai svarbus faktorius žmogaus sveikatai ir jo produktyvumui. Gera nuotaika, teigiamos emocijos, motyvacija ir patinkantis darbas didina darbo našumą, ir kartu pasiekiami geresni rezultatai. Ir atvirkščiai – bloga nuotaika, neigiamos emocijos vargina žmones, o visa tai daro neigiamą įtaką jų darbo rezultatams.

Labai svarbu, kad žmonės gerai jaustųsi ne tik užstatytose miesto erdvėse, bet ir ten, kur jie dirba, ilsisi, gyvena, t. y. ir pačiuose pastatuose. Kiekvienas iš mūsų

stengiamės susikurti priimtina ir patogią aplinką, tačiau kiekvienas individas patogumą ir grožį supranta skirtingai. Tad labai svarbu atsižvelgti į kuo daugiau kriterijų, darančių žmones laimingus juos supančioje aplinkoje.

Disertacijoje žmonių patogumas užstatytoje aplinkoje analizuojamas per patiriamas emocijas. Žmonija kasdien susiduria su įvairiomis emocijomis. Žodžio „emocija“ kilmės šaknys siekia XVI a. vidurį. Jis kildinamas iš prancūziško žodžio „émouvoir“ (apibūdinant viešąjį nerimą) – *jaudinti, sukelti*, sudaryto lotynų kalbos žodžio „emovere“ pagrindu, kurio reikšmė susideda iš dviejų žodžių *ex – nuo + movere – judėti, sujudinti*. Dabartinė šio žodžio reikšmė datuojama nuo ankstyvojo XIX a.

Emocijos yra neatskiriama visos žmogaus veiklos dalis, įskaitant žmogaus ir kompiuterio sąveiką (Lopatovska, Arapakis, 2011), tačiau dažniausiai mes emocijas painiojame su jausmais. Konkrečiai apibrėžto tikslaus emocijų klasifikavimo nėra, todėl skirtingi mokslininkai išskiria skirtingą pagrindinių emocijų skaičių. Viena populiariausių – dr. Roberto Plutchiko klasifikacija, kurioje yra išskirtos pagrindinės aštuonios emocijos:

- pyktis;
- baimė;
- liūdesys;
- džiaugsmas;
- pasibjaurėjimas;
- nuostaba;
- smalsumas;
- viltis.

Emocijos – žmogaus reakcija į tam tikras gyvenimiškas situacijas. Kitaip tariant, tai neurologinė reakcija į emocinį stimulą. Jos nuslopsta, kai situacija, dėl kurios buvo pasireikšusi tam tikra emocija, pasibaigia. Kiekviena emocija, pagal Ekmaną (1990), turi tam tikrų bendrų bruožų, t. y. greitą pradžią, trumpą laiką, automatinį vertinimą ir ryšį tarp atsakų (Ekman, 1999). O jausmai yra visiškai kitos kilmės. Dažniausiai jie kyla ne staiga ir trunka daug ilgiau nei emocijos. Tai yra tam tikros reakcijos į mūsų emocijas. Keletas geriausiai mums pažįstamų jausmų – meilė, pagarba, draugystė, atsidavimas.

Tad labai svarbu sugebėti tiksliai nustatyti patiriamas emocijas, kad būtų tinkamai įvertinamas žmogaus patiriamas patogumas jį supančioje aplinkoje.

1.1.1. Viešosios atviros erdvės koncepcija

Virtualioji realybė jau naudojama daugelyje sričių. Lakūnai virtualiojoje erdvėje mokosi valdyti orlaivius. Baldų gamintojai klientams pateikia interjero sprendimų variantus. Gydytojai mokosi atlikti operacijas, automobilių pramonė kuria konceptinius modelius sutaupydami milijonus eurų. Statybų sektorius taip pat nėra

išimtis. Į virtualiąją erdvę perkeliama administraciniai pastatai, gyvenamieji pastatai, ligoninės ar viešosios erdvės bei parkai. Nekilnojamojo turto vystytojai suteikia klientams galimybę virtualiojoje erdvėje apžiūrėti, kaip atrodys dar nepastatytas ir neįrengtas butas ar namas. Tai leidžia vartotojams ne tik geriau pajusti erdvę, bet ir suvokti, ką jis, kaip vartotojas, norėtų pakeisti. Architektai, menininkai ir epidemiologai dabar mato, kaip tai padaryti, tikrindami žmonių reakciją į tokias erdves ir pastatus dar prieš padedant pirmą plytą (Burke, 2019).

Menininkai ir architektai savo projektus skaitmenizuoja ir perkelia į virtualiąją realybę. Pasinaudodami virtualiosios realybės akiniais asmenys gali pamatyti, kaip atrodo projektas erdvėje. Kartu su virtualiosios realybės akiniais tyrimų dalyviai nešioja ir išorinius prietaisus, leidžiančius stebėti smegenų veiklą, odos laidumą bei širdies ritmą. Toks emocinis stimuliavimas, pasitelkiant save apsimokančias programas, neurologams leidžia išsiaiškinti maloniausius, labiausiai įkvepiančius ar emociškai patraukliausius siūlomo dizaino aspektus.

Virtualioji realybė pasitelkiama ne tik architektūriniams projektams įvertinti. Šį metodą naudoja ligoninės palatų projektams vertinti (Dinis et al., 2013). Naudojamiesi 3D programinėmis įrangomis, architektai kartu su dizaineriais gali sukurti ne tik patrauklias pastatų vidines erdves, tačiau ir miestų ar parkų erdves.

Viešosios atviros erdvės planavimas yra techninis-kūrybinis procesas, susidedantis iš intervencijų į miesto teritorijas, įtraukiant pertvarkymo planus ir atsižvelgiant į bendruomenės poreikius. Užstatytos aplinkos projektavimas retai turi apgalvotų dizaino elementų, skirtų psichinei sveikatai gerinti (Hoisington, 2019).

Projektavimo etapas prasideda nuo koncepcijos identifikavimo. Koncepcija yra etapas, kuriame dizaineris suteikia formą savo idėjai. Taip nustatoma pagrindinė projekto idėja – tai yra pirmasis kūrybinis požiūris nuo analizės etapo planuojant žaliąsias miesto zonas. Pirmiausia, reikia ištyti, kokią poveikį viešosios erdvės pertvarkymas daro socialinei ir aplinkos struktūrai, kur ji kuriama, taigi, norint sukurti koncepciją, suderinamą su projektavimo reikalavimais. Viešosios erdvės vis labiau įgyja didaktinį vaidmenį, kuris prisideda prie socialinių ryšių, bendravimo, žaidimų su vaikais, pilietinio jausmo, fizinio aktyvumo ir pagarbos gamtai bei bendroms erdvėms skatinimo. Suprojektuoti daugiafunkcė žaliają zoną reiškia, kad miesto teritorija pirmiausia bus nukreipta į socialinę orientaciją ir įvairaus laisvalaikio bei poilsio galimybes bet kokio amžiaus vartotojams. Architektūriniai elementai kuriami siekiant užtikrinti harmoniją su gamta.

Miesto informacinis modeliavimas paprastai apima 3D miesto modelį, kuris sujungiamas su statinio informaciniu modeliavimu (BIM) ir kitu kontekstiniu duomenų šaltiniu ar įvairių miesto komponentų analizės įrankiu, įskaitant pastatus, kelius ir viešąsias erdves (atviri duomenys), gatvių šviestuvus (jutiklius / IoT) ir net žmones gatvėje (socialinė žiniasklaida).

Miestų informacinis modeliavimas CIM (angl. *City Information Modeling*) yra naudingas architektams ir planuotojams, rengiantiems bet kokio masto individualių pastatų, miestelių ir miesto planavimo projektus. Prijungdami pastatų informacinį modeliavimą BIM prie CIM, vartotojams sudaromos interaktyvios, turinio turinčios 3D miesto modelio aplinkos, kuriose realiu laiku galima pasiekti duomenis, juos analizuoti ir dalytis bet kurioje pasaulio vietoje. Kartu CIM suteikia galimybę architektams ir planuotojams bendradarbiauti kuriant 3D modelius. Tai savo ruožtu sukuria interaktyvų projektą, įgalinantį bendradarbiauti realiuoju laiku. Planuodami ir dalydamiesi projekto informacija, kai architektai ir inžinieriai bendradarbiauja, jie efektyviai įdarbina CIM. CIM gali būti pritaikytas bet kokio masto projektui, pavyzdžiui, mažam individualiam pastatui, visaverčiam miestui.

Statybos aikštelėse daug triukšmo ir nešvarumo, taip pat jos sukuria didelių eismo problemų mieste. Turėdamos tinkamą statyb vietės dokumentaciją, miesto tarybos gali planuoti ir priimti pagrįstus sprendimus dėl statybos patvirtinimo, kad užtikrintų sklandų miesto darbą. Tas pats pasakytina ir apie senų miesto pastatų griovimą ar modernizavimą. Iš BIM gauti duomenys padeda miestams susidoroti su gyventojų skaičiaus augimu ir sparčia urbanizacija.

Pastatai yra energijos tiekėjai ir vartotojai. Naudodamiesi BIM, vartotojai gali pasiekti duomenis apie būsimus pastato pirminės energijos poreikius ir naudoti informaciją, kad suderintų savo energijos valdymą su apylinkėmis. Ateityje gali būti suplanuotas šalies masto energijos tinklas per miestą, teritorijos aplink pastatus, patys pastatai ir atskiri būstai.

Mažų miestų su tankiu gyventojų skaičiumi BIM tampa būtinybe organizuotiau ir efektyviau planuoti plėtrą.

Pirmaujantys BIM programinės įrangos pardavėjai „Autodesk“ ir „Bentley“ išplėtė savo technologijų pasiūlą į CIM. „Autodesk“ sprendimai, įskaitant „Revit“ ir „InfraWorks“, remia sumaniojo miesto diegimo modeliavimą, pateikdami atvejų pavyzdžius Kopenhagoje, Barselonoje ir Korėjos „U-City“. Panašiai „Bentley“ CIM sprendimai buvo plačiai naudojami didelio masto miestų modeliavimo projektuose Monrealyje, Helsinkyje ir Singapūre.

Įdiegus technologinę plėtrą, sėkmės raktas bus vartotojų priėmimas. Projektų savininkai atliks svarbiausią vaidmenį šioje srityje, reikalaudami modelių, kurie atspindėtų visus susijusius pastato urbanistikos ir infrastruktūros aspektus. Architektams, planuotojams, inžinieriams ir statybų įmonėms bus daromas spaudimas toliau diegti naujoves, kad būtų galima įvykdyti platesnį ir sudėtingesnį reikalavimą (Hisham, 2018).

Kadangi išmaniesiems miestams reikalinga intelektualioji infrastruktūra, BIM gali pakeisti revoliuciją ne tik planuojant ir statant pastatus, bet ir visame miesto planavimo procese.

Populiarėja CIM įgyvendinimas įvairiose pramonės šakose. CIM gebėjimas pasiūlyti geresnių rezultatų mažesnėmis sąnaudomis yra tai, kas skatina perėjimą nuo tradicinių pramonėje naudojamų metodų.

Taigi sujungę projektavimo programas su BIM ir CIM moduliais bei įtraukę didelės apimties duomenis, kurie sujungtų gyventojų emocinę būseną, galėtume turėti visapusišką miesto daugiasluoksnį žemėlapi su įvairia lengvai prieinama informacija, panaudojama tolesniuose išmanaus ir laimingo projektavimo etapuose.

1.1.2. Personalizuotos klimato kontrolės sistemos

Daugeliu atvejų žmonės patys gali pasirinkti, kur jiems patogiu gyventi ar leisti laisvalaikį. Tačiau yra asmenų, kurie dėl ligos ar amžiaus turi ribotas galimybes judėti. Tai skatina dar daugiau dėmesio skirti šiems žmonėms ir juos supančiai aplinkai bei gyvenimo kokybei gerinti. Sveikatos centro suplanavimas ir architektūra gali pagerinti pacientų gyvenimą (Mezquita, 2019). Taip erdvės daro įtaką pacientų nuotaikai. Iš tikrųjų tai gali padėti žmonėms greičiau pasveikti. Patalpos, kurios nėra suprojektuotos taip, kad jų pagrindas būtų pacientas, gali liūdinti tuos, kurie yra pažeidžiamos būsenos. Ligoninių ir gydymo centrų prioritetą turi būti atpalaiduojančios aplinkos kūrimas, nes įrodyta, kad, jei stresas sumažėja, pacientų viešnage yra trumpesnė. Energiškai efektyvių ligoninių statybos svarba nustatant efektyvumo rodiklius kartu su kokybės ir tinkamumo rodikliais sukuria unikalią vertę. Oro kondicionavimas ir apšvietimas – tai energijos sunaudojimo sritis, kuri taip pat gali padėti optimizuoti energiją.

Sveikatos įstaigų architektūra yra labai svarbi žmogaus gijimo procesui, tačiau tai ne vienintelis svarbus kriterijus. Aplinkos sąlygos dažnai būna pagrindiniai ligų sukėlėjai, tad labai svarbu, kad kiekvienas ligonis turėtų individualizuotą patalpos klimato kontrolės sistemą, sinchronizuotą su paciento fiziologinės būklės parametrais. Sistemos realiuoju laiku analizuoja asmens fiziologinę ir sveikatos būklę, taip pat aplinkos informaciją (temperatūrą, santykinę oro drėgnumą, apšvietimą, triukšmą) ir taip kontroliuoja aplinkos sąlygas bei sukuria asmens sveikatai palankią aplinką (Huang, 2007).

Užpatentuota „Mitsubishi Electric Research Laboratories Inc“ naudotojams skirta suasmeninta šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistema apima vartotojų biometrinių duomenų rinkimą, aplinkos parametrų matavimą, nustatant aktualias aplinkos sąlygas. Atsižvelgus į jas, nuolat koreguojamas apskaičiuotas pastato naudotojo komforto rodiklis, o pagal apskaičiuotą komforto rodiklį valdoma ŠVOK sistema siekiant suasmeninti jos darbą.

Levyssas ir Betzas (2001) užpatentavo personalizuotą oro srautų valdymo sistemą, pagrįstą atskirai išvedžiotais oro kanalais. Jais atskirose darbo vietose galima nusistatyti norimą tiekiamo oro srauto temperatūrą. Sistema valdo asmeninį, atskirų darbo vietų oro kondicionavimą atviro suplanavimo biure. Ji gali koreguoti

vietines skirtingų pastato patalpų sąlygas, siekiant užtikrinti didžiausią galimą atskirų pastato naudotojų jaučiamą komfortą.

Dauguma personalizuotų klimato sistemų apsiriboja temperatūros ir santykinio drėgnumo valdymu, tačiau vien to gali neužtekti, kad žmonės jaustųsi puikiai savo darbo vietose ar gydymo įstaigose. Reikalingos kompleksinės ŠVOK, išmaniosios apšvietimo, muzikinių garsų sistemos, kurios galėtų analizuoti grįžtamąjį ryšį bei kas kartą prisitaikyti iš naujo, pakitus asmens nuotaikai ar savijautai.

1.2. Emocinių būsenų matavimo metodai

Emocinės būsenos yra fizinės ir instinktyvios, kurios iškart paskatina kūno reakcijas į aplinką. Kūno reakcijos objektyviai gali būti išmatuotos pagal vyzdžio išsiplėtimą (akių sekimas), odos laidumą (angl. *Galvanic Skin Response* – GSR), smegenų veiklą (angl. *Electroencephalography* – EEG) (Bekkedal et al., 2011) ir veido išraiškas (Farnsworth, 2020). Žmogaus akies vyzdys susitraukia jam žiūrint nemalonius vaizdus, o jei yra stebimi malonūs vaizdai, vyzdys išsiplečia (Hess, Polt, 1960). Kontekstas nuolat veikia pažinimą ir elgesį, nesvarbu, ar vaikstote ramia kaimo gatve, ar judriu miestu (Hollander, 2018).

Tyrimai rodo, kad priklausomai nuo žmogaus emocijų kinta žmonių veido zonų temperatūra. Infraraudonųjų spindulių termografija gali būti naudinga kaip netrikdantis būdas įvertinti emocijas (Clay-Warner & Robinson, 2015).

Pavlidis et al. (2002) naudojo infraraudonųjų spindulių kameras savo tyrimams, teigdami, kad veido zonų temperatūra koreliuoja su patiriamomis emocinėmis būsenomis. Jie ištyrė melo ir nerimo emocijas ir įrodė, kad veido temperatūros pokyčiai iš tikrųjų yra šių emocijų pasekmė. Streso lygis koreliuoja su padidėjusia kraujotaka kaktos kraujagyslėse (Briese, Cabanac, 1991). Zenju et al. (2004) nustatė, kad nosies odos temperatūra pakyla tada, kai psichinės būsenos keičiasi į malonias, ir krinta, kai keičiasi į nemalonias.

Cruz-Albarran et al. (2017) atliko studiją, kurioje tyrinėjo, kaip keičiasi žmogaus veido zonų temperatūra, priklausomai nuo išgyventų emocijų, t. y. džiaugsmo, pasibjaurėjimo, pykčio, baimės ir liūdesio. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad mažiausiai į skirtingas emocijas reaguoja skruostai ir kakta. Pasibjaurėjimo ir liūdesio emocinio momento metu skruostų temperatūra padidėdavo, tačiau baimė, džiaugsmas ir pyktis temperatūros pokyčių nesukeldavo. O kaktos temperatūra išlikdavo nepakitusi esant džiaugsmui ar pasibjaurėjimui, tačiau ji sumažėdavo esant baimei ar liūdesiui. Smakro temperatūra mažėdavo esant bet kuriai emocijai. Baimė, džiaugsmas, pyktis, pasibjaurėjimas ar liūdesys smakro temperatūrą sumažindavo. Atidžiau peržiūrėję atliktus tyrimus matome, kad temperatūros padidėjimą skruostuose lemia pasibjaurėjimas ir liūdesys, o kaktoje temperatūra padidėja tik esant pykčiui (Cruz-Albarran et al., 2017). Temperatūros pokyčiai pateikti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Temperatūriniai veido zonos pokyčiai esant skirtingoms emocijoms**Table 1.1.** Temperature changes in the facial area under different emotions

Emocijos Veido zonos	Baimė	Džiaugsmas	Pyktis	Pasibjaurėjimas	Liūdesys
Nosis	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓
Skrustai	Be pokyčių	Be pokyčių	Be pokyčių	Padidėjo ↑	Padidėjo ↑
Kakta	Sumažėjo ↓	Be pokyčių	Padidėjo ↑	Be pokyčių	Sumažėjo ↓
Smakras	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓	Sumažėjo ↓

Veido termografija leido tyrėjams neinvaziškai matuoti įvairias žmonių emocines būsenas. Chotardas et al. (2018) panaudojo termografinio tyrimo metodą, tirdami teigiamas ir neigiamas primatų emocijas. Tyrimų metu pagrindinis dėmesys buvo sutelktas į keturias veido sritis. Šiame darbe buvo panaudota ši technologija tiriant teigiamų ir neigiamų emocijų poveikį nežmogiiniams primatams, sutelkiant dėmesį į keturias veido sritis: nosį, nosies galiuką, viršutinę lūpą ir akių zoną. Beždžionės buvo tiriamos joms suteikiant teigiamas emocijas, duodant žaislų ar jas kutenant bei sukeliant neigiamas emocijas, t. y. erzinant ar vėlinant maisto pateikimą. Rezultatai parodė, kad žaidimo ar kutenimo metu nosies galiuko temperatūra nukrito ir akių zonos temperatūra padidėjo. Rezultatai taip pat parodė padidėjusį beždžionių viršutinės lūpos temperatūrą, susijusią su maisto atidėliojimu ar erziniu. Šis skirtingas poveikis beždžionių veido temperatūrai greičiausiai atspindi savitas pirmykštės primatų emocijų sistemos fiziologines reakcijas.

Tuos pačius rezultatus gavo Heintzas et al. (2019), atlikdami tyrimus su trimis gorilomis, tačiau pastebėjo, kad reakcijų kintamumas neleidžia daryti tvirtų išvadų apie infraraudonųjų spindulių termografijos pagrįstumą emocijoms matuoti. Kaip rodo įvairūs ankstesnių tyrimų rezultatai, infraraudonųjų spindulių termografija gali aptikti emocinį susijaudinimą, tačiau norint nustatyti pastebėtų pokyčių valentingumą reikalingi papildomi rodikliai.

Žinoma, tyrinėjant emocijas, vien termografiniais tyrimais pasikliauti negalima. Keičiantis emocijoms keičiasi ir kitos žmogaus kūno fiziologinės savybės. Aišku, kai kurių pokyčių mes nejaučiame arba tiesiog nesuprantame, kas vyksta. Emocijos koordinuoja mūsų elgesį ir fiziologines būsenas išgyvenimo ir malonios

sąveikos metu. Nors mes dažnai sąmoningai suvokiame savo dabartinę emocinę būseną, pavyzdžiui, pyktį ar laimę, mechanizmai, sukeliantys šiuos subjektyvius pojūčius, liko dar iki galo neišspręsti. Nummenmaa et al. (2013) tyrimuose panaudojo topografinę savianalizės priemonę, norėdami atskleisti, kad skirtingos emocinės būsenos yra susijusios su topografiškai skirtingais ir kultūriškai universaliais kūno pojūčiais. Šie pojūčiai galėtų paremti mūsų sąmoningus emocinius išgyvenimus (Nummenmaa et al., 2013). Tyrimų metu buvo naudojamas savianalizės metodas, kai tyrimų dalyviai kūno žemėlapiuose pažymėdavo tas vietas, kuriose jie jausdavo padidėjusį ar sumažėjusį pojūčių aktyvumą, reaguojant į pateiktus dirgiklius. Žmonės nurodė, kad laimė ir meilė paskatino aktyvumą visame kūne, o depresija turėjo priešingą poveikį: ji slopino rankų, kojų ir galvos jausmus. Pavojus ir baimė sukėlė stiprius pojūčius krūtinės srityje. Pyktis buvo viena iš nedaugelio emocijų, suaktyvinusių rankas. Mokslininkai tikisi, kad šie kūno jautukai vieną dieną gali padėti psichologams diagnozuoti ar gydyti nuotaikos sutrikimus.

Tačiau ne vien pasikeitusi žmogaus odos temperatūra ar elektrinis odos laidumas išduoda žmogaus emocinę būseną. Ne mažiau aktyviai sureagavus į aplinkos dirgiklius pasikeičia žmogaus kvėpavimo ir širdies ritmai.

Daugelyje mokslinių tyrimų, siekiančių nustatyti žmonių emocijas, naudojamas kontaktinis elektroderminio aktyvumo (EDA) metodas. Šis metodas turi ir daugiau pavadinimų, tokių kaip odos laidumas, galvaninis odos atsakas (GSR), elektroderminis atsakas (EDR), odos laidumo lygio (SCL), psichogalvaninis refleksas (PGR), galvaninis odos atsako (GSR) metodas. Tradicinėje EDA teorijoje teigiama, kad odos atsparumas kinta priklausomai nuo odos prakaito liaukų būklės. Prakaitavimas yra kontroliuojamas simpatinės nervų sistemos. Simpatinė nervų sistema – tai autonominė nervų sistemos dalis, inervuojanti vidaus organus, kraujagysles, prakaito liaukas. Simpatinės nervų sistemos centrai yra nuo pirmo krūtininio iki trečio juosmeninio nugaros smegenų segmento. Šios nervų sistemos viena dalis mazgų yra išsidėsčiusi arti centrinės nervų sistemos, tai vadinamieji priestuburiniai mazgai, sudarantys simpatinį kamieną. Kita dalis mazgų yra labiau nutolusi nuo centrinės nervų sistemos. Tai yra priešstuburiniai mazgai, inervuojantys pilvo ertmės ir mažojo dubens organus. Simpatinė nervų sistema vyrauja darbo, įtampos ir kovos metu. Jos funkcijos: išplečia vyzdį, skersaruožių raumenų kraujagysles; dažnina ir stiprina širdies susitraukimus; sutraukia odos ir pilvo organų kraujagysles; pašiauria plaukus („žąsies oda“); padidina prakaitavimą; slopina virškinamojo kanalo judesius; slopina liaukų sekreciją ir kt. Jei simpatinė autonominė nervų sistemos šaka yra labai sužadinta, tada padidėja ir prakaito liaukų veikla, o tai savo ruožtu padidina odos laidumą. Taip odos laidumas gali būti emocinių ir simpatinių reakcijų matas.

1.3. Užstatytos aplinkos suinteresuotų grupių biožemėlapiai

Nuo seno žemėlapis buvo bene geriausia priemonė atvaizduoti teritorijų ribas, kelius ar miestus. Seniausias žinomas žemėlapis (miesto planas) laikomas šumerų miesto Nipūro žemėlapis, datuojamas maždaug nuo 1250 m. pr. Kr. („United Nations Educational 2017“). Tai buvo molio lentelė, kurioje buvo pavaizduota šventykla, miesto parkas, miesto siena su jos vartais, kartu su kanalu ir Eufrato upe. Žemėlapis buvo priemonė, leidžianti pirkliams pasiekti naujai atrastas žemes, o keliautojams ir atradėjams – užfiksuoti savo pasiekimus. Ir šiomis dienomis žemėlapiai daugiausia naudojami tai pačiai paskirčiai, t. y. orientuotis aplinkoje ar pasiekti mums reikalingą kelionės tikslą. Galime rasti ir specializuotų žemėlapių, kuriuose pateikiama papildoma informacija. Tai gali būti turistiniai žemėlapiai su pažymėtomis lankytinomis ar įdomiomis vietomis; triukšmo žemėlapiai, leidžiantys įvertinti miesto teritorijų triukšmo lygį; taršos žemėlapiai, nurodantys, kur ir kokiose miesto vietose yra didesnis ar mažesnis užterštumas kietosiomis dalelėmis. Panaudojus papildomus duomenis ir juos perkeliant ant mums įprasto dvimačio žemėlapijo, galima sukurti interaktyvius ir visuomenei naudingus žemėlapius, kurie leistų ne tik nepaklysti erdvėje, bet galėtų informuoti asmenis vengti tam tikrų teritorijų ar erdvių, kuriose yra jiems alergijas sukeliančių alergenų.

Taigi žemėlapis – puikus įrankis, galintis perduoti daugiau informacijos nei tik vietovės suvokimą. Jie puikiai iliustruoja ir miestų emocijas. Kadangi gyventojų emocijos dažniausiai fiksuojamos tam tikrų biosignalų registravimų, jie dar vadinami biožemėlapiais.

Biožemėlapių sudarymas yra metodika ir įrankis, skirtas vaizduoti žmonių reakcijas į išorinį pasaulį. Per pastaruosius kelis dešimtmečius tūkstančiai žmonių dalyvavo bendruomenės žemėlapių projektuose. Dalyviai iš naujo tyrinėjo savo gyvenamąją vietovę, naudodamiesi įvairiais įrankiais ir prietaisais, fiksuojančiais galvaninį odos atsaką (GSR). Tai yra paprastas emocinio susijaudinimo rodiklis, kartu susietas su geografinė padėtimi. Jiems grįžus, sudaromas žemėlapis, vaizduojantis aukšto ir žemo susijaudinimo taškus. Tokio projekto metodika apima darbą su žmonių grupėmis, aiškinant ir analizuojant duomenis bei pridėdant komentarus prie šių individualių emocijų. Šio proceso metu sudaromi daugybės žmonių emocijų žemėlapiai, kuriuose pateikiama daugybė asmeninių pastebėjimų, išryškinančių problemas, kurias žmonės jaučia stipriau. Christianas Noldas šią metodiką ir įrankį panaudojo įvairiuose kontekstuose, įskaitant meną, bendruomenės plėtrą, mokslo tyrimus, architektūros planavimą ir plataus masto politines konsultacijas. Sužinoję savo ir vieni kitų unikalias kūno reakcijas į aplinką, galime sukurti geresnį pasaulį (Nold et al., 2004).

Pagal naujus statybos reglamentus, visuomeninės paskirties pastatai turi būti pritaikyti neįgaliesiems. Architektai ir projektuotojai dažniausiai fokusuojasi į

bendrą projektuojamos erdvės estetinį vaizdą, dažniausiai pamiršdami asmenis, kurie to vaizdo fiziškai matyti negali. Bergneris et al. (2011) tyrinėjo Vokietijos miestus, norėdami nustatyti, kaip neigalūs žmonės jaučiasi urbanizuotoje erdvėje ir kaip tai pritaikyti miestų planavimo procesuose, kad šie žmonės nepajustų jokių „emocinių barjerų“. Jei norite nustatyti kliūtis suinteresuotų asmenų akyse, būtina žinoti, kada ir kurioje miesto dalyje yra „barjeras“, sukeliantis neigiamas emocijas, pavyzdžiui, streso, reakcijas (Bergner et al., 2011). Šiam tyrimui mokslininkai panaudojo tą patį principą kaip ir Noldas, sudarinėdamas emocinius žemėlapius, tačiau Bergneris jį pavadino „EmBaGIS GIS“ emociniu barjeru. Tyrimo pagrindas – jutiklinė apyrankė ir GPS registratorius, leidžiantis susieti gautus fiziologinius pokyčius (odos laidumo, odos temperatūros rezultatus) su lokacijos vieta mieste. Vertinant emociškai reikšmingas kliūtis „EmBaGIS“ naudoja trijų lygių analizę. Pirmasis lygis yra judėjimo greičio matavimas. Čia keliama hipotezė, kad ėjimo greičio sumažėjimas yra pirmasis ženklas, reiškiantis „barjerą“ erdvėje. Antrame lygmenyje aprašomos odos laidumo reakcijos, rodančios padidėjusį dėmesio poreikį, o trečiame lygmenyje odos temperatūros pokyčiai naudojami kaip streso rodikliai. Šio empirinio tyrimo rezultatai rodo, kad „EmBaGIS“, pagrįsta psichofiziologiniu stebėjimu, padeda nustatyti miesto erdvinės kliūtys. Atsižvelgiant į šią negalią turinčių žmonių patirtį mieste, galima atsižvelgti į tai atliekant planavimus (Bergner et al., 2011).

Biožemėlapiai, jei juose atvaizduojama gyventojų emocinė būsena, dar vadinami emociniais žemėlapiais. Emocinis žemėlapių sudarymas planavimo srityje yra metodas, leidžiantis piliečiams ir savivaldybėms inicijuoti žemėlapiams paremtą dialogą apie esamą ir būsimą viešosios erdvės būklę, remiantis jų patirtimi toje vietoje.

Sudarant miestų erdvių emocinius žemėlapius, pasitelkiami įvairūs metodai duomenims rinkti ir atvaizduoti. Šios metodikos skirtos įvertinti, kaip viešosios erdvės veikia jutiminius išgyvenimus, emocijas ir komforto lygius. Buvo ištirta daugybė metodikų, skirtų pojūčiams, emocijoms ir komforto lygiui ištirti. Tačiau reikia tyrimo metodo, norint šias savybes užfiksuoti kartu kaip vieną patirtį. Šiam tikslui pasiekti Husso indeksas (Jonathan Daly, „Studio Huss“) derina etnografinius metodus (t. y. vaikščiojimo interviu ir juslinį žemėlapių sudarymą) su technologiniais matavimo prietaisais (t. y. GSR ir EEG). Šiuo deriniu siekiama koreguoti tai, ką dalyviai subjektyviai jaučia ir turi pasakyti apie savo aplinkos išgyvenimus su jų objektyvia fizine ir emocine būkle realiu laiku ir erdvėje.

Sudarinėjant emocinius miesto žemėlapius pasitelkiamos ir socialinių medijų platformos, tokios kaip „Twitter“ (Resch et al., 2016), „Foursquare“ (Williams et al., 2011), „Instagram“, „Flickr“ (Wagner, Figueroa-Alfaro et al., 2016). Berndas Reschas pastebi, kad iš esmės į piliečius orientuotą planavimą galima pasiekti analizuojant savanorišką geografinę informaciją ir tokius duomenis kaip

„Twitter“ pranešimai ir įrašai iš kitų socialinės žiniasklaidos kanalų. Šiuos vartotojo sugeneruotus duomenis sudaro keletas informacijos aspektų, pavyzdžiui, erdvinė ir laiko informacija bei tekstinis turinys. Visgi socialinių medijų platformų duomenys nėra labai patikimi sudarinėjant emocinius miesto žemėlapius. Socialinis psichologas Krameris et al., 2014, „Facebook“ duomenų mokslininkas, ištyrė, kad emocinės būsenos gali būti perduotos kitiems per emocinį „užkrėtimą“, pasakindamos žmones patirti tas pačias emocijas be jų supratimo. Mokslininkas pateikė eksperimentinių įrodymų, kad emocinis užkrėtimas vyksta be tiesioginės žmonių sąveikos ir tam pakanka vaizduoti emociją išreišskiantį draugą socialiniuose tinkluose net nepateikiant jokių verbalinių užuominų.

Eksperimentuojant su žmonėmis, kurie naudojami „Facebook“, buvo patikrinta, ar emocinės būsenos perdavimas įvyksta ne per asmeninę žmonių sąveiką, sumažinant emocinio turinio kiekį naujienų kanale. Sumažinus teigiamas išraiškas žmonės sukūrė mažiau teigiamų ir daugiau neigiamų pranešimų, kai neigiamos išraiškos buvo sumažintos, atsirado priešingas rezultatas. Šie rezultatai rodo, kad kitų „Facebook“ išreikštos emocijos daro įtaką mūsų pačių emocijoms, ir tai yra eksperimentinis įrodymas, kad egzistuoja masinis „užkrėtimas“ per socialinius tinklus.

Dar vienas metodas gali būti laikomas visuomenės dalyvavimo GIS (PPGIS) metodų pogrupiu (Brown, Kyttä et al., 2014) ir tuo pat metu kaip „GeoParticipation“ įrankis (Panek et al., 2016). „GeoParticipation“ yra vienas iš duomenų gavimo metodų, leidžiančių įtraukti piliečius į bendruomenės dalyvavimą, plėtojant GIS sistemą (angl. *public participation geographic information system*, PPGIS).

Taigi dažniausiai naudojami būdai duomenims rinkti, kuriant emocinius miesto žemėlapius, yra šie:

- biometriniai matavimai – žmogus jutiklis (Nold et al., 2004; Jeongmi et al., 2015; Noam Shoval et al., 2018);
- socialinės medijos platformų duomenys (Ashkezari-Toussi et al., 2018; Doytscher, Galon et al., 2017);
- apklausų rezultatai, internetinės platformos („GeoParticipation“, Panek et al., 2016). „Volunteered Geographic Information“.

Vis dėlto kontaktiniai metodai lieka tik laboratoriniais tyrimais, kurie įvertina žmogaus fiziologinius pokyčius, priklausomai nuo patiriamų emocijų. Taip pat jie atskleidžia tik pavienių individų emocinę būseną, pagrįstą subjektyviais individo potyriais. Socialinių medijų platformų duomenys nėra patikimi sudarinėjant emocinius miesto žemėlapius dėl emocinės būsenos perdavimo. Trečiuoju atveju daug pranašumo įgyja bekontaktės emocijų matavimo sistemos.

1.4. Personalizuotų aplinkos parametrų valdymo sistemų patentų apžvalga

Siekiant pagerinti komforto ir emocinį lygį užstatytoje aplinkoje, mokslininkai siekė sukurti sistemas, galinčias valdyti aplinkos parametrus. Šiame skyriuje apžvelgsime personalizuotos klimato kontrolės patentus.

1.4.1. Aplinkos kontrolės sistema ir jos metodas

Užpatentuotas aplinkos valdymo metodas ir sistema (Huang, 2007) apima centrinę apdorojimo įrangą, kuri renka fiziologinę ir aplinkos informaciją taikant asmeninę fiziologinių ir aplinkos matavimų įrangą, o pagal surinktus fiziologinius, aplinkos ir sveikatos duomenis nustatomos optimalios aplinkos sąlygos. Aplinkos valdymo sistema realiuoju laiku integruoja ir analizuoja asmens fiziologinę ir sveikatos, taip pat aplinkos informaciją (temperatūra, santykinis oro drėgnis, apšvietimas, triukšmas) ir taip, kontroliuodama aplinkos sąlygas, sukuria asmens sveikatai palankią aplinką. Huang (2007) patentas daugiau orientuotas į sveikatos priežiūros žmonių ar pagyvenusių žmonių psichologinę būseną. Be to, aplinkos sąlygos dažnai būna pagrindiniai ligų sukėlėjai. Tokia sistema gali būti perkelta į ligonines, ligoninių centrus ir net namus, norint sukurti aplinką, tinkamą pacientams ir apsaugoti juos nuo patogeninių veiksnių. Namų priežiūros sistema aptinka ir kontroliuoja aplinkos veiksnius (pavyzdžiui, temperatūrą, drėgmę ir kt.), kurie tiesiogiai veikia žmogaus fiziologines funkcijas, ir aplinkos veiksniai (apšvietimas, triukšmas ir kt.), kurie turi įtakos žmogaus psichinei būsenai. Jei medicininė įranga, aparatai, mechaninės ir elektrinės sistemos, jutikliai yra integruoti į namų priežiūros sistemą, pageidautina turėti reguliavimo strategijas, pagrįstas informacija apie sveikatą ir aplinkos sąlygas, būtų galima sukurti sveikatą skatinančią gyvenamąją aplinką namuose ar sveikatos priežiūros įstaigose. Norint pasiekti minėtus tikslus, pagrindinis šio išradimo tikslas yra realiu laiku reguliuoti sveikatą skatinančią gyvenamąją aplinką ar aplinką sveikatos priežiūros įstaigose. Šis išradimas pateikia aplinkos valdymo sistemą ir jos metodus, galinčius sinchronizuoti žmonių sveikatos ir aplinkos informaciją bei gebėjimą realiu laiku keisti aplinkos sąlygas (Huang, 2007).

1.4.2. Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo paslaugų individualizavimo metodas ir sistema

Užpatentuota aplinkos naudotojams skirta suasmeninta šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistema, apimanti šiuos etapus: (1) renkami pastato naudotojo biometriniai duomenys (odos temperatūra, širdies ritmas, bendras aktyvumo lygis) ir nuolat matuojami aplinkos parametrai, nustatant aktualias aplinkos

sąlygas, (2) atsižvelgus į aktualias sąlygas nuolat koreguojamas apskaičiuotas pastato naudotojo komforto rodiklis, (3) pagal apskaičiuotą komforto rodiklį valdoma ŠVOK sistema, siekiant suasmeninti jos darbą. Sistemoje integruotas dėvimasis įrenginys, kuris renka pastato naudotojo biometrinius duomenis ir informaciją apie jaučiamą komfortą, taip pat nuolat matuoja aktualius aplinkos parametrus. Išradimas susijęs su šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemomis, o ypač su automatinio reguliuojamų parametrų, pavyzdžiui, temperatūros taškų, pritaikymu, ir perduodamos latentinės šilumos, siekiant maksimaliai padidinti komfortą ir sumažinti energijos sąnaudas (Nikovski, 2016).

ŠVOK sistemos biuruose ir gyvenamuosiuose pastatuose yra vieni didžiausių energijos vartotojų pasaulyje. Pagal kai kuriuos vertinimus sunaudojama daugiau kaip 40 proc. visos energijos. Nuolatinė šiluminio komforto priežiūra šiuo metu įgyvendinama neoptimaliai ir neefektyviai, pirmiausia dėl vyraujančio labai elementaraus bendravimo būdo tarp pastato gyventojų ir ŠVOK sistemos. Didžioji tokio bendravimo dalis vyksta naudojantis sieniniu termostatu arba nuotolinio valdymo pultu, kurių pagrindinis tikslas – įjungti arba išjungti įrangą. Temperatūros nustatymas – būdas nurodyti norimą šiluminį komfortą, atsižvelgiant į poreikius ir pastato gyventojų būklę. Pavyzdžiui, kai biuro darbuotojas šaltą žiemos dieną ilgą laiką sėdi vienoje vietoje, jis greičiausiai pajus šaltį dėl mažesnio medžiagų apykaitos greičio ir pageidaus daugiau šilumos padidindamas nustatytą temperatūrą. Panašiai kaip darbininkas, atliekantis fizinį darbą karštą vasaros dieną, norės atsivėsinti nustatydamas žemesnę aplinkos temperatūrą patalpoje (Nikovski, 2016).

Metodo įvesties duomenys yra patalpų kambario temperatūra ir drėgmė, biometriniai duomenys, orų duomenys, dienos laikas ir data bei duomenys, pavyzdžiui, nurodytas komforto lygis, gautas iš nešiojamojo prietaiso. Šiam metodui reikia, kad asmuo nurodytų jaučiamą komforto lygį nešiojamuoju prietaisu. Išradimo įgyvendinimo variante pateikiamas metodas ir sistema, leidžiantys sužinoti apie komforto indeksą iš biometrinių duomenų, naudojant nešiojamuosius prietaisus ir modelį, kad komforto indeksas būtų tiesiogiai optimizuotas. Metode naudojami istoriniai grįžtamojo ryšio duomenys, kuriuos vartotojai pateikia nešiojamaisiais prietaisais, taip pat biometriniai duomenys, tokie kaip temperatūra, širdies ritmas, aktyvumo lygis. Taip pat surinktos sudegintos kalorijos, galvaninė odos reakcija ir kt., gauti iš dėvimų prietaisų (Nikovski, 2016).

1.4.3. Personalizuotas pastato komforto valdymas

Feldmeieras ir Paradiso (2012) užpatentavo ŠVOK sistemos valdymo aparatą, siūlantį suasmenintą komforto valdymą. Jis gali koreguoti vietines skirtingų pastato patalpų sąlygas, siekiant užtikrinti didžiausią galimą atskirų pastato naudotojų

jaučiamą komfortą. Jis nustato atitinkamos kiekvieno žmogaus aplinkos temperatūrą, santykinį oro drėgnį, šviesos intensyvumą ir vėjo greitį, apskaičiuoja naudotojo komfortą, atspindintį komforto rodiklį, ir gali valdyti tai vietai, kur yra žmogus, tiekiamą vėsinamo arba šildomo oro srautą, kad vietinės sąlygos užtikrintų žmogui kuo daugiau komforto.

Igyvendinant šį išradimą, ŠVOK sistemos valdymo aparatas suteikia asmeninį komforto valdymą. Jis gali koreguoti vietos sąlygas skirtingose pastato patalpose, kad būtų maksimaliai suvokiamas atskirų gyventojų komfortas. Valdymo aparatas nustato asmenis pastate. Jis nustato temperatūrą, drėgmę ir kitus parametrus kiekvieno asmens buvimo vietoje, apskaičiuoja komforto rodiklį, rodantį vartotojo patogumą, ir gali valdyti kondicionavimo arba šildymo oro srautą į vietą, kur yra asmuo, kad pakoreguotų aplinkos sąlygas individualiai tam asmeniui. Šis išradimas yra susijęs su šildymu, vėdinimu ir oro kondicionavimu. Skirtingi asmenys gali jaustis skirtingai tomis pačiomis sąlygomis. Kas yra per šalta ar per šilta vienam žmogui, kitam gali būti kaip tik (Feldmeier & Paradiso, 2012).

Sistema gali pritaikyti vietos sąlygas skirtingose pastato vietose, kad būtų maksimaliai suvokiamas atskirų gyventojų komfortas. Valdymo aparatas suranda asmenis pastate. Kiekvienam asmeniui nustato temperatūrą, drėgmę ir kitus parametrus. Sistema apskaičiuoja vartotojo komforto metriką ir gali kontroliuoti atvėsinto arba pašildyto oro srautus į asmens vietą tam, kad sureguliuotų vietos sąlygas, maksimaliai padidindama asmens komfortą. Termostato moduliai nusprendžia, ar atidaryti langus ir įleisti šalto lauko oro. Termostato moduliai stebi individualią kambario oro temperatūrą ir „apklausia“ kambario modulius, ar jie turėtų atlikti kontrolės veiksmus. Šiame prototipe kiekvienas nešiojamasis mazgas matuoja vietos temperatūrą, drėgmę, šviesos lygį ir vartotojo aktyvumą vartotojo lygiu. Šiuos duomenis prietaisais siunčia belaidžiu ryšiu vienos minutės intervalais į centrinį tinklo centrą. Nešiojamasis mazgas taip pat turi tris mygtukus šone, leidžiančius vartotojui įvesti esamą komforto būseną (po vieną mygtuką – karšta, šalta ir neutrali). Šiuos mygtukus reikia palaikyti mažiausiai dvi sekundes, kad būtų garantuotas sėkmingas duomenų perdavimas. Šis delsimas reikalingas tam, kad būtų išvengta netyčinio mygtukų paspaudimo, vartotojui vaikstant (Feldmeier & Paradiso, 2012).

1.4.4. Kambario temperatūros ir drėgmės kontrolės metodas ir įtaisas

Lee et al. (2016) užpatentavo temperatūros ir santykinio oro drėgnio reguliavimo metodą, apimančią temperatūros ir santykinio oro drėgnumo valdymo įrenginį. Šis išradimas paremtas jutiklių tinklu, MTC (*Machine Type Communication*) ir M2M (*Machine-to-Machine*) ryšiu bei daiktų interneto technologijomis. Analizuojant temperatūrą ir drėgnumą reguliuojamas patalpų oro kondicionavimas, apšvietimas

ir garsas. Temperatūros ir drėgmės kontrolės metodus, naudojant temperatūros ir drėgmės kontrolės įtaisą, apima bent vienos informacijos apie aplinką ir vartotojo biometrinės informacijos gavimą, remiantis įgyta bent viena informacija apie aplinką ir vartotojo biometrinę informaciją nustatant kontrolės informaciją, kuri nustato, kad statistinė informacija yra tam tikrame diapazone, ir valdo ŠVOK sistemą. Taip galima suteikti vartotojui patogią aplinką ir taupyti energiją išlaikant komfortą. Sistema – tai jutiklių tinklas, mašinų tipo ryšys (MTC), mašinų tarpusavio ryšys (M2M) ir daiktų interneto technologija (Lee et al., 2016).

Lee et al. (2016) išradimas gali būti taikomas pažangioms paslaugoms, pagrįstoms pirmiau minėtomis technologijomis, tokioms kaip išmanusis namas, išmanusis pastatas, išmanusis miestas, išmanusis automobilis, prijungtas automobilis, sveikatos priežiūra, skaitmeninis švietimas, išmanioji mažmeninė prekyba, saugos ir saugos paslaugos. Internetas – tai į žmones nukreiptas ryšio tinklas, kuriame žmonės generuoja ir vartoja informaciją, dabar pereina į daiktų internetą (DI), kuriame paskirstyti subjektai, pavyzdžiui, daiktai, keičiasi ir apdoroja informaciją be žmogaus įsikišimo. Atsirado ir visko internetas (IoE), kuris yra IoT technologijos ir didelių duomenų „Big Data“ apdorojimo technologijos derinys sujungiant su debesų serveriu. Technologijos elementai, tokie kaip „jutimo technologija“, „laidinis / belaidis ryšys ir tinklo infrastruktūra“, „paslaugų sąsajos technologijos“, „Apsaugos technologijos“, buvo reikalingi diegiant daiktų internetą, jutiklių tinklą, „mašina–mašina“ ryšį (M2M), Mašinos tipo komunikacija „Machine Type Communication“ (MTC) ir kt.

Tokia daiktų interneto aplinka gali teikti pažangias interneto technologijų paslaugas, kurios sukuria naują vertę žmogaus gyvybei, rinkdamos ir analizuodamos duomenis, sukurtus tarp susijusių dalykų. Daiktų internetas gali būti pritaikytas įvairiose srityse, įskaitant išmaniuosius namus, išmanųjį pastatą, išmanųjį miestą, išmanųjį automobilį ar prijungtus automobilius, išmanųjį tinklą, sveikatos priežiūrą, išmaniuosius prietaisus ir pažangias medicinos paslaugas, sujungiant ir derinant esamas informacines technologijas (IT) ir įvairias sritis pramonėje. Paprastai temperatūros ir drėgmės reguliavimo įtaiso nustatymai įvedami rankomis, neatsižvelgiant į vartotojo būklę ir patiriamą komfortą, o tai sukelia nepatogumų. Šioje sistemoje yra numatytas prietaisas temperatūrai ir drėgmei reguliuoti. Prietaisą sudaro ryšio blokas, sukonfigūruotas priimti ar perduoti informaciją iš vartotojo įrangos ar vidaus įrangos arba į ją, ir valdymo blokas, sukonfigūruotas gauti informaciją apie aplinką ir vartotojo biometrinę informaciją. Remdamasi nustatyta valdymo informacija sistema pagal statistinius duomenis sprendžia, kaip valdyti šildymo vėdinimo įrenginį. Taip gaunama patogi aplinka vartotojui ir taupoma energija išlaikant komfortą. Temperatūros ir drėgmės reguliavimo įtaisas gauna aplinkos informaciją, naudodamas jame esantį vidinį jutiklį. Informacija apie aplinką gali apimti kambario temperatūrą, lauko temperatūrą, santykinę drėgmę, rasos taško temperatūrą, spinduliuojančią šilumą, oro srautą ir panašiai.

Vidinį jutiklį gali sudaryti temperatūros aptikimo jutiklis, drėgmės aptikimo jutiklis, šilumos aptikimo jutiklis ir kiti (Lee et al., 2016).

Be to, temperatūros ir drėgmės kontrolės įtaisas gali valdyti patalpų įrangoje esančią ŠVOK sistemą, naudodamas nustatytą valdymo informaciją. Nustatytos kambario temperatūros ir santykinės drėgmės tikslinės vertės gali būti įtrauktos į valdymo informaciją, skirtą valdyti ŠVOK sistemą. Temperatūros ir drėgmės reguliavimo įtaisas gali matuoti esamą kambario temperatūrą ir santykinę drėgmę per vidinį jutiklį ir tada valdyti ŠVOK sistemą, kad ji būtų nustatoma pagal nustatytą temperatūros ir drėgmės tikslinę vertę, įtrauktą į valdymo informaciją. Ryšys tarp vartotojo įrangos ir temperatūros bei drėgmės reguliavimo įtaiso gali būti pasiektas mažo nuotolio belaidžiu ryšiu. Trumpojo nuotolio belaidis ryšys gali būti, pavyzdžiui, „Bluetooth“ (BT), Wi-Fi, Wi-Fi-Direct, „Zigbee“ arba artimojo lauko ryšys (NFC). Vartotojo įranga gali perduoti vartotojo įrangos nustatytą informaciją apie temperatūros ir drėgmės reguliavimo įtaisą per mažo nuotolio belaidį ryšį. Be to, temperatūros ir drėgmės reguliavimo įtaisas gali įgyti informacijos apie atstumą tarp vartotojo įrangos ir temperatūros bei drėgmės reguliavimo įtaiso, atsižvelgdamas į tai, ar yra sukurtas ar atjungtas trumpojo nuotolio belaidis ryšys. Išmaniąją sistemą vartotojo komforto sąlygoms gerinti gali sudaryti tokie daiktai kaip oro kondicionierius, daugialypis oro kondicionierius, ŠVOK sistema, apšvietimas. Į sistemą galima integruoti ir namų apyvokos daiktus, tokius kaip šaldytuvai, siurblys, katilai, žaliuzių ir langų valdymo įranga ir panašiai (Lee et al, 2016).

1.4.5. Individuali oro kondicionavimo sistema

Levy ir Betzas (2001) užpatentavo ŠVOK sistemos valdymo aparatą, skirtą suasmenintam komforto valdymui. Šis patentas valdo asmeninį atskirų darbo vietų oro kondicionavimą atviro suplanavimo biure. Oras į darbo vietą tiekiamas pagrindiniu oro kanalu, įrengtu po horizontalia darbo vietos plokštuma. Sistema gali koreguoti vietines skirtingų pastato patalpų sąlygas, kad būtų užtikrintas didžiausias galimas atskirų pastato naudotojų jaučiamas komfortas. Išradimas apima asmeninį atskirų darbo vietų oro kondicionierių išdėstymą atvirame biuro plote. Individualios darbo vietos orą tiekia pagrindinis oro slėgis, esantis po horizontaliu darbo vietos paviršiumi. Oras nukreipiamas į mažesnius autonominius oro terminalus, esančius po grindimis. Kondicionuotas oras tiekiamas į atskiras darbo vietas atmosferiniu ar panašiu slėgiu. Keli mažesni oro terminalai yra kondicionuojamo oro judintojai, juose sumontuoti ir, esant poreikiui, įjungiami varomieji ventiliatoriai. Kondicionuojamas oras iš mažesnių oro terminalų, lanksčiais oro kanalais tiekiamas į tiekiamąją ventiliaciją, sumontuotą po stalu. Asmuo, esantis darbo vietoje, gali valdyti oro kryptį, sklindančią iš suasmenintos oro tiekimo angos. Be to, asmuo taip pat gali kontroliuoti asmeninio oro srautą, dalį oro nukreipdamas nuo

savęs per kanalus, sumontuotus darbo stalo, arba per kambario pertvaros angas į gretimą erdvę. Asmuo darbo vietoje turi galimybę pagrindinį oro srautą nukreipti į oro išleidimo angą, nukreiptą į patį asmenį, arba į išleidimo angą, nukreiptą nuo asmens, taip tiekiant oro srautą į bendrą darbo patalpos erdvę. Apibendrinant galima pasakyti, kad išradimo tikslai – sukurti personalizuotą oro kondicionierių, skirtą darbo vietai, kuri pasiektų visišką personalizuoto komforto valdymą visose atvirose darbo vietose. Sistema leidžia greitai sureguliuoti tinkamą temperatūrą kiekvienam asmeniui atskirai. Darbo vietos aplinka bus švaresnė, nes oras necirkuliuoja per visą kambario erdvę. Bus gaunamas gaivesnis oras dėl didesnio vėdinimo efektyvumo. Taip pat būtų mažiau kryžminio oro užteršimo tarp darbo vietų. Bendras pastato eksploatacinis efektyvumas bus pagerintas, nes reikės mažiau atskirų oro kondicionierių (Levy & Betz, 2001).

Nors šis patentas ir traktuojamas kaip personalizuota darbo vietos oro kondicionavimo sistema, tai apima tik personalizuotos vietos kondicionavimą, bet neapima personalizuotos tiekiamo oro temperatūros kontrolės pagal įvairius darbuotojo biometrinis duomenis ir patiriamą komforto lygį.

Apžvelgtų patentų apibendrinimo lentelė pateikta disertacijos A priede.

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

Atlikus literatūros ir patentų analizę nustatyta, kad:

1. Ankstesniuose tyrimuose, kurie nagrinėjo žmonių savijautą užstatytoje aplinkoje, dažnai buvo naudojami subjektyvūs psichologinio poveikio rodikliai, pasitelkiant savęs įvertinimo vertinimo skales, socialinių tinklų duomenis bei klausimynus ir aprašymus.
2. Subjektyvūs rodikliai yra svarbūs įrankiai suvokiamai patirčiai suprasti, tačiau dėl žmogaus sąmonės subjektyvumo sunku palyginti, kiekybiškai įvertinti ir pagrįsti, kokį poveikį daro užstatyta aplinka.
3. Nėra sukurtos bekontaktės sistemos, kuri galėtų analizuoti užstatytoje aplinkoje esančių asmenų emocinę būseną ir gebėtų keisti aplinkos parametrus, siekiant gerinti psichinę sveikatą.
4. Nėra sukurto daugiakriterio analizės metodo, vertinančio užstatytą aplinką.
5. Esami personalizuotų aplinkos parametrų valdymo patentai apima tik kontaktinius matavimus ir saviagnostikos metodus.
6. Atsižvelgiant į atliktą literatūros analizę, daroma išvada, kad norint praktiškai pritaikyti objektyvią užstatytos aplinkos analizę reikia:
 - a) sukurti užstatytos aplinkos daugiakriterį analizės rekomendacinį metodą (UADARM);

- b) sujungiant bekontakčius jutiklius sukurti sistemą, kuria būtų galima objektyviai įvertinti emocinę asmenų būseną ir patogumą užstatytoje aplinkoje;
- c) modifikuojant UADARM metodą, sukurti personalizuotą aplinkos valdymo sistemą;
- d) ištestuoti sukurtas matavimo sistemas.

Užstatytos aplinkos daugiakriteris analizės metodas ir sistema

Šis disertacijos skyrius apima daugiakriterės analizės metodo ir sistemos sukūrimą užstatytai aplinkai analizuoti bei skirtingų miesto erdvių analizę.

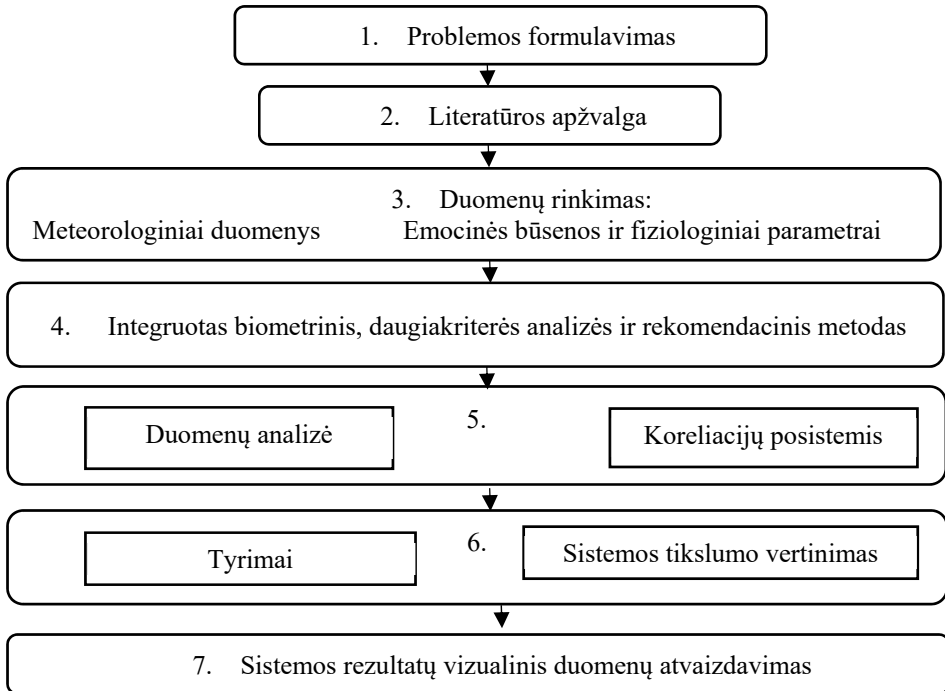
Skyriaus tematika publikuotas straipsnis (Kaklauskas et al., 2019). Įgyvendinti ir pristatyti tyrimai bei sistemos Vilniaus šviesų festivalio metu 2019 ir 2020 metais.

2.1. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinio metodo kūrimo etapai

UADARM – tai inovatyvus užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinis metodas.

Iki šiol atlikti tyrimai į žmogų orientuotoje užstatytoje aplinkoje dažniausiai buvo atliekami naudojant dėvimus jutiklius. Įvairių tipų duomenys būdavo gaunami subjektyviai iš socialinių tinklų, naudojant saviagnostikos klausimynus ar programas. Norint tinkamai įvertinti, kaip užstatyta aplinka veikia suinteresuotas grupes, duomenis reikia rinkti integruotai, kad būtų galima nustatyti įvairias koreliacijas. Turint daug ir įvairių duomenų, gaunamas didesnis vaizdas, kuris tiks-

liau apibūdina užstatytos aplinkos tikrovę. Atliekant kelių kriterijų sukurtos aplinkos analizę, reikėtų naudoti neurosprendimų lenteles, nustatyti keletą verčių ir parengti įvairias rekomendacijas suinteresuotosioms šalims. Taip mokslinė problema išplečiama ir padidinama, palyginti su ankstesniais kitų mokslininkų tyrimais. Problema, tirta per UADARM metodą, anksčiau nebuvo kitų tyrimų tema, todėl šis tyrimas prisideda prie į žmogų orientuotos užstatytos aplinkos tyrimų, taikant UADARM metodą ir sistemą. Metodas apima septynis etapus (2.1 pav.).



2.1 pav. UADARM metodas

Fig. 2.1. UADARM method

1 etapas: Problemos formulavimas

Iki šiol tyrimai į žmogų orientuotoje užstatytoje aplinkoje atlikti naudojantis kontaktiniais biometriniais jutikliais ir socialinėmis apklausomis. Įvairių tipų duomenis (emocines ir fiziologines būsenas, valentingumą ir susijaudinimą, taršą ir oro sąlygas) reikia rinkti integruotai, kad būtų galima nustatyti daugybę koreliacijos koeficientų. Didelių duomenų kiekis tiksliau apibrėžia užstatytos aplinkos tikrovę. Atliekant užstatytos aplinkos analizę, reikėtų naudoti neurosprendimų lenteles, nustatyti keletą verčių (rinkos, investicijų, sinergetinės ir tikrosios vertės) bei pa-

rengti įvairias rekomendacijas suinteresuotosioms šalims. Taip mokslinė problema išplečiama ir padidinama, palyginti su ankstesniais kitų mokslininkų tyrimais. Problema, išnagrinėta per UADARM, anksčiau nebuvo pripažinta mokslinių tyrimų tema, todėl šis tyrimas prisideda prie į žmogų orientuotos užstatytos aplinkos tyrimų, taikant integruotą UADARM metodą.

2 etapas: Literatūros apžvalga

Siekiant nustatyti anksčiau atliktus tyrimus į žmogų orientuotoje užstatytoje aplinkoje buvo atlikta literatūros apžvalga. Žinios tiriamoje srityje buvo apibendrintos literatūros apžvalgoje, siekiant atsakyti, kokie aspektai nebuvo analizuoti ir gali būti svarbūs. Literatūros apžvalga detaliau atlikta 1 skyriuje.

3 etapas: Duomenų rinkimas

Trečias UADARM etapas apima duomenų rinkimą. Kad susidarytume bendrą vaizdą apie užstatytos aplinkos patogumą suinteresuotoms grupėms joje, reikia įvertinti pačią užstatytą aplinką bei surinkti didelį duomenų kiekį – tiek meteorologinius parametrus (oro temperatūra, jutiminė temperatūra, santykinis drėgnumas, vėjo greitis, atmosferos slėgis), tiek asmenų fiziologinės (kvėpavimo dažnis, širdies ritmas, veido temperatūra) ir emocinės būsenos kriterijus. Šiuos kriterijus vertinant kompleksiskai, nupiešiamas išsamus užstatytos aplinkos vaizdas. Duomenų rinkimas plačiau aprašytas 2.2.2 poskyryje.

4 etapas: Integruotas biometrinis, daugiakriteris analizės ir rekomendacinis metodas

Toliau pateiktas biometrinis (temperatūros, kvėpavimo dažnio, pulso, veido emocijų), daugiakriteris analizės, rekomendacinis metodas.

UADARM metodas sujungia duomenų rinkimo ir analizės metodus, tokius kaip atvejų analizė, rekomendacijos, duomenų analizė, daugiakriterių sprendimų analizės metodai ir biometriniai metodai. Šiame etape pristatomas originalus integruotas UADARM metodas, skirtas rinkti emocijas ir fiziologines būsenas bei valentingumą ir susijaudinimą užstatytoje aplinkoje. Šis metodas suteikia galimybę atpažinti daugybę subjektyvių praeivių patirčių užstatytoje aplinkoje, atsižvelgiant nuo kontaktinių matavimų ar socialinių medijų duomenų ir pereinant prie bekontaktinių matavimo būdų. Siekiant nustatyti efektyviausią užstatytos aplinkos parametrų konfigūraciją į UADARM metodą integruotas projekto naudingumo laipsnio ir investicinės vertės nustatymo metodas (Kaklauskas, 2016b) teikiant rekomendacijas INVAR (angl. *Degree of Project Utility and Investment Value Assessments along with Recommendation Provisions*). Metodas sukurtas projekto naudingumo ir investicijų vertės įvertinimo laipsniui nustatyti. INVAR metodas pasirinktas, nes jis leidžia teikti skaitines rekomendacijas, kaip būtų galima page-

rinti alternatyvų kriterijus. O tai labai svarbu suinteresuotoms grupėms (savivaldybėms, mokslo institucijoms, projektuotojams, nekilnojamojo turto vystytojams, pastatų administratoriams ir t. t.), kuriant bei vystant užstatytą aplinką. Ateityje būtų galima įtraukti daugiataikslų tolydųjį sprendimo priėmimą MODM (angl. *Multi Objective Decision Making*).

Disertacijos rengimo metu INVAR metodas buvo adaptuotas užstatytos aplinkos alternatyvoms vertinti ir rekomendacijoms teikti. INVAR metodo pirmi penki etapai yra identiški kaip ir daugiakriterio kompleksinio proporcingo įvertinimo metodo COPRAS (Zavadskas et al, 1994; Kaklauskas, 1999).

Alternatyvų daugiakriterio kompleksinio proporcingo įvertinimo metodu (angl. *COMplex PROportional ASsessment* – COPRAS) nagrinėjamų variantų prioritetiškumas ir reikšmingumas tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo alternatyvas apibūdinančių kriterijų sistemos, kriterijų svarbos ir reikšmių dydžių. Kriterijų sistemą nustato, o kriterijų reikšmes ir svarbą paprastai apskaičiuoja ekspertai. Prioritetiškumas ir reikšmingumas taip pat gali nustatyti asmenys, kurie pagal savo tikslus ir prioritetus siekia sau palankios aplinkos. Pradiniai alternatyvų daugiakriterės analizės duomenys surašomi į 2.1 lentelę.

2.1 lentelė. Alternatyvų daugiakriterės analizės pradiniai duomenys

Table 2.1. Initial data from a multi-criteria analysis of alternatives

Kriterijai	Matavimo vienetai	*	Reikšmingumas	Reikšmės					
				1	2	...	j	...	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_1	m_1	$\tilde{z}_1$	q_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
X_2	m_2	$\tilde{z}_2$	q_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_i	m_i	$\tilde{z}_i$	q_i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{in}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_m	m_m	$\tilde{z}_m$	q_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

* Ženklas $\tilde{z}_i$ (+ (–)) rodo, kad atitinkamai didesnė (mažesnė) kriterijaus reikšmė labiau atitinka užsakovo poreikius.

Turint kriterijų svarbą toliau galima apskaičiuoti nagrinėjamų alternatyvų prioritetiškumą ir reikšmingumą. Šie skaičiavimai atliekami keturiais etapais.

Pirmame etape sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų priėmimo matrica D (2.2 lentelė). Šio etapo tikslas – iš lyginamų kriterijų gauti bedimensinius įvertintus dydžius. Žinant juos, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų kriterijus. Tam taikoma tokia formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (2.1)$$

čia x_{ij} – i kriterijaus reikšmė j sprendimo variantu; m – kriterijų skaičius; n – lyginamų variantų skaičius; q_i – i kriterijaus reikšmingumas.

Kiekvieno kriterijaus x_i gautų bedimensių įvertintų reikšmių d_{ij} suma visada lygi šio kriterijaus reikšmingumui q_i :

$$q_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (2.2)$$

Antrame etape apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių (jų mažesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui, kietųjų dalelių skaičius, CO₂ koncentracija, valdymo sistemos kaina, energijos sąnaudos) S_{-j} ir maksimizuojančių (jų didesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui, apšviestumo lygis, santykinis drėgnumas šildymo sezono metu, šviesos intensyvumas) S_{+j} įvertintų normalizuotų kriterijų sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}, S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (2.3)$$

Šiuo atveju S_{+j} (juo didesnis šis dydis, tuo daugiau įgyvendinama dalyvių tikslų) ir S_{-j} (juo mažesnis šis dydis, tuo daugiau įgyvendinama dalyvių tikslų) dydžiai išreiškia kiekvieno alternatyvaus parametro dalyvių pasiektų tikslų lygį. Bet kuriuo atveju visų alternatyvų „pliusų“ S_{+j} ir „minusų“ S_{-j} sumos visada yra atitinkamai lygios visoms maksimizuojančių ir minimizuojančių kriterijų svarbų sumoms:

$$S_{+} = \sum_{j=1}^n S_{+j} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{+ij}, S_{-} = \sum_{j=1}^n S_{-j} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{-ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (2.4)$$

2.2 lentelė. Daugiakriterės analizės normalizuota sprendimų priėmimo matrica

Table 2.2. Multi-criteria analysis normalized decision-support matrix

Kriterijai	*	Reikšmingumas	Normalizuotos skaitinės reikšmės					
			1	2	...	j	...	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	$\tilde{z}_1$	q_1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1j}	...	d_{1n}
X_2	$\tilde{z}_2$	q_2	d_{21}	d_{22}	...	d_{2j}	...	d_{2n}
...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_i	$\tilde{z}_i$	q_i	d_{i1}	d_{i2}	...	d_{ij}	...	d_{in}
...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_m	$\tilde{z}_m$	q_m	d_{m1}	d_{m2}	...	d_{mj}	...	d_{mn}
Maksimizuojančių normalizuotų įvertintų kriterijų suma			S_{+1}	S_{+2}	...	S_{+j}	...	S_{+n}
Minimizuojančių normalizuotų įvertintų kriterijų suma			S_{-1}	S_{-2}	...	S_{-j}	...	S_{-n}
Projekto alternatyvos reikšmingumas			Q_1	Q_2	...	Q_j	...	Q_n
Projekto alternatyvos prioritetiškumas			Pr_1	Pr_2	...	Pr_j	...	Pr_n

Trečiame etape lyginamų variantų santykinis reikšmingumas nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+j} ir neigiamomis S_{-j} savybėmis. Kiekvienos alternatyvos a_j santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{\sum_{j=1}^n S_{-j} - \min}}{S_{-j} \sum_{j=1}^n \frac{S_{-j} - \min}{S_{-j}}} j = \overline{1, n}. \quad (2.5)$$

Nustatomas alternatyvų prioritetiškumas. Juo didesnis Q_j , tuo didesnė alternatyvos nauda vartotojui.

Ketvirtame etape alternatyvos a_j naudingumo laipsnis N_j nustatomas pagal tokią formulę:

$$N_j = (Q_j : Q_{\max}) \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

čia Q_j ir $Q_{\max}$ – objektų reikšmingumai, apskaičiuoti pagal 2.5 formulę.

Alternatyvos a_j naudingumo laipsnis N_j išreiškia šiuo objektu suinteresuotų grupių tikslų pasiekimo lygį. Juo daugiau ir reikšmingesnių pasiekta tikslų, tuo didesnis alternatyvos naudingumo laipsnis. Kadangi užsakovus labiausiai domina, kokių laipsnių nagrinėjami variantai yra vieni už kitus efektyvesni (labiau atitinkantys jo poreikius ir tikslus), praktikoje išrenkant racionaliausią sprendimą geriau vartoti alternatyvos naudingumo, o ne reikšmingumo sąvoką.

Penktame etape atliekamas kiekybinių rekomendacijų skaičiavimas. Kiekybinės rekomendacijos i_{ij} kriterijaus x_{ij} parodo galimus kriterijaus x_i reikšmės pagerinimus procentine išraiška, siekiant, kad kriterijus taptų lygus didžiausiai $x_{i \max}$ kriterijaus X_i reikšmei. Skaičiavimams atlikti naudojama formulė:

$$i_{ij} = |x_{ij} - x_{i \max}| : x_{i \max} \times 100 \%, \quad (2.7)$$

čia i_{ij} – kiekybinės x_{ij} kriterijaus rekomendacijos, parodančios galimus kriterijaus x_i reikšmės pagerinimus procentine išraiška, siekiant, kad kriterijus taptų lygus didžiausiai $x_{i \max}$ kriterijaus X_i reikšmei.

Šeštame etape atliekamas kokybinių rekomendacijų skaičiavimas. Kokybinės rekomendacijos r_{ij} kriterijaus x_{ij} parodo galimą kriterijaus x_i naudingumo laipsnio N_j pagerinimą procentine išraiška, kai $x_{ij} = x_{i \max}$. Kitais žodžiais tariant, r_{ij} parodo, kiek procentų galima padidinti alternatyvos a_j naudingumo laipsnį N_j , jeigu kriterijaus reikšmė x_{ij} gali būti lygi geriausiai kriterijaus X_i reikšmei $x_{i \max}$. Skaičiavimams naudojama formulė:

$$r_{ij} = (q_i \times x_{i \max}) : (S_{-j} + S_{+j}) \times 100 \%. \quad (2.8)$$

Kiekybinės ir kokybinės rekomendacijos pateikiamos matricinės lentelės forma (2.3 lentelė).

2.3 lentelė. Kiekybinės rekomendacijos matricinė forma (Kaklauskas, 2016)

Table 2.3. Quantitative recommendations submitted in a matrix form (Kaklauskas, 2016)

Alternatyvas apibūdinantys kriterijai	*	Reikšmingumai	Matavimo vienetai	Lyginamos alternatyvos					
				a_1	a_2	...	a_j	...	a_n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_1 x_{1j} reikšmės pagerinimas, kad jis taptų lygus X_1 kriterijaus geriausiai reikšmei $x_{1 \text{ maks}}$. alternatyvos a_j naudingumo laipsnio N_j pagerinimas, pateikus $x_{1j} = x_{1 \text{ maks}}$	z_1	q_1	m_1 % %	x_{11} i_{11} r_{11}	x_{12} i_{12} r_{12}	...	x_{1j} i_{1j} r_{1j}	...	x_{1n} i_{1n} r_{1n}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_i x_{ij} vertės pagerinimas, kad jis būtų lygus geriausiai X_i kriterijaus reikšmei $x_{i \text{ maks}}$ alternatyvos a_j naudingumo laipsnio N_j pagerėjimas, pateikus $x_{ij} = x_{i \text{ maks}}$	z_i	q_i	m_i % %	x_{i1} i_{i1} r_{i1}	x_{i2} i_{i2} r_{i2}	...	x_{ij} i_{ij} r_{ij}	...	x_{in} i_{in} r_{in}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_m x_{mj} vertės pagerinimas, kad jis būtų lygus geriausiai X_m kriterijaus reikšmei $x_{m \text{ maks}}$ alternatyvos a_j naudingumo laipsnio N_j pagerinimas, pateikus $x_{mj} = x_{m \text{ maks}}$	z_m	q_m	m % %	x_{m1} i_{m1} r_{m1}	x_{m2} i_{m2} r_{m2}	...	x_{mj} i_{mj} m_j	...	x_{mn} i_{mn} r_{mn}

5 etapas: Statistinė duomenų analizė ir koreliacijų nustatymas

Šiame etape yra atliekama statistinė duomenų analizė ir koreliacijų nustatymas, siekiant kiekybiškai įvertinti į žmogų orientuotą užstatytą aplinką. Statistinė analizė, kuri detalčiau aprašyta 2.2.3 poskyryje, atliekama remiantis įvairiomis į žmogų orientuotos užstatytos aplinkos metrikomis, pagal koreliacijos koeficientų reikšmes ir jų įtaką gyventojams.

6 etapas: UADARM metodo ir sistemos patikrinimas

Šis etapas apima sistemos patikrinimo procesus. Gilinamasi į matavimo tikslumą, tinkamą bekontaktės įrangos parinkimą ir jos bandymą. Vertinamas atskirų bekontaktių matavimo įrenginių tinkamumas ir patikimumas. Tyrimų metu gauti duomenys buvo tikrinami dviem etapais – validavimo ir verifikavimo metu.

Duomenų bazėse kaupiami duomenys, surinkti iš jutiklių tinklo: veido emocijos („FaceReader 7.1“), veido odos temperatūra (infraraudonųjų spindulių kamera FLIR A35SC, LEPTON 3.5 modulis), žmonių srauto skaitiklis (H.264 IP kamera), širdies ir kvėpavimo dažnis („XeThru X4M200“).

Veido emocijoms atpažinti buvo naudojama „FaceReader 7.1“ programinė įranga. Loijensas ir Kripsas (2013) nurodė, kad „FaceReader“ yra efektyvi priemonė emocijoms analizuoti, jos tikslumas siekia 90 proc. Buvo rasta reikšmingų panašumų tarp „FaceReader“ gautų duomenų ir dalyvių pačių pateiktų ataskaitų (Zaman & Shrimpton-Smith, 2006). Lewinski et al. (2014) tikrino „FaceReader“ dviejuose viešai prieinamuose ir objektyviuose žmogaus pagrindinių emocijų išraiškų duomenų rinkiniuose ir pateikė veido išraiškų atpažinimo tikslumą. 2005 m. buvo pranešta, kad „FaceReader“ atitiko 89 proc. balų. Lewinski et al. (2014) išbandė 6.0 versiją. „FaceReader“ atpažino 88 proc. tikslinių emocinių būsenų Varšuvos emocinės veido išraiškos rinkinyje WSEFEP (angl. *Warsaw Set of Emotional Facial Expression Pictures*) ir Amsterdamo dinaminės veido išraiškos rinkinyje ADFES (angl. *Amsterdam Dynamic Facial Expression Set*). Programinė įranga pasiekė 0,69 FACS (veido veiksmų kodavimo sistema (angl. *Facial Action Coding System*)) indeksą abiem duomenų rinkiniams. Lewinski et al. (2014) apskaičiavo dviejų duomenų rinkinių pagrindinių žmonių emocijų atpažinimo tikslumą. ADFES atveju jis buvo 87 proc., o WSEFEP – 82 proc. Apskritai, Lewinski et al. (2014) mano, kad „FaceReader“ yra patikimas pagrindinių emocijų veido išraiškų indikatorius ir kad jis gali būti naudojamas veido emocijų analizei. „FaceReader 6.0“ versijos atveju mokslininkai nurodo bendrą 88 proc. tikslumo balą pagrindinėms emocijoms. Kiti tyrinėtojai taip pat gavo labai panašius rezultatus dėl „FaceReader tikslumo“ (Ivan, 2015; Loijens & Krips, 2013).

Atliekant vidutinės veido odos temperatūros matavimus buvo naudojama infraraudonųjų spindulių kamera FLIR A35SC. Jos tikslumas ± 2 proc. nuo nuskaitymo. Šiluminis jautrumas yra $< 0,05$ °C. Tiksliems matavimams nustatytas 0,98 emisijos koeficientas, atitinkantis žmogaus odos emisijos koeficientą. Termografinė kamera buvo sukalibruota / patikrinta, o gamintojo išduotas kalibravimo sertifikatas patvirtina matavimo rezultatus. Termografinėms kameroms kas 12 mėnesių atliekama metrologinė patikra, siekiant įsitikinti, kad jos paklaida atitinka gamintojo nustatytus parametrus. Duomenų validavimo procedūros metu temperatūriniai duomenys buvo atskirai analizuojami bei apdorojami, siekiant užtikrinti duomenų patikimumą.

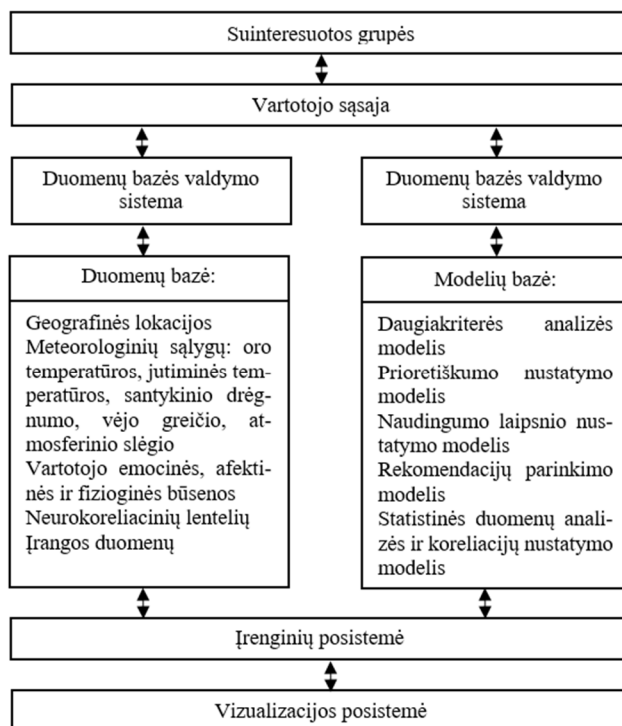
Analizuojant vidutinę žmogaus odos veido temperatūrą pasirinktu diapazonu buvo naudojamas terminis vaizdo segmentavimas. Atliekant analizę šaltuoju metų laikotarpiu buvo imamas 20–37 °C temperatūros diapazonas, o šiltuoju – 30–37 °C. Atliekant tokį segmentavimą, į duomenų bazę buvo įrašomos tik žmogaus veido odos vidutinės temperatūros reikšmės ir taip pašalinamos nereikalingos temperatūros vertės, kurios gali iškraipyti galutinius tyrimo rezultatus.

7 etapas: UADARM rezultatų vizualinis duomenų atvaizdavimas pateiktas 2.2.2 poskyryje.

2.2. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinė sistema ir jos architektūra

2.2.1. Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinės sistemos architektūra

Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinė sistema UADARS sudaryta iš įrenginių posistemo, duomenų bazės ir jos valdymo sistemos, modelių bazės ir jos valdymo sistemos bei vizualizacijos posistemo (2.2 pav.). Šiuos komponentus sujungia vartotojo sąsaja.



2.2 pav. UADARS sistemos sudedamosios dalys
Fig. 2.2. Components of the system UADARS

Įrenginių posistemį sudaro bekontakčiai biometrinės analizės prietaisai, ryšių bei programinės įrangos:

- infraraudonųjų spindulių kamera FLIR SYSTEMS A35SC ir FLIR SYSTEMS, modulis „Lepton 3.5“;
- kvėpavimo ir širdies ritmo matavimo jutiklis X4M200;
- žmonių skaičiaus skaitiklis (IP H.264 kamera);
- programinė įranga „FaceReader 7.1“ (emocijoms matuoti);
- programinė įranga „ResearchIR“ (temperatūrinei analizei).

Nuotoliniu būdu renkami nuasmeninti duomenys (vidutinė veido odos temperatūra °C, širdies ritmas, kvėpavimo dažnis, žmonių srautas, emocinė būseną), GSM ryšiu perduodami į duomenų bazę. Į duomenų bazę taip pat dedami aplinkos parametrų duomenys (santykinis oro drėgnumas %, oro temperatūra °C, vidutinis oro judėjimo greitis m/s, atmosferos slėgis hPa). Tyrimo laikotarpio aplinkos parametrų duomenys Vilniaus mieste gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenų bazės.

Nuasmenintos žmonių emocinės būsenos analizuojamos pasitelkus „FaceReader 7.1“ programinę įrangą. Fiziologiniams asmenų parametrų nustatyti naudojami bekontakčiai jutikliai. Vidutinei veido odos temperatūrai išmatuoti naudojamas termovizorius A35SC („Flir Systems“) ir infraraudonųjų spindulių modulis LEPTON 3.5. Kvėpavimui ir širdies ritmo bekontakčiam matavimui naudojamas XeThru X4M200 jutiklis. Tai pramoninis jutiklis, užtikrinantis tikslų asmens kvėpavimo dažnio matavimą kartu su atstumo ir judėjimo informacija. XeThru X4M200 gali pajusti žmogaus buvimą aptikdamas bet kokį judesį, pavyzdžiui, vaikštant, judinant rankas ar tiesiog kvėpuojant. Ypatingas jautrumas leidžia aptikti asmens buvimą iki 5,0 metrų atstumu. Jis taip pat gali išmatuoti atstumą tarp jutiklio ir asmens centimetro tikslumu.

Visa įranga, kaip video- ir termovizinės kameros, montuojama ant šviesoforų stulpų. Specialiai buvo parinktos sankryžos ar pėsčiųjų perėjos, kurios yra reguliuojamos šviesoforo signalais tam, kad bent trumpam žmonės stabtelėtų ir kameros bei radaras galėtų nuskaityti tiek emocines būsenas, tiek fiziologinius praeivių parametrus.

Širdies ritmas, kvėpavimo dažnis ir emocinės būsenos (linksma, liūdna, piktas, pasibjaurėjęs, susižadinęs, nustebęs, išsigandęs, neutralus) tiesiogiai įrašomi į duomenų bazę. Vidutinės veido temperatūros matavimai buvo sudėtingesni ir reikalavo papildomos duomenų analizės bei matavimo diapazono segmentavimo, siekiant eliminuoti ne žmonių veido temperatūrines reikšmes.

Užstatytos aplinkos daugiakriterės duomenų analizės bei rekomendacinės sistemos duomenų bazę sudaryta iš tokių lentelių:

- meteorologinių sąlygų: oro temperatūros, jutiminės temperatūros, santykinio drėgnumo, vėjo greičio, atmosferos slėgio duomenų bazę;

- vartotojų emocinės ir fiziologinės būsenos, valentingumo, susijaudinimo, įdomumo ir nenuobodumo metrikų duomenų bazė;
- neurokoreliacinių lentelių duomenų bazė (2.2.3 poskyris).

Duomenų bazės valdymo sistema geba valdyti didelius struktūrizuotų duomenų kiekius. Tai yra sudėtinė sistemos dalis.

Užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės bei rekomendacinės sistemos modelių bazės atlieka panašų vaidmenį kaip ir duomenų bazės. Tačiau šiuo atveju yra operuojama modeliais, o ne duomenimis. Gauti vieno modelio duomenys naudojami vėlesniuose modeliuose kaip jų pradiniai duomenys. Kadangi užstatyta aplinka vertinama pagal biometrinius ir fizinius aplinkos parametrus, būtina, kad modelių bazėje būtų modeliai, leidžiantys atlikti daugiakriterę analizę ir pateikti rekomendacijas suinteresuotoms grupėms.

UADARS modelių bazę sudaro šie modeliai:

- Dugiakriterės analizės modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyris);
- Prioritetiškumo nustatymo modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyris);
- Užstatytos aplinkos naudingumo laipsnio nustatymo modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyris);
- Rekomendacijų skaičiavimo modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyris);
- Statistinės duomenų analizės ir koreliacijų nustatymas modelis (2.2.3 poskyris).

Naudojantis modelių bazės valdymo sistema pagal vartotojo poreikį taikomi įvairūs modeliai. Naudojant modelių bazės valdymo sistemą vieno modelių (kriterijų reikšmingumų nustatymo) skaičiavimo rezultatai tampa kitų modelių (alternatyvų daugiakriterės analizės) pradiniais duomenimis, o šių modelių rezultatai tampa dar kitų modelių (projektų naudingumo laipsnio nustatymo, rekomendacijų pateikimo) išeities duomenimis.

Vadovaujantis šiais modeliais galima atlikti užstatytos aplinkos daugiakriterę ir statistinę analizę, nustatyti geriausius variantus bei teikti rekomendacijas.

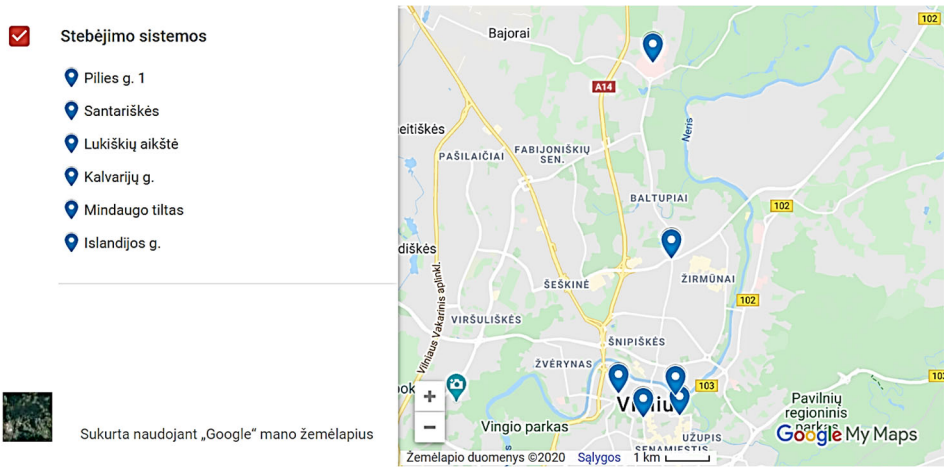
Sukurta sistema atlieka ne tik bekontakčius biometrinius praivių parametrus, bet turi ir vizualizacijos posistemį (2.2.4 poskyris), kuriuo, priklausomai nuo biometrinių asmens parametrų, galima įvairiomis spalvomis apšviesti architektūrinius objektus ar užstatytos aplinkos erdves.

2.2.2. Matavimo ir atvaizdavimo įrenginių posistemis

Įrenginių posistemii buvo pasirinktos šešios Vilniaus miesto vietos (2.4 pav.).

Viena iš pirmųjų sistemų buvo sumontuota Vilniaus senamiestyje, seniausios Vilniaus miesto gatvės pradžioje, t. y. Pilies g. 1(1).

Lietuvos sostinės širdis yra gražus Vilniaus senamiestis. 1994 m. gruodžio 17 d. 18-osios UNESCO Pasaulio paveldo komiteto sesijos Tailande metu Vilniaus istorinis centras buvo įrašytas į Pasaulio paveldo sąrašą.



2.4 pav. Matavimo įrangos sumontavimo vietos Vilniaus mieste („Google“ žemėlapis)
Fig. 2.4. Measuring equipment installation locations in Vilnius (Google Maps)

Viena iš pirmųjų sistemų buvo sumontuota Vilniaus senamiestyje, seniausios Vilniaus miesto gatvės pradžioje, t. y. Pilies g. 1(1).

Lietuvos sostinės širdis yra gražus Vilniaus senamiestis. 1994 m. gruodžio 17 d. 18-osios UNESCO Pasaulio paveldo komiteto sesijos Tailande metu Vilniaus istorinis centras buvo įrašytas į Pasaulio paveldo sąrašą.

Vilniaus senamiestyje gyvena 22 278 gyventojai (2021 m). Daugiausia gyventojų senamiestyje gyvena Šv. Stepono gatvėje – 1637, Pylimo g. – 1236, Polocko g. – 1219, Krivių g. – 1150, Subačiaus g. – 1134.

Tai – seniausia Vilniaus dalis kairiajame Neries upės krante. Vilniaus senamiestis yra senosios Lietuvos civilizacijos paveldas. Senamiestis pradėjo formuotis jau viduramžiais. Vilniaus istorinis centras užima 3,52 km² teritoriją. Senamiestyje yra 70 gatvių ir 1487 pastatai, kurių bendras grindų plotas užima 149700 m². Vilniaus senamiestyje yra daugybė bažnyčių, muziejų, gyvenamųjų namų ir architektūros paminklų. Labai įdomus faktas yra tas, kad senamiesčio bažnyčios yra įvairių religijų. Iš tiesų išsibarsčiusios katalikybės, protestantizmo, stačiatikybės ir judaizmo bažnyčios vietinių gyventojų nestebina. Vilniaus gemalas buvo įkurtas neolito laikotarpiu netoli dviejų upių – Neries ir Vilnelės santakos. Pirmiausia ant kalno (Pilies kalnas) buvo pastatyta medinė pilis. Vėliau tiesiai iš tos vietos buvo išasfaltuota daug siaurų gatvių, sujungiančių miesto gatvių tinklą. Autentiškas chaotiškas gatvių išdėstymas išliko iki šiol. Seniausią Lietuvos didžiojo kunigaikščio politinio ir kultūrinio gyvenimo periodą reprezentuoja reprezentacinių pastatų ir gynybinių įtvirtinimų kompleksas, esantis Vilniaus nacionaliniame kultūriniame rezervate. Vilniaus kultūrinis ir politinis centras sparčiai plėtėsi, nepaisant to, kad atlaikė daug gaisrų ir karų. Vilniaus senamiestyje gausu

architektūros stilių įvairovės. Gotika, renesansas, barokas, klasicizmas ir šiek tiek modernizmo susijungia į vieną įspūdingą architektūrinį ansamblį. Bene įspūdingiausias pastatas yra Vilniaus katedra ir jos klasicizmo stiliaus bokštas, esantis Vilniaus senamiestyje, Katedros aikštėje. Vilniaus senamiestį tyrinėjantys lankytojai privalo pereiti garsiąją Pilies gatvę, kurioje gausu jaukių restoranų ir parduotuvių. Pilies gatvė veda tiesiai į Rotušės aikštę, kur paprastai rengiami įvairūs renginiai. Ten yra garsioji Vokiečių gatvė.

Pilies gatvė nėra gausiai apgyvendinta, joje registruotų gyventojų yra 354 (2021 m.) ir ji yra 16 vietoje pagal gyventojų skaičių Vilniaus senamiestyje, tačiau tai kartu ir viena mėgstamiausių bei lankomiausių miesto gatvių tiek pačių Vilniaus miesto gyventojų, tiek ir miesto svečių. Pilies gatvė suformuota toje vietoje, kurioje buvo pagrindinis kelias, vedantis į Vilniaus pilį. Ji prasideda prie Katedros aikštės, kryptimi nuo Valdovų rūmų ir tęsiasi Rotušės aikštės link, susijungdama su Didžiąja gatve.

Pilies gatvėje vyksta kasmetė Kaziuko mugė. Nors Vilnius ne sykį degė ir nukentėjo per Antrąjį pasaulinį karą, Pilies gatvė išsaugojo savo istorinės architektūros bruožus: mažus kiemus, siauras gatveles, skliautus, arkadas, originalius laiptus, rūsius bei aikštes. Istoriniuose šaltiniuose Pilies gatvės pavadinimas minimas XVI a. Gatvėje gausu įvairių istorinių laikotarpių architektūrinių objektų.

Per daugelį šimtmečių gatvė buvo vadinama ir kitais pavadinimais, kurie tiesiogiai asocijavosi su tuomete valdžia: Zamkowa, M. Gorskio, Kanoniczna (Čaplinskas, 2001).

Antroji matavimo sistema sumontuota Vilniaus senamiesčio pakraštyje (2), kairiajame Neries upės krante, šalia Karaliaus Mindaugo tilto, jungiančio senamiestį ir Šnipiškių mikrorajoną. Tiltas pastatytas 2003 m.

Ši matavimo vieta – tai riba tarp senojo ir naujojo Vilniaus. Kairėje Neries upės pusėje stūkso Gedimino kalnas su gynybiniu bokštu. 48 metrų aukščio kalnas yra viena aukščiausių vietų Vilniaus senamiestyje, todėl iš čia puiku grožėtis panoraminiais Vilniaus vaizdais. Vienoje pusėje matosi raudoni senamiesčio stogai, o kitoje pusėje – modernus miestas su stikliniais dangoraižiais.

Kalno papėdėje Naujasis arsenalas – Lietuvos nacionalinis muziejus yra didžiausia šalyje Lietuvos kultūros paveldo saugykla.

Trečiasis matavimo punktas (3) oficialiai nepriskiriamas senamiesčiui, tai jau Naujamiesčio dalis. Tačiau jis labai arti Senamiesčio seniūnijos ribos. Iki jos vos 37 metrai.

Naujamiesčio rajono pavadinimas leidžia manyti, kad savo laiku tai buvo išskirtinai moderni miesto teritorija. Tiesą sakant, jei palyginsime senamiestį ir naujamiestį šalia vienas kito, matysime akivaizdų gatvių tinklo skirtumą – pastarajame gatvės atrodo taip, tarsi būtų kruopščiai subraižytos linijuote ir kampu. Šiek tiek išsiskiria senais keliais, vedančiais į Kauną ir Trakus. Tai dabartinė Savanorių pr. ir Naugarduko g. Taigi griežta Naujamiesčio urbanistinė struktūra susijusi su

XIX a. Vilniaus raidos tendencijos, kai pirmą kartą buvo nubrėžti miesto bendrieji planai. Ankstyvieji eksperimentai liko daugiau popieriniu dokumentu, tačiau 1875 m. planas buvo faktiškai įgyvendintas, jame jau buvo numatytos beveik visos šiandienio rajono gatvės. Pamažu vizijos virto realybe, pradėjo rasti nauji gyvenamieji namai, o šalia geležinkelio esančios pramonės įmonės privertė rajoną atrodyti pramoniniu. Šiandien Naujamiestis yra vienas iš dinamiškiausių Vilniaus rajonų – jame yra daug kultūrinių ir verslo iniciatyvų, kurios dar kartą pateisina vietos pavadinimą.

Matavimo sistema pastatyta Islandijos ir Pylimo gatvių sankirtoje. Kitoje gatvės pusėje yra Petro Cvirkos aikštė, kuri buvo suprojektuota dar 1959 m. Jos centre stovi prieštarinčiai vertinamo rašytojo Petro Cvirkos paminklas (skulptorius Juozas Mikėnas). Šis paminklas 1992-12-09 įtrauktas į kultūros vertybių registrą (kodas 7286). Vertinamas jis gana prieštarinčiai dėl rašytojo Petro Cvirkos bendradarbiavimo su Sovietų Sąjungos valdžia. Tad nenuostabu, kad lankantis šioje aikštėje gali apimti dvejoji jausmai ir emocijos.

V. Kudirkos ir Gedimino prospekto sankirtoje įdiegta ketvirtoji matavimo vieta (4). Tai taip pat yra Naujamiesčio mikrorajonas, tačiau pagrindinė gatvė Gedimino prospektas pakliūva ir į Senamiesčio teritoriją.

Nors matavimo sistema įdiegta vadinamajame Naujamiesčio mikrorajone, būdami šioje vietoje tikrai nepamatysime modernaus Vilniaus miesto. Visas Gedimino prospektas užstatytas XIX–XX a. pastatais. Juose įsikūrusios tiek ministerijos, tiek valstybinis Vilniaus mažasis teatras.

Kalvarijų ir Ozo gatvių sankryžoje sumontuota penktoji matavimo sistema (5) (2.6 pav.) Tai viena judriausių miesto vietų. Šioje vietoje Šnipiškių mikrorajonas ribojasi su Žirmūnų mikrorajonu. Juos skiria Kalvarijų gatvė.

Ši matavimų vieta gerokai skiriasi nuo ankstesnių. Šioje vietoje nepamatysime senosios architektūros. Aplink dar galima išvysti sovietinių pastatų. Anksčiau tai buvo pramoninis Vilniaus rajonas. Žirmūnų mikrorajono dalyje, šalia Kalvarijų gatvės, buvo įsikūrusios didžiausios Vilniaus pramonės įmonės, tokios kaip Kuro aparatūros ir Vilniaus Skaičiavimo mašinų gamyklos. Šie pastatų kompleksai išlikę iki šių dienų. Dalis pastatų jau nugriauti, kai kurie renovuoti, tačiau tai vis tiek mena sovietinius laikus ir sukuria tam tikrą emocinę atmosferą.

Santariškėse sumontuota šeštoji matavimo sistema (6). Ši matavimo vieta labiausiai nutolusi nuo Vilniaus miesto centro. Architektūriniu požiūriu šioje vietoje nerasime įdomių pastatų. Santariškės pradėjo kurtis 1976 m., kai buvo pradėtas statyti ligoninės kompleksas. Matavimo kameros sumontuotos visai šalia autobusų stotelės, prie pėsčiųjų perėjos, vedančios VU ligoninės Santariškių klinikų link.

Siekiant akivaizdžiau pademonstruoti įrenginių posistemį, toliau kaip pavyzdys detaliau analizuojama FLIR SYSTEMS termovizinė kamera (termovizorius)

A35SC (2.5 pav.) su moksliniams tyrimams skirta programine įranga „ResearchIR“.

Į Pilies g. 1 matavimo sistemą termokamera buvo integruota 2019 m. rugpjūčio mėnesį. Temperatūriniai matavimai prasidėjo 2019 m. rugpjūčio 9 d. ir truko iki 2020 m. spalio 23 d.

Veido vidutinės temperatūros matavimui pasirinkta profesionali, kalibruota FLIR SYSTEMS termovizinė kamera (termovizorius) A35SC (2.5 pav.) su moksliniams tyrimams skirta programine įranga „ResearchIR. A35SC“. Tai termovizorius, turintis 320×256 taškų detektorių, $<0,05$ °C NETD šiluminį jautrumą bei veikiantis $7,5\text{--}13$ μm infraraudonųjų bangų diapazone. Matymo kampas – $48 \times 39^\circ$. Prietaisas sukalibruotas, o jo matavimo tikslumą patvirtina gamintojo išduotas kalibravimo sertifikatas. Termovizorius metrologiškai tikrinamas kas 12 mėnesių, siekiant įsitikinti, kad matavimo paklaidos atitiktą gamintojo nustatytas reikšmes.



2.5 pav. Infraraudonųjų spindulių kamera FLIR A35SC

Fig. 2.5. Infrared camera FLIR A35SC

Su termovizoriaus programine įranga „ResearchIR“ buvo galima įrašinėti šiluminį videovaizdą, matuoti temperatūrą, išskirti reikalingą matavimui temperatūros diapazoną, bet ir eliminuoti matavimams neaktualius objektus, kurie galėtų turėti įtakos matuojamai vidutinei žmonių temperatūrai. Visi įrašyti duomenys buvo nuasmeninti, o tyrimams paimta tik žmonių minios vidutinė temperatūra, išreikšta skaitine reikšme.

Pilies gatvėje įrengta termovizinė kamera buvo orientuota į žmones, ateinančius Pilies gatve. Ši stebėjimo kryptis pasirinkta neatsitiktinai, nes buvo siekiama išvengti į stebėjimo lauką patenkančių automobilių, kurie iškreiptų tyrimo rezultatus. Tačiau netgi ir tokiu atveju į termovizoriaus FLIR A35SC matymo zonos kampą patekdavo dalis pravažiuojančių automobilių. Siekiant išvengti rezultatų iškraipymo, programinėje įrangoje buvo apibrėžta matavimo zona, pažymėta „Polygon 1“ (2.6 pav.). Taip buvo stebima tik į šią zoną patenkančių objektų temperatūra, šiuo atveju tik žmonių temperatūra.



2.6 pav. „ResearchIR“ programinė įranga. Matavimo zona „Polygon 1“
 Fig. 2.6. ResearchIR software. Polygon 1 measuring zone

Kadangi temperatūros matavimas atliekamas bekontakčiu būdu, buvo įvertintas tiriamo objekto (žmogaus odos) emisijos koeficientas. Emisijos koeficientas – tai santykinis dydis, žymimas ε , kurio skaitinė reikšmė yra nuo 0 iki 1. Šis koeficientas yra labai svarbus parametras, norint tiksliai išmatuoti objekto temperatūrą bekontakčiu būdu. Netinkamai įvertinus šį dydį, rezultatai gali skirtis ne laipsniais ar dešimtimis laipsnių, o kartais. Matuojant vidutinę žmonių temperatūrą, buvo pasirinktas 0,98 emisijos koeficientas. Ši reikšmė atitinka žmogaus odos emisijos koeficientą.

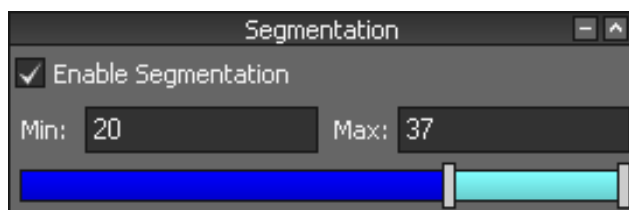
Termovizoriai ar kiti bekontakčiai termometrai temperatūros tiesiogiai nematuoja. Šie prietaisai matuoja infraraudonosios energijos spinduliavimo intensyvumą, kuris priklauso nuo temperatūros ketvirtuoju laipsniu. Prietaisai temperatūros reikšmę apskaičiuoja pagal Stafano (Stefan J.) ir Boltcmano (Boltzmann L.) dėsnį.

$$W = \sigma \varepsilon T^4, \quad (2.9)$$

čia W – išspinduliuota kūno energija, σ – Bolcmano konstanta ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), ε – emisijos koeficientas, T – temperatūra.

Be tyrimams reikalingų žmonių, į apibrėžtą matavimo zoną „Polygon 1“ patenka ir aplinkinių objektų temperatūra. Termovizoriaus detektorius fiksuoja visų objektų temperatūrą, t. y. grindinio trinkelės, pastatų sienos, dviračiai, šviesoforų ir elektros stulpai, medžiai ar kiti objektai, esantys matymo zonoje. Siekiant eliminuoti šiuos pašalinius trukdžius, papildomai „ResearchIR“ programinės įrangos

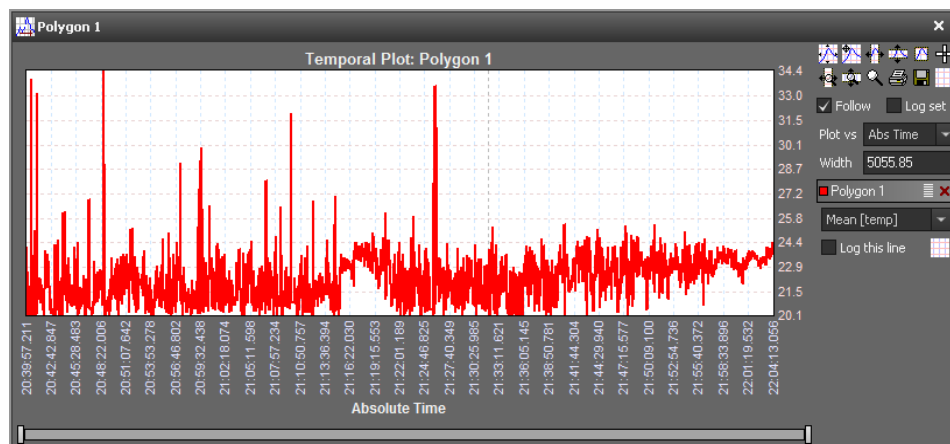
nustatymuose buvo pasirinktas temperatūros segmentavimo diapazonas (2.7 pav.). Kadangi matavimai buvo atliekami lauke, nepriklausomai nuo metų laiko, buvo pasirinkta žemesnė apatinė riba, kad šaltesniu laikotarpiais taip pat būtų fiksuojama žmonių veido vidutinė temperatūra.



2.7 pav. Temperatūros segmentavimo diapazono pasirinkimas
Fig. 2.7. Temperature segmentation range selection

Atliekant temperatūrinius matavimus, programoje pasirinkus laiko grafiko „Temporal Plot“ analizės funkciją, iškart buvo brėžiamas užduotos tyrimo zonos „Polygon 1“ vidutinės temperatūros grafikas (2.8 pav.).

Kiekvienos dienos rezultatai atskirai buvo išsaugomi „MS Excel“ formatu, siekiant turėti duomenų bazę, kurioje nebūtų sunku identifikuoti atlikto matavimo datą.



2.8 pav. Tyrimo zonos vidutinės temperatūros grafikas
Fig. 2.8. Graph of the average temperature in the test area

Programinė įranga „ResearchIR“ leido nesunkiai atvaizduoti, eksportuoti, segmentuoti ar kitaip apdoroti gautus rezultatus. Tačiau buvo pastebėta „vidutinės foninės temperatūros“ įtaka analizuojant visos dienos duomenis, išsaugotus „MS

Excel“ formoje. Vidutinė foninė temperatūra – tai matavimo zonos „Polygon 1“ temperatūros reikšmė, kai matavimo zonoje išvis nebūdavo žmonių. Tokiu atveju temperatūros laiko grafikas atvaizduodavo ir registruodavo paskutinio žmogaus, kirtusio matavimo zoną, vidutinę temperatūrą iki kito momento, kol kitas asmuo patekdavo į stebėjimo zoną. O tai reiškia, kad skaitinė reikšmė buvo išsaugoma daug temperatūros reikšmių su pastovia temperatūra, kuri iškreipdavo visos dienos vidutinę žmonių minios temperatūrą. Siekiant gauti tikslią žmonių veido vidutinę temperatūrą, buvo išfiltruotos vienodos foninės temperatūros reikšmės.

Nors termokamera gali įrašinėti ir šiluminio atvaizdo videovaizdą, jis nėra saugomas. Su programine įranga „ResearchIR“ („Flir Systems“) yra analizuojamas duotas plotas, į kurį patenka žmonės. Plotas pasirinktas dėl tikslesnių matavimų, siekiant išvengti nedominančių objektų, kurie gali pakliūti į matavimo sritį. Matavimo rezultatai saugomi UADARS duomenų bazėje skaitinė reikšmė, be galimybės identifikuoti konkrečius asmenis ir taip užtikrinant asmens duomenų saugumą.

Daug mokslininkų tyrinėjo žmogaus veido temperatūros pakitimus, priklausomai nuo jo emocinės būsenos, esant stresui ar kitiems dirgikliams (Oliveira et al., 2007; Jenkins et al., 2009). Tai jie darė laboratorinėmis sąlygomis. Tačiau rengiant disertaciją susidurta su dideliu iššūkiu, matuojant veido temperatūrą lauko sąlygomis. Veido odos temperatūrai didelę įtaką turi lauke vyraujanti oro temperatūra, santykinis drėgnumas, vėjo greitis, lietus ir kiti meteorologiniai reiškiniai (2.4 lentelė).

2.4 lentelė. Aplinkos temperatūros poveikis žmogaus odos temperatūrai (sudaryta autoriaus)

Table 2.4. Effects of ambient temperature on human skin temperature (developed by the author)

Tyrėjai	Aplinkos temperatūra, T_A , °C	Veido odos temperatūra, T_O , °C	ΔT , $T_O - T_A$, °C
Aschoff & Wever, papildyta Childs et al., 2018	20	32,8	12.8
Olesen B.W. et al., 1982	23	34	11
Aschoff & Wever, papildyta Childs et al., 2018	30	34,8	4.8
Aschoff & Wever, papildyta Childs et al., 2018	33	36,0	3.0

Tad remtis kitų mokslininkų atliktais veido temperatūros matavimais nebuvo galima. Kadangi šaltuoju laikotarpiu žmonių veido temperatūra stipriai sumažė-

davo, vidutinės veido temperatūros matavimui buvo pasirinktas platesnis matavimo diapazonas, pasirenkant žemesnę, apatinę matavimo ribą, t. y. nuo $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Šiltuoju laikotarpiu apatinė riba buvo padidinta iki $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, siekiant eliminuoti išilsius rūbus. Viršutinė matavimo riba buvo nustatyta $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiek šaltajam, tiek šiltajam sezonui. Šiltasis ar šaltasis sezonas nebuvo pasirenkamas konkrečiai pagal datą. Jo pasirinkimą lėmė išsivyravusi vidutinė lauko temperatūra. Kasdien atliekant veido temperatūros matavimus buvo stebima, ar praeivių veido temperatūra patenka į pirminį duotą matavimo diapazoną nuo $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$. 2019 m. šaltasis matavimo diapazonas ($+20\text{ }^{\circ}\text{C} - +37\text{ }^{\circ}\text{C}$) buvo nustatytas nuo rugsėjo 21 d., o atstatytas į pirminį $+30\text{ }^{\circ}\text{C} - +37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2020 m. kovo 29 d.

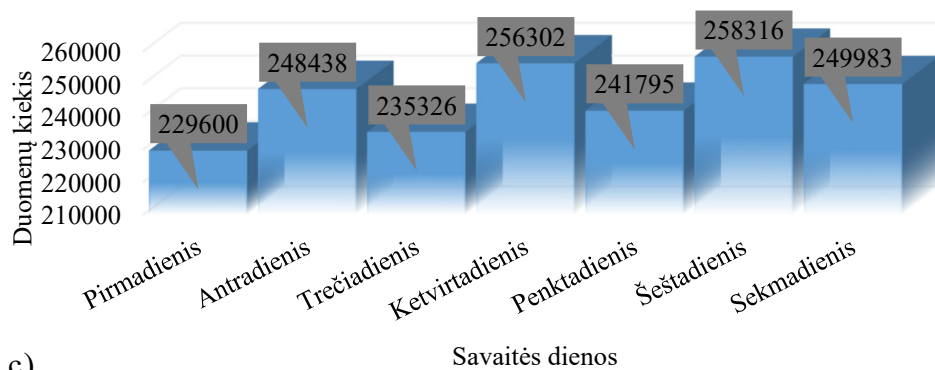
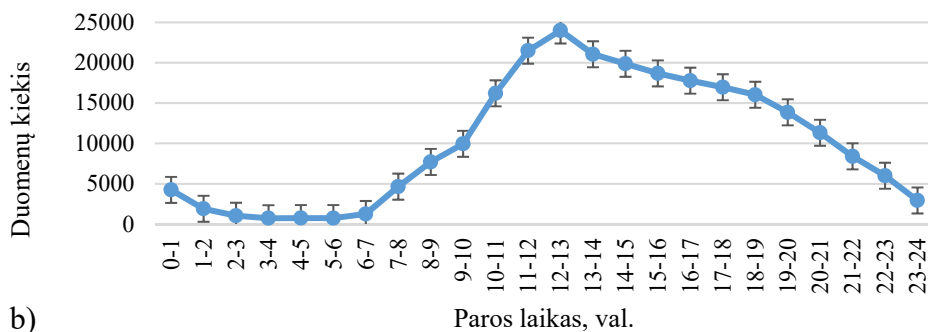
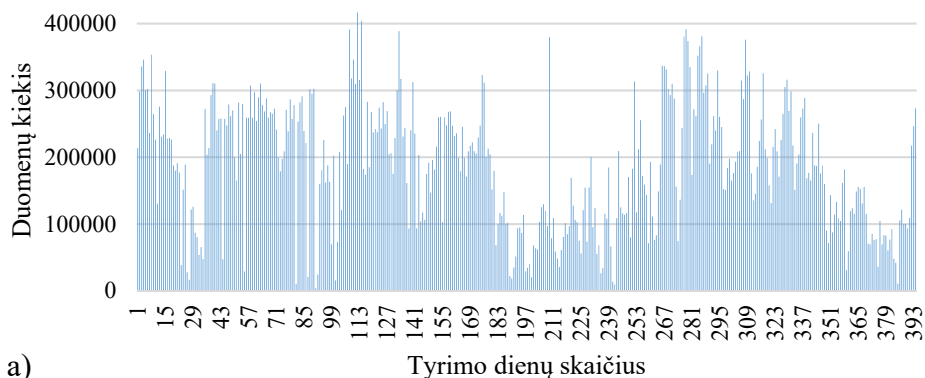
Per tyrimų laikotarpį buvo gautas didelis temperatūrinių duomenų kiekis. Išfiltravus foninės temperatūros reikšmes, vidutinis temperatūrinių matavimų duomenų skaičius per dieną siekia apie 186 477 įrašus. Bendras temperatūrinių duomenų matavimo dienų skaičius per tyrimų laikotarpį yra 393 dienos (2.9 a pav.).

Analizuojant gautus vidutinius temperatūros duomenų kiekius per parą yra nustatyta, kad didžiausi duomenų kiekiai buvo gauti tarp 11 ir 14 valandos. Didžiausias vidutinis duomenų kiekis gautas tarp 12 ir 13 valandos (2.9 b pav.). Iš savaitės dienų pagal didžiausią vidutinį duomenų kiekį išsiskyrė šeštadienis su 258 316 vidutinių duomenų skaičiumi, antroje vietoje – ketvirtadienis su 256 302 (2.9 c pav.). Mažiausias vidutinis temperatūros duomenų kiekis buvo gautas pirmadieniais. Vidutiniškai tai yra 229 600 įrašų.

Analizuojant didelį žmonių odos temperatūros duomenų kiekį, nors ir netiesiogiai, galima daryti išvadą, kad Vilniaus senamiestyje, Pilies gatvės ir Katedros aikštės teritorijoje didžiausias žmonių judėjimas vyksta šeštadieniais, o mažiausias – pirmadieniais.

Vizualizacijos posistemio veikimas toliau pateikiamas 2019–2020 m. Vilniaus šviesų festivalio pavyzdžiu.

2019 m. sausio 25–27 d. kūrybinės dirbtuvės „Beepart“ kartu su Vilniaus miesto savivaldybe Vilniaus miesto gyventojams ir svečiams surengė „Vilniaus šviesų festivalį 2019“. Festivalis organizuotas paminėti 696-ąjį Vilniaus miesto gimtadienį. Festivalio metu buvo surengtos 25 šviesos instaliacijos, skirtos apšviesti architektūrinius objektus, tokius kaip Skaisčiausiosios Dievo Motinos cerkvė, Radvilų rūmų muziejus, Šv. Kotrynos, Šv. Onos, Švč. bažnyčios, Trys kryžiai ir kiti objektai.



2.9 pav. Temperatūrinių duomenų kiekis per tyrimų laikotarpį: a) per visą tyrimų laikotarpį, b) paros valandomis, c) savaitės dienomis (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.9. Temperature data during the study period: a) throughout the study period, b) hours of the day, c) days of the week (developed by the author)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas taip pat surengė keletą šviesų instaliacijų. Universitetas dalyvauja „HORICON 2020“ programoje, ROCK projekte, kurio tikslas – sukurti novatorišką, pagrįsta bendradarbiavimu, kūrybiškų žinių miestų kultūros paveldo atkūrimo ir optimizavimo strategiją bei planus. Šio projekto tikslas – sukurti daugiakriteriais parametrais paremtą sistemą, kuri gebėtų stebėti, kaupti ir analizuoti gyventojų nuotaikas Vilniaus miesto senamiestyje. Tikslui įgyvendinti pasitelkiamos novatoriškos technologijos, sistemos sudarytos ir skirtingų jutiklių, leidžiančios rinkti, kaupti bei analizuoti nuasmeninus miesto gyventojų ir svečių duomenis. Pabrėžtina, kad nėra įrašomi ar kitaip saugomi asmeniniai duomenys ar video medžiaga. Visi tyrimo rezultatai saugomi serveryje skaitinėmis reikšmėmis, be jokios galimybės nustatyti asmens tapatybę ar kitų asmeninius duomenis.

Prisijungiant prie Vilniaus miesto gimtadienio šventės kaip viena iš šviesų instaliacijų miesto savivaldybės administracijai buvo pasiūlyta įdiegti UADARS sistemą ir pasitelkus ją apšviesti Trijų Kryžių paminklą, esantį senamiestyje ant Kreivojo kalno, dar vadinamo Pilkuoju ar Trijų Kryžių kalnu. Šis paminklas laikomas tautinės tapatybės simboliu (Trijų Kryžių paminklas, 2020).

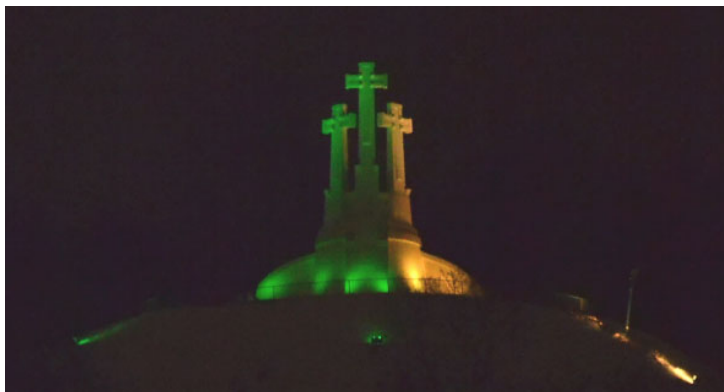
Pastatytas dar 1916 m. sovietų valdžios įsakymu sugriautas 1950 m. gegužės 30 d. ir galutinai atstatytas Lietuvos persitvarkymo sąjūdžio iniciatyva 1989 m. birželio 14 d. Tai puikus lietuvių tautos pasipriešinimo okupacijai simbolis.

Trijų Kryžių paminklas puikiai matomas nuo Bernardinų sodo prieigos. Prie įėjimo į parką buvo pastatytas informacinis stendas, kviečiantis miesto gyventojus ir svečius išsimatuoti savo emocijas. Stendo cente buvo sumontuota vaizdo kamera, tad norintiesiems sužinoti savo emocinę būseną tereikėjo pažiūrėti į kamerą ir Trys Kryžiai nusidažydavo įvairiomis spalvomis.

Vakarais Trijų Kryžių paminklas apšviečiamas balta spalva, naudojant 6 RGB LED šviestuvus ir 3 RGB LED plokštes. LED plokščių šviesa orientuota į kryžių viršūnes. Kiekviena plokštė apšviečia po vieną kryžiaus viršūnę. 6 mažesni šviestuvai orientuoti į paminko postamentus, po 2 šviestuvus kiekvienai kryžiaus zonai. Šviestuvai valdomi DMX512 protokolu nuotoliniu būdu. DMX512 protokolas – tai plačiai paplitęs šviesų ir efektų valdymo protokolas, kuris pradžioje buvo naudojamas teatriniam scenų apšvietimui ir pamažu paplito nuo kėdinių dekoracijų, reklaminių stendų iki architektūrinio apšvietimo.

Norint valdyti apšvietimą, jo intensyvumą ar spalvą, reikia turėti DMX512 valdiklį ir bent vieną šviestuvą, palaikantį šį protokolą. DMX sistemos patogumas yra tas, kad galima jungti šviestuvus nuosekliai. Šviestuvai, palaikantys DMX512 protokolą, turi įėjimo ir išėjimo lizdus. Kabelis, kurio siunčiamas valdiklio signalas jungiamas į pirmo šviestuvo įėjimo lizdą, toliau kitu kabeliu sujungiamas pirmo šviestuvo išėjimo lizdas su antro šviestuvo įėjimo lizdu. Ši procedūra kartojama su visais toliau esančiais DMX šviestuvais. Toks šviestuvų jungimo būdas yra gerokai patogesnis, nes nereikia tiesti atskiro kabelio nuo valdymo pulto iki

kiekvieno šviestuvo atskirai. Šviestuvai vienas su kitu nuosekliai sujungiami vieno kabelio principu. Tačiau net ir naudojant vieną kabelį DMX512 protokolas leidžia valdyti kiekvieną šviestuvą atskirai siunčiant tikslingus duomenų paketus kiekvienam įrenginiui. Taip galima gauti skirtingą spalvą ar apšvietimo intensyvumą.



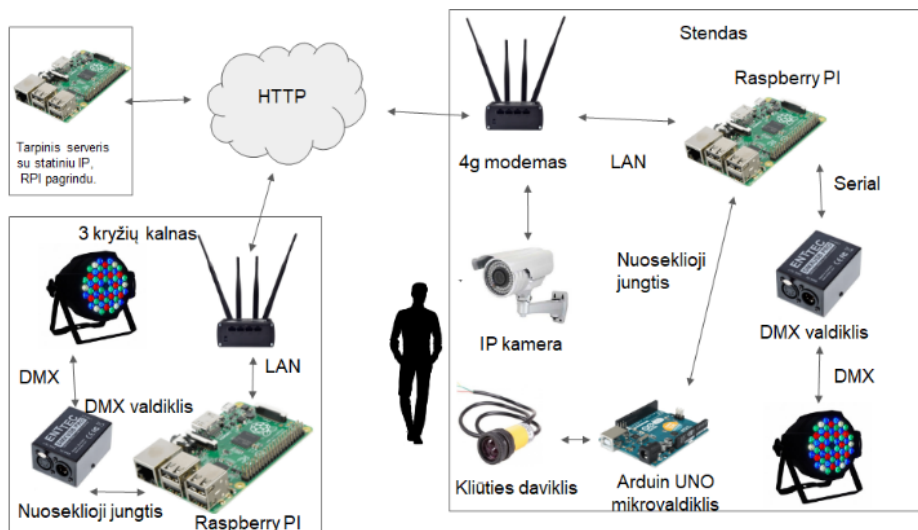
2.10 pav. Trijų Kryžių paminklas 2019 m. Vilniaus šviesų festivalio metu
Fig. 2.10. Monument of the Three Crosses during the 2019 Vilnius Festival of Lights

Pasinaudojus šiuo valdymo protokolu buvo sukurta sistema, kuri leido valdyti Trijų Kryžių paminklo apšvietimą (2.10 pav.), priklausomai nuo emocinės gyventojų būsenos. Trijų Kryžių kalno papėdėje, prie įėjimo į Bernardinų sodą, buvo pastatytas informacinis standas (2.11 pav.). Sistemai sukurti panaudota lauko sąlygoms skirta IP videokamera, maršrutizatorius TELTONIKA RUT950, DMX512 USB valdiklis ENTTEC DMXUSB PRO, „Raspberry PI 3“ mikrokompiuteris, ARDUINO UNO valdiklis bei IR jutikliai žmogui aptikti.



2.11 pav. Standas, kviečiantis išsimatuoti nuotaiką
Fig. 2.11. Stand inviting to measure the mood

Kalno viršuje, Trijų Kryžių valdymo skyde, Vilniaus miesto gimtadienio dienomis papildomai buvo integruotas TELTONIKA RUT950 maršrutizatorius, DMX5120 USB valdiklis ENTTEC DMXUSB PRO ir „Raspberry Pi“ mikrokompiuteris. Sistemos architektūra pateikta 2.12 paveiksle.



2.12 pav. Trijų Kryžių paminklo išmaniosios apšvietimo sistemos architektūra

Fig. 2.12. Architecture of the intelligent lighting system used for the Monument of the Three Crosses

Išmaniają sistemą sudaro 4 pagrindiniai blokai:

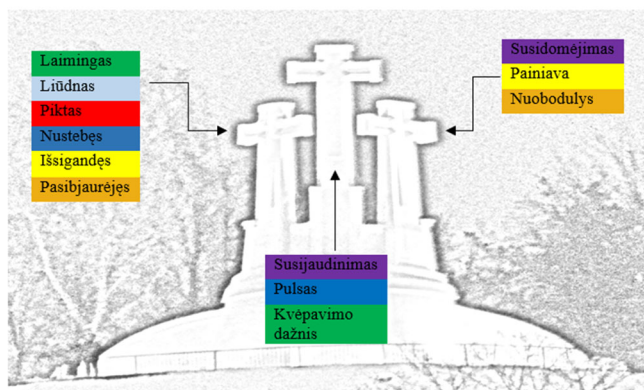
- Vilniaus Gedimino technikos universiteto serveris su programa.
- Tarpinis serveris „Raspberry Pi“ mikrokompiuteryje.
- IP kameros ir davikliai duomenims rinkti.
- „Raspberry Pi“ paremtas DMX šviesų valdiklis.

Tarpinis serveris – tai „Raspberry Pi“ mikrokompiuteris su įdiegta „Linux“ operacine sistema, kurioje veikia programa tarpininkas, kurios pagrindinė funkcija yra palengvinti komunikaciją tarp VILNIUS TECH emocijų duomenų analizės programos ir kitų „Raspberry Pi“ šviesos valdiklių. Kadangi tarpiniam serveriui priskirtas dedikuotas IP adresas globaliame interneto tinkle, kitiems sistemos komponentams nereikia „ieškoti“ vieniems kitų – jie gali bendrauti per šį serverį. Komunikacija vyksta HTTP protokolu, VILNIUS TECH serveris siunčia komandas JSON pavidalu, kurios lieka serverio atmintyje, o kiti komponentai (valdantys DMX šviesas) jas skaito. Serverio programa parašyta „Java“ programavimo kalba, pasinaudojant „Spring Boot“ karkasu.

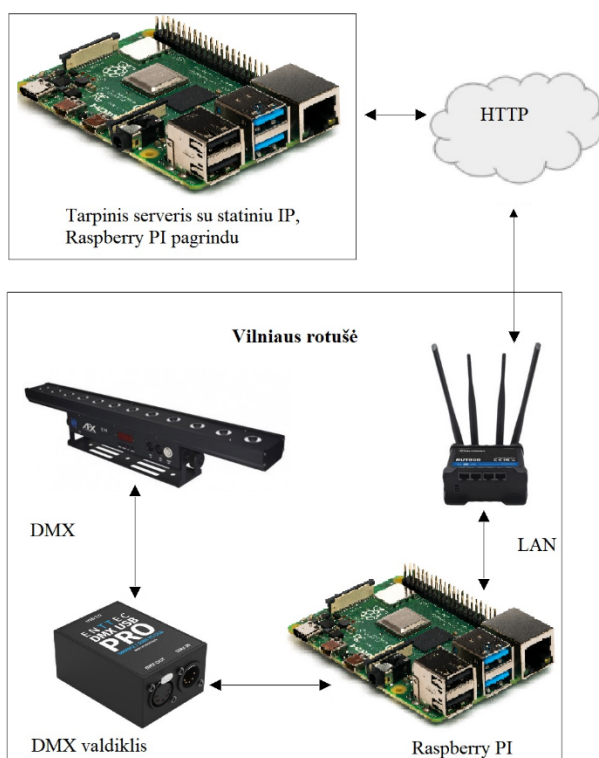
„Raspberry Pi“ mikrokompiuteriu paremtas šviesos valdiklis – tai tuo pačiu „Raspberry Pi“ mikrokompiuteriu paremtas prietaisas su „Linux“ operacine sistema ir dviem programomis – viena „Java“ kalba parašyta programa, kuri kas 1 sekundę siunčia HTTP užklausas tarpiniam serveriui, o jis į jas atsako JSON formatu struktūrizuotomis komandomis. Gavus atsaką JSON iš serverio, komandos siunčiamos per UDP į žemo lygio kalba (C++) parašytą programą, kuri valdo patį apšvietimą. Antroji programa realizuoja linijinę interpoliaciją tarp verčių, t. y. mažiau keičia šviesos spalvos vertę tam, kad išgautų gražų pasikeitimą. DMX protokolui reikalingas papildomas prietaisas, nes „Raspberry Pi“ neturi RS-485 sąsajos ir negali pats skleisti DMX signalo, dėl to buvo panaudotas papildomas valdiklis, su kuriuo antroji programa komunikuoja per nuosekliają jungtį. Prietaisas turi 512 DMX kanalų, tai leidžia turėti didelį kiekį apšvietimo prietaisų sistemoje. Architektūra pagrindžiama greitu realizavimo būdu, mažais gabaritais ir paprastumu bei pigumu. Prie visko naudojami 3g/4g ryšio modemai. Tokie įrenginiai gali dirbti grupėmis arba po vieną.

Vilniaus šviesų festivalio metu prie vieno iš šviesų valdiklio buvo prijungtas infraraudonaisiais spinduliais veikiantis jutiklis su „Arduino“ mikrovaldikliu. Jutiklis leido sistemai aptikti žmogaus buvimą prie kameros, įmontuotos stende. „Arduino“ mikrovaldikliui parašyta programa per nuosekliają sąsają siuntė jutiklio duomenis į „Raspberry Pi“, kuriame kita programa juos skaitė ir siuntė į tarpinį serverį, į kurį besikreipdama VILNIUS TECH programa galėjo suprasti, kada perjungti duomenis. Tai buvo naudojama tam, kad, jei nėra žmogaus, stovinio prieš stendo kamerą, sistema galėtų persijungti ir naudoti duomenis iš VILNIUS TECH serverio, kurie atspindi kitų Vilniaus mieste esančių žmonių emocinę būseną, t. y. jei sistema neaptikdavo žmogaus prie informacinio stendo, Trijų Kryžių paminklas būdavo apšviečiamas pagal miesto gyventojų nuotaiką.

Nuotaikai atvaizduoti pasitektos spalvos. Ant kiekvieno kryžiaus buvo atvaizduojama tuo metu vyravusi stipriausia žmogaus, stovinio prieš kamerą, įmontuotą stende, emocija. Pirmas kryžius (pirmas iš kairės, žiūrint nuo pagrindinio įėjimo į Bernardinų sodą Maironio gatvėje) skirtas laimės, liūdesio, pykčio, nuostabos, išgąsčio ir pasibjaurėjimo atvaizdavimui. Žalia spalva simbolizavo laimę, žydra – liūdesį, raudona – pyktį, mėlyna – nuostabą, geltona – išgastį, oranžinė – pasibjaurėjimą. Centrinis kryžius simbolizavo susijaudinimą, pulso ar kvėpavimo dažnio padidėjimą. Esant susijaudinimui, kryžius nušvisdavo violetine spalva, esant didesniai pulsui – mėlyna, kvėpavimo dažniui – žalia. Trečiasis kryžius – tai dominuojančios emocinės būsenos kryžius. Esant stipresniam susidomėjimui kryžius nušvisdavo violetine spalva, jei užsidedavo geltona, tai reiškė, kad vyrauja stipresnė painiavos būseną, o nuobodulys atvaizduojamas oranžine spalva (2.13 pav.). Paprastesnė šios sistemos versija (2.14 pav.) to paties Vilniaus šviesų festivalio metu buvo panaudota ir Vilniaus miesto Rotušės langams apšviesti.



2.13 pav. Emocijų būsenų spalvos
Fig. 2.13. Colours of emotion states



2.14 pav. Vilniaus miesto Rotušės langų išmaniosios apšvietimo sistemos architektūra
Fig. 2.14. Architecture of the intelligent lighting system of Vilnius City Hall windows

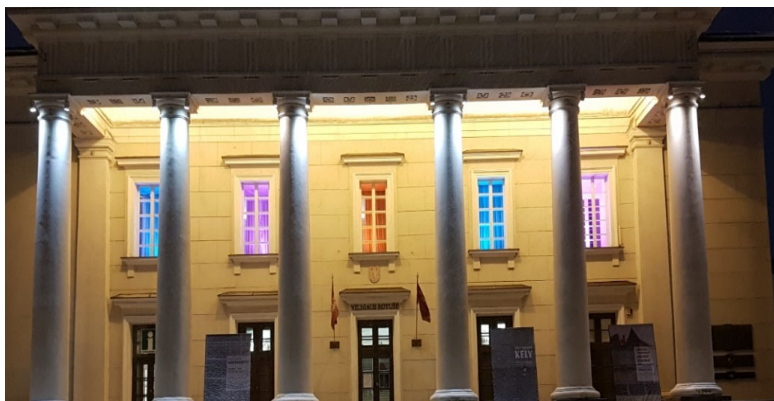
Penkiuose Rotušės fasado languose (2.15 pav.) buvo įstatyti BARLED1215 (12×15 W RGBAW) LED šviestuvai. Pirmas šviestuvas DMX kabeliu buvo sujungtas su ENTTEC DMXUSB PRO valdikliu, kuris komandas gaudavo iš „Raspberry PI“ mikrokompiuterio su jame specialiai parašyta šviesų valdymo programa. Langų apšvietimas pagrįstas tuo pačiu principu kaip ir Trijų Kryžių paminklas. Esminis skirtumas yra tas, kad Rotušės langai buvo apšviečiami pagal duomenis, gautus iš skirtingų miesto vietų, o ne individualią asmens nuotaiką. Pirmas langas (žiūrint iš kairės) skirtas laimei, liūdesiui, pykčiui, nuostabai, išgąsčiui ir pasibjaurėjimui atvaizduoti. Antras langas – susijaudinimas, pulsas ar kvėpavimo dažnio padidėjimas. Trečiasis langas – tai dominuojančios emocinės būsenos langas. Ketvirto ir penkto lango spalvos atitinkamai buvo dubliuotos su pirmo ir antro lango spalvomis.

Spalvinis kodas (2.5 lentelė) taip pat atitiko Trijų Kryžių paminklo apšvietimo spalvas. O langai nušvisdavo stipriausia tuo metu esančia emocija.

2.5 lentelė. Vilniaus Rotušės pastato langų spalvinis kodas (sudaryta autoriaus)

Table 2.5. Color code of Vilnius City Hall building windows (developed by the author)

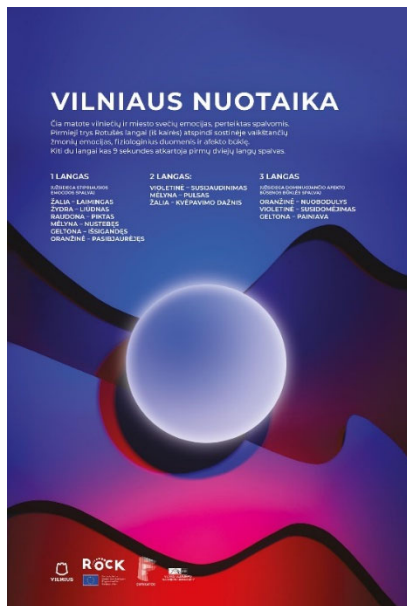
1 langas	2 langas	3 langas
Laimė	Kvėpavimo dažnis	Painiava
Liūdesys	Susijaudinimas	Susidomėjimas
Pyktis	Pulsas	Nuobodulys
Nuostaba		
Išgąstis		
Pasibjaurėjimas		



2.15 pav. Vilniaus miesto Rotušės fasadinių langų išmanusis apšvietimas

Fig. 2.15. Smart lighting of Vilnius City Hall facade windows

Panaudojus šias šviesos valdymo sistemas, interaktyviai buvo atvaizduotos Vilniaus miesto gyventojų ir svečių emocinės būsenos. Lankstinukas, kviečiantis pasimatuoti emocijas, pateiktas 2.16 paveiksle.



2.16 pav. Išmaniosios sistemos lankstinukas
Fig. 2.16. Smart system brochure

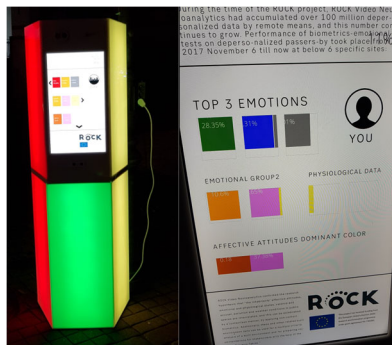
2019 m. įvykęs pirmasis Vilniaus šviesų festivalis buvo puikiai sutiktas miesto gyventojų ir svečių, 2020 m. buvo surengtas ir antrasis festivalis. Šiam renginiui buvo naujai perdarytas tiek informacinis stendas, tiek gaunamų rezultatų atvaizdavimas. Pirmojo šviesų festivalio metu 2019 m. gauta patirtis paskatino pasirinkti kitokį žmonių emocinio lygio atvaizdavimo sprendimą.

Buvo suprojektuotas ir pagamintas šviečiantis, lauko sąlygomis galintis dirbti matavimo ir atvaizdavimo stendas su integruotu monitoriumi (2.17 pav.). Stendo forma specialiai parinkta trapecijos formos, kad būtų galima atvaizduoti, o pačiam dalyviui lengviau matyti savo stipriausią emociją ar stipriausią fiziologinę būseną. Atsistojus prieš matavimo ir atvaizdavimo stendą yra puikiai matomos jo šoninės kraštinės bei priekinė dalis su monitoriumi. Priekinėje stendo dalyje įmontuota videokamera, šiluminis FLIR SYSTEMS detektorius LEPTON 3.5, leidžiantis matuoti žmogaus veido temperatūrą. Stendo viduje įmontuotas nuotolinis kvėpavimo jutiklis „XeThru“, lauko sąlygoms skirta IP videokamera, maršrutizatorius TELTONIKA RUT950, DMX512 USB valdiklis ENTTEC DMXUSB PRO,

„Raspberry Pi 3“ mikrokompiuteris, ARDUINO UNO valdiklis bei IR jutikliai žmogui aptikti.

Naujos sistemos valdymas labai panašus, kaip ir buvo naudotas 2019 m. festivalio metu, tačiau pasirinktas kitas matavimo rezultatų atvaizdavimas. 2019 m. patirtis parodė, kad esant blogoms oro sąlygoms, t. y. sningant, toli esantis Trijų Kryžių paminklas yra blogai matomas. Taip pat sniego sluoksnis uždengdavo paminklą apšviečiančius LED šviestuvus, kurių šviesa sunkiai apšviesdavo patį paminklą.

Vietoje Trijų Kryžių paminklo apšvietimo buvo sukurtas informacinis stendas, kurio visos kraštinės švitė skirtingomis spalvomis. Kairysis stendo šonas atvaizduodavo stipriausią žmogaus emociją: laimingas, liūdnas, piktas, nustebeš, išsigandęs ir pasibjaurėjęs.



2.17 pav. Mobilus lauko sąlygoms atsparus miestiečių emocijų matavimo stendas

Fig. 2.17. Mobile outdoor-resistant stand for measuring emotions

2020 m. Vilniaus šviesų festivalio metu matavimo stendas buvo pastatytas Konstantino Sirvydo skvere, šalia Didžiosios gatvės.

Atnaujintame stende buvo integruotas infraraudonaisiais spinduliais veikiantis jutiklis, sujungtas su „Arduino“ mikrovaldikliu. „Arduino“ mikrovaldikliui parašyta programa siuntė jutiklio duomenis į „Raspberry Pi“, kuriame kita programa skaitė duomenis ir siuntė į tarpinį Vilniaus Gedimino technikos universiteto serverį bei perjunginėdavo duomenų atvaizdavimą, priklausomai nuo situacijos. Atsistojus žmogui prieš stendą, jis persijungdavo į individualaus asmens skenavimo režimą ir pagal gautus duomenis ENTTEC DMXUSB PRO valdiklis valdydavo šviesos spalvas.

Ant kiekvieno stendo šono buvo atvaizduojama tuo metu vyraVusi stipriausia žmogaus, stovinčio prieš kamerą, įmontuotą stende, emocija. Kairysis trapecijos šonas (žiūrint iš priekio) buvo skirtas laimės, liūdesio, pykčio, nuostabos, išgąščio ir pasibjaurėjimo atvaizdavimui. Žalia spalva simbolizavo laimę, žydra – liūdesį, raudona – pyktį, mėlyna – nuostabą, geltona – išgąstį, oranžinė – pasibjaurėjimą.

Priekinė ir nugarinė dalys simbolizavo susijaudinimą, pulso ar kvėpavimo dažnio padidėjimą. Esant susijaudinimui, priekinė ir nugarinė stendo dalys nušvisdavo violetine spalva, esant didesniai pulsui – mėlyna, kvėpavimo dažniui – žalia. Dešinioji stendo dalis – tai dominuojančios emocinės būsenos indikacija. Esant stipresniam susidomėjimui dešinysis šonas nušvisdavo violetine spalva, jei užsidegdavo geltona, tai reiškė, kad vyrauja stipresnė painiavos būsena, o nuobodulys atvaizduojamas oranžine spalva. Tuo metu, kai nebūdavo prieš matavimo stendą atsistojusio žmogaus, stendas persijungdavo į viso Vilniaus miesto stipriausių emocijų atvaizdavimą.

Efektui sustiprinti ir didesnio žmonių srauto duomenims atvaizduoti buvo panaudotas animacinis trijų spalvų RGB lazeris. Lazeriui valdyti ir animacinėms projekcijoms atvaizduoti buvo pasitelkta speciali „Pangolin Laser System“ programinė įranga „QuickShow“. Lazeris ir informacinis stendas veikė kaip viena sistema. Nustačius, kad žmogus yra laimingas, kairysis stendo šonas nušvisdavo žalia šviesa, o lazerinis projektorius atvaizduodavo besišypsantį veiduką ant Lietuvos nacionalinio dailės muziejaus šiaurinės sienos (2.18 pav.). Jei prie stendo žmogaus nebūdavo, tuomet lazeris, kaip ir informacinis stendas, atvaizduodavo stipriausią Vilniaus miesto emociją.



2.18 pav. Lazerinė projekcija „Vilniaus šviesų festivalis 2020“ metu
Fig. 2.18. Laser projection during Vilnius Lights Festival 2020

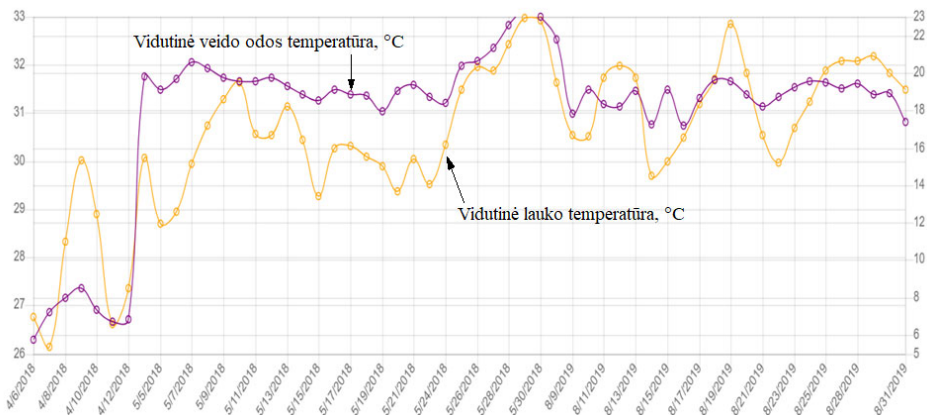
Visos šios šviesos ir lazerio projekcijos buvo panaudotos šventės metu, tačiau jas puikiai galima pritaikyti ir kitose srityse. Tokias šviesos sistemas praktikoje galima panaudoti miesto laisvalaikio ar pramoginių erdvių apšvietimui valdyti, norint suteikti žmonėms daugiau džiaugsmo ir atsipalaidavimo, juk yra žinoma, kad spalvos veikia žmonių emocijas. Šviesų terapija gali būti naudojama biuruose darbuotojų darbo našumui skatinti ar stresui mažinti.

Biuro darbuotojams labiausiai patinka žalia ir raudona biuro spalvos, o mažiausiai – oranžinė (Kwallek, 1996). Vyrams labiausiai patinka balta, žalia, mėlyna ir pilka spalvos, mažiausiai – geltona, violetinė ir oranžinė spalvos. Moterims patinka žalia, raudona ir smėlio spalvos, o mažiausiai – pilka ir oranžinė. Tačiau vyrai ir moterys nurodo gana skirtingas pilkų ir violetinių spalvų pirmenybes. Vyrai pilką spalvą vertina kaip simpatišką spalvą, o moterys – ne. Moterys violetinę spalvą vertina kaip simpatišką spalvą, o vyrai – ne.

Šviesų naudojimas interjerui apšviesti yra daug paprastesnis ir mažiau išlaidų reikalaujantis būdas, norint suteikti tam tikrą spalvinę gamą tiek gyvenamiesiems būstams, tiek biurams ar gydymo įstaigoms. Nesvarbu, kur yra žmogus – ar jis eina miesto gatvėmis, ilsisi parkuose, dirba biure, ar gydomosi ligoninėje, svarbu viena, jis turi jaustis laimingas, o laimingas žmogus yra sveikesnis žmogus.

2.2.3. Modelių bazės

UADARS modelių bazę sudaro šie modeliai: daugiakriterės analizės modelis (2.1 ir 3.5.2 poskyriai); prioritetiškumo nustatymo modelis (2.1 ir 3.5.2 poskyriai); užstatytos aplinkos naudingumo laipsnio nustatymo modelis (2.1 ir 3.5.2 poskyriai); rekomendacijų skaičiavimo modelis (2.1 ir 3.5.2 poskyriai); statistinės duomenų analizės ir koreliacijų skaičiavimo modelis. Toliau kaip pavyzdį detaliau pademonstruosime statistinės duomenų analizės ir koreliacijų skaičiavimo modelį.



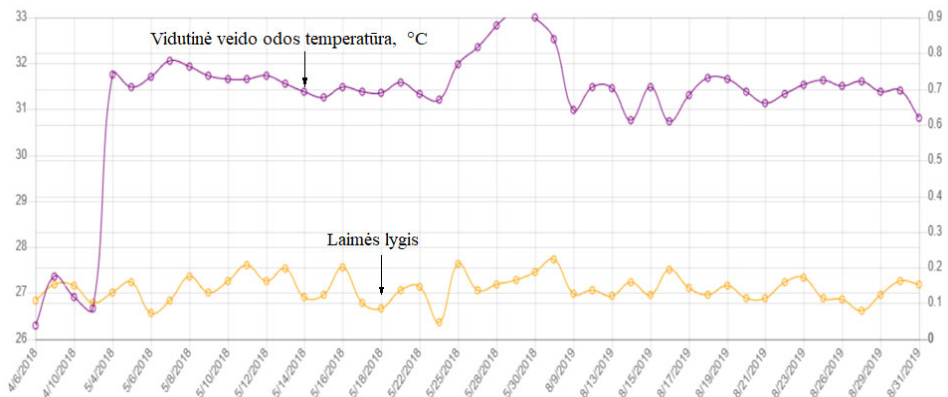
2.19 pav. Veido odos ir lauko temperatūros priklausomybių grafikas
Fig. 2.19. Graph of facial skin and outdoor temperature dependencies

Tirti Vilniaus miesto erdvių žmonių emocijas įvairiose vietose pradėta dar 2017 m. lapkričio mėnesį. Duomenys renkami ir dabar (2021 m.). Per šį laikotarpį buvo išplėstas matavimo vietų skaičius, surinktas didžiulis kiekis nuasmenintų miestiečių emocijų, širdies ritmo, kvėpavimo dažnio ir odos temperatūros duomenų. Tyrimų metu buvo analizuojami pasirinktų matavimo sistemos komponentų veikimo tikslumas, patogumas naudoti, atsparumas oro sąlygoms, jų efektyvumas ir prasmingumas.

Žmogaus veido temperatūros pokytis yra vienas iš galimų kriterijų, lemiančių žmogaus emocinę būseną, todėl matavimo taškuose buvo sumontuotos ir termovizinės kameros. Iš gautų rezultatų matyti (2.19 pav.), kad atliekant matavimus ne laboratorinėmis sąlygomis, o tai darant lauke, aplinkos oro sąlygos daro labai didelę įtaką žmogaus veido temperatūrai.

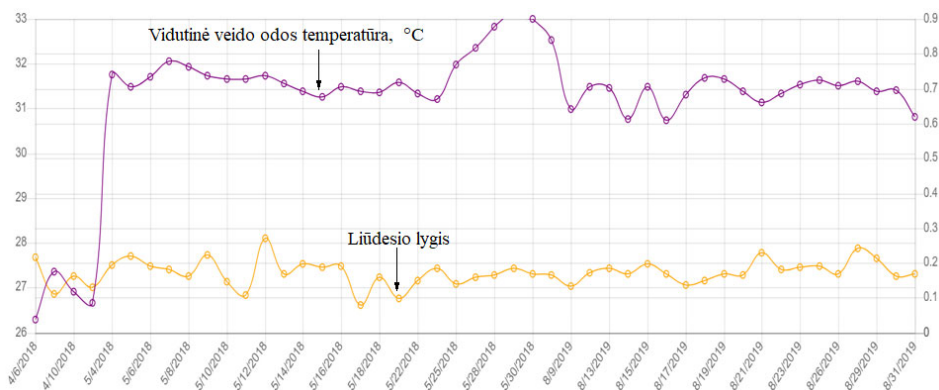
Koreliacijos koeficientas tarp lauko ir žmogaus veido temperatūros yra 0,91, kas rodo labai stiprią priklausomybę. Tad atliekant matavimus lauke labai sunku pagal veido odos temperatūrą įvertinti emocinę būseną.

Duomenų bazėje kaupiamos nuasmenintos praeivių emocinės būsenos. Kiekviena būsena saugoma atskiruose duomenų bazės stulpeliuose tam, kad būtų galima nustatyti įvairias koreliacijas tarp skirtingų būsenų ir kitų aplinkos parametrų. Palyginus laimės lygį (2.20 pav.), gautą naudojant specialią programinę įrangą „FaceReader 7.1“, su odos temperatūra, nebuvo pastebėta priklausomybės. Tiesinės koreliacijos koeficientas – 0,02.



2.20 pav. Laimės lygio ir veido odos temperatūros grafikas
Fig. 2.20. Graph of happiness level and facial skin temperature

Liūdesio lygio ir vidutinės veido odos temperatūros grafikas pateiktas 2.21 paveiksle. Didesnį ryšį su odos temperatūra rodo liūdesio reikšmės. Šio ryšio koreliacijos koeficientas – 0,259659.



2.21 pav. Liūdesio lygio ir veido odos temperatūros grafikas
Fig. 2.21. Graph of sadness level and facial skin temperature

Siekiant įvertinti, ar atskirose miesto vietose žmonės laimingi jaučiasi vieno-
 dai, buvo sudaryta koreliacijų lentelė (2.6 lentelė). Koreliacijoms skaičiuoti pasi-
 telkta H2020 ROCK projekto metu VGTU kartu su Vilniaus miesto savivaldybe
 sukurta vaizdo neuroanalitikos sistema (2.22 pav.).

Home Daily Monthly Correlations	
Date From	Date To
From 08/05/2018	To 05/03/2021
Device&Place A	Device&Place B
ALL	ALL
Parameter A	Parameter B
Weather temperature	Weather temperature
Gender filter for parameter A	Gender filter for parameter B
ALL	ALL
Age filter for parameter A	Age filter for parameter B
From ALL to ALL	From ALL to ALL
Time interval Day	

2.22 pav. Vaizdo neuroanalitikos sistemos koreliacijų skaičiavimo langas
<http://iti4.vgtu.lt/Datavisualisation/MainVisualization>

Fig. 2.22 Image neuro-analytics system's correlation calculation window.
<http://iti4.vgtu.lt/Datavisualisation/MainVisualization>

2.6 lentelėje šalia koreliacijos reikšmių skliausteliuose pateiktas dydis parodo, koks dienų skaičius buvo analizuotas sudarant konkrečią koreliaciją.

2.6 lentelė. Laimės indekso koreliacijos, priklausomai nuo Vilniaus miesto vietų (sudaryta autoriaus)

Table 2.6. Correlation of happiness index depending on Vilnius city places (developed by the author)

Matavimo sistemos vieta Vilniaus mieste	Pilies g. 1	Karaliaus Mindaugo tiltas	Islandijos / Pylimo g. sankirta	Gedimino pr. / Lukiškių aikštė	Kalvarijų / Ozo g. sankirta	Santariškių g.
Pilies g. 1	1	0,04 (550)	0,16 (516)	0,42 (624)	-0,01 (528)	0,03 (529)
Karaliaus Mindaugo tiltas		1	0,14 (476)	0,08 (552)	0,35 (537)	0,44 (549)
Islandijos / Pylimo g. sankirta			1	0,29 (516)	0,08 (480)	0,06 (468)
Gedimino pr. / Lukiškių aikštė				1	0,03 (530)	0,10 (529)
Kalvarijų / Ozo g. sankirta					1	0,35 (514)
Santariškių g.						1

Iš gautų rezultatų matyti, kad vertinant laimės indeksą miesto erdvės tarpusavyje nelabai koreliuoja, t. y. neturi stiprių priklausomybių. Tad drąsiai galima teigti, kad skirtingose miesto vietose žmonių laimės indeksas yra skirtingas.

Šiek tiek kitokius rezultatus parodė gauti rezultatai su liūdesio indeksu. Koreliacijų rezultatai pateikti 2.7 lentelėje.

Stiprią liūdesio indekso koreliaciją parodė Pilies g. 1 ir Islandijos bei Pylimo g. sankirtoje sumontuotų matavimo vietų rezultatai. Šių vietų koreliacijos koeficientas yra 0,69. Dar stipresnis ryšys su koreliacijos koeficientu 0,72 yra tarp Pilies g. 1 ir Gedimino prospekto, prie Lukiškių aikštės matavimo vietų. Stipriausias ryšys yra tarp Islandijos / Pylimo g. ir Gedimino pr. / Lukiškių aikštės matavimo vietų. Jų koreliacijos koeficientas – 0,74.

2.7 lentelė. Liūdesio indekso koreliacijos, priklausomai nuo Vilniaus miesto vietų (sudaryta autoriaus)

Table 2.7. Correlation of sadness index depending on Vilnius city places (developed by the author)

Matavimo sistemos vieta Vilniaus mieste	Pilies g. 1	Karaliaus Mindaugo tiltas	Islandijos / Pylimo g. sankirta	Gedimino pr. / Lukiškių aikštė	Kalvarijų / Ozo g. sankirta	Santariškių g.
Pilies g. 1	1	0,25 (550)	0,69 (516)	0,72 (623)	0,14 (528)	0,21 (529)
Karaliaus Mindaugo tiltas		1	0,17 (476)	0,22 (552)	0,49 (537)	0,66 (549)
Islandijos / Pylimo g. sankirta			1	0,74 (516)	0,12 (480)	0,13 (468)
Gedimino pr. / Lukiškių aikštė				1	0,12 (530)	0,18 (529)
Kalvarijų / Ozo g. sankirta					1	0,59
Santariškių g.						1

2017 metais parodos SUPERNAMAI 2017 (Vilnius, Lietuva) metu, buvo atlikti parodos lankytojų veido emocijų analizė. Šio tyrimo rezultatai pateikti 2.8 lentelėje. Joje pateiktos koreliacijos tarp laimės emocijų ir neigiamų emocijų, patiriamų lankytojams atvykstant ir išvykstant iš parodos bei jų veidų vidutinė temperatūra. Panagrinėkime koreliacijas, siejančias vidutinę veido temperatūrą atvykstant ir išvykstant lankytojams su laimės ir neigiamomis emocijomis 2017 m. balandžio 22 dieną. Užfiksuota atvirkštinė koreliacija reiškia, kad atslūgus neigiamoms emocijoms, atvykstančių ir išvykstančių lankytojų veido temperatūra didėja. Atvykusių ir išvykstančių lankytojų patirtų laimės emocijų analizė atskleidė tiesioginį ryšį su jų veido temperatūros svyravimais. Tiesioginė koreliacija reiškia, kad didėjant laimės emocijoms, kyla ir atvykstančių bei išvykstančių lankytojų veido temperatūra. Įranga naudojama bekontaktei minios analizei pasižymi dideliu tikslumu. Gautos priklausomybės taip pat buvo gana stiprios. Tai kartu su aukštais naudojamos įrangos tikslumo rodikliais patvirtina, kad gauti duomenys yra tikslūs ir patikimi.

2.8 lentelė. Lankytojų veido emocijų ir veido temperatūros sąsajos 2017 m. balandžio 22 d. (sudaryta autoriaus)

Table 2.8. Correlations between the facial emotions and facial temperature of visitors on 22 April 2017 (developed by the author)

Lyginamieji parametrai	Vidutinė veido temperatūra (°C)	Laimės emocijos, atvykstantys lankytojai	Laimės emocijos, išvykstantys lankytojai	Neigiamos emocijos, atvykstantys lankytojai	Neigiamos emocijos, išvykstantys lankytojai
Vidutinė veido temperatūra (°C)	–	0,5161	0,5000	–0,5161	–0,5000
Laimės emocijos, atvykstantys lankytojai		–	0,7876	–1,0000	–0,7876
Laimės emocijos, išvykstantys lankytojai			–	–0,7876	–1,0000
Neigiamos emocijos, atvykstantys lankytojai				–	0,7876
Neigiamos emocijos, išvykstantys lankytojai					–

2.3. Antrojo skyriaus išvados

1. Atliekant matavimus Vilniaus mieste empiriškai buvo nustatyti sistemos privalumai ir trūkumai. Gauta stipri koreliacija tarp lauko ir žmogaus veido temperatūrų – 0,91. Tai leidžia teigti, kad nėra prasmės naudoti termokameros žmonių emocinei būklei nustatyti užstatytoje aplinkoje lauko sąlygomis, matuojant veido odos temperatūrą. Odos temperatūros pokyčiai, priklausomai nuo emocinės būsenos yra per maži, siekia kelias laipsnio dalis, o aplinkos temperatūra daro labai didelę įtaką veido odos temperatūrai.

2. Naudojant termokameras patalpų viduje, gautos koreliacijos patvirtina, kad uždaroje patalpose, verta naudoti termovizines kameras, žmonių patogumo ir emocinio lygio analizei. Gauta 0,7876 koreliacija reiškia, kad didėjant laimės emocijoms, kyla ir atvykstančių bei išvykstančių lankytojų veido temperatūra.
3. Ilgalaikio stebėjimo laimės indekso koreliacija tarp Pilies g. 1 ir Lukiškių aikštės – 0,417. Nors matavimo sistemos šiose vietose nutolusios per 1,4 km, tai vis dėlto leidžia daryti prielaidą, kad šiose vietose, laimės prasme, žmonės jaučiasi iš dalies panašiai. Tokią patirtį gali lemti panaši erdvė, t. y. Katedros ir Lukiškių aikštės.
4. Žvelgiant į liūdesio indeksą, stiprias koreliacijas parodė šios vietos:
 - 4.1. Pilies g. 1 ir Islandijos / Pylimo g. koreliacijos koeficientas – 0,69;
 - 4.2. Pilies g. 1 ir Gedimino pr. / Lukiškių aikštė. Koreliacijos koeficientas – 0,72;
 - 4.3. Islandijos / Pylimo g. sankirta ir Lukiškių aikštė. Koreliacijos koeficientas – 0,74.

Pastebėta, kad liūdesio indeksai koreliuoja tarpusavyje tik Vilniaus senamiesčio zonose, tai taip pat gali lemti panaši aplinka.

Pastatų aplinkos parametrų personalizuotas valdymas

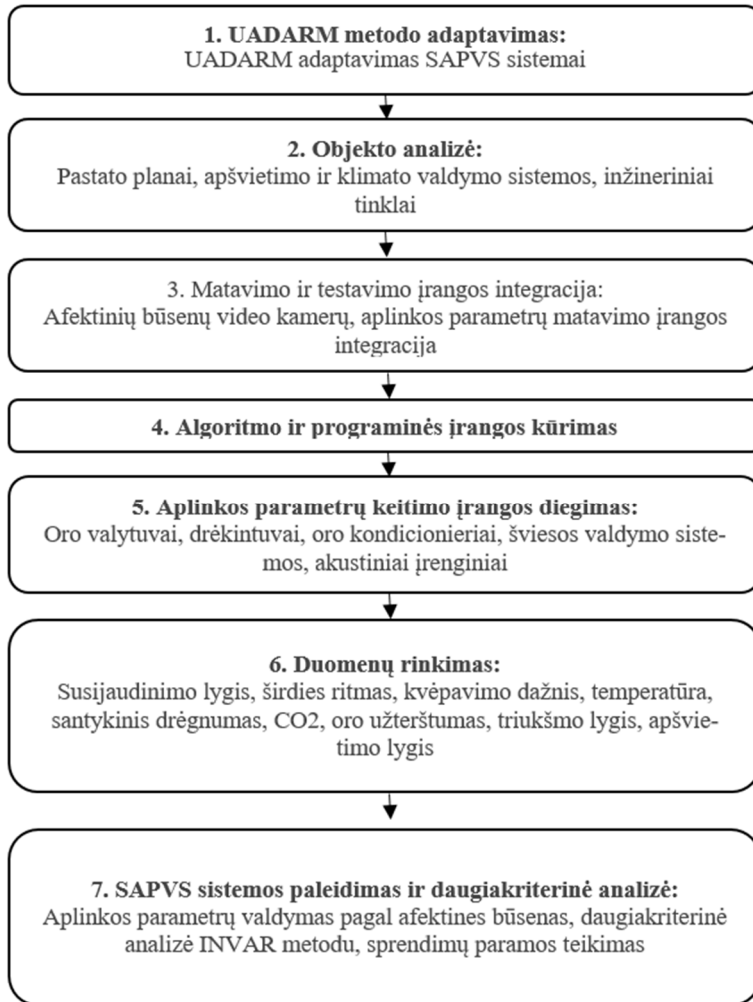
Šiame skyriuje aprašoma sumani, adaptyvių pastatų valdymo sistema SAPVS, leidžianti personalizuotai valdyti užstatytos aplinkos parametrus, priklausomai nuo žmogaus emocinės ir fiziologinės būsenos. Praktinis sistemos pritaikymas ir testavimas atliktas „Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)“ projekto metu 2018–2021 m. Skyriaus tematika publikuotas straipsnis (Kaklauskas et al., 2019).

3.1. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos kūrimo etapai

Disertacijos rengimo metu buvo sukurta personalizuota patalpų klimato kontrolės sistema SAPVS, kuri pagal duotą susijaudinimo lygį, širdies ritmą arba kvėpavimo dažnį koreguoja patalpos temperatūrą, apšviestumo intensyvumą, šviesos spalvą ir santykinį drėgnumą. Išmanioji sistema taip pat matuoja ir patalpos temperatūrą, santykinį drėgnumą, kietųjų dalelių kiekį bei CO₂ koncentraciją.

Projekto SAVAS septynių etapų metu buvo sukurta SAPVS analitinė patalpų komforto sąlygų valdymo sistema (3.1 pav.). Tai unikali sistema, kuri analizuoja

žmonių, esančių patalpoje, fizinius bei emocinius parametrus ir pagal juos koreguoja oro kondicionierių / šildytuvų parametrus. Valdo apšviestumo lygį ar šviesos spalvą, santykinį oro drėgnumą, muzikinį foną ar kvapus patalpose.



3.1 pav. SAPVS sistemos kūrimo etapai (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.1. Stages of SAPVS system development (developed by the author)

SAVAS projekto metu sukurtos sistemos SAPVS bandymas ir testavimas buvo vykdomas Vilniaus miesto verslo centre „Narbuto 5“. Tai modernus, A energinio efektyvumo klasės, 6 aukštų pastatas, išikūręs centrinėje Vilniaus miesto dalyje, Narbuto gatvėje.

Pirmo etapo metu buvo adaptuotas daugiakriteris UADARM metodas, taikomas kaip pagrindas, kuriant ir pritaikant jį sumanių, adaptyvių pastatų valdymo sistemai SAPVS.

Antrame sistemos kūrimo etape buvo išnagrinėti verslo centro „Narbuto 5“ inžineriniai tinklai, pastato planai, klimato valdymo sistemos ir kiti pastato parametrai. Išanalizuotos galimybės, kaip būtų galima patobulinti ir taip modernias pastato klimato kontrolės ir apšvietimo valdymo sistemas bei galimą integraciją į esamas inžinerines sistemas. Sukurta ir pristatyta sistemos koncepcija. Apžiūrėtos ir įvertintos konkrečios patalpos, kuriose bus montuojama papildoma duomenų rinkimo įranga bei klimato ir aplinkos parametrų valdymo blokai.

Trečio etapo metu buvo sumontuotos matavimo kameros. Kameros sujungtos į sistemą su veido nuskaitymo programine įranga „FaceReader“. Taip pat pradėtos rinkti ir sisteminti nuasmenintos žmonių emocinio susijaudinimo būsenos. Analizuota šio emocinio parametro įtaka žmogaus darbo našumui ir bendrai emociinei savijautai. Nustatytos kitos aplinkos parametrų koreliacijos žmogaus emociinei būsenai.

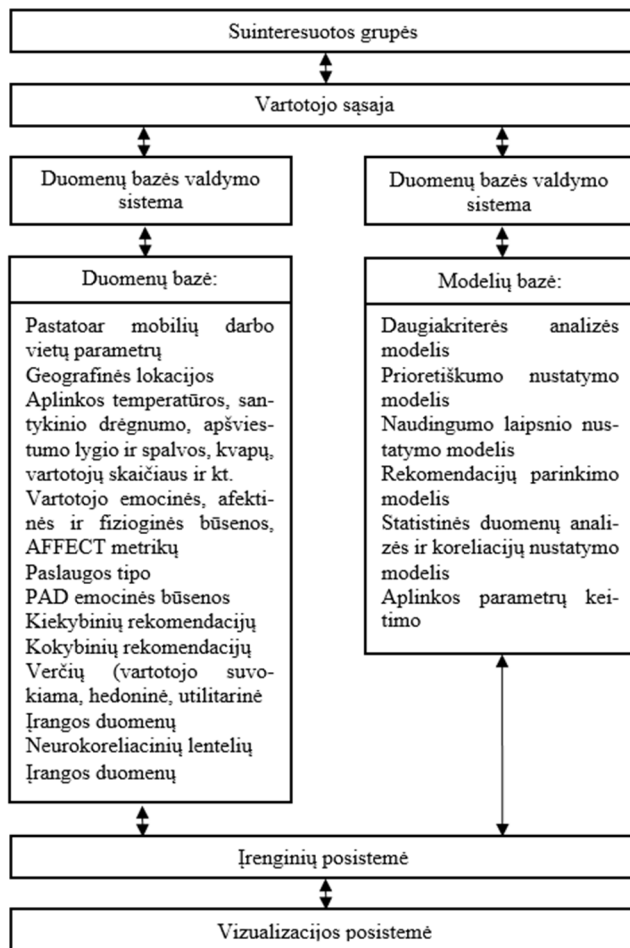
Ketvirtame etape sukurtas algoritmas, leidžiantis individualiai valdyti ir adaptuoti aplinkos parametrus, kad asmenys, esantys patalpoje, galėtų jaustis kaip galima komfortiškiau, jaustųsi labiau atsipalaidavę ir nepatirtų streso. Parašyta programinė įranga, realizuojanti algoritmo uždavinį. Bandymo metu išanalizuoti algoritmo trūkumai bei atliktos programinės įrangos korekcijos.

Penkto etapo metu buvo sukomplektuota visa aplinkos parametrų valdymo įranga ir pradėti atlikinėti realūs bandymai bei matavimai. Norint sujungti daug keičiamų parametrų į vieną visumą, iš pradžių buvo analizuota pavienių parametrų, tokių kaip temperatūra, santykinis drėgnumas, apšviestumo lygis, apšviestumo spalva, kvapai ir muzika, įtaka komforto būsenai aplinkoje.

Šešto etapo metu renkami ir duomenų bazėje saugomi nuasmeninti pastate esančių žmonių duomenys (susijaudinimo lygis, širdies ritmas, kvėpavimo dažnis) bei aplinkos parametrai (temperatūra, santykinis drėgnumas, CO₂, oro užterštumas, triukšmo lygis, apšvietimo lygis).

Septintas etapas – tai SAPVS sistemos paleidimas, jos tikrinimas ir verifikavimas. Kad būtų palengvintas sprendimų priėmimas, naudojamas INVAR metodas. Teikiamos rekomendacijos suinteresuotoms grupėms, kokie parametrai gali būti dar pagerinti.

SAPVS sistema orientuota į vartotoją, esantį patalpoje. Sistema matuoja žmogaus susijaudinimo lygį, širdies ritmą bei kvėpavimo dažnį. Atsižvelgdama į pradines duotas valdymo reikšmes, SAPVS sistema reguliuoja aplinkos parametrus ir stengiasi palaikyti žmogaus fiziologinius ir emocinius parametrus neviršydamą duotų ribų. SAPVS sistemos sudedamosios dalys pateiktos 3.2 paveiksle.



3.2 pav. SAPVS sistemos sudedamosios dalys (sudaryta autoriaus).

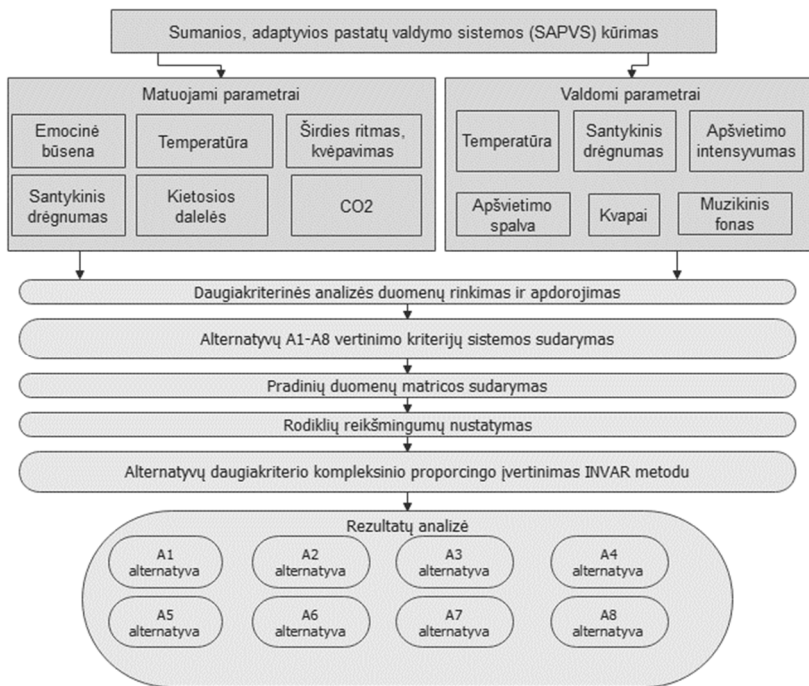
Fig. 3.2. Components of the SAPVS system (developed by the author)

3.2. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos įrangos posistemis

SAPVS įrangos posistemis buvo įrengta VGTU Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedroje (SVNT) ir atskirame individualiame bute. SAPVS įrangos posistemis sudaryta iš tokių dviejų sudėtinių dalių: matavimo prietaisų ir erdvių aplinkos keitimo posistemių, kurie aprašomi toliau.

3.2.1. Matavimo prietaisų posistemis

SAPVS įrangos posistemo bazė yra tokia pati kaip ir sukurtos užstatytos daugiakriterės analizės sistemos. Duomenų rinkimo ir matavimo prietaisų posistemis sudarytas iš to paties pagrindo, t. y. fiziologinių asmens parametrų, tokių kaip širdies ritmas, kvėpavimo dažnis, matavimo jutiklių bei emocinės būsenos nustatymo programinės įrangos. Esminis skirtumas tarp užstatytos aplinkos analizės sistemos ir SAPVS sistemos yra tas, kad SAPVS sistema turi galimybę valdyti daug daugiau aplinkos parametrų. Užstatytos aplinkos sistema galėjo valdyti architektūrinių objektų apšvietimą, priklausomai nuo asmenų emocinės būsenos, o SAPVS sistema gali valdyti apšvietimą, jo intensyvumą, temperatūrą, santykinį drėgnumą, užterštumo lygį kietosiomis dalelėmis, muzikinį foną ar oro judėjimo greitį pastatuose. Apibendrinta SAPVS sistemos daugiakriterės analizės schema pateikta 3.3 paveiksle.

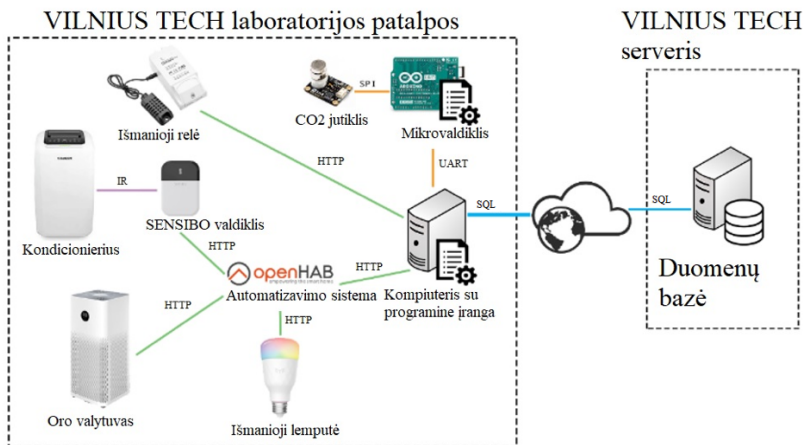


3.3 pav. SAPVS sistemos daugiakriterės analizės schema (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.3. Scheme of multi-criteria analysis of SAPVS system (developed by the author)

Žmogaus fiziologiniams parametrų registruoti (kvėpavimas ir pulsas) patikimas milimetrinių bangų radaras „Batman BM201-VSD mmWave EVM“. Juo

galima ne tik matuoti, bet ir užprogramuoti, kad SAPVS sistema aptiktų patalpoje esantį žmogų, įjungtų valdymo programą bei ją išjungtų asmeniui pasišalinus iš patalpos. Žmogaus susijaudinimo lygis buvo matuojamas su „FaceReader 7.18.0“. Kaip etaloninis aplinkos parametrų matuoklis buvo panaudotas kalibruotas matavimo prietaisas TONGDY MSD-1828C/D, matuojantis kietąsias daleles, CO₂, LOJ, temperatūrą, santykinį drėgnumą. Smegenų bioelektriniui aktyvumui matuoti pasitelktas EEG smegenų šalmas ENOBIO 8.



3.4 pav. Išmaniosios klimato valdymo sistemos schema

Fig. 3.4. Scheme of an intelligent climate management system

3.4 paveiksle pateikiama išmaniosios klimato valdymo sistemos schema. Patalpoje esančius žmones stebi sumontuotos internetinės (IP) kameros. Susijaudinimas gaunamas pasitelkiant pažangią veidų išraiškos analizės įrangą „FaceReader 7.1“ (Noldus). Visi žmonių emocinės būsenos nuasmeninti duomenys siunčiami į duomenų bazę. Į serverį siunčiami ir duomenys, gauti iš aplinkos parametrų jutiklių, t. y. temperatūra, santykinis oro drėgnumas, CO₂ lygis ir oro užterštumas.

„Joybien Batman BM201 mmWave EVM“ ir „Texas Instruments“ IWR6843 ASIC milimetrinių bangų (mmWave) komponentų rinkinys, pavaizduotas 3.5 paveiksle. „Batman BM201-VSD mmWave EVM“ naudojamas bekontakčiam žmogaus gyvybinių ženklų aptikimui su realaus laiko širdies susitraukimų dažnio ir kvėpavimo dažnio duomenų matavimu. Įrenginys šiuos parametrus matuoja bekontakčiu būdu, 30–90 cm atstumu. Taip pat galima fiksuoti atstumą ir greitį. Radaro dažnio diapazonas 60–64 GHz. Procesorius ARM R4F MCU C674x DSP. Lusto tūmintis – 1,75 MB. Maitinimo įtampa – 3,3 Vdc, 2.1A. Modulyje yra trys siųstuvo ir keturios imtuvų antenos.



3.5 pav. mmWave radaras Batman BM201-VSD mmWave EVM

Fig. 3.5. mmWave radar Batman BM201-VSD mmWave EVM

Veido emocinės išraiškos analizei naudojama automatizuota programinė įranga „FaceReader 7.1“. Ši programa suranda veidą naudodama populiarią „Viola-Jones“ algoritmą. Atlieka tikslų 3D veido modeliavimą, naudodama daugiau nei 500 taškų tinklėlį. Veidui analizuoti naudoja dirbtinio intelekto metodą „Gilus mokymasis“. Gaunami tokie rezultatai kaip pagrindinės emocinės išraiškos, galvos orientacija, žvilgsnio kryptis, asmens savybės, valentingumas ir susijaudinimas.

MSD-1828C/D (3.6 pav.) realiu laiku renka patalpų oro kokybės duomenis į stebėjimo analizės platformą „Cloud“. Galima realiu laiku stebėti ir vertinti patalpų oro kokybę ir naudoti ją pastato vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemoms valdyti. Prietaiso viduje yra specialus jutiklio modulis, kuris matuoja skirtingus aplinkos kokybės parametrus, tokius kaip kietosios dalelės $KD_{2.5}$, KD_{10} , CO_2 , bendras lakiųjų organinių junginių kiekis LOJ, temperatūra bei santykinis drėgnumas. Matuoklis turi įmontuotą didelio srauto ventiliatorių ir automatinį pastovaus srauto valdymo technologiją. MSD-1828C/D pasižymi didesniu ir ilgalaikiu veikimo stabilumu bei tarnavimo laiku, taip pat ir didesniu tikslumu. Prietaiso maitinimo įtampa 100–240 VAC. Ryšio sąsaja „RS485 Modbus“, WIFI 2,4 GHz 802.11b / g / n. Veikimo aplinka: temperatūra: 0–50 °C / drėgmė: 0–99 % RH. Laikymo sąlygos: nuo –10 iki +50 °C / 0–95 % RH (be kondensato). Matmenys – 130 mm (ilgis) × 130 mm (plotis) × 45 mm (aukštis). IP20 apsaugos klasė. Matavimo ribos, skiriamoji geba ir paklaidos pateiktos 3.1 lentelėje, o kalibravimo vertės – 3.2 lentelėje.



3.6 pav. Aplinkos parametrų matuoklis TONGDY MSD-1828C/D

Fig. 3.6. Environmental parameter meter TONGDY MSD-1828C/D

Bioelektrinei smegenų analizei buvo naudotas EEG smegenų šalmas ENOBIO 8 (3.7 pav.). ENOBIO 8 mobilus, patogus, tikslus ir tvirtas belaidis smegenų bioelektrinio aktyvumo matavimo šalmas. Dėl didelės skiriamosios gebos (24 bitai, $0,05 \mu V$) ir aukšto 500 kartų/s skenavimo dažnio ENOBIO 8 yra viena tiksliausių sistemų savo klasėje. Sistemos dažnių juosta nuo 0 iki 125 Hz. ENOBIO 8 leidžia lengvai įrašyti 8 kanalų EEG per 1–2 minutes naudojant sausus elektrodus. Įrenginyje yra integruota įkraunama baterija, kurios veikimo laikas yra 6,5 valandos, naudojant belaidį duomenų perdavimą. Taip pat įdiegtas 3 ašių akcelerometras. Ryšys su kompiuteriu galimas tiek belaidis Wi-Fi IEEE 802.11 g ar laidinis per USB sąsają. Perdavimo atstumas siekia iki 10 metrų atstumu nuo kompiuterio, kuriame įdiegta bioelektrinio smegenų aktyvumo analizės programinė įranga NIC2. Naudojant išorinę atminties laikmeną (SD kortelę) galima atlikti iki 19 valandų trukmės eksperimentus nenaudojant kompiuterio. Duomenys, įrašyti ENOBIO 8, saugomi su laiko žyma NEDF formatu, standartiniais EDF+ bei ASCII formatais.



3.7 pav. Bioelektrinio smegenų aktyvumo šalmas ENOBIO 8

Fig. 3.7. Bioelectric brain activity helmet ENOBIO 8

3.2.2. Erdvių aplinkos keitimo įrenginių posistemis

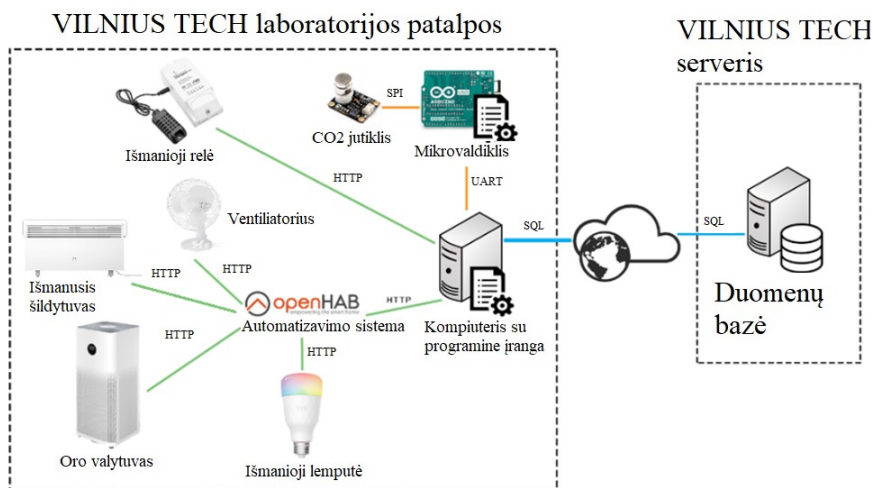
Bute sumontuotas kondicionierius SRK35ZJX-S (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES Inc.). Universiteto laboratorijoje oro vėsinimas arba šildymas atliekamas mobiliuoju oro kondicionieriumi EACM-13 HR/N3 (ELECTROLUX). Išmaniosios lempos „Mi Yeelight Gen. 2“ (XIAOMI), kurias pasitelkus keičiamas patalpos apšvietimo lygis ir šviesos spalva. Orui valyti naudojamas oro valytuvas „Mi Air Purifier 2s“ (XIAOMI), drėkinti ir kvapams skleisti – drėkintuvas / aromatizatorius „Zyle ZY201HW“. Drėkintuvui valdyti sumontuotas išmanusis valdiklis SONOFF TH16 su temperatūros ir drėgmės jutikliu SI7021. SONOFF TH16 valdiklis taip pat naudojamas aromatams skleisti, kuris įjungia kitus „Zyle ZY201HW“ drėkintuvus su atitinkamo kvapo (skatinamaisiais arba raminamaisiais) aliejais. SONOFF TH16 taip pat valdo stalinius oro ventiliatorius. Vibroakustinei terapijai naudojama vibroakustinė nugaros atrama „Sound Oasis VTS-1000“ ir vibroakustinis krėslas „Zen evolution“ modelis ZK3“. Šie vibroakustiniai įrenginiai, prijungti prie kompiuterio su įdiegta SAPVS sistemos programine įranga, skleidžia raminančią ar skatinančią muziką bei sukelia atitinkamo dažnio vibracijas žmogaus kūnu. Oro kondicionieriui valdyti naudojamas SENSIBO SKY valdiklis, jis leidžia valdyti visus kondicionierius, turinčius IR nuotolinio valdymo pultelius, o tai dar labiau praplečia naudojimo galimybes.

Siekiant sistemą padaryti kuo universalesnę ir pritaikomą plačiam vartojimui, „openHAB“ atvirojo kodo namų automatikos programinės įrangos pagrindu buvo sukurta SAPVS sistema.



3.8 pav. SAPVS sistemos elementai
Fig. 3.8. Elements of the SAPVS system

Ekspperimentiniame bute Vilniuje patalpoms vėsinti sumontuotas kondicionierius MITSUBISHI SRK35ZJX-S (3.8 a pav.). VGTU SVNT patalpose buvo naudojamas mobilusis „Electrolux EACM-13 HR/N4 Art Style“ oro kondicionierius, pavaizduotas 3.8 b paveiksle. Patalpoms, kuriose nėra kondicionieriaus, galinčio vėsinti ar šildyti aplinkos orą, sukurta analogiška sistema. Vietoje kondicionieriaus naudojamas ventiliatorius su mechaniniu valdymu ir išmanusis šildytuvas „Xiaomi Mi Smart Space Heater 1S“. Tokios sistemos schema pateikta 3.9 paveiksle.



3.9 pav. Išmaniosios klimato valdymo sistemos schema su šildytuvu „Xiaomi Mi Smart Space Heater 1S“ ir oro ventiliatoriumi

Fig. 3.9. Schematic of a smart climate control system with a heater Xiaomi Mi Smart Space Heater 1S and an air fan

Į SAPVS sistemą, kaip galimas papildomas šilumos šaltinis, buvo integruotas „Xiaomi Mi Smart Space Heater 1S“ (3.8 c pav.), suderinamas su „Google Assistant Amazon Alexa“, „Android“, „iOS“ sistemomis. „Xiaomi Mi Smart Space Heater 1S“ prie SAPVS sistemos jungiamas per Wi-Fi 2,4 GHz tinklą.

Aplinkos valdymo posistemyje naudojama išmanioji spalvota RGB LED lemputė (3.8 d pav.). Šviesos šaltinis – RGB šviesos diodai (LED). Galimybė keisti spalvinę temperatūrą neviršijant 1700–6500 K ribų. Reguluojamas šviesos srautas – iki 800 lm. Vartojama galia – 8,5 W. Su SAPVS sistema lemputė jungiama Wi-Fi 2.4 GHz ryšiu.

Patalpos oro kokybei gerinti ir orui valyti naudojamas išmanusis oro valytuvas „Xiaomi Air Purifier 2s“ (3.8 e pav.). 360° trijų sluoksnių filtras pašalina dulkes, plaukus, kenksmingas bakterijas, medžiagas, kvapus ir formaldehidus.

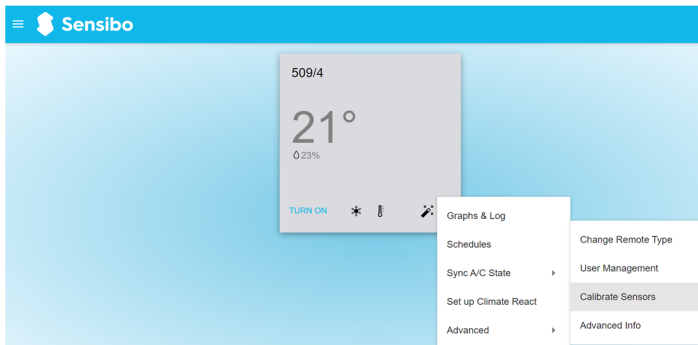
Patalpos santykiniam drėgnumui keisti naudojamas drėkintuvas „Zyle ZY201HW“ (3.8 f pav.). Drėkintuvas „Zyle ZY201HW“ turi specialią talpyklą aromatiniais kvapams. 3.8 g paveiksle jį pažymėta nr. 3. Į šią talpyklą įpylus aromatinio aliejaus, SAPVS sistema gali skleisti įvairius kvapus. Santykiniam drėgnumui didinti sistema įjungia drėkintuvą be aromatinių aliejų. Esant poreikiui skleisti patalpoje kvapus, sistema jungia kitus „Zyle ZY201HW“ drėkintuvus su į juos įpiltais atitinkamo kvapo eteriniais aliejais.

3.8 h paveiksle pavaizduota išmanioji relė „Sonoff TH16“. Tai 1 kanalo relė, valdoma per Wi-Fi tinklą. Per ją sistema valdo oro ventiliatorius, drėkintuvus ir aromatizatorius.

Kad SAPVS sistema taptų kuo universalesnė ir būtų galima pritaikyti erdvėms, kuriose nėra galimybės turėti kondicionierių, į sistemą buvo integruotas stalinis ventiliatorius TROTEC TVE9 (3.8 i pav.). Ventiliatoriui valdyti naudojama ta pati išmanioji relė „Sonoff TH16“. Kadangi ventiliatorius su mechaniniais mygtukais, įjungimo mygtukas visuomet yra nuspaustas. Išmanioji relė pagal duotus algoritmus tiekia maitinimą ventiliatoriui ir taip jį įjungia, o kai vėsinimas nereikalingas, maitinimas atjungiamas. Tai yra labai patogus valdymo būdas, nes prie išmaniosios relės galima prijungti bet kokį oro ventiliatorių su mechaniniu valdymu.

Visi patalpos klimato valdymo įrenginiai buvo prijungti prie to paties Wi-Fi tinklo. Belaidžiam tinklui sukurti naudojamas „Teltonika RUT950“ maršrutizatorius, pavaizduotas 3.8 y paveiksle.

Erdvėse, kuriose kondicionieriai yra integruoti ar mobilieji, jiems valdyti į SAPVS sistemą buvo integruotas SENSIBO SKY valdiklis (3.8 j pav.). Šis valdiklis bet kurį oro kondicionierių, turintį IR nuotolinio valdymo pultelį, paverčia išmaniuoju įrenginiu, kurį galima valdyti nuotoliniu būdu. Nesvarbu, ar tai būtų mobilusis kondicionierius, ar jau namuose integruotas kondicionierius, turintis vidinį bloką patalpoje ir išorinį bloką lauke. Jungiamumas Wi-Fi 802.11 b/g/n @ 2,4 GHz, DHCP arba statinis IP adresas. Jame sumontuotas temperatūros ir santykinio drėgnumo jutiklis. Kad būtų išgautas sistemos tikslumas, SENSIBO SKY integruotus temperatūros ir drėgmės jutiklius galima sukalibruoti. Tam tereikia prisijungti prie savo SENSIBO SKY paskyros. Interneto naršyklėje surinkti *home.sensibo.com* bei pasirinkti norimą kalibruoti valdiklį. Atidaromas išplėstinių parametrų meniu ir pasirenkama kalibruoti jutiklius „Calibrate Sensors“ (3.10 pav.). Norint atlikti SENSIBO SKY valdiklio kalibravimą, jį reikia patalpinti į klimatinę kamerą su etaloniniais temperatūros ir santykinio drėgnumo rodmenimis. Rodmenų sulyginimui taip pat galima naudoti tikslų, kalibruotą temperatūros ir santykinio drėgnumo matuoklį. Palyginus etalonų ir SENSIBO SKY atvaizduojams temperatūros ir santykinio drėgnumo vertes, programoje įvedamas parametrų skirtumas (3.11 pav.).



3.10 pav. Valdiklio jutiklių kalibravimo meniu
Fig. 3.10. Controller sensor calibration menu

Calibrate Sensors for 509/4

Define an offset to the temperature and humidity sensors. The number can be positive or negative and contain a floating point number (e.g., -1.3)

*** Be careful when changing this value as it will immediately affect all of the measurements**

temperature delta:

humidity delta:

CLOSE

3.11 pav. Temperatūros ir santykinio drėgnumo kalibravimo parametrų nuokrypio įvedimo langas
Fig. 3.11 Temperature and relative humidity calibration parameter deviation input window

Vibroakustinės terapijos sistema „Sound Oasis“ pavaizduota 3.8 k paveiksle. Ji groja gamtos, muzikos ir miego terapijos garsus su „Delta“, „Alfa“ ar „Theta“ smegenų bangomis. Kliniškai įrodyta, kad vibroakustinė terapija suteikia gydomųjų sveikatos ir sveikatingumo rezultatų. VTS-1000 teikia masažo terapiją raumenims ir sąnariams, kurių rankų masažas negali pasiekti. Vibroakustinė terapija veikia nuo 20 Hz iki 100 Hz dažnių diapazonu. Vibroakustinė kūno stimuliacija ląstelių lygiu skatina kraujotaką, sumažina skausmą. Kadangi vibracija pagerina kraujo tekėjimą, tai gali sumažinti kraujospūdį. Ši stimuliacija skatina sveiką nervų veiklą smegenyse ir taip sumažina įvairių nervinių ligų riziką ar poveikį. Vibroakustinė nugaros atrama turi nuotolinio valdymo pultelį, kuriame jau yra įrašyta 60 minučių terapinės muzikos. Pultelis taip pat turi 3,5 mm įėjimo lizdą, kuriuo iš kompiuterio, turinčio įdiegtą išmaniąją patalpų aplinkos kontrolės programinę įrangą, yra leidžiama atitinkama muzika, mažinanti stresą ar didinanti darbo našumą. Nugaros atrama yra nedidelio svorio (3,17 kg) ir matmenų (13,97×45,21×78,23 cm), tad ją labai patogu perkelti iš vienos vietos į kitą.

Dar vienas vibroakustinis įrenginys, valdomas SAPVS sistemos, yra krėslos ZK3 (3.8 l pav.). Naudojama galia – 120 W. Ausinių kanalo atkuriamas diapazonas 18–18 000 Hz. Vibracijų diapazonas 20–250 Hz, – 3db. Atskira ausinių garso ir vibracijų lygio kontrolė. Vaizdo pajungimo jungtys: „Composite“, RGB, SCART, (HDMI).

3.2.3 Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos duomenų bazė

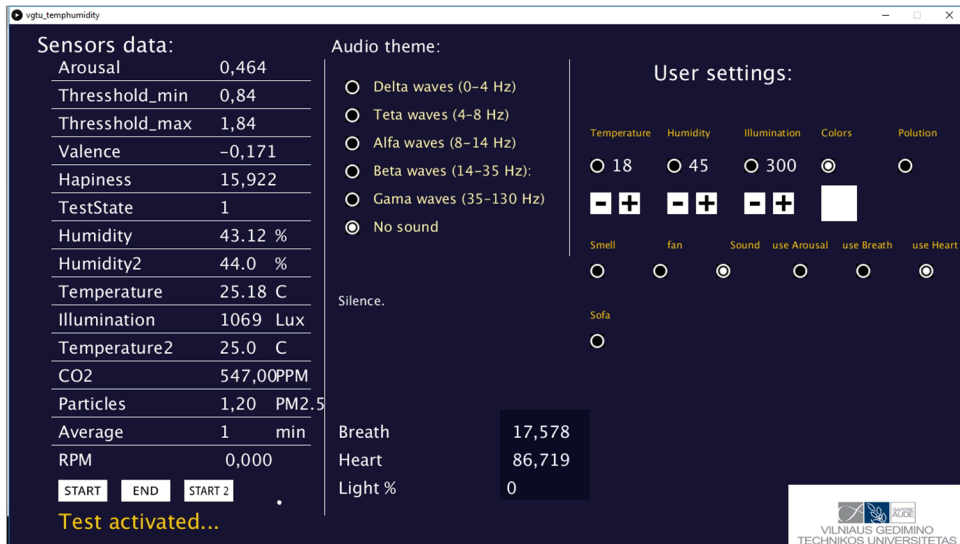
Siekiant pasiekti disertacijos tikslus, buvos sukurtos tokios duomenų bazės:

- Pastato ar mobiliųjų darbo vietų išmaniųjų erdvių parametrų duomenų bazė;
- Geografinės lokacijos duomenų bazė;
- Pastato išmaniųjų erdvių temperatūros, drėgmės, oro taršos, apšvietimo stiprumo ir spalvos, kvapų, vartotojų skaičiaus ir kt. duomenų bazė;
- Vartotojų emocinės ir fiziologinės būsenos, valentingumo, susijaudinimo, darbingumo (mokymosi efektyvumo), įdomumo ir nenuobodumo (AFFECT) metrikų duomenų bazė;
- Paslaugos tipo duomenų bazė;
- PAD emocinės būsenos duomenų bazė;
- Kiekybinių rekomendacijų duomenų bazė;
- Kokybinių rekomendacijų duomenų bazė;
- Neurokoreliacinių lentelių duomenų bazė;
- Verčių (vartotojo suvokiama, hedoninė, utilitarinė) duomenų bazė;
- Įrangos duomenų bazė.

Duomenų bazės valdymo sistema geba valdyti didelius struktūrizuotų duomenų kiekius.

3.3. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos programinės įrangos vartotojo sąsaja

SAPVS sistemos programinės įrangos vartotojo sąsaja pateikta 3.12 paveiksle.



3.12 pav. Programinės įrangos vartotojo sąsaja

Fig. 3.12. Software user interface

Programinės įrangos langą sudaro trys skiltys: matavimo jutiklių duomenys „Sensors data“, muzikinis fonas „Audio theme“ bei vartotojo pasirenkami pradiniai parametrai „User settings“.

Sistema matuoja šiuos aplinkos parametrus:

1) emocinį jaudulį „Arousal“, valentingumą „Valence“, laimės indeksą „Hapiness“ (parametrai matuojami pasitelkiant videokamerą bei specializuotą programinę įrangą „FaceReader“, skirtą žmogaus emocijų būsenai nustatyti);

2) aplinkos temperatūrą „Temperature“ ir santykinį drėgnumą „Humidity“ matuoja kalibruotas aplinkos parametrų matuoklis TONGDY MSD-1828C/D. Dėl sistemos patikimumo papildomai matuojama aplinkos temperatūra „Temperature2“ ir santykinis drėgnumas „Humidity2“. Šie parametrai gaunami iš papildomo valdiklio SONOFF TH16 su temperatūros ir drėgmės jutikliu SI7021;

3) apšvietimo lygį „Illumination“;

4) anglies dioksidą „CO₂“;

5) kietąsias daleles „Particles. PM2.5“;

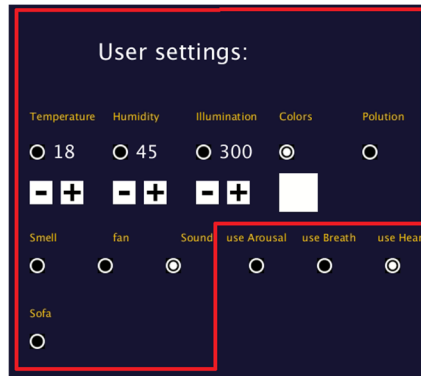
6) kvėpavimo dažnį „Breath“ ir širdies ritmą „Heart“ (parametrus matuoja radaras „Batman BM201-VSD mmWave EVM“).

Pradinius parametrus vartotojas nusistato pats. „User settings“ skiltyje gali pasirinkti pageidaujamą pradinę temperatūrą „Temperature“, santykinį drėgnumą „Humidity“, apšvietimo lygį „Illumination“, foninio apšvietimo spalvą

„Spalva“. Taip pat galima pasirinkti, ar norima valdyti tik vieną pasirinktą parametą, ar naudoti specialų algoritmą, kad sistema kontroliuotų visus galimus parametrus.

Iš individualių parametrų vartotojas gali pasirinkti kontrolei vieną iš šių (3.13 pav.):

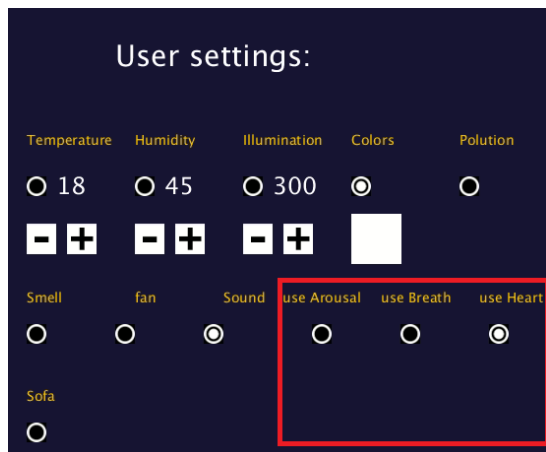
- kvapų kontrolę „Smell“;
- oro ventiliatorių „Fan“;
- muzikinį foną „Sound“;
- temperatūrą „Temperature“;
- santykinį drėgnumą „Humidity“;
- apšviestumo lygį „Illumination“;
- apšvietimo spalvas „Spalva“;
- oro valytuvą „Pollution“.



3.13 pav. Pradinių ir individualiai kontroliuojamų parametrų pasirinkimų skiltis
Fig. 3.13. Initial and individually controlled parameter selection section

Valdymo algoritmas iš pradžių buvo sukurtas pagal emocinį susijaudinimą „Arousal“, t. y. sistema stebėdavo asmens susijaudinimo lygį ir pagal duotas ribines reikšmes keisdavo atitinkamus parametrus. Tyrimų metu buvo pastebėta, kad programinė įranga „FaceReader“, skirta nustatyti žmogaus emocijas iš veido išraiškų, ne visuomet fiksuoja emocinę asmens būseną. Užtekdavo šiek tiek pasukti veidą ir sistema nesugebėdavo nustatyti, kokios emocijos vyrauja ir koks yra emocinis susijaudinimas. Dėl šios priežasties į aplinkos parametrų valdymo sistemą buvo nuspręsta integruoti jutiklį, kuris galėtų papildomai stebėti kvėpavimo dažnį ir širdies ritmą per atstumą. Tam panaudotas milimetrinių bangų radaras „Batman BM201-VSD mmWave EVM“.

Toks sistemos papildymas leidžia vartotojui pasirinkti vieną iš trijų parametrų, t. y. emocinį susijaudinimą „use Arousal“, kvėpavimo dažnį „use Breath“ ir širdies ritmą „use Heart“ (3.14 pav.).



3.14 pav. Valdymo parametrų pasirinkimo skiltis

Fig. 3.14. Control parameter selection section

Vartotojas gali nustatyti pageidaujamą intervalą, pagal kurio duotas ribines reikšmes minimumą „Threshhold_min“ ir maksimumą „Threshhold_max“ (3.15 pav.) sistema kontroliuoja klimato ir aplinkos parametrus patalpoje.

Sensors data:	
Arousal	0,464
Threshhold_min	0,84
Threshhold_max	1,84
Valence	-0,171
Hapiness	15,922
TestState	1

3.15 pav. Minimalios ir maksimalios ribinės vertės pasirinkimo reikšmės

Fig. 3.15. Minimum and maximum limit value selection values

3.4. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos modelių bazė ir sistemos veikimo etapai

Pastatų išmaniųjų erdvių kokybės personalizuoto valdymo modelių bazes sudaro:

- Daugiakriterės analizės modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyriai);
- Prioritetiškumo nustatymo modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyriai);
- Užstatytos aplinkos naudingumo laipsnio nustatymo modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyriai);
- Rekomendacijų skaičiavimo modelis (2.1 ir 3.4.1 poskyriai);
- Statistinės duomenų analizės ir koreliacijų nustatymo modelis (2.2.3 poskyris);
- Aplinkos parametrų keitimo modelis.

Pastatų erdvių kokybės personalizuotas valdymas pasitelkus SAPVS sistemą veikia etapais toliau pateiktu nuoseklumu, naudojant pastatų erdvių kokybės (apšvietimo stiprumas ir spalvos, kvapai, vaizdai, informacija, duomenys, darbai, muzika, filmuoti vaizdai, temperatūra, drėgmė, oro tarša, smegenų bangos, vibracija ir t. t.) ir vartotojo AFFECT metrikas (3.16 pav.):

1. Pastato ar mobiliųjų darbo vietų erdvių kokybės valdymas konkrečiose geografinėse lokacijose.

2. Pastato erdvių temperatūros, drėgmės, oro taršos, apšvietimo stiprumo ir spalvos, kvapų, vartotojų skaičiaus ir kt. duomenys yra renkami naudojant įvairius bekontaktus jutiklius.

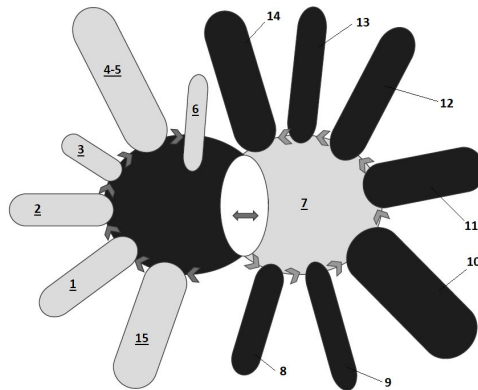
3–5. Vartotojų emocinė ir fiziologinė būsenos, valentingumo, susijaudinimo, darbingumo (mokymosi efektyvumo), įdomumo ir nenuobodumo (AFFECT) metrikos nustatomos naudojant AFFECT nešiojamuosius ir nuotolinius jutiklių rinkinius su jų duomenų apdorojimo įranga.

6–7. Surinkti duomenys perduodami per 4G ar kitą internetinį tinklą į sprendimų paramos sistemą (SPS). Surinkti duomenys išsaugomi vietinėje arba debesų sumanioje duomenų bazėje.

8. Vartotojas pasirenka paslaugos tipą.

9. Remdamasi pasirinktu paslaugos tipu SPS pradeda gautų duomenų daugiakriterę analizę. Surinkti duomenys, atsižvelgiant į cirkadinį ritmą, metų laikus, savaitės dienas, yra vertinami ir analizuojami.

10–12. Remiantis atlikta daugiakriterė analize ir turimais duomenimis sudaromos neurosprendimų priėmimo ir neurokoreliacinės lentelės. Neurokoreliacinės lentelės yra sudaromos iš apsimokančių regresijos modelio lygčių. Šių lygčių veikimą gerai aprašo emocinės būklės keitimo algoritmai. Neurosprendimų priėmimo lentelių pagrindu atliekamas verčių (pavyzdžiui, vartotojo suvokiama, hedoninė, utilitarinė) skaičiavimas ir erdvių kokybės parametrų derinių nustatymas kas duotą laiko tarpą.



3.16 pav. Pastatų erdvių kokybės personalizuotas valdymas
SAPVS sistema veikimo etapai

Fig. 3.16. Operational stages of personalized quality management
of building spaces using SAPVS system

13. Pastato erdvių kokybės personalizavimo rezultatų išsaugojimas SPS duomenų bazėje.

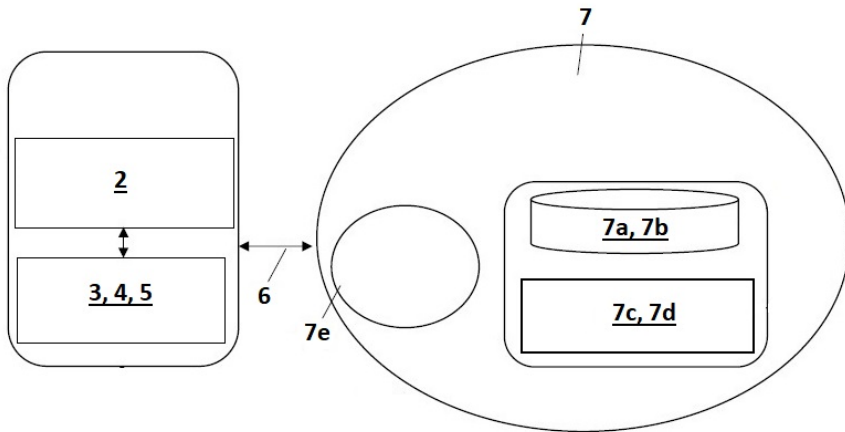
14. Pastato erdvių kokybės personalizavimo reikšmių perdavimas į erdves.

15. Pastato erdvių kokybės konfigūravimas, keitimas ir palaikymas pagal naujus personalizuotus parametrus.

Pastato erdvių apšvietimo stiprumas ir spalvos, kvapai, vaizdai, informacija, duomenys, muzika, filmuoti vaizdai, temperatūra, santykinis drėgnumas, oro tarša yra nustatomi naudojant kokybės matavimo ir personalizuoto pritaikymo bei palaikymo įrenginius su duomenų apdorojimo įranga, o vartotojų emocinė ir fiziologinė būsenos, valentingumo, susijaudinimo, įdomumo ir nenuobodumo (AFFECT) metrikos nustatomos naudojant vartotojo nešiojamuosius ir nuotolinius jutiklių rinkinius su jų duomenų apdorojimo įranga (3.17 pav.). AFFECT nešiojamieji 4 ir nuotoliniai 5 jutiklių rinkiniai ir erdvių kokybės matavimo ir personalizuoto pritaikymo bei palaikymo valdymo įrenginiai su duomenų apdorojimo įranga internetinį tinklą 6 ir vartotojo sąsają 7e sąveikauja su sprendimų paramos sistema (SPS) 7. SPS sudaryta iš sumanios duomenų bazės 7a, jos valdymo sistemos 7b, modelių bazės 7c ir jos valdymo sistemos 7d. Jos taip pat sąveikauja per vartotojo sąsają 7e. Naudojant 4 ir 5 jutiklių rinkinio ir erdvių kokybės matavimo ir personalizuoto pritaikymo bei palaikymo valdymo įrenginių 2 duomenis, sprendimų paramos sistema (SPS) 7 nustato efektyvius erdvių kokybės parametrų derinius kas duotą laiko tarpą 12.

Sistemos tikslas – kontroliuoti erdvės kokybės parametrus, nustatyti ir palaikyti aukštą arba norimą vartotojo darbingumą (mokymosi efektyvumą), įdomumą ir nenuobodumą. Jeigu konkretaus pastato konkrečios erdvės kokybės parametrai

nėra efektyvūs, tuomet SPS 7 registruoja vartotojo AFFECT būklę ir norimą paslaugos tipą sumanaus dvynio duomenų bazėje 7a. Vėliau SPS 7 perduoda personalizuotus duomenis ir skaičiavimo rezultatus į konkretaus pastato konkrečios erdvės kokybės matavimo ir personalizuoto pritaikymo bei palaikymo valdymo įrenginius 2. Su šiais įrenginiais atliekamas personalizuotas erdvės kokybės parametrų pritaikymas, remiantis konkrečia vartotojo AFFECT būklės informacija. SPS 7 valdo erdvės kokybės valdymo įrenginius 2, matuoja ir pritaiko patalpos erdvės kokybės parametrus pagal vartotojo AFFECT būklės duomenis, siekiant padidinti darbingumą (mokymosi efektyvumą), įdomumą ir nenuobodumą ar sukelti įvairias emocijas.



3.17 pav. Pastato erdvių parametrų valdymas ir vartotojo AFFECT metrikų nustatymas, naudojant vartotojo AFFECT nešiojamųjų ir nuotolinių jutiklių rinkinius su jų duomenų apdorojimo įranga
Fig. 3.17. Control of building smart space parameters and setting of user AFFECT metrics using user AFFECT portable and remote sensor kits with their data processing equipment

3.4.1. Patalpos aplinkos parametrų valdymo modelis

Programinė įranga sujungia visus valdiklius ir komforto sąlygų valdymo įrangą į vieną visumą ir tai leidžia pagal duotą algoritmą (3.1 lentelė) valdyti patalpos aplinkos parametrus.

Šalia asmens pastatyta ar stacionariai kompiuteryje sumontuota vaizdo kamera sukonfigūruojama taip, kad Vilniaus Gedimino technikos universitete esančiame kompiuteryje įdiegta licencijuota veidų emocijų atpažinimo programinė įranga „FaceReader 7.1“ galėtų nuskaityti asmens emocinius parametrus bei identifikuotų susijaudinimo lygį. Sistemai pageidaujamas susijaudinimo lygis yra užduotas 0,33 – 0,66 intervalo ribose. Pirmas parametras, kurį pradeda adaptuoti personalizuota išmanioji ŠVOK sistema, yra temperatūra.

3.1 lentelė. Patalpos aplinkos parametrų valdymo algoritmas (sudaryta autoriaus).

Table 3.1. Room environment parameter control algorithm (developed by the author)

Valdomas parametras	Susijaudinimas $< 0,33$ $0,66 < \text{Susijaudinimas (A)}$	$0,33 < \text{Susijaudinimas} < 0,66$
Temperatūra	1. Vartotojas pats nusistato tipinę kambario temperatūrą (pavyzdžiui, 22 °C). 2. 1 laipsniu didinama nuo 22 iki 25 °C temperatūra. 3. 1 laipsniu mažinama nuo 22 iki 18 °C temperatūra. 4. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereiname į kitą punktą.	Nekeičiama
Apšvietimo intensyvumas	1. Vartotojas pats nusistato tipinį apšvietimo intensyvumą (pavyzdžiui, 525 lum); 2. 10 lum žingsniu didinamas nuo 525 lum iki 750 lum; . 3. 10 lum žingsniu mažinamas nuo 525 lum iki 300 lum;. 4. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereiname į kitą punktą.	Nekeičiamas
Apšvietimo spalvos	1. Kai $A < 0,33$, uždegamos paeiliui žalia, mėlyna, violetinė, balta spalvos. 2. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereiname į kitą punktą. 3. Kai $0,66 < A$, uždegamos paeiliui raudona, oranžinė, geltona spalvos;. 4. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereiname į kitą punktą.	Nekeičiamos
Drėgmė	1. Vartotojas pats nusistato tipinę oro drėgmę (pavyzdžiui, 55 %). 2. 1 % didinama nuo 55 % iki 70 % oro drėgmė. 3. 1 % mažinama nuo 55 % iki 40 % oro drėgmė. 4. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereiname į pirmą punktą.	Nekeičiama

Vartotojas pirmiausia nusistato tipinę temperatūrą. Ši pradinė temperatūros reikšmė gali būti lengvai pasirenkama vartotojo, kas tuo metu yra patalpoje prie kompiuterio ir kurio veidas yra analizuojamas programinės įrangos. Tyrimai rodo, kad vyrai komfortiškai jaučiasi esant žemesnei temperatūrai, palyginti su moteri-

mis. Pavyzdžiui, vyrams $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ yra komfortiška temperatūra, tačiau moterys komfortiškai jaučiasi esant $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Taigi nusistačius pradinę temperatūrą sistema stebi susijaudinimo lygį. Jei jis neviršija nustatytų ribų tarp 0,33 ir 0,66, sistema nieko nekeičia. Tačiau jei šis parametras yra mažesnis už 0,33, tuomet prie „OpenHub“ sistemos prijungtas ir suprogramuotas kondicionierių valdiklis „Sensibo“ siunčia signalą su nurodymu mažinti temperatūrą $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsniu. Jei susijaudinimo lygis nepakilo į duotą intervalą, temperatūra duotu periodiškumu temperatūrą mažina kas $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esant susijaudinimo rodikliui, didesniai nei 0,66, kondicionierių valdiklis siunčia signalą temperatūrą didinti $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ji gali būti pakeliama iki $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tačiau vien temperatūros keitimo gali nepakakti norint, kad žmogus jaustųsi komfortabili. Kitas parametras, kuris yra keičiamas, jei temperatūros kontrolė nedavė norimo rezultato, – apšvietimo intensyvumas.

Apšvietimo intensyvumui ir spalvai reguliuoti pasirinkta išmanioji „Mi Yee-light Gen. 2“ lemputė. Tai 800 liumenų intensyvumo šviesos šaltinis. Atsižvelgiant į tai, kad lemputės šviesos srautas yra 800 liumenų, jos vienos, esant maksimaliam skaisčiui, pakaktų apšviesti apie $2,67\text{ m}^2$ darbo plotą. Šis plotas apskaičiuotas pagal rekomenduojamą darbo vietos apšvietimo lygį, t. y. 300 liuksų. Jei patalpa būtų ne biuras, o, tarkime, palata ar poilsio kambarys, apšviečiamas plotas būtų didesnis. Lempučių skaičius turėtų būti parenkamas pagal higienos reikalavimus.

Antrame etape yra keičiamas šviesos intensyvumas. Pasibaigus pirmo etapo temperatūros variacijų patikrinimui ir nepasiekus, kad susijaudinimo lygis būtų neviršijant 0,33–0,66 ribų, pereinama prie šviesos srauto intensyvumo keitimo. Kaip ir temperatūros, taip ir šviesos intensyvumo reguliavimo etape, iš pradžių vartotojas duoda tipinį šviesos intensyvumo lygį. Esant susijaudinimui, mažesniai nei 0,33, šviesos srautas didinamas nuo duotos tipinės reikšmės žingsniu kas 10 lum iki 750 lum. Jei susijaudinimo lygis yra didesnis nei 0,66, tuomet šviesos srautas yra mažinamas iki 300 lum žingsniu kas 10 lum. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereinama į kitą punktą. Reikia atkreipti dėmesį, kad šviesos srautas gali būti reguliuojamas ten, kur tai galima daryti. Gali būti neįmanoma mažinti apšvietimo intensyvumą darbo vietoje dėl higienos normų reikalavimų.

Trečiame etape yra keičiamas apšvietimo spalvos. Kai susijaudinimas yra mažiau už 0,33, uždegamos paeiliui žalia, mėlyna, violetinė, balta spalvos. Kai susijaudinimas daugiau nei 0,66, uždegamos paeiliui raudona, oranžinė, geltona spalvos. Jeigu nepasidaro $0,33 < A < 0,66$, tada pereinama į kitą etapą, kuriame keičiamas santykinis drėgnumas.

Santykiniam drėgnumui didinti naudojami oro drėkintuvai su mechaniniu valdymu. Šie drėkintuvai prijungti prie išmaniosios valdymo relės SONOFF TH16 su temperatūros ir drėgmės jutikliu SI7021. Vartotojui davus tipinę reikšmę sistema analizuoja susijaudinimo lygį. Kai jis yra mažiau už 0,33, aktyvuojama

išmanioji relė, kuri įjungia maitinimo įtampą drėkintuvams ir taip pradedamas patalpos drėkinimas. Priklausomai nuo patalpos dydžio, reikia parinkti ir oro drėkintuvą, nes esant per mažam vandens garinimo intensyvumui patalpos oras gali būti drėkinamas per ilgai, taip nepasiekiant norimo rezultato. Santykinis drėgnumas keliamas iki 70 proc. Kai susijaudinimo lygis pasidaro didesnis už 0,66, tuomet aktyvuojama kita išmanioji relė SONOFF TH16, prie kurios prijungtas oro sausintuvas su mechaniniu valdymu. Drėgmė pamažu mažinama iki 40 proc.

Vertinant SAPVS sistemą, pirmiausia sudaroma vertinimo kriterijų sistema. Vertinti iš viso buvo pasirinkta 17 kriterijų: susijaudinimo skirtumas nuo vidutinio vartotojo duotos susijaudinimo reikšmės, temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės, santykinis drėgnumas, skleidžiamas šviesos srautas, triukšmo lygis, CO₂ koncentracija, kietosios dalelės KD_{2,5}, kietosios dalelės KD₁₀, kietosios dalelės KD₁₀₀, lakieji organiniai junginiai LOJ, oro valytuvai, šviesos spalva, muzika, kvapai, oro ventiliatorius, valdymo sistemos kaina, suvartojamos energijos kiekis.

SAPVS valdymo sistemos alternatyvos su pradiniais duomenimis pateiktos 3.2 lentelėje. Iš viso parinktos aštuonios alternatyvos A1-A8 (A_x). Vartotojo pasirinkta pradinė temperatūra buvo 20 °C. Susijaudinimo lygis valdymo programoje nustatytas 0,35. Temperatūros skirtumas skaičiuojamas nuo nustatytos pradinės temperatūros, t. y. 20 °C, o susijaudinimo skirtumas – nuo nustatyto valdymo programoje susijaudinimo lygio – 0,35. Išmaniosios valdymo sistemos kaina alternatyvose A1–A7 yra 3459 eurai.

A₁ alternatyvoje parinkta vartotojo pageidaujama temperatūra 20 °C, todėl nuokrypio reikšmė yra 0 °C. Susijaudinimo lygio skirtumas nuo nustatytos reikšmės yra minimalus ir jis siekia 0,05. Santykinio drėgnumo reikšmė parinkta LR higienos normų apatinė reikšmė – 40 proc. Siekiant įvertinti, ar sukurta sistema, kurios kaina yra 3459 Eur, verta integruoti į patalpas, buvo sudaryta A₈ alternatyva, kurioje nėra išmaniosios aplinkos parametrų valdymo sistemos. A₈ alternatyvoje nėra oro valytuvo, drėkintuvo, kvapų skleidimo įrenginio, muzikos įrenginio, šviesos spalvos keitimo galimybė ir oro ventiliatoriaus. Tačiau šios alternatyvos energetinės sąnaudos yra didesnės, nes temperatūros skirtumas yra 2 °C nuo pasirinktos reikšmės. Norint pasiekti pasirinktą 20 °C temperatūrą reikia kondicionuoti patalpą, o kondicionavimo energijos sąnaudos naudojant oro kondicionierių yra didesnės nei šildant patalpas.

3.2 lentelė. SAPVS sistemos alternatyvų pradiniai duomenys (sudaryta autoriaus)
Table 3.2 Initial data for SAPVS system alternatives (developed by the author)

Kriterijai, apibūdinantys alternatyvas	Reikšmingu-	Alternatyvos							
		* A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio, balai	0,111 -	0,05	0,25	0,15	0	0,15	0,25	0,35	0,05
Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės, °C	0,101 -	0	1	2	3	4	5	5	2
Santykinis drėgnumas, %	0,088 -	40	45	50	40	55	60	65	40
Šviesos srautas, Lum	0,085 +	600	700	800	600	500	400	300	600
Triukšmo lygis, dB	0,099 -	38	50	51	65	67	67	67	67
CO ₂ koncentracija, ppm	0,061 -	442,69	489,83	497,23	503,63	1049,1	568,34	652,23	476,89
PM _{2,5} , µg/m ³	0,046 -	0,91	0,87	2,41	2,64	66,69	134,74	154,36	184,21
PM ₁₀ , µg/m ³	0,046 -	0,9	0,8	2,2	2,4	68,4	149,6	158,23	186,7
PM ₁₀₀ , µg/m ³	0,039 -	0,9	0,8	2,2	2,4	68,4	149,6	186,7	186,7
LOI, µg/m ³	0,033 -	0,67	0,66	0	0,15	0,41	0,3	0,28	0,28
Oro valytuvai	0,041 +	1	1	1	1	0	0	0	0
Šviesos spalvos derinimas	0,034 +	0	1	1	0	1	1	1	0
Muzikos derinimas	0,044 +	0	1	1	0	1	1	1	0
Kvapų derinimas	0,041 +	0	1	1	0	1	1	1	0
Ventiliatoriaus veikimas	0,025 +	0	0	0	0	1	1	1	0
Valdymo sistemos kaina, Eur	0,057 -	3459	3459	3459	3459	3459	3459	3459	0
Suvartojamas energijos kiekis per 6 min. periodą, kWh	0,049 -	0,145	0,128	0,128	0,114	0,127	0,126	0,127	0,141

* „+“ simbolis parodo, kad didesnė kriterijaus reikšmė turi didesnę reikšmingumą vartotojui, o „-“ parodo, kad mažesnė kriterijaus reikšmė yra svarbesnė vartotojui.

A_1 – A_4 alternatyvose yra naudojamas oro valymo įrenginys, atitinkamai skiriasi aplinkoje esančių kietųjų dalelių skaičius. A_5 – A_7 alternatyvose nenaudojamas oro valytuvas, kas lemia gerokai didesnes kietųjų dalelių koncentracijas patalpose. A_2 ir A_3 sistemos alternatyvose yra įjungti šviesos spalvos, kvapų bei muzikos valdymo įrenginiai. Atitinkamai nuo patalpoje esančio žmogaus susijaušinimo lygio pobūdžio, sistema parenka, kokią muziką groti – raminančią ar skatinančią.

Taip pat įsijungia ir kvapų skleidimo įrenginys, skleidžiantis skatinančius arba raminančius kvapus. Tuo pat metu sistema parenka raminančią arba skatinančią foninio apšvietimo spalvą.

A_4 alternatyvoje valdomas tik oro valymo įrenginys, tad atitinkamai šios alternatyvos energetinės sąnaudos yra mažiausios.

Turint pradinis alternatyvų duomenis sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų priėmimo matrica (C priedas). Skaičiavimams pasitelkiama 2.1 formulė. Šio etapo tikslas – iš lyginamų kriterijų gauti bedimensius įvertintus dydžius, kad būtų galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų kriterijus.

Pagal 2.3 formulę apskaičiuojamos alternatyvą apibūdinančių minimizuojančių (kuo mažesnė jų reikšmė, tuo jos yra geresnės, pavyzdžiui, sistemos kaina, energijos sąnaudos) S_{-j} ir maksimizuojančių (didesnė reikšmė – geresnė, pavyzdžiui, šviesos srauto dydis, sistemos komfortiškumas,) S_{+j} įvertintų normalizuotų kriterijų sumos.

Lyginamų alternatyvų santykinis reikšmingumas nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+j} ir neigiamomis S_{-j} savybėmis. Kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal 2.5 formulę. Q_j reikšmingumai pateikti 3.3 lentelėje.

Apskaičiavę reikšmingumus Q_j matome, kad didžiausią alternatyvos reikšmingumą 0,1658 turi A_1 alternatyva. Naudingumo laipsnis apskaičiuojamas pagal 2.6 formulę.

3.3 lentelė. SAPVS alternatyvų reikšmingumai ir naudingumo laipsniai (sudaryta autoriaus)

Table 3.3. Significance and utility of alternatives of SAPVS (developed by the author)

Alternatyvų parametras	SAPVS sistemos alternatyvos							
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
Reikšmingumas Q_j	0,1671	0,1437	0,1609	0,1461	0,1105	0,0957	0,0879	0,0954
Prioritetiškumas	1	4	2	3	5	6	8	7
Naudingumo laipsnis, (%)	100	86,33	96,53	87,07	66,36	57,6	52,92	56,46

A_1 naudingumo laipsnis – 100 proc. Ši alternatyva turi mažą nuokrypį – 0,05 balo nuo nustatyto pradinio susijaudinimo lygio 0,35. Temperatūros nuokrypis yra 0 °C, t. y. alternatyvos temperatūra atitinka pasirinktą 20 °C pageidaujamą temperatūrą. Didelę įtaką A_1 alternatyvos reitingavimui į pirmą vietą turi triukšmo lygio kriterijus. Pagal svertinį koeficientą, triukšmo lygis yra trečioje vietoje pagal kriterijų svarbą vartotojui. Tai nėra nuostabu, nes pastovus triukšmas ilgainiui pradeda erzinti asmenis, esančius patalpoje. Bandymų laboratorijoje, Vilniaus Gedimino technikos universiteto patalpose, buvo sumontuotas mobilusis ELEKTRO-LUX kondicionierius EACM-13 HR/N3. Tokio tipo kondicionieriai skleidžia gana didelį triukšmą, tad ekspertai tai įvertino reitinguodami alternatyvų vertinimo kriterijus. Esant galimybei geriausia naudoti kondicionierius, sudarytus iš dviejų atskirų blokų: vidinio ir išorinio. Tokios kondicionavimo ir šildymo sistemos yra gerokai tylesnės.

A_1 alternatyva atrodo kaip geriausias pasirinkimas, kuriai nebuvo gerinamos nei apšvietimo spalvos, nei kvapai, nei muzika, tačiau visa įranga buvo įtraukta į sistemos kainą. Atrodytų, kad viso to sistemai tuomet ir nereikia, taip būtų galima sumažinti valdymo sistemos kainą. Atkreiptinas dėmesys, kad A_1 alternatyva pirmoje vietoje atsidūrė dėl jai priskirto mažo triukšmo lygio, nes A_1 alternatyvos temperatūra sutapo su pasirinkta vartotojo 20 °C temperatūra.

Daugiakriterės analizės metu nustatyta, kad antroje vietoje yra A_3 alternatyva su 0,16 reikšmingumu. Ši alternatyva nuo A_1 skiriasi tuo, kad šioje alternatyvoje yra parinkta tiek muzikos, tiek apšvietimo spalvos, tiek kvapų derinimas prie vartotojo emocinio susijaudinimo. Nors emocinio susijaudinimo skirtumas nuo nustatytos reikšmės skiriasi daugiau nei A_1 alternatyvoje ir yra 0,15 balo bei temperatūros skirtumas yra 2 °C nuo nustatytos vartotojo vertės, A_3 alternatyva gali būti pats geriausias pasirinkimas, šiek tiek pagerinant tam tikrus parametrus, pavyzdžiui, dviejų blokų kondicionieriaus naudojimas vietoje mobiliojo, turinčio didelį triukšmo lygį.

Daugiakriterė analizė kompleksinio proporcingo įvertinimo metodu leidžia suinteresuotoms asmenų grupėms pasirinkti tinkamą alternatyvą. Remiantis 2.7 (INVAR metodo 5 etapas) ir 2.8 (INVAR metodo 6 etapas) formulėmis, galima apskaičiuoti ir pateikti skaitmenines rekomendacijas, kaip pagerinti alternatyvų kriterijus. Tai leidžia įvertinti, kiek maksimaliai pagerinus alternatyvos parametą pagerėtų jo vertė, priklausomai nuo parametro kriterijaus reikšmingumo (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Kiekybinė ir kokybinė informacija, susijusi su alternatyvomis (sudaryta autoriaus)

Table 3.4. Quantitative and qualitative information related to alternatives (developed by the author)

Kriterijai, apibūdinantys alternatyvas	*	Matavimo vienetai	Reikšmingumas	Palygintos alternatyvos				
				Galimybė pagerinti analizuojamą kriterijų, % Galimas alternatyvos vertės padidėjimas, %, veikiamas pirmiau padidėjusios kriterijaus vertės				
				A1	A2	...	A7	A8
Susijaudinimo skirtumas nuo vidutinio susijaudinimo	-	balai	0,111	0,05 (100 %) (11,11 %)	0,25 (100 %) (11,11 %)	...	0,35 (100 %) (11,11 %)	0,05 (100 %) (11,11 %)
Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	-	balai	0,101	0 (0 %) (0 %)	1 (100 %) (10,13 %)	...	5 (100 %) (10,13 %)	2 (100 %) (10,13 %)
Santykinis drėgnumas	-	%	0,088	40 (0 %) (0 %)	45 (11,11 %) (0,98 %)	...	65 (38,46 %) (3,39 %)	40 (0 %) (0 %)
Šviesos srautas	+	Lum	0,085	600 (33,33 %) (2,83 %)	700 (14,29 %) (1,21 %)	...	300 (166,67 %) (14,16 %)	600 (33,33 %) (2,83 %)
Triukšmo lygis	-	dB	0,099	38 (0 %) (0 %)	50 (24 %) (2,39 %)	...	67 (43,28 %) (4,31 %)	67 (43,28 %) (4,31 %)
...	..	...	...	...	...	...	...	...
Valdymo sistemos kaina	-	Eur	0,057	3459 (100 %) (5,72 %)	3459 (100 %) (5,72 %)	...	3459 (100 %) (5,72 %)	0 (0 %) (0 %)
Suvartojamas energijos kiekis per 6 min. periodą	-	kWh	0,049	0,15 (21,35 %) (1,05 %)	0,13 (10,82 %) (0,53 %)	...	0,13 (10,46 %) (0,51 %)	0,14 (19 %) (0,93 %)

* „+“ simbolis parodo, kad didesnė kriterijaus reikšmė turi didesnį reikšmingumą vartotojui, o „-“ parodo, kad mažesnė kriterijaus reikšmė yra svarbesnė vartotojui.

Detalios kiekvienos A_x alternatyvos pagerinimo procentinės išraiškos pateiktos D priedo lentelėje. 3.5 lentelėje pateiktos didžiausią įtaką alternatyvos reitingui darantys trys kriterijai.

3.5 lentelė. 3 alternatyvų kriterijai ir jų vertės padidėjimo reikšmės (sudaryta autoriaus)
Table 3.5. Criteria for 3 alternatives and their values of increase in value (developed by the author)

Vieta	Kriterijai, apibūdinantys alternatyvas	Galimybė pagerinti analizuojamą kriterijų, %	Galimas alternatyvos vertės padidėjimas, %, veikiamas pirmiau padidėjusios kriterijaus vertės
A₁ alternatyva			
1	2	3	4
1	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %
2	Valdymo sistemos kaina	100 %	5,72 %
3	LOJ	100 %	3,27 %
A₂ alternatyva			
1	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %
2	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
3	Valdymo sistemos kaina	100 %	5,72 %
A₃ alternatyva			
1	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %
2	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
3	Valdymo sistemos kaina	100 %	5,72 %
A₄ alternatyva			
1	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
2	Valdymo sistemos kaina	100 %	5,72 %
3	Triukšmo lygis	44,62 %	4,45 %
A₅ alternatyva			
1	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %

3.5 lentelės pabaiga

1	2	3	4
2	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
3	Valdymo sistemos kaina	100 %	5,72 %
A₆ alternatyva			
1	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %
2	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
3	Šviesos srautas	100 %	8,50 %
A₇ alternatyva			
1	Šviesos srautas	166,67 %	14,16 %
2	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %
3	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
A₈ alternatyva			
1	Susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio	100 %	11,11 %
2	Temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos pradinės vertės	100 %	10,13 %
3	PM10	99,57 %	4,56 %

3.4.2. Sumanios, adaptyvios pastatų valdymo sistemos rezultatų analizė

SAPVS sistema buvo integruota dviejose vietose – Vilniaus Gedimino technikos universitete Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedros 902/4 kabinete ir individualiame bute dėl organizuojamo darbo nuotoliniu būdu esant ekstremaliai COVID-19 situacijai. Sumontuotos įrangos nuotrauka VILNIUS TECH Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedros patalpoje pateikta 3.18 pav.

Tyrimas buvo atliekamas nuo 2021-01-08 iki 2021-06-03. Jo metu gautas didelis kiekis rezultatų. Tyrimų rezultatų fragmentas pateiktas 3.19 pav. Toliau detaliau panagrinėsime gautus SAPVS sistemos rezultatus pagal sukurtus algoritmus.



3.18 pav. Sumontuota SAPVS sistema VILNIUS TECH Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedros 902/4 kabinete

Fig. 3.18. SAPVS system has been installed in the 902/4 office of the VILNIUS TECH Department of Construction Management and Real Estate

Control	Arousal	Breath	HeartR	Thresh	Temp	Humid	Manual	Color	Sound	SmellState	FanState
arousal	0.4	33.98	96.09	17.84	23.59	33.07	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.38	25.78	103.12	17.84	23.63	33.08	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.64	19.92	58.59	17.84	23.66	33.06	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.4	24.61	93.75	17.84	23.65	33.04	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.4	26.95	118.36	17.84	23.67	32.99	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.41	29.3	96.09	17.84	23.7	32.98	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.38	25.78	92.58	17.84	23.73	32.99	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.37	24.61	97.27	17.84	23.76	32.99	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus
arousal	0.46	23.44	107.81	17.84	23.78	32.91	Spalvos	raudona	Negroja	Neskleidžiamas	Neaktyvus

3.19 pav. Gautų tyrimo duomenų fragmentas

Fig. 3.19. Fragment of the obtained research data

Vartotojui pageidaujant, jo realaus laiko susijaudinimas (A_r), kvėpavimo dažnis (F) ir pulsas (P) yra matuojamas nuolat. Šio matavimo metu kas kelias dienas nustatomi konkretaus vartotojo minimalus, vidutinis ir maksimalus susijaudinimo, kvėpavimo dažnio ir pulso dydžiai. Esant mažesniai negu vidutiniam susijaudinimui ($A_r < A_{1/3}$), kvėpavimo dažniui ar pulsui, atliekami šie pastato erdvių kokybės pokyčiai:

- kambario apšvietimo spalvos pakeičiamos į sužadinančias spalvas (raudoną, oranžinę, geltoną ir pan.), kuriai pirmenybę teikia vartotojas. Tyrimo metu vartotojo kvėpavimo dažnis buvo mažesnis už nustatytas ribas (150,86–152,86) (3.6 lentelė). SAPVS sistema, siekiant padidinti kvėpavimo dažnį, keitė apšvietimo spalvas. Pirmiausia švietė oranžinė spalva. Kvėpavimo dažniui nepasiekus numatytų ribų, šviesa keitėsi į geltoną ir raudoną. Jeigu, paeiliui keičiant kambario apšvietimo spalvas, kvėpavimo

dažnis nepadidėjo iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą apšvietimo spalvą;

3.6 lentelė. SAPVS sistemos spalvų keitimo fragmentas siekiant padidinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.6. Colour changing fragment of the SAPVS system to increase the respiration rate (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būseną	Spalva	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0,43	17,8	101,95	150,86	152,86	Spalvos	Oranžinė	Aktyvuotas
.....									
Testo pabaigoje	Širdies ritmas	0,38	31,64	66,8	150,86	152,86	Spalvos	Raudona	Aktyvuotas

- pradinis šviesos intensyvumo dydis nustatomas 500 liuksų (lx). Taip pat vartotojas gali iš anksto duoti pradinį šviesos intensyvumo dydį. Kai realaus laiko konkretaus vartotojo susijaudinimas, kvėpavimo dažnis ar pulsas yra mažesnis už vidutinį ($A_r < A_{1/3}$), tada tolygiai didinamas šviesos intensyvumas iki maksimalios ribos. Jeigu susijaudinimas nepadidėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą šviesos intensyvumo dydį (3.7 lentelė);
- patalpų drėgmė mažinama arba didinama 1 proc. Iš pradžių, siekiant padidinti susijaudinimą, kvėpavimo dažnį ir pulsą iki vidutinio lygio, patalpų drėgmė yra mažinama iki higienos normų nurodytos ribos (3.8 lentelė). Jeigu susijaudinimas nepadidėja iki vidutinio lygio, tada patalpų drėgmė didinama iki higienos normų nurodytos ribos. Jeigu susijaudinimas nepadidėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą drėgmės lygį;

3.7 lentelė. SAPVS sistemos apšvietimo intensyvumo keitimo fragmentas siekiant padidinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.7. Fragment of changing the light intensity of the SAPVS system to increase the respiration rate (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Apšvietimo lygis, lux	Testo būseną
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0	21,09	105,47	150,86	151,86	862	Ryškumas
.....								
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0	11,72	112,5	150,86	151,86	1299	Ryškumas

3.8 lentelė. SAPVS sistemos drėgmės keitimo fragmentas siekiant padidinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.8. Fragment of the SAPVS system relative humidity exchange to increase the respiration rate (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Temperatūra, C	Santykinis drėgnumas, %	Testo būseną	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0,29	12,89	58,59	150,84	152,84	25,87	35,2	Drėgmė	Aktyvuotas
.....										
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0,47	30,47	77,34	150,84	152,84	25,97	31,36	Drėgmė	Aktyvuotas

- leidžiama aktyvinanti muzika (atliekamas simpatinės nervų sistemos susijaudinimas), naudojamos tokios muzikos išraiškos priemonės kaip mažoro dermė, disonansai, taškuotas ritmas, pabrėžtina pulsacija, staigūs melodiniai šuoliai, Staccato štrichas. 3.9 lentelėje pateikti duomenys, kaip kito kvėpavimo dažnis ir pulsas, leidžiant skatinančią muziką. Jeigu, šiai muzika grojant, susijaudinimas nedidėja, tada pradedamas naudoti Susijaudinimo reguliavimo rekomendacinis posistemis;

3.9 lentelė. SAPVS sistemos muzikos fono keitimo fragmentas siekiant padidinti kvėpavimo dažnį arba pulsą (sudaryta autoriaus)

Table 3.9. Fragment of the background change of the SAPVS system to increase the respiration rate or pulse (developed by the author)

Testo etapas	Kontroli- nis para- nis metras	Susijau- dinimas	Kvėpa- vimo vimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būsena	Muzikos tipas	Akty- vuotas testas
Testo pra- džioje	Kvėpa- vimo daž- nis	0,38	23,44	103,12	150,86	151,86	Garsas	Skati- nanti	Aktyvuo- tas
.....									
Testo pa- baigoje	Širdies rit- mas	0,37	18,75	51,56	150,86	154,86	Garsas	Skati- nanti	Akty- vuotas

- leidžiami skatinantys kvapai (atliekamas simpatinės nervų sistemos susijaudinimas), tokie kaip greipfrutų, jazminų, kvapiųjų kanangų ir pan. 3.10 lentelėje pateikti duomenys, kaip kito pulsas, leidžiant skatinančius kvapus. Jeigu susijaudinimas nedidėja, tada pradedamas naudoti Susijaudinimo reguliavimo rekomendacinis posistemis;

3.10 lentelė. SAPVS sistemos kvapų matavimo fragmentas siekiant padidinti pulsą (sudaryta autoriaus)

Table 3.10. Fragrance measurement fragment of the SAPVS system to increase the pulse (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudini- mas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būsena	Muzikos tipas	Kvapų tipas	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Širdies ritmas	0,36	24,61	75	150,84	152,84	Kva- pas	Negroja	Skati- nantis	Aktyvuo- tas
.....										
Testo pabaigoje	Širdies ritmas	0	12,89	83,2	150,84	152,84	Kva- pas	Negroja	Skati- nantis	Aktyvuo- tas

- leidžiami aktyvinantys vibraciniai dažniai (atliekamas simpatinės nervų sistemos susijaudinimas), 3.11 lentelėje pateikti duomenys, kaip kito kvėpavimo dažnis ir pulsas, esant aktyvinantiems vibraciniams virpesiams. Jeigu susijaudinimas nedidėja, tada pradedamas audoti Susijaudinimo reguliavimo rekomendacinis posistemis.

3.11 lentelė. SAPVS sistemos aktyvinančių vibracinių dažnių matavimo fragmentas siekiant padidinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.11. Fragment of the measurement of the activating vibrational frequencies of the SAPVS system to increase the respiratory rate (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būseną	Spalva	Fotelio būseną
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0,38	17,58	79,69	150,17	151,17	Spalvos, kvapas, garsas, drėgmė, užterštumas, temperatūra, ventiliatorius	Raudona	Relaksuojanti vibracija
.....									
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0,26	24,61	98,44	150,17	151,17	Spalvos, kvapas, garsas, drėgmė, užterštumas, temperatūra, ventiliatorius	Raudona	Relaksuojanti vibracija

Visi veiksmai kartojami tol, kol pasiekiamas vidutinis susijaudinimas, kvėpavimo dažnis ar pulsas.

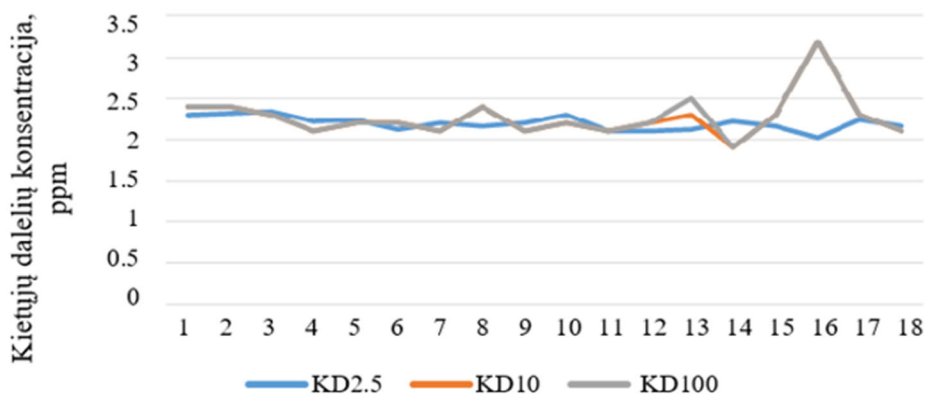
Esant didesniai negu vidutiniam susijaudinimui, kvėpavimo dažniui ar pulsui, atsižvelgiant į vartotojo prioritetus, atliekamas toks pastato erdvių kokybės koregavimas:

- taršos (kietųjų dalelių, aerozolių, CO, CO₂, NO_x, NO, NO₂ ir pan.) lygis reguliariai mažinamas po 10 mg/m³. 3.12 lentelėje pateiktas SAPVS sistemos taršos parametrų mažinimas siekiant mažinti kvėpavimo dažnį. Kaip matyti matavimų pradžioje, PM_{2,5} buvo 2,3 mg/m³, PM₁₀ ir PM₁₀₀ buvo po 2,4 mg/m³. Oro valymo filtras valė patalpos orą mažindamas taršą. Parametrai sumažėjo atitinkamai 0,14 mg/m³, 0,3 mg/m³ ir 0,3 mg/m³. Parametrų grafinis atvaizdavimas pateiktas 3.19 paveiksle. Jeigu, mažinant taršą iki vartotojo duotos ribos, susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą taršos lygį;

3.12 lentelė. SAPVS sistemos taršos parametrų mažinimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.12. Fragment of the reduction of the pollution parameters of the SAPVS system to reduce the respiration rate (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	PM2.5Avg	PM10	PM100	Testo būseną	Oro valytuvo būseną	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0	30,47	100,78	0,16	1,16	2,3	2,4	2,4	Užterštumas	Ijungtas	Aktyvuotas
.....												
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0,41	21,09	65,62	0,16	1,16	2,16	2,1	2,1	Užterštumas	Ijungtas	Aktyvuotas



3.19 pav. Užterštumo kietosiomis dalelėmis lygis, po aktyvuoto oro valymo įrenginio

Fig. 3.19. Particulate pollution level after activation air purifier

- kambarys apšviečiamas susijaudinimą mažinančiomis spalvomis (žalia, mėlyna, violetinė, balta ir pan.), atsižvelgiant į vartotojo pageidavimus. Kaip pateikta 3.13 lentelėje, vartotojo kvėpavimo dažnis yra didesnis nei nurodyto, ribos (0,86–1,86). Siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį, keičiamos apšvietimo spalvos. Pirmiausia šviečia žalia, paskui keičiama į mėlyną, baltą, violetinę ir t. t. Jeigu paeiliui keičiant kambario apšvietimo spalvas susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą apšvietimo spalvą;

3.13 lentelė. SAPVS sistemos apšvietimo spalvų keitimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.13. SAPVS system lighting Spalva change fragment to reduce respiration rate (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būseną	Spalva	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0	26,95	114,84	0,86	1,86	Spalvos	Žalia	Aktyvuotas
.....									
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0,38	25,78	84,38	0,86	1,86	Spalvos	Balta	Aktyvuotas

- pradinis šviesos intensyvumo dydis nustatomas 500 liuksų (lx). Kai realaus laiko konkretaus vartotojo susijaudinimas, kvėpavimo dažnis ar pulsas yra didesnis už nustatytas ribas, tada tolygiai mažinamas šviesos intensyvumas iki 200 lx arba iki higienos normų nurodytos minimalios ribos. Detaliau panagrinėjime SAPVS sistemos šviesos intensyvumo mažinimo fragmentą (3.14 lentelė). Kai pulsas yra didesnis už nustatytas ribas, šviesos intensyvumas yra sumažinamas nuo 1089 iki 943,16 lx. Analogiškai, esant per dideliu kvėpavimo dažniui, šviesos intensyvumas yra mažinamas nuo 2598 iki 1024,35 lx. Jeigu susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą šviesos intensyvumo dydį;

3.14 lentelė. SAPVS sistemos apšvietimo intensyvumo keitimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį ir pulsą (sudaryta autoriaus).

Table 3.14. SAPVS system lighting intensity change fragment to reduce respiration rate and pulse (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Apšvietimo lygis, lux	Testo būseną	Lempos skaisčio intensyvumas,
Testo pradžioje	Širdies ritmas	0	15,23	117,19	0,17	1,17	1089	Ryškumas	97
.....									
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0	22,27	80,86	0,86	1,86	1024,35	Ryškumas	79

- patalpų drėgmė mažinama arba didinama 1 proc. Iš pradžių, siekiant sumažinti susijaudinimą iki vidutinio lygio, patalpų drėgmė yra mažinama iki higienos normų nurodytos ribos (3.15 lentelė). Jeigu susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada patalpų drėgmė didinama iki higienos normų nurodytos ribos. Jeigu susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą drėgmės lygį;

3.15 lentelė. SAPVS sistemos drėgmės intensyvumo keitimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį ir pulsą (sudaryta autoriaus)

Table 3.15. Fragment of the change in the moisture intensity of the SAPVS system to reduce respiratory rate and pulse (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Temperatūra, °C	Santykinis drėgnumas, %	Testo būseną	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0,3	30,47	116,02	0,84	1,84	25,73	31,75	Drėgmė	Aktyvuotas
.....										
Testo pabaigoje	Širdies ritmas	0,43	10,55	64,45	0,84	1,84	26,14	35,51	Drėgmė	Aktyvuotas

- siekiant sumažinti susijaudinimą iki vidutinio lygio, kambario temperatūra yra didinama 0,5 °C iki higienos normų nurodytos ribos. Jeigu susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada pereinama prie kito punkto, paliekant vartotojo iš anksto pasirinktą temperatūrą;
- leidžiama raminti muzika (t. y. atliekamas parasimpatinės nervų sistemos susijaudinimas), naudojamos tokios muzikos išraiškos priemonės kaip minoro dermė (kraujospūdžio sumažėjimas), nedidelis, nekontrastingas garsumas (kvėpavimo ir pulso sulėtėjimas), neakcentuotas ritmas (vyzdžių susiaurėjimas), lygi melodijos tėkmė. 3.16 lentelėje pateiktas muzikos fono fragmentas, kai kvėpavimo dažnis ir pulsas yra didesnis nei nustatytos ribos. Tokiu atveju grojama raminti muzika siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį ar pulsą. Jeigu, šiai muzikai grojant, susijaudinimas nesumažėja iki vidutinio lygio, tada pradedamas naudoti Susijaudinimo reguliavimo rekomendacinis posistemis.

3.16 lentelė. SAPVS sistemos muzikos fono keitimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį ir pulsą (sudaryta autoriaus)

Table 3.16. Fragment of the background music change of the SAPVS system to reduce respiratory rate and pulse (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būseną	Muzikos tipas	Aktyvuotas testas
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0,37	21,09	103,12	0,86	1,86	Garsas	Raminanti	Aktyvuotas
.....									
Testo pabaigoje	Širdies ritmas	0,42	12,89	72,66	150,86	154,86	Garsas	Skatinanti	Aktyvuotas

- leidžiami raminantys kvapai (atliekamas simpatinės nervų sistemos susijaudinimas), tokie kaip levandos, ramunėlės, citrinos ir pan. 3.17 lentelėje pateikti duomenys, kaip kito pulsas, leidžiant raminančius kvapus. Jeigu susijaudinimas nemažėja, tada pradedamas naudoti Susijaudinimo reguliavimo rekomendacinis posistemis;

3.17 lentelė. SAPVS sistemos kvapo keitimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį ir pulsą (sudaryta autoriaus)

Table 3.17. Fragmentation fragment of the SAPVS system to reduce respiratory rate and pulse (developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Testo būseną	Kvapų tipas	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Širdies ritmas	0	15,23	107,81	0,84	1,84	Kvapas	Raminantis	Aktyvuotas
.....									
Testo pabaigoje	Širdies ritmas	0	23,44	60,94	0,84	1,84	Kvapas	Raminantis	Aktyvuotas

- leidžiami raminantys vibraciniai dažniai (atliekamas simpatinės nervų sistemos susijaudinimas), 3.18 lentelėje pateikti duomenys, kaip kito kvėpavimo dažnis, esant raminantiems vibraciniams virpesiams. Jeigu susijaudinimas nemažėja, tada pradedamas naudoti Susijaudinimo reguliavimo rekomendacinis posistemis.

3.18 lentelė. SAPVS sistemos vibracinių dažnių keitimo fragmentas siekiant sumažinti kvėpavimo dažnį (sudaryta autoriaus)

Table 3.18. Fragmentation fragment of the SAPVS system to reduce the respiratory rate developed by the author)

Testo etapas	Kontrolinis parametras	Susijaudinimas	Kvėpavimo dažnis	Širdies ritmas	Min. slenkstis	Maks. slenkstis	Spalva	Fotelio būseną	Aktyvuotas testas
Testo pradžioje	Kvėpavimo dažnis	0,45	14,06	113,67	0,86	1,86	violetinė	Relaksuojanti vibracija	Aktyvuotas
Testo pabaigoje	Kvėpavimo dažnis	0,43	22,27	59,77	0,86	1,86	violetinė	Relaksuojanti vibracija	Aktyvuotas

Visi veiksmai kartojami tol, kol pasiekiamas vidutinis susijaudinimas, kvėpavimo dažnis ar pulsas.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

1. Atlikus daugiakriterę SAPVS sistemos kriterijų analizę ir skaičiavimus nustatyta, kad alternatyva A1 turi didžiausią alternatyvos reikšmingumo laipsnį $Q_j - 0,1671$, o tai reiškia, kad tokia sistemos konfigūracija yra priimtinausia vartotojams.
2. A8 alternatyva neturi SAPVS aplinkos parametrų keitimo įrenginių ir vartotojai nepatiria papildomų finansinių išlaidų, tačiau atlikus daugiakriterę analizę nustatyta, kad ši alternatyva užima 7 vietą iš visų 8 alternatyvų. Tai reiškia, kad vis dėlto svarbu turėti galimybę valdyti įvairius aplinkos parametrus, siekiant sudaryti didesnę komfortą.
3. Atlikus kiekybinę ir kokybinę analizę INVAR metodu, nustatyta kad:
 - vartotojams svarbus temperatūros nuokrypis nuo pageidaujamos reikšmės. Septyniose ($A_2 - A_8$) alternatyvose šis parametras patenka į 3 alternatyvų kriterijus, kurie turi didžiausią įtaką reitingui. Pagerinus šį kriterijų galimas alternatyvos vertės padidėjimas 10,13 proc.;
 - į 3 alternatyvų kriterijus patenka susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto lygio. Jis kartojasi $A_1 - A_3$ ir $A_5 - A_8$ alternatyvose. Pagerinus šį kriterijų, galimas alternatyvų vertės padidėjimas – 11,11 proc.;

- penkis kartus į 3 alternatyvų (A_1 – A_5) kriterijus patenka sistemos kaina. Pagerinus šį kriterijų, galimas alternatyvų vertės padidėjimas – 5,72 proc.;
 - du kartus į 3 alternatyvų (A_6 – A_7) kriterijus patenka šviesos srautas. A_7 alternatyvoje šį kriterijų pagerinus 166,67 proc., galimas alternatyvų vertės padidėjimas būtų 14,16 proc. A_6 alternatyvoje šį kriterijų galima pagerinti 100 proc., tuomet bendras alternatyvos pagerėjimas būtų 8,50 proc.;
 - į 3 alternatyvų kriterijus po vieną kartą pateko bendras lakiųjų organinių junginių (A_1 alternatyva), triukšmo lygio (A_4 alternatyva) ir kietųjų dalelių KD_{10} (A_8 alternatyva) kriterijai. Pagerinus šiuos kriterijus galimas alternatyvų vertės padidėjimas būtų: A_1 – 4,45 proc., A_4 – 4,45 proc., A_8 – 4,56 proc.
4. Siekiant įsitikinti, kad sukurtas aplinkos parametrų valdymo algoritmas veikia tinkamai, buvo atliekami parametrų modeliavimai. Pavyzdžiui modeliavimo metu vartotojo kvėpavimo dažnis buvo mažesnis už nustatytas ribas, todėl SAPVS sistema, siekiant padidinti kvėpavimo dažnį, keitė apšvietimo spalvas.
 5. Atlikus taršos parametrų modeliavimą, matavimų pradžioje $KD_{2,5}$ buvo $2,3 \text{ mg/m}^3$, KD_{10} ir KD_{100} buvo po $2,4 \text{ mg/m}^3$. Sistemai įjungus oro valymo filtrą, šie parametrai sumažėjo atitinkamai $0,14 \text{ mg/m}^3$, $0,3 \text{ mg/m}^3$ ir $0,3 \text{ mg/m}^3$.

Bendrosios išvados

1. Remiantis užstatytos aplinkos poveikio žmogui literatūros analize, nustatyta, kad įtakos savijautai turi jį supanti aplinka. Tai apima ne tik miesto, bet ir darbo, mokymosi ar laisvalaikio leidimo erdvės. Pastebėta, kad ankstesniuose tyrimuose dažnai dėmesys buvo skiriamas savidiagnostikos testams ir kontaktiniams žmonių fiziologinių parametrų matavimo jutikliams. Savidiagnostikos testų dalyviai patys apibūdindavo savo patogumą užstatytoje aplinkoje. Tačiau kituose moksliniuose tyrimuose nustatyta, kad žmonės ne visada geba teisingai interpretuoti patiriamas emocijas. Tai leidžia daryti prielaidą, kad patogumo užstatytoje aplinkoje suvokimas gali skirtis nuo esamos situacijos.
2. Sukurtas užstatytos aplinkos daugiakriterės analizės rekomendacinis UADARM metodas. Metodas siūlo kompleksiskai vertinti užstatytą aplinką ne tik pagal technologinius ar ekonominius aspektus, bet taip pat pasiūlyta vertinti ir asmenų patogumą aplinkoje. UADARM leis suinteresuotoms grupėms spręsti sudėtingas statybos inžinerijos problemas kuriant ir vystant užstatytą aplinką dar prieš pradedant vykdyti statybos darbus.
3. Pasitelkus UADARM metodą, buvo sukurta UADARS sistema, kuri leidžia analizuoti žmonių patogumą užstatytoje aplinkoje per patiriamas emocijas ir realiu laiku jas atvaizduoti, įvairiomis spalvomis apšviečiant

- pastatus, paminklus ar erdves. Praktiškai tai buvo pristatyta Vilniaus šviesų festivalio metu 2019 ir 2020 m. Vilnius miesto savivaldybei tai buvo puikus įrankis, leidžiantis matyti, kaip jaučiasi miesto gyventojai ir svečiai.
4. Atlikta žmonių patogumo analizė užstatytoje aplinkoje, šešiose Vilniaus miesto vietose, naudojant bekontakčius matavimo jutiklius. Gautos parametrų priklausomybės:
 - 4.1. Disertacijos tyrimų metu gautas 0,91 koreliacijos koeficientas tarp lauko ir žmogaus veido temperatūros. Tai rodo labai stiprią šių dviejų parametrų priklausomybę. Kadangi oro temperatūros įtaka žmogaus odai yra per didelė, o pats odos temperatūros pokytis yra mažas dydis, daroma išvada, kad odos temperatūros matavimo jutiklių naudojimas sistemose, sumontuotose lauke, yra neefektyvus. Atsisakant šių jutiklių sumažėtų sistemos kaina.
 - 4.2. Gautas labai žemas tiesinės koreliacijos koeficientas tarp veido odos temperatūros ir laimės indekso – 0,02. Žemas ryšys nustatytas tarp liūdesio indekso ir veido odos temperatūros – 0,26. Tai taip pat pagrindžia, kad atliekant analizę lauko sąlygomis odos temperatūros matavimas nėra prasmingas.
 - 4.3. Atliekant veido odos temperatūros matavimus patalpų viduje, gautos koreliacijos patvirtina, kad uždaroje patalpose, prasminga matuoti veido odos temperatūrą, žmonių patogumo ir emocinio lygio analizei. Gauta 0,7876 koreliacija parodo, kad didėjant laimės emocijoms, kyla ir atvykstančių bei išvykstančių lankytojų veido temperatūra.
 5. Gauti koreliacijų koeficientai tarp žmonių emocijų ir skirtingų Vilniaus miesto vietų parodė, kad skirtingose miesto erdvėse žmonių patogumas yra skirtingas. Kadangi koreliacijos nustatytos iš didelių duomenų kiekių, kurie buvo renkami 550 dienų, galima daryti išvadą, kad tai įtakojo užstatyta aplinka, o ne kiti faktoriai.
 6. Modifikavus UADARM metodą, sukurta išmanioji patalpų erdvių valdymo sistema SAPVS, galinti valdyti oro kondicionierius, oro šildytuvus, oro valytuvus, oro ventiliatorius, drėkintuvus, šviesos spalvą ir intensyvumą, vibroakustinius įrenginius bei muzikinį foną pagal žmogaus fiziologinius parametrus. Valdant šiuos parametrus, galima pasiekti daugiau komforto patalpose.
 7. Sudarytos SAPVS sistemos septynios aplinkos parametrų keitimo alternatyvos ir viena alternatyva be SAPVS sistemos A₈. Naudojant daugiakriterį sprendimo priėmimo INVAR metodą, nustatyta efektyviausia A₁

alternatyva. Nors A_8 alternatyva yra be SAPVS sistemos, kas mažina aplinkos parametrų keitimo įrenginių kainą, po daugiakriterės analizės ji liko 7 vietoje. Tai parodo, kad svarbu turėti galimybę koreguoti aplinkos parametrus, kad būtų jaučiama daugiau komforto.

8. Išskirti po 3 kiekvienos alternatyvos svarbiausi kriterijai, kuriuos būtų galima pagerinti, o jų pagerėjimas duotų didžiausią alternatyvos vertės padidėjimą. Alternatyvos vertės padidėjimui, didžiausią įtaką padarytų temperatūros nuokrypio nuo pageidaujamos reikšmės, susijaudinimo skirtumo nuo nustatyto lygio ir šviesos srauto kriterijų vertės pagerinimas. Apskaičiuota, kad pagerinus temperatūros skirtumo nuokrypį, alternatyvų vertė padidėja iki 10,13 proc. Pagerinus susijaudinimo lygio skirtumą, alternatyvų vertė padidėja iki 11,11 proc., o pagerinus šviesos srauto lygį, alternatyvų vertė padidėja iki 14,16 proc.

Literatūra ir šaltiniai

Aeon. (2019, April 14). *Streets with no game*. <https://aeon.co/essays/why-boring-streets-make-pedestrians-stressed-and-unhappy>

Amerio, A., Brambilla, A., Morganti, A., Aguglia, A., Bianchi, D., Santi, F., Costantini, L., Odone, A., Costanza, A., Signorelli, C., Serafini, G., Amore, M., & Capolongo, S. (2020). COVID-19 lockdown: housing built environment's effects on mental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5973.

Architektūros ir urbanistikos tyrimų centras (AUTC). (2021 05 06). *Kapitulos namas Vilniuje, Pilies g. 4*. http://www.autc.lt/lt/architekturos-objektai/1442#_ftn1

Bergner, B. (2011). Emotional barrier-GIS – a new approach to integrate barrier-free planning in urban planning processes. *Proceedings of REAL CORP 2011*, 247–257.

Bower, I., Tucker, R., & Enticott G. P. (2019). Impact of built environment design on emotion measured via neurophysiological correlates and subjective indicators: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 66.

Briese, E., & Cabanac, M. (1991). Stress hyperthermia: Physiological arguments that it is a fever. *Physiology & Behavior*, 49, 1153–1157.

Burgoon, J. K., Buller, D. B., & Woodall, W. G. (1994). *Nonverbal Communication: the Unspoken Dialogue*. OH Greyden Press.

Burke, F. (2019). *Emotional response to city design could guide urban planning*. *Horizon: The EU Research & Innovation Magazine*.

Childs, C. (2018). Chapter 29 - Body temperature and clinical thermometry. *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier, 157, 467–482. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64074-1.00029-X>

Chotard, H., Ioannou, S., & Davila-Ross, M. (2018). Infrared thermal imaging: Positive and negative emotions modify the skin temperatures of monkey and ape faces. *American Journal of Primatology*, 80. <https://doi.org/10.1002/ajp.22863>

Clay-Warner, J., & Robinson, D. (2015). Infrared Thermography as a Measure of Emotion Response. *Emotion Review*, 7, 157–162.

CORDIS EU research results. (2019, December 18). *HORIZON 2020. Regeneration and Optimisation of Cultural heritage in creative and Knowledge cities*. <https://cordis.europa.eu/project/id/730280>

Čaplinskas, A. (2001). *Gatvių istorija*. Charibdė.

Daly, J., Farahani, L. M., Hollingsbee, T., & Ocampo, R. (2016). Measuring human experiences of public spaces: A methodology in the making. *Connsconscious Cities Journal*, 1, 1–3. <https://doi.org/10.33797/CCJ.01.01>

De Oliveira, F., Moreau, S., Gehin, C., & Dittmar, A. (2007). Infrared Imaging Analysis for Thermal Comfort Assessment. In *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 3373–3376). 10.1109/IEMBS.2007.4353054

De Winter, J., Petermeijer, S., Kooijman, L. & Dodou, D. (2021). Replicating five pupillometry studies of Eckhard Hess. *International Journal of Psychophysiology*, 165, 145–205. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.03.003>

Demery, I. (2010). Sustainable Architectural Design: Reviving Traditional Design and Adapting Modern Solutions. Archnet-IJAR. *International Journal of Architectural Research*, 4(1). 10.26687/archnet-ijar.v4i1.65.

Dillon, R. (2005). Designing urban space for psychological comfort: the Kentish Town Road project. *Journal of Public Mental Health*, 4(4), 10–20. 10.1108/17465729200500027

Dinis, S., Duarte, E., Noriega, P., Teixeira, L., Vilar, E., & Rebelo, F. (2013). Evaluating Emotional Responses to the Interior Design of a Hospital Room: A Study Using Virtual Reality. *Second International Conference, DUXU 2013*.

Doytsher, Y., Galon, B., & Kanza, Y. (2017). Emotion Maps based on Geotagged Posts in the Social Media. In *Conference: the 1st ACM SIGSPATIAL Workshop. Project: Geosocial Applications and Systems*. 10.1145/3149858.3149862

Dongseop, L., Sunggeun, S., Gunhyuk, P., Sungmok, S., Kwanwoo, S., & Hyejung, C. (2015, January 16). *Patent. Method and device for controlling room temperature and humidity*. <https://patents.google.com/patent/WO2016036062A1/en>

Eberhard, J. P. (2009). *Brain Landscape: The Coexistence of Neuroscience and Architecture*. Oxford University Press.

Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6 (3–4), 169–200. <https://doi.org/10.1080/02699939208411068>

European Commission. (2018, December 18). *The 2018 Ageing Report*. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/economy-finance/ip065_en.pdf: 3.

Evans, G. W. (2003). The Built Environment and Mental Health. *Journal of Urban Health*, 80, 536–555. <https://doi.org/10.1093/jurban/jtg063>

Farnsworth. B. (2020, May 30). *How to Measure Emotions and Feelings (And the Difference Between Them)*. <https://imotions.com/blog/difference-feelings-emotions/>

Feldmeier, M., & Paradiso, J. (2011, January 16). *Patent. Personalized Building Comfort Control*. <https://patents.google.com/patent/US20120031984A1/en>.

Figuerola A., Wagner R., & Zhenghong, T. (2016). Evaluating the aesthetic value of cultural ecosystem services by mapping geo-tagged photographs from social media data on Panoramio and Flickr. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60, 266–281.

Fuller, G., & Allard, S. (2019). Exploratory Investigation of Infrared Thermography for Measuring Gorilla Emotional Responses to Interactions with Familiar Humans. *Animals* 9, 604. <https://doi.org/10.3390/ani9090604>

Go Vilnius. (2021 05 06). *Pilies gatvė*. <https://www.govilnius.lt/aplankykite/lankytinos-vietos/pilies-gatve>

Gomez, F., Pérez Cueva, A., Valcuende, M., & Matzarakis, A. (2013). Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET). *Ecological Engineering*, 57, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2013.04.034>

Gudi, A., & Ivan, P. (2015). *Validation Action Unit Module*. Noldus Information Technology.

H. Hess, H. E., M. & Polt M. J. (1960). Pupil Size as Related to Interest Value of Visual Stimuli. *Science*, 132, 349–350. DOI: 10.1126/science.132.3423.349

Hisham, S. (2018, May 17). *Is construction industry ready for City Information Modeling? Geospatial world*. <https://www.geospatialworld.net/blogs/is-construction-industry-ready-for-city-information-modeling/>.

Hoisington, J. A., Stearns-Yoder K.A., Schuldt, S. J., Beemer, C. J., Maestre, J. P., Kinney, K. A., Postolache, T., Lowry, C. A., & Brenner, L. A. (2019). Ten questions concerning the built environment and mental health. *Building and Environment*, 155, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.036>

Hollander, J., Purdy, A., Andrew, W., Foster, V., Robert, J., Holly, T., & Tad, B. (2018). Seeing the city: using eye-tracking technology to explore cognitive responses to the built environment. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 12, 1–16. <https://doi.org/10.1080/17549175.2018.1531908>

Huang, T. L. (2005, January 16). *Patent: Environment controlling system and method thereof*. <https://patents.google.com/patent/US20070057077>.

Jenkins, S., Brown, R., & Rutterford, N. (2009). Comparing Thermographic, EEG, and Subjective Measures of Affective Experience During Simulated Product Interactions. *International Journal of Design*, 3, 53–65.

Jenny, R., Aspinall, P., Mavros, P., & Coyne, R. (2013). Engaging the brain: The impact of natural versus urban scenes using novel EEG methods in an experimental setting. *Environmental Sciences*, 1, 93–104. <http://dx.doi.org/10.12988/es.2013.3109>

Jinwoo, K., Changbum, R., & Yunwoo, N. (2019). The influence of built environment features on crowdsourced physiological responses of pedestrians in neighborhoods. *Computers, Environment and Urban Systems*, 75, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.02.003>

Jorgensen, L., Ellis, G. D., & Ruddell, E. (2013). Fear Perceptions in Public Parks Interactions of Environmental Concealment, the Presence of People Recreating, and Gender. *Environment and Behavior*, 45, 803–820. <https://doi.org/10.1177/0013916512446334>

Kaklauskas, A. (1999). *Multiple criteria decision-support of building life cycle*: Research report presented for habilitation (DrSc). Technological sciences, civil engineering (T002). Technika.

Kaklauskas, A. (2016). *Analysis of the life cycle of a built environment*. Nova Science Publisher.

Kaklauskas, A. (2016). Degree of Project Utility and Investment Value Assessments. *International Journal of Computers, Communications & Control*, 11, 666–683. DOI:10.15837/ijccc.2016.5.2679

Kaklauskas, A., Abraham, A., Dzemyda, G., Raslanas, S., Seniut, M., Ubarte, I., Kurasova, O., Binkyte-Veliene, A., & Cerkauskas, J. (2020). Emotional, affective and biometrical states analytics of a built environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 91, 103621. ISSN 0952-1976. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103621>

Kaklauskas, A., Zavadskas, E., Bardauskiene, D., Cerkauskas, J., Ubarte, I., Seniut, M., Dzemyda, G., Kaklauskaitė, M., Vinogradova, I., & Velykorusova, A. (2019). An Affect-Based Built Environment Video Analytics. *Automation in Construction*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102888>

Kim, J., & Fesenmaier, D. (2014). Measuring Emotions in Real Time. *Journal of Travel Research* 54, 419–429. <https://doi.org/10.1177/0047287514550100>

Kim, J., & Fesenmaier, D. (2014). Measuring Emotions in Real Time. *Journal of Travel Research*, 54(4), 419–429. <https://doi.org/10.1177/0047287514550100>

Kramer, A., Guillory, J. & Hancock, J. (2014). Experimental Evidence of Massive-Scale Emotional Contagion Through Social Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(24), 8788–8790 <https://doi.org/10.1073/pnas.1320040111>

Kultūros vertybių registras. (2021 04 04). <https://kvr.kpd.lt/>.

Kwallek, N., Lewis, C., Lin-Hsiao, J., & Woodson, H. (1996). Effects of nine monochromatic office interior color on clerical tasks and worker mood. *Spalva Research & Application*, 21, 448–458.

Lawson, B., & Phiri, M. (2003). *The Architectural Healthcare Environment and its Effects on Patient Health Outcomes*. The Stationery Office. ISBN: 0-11-322484.

Lederbogen, F., Kirsch, P., Haddad, L., Streit, F., Tost, H., Schuch, P., Wüst, S., Pruessner, J., Riettschel, M., Deuschle, M., & Meyer-Lindenberg, A. (2011). City living and urban upbringing affect neural social stress processing in humans. *Nature*, 474(7352), 498–501. DOI:10.1038/nature10190

Lehman, M. L. (2018 05 10). *How Emotion Impacts the Perception of Architecture*. <https://www.marialorenahehman.com/blog/how-emotion-impacts-the-perception-of-architecture>

Levy, H. F., & Betz, P. G. (2021, January 17). *Patent. Personalized air conditioned system*. <https://patents.google.com/patent/US6318113B1/en>.

Lewinski, P., den Uyl, T. M., & Butler, C. (2014). Automated facial coding: Validation of basic emotions and FACS AUs in FaceReader. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 7(4), 227–236. <https://doi.org/10.1037/npe0000028>

Lexico. (2017, May 2017). <https://en.oxforddictionaries.com/definition/emotion>.

Lietuvos nacionalinė UNESCO komisija. (2021 04 15). *Vilniaus istorinis centras*. <https://unesco.lt/kultura/pasaulio-paveldas/pasaulio-paveldas-lietuvoje/vilniaus-istorinis-centras>.

Lietuvos nacionalinis muziejus. (2021 04 17). *Senasis arsenalas*. <https://lnm.lt/muziejai/senasis-arsenalas/>.

Lithuania. Co-create. (2021 04 17). *Vilniaus senamiestis*. <http://www.lietuva.lt/100/lt/pazink-lietuva/pamatyk-ir-patirk/vilniaus-senamiestis>

Liu, Y., Wang, L., Liu, J., & Di, Y. (2013). A study of human skin and surface temperatures in stable and unstable thermal environments. *Journal of thermal Biology*, 38(7), 440–448. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.06.006>

Loijens, L., & Krips, O. (2013). *FaceReader methodology*. Noldus Information Technology.

Lopatovska, I., & Arapakis, I. (2011). Theories, methods and current research on emotions in library and information science, information retrieval and human–computer interaction. *Information Processing & Management*, 47, 575–592. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2010.09.001>

Yuanyuan, M., Yang, Yunzi, Y., & Jiao, H. (2021). Exploring the Impact of Urban Built Environment on Public Emotions Based on Social Media Data: A Case Study of Wuhan. *Land*. 10. 986. 10.3390/land10090986. Ma, L., & Cao, J. (2019). How perceptions mediate the effects of the built environment on travel behavior? *Transportation*, 46(1), 175–197. DOI:10.1007/s11116-017-9800-4

Made in Vilnius. (2021 04 04). *Gedimino prospekto istorija*. <https://madeinvilnius.lt/vilniaus-istorija/senasis-vilnius/gedimino-prospekto-istorija/>.

Mehrabian, A. (1972). *Silent Messages: Implicit Communication of Emotions and Attitudes*. Wadsworth publishing Company.

Neakivaizdinis Vilnius. (2021 06 02). *Naujamiestis*. <https://neakivaizdinisvilnius.lt/studijos/naujamiestis/>.

Next city. (2019, December 18). *Architect Talks Design as an Engine for Healing and Change*. [<https://nextcity.org/daily/entry/mass-architecture-ted-talk-michael-murphy>]

Nikovski, D. N. (2015, January 16). *Patent. Method and System for Personalization of Heating, Ventilation, and Air Conditioning Services*. <https://patents.google.com/patent/US20160320081A1/en>.

Nold, C. (2009, May 15). *Emotional Cartography - Technologies of the Self*. <http://www.emotionalcartography.net/EmotionalCartographyLow.pdf>.

Nummenmaa, L., Glerean, E., Hari, R., & Hietanen, J. K. (2014). Bodily maps of emotions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 646–651. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321664111>

Pallasmaa, J. (2005). *The eyes of the skin: architecture and the senses*. John Wiley & Sons, Great Britain.

Pavlidis, I., Eberhardt, N., & Levine, J. (2002). Human behaviour: Seeing through the face of deception. *Nature*, 415(6867), 35. DOI:10.1038/415035a

Praškevičius, A., Ivanovienė, L., Gailys, R., Sadauskienė, I., Banienė, R., Lukoševičius, L., Ivanov, L., Labanauskas, L., Kašauskas, A., Vieželiienė, D., Obelienius, V., Stasiūnienė, N. O., Mongirdienė, A., Kuršvietienė, L., Šimonytė, S., Baranauskienė, D., Liobikas, J., Bernotienė, R., Arandaričkaitė, O., Stanevičienė, I., Šulinskienė, J. ir Dubickienė, S. (2014). *Dažniausiai vartojamų biomedicinos terminų ir sąvokų aiškinamasis žinynas (medikams): vadovėlis*. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Leidybos namai.

Plutchik, R. (1980). Chapter 1 – A general psychoevolutionary theory of emotion. *Theories of emotions*, Academic Press, 3–33. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-558701-3.50007-7>

Rankel, S. (2014). Future lighting and the appearance of cities at night: A case study. *Urbani Izziv* 25(1), 126–141. DOI:10.5379/urbani-izziv-en-2014-25-01-004

Reif, J., & Schmücker, D. (2021). Understanding tourists' emotions in time and space: Combining GPS tracking and biosensing to detect spatial points of emotion. *Journal of Spatial and Organizational Dynamics*, 9(4), 276–295.

Resch, B., Summa, A., Zeile, P., & Strube, M. (2016). Citizen-Centric Urban Planning through Extracting Emotion Information from Twitter in an Interdisciplinary Space-Time-Linguistics Algorithm. *Urban Planning*, 1, 114–127. DOI:10.17645/up.v1i2.617

Roe, J., & Aspinall, P. (2010). The Restorative Benefits of Walking in Urban and Rural Settings in Adults with Good and Poor Mental Health. *Health & place*, 17(1), 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2010.09.003>

Shoval, N., Schvimer, Y., & Tamir, M. (2018). Tracking technologies and urban analysis: Adding the emotional dimension. *Cities*, 72, 34–42.

Soheila A. T., Kamel M., & Hadi S. Y. (2019). Emotional maps based on social networks data to analyze cities emotional structure and measure their emotional similarity. *Cities* 86, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.08.005>

Tian, Z. (2020). *Relationship between Space, Human Behaviors, Emotions and Cognition*. PhD Dissertation. Pratt Institute.

Toet, A., Schreuder, A., Erp, J., Kallen, V. L. E. (2016). Emotional Responses to Multisensory Environmental Stimuli. *SAGE Open*, 6, 3–4. <https://doi.org/10.1177/2158244016630591>

Tulay, K., & Dilek, Y. (2020). Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review. *Frontiers of Architectural Research*, 9.1, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.005>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2020, February 14). *Vilnius Historic Centre*. <https://whc.unesco.org/en/list/541/>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2020, February 14). *The Old Town of Vilnius: the Rome of the East, Lithuania*. <http://www.unesco.org/archives/multimedia/document-102>

Vilniaus miesto gyventojų skaičius. (2020 10 15). <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTE2Mzk5MjEtZGU5Yi00MTU1LWFkOGEtYmQ2M2ZiM2RmYzQxIiwidCI6ImFmZjM2MzMLTNINWUtNDdlOC1hZjZkLTE4NTFkNmQxZmUzYiIsImMiOj9>

Wang, Z., He, Y., Hou, J., & Jiang, L. (2013). Human skin temperature and thermal responses in asymmetrical cold radiation environments. *Building and environment*, 67, 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.05.020>

Wee, B., De Vos, J., & Maat, K. (2019). Impacts of the built environment and travel behaviour on attitudes: Theories underpinning the reverse causality hypothesis. *Journal of Transport Geography*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102540>

Widacki, J. (2015). Discoverers of the Galvanic Skin Response. *European Polygraph*, 9, 209–220. <https://doi.org/10.1515/ep-2015-0008>

Zaman, B., & Shrimpton-Smith, T. (2006). *The Facereader: Measuring instant fun of use*. Nordic Conference on Human-Computer Interaction. Oslo, Norway. DOI:10.1515/ep-2015-0008

Zavadskas, E., Kaklauskas, A., & Šarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1, 131–139.

Zenju, H., Nozawa, A., Tanaka, H., & Ide, H. (2004). Estimation of Unpleasant and Pleasant States by Nasal Thermogram. *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems*, 124, 213–214. <https://doi.org/10.1541/ieejieiss.124.213>

Zou, Z., & Ergan, S. (2019). Where do we look? An eye-tracking study of architectural features in building design. *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, 439–446. DOI:10.1007/978-3-030-00220-6_52

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Kaklauskas, A., Bučinskas, V., Vinogradova, I., Binkytė-Vėlienė, A., Ubartė, I., Skirmantas, D., Petrik, L. 2019. INVAR Neuromarketing method and system // *Studies in informatics and control. National Institute for Research & Development in Informatics* 28: 357–370. ISSN 1220-1766. DOI:10.24846/v28i3y201912

Kaklauskas, A., Jokubauskas, D., Čerkauskas, J., Dzemyda, G., Ubartė, I., Skirmantas, D., Podviezko, A., Šimkutė, I. 2019. Affective analytics of demonstration sites. *Engineering applications of artificial intelligence* 81: 346–372. ISSN 0952-1976. DOI:10.1016/j.engappai.2019.03.001

Kaklauskas, A., Ubartė, I., Bucinskas, V., Skirmantas, D., Raupys, D. 2020. Affect-Based, Multimodal, Video Tutoring System for a Neuromarketing. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, 6(3), 01–24. DOI:10.20319/mijst.2020.63.0124

Kaklauskas, A., Ubartė, I., Vetloviene, I., Skirmantas, D. 2020. Intelligent Tutoring System for the Impact Analysis and Assessment of Online Ads and Intuitive Online Ads and Intuitive Online Ad Serving. *International Journal of Technology and Engineering Studies* 6, 16-22. DOI: <https://dx.doi.org/10.20469/ijtes.6.10003-1>

Straipsniai kituose leidiniuose

Kaklauskas, A., Binkytė-Vėlienė, A., Vetloviene, I., Skirmantas, D., Kuzminskė, A. 2020. An affective, intelligent, tutoring system for passive house neuromarketing. *EDULEARN 20: 12th international conference on education and new learning technologies online conference, 6–7 July 2020, Palma, Spain. IATED Academy*. ISBN 9788409179794. ISSN 2340-1117: 946–954. DOI:10.21125/edulearn.2020.0334

Summary in English

Introduction

Problem formulation

The built environment translates into hand-built architectural and engineering diversity that supports people in their everyday activities. The concepts of built environment and built design are primarily associated with urban or residential spaces. The innate human aspiration is to live and spend leisure time in an environment that provides joy, comfort, and harmony. People spend a considerable part of their lives at work, school, university, or in kindergarten. Depending on the purposes for which they are built, buildings perform certain functions or assist in creating a certain atmosphere. For example, kindergartens are often brightly coloured to make children feel comfortable. Schools, universities, and business centres are targeted at being functional. Supermarkets are also constructed to meet certain objectives, namely, to trigger emotions that encourage greater consumer spending. Architects place great focus on the design of workplaces, leisure areas, and even nap rooms in office facilities, as they improve people's productivity. Nap rooms exist in well-known corporations such as UBER. The sleep pods are installed at Google's headquarters. All of these examples demonstrate that the built environment can trigger emotions.

The problem statement of the present dissertation consists of assessing the impact of the built environment on human well-being. Biometric data-based technologies could offer a solution by providing a more objective assessment of human comfort in the built environment. Using the multi-criteria built environment data analysis and decision-support (UADARM) method and the smart decision-support system (UADARS) can lead to

sounder decision-making and vastly contribute to a greater degree of human physical and emotional wellbeing.

Relevance of the dissertation

Today, urban inhabitants constitute over half of the world's population. The figure is projected to increase to two-thirds by 2050. This means that two-thirds of the world's population will be daily surrounded by built environments, including buildings, parks, green spaces, etc. Limited to the construction of individual buildings and often devoid of any attempts at creating harmony within the urban environment, built facilities are intuitively purpose built to meet their primary purposes: kindergartens and playgrounds tend to be playful, public buildings tend to be functional, and parks tend to create a sense of proximity to nature.

The relevance of the study to the effects of the built environment is enhanced by the fact that urban populations are ageing and are predisposed to stress and mental disorders. In the context where the impact of the built environment on human health is virtually unknown, the present study will facilitate the development of a new and measurable awareness that, given the rise in the number of increasingly ageing populations constantly living in urbanised environments, it is crucial to create built environments that provide people with both physical and psychological comfort.

Research object

The dissertation subject is the built environment and the stakeholders involved and willing to achieve their objectives in this environment.

Aim of the dissertation

The dissertation aims to develop a multi-criteria built environment data analysis and decision-support method (UADARM) and system (UADARS) capable of contactless assessment of human comfort in the built environment, which would contribute to the creation of a sustainable and comfortable, human-oriented built environment.

Tasks of the dissertation

To achieve the dissertation aim, it is necessary to reach the following objectives:

1. To select the methods for the integrated multi-criteria analysis of the built environment and assess their reliability.
2. To identify the problems arising from the multicriteria built environment data analysis and decision-support system, UADARS.
3. To substantiate the usefulness of UADARS.
4. By modifying the UADARM method, create a smart, adaptive building management system SAPVS.
5. To carry out the metrological parameters check of the developed systems, as well as the consistency of the operational stages.

Research methodology

The dissertation is based on scientific publications and characteristics provided by technology sensor manufacturers. The development of the UADARM method and the UADARS system is based on an integrated approach to assessing the usefulness and investment value of the project and providing recommendations to INVAR (*Advanced of Project Utility and Investment Value Assessments along with Recommendation Provisions*). Contactless sensors and cameras are used to measure biometric data.

The scientific novelty of the dissertation

The dissertation provides the following results that are new in the realm of civil engineering:

1. Multi-criteria decision-making, statistical, decision-support, and biometric analysis methods and systems were integrated into the process of developing the multi-criteria built environment data analysis and decision-support system.
2. An innovative multicriteria built environment data analysis and decision-support system (UADARM) was developed, combining the INVAR method and non-contact measurement systems.
3. The innovative multicriteria contactless built environment analysis system UADARS and the SAPVS smart adaptive building management system were developed and piloted.

The practical value of the research findings

By combining design programs with BIM (Building Information Modeling) and city information modelling CIM (City Information Modeling) modules and including a large volume of data that would connect the emotional state of residents, it would be possible to have a comprehensive multi-layered map of the city with various easily accessible information, used in the subsequent stages of the design of the built environment.

It would be a tool that provides guidelines to municipalities, real estate, and project developers on how to create a built environment so that people can feel comfortable in it.

The results of the dissertation and the systems developed through the study were applied in practice in the following projects:

- Horizon 2020. Regeneration and Optimisation of Cultural Heritage in Creative and Knowledge Cities (ROCK). 2017–2020.
- Competence Centre for Smart, Educational, and Adaptive Buildings (SAVAS). 2018–2021.
- Horizon 2020. Building information modelling adapted to efficient renovation (BIM4REN). 2018–2020.

Defended statements

1. Biometric data (temperature, respiratory rate, pulse, and facial emotions) and multicriteria analysis and decision support methods were combined to develop an innovative multi-criteria analysis and decision support method

UADARM for the built environment. With the help of this method, a rationale was established for understanding the problems arising in complicated situations and for facilitating decision-making and modelling solutions through multi-criteria analysis of the built environment.

2. Using the UADARM method, an innovative multi-criteria analysis in a built environment and the decision support system was developed. It combines the theories and methods deriving from mathematics, civil engineering, computer science, economics, decision-making, and other fields. UADARM is a set of methods that are designed to solve complex problems in civil engineering and facilitate objective decision-making by stakeholders.
3. In comparison to self-diagnostic tests, the multi-criteria built environment data analysis and the decision-support system allow for a more objective assessment of the quantitative and qualitative aspects of the built environment based on emotional and physiological indicators.
4. The multi-criteria built environment data analysis and decision-support system help to identify negative factors and select the most reasonable personalised recommendations for specific individuals who seek to raise the degree of their comfort in the built environment.

Approval of the research findings

Five articles on the dissertation subject were published in scientific journals. The list of publications is presented in the "List of the author's scientific publications on the topic of the dissertation" section of the dissertation.

The results of the research carried out during the study were made public at two international conferences:

- A. Kaklauskas, A. Velykorusova, D. Skirmantas. Development of the video neuroadvertising method and recommended system. The 13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. May 16–17, 2019, Lithuania.
- Kaklauskas, Artūras; Binkytė-Vėlienė, Arūnė; Vetlovienė, Ingrida; Skirmantas, Darius; Kuzminskė, Agnė. An affective, intelligent, tutoring system for passive house neuromarketing // EDULEARN 20: 12th international conference on education and new learning technologies, July 6th-7th, 2020: conference proceedings. Valencia: IATED Academy, 2020. ISBN 9788409179794. p. 946-954. (EDULEARN proceedings, ISSN 2340-1117).

Structure of the dissertation

This research dissertation comprises a general overview of the dissertation, three chapters, general conclusions, a list of references, and a list of author publications. The total volume of the dissertation is 138 pages, excluding annexes, 41 pictures, 27 tables, and 9 numbered formulas.

1. Built environment and comfort in it – analysis of scientific literature

The first chapter contains an overview of previous research on human comfort in the built environment. The impact of the built environment on human comfort is analysed by studying human emotions triggered by such an environment. Personalised climate control systems and adaptation of virtual reality to visualisation of the built environment before starting construction work are covered. The importance of BIM (Building Information Modeling) and CIM (City Information Modeling) integration for urban management is stressed.

The built environment relates to all aspects of our lives, including buildings, infrastructure, roads, bridges, and parks. The built environment is usually described as consisting of the built environment that provides people with facilities for living, working, and rest.

The built environment has a significant emotional impact. The notion of the built environment encompasses streets, parks, and buildings. On a practical and emotional level, everyone is affected by both the appearance of a building in its context and its indoor spaces. Better awareness of the impact of ugly architecture on people's lives would help avoid mistakes made in the past.

Yuan et al. (2021) studied the impact of the built environment in Wuhan on public emotions based on social media data. The influence of the design of the built environment on emotions, measured through neurophysiological correlations and subjective indicators, was studied by Bower et al. (2019). Wee et al. (2019) explored the impact of the built environment on people's travel behaviour. MA and Cao et al. (2019) analysed how perception of the built environment mediates travel behaviour. Kent et al. (2017) found that the perceived assessment of the properties of built environments was more likely to be associated with subjective wellbeing.

Individual attempts have been made to link human emotional states to environmental and local parameters. Nummenmaa et al. (2013) used a topographic self-reflection tool to reveal that different emotional states are associated with topographically different and culturally universal sensations of the body. Ferguson et al. (2018) analysed the impact of the built environment on mental health. However, the self-evaluation method is largely subjective. Reliability-related challenges were also encountered in the development of city maps through social media platforms such as Twitter (Resch et al. 2016), Foursquare (Williams 2011), Instagram, and Flickr (Wagner, Figueroa-Alfaro 2016). Data from social media platforms are unreliable due to experimental evidence that emotional infection occurs without direct human interaction: for emotions to spread, it is sufficient to take a photo of a friend expressing emotion and put it on social media, even without any verbal clues.

Most of the studies conducted to date were performed using contact sensors or contactless devices measuring emotions on contact or at a short distance. Wearable sensors "Affectiva Q-sensor" were used in previous research by Jeongmi et al. (2015) to study the emotions of tourists travelling to Philadelphia (USA). Electrodermic activity (Kim, Fesenmaier et al., 2015) was measured by measuring the conductivity and temperature of

human skin contact as well as by motion analysis. Reif et al. (2021) explored the understanding of emotions in time and space using GPS and biometric sensors. However, extrapolating the results of the study to large groups of tourists is impossible as, unfortunately, the study involved only two individuals whose electrodermal activity was measured.

Kaklauskas et al. (2020) analysed the impact of emotional and biometric states on the emotionally perceived value of a real estate in the built environment. The study of negative emotional reactions in the built environment is crucial, as efforts to reduce anxiety in public spaces are becoming increasingly relevant for societies where anxiety is seen as a symptom of modern urban life (Dillon, 2005). Lederbogen et al. (2011) linked the urban environment to stress. Studies show that urban upbringing and urban life have an impact on social stress assessment. Urban open space planning is a technical and creative process that consists of interventions in urban areas, incorporation of restructuring plans, and due attention to community needs. The design of the built environment rarely involves any elements aimed at improving human mental health (Hoisington, 2019).

2. Multi-criterion analytical method and system for the built environment

This chapter of the doctoral dissertation covers the development of the multi-criteria built environment data analysis and decision-support system (UADARM) used for the analysis of the built environment and for studying a range of urban spaces.

Previous research into the human-centred built environment was never carried out remotely. Wearable sensors were the most widely used. A range of types of subjective data was obtained from social media through self-diagnostic questionnaires or applications. However, to properly assess the impact of the built environment on target groups, data collection needs to be integrated to allow determining a range of correlations.

For analysing several criteria of the built environment at a time, NeuroSolutions tables establishing several values and drawing up a number of recommendations for stakeholders should be used. This solves the scientific problem and deepens the problem awareness in comparison to the one that existed in previous research. The problem analysed through the proposed method has never been the subject of previous research. Therefore, by employing the UADARM method and the UADARS system, this study contributes to the research on the human-centric built environment.

The UADARM method consists of seven steps (Fig. S2.1)

Stage 1. Formulation of the problem. Previous research on the human-centric built environment was carried out using contact biometric sensors and social surveys. Aiming to determine a large number of correlation coefficients, however, a range of data (affective attitudes, emotional and physiological states, valence, arousal, pollution, and weather conditions) need to be collected in an integrated manner. Big data allows for defining the aspects of the built environment more accurately.

Stage 2. Review of previous research. In the second stage, a review of previous research was made to cover previous studies on the human-centred built environment.

Stage 3. Collection of data. To get an overall picture of the level of comfort provided by the built environment to stakeholders, it is necessary to evaluate the built environment

itself and to collect large amounts of data, including meteorological parameters, indicators of human-affected states, and physiological data (respiration rate, heart rate, facial temperature). A comprehensive assessment of these indicators results in a comprehensive picture of factors of the built environment.

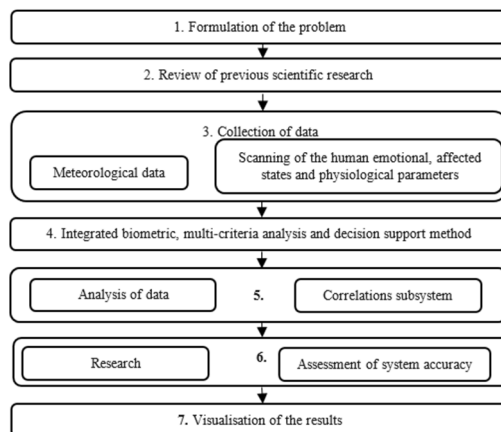


Fig. S2.1. UADARM method

Stage 4. UADARM was developed as a multi-criteria analysis and decision-support method that provides the assessment of biometric data (temperature, respiratory rate, pulse, facial emotions). It pools together data collection and analysis methods, including case study analysis, decision-support, determination of the importance of criteria, Big Data Analytics, Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA) and biometric methods.

Stage 5. Statistical analysis of the data and determination of correlations was carried out to quantify the human-centred built environment. Statistical analysis was based on various metrics of the built environment of a human touch with the values of correlation coefficients and their impact on the population.

Stage 6. Verification of the UADARM method and the UADARS system. This stage includes system verification processes that involve a more comprehensive analysis of measurement accuracy, as well as proper selection and testing of contactless equipment. The appropriateness and reliability of individual contactless measurement solutions were assessed for various locations in Vilnius and a variety of situations in Vilnius.

Stage 7. Visualisation of the results. The final stage involved a visual representation of the research data. This method was applied in practice during the Vilnius Light Festival in 2019 and 2020. In 2019, the illumination of the Monument of the Three Crosses was put into direct dependence on human emotional states. In 2020, a laser projection on the buildings of Vilnius Old Town employed the same model.

The second chapter also contains statistical data analysis. The happiness index correlations were determined for six locations in Vilnius (Table S2.1) and the sadness index correlations for the same locations (Table S2.2) were determined.

Table S2.1. Correlation of happiness index depending on locations in Vilnius (developed by the author)

Location of the measurement system in Vilnius	Pilies Str. 1	King Mindaugas Bridge	Intersection Islandijos Str. and Pylimo Str.	Intersection Gedimo Ave. and Lukiškių Square	Intersection Kalvarijų Str. and Ozo Str.	Santariskės Str.
Pilies Str. 1	1	0.04 (550)	0.16 (516)	0.42 (624)	0.01 (528)	0.03 (529)
King Mindaugas Bridge		1	0.14 (476)	0.08 (552)	0.35 (537)	0.44 (549)
Intersection Islandijos Str. and Pylimo Str.			1	0.29 (516)	0.08 (480)	0.06 (468)
Intersection Gedimo Ave. and Lukiškių Square				1	0.03 (530)	0.10 (529)
Intersection Kalvarijų Str. and Ozo Str.					1	0.35 (514)
Santariskės Str.						1

The number of days of the experiment is given in parentheses. The results show that urban spaces do not correlate with each other in terms of the happiness index, i.e. there are no strong dependencies. Therefore, it can be safely said that the happiness index in different parts of the city is different.

Slightly different results were received from the study on the sadness index. The correlation results are shown in Table S2.2.

Table S2.2. Correlation of sadness index depending on locations in Vilnius (developed by the author)

Location of the measurement system in Vilnius	Pilies Str. 1	King Mindaugas Bridge	Intersection Islandijos Str. and Pylimo Str.	Intersection Gedimo Ave. and Lukiškių Square	The intersection between Kalvarijų Str. and Ozo Str.	Santariskės Str.
Pilies Str. 1	1	0.25 (550)	0.69 (516)	0.72 (623)	0.14 (528)	0.21 (529)
King Mindaugas Bridge		1	0.17 (476)	0.22 (552)	0.49 (537)	0.66 (549)
Intersection Islandijos Str. and Pylimo Str.			1	0.74 (516)	0.12 (480)	0.13 (468)
Intersection Gedimo Ave. and Lukiškių Square				1	0.12 (530)	0.18 (529)
Intersection Kalvarijų Str. and Ozo Str.					1	0.59 (514)
Santariskės Str.						1

A strong correlation of the sadness index was received using the results collected from the measurement points installed at the intersection of Pilies Str. 1 and the intersection between Islandijos Street and Pylimo Street. The correlation coefficient for these locations stands at 0.69. An even stronger link to the correlation coefficient amounting to 0.72 was recorded at the measuring points on the intersection between Pilies Street 1 and Gediminas Avenue and near Lukiškės Square. The strongest correlation was recorded in measuring points on the intersection between Islandijos Street and Pylimo Street as well as on the intersection between Gedimino Avenue and Lukiškių Square. The respective correlation coefficient stands at 0.74.

The author performs a facial emotion analysis of exhibition visitors at SUPER-NAMAI 2017 (SUPERHOUSES 2017) in Vilnius, Lithuania. The results of this study are briefly covered below. Table S2.3 shows correlations between emotions of happiness and negative emotions experienced by visitors arriving and leaving and the temperature of their faces. Let us look, for example, at the correlations linking the mean facial temperature of arriving and leaving visitors to their emotions of happiness and negative emotions on 22 April 2017. The recorded inverse correlation means that when negative emotions subside, the facial temperature of visitors arriving and leaving increases. An analysis of the emotions of happiness experienced by arriving and leaving visitors revealed a direct correlation with their facial temperature variations. The direct correlation means that when the emotions of happiness increase, the facial temperature of arriving and leaving visitors increases as well. The equipment used for remote analysis of a crowd is noted for its high accuracy rates. Furthermore, the average dependencies gained were also quite strong (see Table S2.3). These, together with the high rates of accuracy of the equipment used, confirm that the data received conform to the requirements for verification and validation.

Table S2.3. Correlations between the facial emotions and facial temperature of visitors on 22 April 2017 (developed by the author)

Comparative parameters	Mean temperature, °C	Happiness, arriving visitors	Happiness, leaving visitors	Negative emotions, arriving visitors	Negative emotions, leaving visitors
Mean temperature (°C)	–	0.5161	0.5000	–0.5161	–0.5000
Happiness, arriving visitors		–	0.7876	–1.0000	–0.7876
Happiness, leaving visitors			–	–0.7876	–1.0000
Negative emotions, arriving visitors				–	0.7876
Negative emotions, leaving visitors					–

3. Personalised management of building spaces

This chapter describes the SAPVS Smart Adaptive Building Management System developed during the SAVAS Project (2018–2021) and allows for personalised management of the parameters of the indoor built environment depending on the emotional and physiological state of the human.

The smart indoor comfort management system (SAPVS) analyses the physical and emotional parameters of people indoors and adjusts the parameters of the air conditioners and heaters accordingly; it also controls the level of illumination, the colour of light and the relative humidity of the air, the musical background, and the scents on the premises. The seven stages of system development are presented in Fig. S3.1. The testing and piloting of the system developed during the SAVAS project were carried out at Vilnius city business centre “Narbuto 5”. It is a modern six-story building with A-level energy efficiency. The building is located in the central part of Vilnius, on Narbuto Street.

During the first stage, the multi-criteria analysis method, UADARM, was adapted for use by the smart adaptive building management system (SAPVS).

The second stage of the system development involved an analysis of the engineering networks, building plans, climate management systems, and other parameters of the business centre. Options to improve modern climate control and lighting control systems in the building were analysed and their possible integration into existing engineering systems. The system concept was developed and presented. The premises intended to install additional data collection equipment and climate and environmental control units were inspected and assessed.

In the third stage, measuring cameras were installed. Cameras with installed facial scanning software FaceReader were connected to the system. Anonymised states of emotional arousal were collected and systematised. The impact of this emotional parameter on performance and overall human emotional well-being was studied. Other correlations of environmental parameters with human emotional states were identified.

In the fourth stage, an algorithm was developed to allow individual control and adaptation of ambient parameters to achieve maximum human comfort, relaxation, and freedom from stress. Software was developed that runs the algorithm task. During the pilot test, the weaknesses of the algorithm were analysed, and software corrections were made.

During the fifth stage, the development of all the equipment to control the ambient parameters was completed, and tests and measurements were carried out on the ground. With the aim of combining many variable parameters, the study analysed the impact made on human comfort while on the premises by individual parameters, such as temperature, relative humidity, illumination level, illumination colour, scents, and music.

The sixth stage involved the collection and storage of anonymised data of the people in the building (arousal level, heart rate, breathing rate) and data on ambient parameters.

The seventh stage consisted of the launch, piloting, and verification of the SAPVS system. The INVAR method was used to facilitate decision making. Stakeholder recommendations were made on the parameters that could be further enhanced.

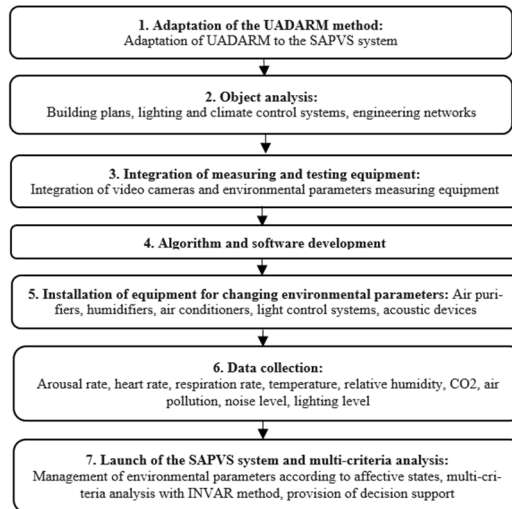


Fig. S3.1. SAPVS system development stages

Personalised management of indoor spaces through the SAPVS system works in stages and using indoor quality metrics (lighting strength and colours, scents, music, video, temperature, humidity, air pollution, brain waves, vibrations, etc.) and user AFFECT metrics (Fig. S3.2.). Personalised management of indoor spaces operates in the following stages:

1. Quality parameters of indoor and mobile workspaces in specific geographical locations are managed.

2. Data on room temperature, humidity, air pollution, lighting strength and colour, scents, number of users, etc., is collected through a range of contactless sensors.

3–5. The emotional, affective and physiological states of users, their valence, arousal, workability (learning efficiency), interestingness and freedom from boredom (AFFECT) metrics are determined by using AFFECT portable and remote sensor sets equipped with data processing equipment.

6–7. The collected data is transmitted through the 4G or another online network to the Solution Support System (SSS). The collected data are stored in a local database or a smart cloud database.

8. The user selects the type of service.

9. Based on the selected type of service, the SSS runs a multi-criteria analysis of the data received. The collected data is evaluated and analysed, considering circadian rhythm, seasons, and days of the week.

10–12. On the basis of the multi-criteria analysis and available data, NeuroSolutions and neurocorrelation tables are compiled. Neuro correlation tables are based on equations from the self-learning regression model. The functioning of these equations is well described by algorithms to change emotional and affective states. Based on the NeuroSolutions tables, the calculation of values (e.g., user-perceived, hedonic, utilitarian) and the combinations of space quality parameters over a given period of time are determined.

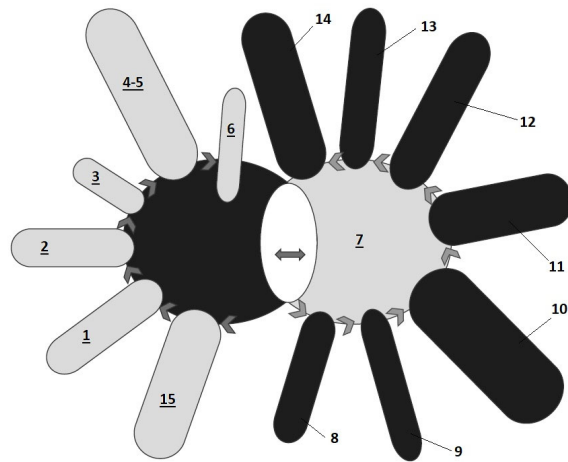


Fig. S3.2. Operational stages of personalised quality management of indoor spaces using the SAPVS system

13. The results of personalisation of the indoor space quality are stored on the SSS database.

14. The personalisation parameters of the indoor spaces are transferred to indoor spaces.

15. Configuration, change and support of indoor space quality under new personalised parameters is carried out.

The chapter describes in detail the constituent parts of the SAPVS system, including the measuring equipment and the equipment for changing the ambient parameters. A detailed explanation of the software user interface is provided to change the ambient parameters. The control algorithm is also described.

In the context of the analysis of options for the SAPVS system, a system of evaluation criteria was developed. A total of 17 criteria were selected for evaluation: difference in arousal level from average, temperature difference from user's initial value, relative humidity, luminous flux emitted, noise level, the concentration of CO₂, particulate matter PM_{2.5}, particulate matter PM₁₀, particulate matter PM₁₀₀, volatile organic compounds T_{voc}, air purifier, the colour of light, music, scent, air fan, cost of the management system, amount of energy consumed.

The options A1-A8 (A_x) of the SAPVS management system were developed. Initial data on the options are presented in Table S3.1. The user selected a temperature of 20 °C. The level of arousal was set in the management program at 0.35. The calculation of the temperature difference was based on the initial temperature set at +20 °C. The difference in the level of arousal was calculated based on the specified level of arousal in the control program set at 0.35. The cost of the smart control system in options A₁–A₇ is EUR 3459.

Table S3.1. Option input data (collected by the author)

Criteria	Weight	Options							
		*A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
The difference in arousal levels from the established level of arousal, in points	0.111	-0.05	0.25	0.15	0	0.15	0.25	0.35	0.05
ΔT from the user's initial value, °C	0.101	-0	1	2	3	4	5	5	2
Relative humidity, %	0.088	-40	45	50	40	55	60	65	40
Luminous flux, Lum	0.085	+600	700	800	600	500	400	300	600
Noise level, dB	0.099	-38	50	51	65	67	67	67	67
CO ₂ concentration, ppm	0.061	-442.69	489.83	497.23	503.63	1049.1	568.34	652.23	476.89
PM _{2.5} , µg/m ³	0.046	-0.91	0.87	2.41	2.64	66.69	134.74	154.36	184.21
PM ₁₀ , µg/m ³	0.046	-0.9	0.8	2.2	2.4	68.4	149.6	158.23	186.7
PM ₁₀₀ , µg/m ³	0.039	-0.9	0.8	2.2	2.4	68.4	149.6	186.7	186.7
T _{voc} , µg/m ³	0.033	-0.67	0.66	0	0.15	0.41	0.3	0.28	0.28
Air purifier	0.041	+1	1	1	1	0	0	0	0
Light colour adjustment	0.034	+0	1	1	0	1	1	1	0
Music adjustment	0.044	+0	1	1	0	1	1	1	0
Scent adjustment	0.041	+0	1	1	0	1	1	1	0
Fan operation	0.025	+0	0	0	0	1	1	1	0
Price of the management system, EUR	0.057	-3459	3459	3459	3459	3459	3459	3459	0
Energy consumption over a 6 min period, kWh	0.049	-0.145	0.128	0.128	0.114	0.127	0.126	0.127	0.141

After receiving the initial data on the options, an estimated normalised decision-making matrix was developed. The objective of this stage of the study was to obtain dimensionless measured values from comparable indicators to compare all indicators that come in a range of measurement units. This was followed by the calculation of the amounts of the minimising S_{-j} and maximising S_{+j} and estimated normalised indicators describing each option. The calculation of the values of Q_j shows that option A₁ has the highest significance rate among other options and stands at 0.1658. Its degree of efficiency is 100% (Table S3.2).

Table S3.2. Significance and utility of options (developed by the author)

Alternatives parameter	SAPVS system alternatives							
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
Significance Q_j	0.1671	0.1437	0.1609	0.1461	0.1105	0.0957	0.0879	0.0954
Order of Priority	1	4	2	3	5	6	8	7
Degree of efficiency, (%)	100	86.33	96.53	87.07	66.36	57.6	52.92	56.46

Multi-criteria analysis employing the comprehensive proportional assessment method allows stakeholders to choose an appropriate option. Based on formulas 2.13 (INVAR Step 5) and 2.14 (INVAR Step 6), digital recommendations were calculated and provided to improve indicators for each option. This allowed for an assessment of the extent to which the value of the option would improve, should the parameter of the option be improved to the maximum level. Partial information is provided in Table S3.3.

Table S3.3. Quantitative and qualitative data on options (developed by the author)

Criteria for describing options	*	Units of measurement	Weight	Comparison of Options				
				Possibility to improve the analysed criterion (in %)				
				Possible increase (in %) in the value of the option affected by the previous increase in the value of the criterion				
				A ₁	A ₂	...	A ₇	A ₈
Change in arousal (from average level)	–	points	0.111	0.05 (100%) (11.11%)	0.25 (100%) (11.11%)	...	0.35 (100%) (11.11%)	0.05 (100%) (11.11%)
Temperature difference from the user's initial value	–	points	0.101	0 (0%) (0%)	1 (100%) (10.13%)	...	5 (100%) (10.13%)	2 (100%) (10.13%)
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Cost of the management system	–	EUR	0.057	3459 (100%) (5.72%)	3459 (100%) (5.72%)	...	3459 (100%) (5.72%)	0 (0%) (0%)
Energy consumption over 6 minutes	–	kWh	0.049	0.144788 (21.35%) (1.05%)	0.127694 (10.82%) (0.53%)	...	0.127188 (10.46%) (0.51%)	0.1406 (19%) (0.93%)

The third chapter also provides an analysis of the results of the SAPS system. The work of the system is described, changes in the management of the changeable parameters are analysed, and results are covered.

General conclusions

1. Based on the study of previous research on the effects of the built environment on humans, it was found that the environment affects well-being. This includes not only urban areas, but also work, learning, and leisure spaces. Previous research was found to be based on self-diagnostic tests and contact sensors to measure physiological parameters in humans. The participants in the self-diagnostic tests personally described their level of comfort in the built environment. However, other scientific studies have found that people are not always able to interpret emotions correctly, suggesting that human perception of comfort in the built environment may differ from the real situation.
2. A multi-criteria built environment analysis and decision-support method (UADARM) was developed. It combines theories derived from mathematics, civil engineering, computer science, economics, decision making, and

other fields. The method offers a comprehensive assessment of the built environment not only based on technological or economic aspects but also on the assessment of the level of human comfort experienced in the built environment. UADARM is a set of methods that will allow stakeholders to solve complex problems in construction engineering in the process of creating and developing the built environment even before the start of construction work.

3. Using the UADARM method, a system was developed that allows detecting the level of human comfort in the built environment through studying human emotions and enables the portrayal of the experienced emotions in real-time by illuminating buildings, monuments or spaces in various colours. In practice, this method was employed at the Vilnius Light Festival in 2018 and 2019. Vilnius City Municipality used this excellent tool to see how the city's residents and guests felt.
4. The analysis of human comfort levels in the built environment was carried out in six locations in Vilnius city using contactless measurement sensors. The following parameter correlations were obtained:
 - 4.1. The correlation coefficient between outdoor temperature and human face temperature was 0.907957. This shows a very strong dependence between the two parameters. Since the impact of air temperature on human skin is excessively large and the change in skin temperature itself is small in size, it is concluded that the use of skin temperature sensors installed in outdoor systems is ineffective.
 - 4.2. A very low linear correlation coefficient has been established between facial skin temperature and the happiness index, which is 0.024101. A low correlation of 0.259659 was established between the sadness index and the temperature of the facial skin. This also demonstrates that measuring skin temperature in field analysis outdoors is ineffective.
 - 4.3. When measuring the temperature of the facial skin indoors, the obtained correlations confirm that it makes sense to measure the temperature of the facial skin indoors for the analysis of people's comfort and emotional level. The correlation obtained of 0.7876 shows that as the emotion of happiness increases, so does the facial temperature of incoming and outgoing visitors.
5. The correlation coefficients obtained between the emotions of the people and different locations in the city of Vilnius showed that the level of comfort experienced by the people in different urban spaces differs. Since the correlations were determined from large amounts of data collected over 550 days, it can be concluded that it was influenced by the built environment and not by other factors.
6. By modifying the UADAR method, a smart indoor control system SAPVS was developed, which is useful for controlling air conditioners, air heaters, air purifiers, air fans, humidifiers, light colour and intensity, vibroacoustic devices, and musical background based on human physiological parameters. By controlling these parameters, greater comfort in the premises is possible.

7. Seven options have been developed for changing indoor parameters using the SAPVS system and one option for doing the same without using the SAPVS system (A₈). By using the multi-criteria decision-support method INVAR, the optimal option (A₁) was identified. Although option A₈ works without the SAPVS system, which reduces the cost of changing the indoor parameters, it ranked 7 based on the results of the multi-criteria analysis. This shows that it is important for people to be able to adjust the indoor parameters to feel more comfortable.
8. For each option, 3 criteria were selected that could be improved and calculations were made as to how this would affect the value gains of the option. For the increase of the alternative value, the greatest influence would be the improvement of the value of the temperature deviation from the desired value, the difference of arousal from the set level and the value of the light flux criterion. It is estimated that improving the temperature differential would increase the value of the alternatives by up to 10.13%. Improving the difference in excitement level could increase the value of alternatives by up to 11.11%, while improving the level of luminous flux could increase the value of alternatives by up to 14.16 %.

Priedai

- A priedas.** Aplinkos valdymo sistemų patentų palyginimas
- B priedas.** Aplinkos parametrų matavimo prietaiso charakteristikos
- C priedas.** Normalizuota sprendimų matrica
- D priedas.** Kiekybinė ir kokybinė informacija, susijusi su alternatyvomis

A priedas. Aplinkos valdymo sistemų patentų palyginimas

A1.1 lentelė. Aplinkos valdymo sistemų patentų palyginimas

Table A1.1. Comparison of environment management system patents

Kontroliuojamas patalpos parametras	Oro judėjimo greitis/srautas	+		+		+
	Oro valytuvas	+				
	Deguonies lygis	+				
	Garso lygis/muzika	+				
	Patalpos apšvietimas	+				
	Patalpos santykinis drėgnumas	+			+	+
	Patalpos temperatūra	+	+	+	+	+
Matuojamas aplinkos parametras	Triukšmo lygis	+				
	Deguonies lygis	+				
	Oro švarumas	+				
	Apšvietumo lygis	+		+		
	Santykinis drėgnumas	+		+	+	
	Vidaus aplinkos temperatūra	+		+	+	
	Oro slėgis	+				
	Oro judėjimo greitis			+		
Matuojamas žmogaus fiziologiniai parametras	Galvaninis odos aktyvumas		+			
	Vartotojo aktyvumo lygis		+	+	+	
	Širdies elektriniai parametrai	+				
	Kraujo įsisotinimas deguonimi	+				
	Smegenų bangos	+				
	Kvėpavimo dažnis	+				
	Kūno/odos temperatūra	+	+		+	
	Pulsas	+	+		+	
	Kraujo spaudimas	+			+	
Patento pavadinimas ir numeris	US20070057077A1 - Aplinkos kontrolės sistema ir jos metodas US20160320081 - A1 Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo paslaugų individualizavimo metodas ir sistema US20120031984A1 - Personalizutas pastato komforto vadymas Personalized Building Comfort Control WO2016036062A1 - Kambaryo temperatūros ir drėgmės kontrolės metodas ir įtaisas US6318113B1 - Individuali oro kondicionavimo sistema					

B priedas. Aplinkos parametrų matavimo prietaiso charakteristikos

B1.1 lentelė. Aplinkos parametrų matavimo prietaiso charakteristikos

Table B1.1. Characteristics of the device for measuring environment parameters

Matuojamas parametras	Matavimo diapazonas	Skiriamoji geba	Paklaida	Jutiklio tipas
Kietosios dalelės KD _{2,5}	0–500 µg/m ³	0,1 µg/m ³	10% nuo nuskaitymo (0–300 µg/m ³ @25 °C, 10 %–60 % RH)	lazerio dalelių jutiklis, šviesos sklaidos metodas
Kietosios dalelės KD ₁₀	0–800 µg / m ³	0,1 µg/m ³	10% nuo nuskaitymo (25 °C, 10% – 60% RH)	lazerio dalelių jutiklis, šviesos sklaidos metodas
Temperatūra	–20 °C–60 °C	0,01 °C	<±0,6 °C @ 25 °C	
Santykinis drėgnumas	0–99%	0,01 %	<± 4,0% (diapazone 20%–80%)	
CO ₂	0–5000 ppm	1 ppm	±50ppm +3% nuo nuskaitymo (25 °C, 10 %–60 %RH)	nedispersinis infraraudonųjų spindulių detektorius (NDIR)

B1.2 lentelė. Aplinkos parametrų matuoklio MSD-1828C/D kalibravimo duomenų rezultatai

Table B1.2. Calibration results of the environment parameters meter MSD-1828C/D

Įrenginio pavadinimas ir serijos numeris	KD _{2,5} , µg/m ³	KD ₁₀ , µg/m ³	CO ₂ , ppm	LOJ, mg/m ³	Temperatūra, °C	Santykinis drėgnumas, %
Etaloninė reikšmė, E	72,5	110,5	517	0,531	15,05	33,01
MSD-1828C/D S/N B220101198	75,4	110,9	522	0,515	15,04	34,87
MSD-1828C/D S/N B220101198 nuokrypis nuo etaloninės reikšmės	–2,9	–0,4	–5	0,016	0,01	–1,86
MSD-1828C/D S/N B220101199	77,3	98,7	508	0,572	15,08	34,89
MSD-1828C/D S/N B220101199 nuokrypis nuo etaloninės reikšmės	–4,8	11,8	9	–0,041	–0,03	–1,88

C priedas. Normalizuota sprendimų matrica

C1.1 lentelė. Normalizuota sprendimų matrica

Tabel C1.1. Normalized decision matrix

Kriterijai apibūdinantys alternatyvas	Matavimo vienetai	Reikšmingumai	Alternatyvos							
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
ΔS susijaudinimo skirtumas nuo nustatyto susijaudinimo lygio, balai	- balai	0,111	0,0044	0,022	0,013	0	0,013	0,022	0,031	0,004
ΔT temperatūros skirtumas nuo vartotojo nustatytos optimalios pradinės vertės	- °C	0,101	0	0,005	0,009	0,014	0,018	0,02	0,02	0,009
Santykinis drėgnumas	- %	0,088	0,009	0,01	0,011	0,009	0,012	0,013	0,015	0,009
Šviesos srautas	+ Lum	0,085	0,011	0,013	0,015	0,011	0,009	0,008	0,006	0,011
Triukšmo lygis	- db	0,099	0,008	0,011	0,011	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
CO ₂ koncentracija	- ppm	0,061	0,005	0,006	0,006	0,007	0,014	0,007	0,008	0,006
KD _{2,5}	- μg/m ³	0,046	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,006	0,011	0,013	0,015
KD ₁₀	- μg/m ³	0,046	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,006	0,012	0,013	0,015
KD ₁₀₀	- μg/m ³	0,039	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,005	0,01	0,012	0,012
LOJ	- μg/m ³	0,033	0,008	0,008	0	0,002	0,005	0,004	0,003	0,003
Oro valytuvai	+ balai	0,041	0,0102	0,0102	0,0102	0,0102	0	0	0	0
Šviesos spalvos derinimas prie komforto/susijaudinimo	+ balai	0,034	0	0,007	0,007	0	0,007	0,007	0,007	0
Muzikos derinimas prie komforto/susijaudinimo	+ balai	0,044	0	0,009	0,009	0	0,009	0,009	0,009	0
Kvapų derinimas prie komforto/susijaudinimo	+ balai	0,041	0	0,008	0,008	0	0,008	0,008	0,008	0
Ventiliatoriaus veikimas	+ balai	0,025	0	0	0	0	0,008	0,008	0,008	0
Valdymo sistemos kaina	- Eur	0,057	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0
Suvartojamas energijos kiekis per 6 periodą	- kWh	0,049	0,007	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006	0,007
Suma svertinių koeficientų normalizuotų maksimalizuotų susijusių su alternatyvomis S_{+j}			0,022	0,047	0,049	0,022	0,042	0,04	0,038	0,0113
Suma svertinių koeficientų normalizuotų minimizuotų susijusių su alternatyvomis S_{-j}			0,051	0,0768	0,0664	0,0599	0,1074	0,1319	0,1474	0,0894
Alternatyvos reikšmingumas $\bar{Q}_j$			0,1671	0,1437	0,1609	0,1461	0,1105	0,0957	0,0879	0,0954
Alternatyvos prioritetiskumas			1	4	2	3	5	6	8	7
Alternatyvos naudingumo laipsnis, (%)			100%	86,33%	96,53%	87,07%	66,36%	57,6%	52,92%	56,46%

„+“ simbolis parodo, kad didesnė kriterijaus reikšmė turi didesnę reikšmingumą, o „-“ parodo, kad mažesnė kriterijaus reikšmė yra svarbesnė vartotojui.

D priedas. Kiekybinė ir kokybinė informacija, susijusi su alternatyvomis

D1.1 lentelė. Kiekybinė ir kokybinė informacija, susijusi su alternatyvomis (sudaryta autoriaus)

Table D1.1. Quantitative and qualitative data on options (developed by the author)

Kriterijai apibūdinantys alternatyvas	Matavimo vienetai	Reikšmin-gumai	Palygintos alternatyvos Galimybė pagerinti analizuojamą kriterijų % Galimas alternatyvos vertės padidėjimas %, įtakojamas pirmiau padidėjusios kriteri- jaus vertės							
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
1	23	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΔS	-balai	0.111	0,05 (100%) (11,11%)	0,25 (100%) (11,11%)	0,15 (100%) (11,11%)	0 (0%) (0%)	0,15 (100%) (11,11%)	0,25 (100%) (11,11%)	0,35 (100%) (11,11%)	0,05 (100%) (11,11%)
ΔT	-balai	0.101	0 (0%) (0%)	1 (100%) (10,13%)	2 (100%) (10,13%)	3 (100%) (10,13%)	4 (100%) (10,13%)	5 (100%) (10,13%)	5 (100%) (10,13%)	2 (100%) (10,13%)
Santyki- nis drėg- numas	-%	0.088	40 (0%) (0%)	45 (11,11%) (0%)	50 (20%) (1,76%)	40 (0%) (0%)	55 (27,27%) (2,41%)	60 (33,33%) (2,94%)	65 (38,46%) (3,39%)	40 (0%) (0%)
Šviesos srautas	+Lum	0.085	600 (33,33%) (2,83%)	700 (14,29%) (1,21%)	800 (0%) (0%)	600 (33,33%) (2,83%)	500 (60%) (5,1%)	400 (100%) (8,50%)	300 (166,67%) (14,16%)	600 (33,33%) (2,83%)
Triukš- mo lygis	-dB	0.099	38 (0%) (0%)	50 (24%) (2,39%)	51 (25,49%) (2,54%)	65 (41,54%) (4,14%)	67 (43,28%) (4,31%)	67 (43,28%) (4,31%)	67 (43,28%) (4,31%)	67 (43,28%) (4,31%)
CO ₂ kon- centra- cija	-ppm	0.061	442,69 (0%) (0%)	489,83 (9,62%) (0,58%)	497,23 (10,97%) (0,66%)	503,63 (12,1%) (0,73%)	1049,1 (57,8%) (3,49%)	568,34 (22,11%) (1,34%)	652,23 (32,13%) (1,94%)	476,89 (7,17%) (0,43%)
KD _{2,5}	-μg/m ³	0.046	0,91 (4,4%) (0,20%)	0,87 (0%) (0%)	2,41 (63,9%) (2,92%)	2,64 (67,05%) (3,06%)	66,69 (98,7%) (4,51%)	134,74 (99,35%) (4,55%)	154,36 (99,44%) (4,55%)	184,21 (99,53%) (4,55%)
KD ₁₀	-μg/m ³	0.046	0,9 (11,11%) (0,51%)	0,8 (0%) (0%)	2,2 (63,64%) (2,91%)	2,4 (66,67%) (3,05%)	68,4 (98,83%) (4,52%)	149,6 (99,47%) (4,55%)	158,23 (99,49%) (4,55%)	186,7 (99,57%) (4,55%)
KD ₁₀₀	-μg/m ³	0.039	0,9 (11,11%) (0,44%)	0,8 (0%) (0%)	2,2 (63,64%) (2,50%)	2,4 (66,67%) (2,61%)	68,4 (98,83%) (3,88%)	149,6 (99,47%) (3,90%)	186,7 (99,57%) (3,91%)	186,7 (99,57%) (3,91%)
LOJ	-μg/m ³	0.033	0,67 (100%) (3,27%)	0,66 (100%) (3,27%)	0 (0%) (0%)	0,15 (100%) (3,27%)	0,41 (100%) (3,27%)	0,3 (100%) (3,27%)	0,28 (100%) (3,27%)	0,28 (100%) (3,27%)
Oro va- lytuvos	+balai	0.041	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (4,09%)	0 (100%) (4,09%)	0 (100%) (4,09%)	0 (100%) (4,09%)
Šviesos spalvos derini- mas	+balai	0.034	0 (100%) (3,43%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (3,43%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (3,43%)
Muzikos derini- mas	+balai	0.044	0 (100%) (4,41%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (4,41%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (4,41%)

D1.1 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kvapų derinimas	+	balai	0.041	0 (100%) (4,09%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (4,09%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (4,09%)
Veniliausias veikimas	+	balai	0.025	0 (100%) (2,45%)	0 (100%) (2,45%)	0 (100%) (2,45%)	0 (100%) (2,45%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	1 (0%) (0%)	0 (100%) (2,45%)
Valdymo sistemos kaina	-	Eur	0.057	3459 (100%) (5,72%)	3459 (100%) (5,72%)	3459 (100%) (5,72%)	3459 (100%) (5,72%)	3459 (100%) (5,72%)	3459 (100%) (5,72%)	3459 (100%) (5,72%)	0 (0%) (0%)
Suvartojamos energijos kiekis per 6 min periodą	-	kWh	0.049	0,144788 (21,35%) (1,05%)	0,127694 (10,82%) (0,535%)	0,1278 (10,89%) (0,53%)	0,113881 (0%) (0%)	0,126525 (9,99%) (0,49%)	0,126419 (9,92%) (0,49%)	0,127188 (10,46%) (0,51%)	0,1406 (19%) (0,93%)

Darius SKIRMANTAS

UŽSTATYTOS APLINKOS DAUGIAKRITERĖS
NEUROANALIZĖS METODO IR INTELEKTINĖS
SPRENDIMŲ PARAMOS SISTEMOS KŪRIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
statybos inžinerija (T 002)

DEVELOPMENT OF A MULT-CRITERIA NEUROANALYSIS
METHOD AND INTELLIGENT DECISION-SUPPORT
SYSTEM FOR BUILT ENVIRONMENT

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (T 002)

Lietuvių kalbos redaktorė Rita Malikienė
Anglų kalbos redaktorė Jūratė Griškėnaitė

2022 07 29, 13,5 sp, I, Tiražas 20 egz,
Leidinio el. versija <https://doi.org/10.20334/2022-035-M>
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Saulėtekio al, 11, 10223 Vilnius
Spausdino UAB „Ciklonas“,
Žirmūnų g, 68, 09124 Vilnius