



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Naujo pažangiojo parengtumo rodiklio įvertinimas ir jo poveikio pastatų energinio efektyvumo didinimui analizė

Magistro baigiamasis projektas

Gvidas Plienaitis

Projekto autorius

prof. dr. Lina Šeduikytė

Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Naujo pažangiojo parengtumo rodiklio įvertinimas ir jo poveikio pastatų energinio efektyvumo didinimui analizė

Magistro baigiamasis projektas
Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Gvidas Plienaitis
Projekto autorius

prof. dr. Lina Šeduikytė
Vadovė

doc. ČERNECKIENĖ Jurgita
Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Gvidas Plienaitis

Naujo pažangiojo parengtumo rodiklio įvertinimas ir jo poveikio pastatų energinio efektyvumo didinimui analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Gvidas Plienaitis

Patvirtinta elektroniniu būdu



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):

NAUJO PAŽANGIOJO PARENGTUMO RODIKLIO ĮVERTINIMAS IR JO POVEIKIO
PASTATŲ ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMUI ANALIZĖ

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: ST18-F-09-1

(lietuvių k.):

NAUJO PAŽANGIOJO PARENGTUMO RODIKLIO ĮVERTINIMAS IR JO POVEIKIO
PASTATŲ ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMUI ANALIZĖ

(anglų k.):

EVALUATION OF NEW SMART READINESS INDICATOR AND ANALYSIS OF ITS IMPACT
ON IMPROVING BUILDING ENERGY EFFICIENCY

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETO
ARCHITEKTŪRINIAI PLANAI IR DUOMENYS APIE INŽINERINES SISTEMAS.**

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	x
Analitiniai tyrimai	x
Skaitiniai tyrimai	x
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį), susitikimų su vadovu savaitės diena (-os) bei laikas:

Konsultacijų laikas: trečiadieniais 11 val.

Vadovas:

(indėlis _100_ %)

prof. dr. Lina Šeduikytė

pareigos, vardas, pavardė

parašas

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

parašas

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

parašas

Studentas:

Gvidas Plienaitis

vardas, pavardė

parašas

Gvidas Plienaitis. Naujo pažangiojo parengtumo rodiklio įvertinimas ir jo poveikio pastatų energinio efektyvumo didinimui analizė. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Lina Šeduikytė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: pažangiojo parengtumo rodiklis, išmanūs miestai, energijos išsaugojimas.

Kaunas, 2022. 41 p.

Santrauka

Darbo tikslas - įvertinti ir išanalizuoti pažangiojo parengtumo rodiklį ir nustatyti, ar nustatytas pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijus atitinka natūriniais tyrimais išmatuotus šiluminio komforto rodiklius.

Literatūros apžvalgoje nagrinėjamos išmaniųjų miestų, pastatų ir pažangiojo parengtumo rodiklio temos. Apžvalgos metu nustatyta, kad pastato valdymo sistemos gali sutaupyti iki 30 % vandens sąnaudų, iki 40 % energijos sąnaudų ir sumažinti pastato priežiūros kaštus nuo 10 % iki 30 %. Be to, nustatyta, kad energinio naudingumo klasės nesutapimą su pažangiojo parengtumo rodiklio verte lemia tai, jog nustatant energinio naudingumo klasę, skaičiavimuose nėra detalizuojamos inžinerinių sistemų galimybės ir jų ypatybės.

Tiriamąjame dalyje yra nustatomas Kauno Technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastato pažangiojo parengtumo rodiklis, kuris yra 26 %. Atlikus skaitinį modeliavimą IDA-ICE programine įranga apskaičiuota, kad modernizavus šildymo sistemą galima sutaupyti 11,9 % pastato metinių energijos sąnaudų šildymui. Atlikus alternatyvaus scenarijaus pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimus su moderniomis sistemomis buvo pasiektas 67 % balas. Šiais skaičiavimais nustatyta, kad pažangiojo parengtumo rodiklio balą įtakoja ne tik pastato sistemų pažangumas, tačiau ir miesto centralizuotų šildymo, vėsinimo ir elektros sistemų pažangumas.

Projektą sudaro 10 lentelių, 22 paveikslai ir 40 literatūros šaltinių.

Gvidas Plienaitis. Evaluation of a New Smart Readiness Indicator and Analysis of Its Impact on Improving Building Energy Efficiency. Master's Final Degree / supervisor prof. dr. Lina Šeduikytė; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences.

Keywords: Smart Readiness Indicator, energy savings on site, smart cities.

Kaunas, 2022. 41.

Summary

Objective - evaluate new smart readiness indicator and analyze its impact for energy efficiency of buildings increasement using different case scenarios.

The literature review examines themes of smart cities, smart buildings and Smart Readiness Indicator. It was determinated, that Building Management Systems can save water cost up to 30 %, energy cost up to 40 % and building maintenance cost from 10 % up to 30 %. Furthermore, it was determinated, that the SRI score and energy efficiency of building class may differ because energy efficiency of building methodology does not include domains features.

In our research, calculation was made for the building of Faculty of Civil Engineering and Architecture at Kaunas University of Technology. The total calculated SRI score of the examined building is 26%. The energy savings calculated according to IDA-ICE software shows, that 11,9 % of energy per heating season can be save by modernizing heating system. The total calculated SRI score of alternative scenario is 67%. This score shows that buildings cannot achieve maximum SRI score if centralized city systems are not smart enough

Project includes 10 tables, 22 pictures and 40 literature sources.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Išmanusis miestas	11
1.1. Vandens kokybės stebėsenos sistema išmaniajame mieste	11
1.2. Aukštos detalumo švarių šilumos šaltinių žemėlapis	12
1.3. Išmaniųjų pastatų grupės su bendra valdymo sistema.....	13
2. Išmanieji pastatai.....	14
2.1. Išmanioji vėdinimo sistema.....	14
3. Pažangiojo parengtumo rodiklis	16
3.1. Pastato pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo metodika	18
3.2. Pažangiojo parengtumo rodiklis ir pastato energinio naudingumo klasė	20
3.3. Šiluminio komforto įvertinimo rodikliai	20
4. Kauno technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastato pažangiojo parengtumo rodiklio nustatymas ir alternatyvų analizė.....	23
4.1. Tyrimo objektas.....	23
4.2. Tyrimo metodai	24
4.3. Tyrimo rezultatai	24
4.3.1. Pažangiojo parengtumo rodiklis.....	24
4.3.2. Energijos sutaupymų palyginimas su pažangiojo parengtumo rodiklio energijos išsaugojimo įtakos kriterijaus pokyčiu	25
4.3.3. Alternatyvūs technologiniai sprendimai ir jų įtaka pastato pažangiojo parengtumo rodikliui 30	
4.3.4. Pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto palyginimas ..	32
Išvados	37
Literatūros sąrašas	38

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Techninių sričių svertiniai koeficientai pagal klimato zoną gyvenamiesiems pastatams [16]	19
2 lentelė. Techninių sričių svertiniai koeficientai pagal klimato zoną negyvenamiesiems pastatams [16]	19
3 lentelė. Techninių sričių svertiniai koeficientai pagal kriterijus [16]	19
4 lentelė. Šiluminio komforto klasės pagal CEN/TR 16798-2:2019 standartą [18]	21
5 lentelė. Šiluminio komforto klasės pagal STR 2.09.02:2005 techninį reglamentą [19]	21
6 lentelė. Bendri pastato duomenys	23
7 lentelė. Esamo pastato duomenys apie inžinerines sistemas.....	23
8 lentelė. Esamos ir modernizuoto scenarijų energijos išsaugojimo ir sunaudojimo palyginimas...	29
9 lentelė. Siūlomi inžinerinių sistemų pakeitimai	30
10 lentelė. Pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto ryšio nustatymas	32

Paveikslų sąrašas

1 pav. Jungtinių Tautų darnaus vystymosi tikslai [5]	12
2 pav. Belaidė vandens kokybės stebėjimo sistema [1]	12
3 pav. Europos geografinės klimato zonos [16].....	18
4 pav. Optimalios atstojamosios temperatūros grafikas [20].....	22
5 pav. Kauno technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastatas [26]	23
6 pav. Esamo pastato pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo rezultatai	24
7 pav. Pastato 3D modelio vaizdas IDA-ICE programinėje įrangoje	26
8 pav. Radiatoriaus vožtuvas su termostatine galvute [27].....	26
9 pav. Esamo scenarijaus pastato šiluminės energijos suvartojimas pagal mėnesį.....	27
10 pav. Šilumos nuostolių ir pritekėjimų pasiskirstymas pagal mėnesius	27
11 pav. Pastato 3D modelio vaizdas, rodantis šiluminių prietaisų skleidžiamą šilumą W/m^2 patalpose pirmuoju scenarijumi.....	28
12 pav. Pastato 3D modelio vaizdas, rodantis šiluminių prietaisų skleidžiamą šilumą W/m^2 patalpose antruoju scenarijumi	28
13 pav. Modernizuoto scenarijaus pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo rezultatai	29
14 pav. Pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo rezultatai	31
15 pav. 301 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai	34
16 pav. 307 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai	34
17 pav. 434 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai	34
18 pav. 442 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai	35
19 pav. 301 auditorijos CO ₂ matavimo rezultatai	35
20 pav. 307 auditorijos CO ₂ matavimo rezultatai	35
21 pav. 434 auditorijos CO ₂ matavimo rezultatai	36
22 pav. 442 auditorijos CO ₂ matavimo rezultatai	36

Ivadas

Darbo tikslas - įvertinti ir išanalizuoti pažangiojo parengtumo rodiklį ir nustatyti, ar nustatytas pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijus atitinka natūriniais tyrimais išmatuotus šiluminio komforto rodiklius.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros analizę išmanių miestų, išmanių pastatų ir pažangiojo parengtumo rodiklio temomis.
2. Nustatyti Statybos ir Architektūros fakulteto pastato pažangiojo parengtumo rodiklį.
3. Atlikti skaitinį modeliavimą IDA-ICE programine įranga, siekiant nustatyti Statybos ir Architektūros fakulteto pastato metines energijos sąnaudas.
4. Atlikti gautų rezultatų palyginamąją analizę.
5. Atlikti šiluminio komforto natūrinius tyrimus Statybos ir Architektūros fakultete ir palyginti juos su pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijumi.

Magistro baigiamojo projekto naujumas – projekte yra nagrinėjama pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo metodologija, atliekama rezultatų analizė ir pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijus su šiluminio komforto klasėmis. Atliekant literatūros analizę, panašaus pobūdžio straipsnių ar analizių nepavyko rasti.

Magistro baigiamojo projekto praktinis pritaikomumas – projekte padarytos išvados pažangiojo parengtumo rodiklio tema gali pagelbėti pritaikant rodiklio klasifikavimą Lietuvos valstybei.

1. Išmanusis miestas

Išmanusis miestas – tai miestų plėtros vizija saugiai integruoti informacijos ir komunikacijos technologijas, daiktų interneto sprendinius, miesto nuosavybės tvarkymui, siekiant tvarumo, atsparumo ir tinkamumo gyventi [1]. Ši išmanaus miesto sąvoka apima šešias dedamąsias [2]:

- 1) išmanusis valdymas – skaidrus miesto ir jo infrastruktūrų valdymas, atviri duomenys;
- 2) išmanioji ekonomika – pagalba miesto, jo dalių ir infrastruktūrų tvariai plėtrai;
- 3) išmanūs žmonės – žmonės, turintys kritinį mąstymą ir sugebantys naudoti informacijos ir komunikacijos technologijas kasdieniame gyvenime;
- 4) išmanusis mobilumas – integruotos transporto ir logistikos sistemos, inovatyvios transporto sistemos;
- 5) išmanus gyvenimas – sveikas ir saugus gyvenimas naudojant išmanias technologijas ir programas, kurios įgalina atsakingą gyvenimo būdą, elgesį ir vartojimą;
- 6) išmanioji aplinka – tvarus atsinaujinančių energijos šaltinių įdiegimas, šiukšlių ir taršos kontrolė bei išmanus valdymas.

Spartėjant urbanizacijos procesui, yra manoma, jog išmanieji miestai prisidės prie darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimo [3]. Nėra reglamentuota, kokias konkrečias sistemas miestas turi įsidiegti, norint tapti išmaniuoju miestu, todėl toliau 1.1., 1.2. ir 1.3 skyriuose pristatomos trys nagrinėtos sistemos, kurios gali padėti miestui pasiekti išmaniojo miesto statusą ir įgyvendinti darnaus vystymosi tikslus.

1.1. Vandens kokybės stebėsenos sistema išmaniajame mieste

Viena iš galimų išmaniojo miesto sistemų – miesto upių ir tvenkinių vandens stebėsenos sistema. Įprastai vandens kokybė yra tikrinama paimant vandens mėginius iš konkrečių vandens ėmimo taškų ir vežant juos tirti į laboratorijas. Šis vandens kokybės stebėjimo būdas suteikia pakankamus vandens kokybę apibūdinančius parametrus, tačiau šis būdas turi ir trūkumų. Pirmiausia, šiems tyrimams atlikti yra reikalinga specializuota įranga bei tam išmokytas personalas. Antra, šis būdas reikalauja daug laiko išteklių, kadangi personalas turi paimti mėginius, juos nuvežti į laboratoriją ir tik tada iširti. Trečia, šių tyrimų dažnumas yra žemas, todėl yra gaunami tik pavieniai duomenys.

Jungtinės Karalystės Bristolio mieste 2016 metais buvo integruota pirma realaus laiko belaidė vandens kokybės stebėjimo sistema, naudojanti vietinį belaidį tinklą (angl. *Wi-Fi*) [1]. Ši sistema nustato vandens temperatūrą, pH, ištirpusio deguonies kiekį, vandens drumstumą, druskingumą ir oksidacijos redukcijos potencialą. Matuojami parametrai yra kas 15 minučių nuskaityti, įrašomi į atminties kortelę ir persiunčiami į duomenų kaupimo serverį. Visi duomenys yra laisvai prieinami internete, todėl bet kuris gyventojas gali juos peržiūrėti. Kadangi ši sistema realiu laiku matuoja vandens kokybę, ja galima nustatyti ir išanalizuoti atsiradusią vandens taršą. Operatyviai pašalinant vandens taršos šaltinius, galima sumažinti žalą upių, jūrų ir žemės ekosistemoms. Todėl ši sistema padeda siekti 14 (gyvybės vandenyje) ir 15 (gyvybės žemėje) darnaus vystymosi tikslų [4]. Visi darnaus vystymosi tikslai pateikiami 1 paveiksle, sistemos pavyzdys pateikiamas 2 paveiksle.



1 pav. Jungtinių Tautų darnaus vystymosi tikslai [5]



2 pav. Belaidė vandens kokybės stebėjimo sistema [1]

Analogiška sistema gali būti panaudojama buitinių nuotekų valymo įrenginiuose [1]. Įdiegus išvalyto vandens stebėjimo sistemą, valymo įrenginiai galėtų reguliuoti valymo intensyvumą, siekiant padidinti jų našumą, optimizuoti eksploatacijos išlaidas ir pagerinti į upes išleidžiamo vandens kokybę.

1.2. Aukštos detalumo švarių šilumos šaltinių žemėlapis

Kita galima išmaniojo miesto sistema – aukšto detalumo švarių šilumos šaltinių žemėlapis. Šis žemėlapis parodo kuriose vietose yra švarių, ne iškastinį kurą naudojančių šilumos šaltinių, kurie galėtų būti panaudojami centralizuotiems miesto šilumos tinklams šildyti. Žemėlapis yra pasiekęs 1 metro tikslumą ir jo duomenys yra viešai prieinami.

Stokholmo tyrėjai nustatė, jog yra neišnaudojami iš viso 9 šilumos šaltiniai, kurie galėtų tiekti šilumą centralizuotiems tinklams ir visapusiškai aprūpinti miestą šiluma [6].

Prekybos centrai apie 50 % visos centrui reikalingos elektros energijos sunaudoja maisto vėsinimui. Tyrimų metu nustatyta, jog prie šilumos siurblių sukomplektavus dar vieną šilumokaitį, galima nuo 40 % iki 70 % išmetamos šilumos panaudoti šildyti miesto centralizuotus tinklus [6]. Tiekiamo šilumnešio temperatūra siektų 20 – 80 °C ir ją šilumos siurbliais pakėlus iki 110 °C būtų galima tiekti į miesto centralizuotų tinklus [7]. Apskaičiuota, jog vidutinio dydžio švediško prekybos centro šilumos atgavimas siektų 1,6 GWh per metus [7]. Tai reiškia, jog, jeigu visi prekybos centrai tiektų šilumą centralizuotiems šilumos tinklams, tada prekybos centrai padengtų 4,5 % viso Stokholmo miesto šilumos poreikį [6].

Ledo čiuožyklos, panašiai kaip ir prekybos centrai, sunaudoja apie 43 % visos reikalingos elektros energijos vėsinimui. Jos taip pat galėtų tiekti 20 – 80 °C temperatūros šilumnešį ir galėtų padengti 0,2 % viso Stokholmo miesto šilumos poreikį [6].

Duomenų centruose procesoriai, mikroschemos ir jungikliai išskiria daug šilumos ir tokiose patalpose šilumos išsiskyrimai gali siekti nuo 861 W/m² iki 16 764 W/m² [6]. Vandeninė vėsinimo sistema šilumnešio temperatūrą galėtų pakelti iki 60 °C, o freoninė iki 75 °C. Panaudojant duomenų centruose išsiskiriančią šilumą būtų galima padengti 45,4 % viso Stokholmo miesto šilumos poreikį [6].

Tokios sistemos padėtų siekti 7 (prieinama ir švari energija), 12 (atsakingas vartojimas ir gamyba) bei 13 (sušvelninti klimato kaitos poveikį) darnaus vystymosi tikslų.

1.3. Išmaniųjų pastatų grupės su bendra valdymo sistema

Paskutinė nagrinėjama išmaniojo miesto galima sistema – bendra pastatų grupių valdymo sistema. Pastatus, kuriuose numatomos išmaniosios pastato valdymo sistemos ir kurie tinkle turi integruotus fotovoltinius saulės modulius, gali būti racionalu sujungti į vieną bendrą pastatų valdymo sistemą [8].

Skirtingų paskirčių pastatai pasižymi skirtingu energijos vartojimu tuo pačiu paros metu pvz.: administracinių pastatų energijos vartojimo pikas yra dienos metu, gyvenamųjų pastatų – vakare, o gamybinių pastatų energijos suvartojimas gali nekisti paros metu. Tačiau, jeigu visi šie pastatai turi fotovoltinius saulės modulius, jų energijos gaminimo intensyvumas bus toks pat. Todėl šie pastatai gali vienas kitam tiekti energiją, neatiduodant jos į elektros tinklus.

Kiekvieno pastato sistema atskirai renka duomenis apie prietaisų vartojimą, vartotojų elgseną ir prietaisų vartojimo tvarkaraščius. Analizuodama šiuos duomenis ir fotovoltinių modulių elektros gamybos prognozes, atlieka skaičiavimus ir optimizavimą ir paskirsto elektrą vartotojams.

Atlikus modeliavimą nustatyta, jog ši bendra sistema padėtų sumažinti išmaniųjų pastatų bendrą kainą 4,6 % ir padidintų sistemos apkrovos faktorių nuo 0,68 iki 0,76 [8].

Tokia sistema padėtų siekti 7 (prieinama ir švari energija) ir 12 (atsakingas vartojimas ir gamyba) darnaus vystymosi tikslų.

2. Išmanieji pastatai

Išmanusis pastatas – tai pastatas, kuris atitinka penkias fundamentalias savybes ir apjungia tvaraus ir žalio pastato charakteristikas [9]:

- automatizavimas: gebėjimas suderinti automatinius prietaisus arba atlikti automatines funkcijas;
- daugiafunkciškumas: gebėjimas valdyti daugiau negu vienos pastato funkcijos našumą;
- prisitaikymas: gebėjimas išmokti, numatyti ir patenkinti vartotojų poreikius;
- interaktyvumas: gebėjimas suteikti sąveiką tarp vartotojų;
- efektyvumas: gebėjimas suteikti energijos efektyvumą, taupyti laiką ir kaštus.

Išmaniojo pastato idėja yra sukurta atsižvelgiant į visus pastato gyvavimo ciklo etapus ir yra sutelkta ties projektavimo, statybos ir eksploatacijos etapais.

Projektavimo etape, kai būna sukurtas pastato skaitmeninis modelis, yra modeliuojamas ir analizuojamas pastato energijos vartojimo efektyvumas, atsižvelgiant į pastato vietą, orientaciją, miesto infrastruktūrą ir kitas aplinkos sąlygas [11]. Dėl to galima iš anksto numatyti racionalius sprendinius, kurie padėtų pasiekti mažesnius pastato energijos poreikius ir CO₂ pėdsaką. Yra nustatyta, jog apie 10 % visos pastato išskiriamos CO₂ emisijos kyla iš medžiagų gamybos ir 15 % kyla iš racionalios logistikos nebuvimo [12]. Todėl čia atsiveria galimybės, laikantis darnaus vystymosi principų, sumažinti pastato CO₂ emisijos pėdsaką.

Išmaniojo pastato eksploatacijos etapas gali būti apibrėžiamas kaip labai pažangus automatizuotas procesas, kuris leidžia skirtingoms pastato paslaugoms komunikuoti viena su kita. Skirtingi davikliai ir valdikliai gali reguliuoti skirtingų sistemų našumą, todėl yra pasiekiamas didžiausias komforto lygis ir darbuotojų produktyvumas su mažiausiomis energijos sąnaudomis. Įgyvendinti išmaniojo pastato sprendimai gali sutaupyti iki 30 % vandens sąnaudų, iki 40 % energijos sąnaudų ir sumažinti pastato priežiūros kaštus nuo 10 % iki 30 % [12].

2.1. Išmanioji vėdinimo sistema

Tam, kad būtų sumažinamos energijos sąnaudas pastato vėdinimui, yra naudojamos kintančio oro kiekio vėdinimo sistemos, kurias galima laikyti išmaniosiomis vėdinimo sistemomis. Tokios vėdinimo sistemos, komunikuodamos su išmaniąja pastato valdymo sistema, gauna duomenis apie pasirinkto parametro arba parametrų duomenis ir pagal juos keičia tiekiamo oro kiekį.

Populiariausi oro parametrai, pagal kuriuos yra valdomos vėdinimo sistemos – patalpų santykinė drėgmė ir CO₂ koncentracija ore. Žmonės kartu išskiria tiek drėgmę, tiek CO₂, todėl teoriškai vėdinimo sistemos, veikdamos pagal vieną iš šių oro parametrų, turėtų veikti panašiai. Dar 2004 metais atliktas tyrimas parodo, jog šis teiginys nėra visiškai teisingas [12].

Tyrime matavimai buvo atliekami tipiniame Švedijos bute, kuriame vėdinimo sistema veikė pagal skirtingą valdymo tipą [12]:

- pastovaus oro kiekio sistema;
- CO₂ jutikliu valdoma sistema;

- santykinės drėgmės jutikliu valdoma sistema;
- pagal patalpų užimtumą valdoma sistema.

Visais atvejais šalinamo oro kiekis svyravo nuo 36 m³/h iki 108 m³/h. Pagal CO₂ ir patalpų užimtumo jutiklius valdomos sistemos pasiekė panašią CO₂ koncentraciją ore, tačiau šiose patalpose pastebėta padidėjusios santykinės drėgmės rizika. Pagal santykinės drėgmės jutiklį veikiančioje vėdinimo sistemoje pastebėta padidėjusi CO₂ koncentracija ore. Taip pat galima papildyti, jog pagal CO₂ ir santykinės drėgmės koncentracijas veikiančios vėdinimo sistemos neatsižvelgia į kitų galimų teršalų (pvz.: formaldehido) koncentraciją, kurios taip pat blogina vidaus patalpų oro kokybę ir kurių padidėjusi koncentracija gali sukelti neigiamą poveikį žmonėms [13].

Galimos vėdinimo sistemų, veikiančių pagal CO₂ koncentraciją ore arba oro santykinę drėgmę, veikimo nesutapimų priežastys:

- Žiemos metu lauko oro absoliutus drėgmės lygis yra žemas ir, jeigu tiekiamas lauko oras nėra drėkinamas, patalpos yra intensyviai sausinamos. Žmonių išskiriamos drėgmės neužtenka, kad drėgmės jutiklis suintensyvintų oro apykaitą, todėl patalpose CO₂ koncentracija ore kyla.
- Patalpose vykstant drėgmės išsiskyrimams (pvz.: kambaryje išdžiaustyti šlapi skalbiniai, virtuvėje verdamas maistas neįsijungus gartraukio, po maudymosi yra paliekama šlapi vonia arba dušinė ir t.t.) ir kambaryje nebūnant nei vieno žmogaus, tiek pagal CO₂ koncentraciją, tiek pagal patalpų užimtumo jutiklį veikianči vėdinimo sistema sumažins oro apykaitą ir tai veiks kylančią patalpos santykinę drėgmę.
- Pasitarimų arba kitame kambaryje vasaros metu susirenka daug žmonių, tačiau ši patalpa yra vėsinama ventiliatoriniais konvektoriais. Vėsinant patalpą oras yra nuolat sausinamas, todėl vėdinimo sistema, veikdama pagal oro santykinės drėgmės jutiklį, gali pakankamai nesuintensyvinti oro apykaitos patalpoje, kad nepakiltų CO₂ koncentracija ore.

Tiek pagal CO₂, tiek pagal drėgmės jutiklius valdomos sistemos geba sutaupyti apie 50 % energijos sąnaudų, pagal patalpų užimtumą valdoma sistemos apie 20 % energijos sąnaudų [10]. Tyrimuose neišskiriame nei vieno valdymo būdo kaip absoliutaus nugalėtojo, todėl galima teigti, jog išmanioji vėdinimo sistema turėtų būti valdoma ne pagal vieną išmaniosiose vėdinimo sistemose vyraujančią tipinį valdymo būdą, o pagal tai patalpai būdingus teršalus.

3. Pažangiojo parengtumo rodiklis

Pažangiojo parengtumo rodiklis (angl. *Smart readiness indicator*), tai Europos Sąjungos 2018/844 direktyvoje numatytas naujas rodiklis, kuris vertina pastato galimybes, panaudojant informacines, ryšių technologijas bei elektronines sistemas, pritaikyti pastato valdymą pagal naudotojų ir tinklo poreikius siekiant pagerinti energijos vartojimo efektyvumą ir bendrą energetinį naudingumą [15]. Priešingai negu pastato energinio naudingumo sertifikatas, šio rodiklio nustatymas yra laisvai pasirenkamas ir nėra privalomi. Rodiklio skaičiavimo metodologija apima 9 technines sritis [16]:

- šildymo,
- vėsinimo,
- geriamojo karšto vandens,
- vėdinimo,
- apšvietimo,
- dinamiško pastato masyvumo,
- elektros,
- elektromobilių krovimo,
- monitoringo ir valdymo.

Kiekviena techninė sritis yra vertinama pagal specifinius aspektus išskiriant skirtingas poveikio kategorijas. Sričių išmanumo laipsnis yra nustatomas atsižvelgiant į kiekvieno individualaus komponento našumą [16].

Šildymo ir vėsinimo sistemos yra vertinamos pagal 10 kategorijų. Išmanumo laipsnis yra nustatomas pagal tai, ar sistemos valdymas yra centrinis, individualus ar individualus su patalpų užimtumo nustatymo kontrole. Šilumos šaltinių išmanumas yra vertinamas pagal tai ar jie veikia nuolat pilna galia, ar jie reguliuoja savo galią pagal lauko temperatūrą ar šilumos poreikį. Taip pat yra atsižvelgiama ar valdymo sistema turi galimybę kaupti realaus laiko ir klaidų duomenis.

Vėsinimo sistemose vertinime papildomai yra atsižvelgiama į tai, ar yra užblokuota galimybė tuo pačiu metu patalpas vėsinti ir šildyti.

Karšto vandens ruošimo sistemos yra vertinamos pagal 5 kategorijas. Šių sistemų išmanumo laipsnis yra vertinamas pagal tai, ar sistema gali dirbti atsižvelgiant į tinklo apkrovas, ar ji veikia įjungta/ išjungta režimu. Taip pat yra atsižvelgiama į tai, ar sistema gali kaupti klaidų istoriją, realaus laiko duomenis ir veiklų vertinimą.

Apšvietimo sistemos yra vertinamos pagal 2 kriterijus: valdymą ir sistemos prisitaikymą prie natūralios šviesos. Sistema pasiekia geriausią įvertinimą, kai patalpose apšvietimas pasijungia automatiškai yra adaptyvi ir turinti galimybę pakeisti apšvietimo spalvos temperatūrą.

Vėdinimo sistemos yra vertinamos pagal 6 kriterijus: tiekiamo oro kiekio kontrolę (pastovaus srauto, pagal nustatytą kalendorių, pagal patalpų užimtumą, pagal CO₂), oro slėgio kontrolę, šilumogrąžos kontrolę, tiekiamo oro temperatūros kontrolę (vienoda arba kintanti), nakties vėsinimą ir sistemų monitoringą.

Dinamiško pastato masyvumas yra vertinamas pagal 2 kriterijus: langų šešėliavimo kontrolę, bendrą šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) kontrolę ir šešėliavimo sistemų valdymą. Taip

pat yra vertinamas klaidų nustatymo, realaus laiko daviklių duomenų pasiekimo ir duomenų kaupimo galimybės.

Elektros sistemos pažangumas yra vertinamas septyniais kriterijais. Prie elektros pažangumo taip pat yra priskiriamas vietinis elektros gaminimas ir kaupimas (elektros akumuliatoriuose arba šiluminėse talpyklose). Jeigu sistema sugeba prisitaikyti prie atsinaujinančių energijos šaltinių tiekiamos elektros energijos gamybos, elektros tinklų apkrovos (arba tiekti elektrą į tinklą), tada ji gauna aukščiausius įvertinimus.

Elektra varomų automobilių krovimo sistemų pažangumas yra vertinamas pagal 3 kriterijus. Kriterijai vertina automobilių stovėjimo vietų, su krovimo stotelėmis kiekį, galimybę kontroliuoti ir balansuoti automobilių krovimą pagal elektros tinklo apkrovą.

Sistemų monitoringas ir valdymas yra vertinamas pagal 8 kriterijus. Pagrindiniai vertinami aspektai: realaus laiko ŠVOK sistemų valdymas, galimybė nustatyti klaidas pastato sistemose, užimtumo patalpose nustatymo ir išmani elektros tinklo integracija.

Techninės sritys yra vertinamos pagal 7 įtakos kriterijus [17]:

- energijos išsaugojimo;
- priežiūros ir klaidų prognozavimo;
- komforto;
- patogumo;
- sveikatos ir gerovės;
- informatyvumo vartotojams;
- tinklo ir saugyklos lankstumas.

Energijos išsaugojimo kriterijus nurodo išmanių įrenginių įtaką energijos saugojimo galimybėms. Šis kriterijus atsižvelgia ne į bendrą pastatų energinį naudingumą, bet į tą energijos dalį, kurią galima sutaupyti vien dėl išmanių įrenginių pvz.: energijos išsaugojimas dėl tikslesnės vidaus patalpų temperatūros kontrolės.

Priežiūros ir klaidų prognozavimo kriterijus nurodo automatizuotos klaidų paieškos ir diagnostikos galimybes, kurios potencialiai gali įtakoti energijos vartojimo efektyvumą nustatydamos ir diagnozuodamos neefektyvias operacijas.

Komforto kriterijus nurodo sistemų įtaką vartotojų sąmoningai ir nesąmoningai suvokiamos fizinės aplinkos komfortiškumui, įskaitant šiluminį, akustinį ir vizualinį komfortą.

Patogumo kriterijus nurodo sistemų galimybę veikti autonomiškai, kuo mažiau reikalaujant rankinio valdymo.

Sveikatos ir gerovės kriterijus nurodo sistemų įtaką gyventojų arba darbuotojų gerovei ir sveikatai. Sistemos negali kelti žalingo poveikio ir yra vertinama tik tai ar sistemos sugeba pagerinti gerovę patalpose pvz.: vėdinimo sistema su išmanesniu valdikliu gali palaikyti geresnę patalpų oro kokybę, negu sistema su paprastesniu valdikliu.

Informatyvumo vartotojams kriterijus nurodo informacijos, apie pastate veikiančias sistemas, gavimo galimybes valdytojams.

Tinklo ir saugyklos lankstumo kriterijus nurodo pastate esamų energijos kaupimo saugyklų ir centralizuotų tinklų tarpusavio sąveikos galimybes ir komunikaciją pvz.: vasaros metu elektros energija yra naudojama iš akumuliatorių, kad būtų mažiau apkraunami miesto elektros tinklai.

Pažangiojo parengtumo rodiklio kriterijai apima priežiūros ir klaidų prognozavimo, sistemų autonomiškumo ir informatyvumo vartotojams sritis kurios yra išmanių pastatų siekiamybės. Be to, skaičiavimo metodologija apima tinklo ir saugyklos lankstumo sritį, kuri yra išmanių miestų siekiamybė. Todėl, pažangiojo parengtumo rodiklis yra priemonė spartinti išmanių pastatų ir miestų plėtrą.

3.1. Pastato pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo metodika

Pastato pažangiojo rodiklio ir techninių sričių įtakos kriterijų nustatymo eiga susideda iš trijų etapų.

Pirmame etape yra surenkama bendrinė informacija apie pastatą (pastato paskirtis, masyvumas, pastatymo metai ir t.t.) bei informacija apie atskiras pastato technines sritis (šildymo, vėsinimo, elektros ir t.t.). Jeigu pastatas neturi kurios nors srities, ši sritis nėra nagrinėjama skaičiavimuose ir tai nedaro įtakos rodiklio arba kriterijų vertėms. Pagal pastato šalį, nustatoma jo klimato zona: šiaurinė (mėlyna), vakarinė (žalia), pietinė (geltona), šiaurės – rytų (violetinė), pietryčių (raudona). Klimato zonos Europos žemėlapyje pateikiamos 3 paveiksle.



3 pav. Europos geografinės klimato zonos [16]

Antrame etape yra nustatoma kiek balų gauna atitinkama sritis ir apskaičiuojama techninės srities surenkama procentinė išraiška, gautą balų skaičių padalinus iš maksimalaus galimo surinkti balų skaičiaus. Pvz.: jei šildymo sritis surenka 4 balus iš 10, tada šildymo srities poveikio balas bus 40 %. Pažangiojo parengtumo rodiklis yra skirtas visoms Europos Sąjungos narėms, todėl, atliekant jo skaičiavimą, techninės srities poveikio balas yra padauginamas iš atitinkamo svertinio koeficiento, kuris įvertina techninės srities reikšmingumą atitinkamoje klimato zonoje, lyginant su kitomis sritimis. Svartiniai koeficientai parenkami pagal 1 ir 2 lentelę.

1 lentelė. Techninių sričių svertiniai koeficientai pagal klimato zoną gyvenamiesiems pastatams [16]

	Šiaurės	Vakarų	Pietų	Šiaurės rytų	Pietryčių
Šildymas	39,9	45,3	42,2	40,5	27,5
Karšto vandens	12,4	10,2	13,3	18,6	7,7
Vėsinimo	0,0	4,1	9,2	0,0	19,5
Vėdinimo	25,0	23,8	12,3	25,4	14,4
Apšvietimo	4,9	2,0	3,6	0,8	1,2
Elektros	17,8	14,8	19,5	14,7	29,6

2 lentelė. Techninių sričių svertiniai koeficientai pagal klimato zoną negyvenamiesiems pastatams [16]

	Šiaurės	Vakarų	Pietų	Šiaurės rytų	Pietryčių
Šildymas	41,8	36,4	40,3	39,0	38,3
Karšto vandens	7,2	11,0	14,3	12,5	15,4
Vėsinimo	12,5	16,9	15,7	11,2	9,9
Vėdinimo	26,2	19,1	11,7	24,4	20,1
Apšvietimo	10,4	13,8	16,0	9,7	11,9
Elektros	2,0	2,8	2,1	3,1	4,4

Lietuva yra priskiriama Šiaurės rytų klimato zonai, todėl pagal 1 ir 2 lenteles galima matyti, jog, vertinant pažangųjį parengtumo rodiklį gyvenamuose ir negyvenamuose pastatuose, didžiausią įtaką bendrai rodiklio vertei darys šildymo ir vėdinimo techninių sričių pažangumas.

Trečiuoju etapu yra atliekamas techninių sričių įtakos kriterijų vertinimas. Skaičiavimo metodika yra tokia pat kaip ir techninių sričių vertinimo metodika, tik apskaičiuotas rodiklis yra dauginamas iš svertinių koeficientų parinktų ne pagal klimato zoną, bet pagal žemiau pateiktą 3 lentelę.

3 lentelė. Techninių sričių svertiniai koeficientai pagal kriterijus [16]

	Energijos išsaugojimas	Priežiūra ir klaidų prognozavimas	Komfortas	Patogumas	Sveikata ir gerovė	Informatyvumas vartotojams	Tinklo ir saugyklos lankstumas
Šildymas	29 %	32 %	16 %	10 %	20 %	11,4 %	44 %
Karšto vandens ruošimas	9 %	10 %	-	10 %	-	11,4 %	14 %
Vėsinimas	8 %	9 %	16 %	10 %	20 %	11,4 %	13 %
Vėdinimas	18 %	20 %	16 %	10 %	20 %	11,4 %	-
Apšvietimas	7 %	-	16 %	10 %	20 %	-	-
Elektra	2 %	3 %	-	10 %	-	11,4 %	4 %
Dinamiškas masyvumas	5 %	5 %	16 %	10 %	20 %	11,4 %	-
Elektromobilių krovimas	-	-	-	10 %	-	11,4 %	5 %
Monitoringas ir valdymas	20 %	20 %	20 %	20 %	-	20 %	20 %

3 lentelėje pateikti visi koeficientai, išskyrus vertes paryškintuose langeliuose, yra vienodi visoms Europos sąjungos narėms. Paryškintų langelių koeficientai yra apskaičiuojami pagal konkrečios šalies klimato zonos energijos balansą. Jeigu kuri nors techninė sritis nėra nagrinėjama, tada tos srities koeficientas yra išdalinamas kitoms sritims.

Šimtaprocentinė pažangiojo parengtumo rodiklio vertė parodo, jog pasirinkta sistema pasiekė maksimalų išmanumo lygį. Tačiau, maksimalią rodiklio vertę gali būti neįmanoma pasiekti, dėl įvairių priežasčių. Todėl, nuspręsta pasirinkti modernias bei šiuolaikiškas inžinerines sistemas ir atlikti šių alternatyvių sistemų parengtumo rodiklio skaičiavimus tam, kad būtų galima nustatyti aukščiausią parengtumo rodiklio vertę.

3.2. Pažangiojo parengtumo rodiklis ir pastato energinio naudingumo klasė

Nustatinėjant pastato energinę naudingumo klasę, yra apskaičiuojamas metinis pastato energijos poreikis, kuris yra apskaičiuojamas pagal pastato atitvarų varžą, šiluminių tiltelių vertes, pastato sandarumą, langų orientaciją, pirminės energijos šaltinius, vidinius šilumos pritekėjimus ir kitus rodiklius. Seni pastatai, kurie nebuvo renovuoti, pasižymi žemiausiomis energinio naudingumo klasėmis, modernizuojami pastatai turi pasiekti C klasę, o nauji po 2021 metų – A++ [24].

2020 metais atliktame tyrime buvo nagrinėjamas 2007 metais pastatytas Frederick universiteto pastatas Kipre, kuris turi du aukštus ir bendrai užima 2000 m² ploto [10]. Šiame pastate yra įrengtos šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos, 3 kW saulės kolektorių sistema bei pastato valdymo sistema. Pastato energinė klasė – D. Tyrimo metu buvo apskaičiuota, jog šio pastato pažangiojo parengtumo rodiklis siekia 52 %, bei pastebėta, jog žemą energinę klasę turintis pastatas turi vidutinę pažangiojo parengtumo rodiklio vertę [10]. Straipsnyje pastebima, jog aukštą rodiklio vertę leido pasiekti pastato valdymo sistema. Todėl galima teigti, jog aukštą energinio naudingumo klasę turintys pastatai gali turėti žemą pažangiojo parengtumo rodiklį ir atvirkščiai.

Energinio naudingumo klasės nesutapimą su pažangiojo parengtumo rodiklio verte lemia tai, kad nustatant energinio naudingumo klasę, skaičiavimuose nėra detalizuojamos inžinerinių sistemų galimybės ir jų ypatybės. Tačiau, nustatant pažangiojo parengtumo rodiklio balą, yra vertinama tik pastato inžinerinių sistemų pažangumas, galimybės ir informatyvumas.

3.3. Šiluminio komforto įvertinimo rodikliai

Viena iš pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus dedamųjų yra šiluminis komfortas. Kadangi šiluminis komfortas yra apibūdinamas skirtingais rodikliais, žemiau yra pateikiama kaip komforto lygis yra nustatomas tarptautiniuose ir nacionaliniuose dokumentuose.

Tarptautiniame CEN/TR 16798-2:2019 standarte [18] yra apibrėžimos 4 šiluminio komforto kategorijos, kurios, pagal minimalią, maksimalią vidaus patalpų temperatūrą bei žmonių aprangos lygį, nustato koks bus tikėtinas nepatenkintųjų procentas (ang. *predicted percentage dissatisfied (PPD)*) ir žmonių šiluminės aplinkos įvertinimo vidutinis dydis (ang. *predicted mean vote (PMV)*) dėl šiluminės aplinkos [18]. Šios kategorijos pateikiamos žemiau 4 lentelėje.

4 lentelė. Šiluminio komforto klasės pagal CEN/TR 16798-2:2019 standartą [18]

Šiluminio komforto kategorija	PPD, %	Žmonių šiluminės aplinkos įvertinimo vidutinis dydis	Minimali vidaus patalpų temperatūra (žiemos sezonas), 1,0 clo, °C	Maksimali vidaus patalpų temperatūra (vasaros sezonas), 0,5 clo, °C
I	<6	-0,2<PMV<+0,2	21	25,5
II	<10	-0,5<PMV<+0,5	20	26,0
III	<15	-0,7<PMV<+0,7	19	27,0
IV	<25	-1,0<PMV<+1,0	17	28,0

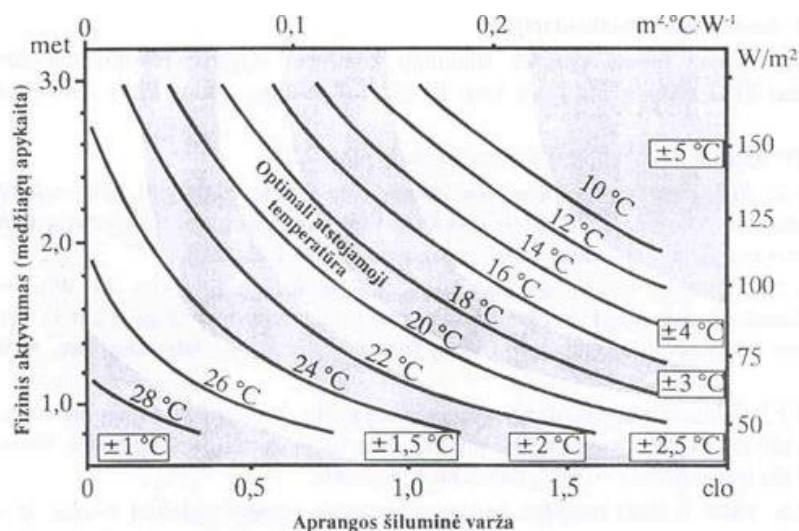
Nacionaliniame STR 2.09.02:2005 techniniame reglamente [19] yra išskiriamos tik dvi kategorijos: komfortinė ir pakankama. Šios kategorijos pagal minimalią ir maksimalią vidaus patalpų temperatūrą atitinka CEN/TR 16798-2:2019 standarte apibrėžtas kategorijas: II kategorija atitinka komfortines poilsio ir darbo sąlygas, o IV – pakankamas sąlygas [18]. Tačiau, techniniame reglamente papildomai yra įterpti oro santykinės drėgmės bei oro greičio darbo zonoje kintamieji, norint nustatyti šiluminio komforto kategorijai nustatyti. Kategorijos ir reikalavimai joms pateikiami žemiau 5 lentelėje.

5 lentelė. Šiluminio komforto klasės pagal STR 2.09.02:2005 techninį reglamentą [19]

Šiluminio komforto kategorija	Santykinė drėgmė, %	Vidaus patalpų temperatūra (šaltasis periodas), °C	Vidaus patalpų temperatūra (šiltasis periodas), °C	Oro greitis (šaltasis periodas), m/s	Oro greitis (šiltasis periodas), m/s
Komfortinė	40-60	20,0 – 24,0	23,0 – 26,0	<0,15	<0,25
Pakankama	30-75	18,0 – 26,0	<28,0	0,05-0,2	0,15-0,5

Lietuvos higienos normoje HN 69:2003 yra detalizuotos šiluminio komforto kategorijas apibūdinančių kriterijų vertės pagal darbo pobūdį (lengvą, vidutinio sunkumo ir sunkų), kurios buvo pateiktos STR 2.09.02:2005 techniniame reglamente, numatyti papildomi reikalavimai vertikaliam temperatūriniam gradientui, atstojamajai temperatūrai, vidutinei spinduliavimo temperatūrai, grindų temperatūrai. Optimalią atstojamąją temperatūrą konkrečiai situacijai galima nustatyti pagal 4 paveikslą ir jame atstojamoji temperatūra nustatoma pagal žmonių fizinį aktyvumą ir aprangos šiluminės varžos vertes. Pvz.: administracinio biurų pastato patalpose, kuriose darbuotojams yra leidžiama mėvėti laisvesnę, mažesnę šiluminę varžą turinčią aprangą, vasaros metu galima palaikyti aukštesnę patalpos temperatūrą, nepabloginant nepatenkintųjų procento.

Higienos normoje yra nurodyta, jog pakankamai šiluminio komforto kategorijai leidžiamas iki 3 °C temperatūrinis gradientas [20]. Atsižvelgiant į pamainas ir darbo pobūdį, maksimalus temperatūrinis gradientas leidžiamas: dirbant lengvą darbą iki 4 °C, dirbant vidutinio sunkumo darbą iki 5 °C ir dirbant sunkų darbą iki 6 °C [20]. Vidutinė spinduliavimo temperatūra turi būti mažesnė kaip 10 °C [20]. Grindų paviršiaus temperatūra negali būti žemesnė nei 19 °C ir viršyti 26 °C ribos. Jeigu projektuojamas grindinis šildymas, tada grindų temperatūra gali būti iki 29 °C [20]. Atstojamoji temperatūra turi atitikti 5 lentelėje pateiktas komfortines vidaus patalpos temperatūras. Optimalią atstojamąją temperatūrą konkrečiai situacijai galima nustatyti pagal 4 paveikslą ir jame atstojamoji temperatūra nustatoma pagal žmonių fizinį aktyvumą ir aprangos šiluminės varžos vertes. Pvz.: administracinio biurų pastato patalpose, kuriose darbuotojams yra leidžiama mėvėti laisvesnę, mažesnę šiluminę varžą turinčią aprangą, vasaros metu galima palaikyti aukštesnę patalpos temperatūrą, nepabloginant nepatenkintųjų procento.



4 pav. Optimalios atstojamosios temperatūros grafikas [20]

Šiluminis pojūtis priklauso ne tik nuo vidaus patalpų temperatūros. 2018 metais Danijos tyrėjų atliktos apžvalgos ir tyrimo metu buvo analizuojami praeityje darytų tyrimų, dėl apšvietimo spalvos poveikio šiluminiam pojūčiui, rezultatai [21, 22, 23]. Keturiuose tyrimuose, kuriuos atliko du kartus Danijoje, Vokietijoje ir Didžiojoje Britanijoje, buvo nustatytas sąryšis. Tačiau, šešiuose tyrimuose, kuriuos penkis kartus atliko Jungtinėse Amerikos Valstijose ir vieną kartą Suomijoje, sąryšis nebuvo nustatytas. Todėl, atsižvelgiant į kitų tyrimų patirtis, buvo atliktas dar vienas tyrimas ir buvo nustatyta, jog šviesos spalvinei temperatūrai, sumažėjus nuo 6200 K iki 2750 K, žmonės jautėsi neutraliai ir nejautė diskomforto esant 1,7 °C žemesnei vidaus patalpų temperatūrai [21]. Be to, tyrime buvo apskaičiuota, jog palaikant žemesnę patalpų temperatūrą, galima sutaupyti apie 8% viso pastato metinės energijos kiekio [21]. Todėl apšvietimo sistemos ne tik tiesiogiai įtakoja žmonių nuotaiką arba darbingumą, bet ir netiesiogiai gali prisidėti prie šiluminio komforto palaikymo ir energijos išsaugojimo.

Modernios inžinerinės sistemos ne visada geba palaikyti aukštą šiluminio komforto klasę ir planuojamas PPD rodiklis gali ne visada atitikti esamą. 2007 metais Vokietijoje ir 2019 metais Estijoje vasaros metu buvo atliekami šiluminio komforto tyrimai moderniuose pastatuose. Vokietijoje buvo tiriami 12 mažai energijos naudojančių biurų pastatų, kurie yra vėsinami termiškai aktyvaus pastato sistema (ang. *thermally active building system (TABS)*), o Estijoje buvo tiriami 5 biurų pastatai su įvairiomis vėsinimo sistemomis: šalčio sijomis, termiškai aktyvaus pastato sistema arba ventiliatoriniais konvektoriais [25, 32]. Vokietijoje atlikta darbuotojų apklausa parodė, jog 41 % apklaustųjų yra nepatenkintas palaikomu šiluminiu komfortu [32]. Estijoje atlikta darbuotojų apklausa parodė, jog 10 – 67 % visų apklaustųjų yra nepatenkinti palaikomu šiluminiu komfortu patalpose [25]. Pagal procentines nepatenkintų šiluminio komfortu vertes, pastatų vidaus patalpose yra palaikoma III - IV šiluminio komforto kategorijos. Kitame tyrime buvo įrengta speciali patalpa, kurioje buvo tiriamos sumaišomoji, išstumiamoji ir grindyse įrengta vėdinimo sistema, imituojamas vasaros sezonas. Atlikus matavimus buvo patvirtintas ISO 7730 standarte aprašytas teiginys, jog grindyse įrengta vėdinimo sistema negali pasiekti aukštesnės negu III šiluminio komforto kategorijos, nes buvo išmatuotas didelis oro greitis kulkšnių srityje (0,1 m aukštyje) [33, 34]. Modernios inžinerinės sistemos gali pasiekti aukštą pažangiojo parengtumo rodiklio komforto balą (žr. 4.4.3. skyrių), tačiau palaikomam šiluminiui komfortui patalpose daro įtaką inžinerinių sistemų tipas, projektavimo, montavimo darbų kokybė bei darbovietėje leidžiamo aprangos tipo. Todėl apskaičiuotas komforto balas gali neatitikti vidaus patalpose palaikomo komforto lygio.

4. Kauno technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastato pažangiojo parengtumo rodiklio nustatymas ir alternatyvų analizė

4.1. Tyrimo objektas

Pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimams buvo pasirinktas Kauno technologijos universiteto (KTU) Statybos ir Architektūros fakulteto pastatas. Pirmiausia buvo surinkti atitinkami pastato duomenys, kuriais remiantis yra apskaičiuojama rodiklio vertė. Surinkti duomenys apie pastatą pateikiami žemiau 6 ir 7 lentelėse, o pastato nuotrauka pateikiama 5 paveiksle.

6 lentelė. Bendri pastato duomenys

Pastato tipas ir paskirtis	Negyvenamasis pastatas, mokslo paskirties
Pastato plotas	14 824,25 m ²
Statybos metai	1965
Pastato energinė klasė	C
Klimato zona	šiaurės – rytų

7 lentelė. Esamo pastato duomenys apie inžinerines sistemas

Inžinerinė sistema	Duomenys apie sistemą
Šildymo sistema	Šilumos šaltinis – miesto centralizuoti šilumos tinklai. Tiekiamo šilumnešio temperatūra reguliuojama lauko daviklio Cirkuliaciniai siurbliai 2 fiksuotų greičių. Šildymo prietaisai – radiatoriai, be individualaus valdymo
Karšto vandens sistema	Valgyklai ir sporto salei ruošiama šilumos punkte. Tualetuose atskirai yra įrengti tūriniai vandens šildytuvai.
Apšvietimo sistema	Apšvietimo sistemos valdomos kiekvienoje patalpoje atskirai jungikliu.
Elektros sistema	Ant pastato stogo yra įrengta saulės elektrinė, kuri šildo požeminę izoliuotą vandens talpą fakulteto kiemelyje arba energijos perteklių perduoda į elektros tinklus. Ši sistema taip pat kaupia duomenis apie saulės elektrinės našumą, pastato suvartojamą ir į tinklą tiekiamą energijos kiekį



5 pav. Kauno technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastatas [26]

4.2. Tyrimo metodai

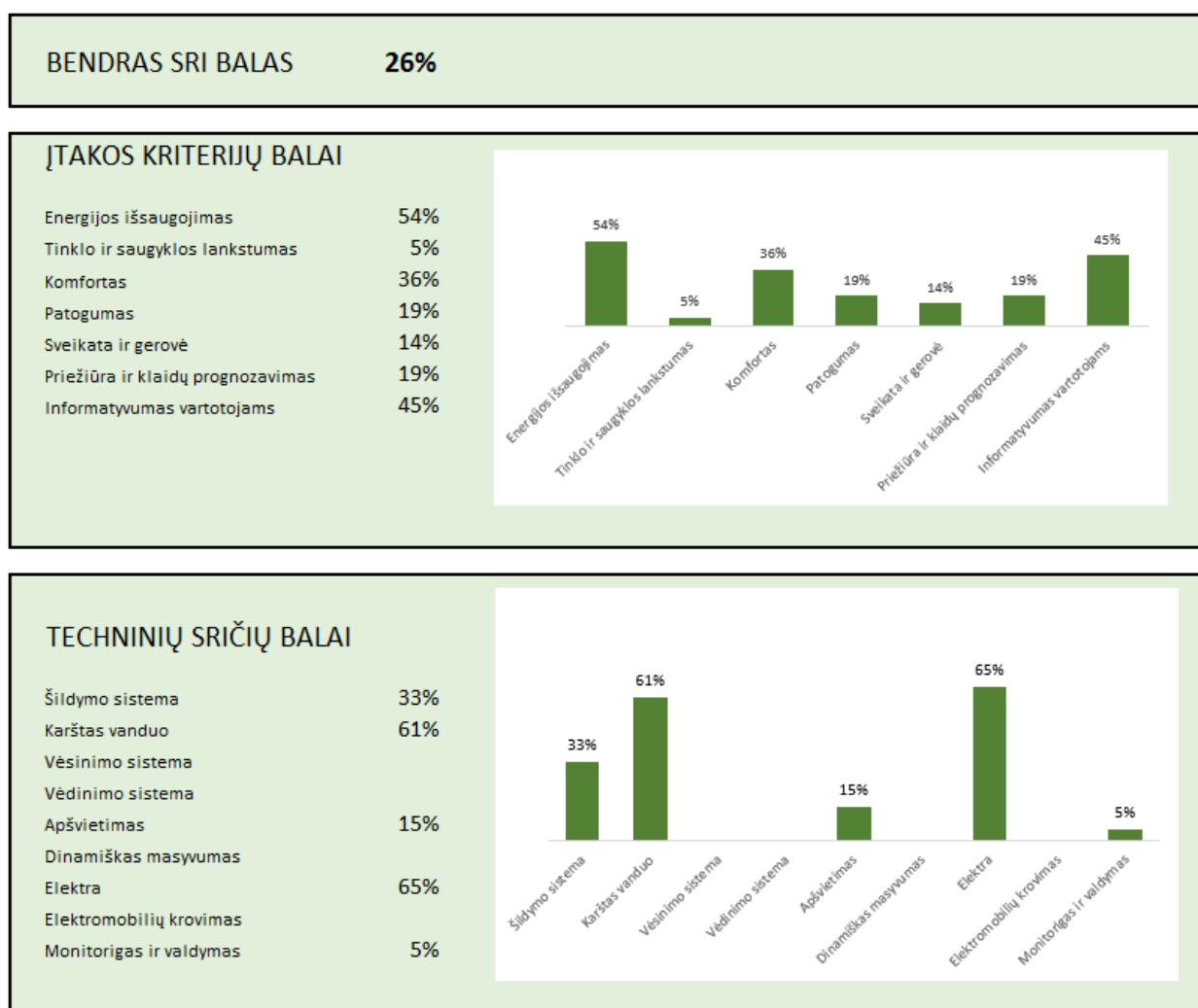
Tyrimo metodas suskirstomas į šešis etapus:

- duomenų apie pastatą ir inžinerines sistemas surinkimas;
- pažangiojo parengtumo rodiklio apskaičiavimas specializuota programine įranga (pagal 3.1. skyriuje aprašytą metodiką) ir rezultatų analizė;
- modernizuotos sistemos energijos sutaupymų apskaičiavimas IDA – ICE programine įranga ir rezultatų palyginimas su pažangiojo parengtumo rodiklio energijos išsaugojimo įtakos kriterijaus pokyčiu;
- alternatyvių sistemų pažangiojo parengtumo rodiklio apskaičiavimas, analizė ir palyginimas;
- pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto palyginimas;
- natūriniai tyrimai KTU Statybos ir Architektūros fakulteto pastato 301, 307, 434 ir 442 auditorijose ir jų analizė;

4.3. Tyrimo rezultatai

4.3.1. Pažangiojo parengtumo rodiklis

Apskaičiuoti pastato pažangiojo parengtumo rodiklio rezultatai yra pateikiami 6 paveiksle. Nustatytas pastato pažangiojo parengtumo rodiklis – 26 %.



6 pav. Esamo pastato pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo rezultatai

Tarp techninių sričių labiausiai išsiskiria karšto vandens ir elektros sritys, kurios surinko daugiausiai procentų ir perkopė 60 % ribą. Centralizuotai ruošiamas karšto vandens sritis turi ribotas išmanumo galimybes, todėl yra vertinamas tik sistemos gebėjimas kaupti duomenis. Kadangi universiteto pastato karšto vandens ruošimo sistema kaupia duomenis apie sistemos našumą ir energijos suvartojimą, todėl buvo pasiektas 61 % balas. Elektros sritis surinko 65 % dėl to, nes pastate yra įrengta išmani saulės jėgainė su energijos kaupimo talpa, kuri geba nesunaudojamą elektros energiją kaupti talpoje arba perduoti į tinklą. Taip pat, ši sistema kaupia duomenis apie sunaudojamą bei perduodamą į elektros tinklus energijos kiekį. Be saulės jėgainės, elektros sistemos balas būtų žemas ir siektų 13 %.

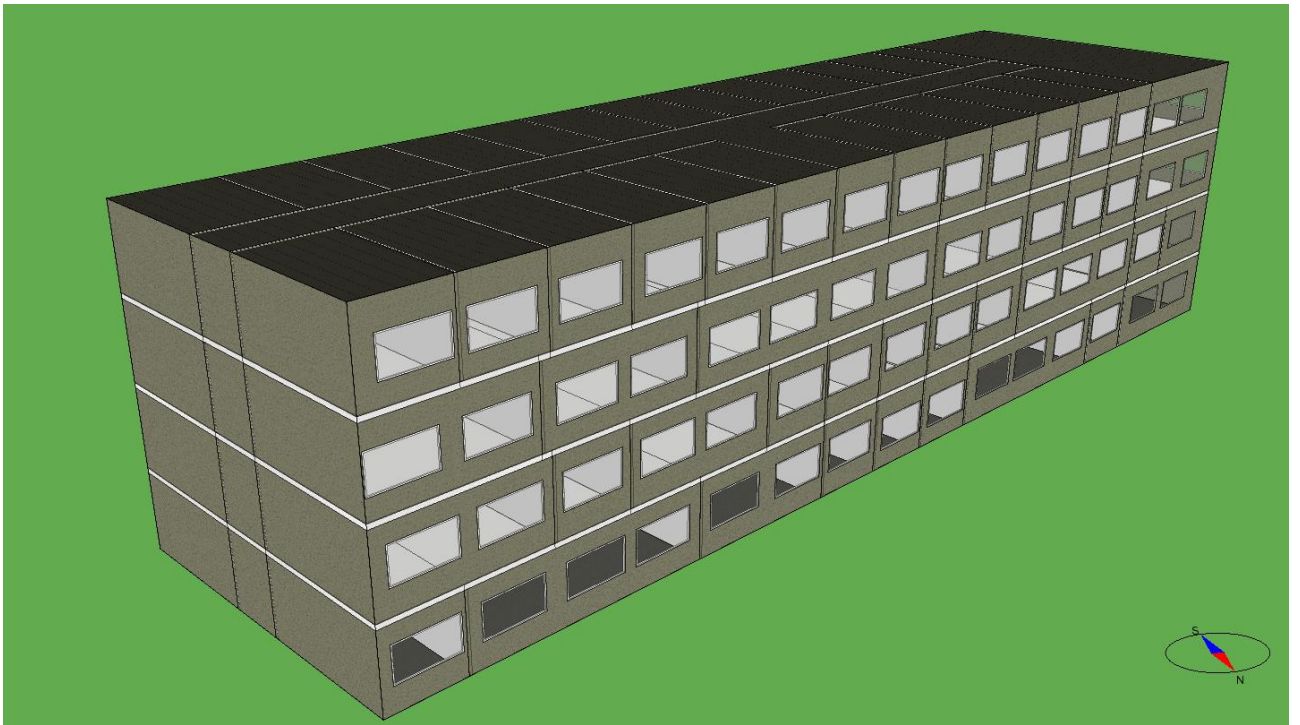
Mažiausiai balų surinko šildymo, apšvietimo bei monitoringo ir valdymo techninės sritys. Šildymo sritis surinko 33 % ir jį būtų galima pagerinti įrengus šildymo prietaisų valdiklius ir pakeičiant esamą cirkuliacinį siurblių į kintamo greičio cirkuliacinį siurblių. Apšvietimo sritis surinko tik 15 %, nes apšvietimo sistemoje nėra įrengta automatinių jungiklių. Monitoringo ir valdymo sritis surinko mažiausiai – 5 % ir tai parodo, jog pastate yra ribotos sistemų stebėjimo ir valdymo galimybės.

Įtakos kriterijai pasiskirstė tolygiai ir tik vienas kriterijus peržengė 50 % ribą. Išskirtinai žemas nustatytas tinklo ir saugyklos lankstumas kriterijus, kuris surinko 5 %. Tačiau, šis kriterijus turi ribotą maksimalų balą Lietuvoje, kadangi centralizuoti šilumos ir elektros tinklų automatika negali komunikuoti su vietinėmis pastatų valdymo sistemomis ir centralizuotų tinklų apkrovos pikų metu pastatai negali automatiškai naudoti energiją iš vietinių energijos saugyklų. Sveikatos ir gerovės sritis surinko 14 % ir tai parodo, jog techninės sritys mažai prisideda prie vartotojų sveikatos bei darbingumo didinimo vidaus patalpose. Patogumo bei priežiūros ir klaidų prognozavimo įtakos kriterijai surinko po 19 % balų, nes dauguma techninių sričių yra mažai automatizuotos. Tačiau, informatyvumo vartotojams kriterijus nurodo, kad mažai automatizuotis techninės sritys sugeba pateikti 45 % visų galimų rodiklių, kurie apibrėžia techninių sričių veikimą bei sunaudojamą energijos kiekį. Komforto kriterijus surinko 36 % ir jis nurodo, kad padidinus šildymo ir apšvietimo sričių išmanumo lygį, būtų galima padidinti patalpų komforto lygį apie 3 kartus. Energijos išsaugojimo kriterijaus balas pasiekė didžiausią 54 % balą, todėl pastate, padidinus techninių sričių išmanumą, yra galimybė sutaupyti apie pusę sunaudojamos energijos.

4.3.2. Energijos sutaupymų palyginimas su pažangiojo parengtumo rodiklio energijos išsaugojimo įtakos kriterijaus pokyčiu

Pažangiojo parengtumo rodiklio energijos išsaugojimo įtakos kriterijaus rezultatas yra gaunamas procentais. Todėl, lyginant dviejų skirtingo išmanumo sistemų energijos sutaupymus, yra gaunamos dvi procentinės reikšmės, kurios nėra informatyvios. Galima daryti prielaidą, jog, padalinus didesnę reikšmę iš mažesnės, gausime reikšmę, kuri nurodys galimus sutaupymus pvz.: tarp esamos ir modernizuotos sistemos. Norint patikrinti šią hipotezę, nutarta IDA-ICE programine įranga sukurti pastato 3D modelį (žr. 7 paveikslą) ir atlikti dinaminis suvartojamos šiluminės energijos kiekio modeliavimus šildymo sezonui pagal du scenarijus, kai:

1. esama situacija nėra keičiama;
2. šildymo sistema yra modernizuojama ir prie radiatorių yra įrengiami radiatorių vožtuvai ir termostatinės galvutės (žr. 8 paveikslą).



7 pav. Pastato 3D modelio vaizdas IDA-ICE programinėje įrangoje



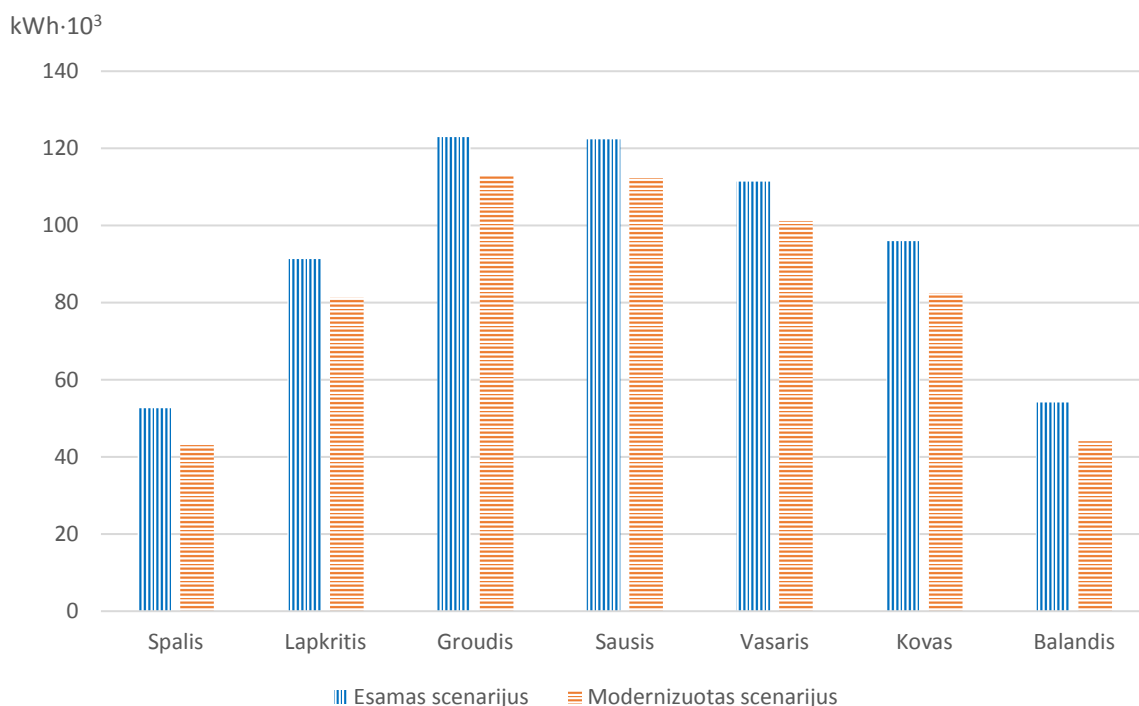
8 pav. Radiatoriaus vožtuvas su termostatine galvute [27]

Suvartojamos šiluminės energijos kiekio skaičiavimų išeities duomenys:

- tiekiamo oro kiekis – $18 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, patalpos vėdinamos visą parą;
- vienam studentui tenkantis patalpos plotas – 2 m^2 ;
- šilumos išsiskyrimai dėl apšvietimo – 5 W/m^2 ;
- patalpos pradamos šildyti, kai išorės temperatūra nukrenta žemiau $+10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- tiekiamo šilumnešio temperatūra reguliuojama pagal lauko temperatūros jutiklį;
- studentai paskaitose lankosi nuo pirmadienio iki šeštadienio (nuo 9:00 iki 17:00);
- pastate apšvietimo sistema įjungiama kiekvieną dieną nuo 7:00 iki 8:00 ir nuo 17:00 iki 21:00.

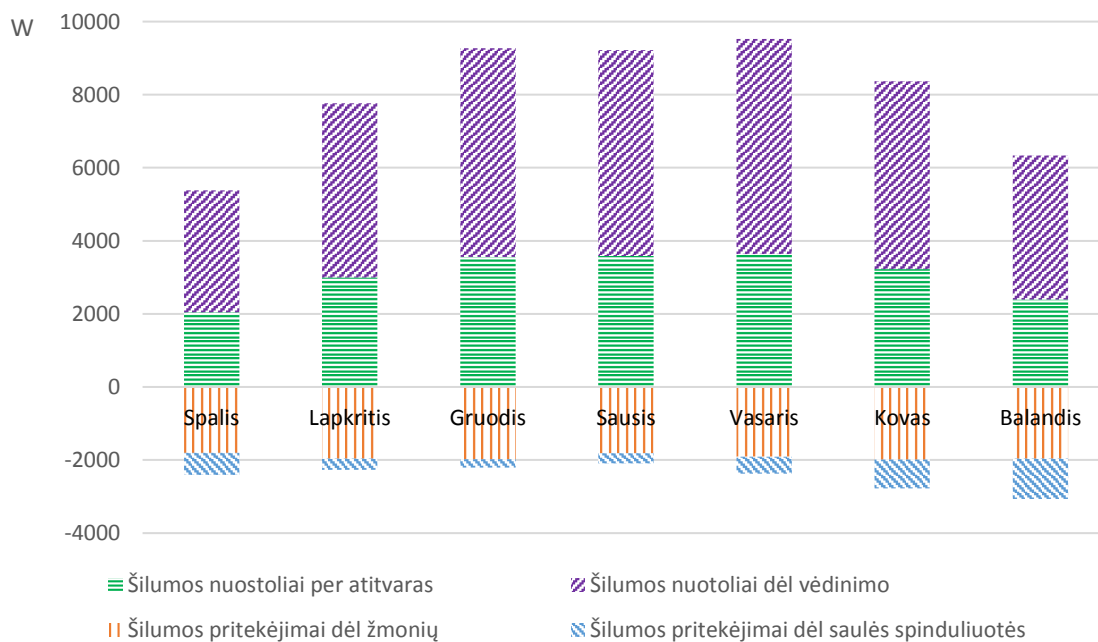
Programa modeliuoti suvartojamos šiluminės energijos kiekiai pagal mėnesius pateikiami žemiau 9 paveiksle. Modernizuota sistema rudens ir pavasario mėnesiais suvartoja 12,2 – 22,2 % mažiau šiluminės energijos, o žiemos mėnesiais suvartoja 8,9 – 10 % mažiau šiluminės energijos. Nors

sutaupomas šiluminės energijos kiekis procentais pagal mėnesius skiriasi, tačiau absoliučios reikšmės išliko panašios: Lapkričio, Gruodžio, Sausio, Vasario ir Balandžio mėnesiais apie 10 tūkst. kWh, Spalio – 9,6 tūkst. kWh ir Kovo – 13,5 tūkst. kWh.



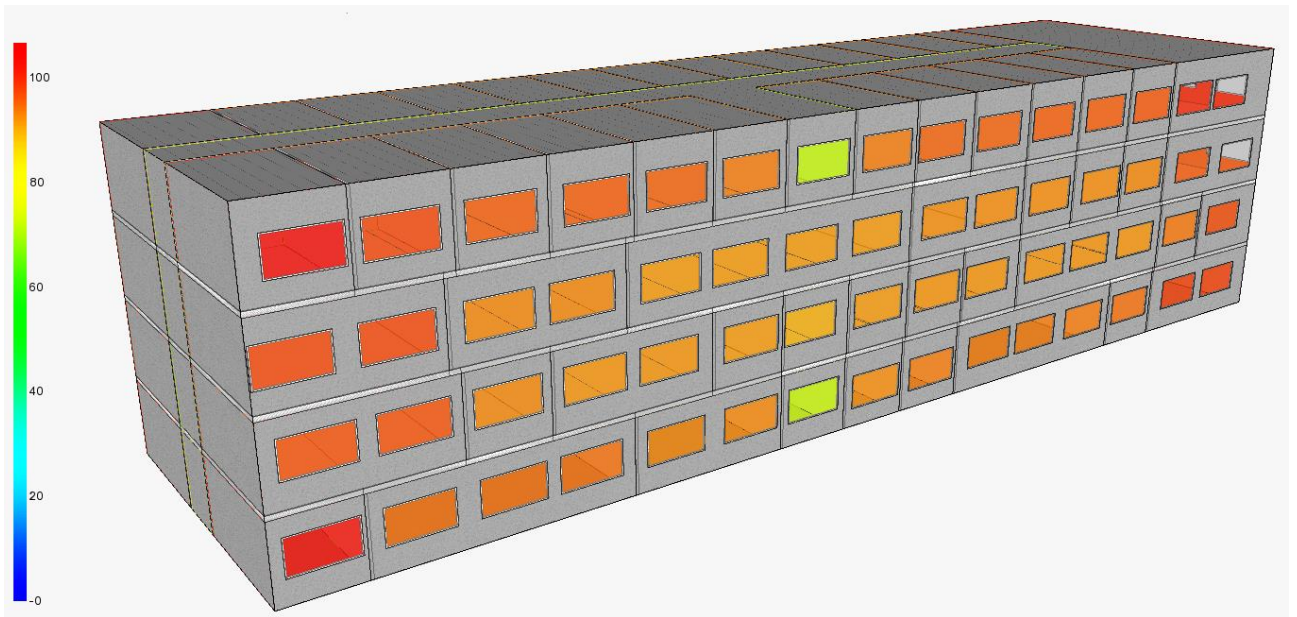
9 pav. Esamo scenarijaus pastato šiluminės energijos suvartojimas pagal mėnesį

Vienos pasirinktos patalpos vidutinės šilumos nuotolių ir pritekėjimų vertės pagal mėnesius pateikiamos 10 paveiksle. Šilumos pritekėjimai kompensuoja apie 22,7 % – 48,4 % šilumos nuostolių. Kadangi šilumos pritekėjimai yra gaunami tik dienos metu, tik reguliuojama šildymo sistema geba sumažinti savo galią pagal šilumos pritekėjimus ir taip taupyti šiluminę energiją.

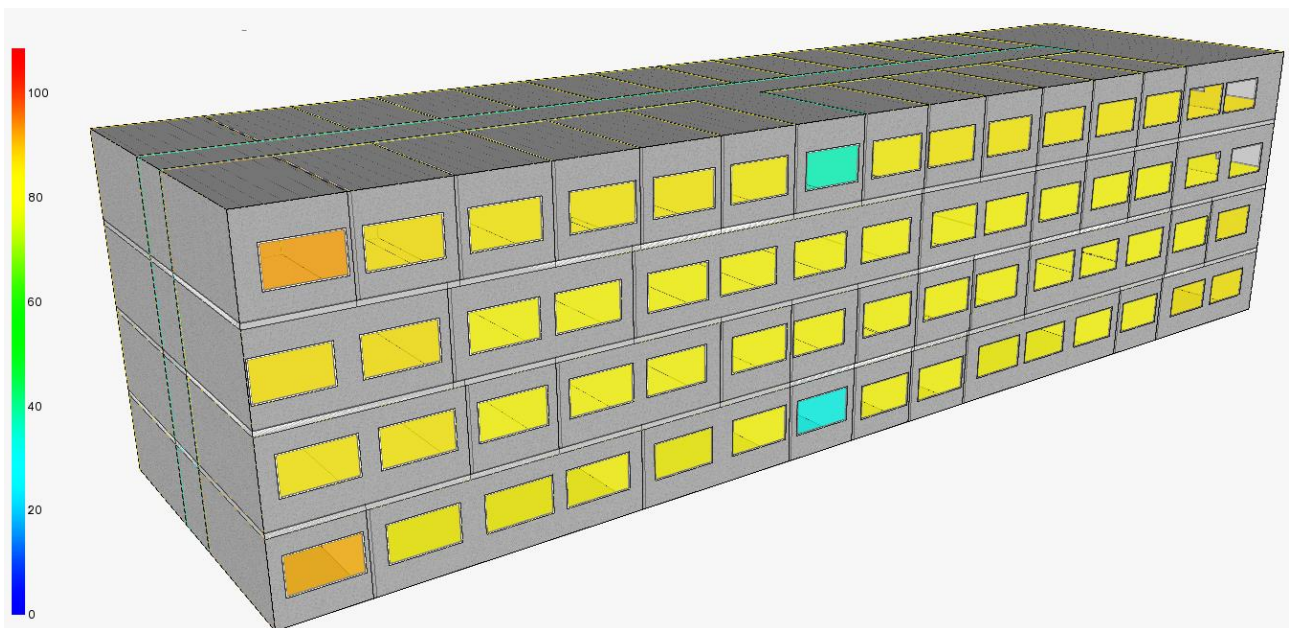


10 pav. Šilumos nuostolių ir pritekėjimų pasiskirstymas pagal mėnesius

Žemiau 11 ir 12 paveiksluose pateikiami pastato modelio 3D vaizdai, kurie parodo šiluminių prietaisų skleidžiamą šilumą W/m^2 patalpose pirmuoju ir antruoju scenarijumi.

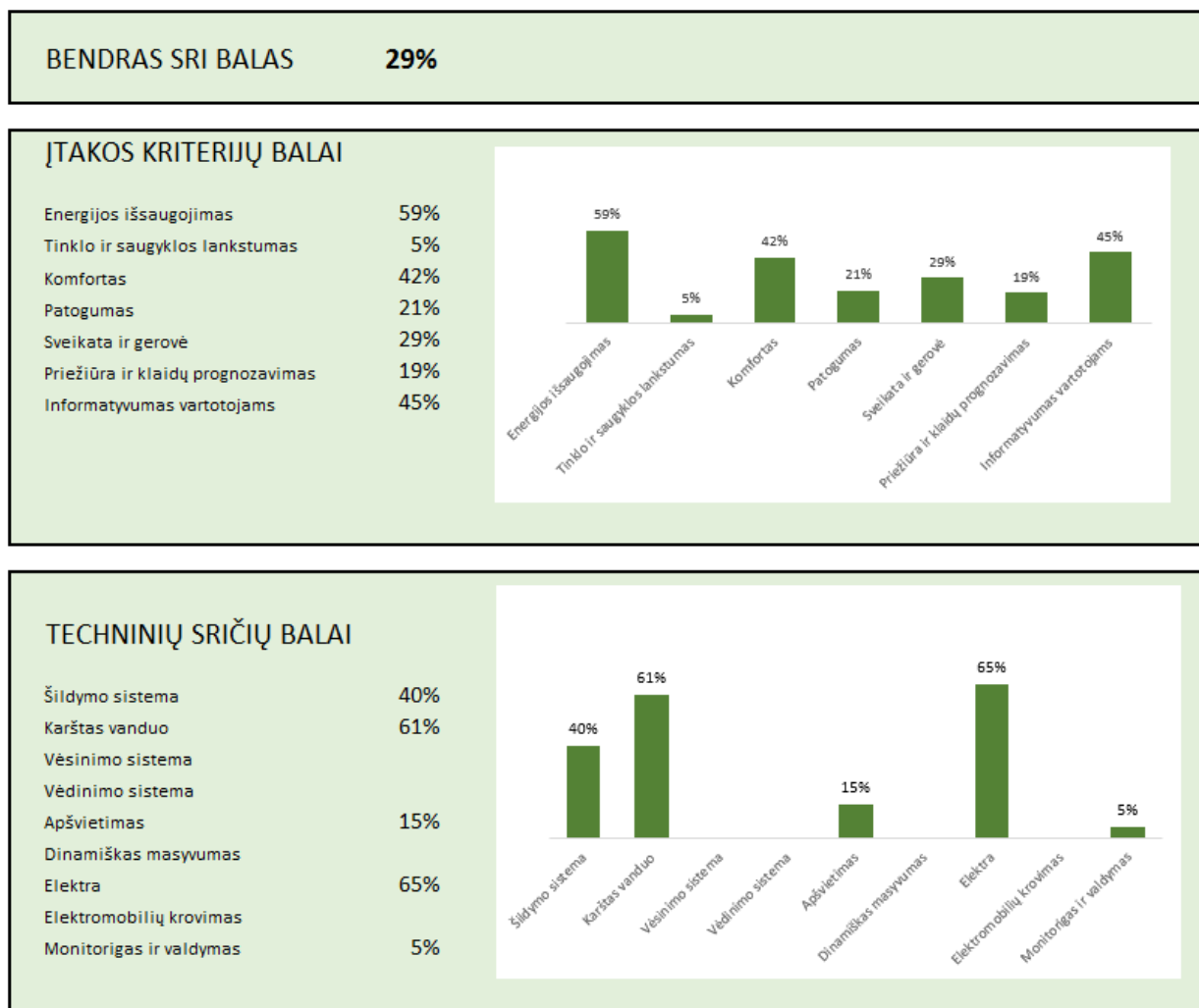


11 pav. Pastato 3D modelio vaizdas, rodantis šiluminių prietaisų skleidžiamą šilumą W/m^2 patalpose pirmuoju scenarijumi



12 pav. Pastato 3D modelio vaizdas, rodantis šiluminių prietaisų skleidžiamą šilumą W/m^2 patalpose antruoju scenarijumi

Perskaičiuoti pažangiojo parengtumo rodiklio rezultatai pateikiami 13 paveiksle. Rezultatų palyginimas tarp skirtingų scenarijų pateikiamas 8 lentelėje.



13 pav. Modernizuoto scenarijaus pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo rezultatai

8 lentelė. Esamos ir modernizuoto scenarijų energijos išsaugojimo ir sunaudojimo palyginimas

	Esama	Modernizuota
Šildymo sistemos balas	33 %	40 %
Energijos išsaugojimo įtakos kriterijaus balas	54 %	59 %
Pokytis	1,093 (padidėjo 9,3 %)	
Sunaudojamas energijos kiekis per šildymo sezoną	678 562 kWh	598 075 kWh
Pokytis	0,881 (sumažėjo 11,9 %)	

Modernizuotame scenarijuje pažangiojo parengtumo rodiklio energijos išsaugojimo įtakos kriterijus padidėjo 9,3 %, o IDA-ICE apskaičiuotas sunaudojamas energijos kiekis sumažėjo 11,9 %. Skirtumas – 2,6 %. Todėl galima teigti, jog pagal pažangiojo parengtumo rodiklio metodiką apskaičiuoti energijos sutaupymai yra panašūs į dinaminiais skaičiavimais modeliuotus sutaupymus, bet jie nėra vienodi.

Modernizuotame scenarijuje taip pat pastebėtas komforto kriterijaus balo padidėjimas iš 36 % į 42 %, patogumo iš 19 % į 21 % ir sveikatos ir gerovės iš 14 % į 29 %.

4.3.3. Alternatyvūs technologiniai sprendimai ir jų įtaka pastato pažangiojo parengtumo rodikliui

Atlikus esamo Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto pastato pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimus, buvo nutarta atlikti alternatyvių technologinių sprendinių analizę ir įvertinti jų įtaką rodiklio vertei. Be to, kaip buvo rašoma 4.2. skyriuje, šia analize bus nustatoma apytikslė aukščiausia pažangiojo parengtumo rodiklio vertė.

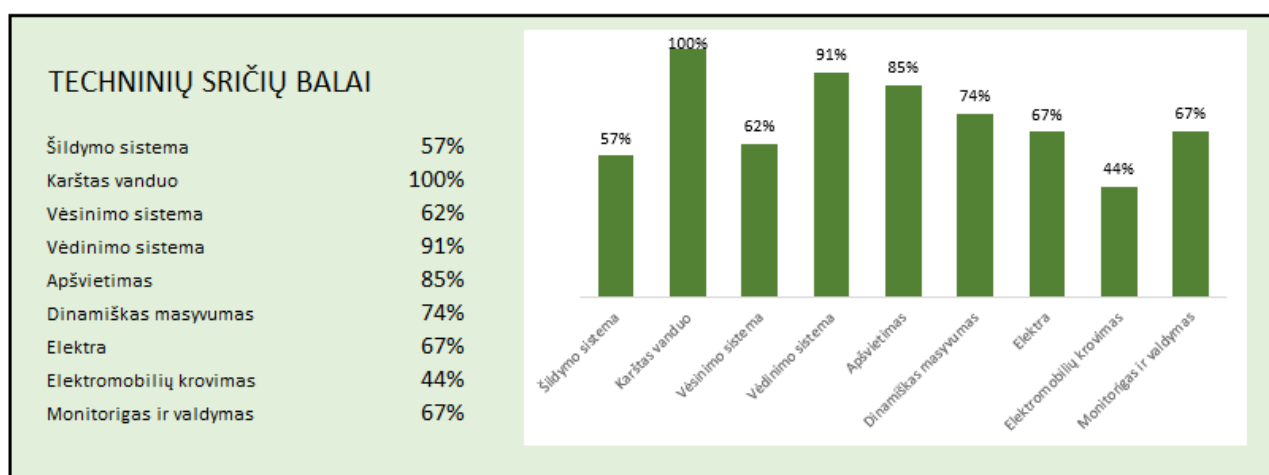
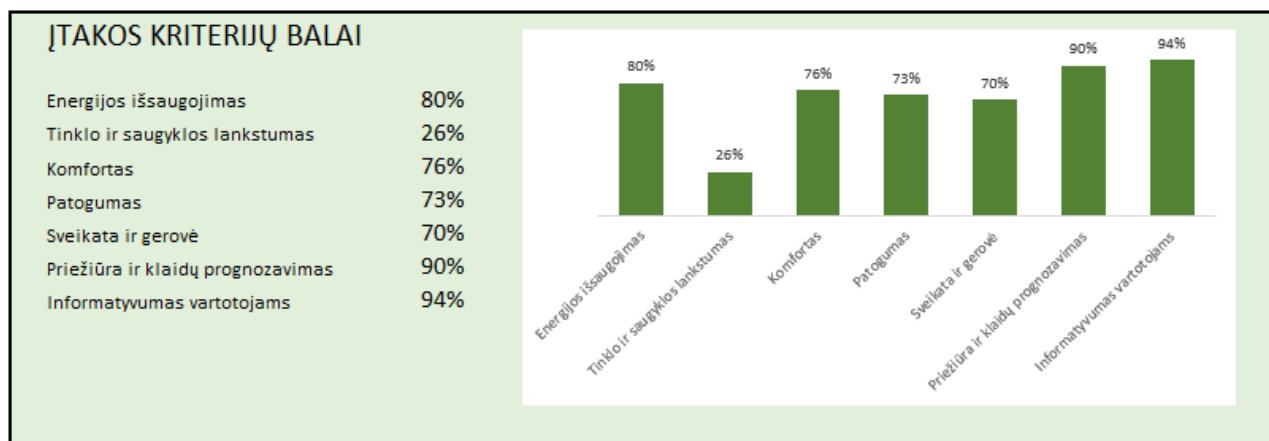
Pasirinktos sistemos geba palaikyti aukščiausios šiluminio komforto klasės mikroklimatą patalpose ir tai atlieka reikalaujamos minimalaus žmogaus įsikišimo. Elektromobilių krovimo vietos numatytos dvi, kadangi tiek vietų dažniausiai yra įrengiama naujose arba atnaujinamose stovėjimo aikštelėse. Pagal STR 2.06.04:2014, jeigu stovėjimo aikštelėje yra daugiau negu 10 stovėjimo vietų, tada yra privaloma įrengti vieną elektromobilių stovėjimo vietą ir kas penktoje vietoje turi būti įrengti elektros kanalai [28]. Duomenys apie siūlomus inžinerinių sistemų pakeitimus pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Siūlomi inžinerinių sistemų pakeitimai

Inžinerinė sistema	Duomenys apie sistemą
Šildymo sistema	Šilumos šaltinis – miesto centralizuoti šilumos tinklai. Tiekiamo šilumnešio temperatūra reguliuojama lauko daviklio. Cirkuliaciniai siurbliai kintamo greičio, prijungti prie pastato valdymo sistemos. Šildymo prietaisai – grindinis šildymas, kiekviena patalpa valdoma atskirai bei sistema prijungta prie pastato valdymo sistemos.
Karšto vandens sistema	Karštas vanduo ruošiamas šilumos punkte su išmania automatika.
Vėsinimo sistema	Kintamo šaltnešio srauto (angl. <i>Variable Refrigerant Flow</i>) vėsinimo sistema su vidiniais blokais kiekvienoje patalpoje. Sistema valdoma sieniniais valdikliais kiekvienoje patalpoje atskirai. Sistema prijungta prie pastato valdymo sistemos.
Vėdinimo sistema	Vėdinimo sistema su šilumogrąža. Kiekvienoje patalpoje numatyta kintamo oro kiekio vėdinimo sistema valdoma patalpos daviklio pagal CO ₂ .
Apšvietimo sistema	Apšvietimo sistemos valdomos kiekvienoje patalpoje atskirai automatiniu jungikliu su galimybe keisti šviesos intensyvumą.
Elektros sistema	Esamos sistemos nekeičiamos
Dinamiškas masyvumas	Ant pastato langų numatytos išorinės žaliuzės, veikiančios pagal saulės apšviestumo daviklį.
Elektromobilių krovimas	Fakulteto vidiniame kiemelyje numatytos dvi elektromobilių krovimo vietos, kuriose galima pasirinkti išvykimo laiką

Apskaičiuoti pastato pažangiojo parengtumo rodiklio rezultatai yra pateikiami 14 paveiksle. Nustatytas pastato pažangiojo parengtumo rodiklis – 67 %.

BENDRAS SRI BALAS 67%



14 pav. Pažangiojo parengtumo rodiklio skaičiavimo rezultatai

Lyginant 6 ir 14 paveikslų techninių sričių rezultatus, labiausiai pakilo monitoringo ir valdymo srities rodiklis (nuo 5 % iki 67 %). Tai būtų galima sieti su naujų inžinerinių sistemų įrenginiais, kurie yra pilnai automatizuoti ir tai suteikia didesnes stebėjimo ir valdymo galimybes. Apšvietimo sistemoje numačius automatinius jungiklius su šviesos intensyvumo keitimo galimybe, rodiklis pakilo nuo 15 % iki 85 %. Norint pasiekti maksimalų balą, apšvietimo sistemoje turėtų būti galimybė keiti ne tik šviesos intensyvumą, bet ir atspalvį. Šildymo sistemos balas pakilo nuo 32 % iki 57 %, tačiau norint jos balą, kaip ir vėsinimo sistemos (kuri surinko 62 %), padidinti iki maksimalaus, reikėtų patalpas šildyti/vėsinti pagal būvio daviklius ir sistemos turėtų gebėti komunikuoti su miesto centralizuotais tinklais (neatsižvelgiant į tai, jog Lietuvoje centralizuotai nėra tiekiamas šaltnešis). Elektros sistemos balas išliko beveik nepakitęs, o karšto vandens sistema pakilo iki maksimalaus 100 %. Elektromobilių krovimo balas buvo pasiektas mažiausias, kadangi maksimaliam balui elektromobilių krovimo vietos turi užimti >50 % stovėjimo vietų, krovimo sistema privalo veikti optimizuotai pagal centralizuotų elektros tinklų apkrovą bei turi turėti galimybę naudoti elektros energiją iš elektromobilių.

Beveik visi įtakos kriterijai pasiekė arba viršijo 70 % ribą. Tinklo ir saugyklos lankstumo kriterijus pakilo nuo 5 % iki 26 %, tačiau išliko pats žemiausias iš kriterijų. Kriterijai yra vieni su kitais susiję, nes kiekvienos sistemos elementas visada daro įtaką daugiau negu vienam įtakos kriterijui,

todėl galima daryti prielaidą, kad gaunant vieną žemą įtakos kriterijaus balą, kiti balai negalės pasiekti visiško maksimumo. Taip pat, galima daryti kitą prielaidą, jog Lietuvoje arba kitose šalyse gali būti neįmanoma pasiekti maksimalaus pažangiojo parengtumo rodiklio balo nes:

- šalyje centralizuotai yra tiekiamas arba šilumnešis, arba šaltnešis bet ne abu;
- šalies centralizuoti tinklai nėra išmanūs ir neturi galimybės komunikuoti su pastato šildymo, vėsinimo arba elektros sistemomis.

Parentant inžinerinių sistemų duomenis buvo tikimasi, jog pastate, kuriame yra šildoma ir vėsinama pagal kiekvienos patalpos daviklį, vėdinama pagal CO₂ koncentraciją ore ir apšvietimas yra valdomas automatiškai, bus pasiektas aukščiausias komforto kriterijaus balas. Ši hipotezė buvo padaryta remiantis šiluminio komforto klasėmis, kadangi tokios inžinerinės sistemos geba palaikyti pačią aukščiausią šiluminio komforto klasę. Analogiška hipotezė buvo daroma atitinkamai su energijos išsaugojimo, patogumo bei sveikatos ir gerovės įtakos kriterijais. Deja, ši hipotezė dalinai nepasitvirtino, nes energijos išsaugojimo pasiekė 80 %, komforto – 76 %, patogumo – 73 %, o sveikatos ir gerovės – 70 %.

4.3.4. Pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto palyginimas

Pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijus apima šiluminį, akustinį ir vizualinį komfortą. Tam, kad būtų galima nustatyti pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto ryšį, nutarta apskaičiuoti kiekvienos sistemos maksimalų komforto kriterijaus balų skaičių ir palyginti jį su tais balais, kuriuos sistema gali gauti dėl tų ypatybių, kurios lemia šiluminio komforto palaikymą. Pvz.: jeigu šildymo sistema turi patalpos termostatus, tada sistema turi galimybę prisitaikyti prie kintančių aplinkos sąlygų ir taip palaikyti šiluminį komfortą. Kitas pvz.: jeigu centralizuota šildymo sistema gali lanksčiai dirbti pagal centralizuotų šiluminių tinklų apkrovą, ji taip pat gali komforto kriterijaus balų, tačiau tai niekaip neįtakos vidaus patalpų šiluminio komforto. Skaičiavimai pateikiami žemiau 10 lentelėje.

10 lentelė. Pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto ryšio nustatymas

Sistemos	Maksimalus komforto kriterijaus balų skaičius	Komforto kriterijaus balų skaičius, susijęs su šiluminiu komfortu	Santykis
Šildymo	8	5	62,5 %
Karšto vandens	0	0	-
Vėsinimo	8	5	62,5 %
Vėdinimo	8	7	87,5 %
Apšvietimo	5	0	0,0 %
Dinamiško masyvumo	5	0	0,0 %
Elektros	0	0	-
Elektromobilių krovimo	0	0	-
Monitoringo ir valdymo	3	0	0,0 %

Šildymo, vėdinimo ir vėsinimo sistemose apskaičiuotas glaudus sąryšis tarp pažangiojo parengtumo rodiklio komforto kriterijaus ir šiluminio komforto. Bendras visų sistemų santykių vidurkis yra 46,0 % (apskaičiuota pagal 3 lentelės svertinius koeficientus). Šis rezultatas parodo, jog beveik puse

komforto kriterijaus balų yra susiję su šiluminio komforto palaikymu. Be to, 46,0 % komforto kriterijaus balas nustato minimalų komforto kriterijaus balą, kuris yra reikalingas tam, jog sistemos turėtų galimybę palaikyti patalpose aukščiausią šiluminio komforto klasę. Tačiau, kiekviena apšvietimo sistema turi šviesos jungiklius kiekvienoje patalpoje, todėl įtraukus papildomą balą prie minimalus komforto kriterijaus balo, jis padidėja iki 48,7 %. Atsižvelgiant į kitas sistemas, nuo kurių nepriklauso šiluminio komforto palaikymas, minimalus komforto kriterijaus balas gali svyruoti nuo 48,7 % iki 81,1 %, priklausomai nuo kitų sistemų pažangumo lygio.

4.4. skyriuje nagrinėtos alternatyvios sistemos komforto kriterijus surinko 76 %. Nors inžinerinės sistemos buvo pasirinktos pažangios, jos neperkopė aukščiausio minimalaus komforto kriterijaus balo (81,1 %). Todėl galima daryti išvadą, jog centralizuotų miesto šilumos ir elektros tinklų pažangumas įtakoja ne tik tinklo ir saugyklos lankstumo įtakos kriterijaus balą, bet ir kitų įtakos kriterijų balus.

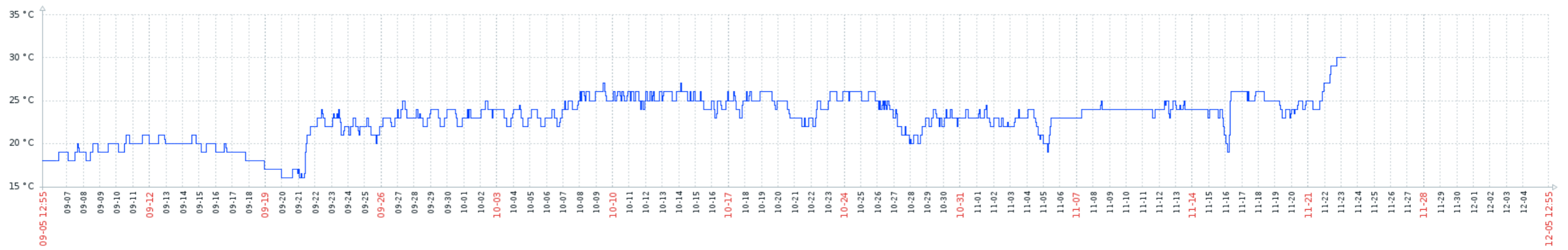
4.3. skyriuje nagrinėtos esamos sistemos komforto kriterijus surinko 36 %. Pastate galėtų būti palaikoma tik aukštos šiluminio komforto klasės temperatūra, nes:

- pastate nėra numatyta vėsinimo sistema, todėl vasarą ir pereinamuoju laikotarpiu patalpų temperatūra gali viršyti aukščiausią leistiną patalpos temperatūrą dėl šilumos pritekėjimo per skaidrias atitvaras dėl saulės apšvietos;
- pastate nėra numatyta vėdinimo sistema, todėl, dėl paskaitų metu atidaromų langų, oro judrumas darbo zonoje ir temperatūrinis gradientas viršys maksimalias vertes.

Kauno technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastato 301, 307, 434 ir 442 auditorijose buvo atliekami natūriniai tyrimai. matuojami parametrai – oro temperatūra ir CO₂. CO₂ koncentracija ore nėra sėjama su šiluminio komforto klasėmis, tačiau, CO₂ koncentracijai esant 2500 - 5000 ppm, yra jaučiamas „sunkus“ oras, kuris užgožia palaikomą šiluminį komfortą [31]. Žemiau pateikiami išmatuoti rezultatai nuo Rugsejo 5 dienos iki Gruodžio 5 dienos. Pagal 3.3 skyriaus 5 lentelė, komfortinės temperatūros ribos yra nuo 20 °C iki 24 °C, pakankamos temperatūros ribos yra nuo 18 °C iki 26 °C Lauko oro CO₂ koncentracija pagal STR 2.09.02:2005 – 400 ppm, pagal Gruodžio 3 dienos matavimus ~ 416 ppm [19, 29]. Rekomenduojama CO₂ koncentracija ugdymo patalpose – 1000 ppm, leistina norma – 1500 ppm, vienkartinė didžiausia leistina norma – 5000 ppm [30].

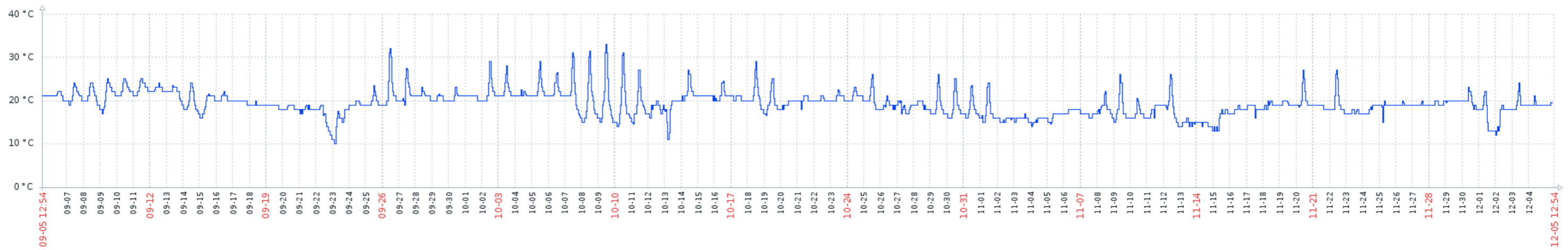
Matavimai yra atliekami COVID-19 epidemijos laikotarpiu, kai paskaitos studentams vyksta mišriu būdu: gyvai universitete ir nuotoliniu būdu. Todėl tikėtina, jog analogiškai matavimai atlikti prieš arba po COVID-19 epidemijos laikotarpiu skirtusi nuo gautųjų dėl didesnio studentų srauto auditorijose.

Temperatūros matavimo rezultatai pateikiami žemiau 15 – 18 paveiksluose, o CO₂ matavimo rezultatai pateikiami žemiau 19 – 22 paveiksluose.



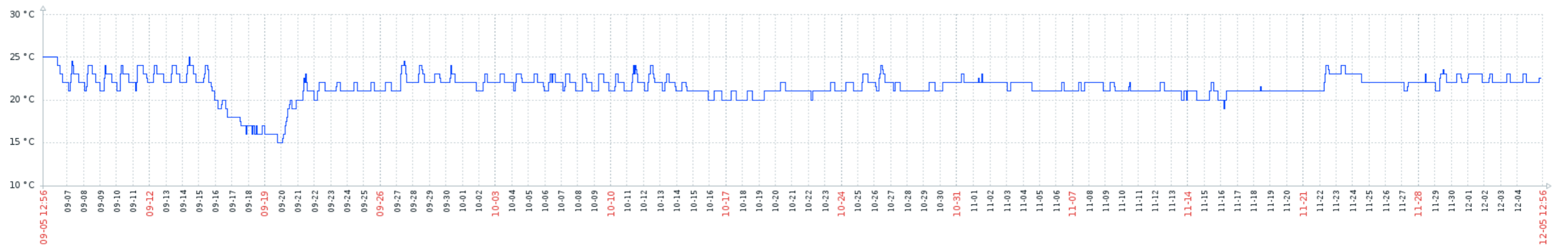
15 pav. 301 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai

301 auditorijoje penkias dienas (6 % matuojamo laiko) nebuvo palaikoma pakankama patalpos temperatūra, kadangi Rusėjo 19 – 21 dienomis patalpos temperatūra buvo nukritusi iki 16 – 17 °C, o Lapkričio 22 – 23 dienomis patalpos temperatūra buvo pakilusi iki 27 – 30 °C. Komfortinė temperatūra auditorijoje buvo palaikoma 40 dienų (51 % matuojamo laiko), o pakankama 34 dienas (43 % matuojamo laiko).



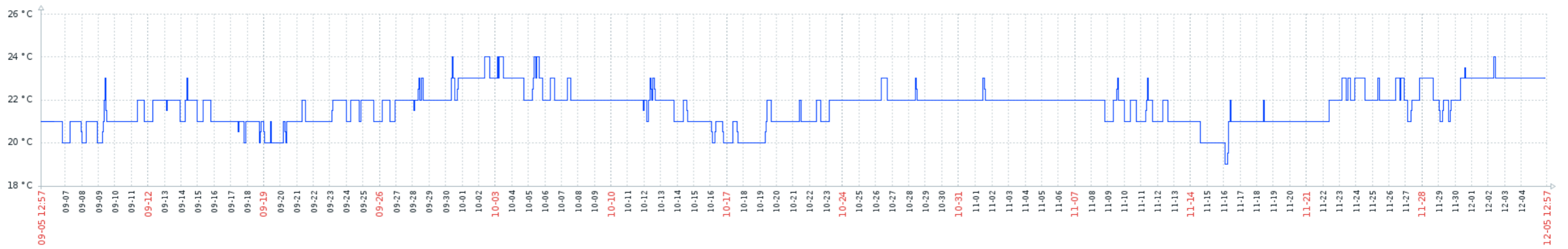
16 pav. 307 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai

307 auditorijoje 15 dienų (16 % matuojamo laiko) nebuvo palaikoma pakankama patalpos temperatūra, nes Rusėjo 21 – 24, Lapkričio 2 – 8 bei 13 – 16 ir Gruodžio 2 dienomis patalpos temperatūra buvo nukritusi iki 10 – 17 °C. Komfortinė temperatūra auditorijoje buvo palaikoma 41 dienų (45 % matuojamo laiko), o pakankama 35 dienas (39 % matuojamo laiko).



17 pav. 434 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai

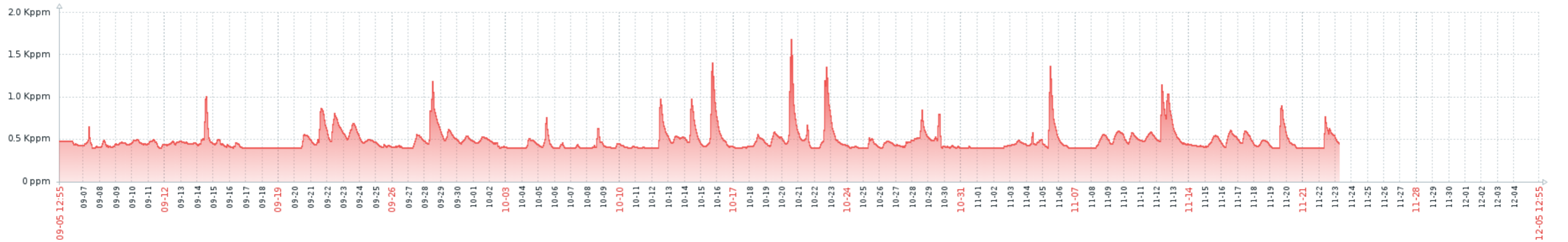
434 auditorijoje 5 dienas (5 % matuojamo laiko) nebuvo palaikoma pakankama patalpos temperatūra, nes Rusėjo 17 – 21 dienomis patalpos temperatūra buvo nukritusi iki 15 – 17 °C. Komfortinė temperatūra auditorijoje buvo palaikoma 89 dienų (95 % matuojamo laiko).



18 pav. 442 auditorijos temperatūros matavimo rezultatai

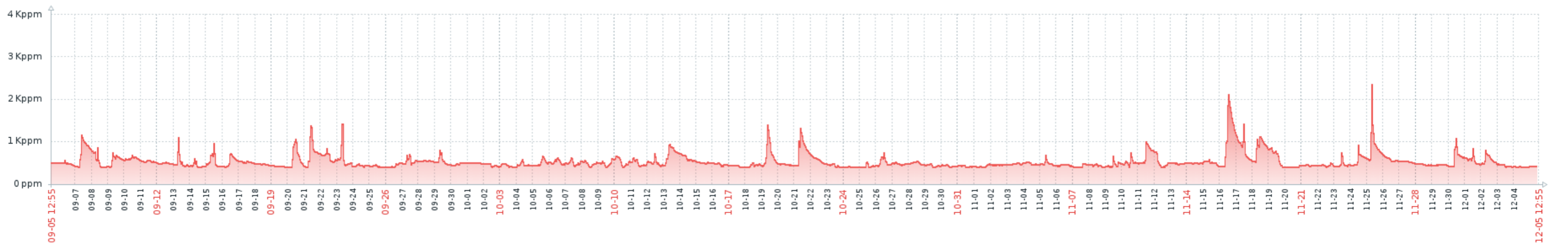
442 auditorijoje komfortinė temperatūra buvo palaikoma visą matavimo laikotarpį.

Apibendrinant, temperatūros matavimai auditorijose atskleidė palaikomos temperatūros nevienodumą tarp skirtingų auditorijų. Nors auditorijos yra aptarnaujamos vienos šildymo sistemos, 434 ir 442 auditorijose visą matavimo laikotarpį (išskyrus 5 dienas 434 auditorijoje) buvo palaikoma komfortinė temperatūra patalpoje. Tačiau, 301 ir 307 auditorijose komfortinė temperatūra buvo palaikoma tik 48 % matuojamo laiko, pakankama temperatūra – 41 % ir 11 % matuojamo laiko nebuvo palaikoma pakankama temperatūra.



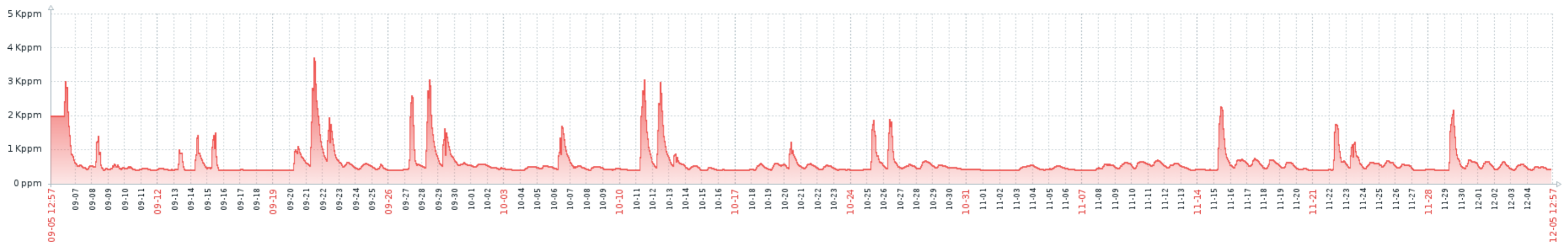
19 pav. 301 auditorijos CO₂ matavimo rezultatai

301 auditorijoje leistina CO₂ koncentracija patalpoje buvo viršyta tik Spalio 20 dieną.



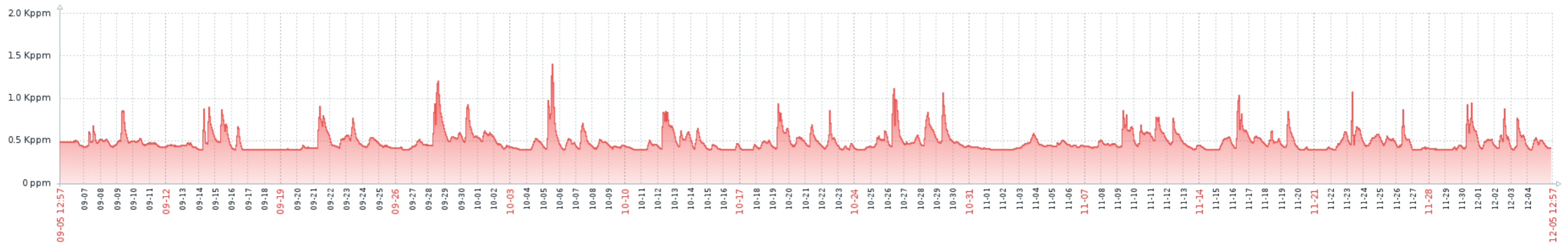
20 pav. 307 auditorijos CO₂ matavimo rezultatai

307 auditorijoje leistina CO₂ koncentracija patalpoje buvo viršyta tik Lapkričio 16 ir 25 dienomis.



21 pav. 434 auditorijos CO₂ matavimo rezultatai

434 auditorijoje leistina CO₂ koncentracija patalpoje buvo viršyta 14 dienų. Tik šioje auditorijoje buvo viršyta 2000 ir 3000 ppm ribos.



22 pav. 442 auditorijos CO₂ matavimo rezultatai

442 auditorijoje visą matavimo laikotarpį nebuvo viršyta leistina CO₂ koncentracija patalpoje.

Apibendrinant, visą matavimo laikotarpį 301, 307 ir 442 auditorijose leistina CO₂ koncentracijos riba buvo peržengta tik tris dienas ir tai parodo, jog natūralios vėdinimo sistemos našumas šiose auditorijose yra pakankamas. Tačiau, 434 auditorijoje pastebėtas dėsningas CO₂ koncentracijos šuolis pirmadieniais - trečiadieniais. Kadangi šioje auditorijoje CO₂ koncentracija peržengdavo 1500 ir 2500 ppm ribas, paskaitų metu suprastėdavo ugdymo proceso kokybiškumą ir būdavo daroma žala sveikatai dėl užteršto oro.

Išvados

1. Literatūros analizės metu nustatyta, kad pastato valdymo sistemos gali sutaupyti iki 30 % vandens sąnaudų, iki 40 % energijos sąnaudų ir sumažinti pastato priežiūros kaštus nuo 10 % iki 30 % bei apžvelgti išmanių vėdinimo sistemų valdymo būdai.
2. Modernios inžinerinės sistemos gali pasiekti aukštą pažangiojo parengtumo rodiklio komforto balą, tačiau komforto įtakos kriterijus yra priklausomas nuo projektavimo, montavimo darbų kokybės bei darbovietėje leidžiamo aprangos tipo. Todėl apskaičiuotas komforto balas gali neatitikti vidaus patalpose palaikomo komforto lygio.
3. Nustatyta, jog energinio naudingumo klasės nesutapimą su pažangiojo parengtumo rodiklio verte lemia tai, kad nustatant energinio naudingumo klasę, skaičiavimuose nėra detalizuojamos inžinerinių sistemų galimybės ir jų ypatybės. Tačiau, nustatant pažangiojo parengtumo rodiklio balą, yra vertinama tik pastato inžinerinių sistemų pažangumas, galimybės ir informatyvumas.
4. Apskaičiuotas Kauno technologijos universiteto Statybos ir Architektūros fakulteto pastato pažangiojo parengtumo rodiklis, kuris yra 26 %. Skaičiavimai parodo, jog padidinus techninių sričių pažangumą, yra galimybė sutaupyti apie pusę sunaudojamos energijos.
5. Pagal pažangiojo parengtumo rodiklio metodiką apskaičiuoti energijos sutaupymai yra panašūs į dinaminiais skaičiavimais modeliuotus sutaupymus, bet jie skiriasi 2,6 %.
6. Atlikus alternatyvaus scenarijaus skaičiavimus su moderniomis sistemomis buvo pasiektas 67 % pastato pažangiojo rodiklio balas. Šiais skaičiavimais nustatyta, kad pažangiojo parengtumo rodiklio balą įtakoja ne tik pastato sistemų pažangumas, tačiau ir miesto centralizuotų šildymo, vėsinimo ir elektros sistemų pažangumas. Todėl pažangus pastatas gali nepasiekti maksimalios rodiklio vertės dėl nepažangių miesto centralizuotų tinklų.
7. Atlikti natūriniai tyrimai parodo, jog komfortinė temperatūra nuolatos yra palaikoma dvejose iš keturių auditorijų, o natūrali vėdinimo sistema geba palaikyti leistina CO₂ koncentraciją trijose iš keturių auditorijose.

Literatūros sąrašas

1. CHEN, Yiheng, Dawei HAN. Water quality monitoring in smart city: A pilot project. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2018, 89:307-316 [žiūrėta 2021-03-14 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.008>
2. MATULE, A., J. TEREMRANOVA, N. ANTOSKOVŠ. Smart city through a flexible approach to smart energy. *ProQuest* [interaktyvus]. 2018, 3-14 [žiūrėta 2021-03-14 d.]. Prieiga per: DOI:10.3390/en13112796
3. RAMOS, J. *How smart cities are contributing to the UN Sustainable Development Goals* [interaktyvus]. 2020-10-01, [žiūrėta 2021-03-21 d.]. Prieiga per: <https://tomorrow.city/a/smart-city-contribution-to-un-sustainable-development>
4. *JT Darbotvarkė 2030, darnaus vystymosi tikslai ir kiti tarptautiniai susitarimai* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2021-03-21 d.]. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/es-ir-tarptautinis-bendradarbiavimas/darnus-vystymasis/darnus-vystymasis-ir-lietuva/jt-darbotvarke-2030-darnaus-vystymosi-tikslai-ir-kiti-tarptautiniai-susitarimai>
5. PUNYTĖ, Ieva ir Kristina SIMONAITYTĖ. Darnaus vystymosi tikslai ir planavimo sistema Lietuvoje: esamos situacijos analizė. *Darnaus vystymosi tikslų integravimas į kompleksinius teritorinius planus*. 2018 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-11-07 d.]. Prieiga per: http://kurkl.lt/wp-content/uploads/2018/05/darnus-vystymasis-ir-planavimas-Lietuvoje_esama-situacija.pdf
6. SU, Chang, Johan DALGREN, Björn PALM. High-resolution mapping of the clean heat sources for district heating in Stockholm City. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2021, 235 [žiūrėta 2021-03-21 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113983>
7. KARAMPOUR M, Samer SAWALHA. State-of-the-art integrated CO₂ refrigeration system for supermarkets: A comparative analysis. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2018, 86:239–257 [žiūrėta 2021-03-21 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.11.006>
8. MA, Li, Nian LIU, Lingfeng WANG, Jianhua ZHANG, Jinyong LEI, Zheng ZENG, Cheng WANG, Minyang CHENG. Multi-party energy management for smart building cluster with PV systems using automatic demand response. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 121 (2016), 11-21 [žiūrėta 2021-05-20 d.]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0378778816302286?via%3Dihub>
9. JOUD, Al Dakheel, Del PERO CLAUDIO, Aste NICCOLÒ, Leonforte FABRIZIO. Smart buildings features and key performance indicators: A review. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 61 (2020), 19 [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S2210670720305497?via%3Dihub>
10. FOKAIDES, Paris [FOKAIDES, Paris A.], Panteli CHRISTIANA, Panayidou ANDRI. How are the smart readiness indicators expected to affect the energy performance of buildings: first evidence and perspectives. *sustainability*, [interaktyvus]. 2020, 1-12 [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: https://vb.ktu.edu/primo-explore/fulldisplay?docid=ELABAPDB78023801&context=L&vid=KTU&lang=lt_LT&search_scope=KTU&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default_tab&query=any,contains,Smart%20readiness%20indicator&mode=Basic

11. APANA VIČIENĖ, Rasa, Andrius VANAGAS, Paris A. FOKAIDES. Smart Building Integration into a Smart City (SBISC): Development of a New Evaluation Framework. *Energies* [interaktyvus]. 2020, 1-19 [žiūrėta 2021-03-21 d.]. Prieiga per: https://vb.ktu.edu/prim-explore/fulldisplay?docid=ELABAPDB58037478&context=L&vid=KTU&lang=lt_LT&search_scope=KTU&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default_tab&query=any,contains,smart%20buildings%20efficiency&offset=0
12. European Committee. *ICT for a Low Carbon Economy Smart Buildings*; European Commission: Brussels, Belgium, 2009. [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: https://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/sb_publications/smartbuildings-ld.pdf
13. V. PAVLOVAS. Demand controlled ventilation: A case study for existing Swedish multifamily buildings. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 36 (2004) 1029–1034 [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: DOI:10.1016/j.enbuild.2004.06.009.
14. G. GAELLE, Max H. SHERMAN, Iain S. WALKER. Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 165 (2018), 416-460 [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0378778817324027>
15. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union* [interaktyvus]. 2018, 156/75 [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=IT>
16. VERBEKE, Stijn, Dorien AERTS, Glenn REYNDERS, Yixiao MA, Paul WAIDE. *Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings* [interaktyvus]. 2020, 487 [žiūrėta 2021-05-22 d.]. Prieiga per: https://www.buildup.eu/sites/default/files/content/mj0320335enn.en_.pdf
17. Discussion document – definition and calculation methodology of the smart readiness indicator. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2021-03-25 d.]. Prieiga per: https://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupMeetingDoc&docid=36228_smartbuildings-ld.pdf
18. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Energinės pastatų charakteristikos. Pastatų vėdinimas. 2 dalis. EN 16798-1 pateiktų reikalavimų aiškinimas. Pastatams projektuoti ir jų energinėms charakteristikoms vertinti skirti vidaus aplinkos įvesties parametrai, apimantys vidaus oro kokybę, šiluminę aplinką, apšvietimą ir akustiką (M1-6 modulis) / / Lietuvos standartizacijos departamentas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019-05-01 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-10-15 d.]. Prieiga per: https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primo&id=1316447
19. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Statybos techninis reglamentas 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“*: Valstybės žinios, 2005-06-16, Nr. 75-2729 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-10-15 d.]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930/LXkwyJVROM>
20. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. *Lietuvos higienos norma HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“*. Valstybės žinios, 2004-03-26, Nr. 45-1485 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-10-15 d.]. Prieiga per:

- <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
21. TOFTUM, Jorn, A. THORSETH, J. MARKVART, A. LOGADOTTIR. Occupant response to different correlated colour temperatures of white LED lighting. *ResearchGate* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2021-10-15 d.]. Prieiga per:
DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.07.01310.3390/en13112796
 22. WINZEN, J., F. ALBERS, C. MARGGRAF-MICHEEL. The influence of coloured light in the aircraft cabin on passenger thermal comfort. *Lighting Research and Technology*, 2014 [interaktyvus]. 46(4), 465–475 [žiūrėta 2011-11-07]. Prieiga per:
<https://doi.org/10.1177/1477153513484028>
 23. ALBERS, F., J. MAIER, C. Marggraf-Micheel. In search of evidence for the hue-heat hypothesis in the aircraft cabin. *Lighting Research & Technology*, 2015 [interaktyvus]. 47(4), 483-494 [žiūrėta 2011-11-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/1477153514546784>
 24. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Statybos techninis reglamentas STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“*. TAR, 2016-12-01, Nr. 27896 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-12-10 d.]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/sEHkqghNMX>
 25. KIIL, Martin, Raimo Simson, Martin Thalfeldt, Jarek Kurnitski. A Comparative Study on Cooling Period Thermal Comfort Assessment in Modern Open Office Landscape in Estoni. *Atmosphere* [interaktyvus]. 2019-12-22, 1-21. [Žiūrėta 2021-12-10d.]. Prieiga per:
<https://www.mdpi.com/2073-4433/11/2/127>.
 26. KTU Statybos ir architektūros fakultetas. *KTU SAF 80-mečio filmas*. [Interaktyvus]. Kaunas, 2020 [Žiūrėta 2021-11-13 d.]. Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=BT0U4-NYaWc>
 27. RAS-C2. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-11-21 d.]. Prieiga per: <https://installer.danfoss.com/uk-gb/uk-gb/products/radiator-thermostats-and-valves/radiator-thermostats/ras-c2/>
 28. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Statybos techninis reglamentas STR 2.06.04:2014 „Gatvės ir vietinės reikšmės keliai. Bendrieji reikalavimai“*. Valstybės žinios, 2011-12-06, Nr. 149-7009 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-11-13 d.]. Prieiga per:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.413395/asr>
 29. Daily CO2 Dec. 3, 2021 [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-12-05 d.]. Prieiga per:
<https://www.co2.earth/daily-co2>
 30. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. *Lietuvos higienos normos HN 21:2017 „mokykla, vykdanči bendrojo ugdymo programas. Bendrieji sveikatos saugos reikalavimai“*. Valstybės žinios, 2011-08-18, Nr. 103-4858 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-12-05 d.]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.404809/asr>
 31. NACIONALINĖ PASYVAUS NAMO ASOCIACIJA. Mokyklų vidaus oro kokybės tyrimas. Vilnius, 2020-01-28 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-12-05 d.]. Prieiga per:
<https://www.emokykla.lt/upload/photos/2020/01/29/Mokyklvidauserokokybstyrimas.pdf>
 32. Pfafferott, J.U., S. Herkel, D.E. Kalz, A. Zeuschner. Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2007, 39, 750–757 [Žiūrėta 2021-12-10 d.]. Prieiga per:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778807000539?via%3Dihub>
 33. ARGHAND, Taha, Taghi Karimipناه, Hazim B. Awbi, Mathias Cehlin, Ulf Larsson, Elisabet Linden. An experimental investigation of the flow and comfort parameters for under-floor,

- confluent jets and mixing ventilation systems in an open-plan office. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2015-04-25, 48-60. [žiūrėta 2021-12-12d.].
Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315001857>
34. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. Šiluminės aplinkos ergonomika. Šiluminio komforto analitinis nustatymas ir aiškinimas, naudojant numatomojo vidutinio vertinimo ir numatomojo nepatenkintųjų procento rodiklių bei vietinio šiluminio komforto kriterijų skaičiavimą (ISO 7730:2005). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006-02-28 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-12-10 d.]. Prieiga per:
https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primo&id=325773
35. MICROSOFT CORPORATION. Microsoft 365 16.0 [programinė įranga]. 2020-06-15 [žiūrėta 2021-12-06 d.]. Prieiga per: <https://www.office.com/>
36. EQUA. IDA ICE 4.8 SP2 [programinė įranga]. 2020-06-04 [žiūrėta 2021-12-06 d.]. Prieiga per: http://www.equaonline.com/iceuser/new_index.html
37. Zabbix LLC. Zabbix 5.0.2 [programinė įranga]. 2020-07-13 [žiūrėta 2021-12-06 d.]. Prieiga per: <https://www.zabbix.com/>
38. Vito NV. SRI2_Calculation-Sheet_Method-B_v3 [programinė įranga]. 2020-10-22 [žiūrėta 2021-12-06 d.]. Prieiga per: <https://smartreadinessindicator.eu/index.html>
39. Autodesk, Inc. AutoCAD 2017 1.2 [programinė įranga]. 2017 [žiūrėta 2021-12-06 d.]. Prieiga per: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
40. Adobe. Adobe Acrobat Reader DC 2021.007.20099 [programinė įranga]. 2021 [žiūrėta 2021-12-06 d.]. Prieiga per: <http://www.adobe.com>