



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

**Pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas siekiant sumažinti gyvenamųjų pastatų perkaitimo riziką pagal ateities klimato scenarijus Lietuvoje**

Magistro baigiamasis projektas

---

**Svajūnas Jucis**

Projekto autorius

**doc. Laura Stasiulienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**  
Statybos ir architektūros fakultetas

**Pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas siekiant sumažinti gyvenamųjų pastatų perkaitimo riziką pagal ateities klimato scenarijus Lietuvoje**

Magistro baigiamasis projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

---

**Svajūnas Jucis**  
Projekto autorius

**doc. Laura Stasiulienė**  
Vadovė

Recenzentas / Recenzentė  
**doc. Jurgita Černeckienė**

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

Svajūnas Jucis

## **Pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas siekiant sumažinti gyvenamųjų pastatų perkaitimo riziką pagal ateities klimato scenarijus Lietuvoje**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis 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;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Svajūnas Jucis

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

**Magistro baigiamojo projekto užduotis**

**Studijų programa:** DARNŪS IR ENERGIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

**Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):** **KLIMATO KAITOS SUKELTO PASTATŲ PERKAITIMO VALDYMAS**

**Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanų potvarkiu Nr.:** 2023 M. LAPKRIČIO 30 D.  
NR. V25-09-28

**(lietuvių k.):** Pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas siekiant sumažinti gyvenamųjų pastatų perkaitimo riziką pagal ateities klimato scenarijus Lietuvoje

**(anglų k.):** Effectiveness of Passive Cooling Strategies in Reducing Overheating Risk in Residential Buildings Under Future Climate Scenarios in Lithuania

**Pradiniai duomenys darbui:**

**Vienbučio gyvenamojo namo aukštų planai.**

**Baigiamojo projekto dalys:**

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

**Kita informacija (pagal poreikį):**

**Vadovas:**

(indėlis 100 %)

doc. Laura Stasiulienė

*pareigos, vardas, pavardė*  
*Patvirtinta elektroniniu būdu*

**Studentas:**

Svajūnas Jucis

*vardas, pavardė*  
*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Jucis, Svajūnas. Pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas siekiant sumažinti gyvenamųjų pastatų perkaitimo riziką pagal ateities klimato scenarijus Lietuvoje. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Laura Stasiulienė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų krypčių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: patalpų perkaitimas; karščio bangos; pasyvus vėsinimas; šiluminis komfortas; išorinis šešėliavimas; saulės šiluminiai pritekėjimai; klimato kaita; išorinės žaliuzės; vidinis šešėliavimas; sutapdinti stogai.

Kaunas, 2024. 59 p.

## Santrauka

Klimato kaitos sukelti temperatūrų šuoliai vis dažniau pasireiškia karščio bangomis ir didėjančia vidutine aplinkos temperatūra. Statiniai, pastatyti neatsižvelgiant į galimus ateities klimato scenarijus patenka į rizikos grupę, kurių patalpos perkais ir sukels diskomfortą ar su sveikata susijusių problemų juose gyvenantiems žmonėms. Viena iš pagrindinių patalpų perkaitimo priežasčių, tai netinkamas įstiklintų plotų išdėstymas pastate, bei tų plotų neapsaugojimas nuo tiesioginės saulės spinduliuotės. Kaip turi būti projektuojami pastatai atsižvelgiant į Lietuvos klimato scenarijus straipsnių nebuvo rasta, todėl šiame projekte nagrinėjamos pagrindinės šiuo metu naudojamos pasyvaus vėsinimo priemonės, bei jų efektyvumas atsižvelgiant į šių dienų, bei ateities klimato scenarijų. Literatūros apžvalgos metu nustatyta, kad Lietuvoje vidutinė vasaros temperatūra iki 2050 m. padidės 1,7 °C, o tyrimo metu nustatyta, kad saulėtų dienų skaičius 5 metų laikotarpiu padidėjo 14,2 valandos. Tyrime apžvelgiama literatūros analizė, kurios metu nustatytos patalpų perkaitimo priežastys, pagrindinės pasyvaus vėsinimo priemonės, bei jų efektyvumas. Siekiant nustatyti pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumą sudarytas skaitinis modelis, kurio patikimumas nustatytas atliekant natūrinius tyrimus. Tyrimo objektu pasirinktas gyvenamasis pastatas, esantis Kauno rajone. Koreliacijos būdu patikrinus skaitinio modelio patikimumą sudaryti skirtingi pasyvaus vėsinimo priemonių variantai ir palyginti jų rezultatai su ateities klimato scenarijumi. Skaitinių tyrimų metu nagrinėtos šios vėsinimo priemonės: stogeliai, vertikalios sienutės, markizės, vidinės, bei išorinės žaliuzės, skirtingi stogų tipai, stiklų paketų įtaka, išorėje esančių objektų įtaka, vėdinamas fasadas, bei pastatai su nevėdinama pastoge. Nustatyta, kad atsižvelgiant į ateities klimato scenarijus šiuo metu taikomos vėsinimo priemonės tampa neefektyvios, kadangi vidutinė patalpų temperatūra karščiausio mėnesio metu nenusileidžia žemiau 26 °C. Norint pasiekti žemesnę temperatūrą reikalinga įrengti pastogę, vėdinamą fasadą, bei pakeisti langų išdėstymą, tačiau tokie pastato pakeitimai pareikalautų didelių išlaidų, todėl į saulės architektūrą turi būti atsižvelgiama pirminiuose statinio projektavimo etapuose. Kad būtų galima matyti kokią naudą skirtingos pasyvaus vėsinimo priemonės suteikia vėsinimo energijos poreikiams atliktas ekonominis vertinimas. Nustatyta, kad pritaikius tinkamas vėsinimo priemones, galima sumažinti energijos sąnaudas, bei išlaidas patalpų vėsinimui iki 90 % šių dienų klimato atveju arba iki 68 % atsižvelgiant į ateities klimato scenarijų, kai patalpose palaikoma ne didesnė kaip 25 °C temperatūra. Tyrimu nustatytas skirtingų pasyvaus vėsinimo priemonių efektyvumas, bei energijos suvartojimo naudingumas. Pabrėžiama pastatų projektavimo svarba atsižvelgiant į saulės architektūrą pateikiant skaitinių tyrimų rezultatus. Pateikiamos pagrindinės pasyvaus vėsinimo priemonės ir ateities tendencijos, kuriomis rekomenduojama vadovautis projektuojant naujus statinius.

Jucis, Svajūnas. Effectiveness of Passive Cooling Strategies in Reducing Overheating Risk in Residential Buildings Under Future Climate Scenarios in Lithuania. Master's Final Degree / supervisor assoc. prof. dr. Laura Stasiulienė; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences

Keywords: Buildings overheating; heat waves; passive cooling; thermal comfort; external shading; solar shading system; solar heating; climate change; external blinds; internal shading; flat roofs.

Kaunas, 2024. 59 p.

### **Summary**

Temperature spikes caused by climate change are becoming more common in heat waves and increasing average ambient temperatures. Buildings that's not being built regardless of future climate scenarios are at risk of overheating and causing discomfort or health-related problems for the people living in them. One of the main reasons for overheating of the premises is the improper placement of glazed areas in the building, as well as failure to protect those areas from direct sunlight. Articles on how buildings should be designed according to the climate scenarios of Lithuania wasn't found, so the main passive cooling measures used in the projects and their effectiveness considering the climate scenario of today and the future are examined. During the literature review, it was found that the average summer temperature in Lithuania until 2050 year will increase by 1.7 °C, and the number of sunny days increased by 14.2 hours over a 5-year period. The study reviews the analysis of the literature, during which the causes of overheating of the premises, the main means of passive cooling, and their effectiveness were determined. In order to determine the effectiveness of passive cooling measures, a numerical model was created which reliability was determined during natural tests. A residential building, located in the Kaunas district, was chosen as the research object. After checking the reliability of the numerical model by means of correlation, different variants of passive cooling measures were created, and their results compared with the future climate scenario. During the numerical studies, the following cooling measures were examined: canopies, vertical walls, awnings, internal and external blinds, different types of roofs, the influence of glass packages, the influence of external objects, ventilated facades, and buildings with non-ventilated shelters. It was found that under future climate scenarios, the currently applied cooling measures become ineffective, as the average indoor temperature does not drop below 26 °C during the hottest month. In order to achieve a lower temperature, it is necessary to install a shelter, a ventilated facade, and change the arrangement of windows, but such changes to the building would require significant costs, so solar architecture must be taken into account in the first stages of building design. In order to be able to see the benefits of different passive cooling measures, an economic evaluation of the cooling energy needs has been carried out. It has been established that by applying suitable cooling measures, it is possible to reduce energy consumption and costs for indoor cooling up to 90% in the case of today's climate or up to 68 % considering the future climate scenario, when the indoor temperature is maintained at no higher than 25 °C. The research determined the effectiveness of different passive cooling measures, as well as the usefulness of energy consumption. The importance of designing buildings with solar architecture is emphasized by presenting the results of numerical studies. The main means of passive cooling and future trends are presented, which are recommended for the design of new buildings.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>11</b>
1.1. Patalpų (pastatų) perkaitimas .....	11
1.1.1. Patalpų (pastatų) perkaitimo reiškinys ir pasekmės .....	11
1.1.2. Patalpų perkaitimo priežastys.....	12
1.1.3. Pastatai kuriems kyla patalpų perkaitimo grėsmė .....	13
1.2. Ateities klimato scenarijai pasaulyje ir Lietuvoje .....	13
1.3. Saulės spindėjimo trukmės kitimas Kauno mieste .....	15
1.4. Pasyvaus vėsinimo priemonės .....	16
1.4.1. Pasyvių vėsinimo priemonių tipai ir svarba .....	16
1.4.2. Stogeliai.....	17
1.4.3. Langų šešėliavimo būdai .....	18
1.4.4. Žaliuzės.....	20
1.4.5. Natūralus vėdinimas .....	20
1.4.6. Stogai.....	21
1.4.7. Kiti veiksniai darantys įtaką šilumos pritekėjimams į patalpas.....	22
1.4.8. Alternatyvos pastatų įrengimui Lietuvoje remiantis Baltijos regiono literatūra .....	26
<b>2. Tyrimų metodologija.....</b>	<b>27</b>
2.1. Skaitinis modelis patalpų perkaitimo prognozavimui .....	27
2.2. Natūriniai tyrimai .....	29
2.3. Skaitinio modelio patikimumo vertinimas .....	31
2.4. Pasyvaus vėsinimo priemonių įtaka patalpų perkaitimo prognozavimui .....	32
2.5. Ekonominė nauda ir įtaka energijos sąnaudoms .....	33
<b>3. Rezultatai ir diskusija .....</b>	<b>34</b>
3.1. Skaitinio modelio rezultatai.....	34
3.2. Natūrinių tyrimų rezultatai .....	34
3.3. Skaitinio modelio patikimumo vertinimas .....	38
3.4. Pasyvaus vėsinimo priemonės ir jų įtaka patalpų temperatūroms.....	40
3.4.1. Esamos situacijos vertinimas.....	40
3.4.2. Ateities klimato scenarijus .....	44
3.5. Ekonominio vertinimo rezultatai.....	49
<b>4. Rekomendacijos projektuotojams .....</b>	<b>52</b>
<b>Išvados .....</b>	<b>55</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>56</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>60</b>
1 priedas. PRISMA schema.....	60
2 priedas. Literatūros apžvalgos protokolas .....	61
3 Dalyvavimo „SMART BUILT ENVIRONMENT“ konferencijoje sertifikatas .....	62

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Saulės spindėjimo trukmės suvestinė lentelė.....	15
2 lentelė. Skirtumas tarp 2023 metų saulėtų valandų skaičiaus ir 2022-2018 metų duomenų.....	16
3 lentelė. Vidutinė mėnesinė spinduliuotė į fasadus ( $\text{Wh m}^{-2}$ ).....	25
4 lentelė. Konstrukcijų sudėties žiniaraštis .....	27
5 lentelė. Modeliuojamos langų šešėliavimo priemonės .....	32
6 lentelė. Kitos patalpų (pastatų) vėsinimo priemonės.....	32
7 lentelė. Skirtingų pasyvių šešėliavimo priemonių aplink langus rezultatų suvestinė lentelė.....	40
8 lentelė. Išmanių šešėliavimo priemonių rezultatų lentelė.....	41
9 lentelė. Skirtingų stogų tipų rezultatų suvestinė lentelė .....	42
10 lentelė. Stogų su 50 cm užlaidomis ir nevėdinama pastoge efektyvumas.....	42
11 lentelė. Kitos vėsinimo priemonės .....	43
12 lentelė. Natūrinių tyrimų, bei +2 °C padidintų temperatūrų poveikis vidaus patalpoms birželio 12 d. – liepos 12 d. laikotarpiu .....	45
13 lentelė. Pasyvių šešėliavimo priemonių efektyvumas vertinant ateities scenarijų.....	45
14 lentelė. Patalpų perkaitimo požiūriu efektyviausių modelių palyginimas vertinant ateities scenarijų.....	46
15 lentelė. Pirminio ir pagal ateities klimato scenarijų sudaryto modelio $\text{CO}_2$ kiekis patalpose.....	47
16 lentelė. Aplinkoje esančių objektų įtaka patalpų temperatūrai.....	48
17 lentelė. Langų šešėliavimo priemonių įtaka vėsinimo energijos poreikiams birželio mėnesį.....	50
18 lentelė. Kitų vėsinimo priemonių įtaka vėsinimo energijos sąnaudoms birželio mėnesį.....	50
19 lentelė. Ekonominis skirtingų šešėliavimo priemonių palyginimas vertinant sutaupomas lėšas vėsinimui birželio mėnesį.....	50



## Paveikslų sąrašas

1 pav. Saulės spinduliuotė per konstrukcijas.....	11
2 pav. Stoginės įtaka saulės spindulių kritimo kampui (S.M.A. Bekouche, 2011).....	17
3 pav. Temperatūrų kitimo grafikas esant skirtingoms pastato konstrukcijoms .....	17
4 pav. Keturi šešėliavimo būdai, kur kampu iškišti langai orientuoti į šiaurę (C) ir pietus (D).....	18
5 pav. Šešėliavimo būdų palyginimas pritaikant Pareto taisyklę A, B, C ir D tipams .....	19
6 pav. Žmonių pasitenkinimo aplinka lygis.....	19
7 pav. Skaitinis modelis Sankt-Peterburge .....	21
8 pav. Daugiabučiai ir kotedžai Kaune.....	21
9 pav. Tirtos dažų rūšys.....	23
10 pav. Temperatūrų skirtumai tarp mėlynos spalvos termochrominių, šaltų ir tipinių paviršių, a – vizualiai matomi skirtumai, b – infraraudonaisiais spinduliais matomi skirtumai.....	23
11 pav. Žalios spalvos termochromio paviršiaus vidutinis temperatūros padidėjimas, a – paviršius su TiO <sub>2</sub> , b – paviršius be TiO <sub>2</sub> .....	24
12 pav. Pastato orientacijos įtaka patalpos Nr. 1 perkaitimui (S.M.A. Bekouche, 2011).....	24
13 pav. Pirmo aukšto planas (S.M.A. Bekouche, 2011).....	25
14 pav. Pirmo aukšto planas .....	28
15 pav. Antro aukšto planas .....	29
16 pav. Sudarytas modelis IDA ICE programine įranga .....	29
17 pav. „OMET U3430“ matavimo prietaisas .....	30
18 pav. 1A jutiklių išdėstymo planas.....	30
19 pav. 2A Jutiklių išdėstymo planas .....	31
20 pav. Skaitinis gyvenamojo pastato modelis.....	34
21 pav. Temperatūrų kitimo diagrama 06.12 - 07.31 d. laikotarpiu.....	35
22 pav. Temperatūrų kitimo diagrama karščiausiu vasaros laikotarpiu 06-15/21 d.....	36
23 pav. Santykinės drėgmės kitimo diagrama karščiausią vasaros savaitę 06-15/21 d.....	36
24 pav. CO <sub>2</sub> kitimo diagrama karščiausią vasaros savaitę 06-15/21 d.....	37
25 pav. Rasos taško kitimo diagrama karščiausią vasaros savaitę 06-15/21 d.....	38
26 pav. Koreliacija tarp skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų temperatūrų rezultatų padėtyje Nr. 1, pirmo aukšto svetainėje .....	38
27 pav. Koreliacija tarp skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų temperatūrų rezultatų padėtyje Nr. 2, antro aukšto miegamajame Nr.1 .....	39
28 pav. Koreliacija tarp skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų temperatūrų rezultatų padėtyje Nr. 3, antro aukšto miegamajame Nr.3 .....	39
29 pav. Temperatūrų kitimo diagrama 06-12 – 07-12 laikotarpiu .....	44
30 pav. 2D aplinkoje esančių objektų planas .....	48
31 pav. 2D aplinkoje esančių objektų planas su įterptais medžiais.....	48
32 pav. Modelio su pastatais, tvora ir medžiais 3D vaizdas.....	49
33 pav. Dinaminių fasadų tipai [53] .....	52
34 pav. Pirminis modelis sudarytas „Revit“ programiniu paketu .....	53
35 pav. Rekomenduotinas pastato modelis siekiant sumažinti šilumos pritekimus į patalpas.....	54

## Įvadas

### Tyrimo aktualumas ir naujumas

Platus technologinių procesų augimas pramonėje ir nekontroliuojamas degalų vartojimas kasmet prisideda prie klimato kaitos intensyvėjimo didinant CO<sub>2</sub> koncentraciją atmosferoje. Manoma, kad iki 2050 m. vasaros vidutinė oro temperatūra padidės 3 °C, o žiemos atšils 4,5 °C. Klimato kaitos sukeltas atšilimas bus jaučiamas ir Lietuvoje. Remiantis geofizinės skysčių dinamikos laboratorijos sukurtu ateities faktorių modeliu nustatyta, kad 2050 metais Lietuvoje vidutinė rudens temperatūra padidės 1,8-2,0 °C, o vasaros 1,7 °C. Atsižvelgiant į klimato kaitos scenarijus galima spręsti, kad vidutinė orų temperatūra didės, todėl patalpų perkaitimo reiškiniai intensyvės. Siekiant užtikrinti žmonių komfortą pastatuose ir sumažinti CO<sub>2</sub> pėdsaką aplinkoje, būtina numatyti pasyvias vėsinimo priemones naujai projektuojamuose statiniuose atsižvelgiant į ateities klimato scenarijus.

Patalpų perkaitimas – tai patalpų aplinkos sąlygos, dėl kurių pastato gyventojai patiria šiluminį diskomfortą arba su karščiu susijusį poveikį sveikatai, kai įvyksta ekstremalūs karščio reiškiniai. Perkaitimas gali pasireikšti visų tipų gyvenamuosiuose ir negyvenamuosiuose pastatuose, ypač pastatuose be oro kondicionavimo sistemų. Perkaitimas dažniausiai pasireiškia per ekstremalius karščius ir kelia vis didesnę susirūpinimą žmonių sveikatai, ypač tų, kurie yra rizikos grupėse.

Siekiant užtikrinti komfortišką mikroklimatą naudojamos aktyvios ir pasyvios mikroklimato priemonės. Aktyviomis priemonėmis dažniausiai laikomos oro kondicionavimo sistemos, kurių metu suvartojami dideli energijos kiekiai. Nors tokios sistemos yra efektyvios, tačiau daro įtaką CO<sub>2</sub> pėdsako didėjimui. Pasyviomis priemonėmis laikomi energijos nevartojančios vėsinimo būdai, kurie šiuo metu paplitę tropiniuose kraštuose. Lietuvoje pasyvios vėsinimo priemonės naudojamos retai. Informacijos apie klimato kaitos padarinius ir pasyvių vėsinimo priemonių svarbą Lietuvoje beveik nėra, arba medžiaga nėra lengvai prieinama. Pasyvių vėsinimo priemonių numatymas pastatų eksploatacijos metu padėtų sumažinti CO<sub>2</sub> pėdsaką ir energijos poreikius karštuoju metu laiku, bei užtikrintų žmonių komfortą ateityje.

**Problema** – neprognozuojamas energijos vartojimas didina CO<sub>2</sub> pėdsaką skatindamas spartesnę klimato kaitą ir dar didesnius temperatūrų šuolius. Pastatuose, kuriuose nenumatytos pasyvios vėsinimo priemonės apsaugančios nuo tiesioginių saulės spindulių, energijos poreikiai vėsinimui bei pavojus sveikatai intensyvės.

**Tikslas** – iširti pasyvaus vėsinimo priemonių veiksmingumą mažinant pastatų perkaitimo riziką pagal ateities klimato scenarijų.

### Uždaviniai:

1. Nustatyti dažniausiai naudojamas pasyvaus vėsinimo priemones siekiant sumažinti patalpų perkaitimo riziką Lietuvoje ir užsienyje, bei apžvelgti ateities klimato scenarijus.
2. Sukurti pastato skaitinį modelį patalpų perkaitimo prognozavimui ir patikrinti sukurtą modelio patikimumą atliekant natūrinius tyrimus.
3. Naudojant sukurtą skaitinį modelį įvertinti įvairių pasyvaus vėsinimo priemonių įtaką patalpų perkaitimo mažinimui.
4. Įvertinti pasyvaus vėsinimo priemonių naudojimo ekonominę naudą ir įtaką energijos sąnaudoms.

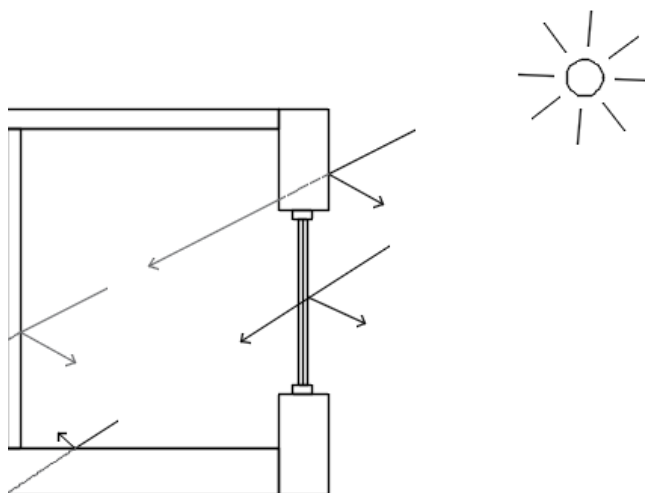
## 1. Literatūros apžvalga

Šiame skyriuje paaiškinama, kas tai yra patalpų perkaitimas, kokios yra pagrindinės perkaitimo priežastys ir kokie pastatai patiria didžiausią patalpų perkaitimo riziką. Apžvelgiama kokie prognozuojami ateities klimato scenarijai Europoje ir Lietuvoje. Remiantis literatūros apžvalga nustatomos pagrindinės pastatų (patalpų) vėsinimo priemonės ir jų veiksmingumas.

### 1.1. Patalpų (pastatų) perkaitimas

#### 1.1.1. Patalpų (pastatų) perkaitimo reiškinys ir pasekmės

Karštis gali keliauti per sienas, langus, duris, stogą ar bet kokias kitas konstrukcijas esančias pastate. Prasiskverbiantis šilumos kiekis ir greitis priklauso nuo medžiagų šiluminio laidumo savybių. Masyvios konstrukcijos tokios kaip betonai ar mūras pasižymi didele šilumine talpa, todėl esant dideliems temperatūrų skirtumams tarp patalpų vidaus ir išorės pokyčiai bus juntami ne taip greitai. Visgi išilusios konstrukcijos šilumą gali atiduoti nakties metu, kai lauko temperatūra yra mažesnė už sienų, todėl gali būti jaučiamas diskomfortas. Lengvos konstrukcijos, tokios kaip medis, šilumos beveik nesulaiko, todėl patalpų temperatūra kinta panašiai kaip išorės. Remiantis Kirchoffo dėsniumi, bet kokio kūno paviršiaus išspinduliuojama temperatūra yra lygi to paviršiaus spinduliuotės sugerties koeficientui. Kūno sugerta spinduliuotė ir dalis kuri išspinduliuojama vadinama šiluminiais mainais. Šiluminių mainų metu kūnas kaista priklausomai nuo temperatūros, kuri jį veikia. Saulei šviečiant į paviršių dalis spindulių yra sugeriami, dalis atspindimi, o likę spinduliai pereina per kūną ir patenka į vidaus patalpas. Kokia dalis spindulių bus sugerta, atspindėta ar pereis per kūną priklauso nuo medžiagos rūšies, jos savybių ir spindulių kritimo kampo [1]. Į patalpą patekusi frakcija toliau sugerama arba atspindima vidinių paviršių tokiu būdu įšildant vidaus paviršius [2]. Saulės spinduliuotės sklaidimo pavyzdys pateiktas 1 pav. Įkaitę vidaus paviršiai ir fasadas gali pašildyti patalpas iki sąlyginai aukštos temperatūros, dėl kurios žmogus gali jausti psichinius sutrikimus, mažesnę produktyvumą [3].



1 pav. Saulės spinduliuotė per konstrukcijas

Langai yra pagrindinė patalpų perkaitimo priežastis vasarą ir energijos nuostolių šaltinis žiemą. Nepaisant tobulėjančio langų medžiagiškumo, šiluminis laidumas per langus vis dar yra tris, ar net

keturis kartus didesnis lyginant su sienomis [4]. Nustatyta, kad didžiausią patalpų perkaitimo riziką kelia dideli įstiklinti plotai orientuoti į pietus ir vakarus [5].

Pastatų perkaitimo reiškinys pasireiškė visoje Europoje, o klimato kaitos poveikiai pasijautė visame pasaulyje. 2003 metais esant dešimties dienų Europos karščio bangai užfiksuota virš 2000 mirčių atvejų, 2006 ir 2009 metais fiksuota apie 680 ir 300 mirčių Anglijoje [6]. Manoma, kad 2003 metais pasireiškusi karščio banga iki 2040 metų turėtų tapti norma, o mirčių skaičius iki 2050 metų patrigubėti [6]. A. Laouadi, M. Bartko ir M.A. Lacasse atliko tyrimą, kurio metu nustatyta pastatų perkaitimo įtaka vidutinio ir vyresnio amžiaus žmonėms [7]. Pastebėta, kad vidutinis žmogus esantis tokiose patalpose dehidratuoja 3% nuo savo kūno svorio, tuo tarpu vyresni žmonės kurių rehidratacija ne mažesnė kaip 80% tokiose sąlygose dehidratuoja 2% nuo savojo svorio [7]. Tyrimo metu nustatyta, kad vasaros metu esant patalpų temperatūrai 26 °C visų amžiaus kategorijų žmonių miego kokybė buvo geresnė lyginant su aukštesne patalpų temperatūra [7]. Žiemos metu tinkamiausia patalpų temperatūra miegui fiksuota nuo 15,8 °C iki 18,3 °C [7].

Pastatų perkaitimui didžiausią įtaką turi nuo tiesioginės saulės spinduliuotės pritekanti šiluma į patalpas. Nustatyta, kad Baltijos šalyse saulėtų dienų skaičius pavasarį ir rudenį didėja, dėl ko pastebima šiltesnė šių metų laikų vidutinė oro temperatūra [8], visgi duomenų kurie nurodytų saulėtų dienų kitimą šiaurės Europoje pateikta nėra. Verta pastebėti, kad Lietuvoje lietingų dienų skaičius vasarą atsižvelgiant į 1989-2020 duomenis, liepos ir rugpjūčio mėnesiais, padidėjo, tačiau pavasarį ir rudenį sumažėjo, o žiemą išliko žymiai nepakitęs [9].

Pastatų perkaitimas susidaro kai patalpų viduje įkalinama iš išorės pritekanti šiluma ir vidaus šaltinių išskiriama šiluma. Nustatyta, kad vasaros metu, esant sąlyginai aukštai temperatūrai, dėl karščio bangų sukeliama pastatų perkaitimo pastatų energijos sąnaudos vėsinimui padidėja nuo 0,17 kWh/m<sup>2</sup> iki 1,84 kWh/m<sup>2</sup> [10]. Atsižvelgiant į prognozuojamą oro temperatūros augimą energijos poreikiai pastatų vėsinimui tik didės, o žmonių patiriančių sveikatos negalavimų skaičius augs. Todėl siekiant kontroliuoti kylančias grėsmes privalu numatyti pasyvius sprendinius mažinančius patalpų perkaitimą naujai statomuose ir renovuojamuose pastatuose.

### **1.1.2. Patalpų perkaitimo priežastys**

Siekiant paaiškinti, kodėl atsirado pastatų perkaitimo problema ir kas ją sukėlė galima remtis Kevin J. Lomas ir Stephen M. Porritt straipsniu, kuriame paaiškinamas pastatų perkaitimo reiškinys [6]. Atsižvelgiant į Londono pavyzdį pastatų perkaitimas pastebimas tik naujesniuose pastatuose, seni pastatai, kurie statyti prieš 1965 metus buvo statyti be reikalavimų statinio termoizoliacinėms savybėms [6]. Siekiant sumažinti energijos sąnaudas šildymui žiemos metu ir pagerinti šiluminį komfortą naujai statomiems pastatams buvo nustatyti minimalūs energinio naudingumo reikalavimai kartu su vėdinimo sistemomis skirtomis valyti patalpose susikaupusius teršalus [6]. Pastatai projektuoti siekiant gauti kuo daugiau natūralaus apšvietimo per langus, tačiau visai neatsižvelgta į galimas pasekmes vasaros metu. Nustatyta, kad fasadai orientuoti į pietus ir vakarus įkaista labiausiai, todėl šiose sienose turėtų būti mažesni langų plotai arba numatytos šešėliavimo priemonės tiesioginei saulės spinduliuotei mažinti [11]. Vasaros metu pastatai sugeria didelius kiekius saulės spinduliuotės per langus, sukauptą šilumą sulaiko patalpų viduje, o natūralaus vėdinimo sistemos nesugeba jos efektyviai pašalinti dėl vyraujančios aukštos išorės temperatūros [12].

Šiuo metu labai populiariu miestuose statyti aukštus daugiabučius pastatus, dėl apribotų žemės plotų bei didelių sklypų kainų [13]. Siekiant kuo maksimaliau apriboti išlaidas vis dažniau pasitaiko lengvų konstrukcijų naudojimas sienose [13]. Mažos masės konstrukcijos nesugeba sugerti dažnų ir aukštų temperatūrų svyravimų, dėl ko pastatų patalpoms didėja perkaitimo rizika [13]. Naujai statomi statiniai dažniausiai daromi su žemomis lubomis ir vienos orientacijos langais. Tokiuose pastatuose siekiant išlaikyti modernų stilių vyrauja dideli įstiklinimo plotai. Nepaisant didelių langų plotų nakties metu pastatuose langai būna uždari dėl vyraujančio aplinkos triukšmo ar saugumo sumetimų [13]. Patalpų perkaitimui didelę įtaką turi ir vasaros metu pasireiškiančios karščio bangos, galinčios tęstis iki savaitės ar ilgiau [13]. Karščio bangų metu susidaro tropinės naktys, kurių metu net ir praviri langai negali užtikrinti patalpų komforto.

### **1.1.3. Pastatai kuriems kyla patalpų perkaitimo grėsmė**

Patalpos pastatuose perkaista dėl aukštos aplinkos temperatūros esant prastai statinio izoliacijai, kai nėra šešėliavimo, bei neįrengta vėsinimo priemonių [14]. Šiluminis diskomfortas gali būti jaučiamas visų tipų visuomeniniuose, komerciniuose ir gyvenamuosiuose pastatuose, ypač pastatuose be vėsinimo įrenginių [15]. Didžiausią riziką patiria pastatai su dideliais įstiklintais plotais. Šiuolaikinis statybos stilius, kai siekiama modernaus dizaino įrengiant stiklines atitvaras atveria saulės spinduliams tiesioginį kelią į patalpas, o tai vasaros metu gali sudaryti itin aukštą patalpų temperatūrą [13]. Tarp šlaitinių ir plokščiųjų stogų didelio skirtumo esant tinkamai įrengtiems sluoksniams nėra [16], tačiau didelę riziką patiria pastatai su plokščiais stogais, kadangi lyginant su šlaitiniais didesnis plotas yra veikiamas tiesioginės saulės spinduliuotės [17]. Išorinis plokščiųjų stogų sluoksnis dažniausiai padengiamas šviesos neatspindinčiais asfalto arba betono sluoksniais, kurie lengviau sugeria ir praleidžia šilumą lyginant su šlaitinių stogų paviršiais. Didelė patalpų perkaitimo tikimybė fiksuojama pastatuose be vėsinimo, bei vėdinimo įrenginių, kadangi susikaupusi šiluma patalpoje yra įkalinama [18]. Patalpos gali įšilti dėl tiesioginės saulės spinduliuotės per langus arba pritekančios šilumos per atitvaras. Dideli įstiklinti sienų plotai, praleidžia saulės spinduliuotę dėl kurios sušildomos vidaus konstrukcijos, o patekusi šiluma negali laisvai pasišalinti ir sukelia patalpų perkaitimą [19]. Pastatai, kurie pasižymi geromis izoliacinėmis savybėmis sulaiko šilumą patalpų viduje ir neleidžia jai išeiti siekiant mažesnių energijos sąnaudų žiemos metu, neatsižvelgiant į vėsinimo sąnaudas vasarą. Šiluminis diskomfortas pasireiškia ne vien nuo išorinių veiksnių tačiau ir patalpų viduje esančių šilumą skleidžiančių objektų. Pastatai kuriuose nuolatos naudojami įrenginiai spinduliuojantys šilumą, bei patalpose didelę dalį, ar nuolatos yra žmonės, taip pat patenka į pastatų rizikos grupę, kurie gali perkaisti [20]. Tokiuose pastatuose būtina numatyti geras vėsinimo sistemas susikaupiančiai šilumai pašalinti.

## **1.2. Ateities klimato scenarijai pasaulyje ir Lietuvoje**

Atsižvelgiant į ilgalaikes orų tendencijas paskaičiuota, kad vidutinė žemės paviršiaus temperatūra padidėjo 0,87 °C 2006-2015 metų duomenimis lyginant su 1850 – 1900 metų periodu [21]. Tai atsitiko dėl žmonių užimamų veiklų ir tikėtina, kad šis skaičius iki 2050 metų išaugs iki 1,5 °C [21]. Paskaičiuota, kad jeigu teršalų kiekis išmetamas į aplinką dėl įvairių veiklų nemažės, tai vidutinė orų temperatūra kas dešimtmetį turėtų didėti apie 0,2 °C [21]. Jeigu vidutinė oro temperatūra padidės 1,5 °C, tai reikš, kad vasaros dienomis turėsime apie 3 °C aukštesnę oro temperatūrą, o žiemos šalčiausių dienų temperatūra atšils iki 4,5 °C [21]. Šie temperatūrų skirtumai gali skirtis priklausomai nuo pasaulio vietovės, labiausiai tikėtina, kad tai pasitvirtins tropiniuose regionuose.

Klimato kaitos sukeltas visuotinis atšilimas didžiausią grėsmę kelia sausumos regionams, mažoms saloms ir besivystančioms ar mažai išsivysčiusioms valstybėms. Intensyvėjant klimato kaitai daugės skurdą ir nepriteklių patiriančių žmonių skaičius [21]. Sumažinus klimato kaitos sukeltą visuotinį atšilimą 0,5 °C skurstančiųjų skaičius, sukeltas dėl klimato kaitos poveikių, sumažėtų keliais šimtais milijonų iki 2050 metų [21]. Jeigu visuotinis atšilimas padidės ne 1,5 °C, o 2 °C, tai mirčių skaičius dėl ozono sluoksnio, karščio bangų ir miestuose susidarančių karščio salų išaugs keletą kartų [21]. Taip pat pastebima, kad didės ir pernešamų ligų, tokių kaip maliarija ar dangės karštlige skaičius [21].

Dėl plataus technologinių procesų augimo pramonėje ir nekontroliuojamo degalų vartojimo išmetamo CO<sub>2</sub> kiekis atmosferoje didėja 2-3 %, o metano dujų kiekis 1-2 % kasmet [22]. Klimato kaitos keliami pokyčiai kelia pavojų oro kokybei, žmonėms, bei gyvūnams. Apribojus globalinį atšilimą 1,5 °C lyginant su 2 °C, būtų pasiekta mažesnė jūros temperatūra ir išsaugota daugiau ekosistemos rūšių, o jūros lygis būtų 0,1 m mažesnis su spėjamais 2100 metų scenarijais [21]. Visgi net ir apribojus globalinį atšilimą 1,5 °C jūros lygis vis vien augs dėl tirpstančių Antarktidos ir Grenlandijos ledynų.

Siekiant nustatyti klimato kaitos sukeltus pokyčius Lietuvoje aptiktas tik vienas 2001 metų straipsnis. Klimato kaitos pasekmes Lietuvoje galima nustatyti tik Vilniaus mieste, kadangi ten nuo 1770 metų pirmoje meteorologinėje stotyje pradėta fiksuoti oro temperatūra [22]. Tik XIX-ojo amžiaus pabaigoje ar XX-ojo amžiaus pradžioje atsirado daugiau meteorologinių stočių įvairiose Lietuvos teritorijos vietose [22]. Atsižvelgiant į Vilniaus mieste surinktus duomenis nuo pirmų fiksuotų vidutinių oro temperatūrų klimatas sušilo 1 °C [22]. Didžiausias atšilimas pastebėtas žiemą ir pavasarį, kai vidutinė oro temperatūra fiksuojama 1,5-2,0 °C šiltesnė, tuo tarpu vasaros sušilo tik 0,1-0,2 °C lyginant su 1998 metų duomenimis [22]. XX-ojo amžiaus pabaigoje vidutinė CO<sub>2</sub> koncentracija Vilniaus mieste siekė 0,035 % [22]. Manoma, kad iki 2040-2090 metų šis skaičius gali pasiekti 0,057 %, o tai gali sukelti vidutinį oro temperatūros prieaugį 2-4 °C Baltijos šalyse [22]. Remiantis geofizinės skysčių dinamikos laboratorijos sukurtu ateities faktorių modeliu nustatyta, kad 2050 metais Lietuvoje vidutinė rudens temperatūra padidės 1,8-2,0 °C, vasaros 1,7 °C, o žiemos sušils 1,2-1,3 °C [22]. Manoma, kad žiemos dienų skaičius su sniegu sumažės per pus, o lietaus ir šlapdrių kiekis didės [22].

Atsižvelgiant į klimato kaitos keliamą temperatūrų augimą galima spręsti, kad energijos sąnaudos pastatų vėsinimui didės, kartu su išskiriamu CO<sub>2</sub> kiekiu į aplinką. Siekiant užtikrinti žmonių komfortą ir CO<sub>2</sub> pėdsaką aplinkoje reikalinga projektuoti pastatus pagal ateities klimato kaitos scenarijus.

### ***Tropinės naktys***

Tropinės naktys, tai reiškinys kuriuo nusakoma, kad naktimis oro temperatūra nenusileidžia žemiau numatytos 20 °C ribos [25]. Nustatyta, kad Lenkijos dalyje ties Baltijos jūra vidutinis tropinių naktų skaičius per pastaruosius 10 metų išaugo 1,8 dienomis, o vidutinė oro temperatūra padidėjo 0,37 °C [26]. Tuo tarpu žemyninėje Lenkijos dalyje tropinių naktų skaičius per 10 metų laikotarpį padidėjo 0,6 dienos, o temperatūra 0,25 °C [26]. Pastebėta, kad Baltijos šalių regionas patiria didesnes orų permainas lyginant su žemynine dalimi, daugiausia dėl oro srovių iš šiaurinės poliarinės srities, kuri atneša pavojingai žemą oro temperatūrą ir atogrąžų tropinį vėją, kurie sukelia aukštą ilgai besitęsiančią vidutinę oro temperatūrą [26]. Panašūs reiškiniai fiksuoti ir Latvijoje, kurioje

nustatyta, kad karštų saulėtų dienų bei tropinių naktų skaičius per paskutinius 80 metų padidėjo, o žiemos dienų skaičius su labai žema temperatūra skaičius sumažėjo, dėl ko matomas žiemos sezono laiko trumpėjimas [27]. Visgi straipsnyje nėra pateikta tikslų duomenų, kurie nurodytų kiek pakito saulėtų dienų ar žiemos poliarinių dienų skaičius.

Siekiant suvaldyti galimą patalpų perkaitimą esant tropinėms naktims reikalinga įrenginėti sandarius ir nuo lauko poveikio izoliuotus pastatus. Nustatyta, kad tropinėse šalyse, sandarūs naujos statybos ar renovuoti pastatai tropinių naktų metu keletą dienų gali išlikti komfortiški, tuo tarpu seni pastatai, kurie nėra izoliuoti lauke esančią temperatūrą perduoda į patalpas keletą kartų greičiau [28]. Jeigu tropinių naktų reiškinys pasireiškia ilgiau nei kelias dienas, rekomenduojama įrengti platesnius stogus, kurie apsaugotų fasadus nuo tiesioginės saulės spindulių, bei įrengti pasyviais šešėliavimo priemonės aplink langus [28]. Ilgiems tropinių naktų reiškiniams suvaldyti gali prirėkti ir mišraus vėsinimo būdų, kurių metu naudojamas ir mechaninis ir natūralus vėsinimas atsižvelgiant į vyraujančią lauko oro temperatūrą [28].

### 1.3. Saulės spindėjimo trukmės kitimas Kauno mieste

Saulėtų dienų skaičiaus kitimas labai svarbus atsižvelgiant į didėjančią vidutinę lauko temperatūrą ir prognozuojamus ateities scenarijus. Esant didesniai saulėtų dienų skaičiui pastatai patirs didesnius šilumos pritekėjimus patiriamus nuo tiesioginės saulės spinduliuotės. Siekiant nustatyti saulės spindėjimo trukmės kitimą analizuoti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos sukaupti metiniai duomenys nuo 2018 m. iki 2023 metų [47]. Saulės spindėjimo trukmė analizuota birželio ir liepos mėnesiams, kadangi tokiu metu atlikti natūriniai tyrimai. Suvestiniai 7 metų duomenys pateikti 1 lentelėje, kurioje I, II ir III žymi mėnesio dešimtąją dalį, o centre pateikti skaičiai saulėtų valandų skaičių.

1 lentelė. Saulės spindėjimo trukmės suvestinė lentelė

Metai	Birželis			Liepa		
	I	II	III	I	II	III
2023	135	85-95	90-100	85-95	105-111	80
2022	85-90	70-80	130-135	80-85	75-85	110
2021	115-125	120-130	100-105	95-105	110-120	120-130
2020	85-95	80-90	95-105	60-70	110-115	80-90
2019	130-135	115	110-120	65-71	80-90	90-100
2018	125-130	90-100	80	60-70	65-75	90-100
2017	-	95>	65<	55-64	75-85	85<

Pagal lentelėje pateiktus duomenis galima matyti, kad didžiausias saulėtų valandų skaičius birželio ir liepos mėnesiais fiksuotas 2021 metais. Lyginant 2023-2021 metų duomenis, būtų galima pastebėti, kad 2022 metais fiksuotas kur kas žemesnis saulės spindėjimo laikas lyginant duomenis su 2021 metais, o 2023 šiek tiek didesnis, tačiau sąlyginai panašus valandų skaičius į 2022 metų duomenis. Taip pat galima pastebėti, kad kas antrus metų yra pastebimas didesnis saulėtų dienų skaičius. Siekiant nustatyti kiek nagrinėtu laikotarpiu padidėjo saulėtų dienų skaičius sudaryta saulėtų valandų palyginimo lentelė su 2023 metais pateikta 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Skirtumas tarp 2023 metų saulėtų valandų skaičiaus ir 2022-2018 metų duomenų

Metai	Birželis			Liepa			Suma (val.):
	I	II	III	I	II	III	
2023-2022	50	15	-40	10	30	-30	35,00
2023-2021	20	-35	-10	-10	-9	-50	-94,00
2023-2020	50	5	-5	25	5	-10	70,00
2023-2019	5	-30	-20	20	25	-20	-20,00
2023-2018	10	5	20	25	40	-20	80,00
<b>Valandų skaičiaus suma padalinta iš 5 metų laikotarpio</b>							<b>14,2 val.</b>

Pagal 2 lentelėje pateiktus duomenimis galima matyti, kad 5 metų laikotarpiu saulėtų valandų skaičius padidėjo 14,2 valandos.

Kaip Lietuvoje ar šalia esančiose šalyse kis saulėtų dienų skaičius ateityje duomenų rasti nėra galimybės arba duomenys yra nepasiekiami. Dažniausiai ateities klimato scenarijaus poveikis nagrinėjamas Europos vakaruose esančioms šalims, kadangi ten vyrauja aukštesnė ir ilgą laiką besitęsianti temperatūra. Karščio bangų kitimo rytų Europoje, Lietuvoje ar šalia esančiose šalyse taip pat nustatyti nėra galimybės. Nagrinėjant literatūrą rastas tik vienas straipsnis nusakantis Lietuvai ar šalia esančioms šalims prognozuojamą karščio bangų kiekį, tačiau pateiktų duomenų nepakanka tyrimams atlikti [48].

## 1.4. Pasyvaus vėsinimo priemonės

### 1.4.1. Pasyvių vėsinimo priemonių tipai ir svarba

Pasyviomis priemonėmis galima laikyti daug vėsinimo būdų: natūralus vėdinimas, naktinis vėdinimas, šešėliavimas, bei medžiagiškumo pritaikymas. Pasyvių vėsinimo priemonių svarba dėl klimato kaitos sukeltų karščio bangų vasaros metu darosi vis aktualesnė, didelė dalis senos statybos pastatų nebuvo projektuoti atsižvelgiant į ateities klimato scenarijus ir galimas karščio bangas miestuose. Nustatyta, kad pastatams pritaikius tinkamas šešėliavimo priemones įmanoma jų energijos sąnaudas šildymui ir vėsinimui sumažinti iki 50 % [29]. Šešėliavimo priemonės svarbiausia numatyti langams, kadangi didžiausi šilumos pritekėjimai patiriami per įstiklintas angas [30]. Šešėliavimas galimas tiek iš vidaus, tiek iš išorės, tačiau nustatyta, kad lyginant šiuos du tipus išorinis šešėliavimas yra 30 % efektyvesnis mažinant saulės spinduliuotės pritekėjimus [31]. Pastebėta ir tai, kad vertikalus šešėliavimas aplink langus labiau priimtinas rytų ir vakarų fasadams, o horizontalus šiaurės ir pietų fasadams [32]. Kitas šilumos pritekėjimo mažinimo būdas, tai pastato išorės izoliacinių medžiagų naudojimas. Nustatyta, kad plytų mūro sienas apšiltinus 300 mm storio izoliacinėmis medžiagomis šilumos pritekėjimai į patalpas sumažėja iki 32 % [33]. Taip yra dėl to, nes mūras neįkaista nuo tiesioginės saulės, o didelė dalis saulės spinduliuotės yra atspindima nuo fasado. Efektyviu vėsinimo būdu gali būti ir langinių pritaikymas. Uždarant langus dienos metu, kai patalpose nėra žmonių o pastato langai nukreipti į pietus, energijos sąnaudos gali sumažėti iki 21 %, o esant nukreiptiems į šiaurę 26 % [33]. Įstiklintas zonas pilnai izoliavus išorinėmis šešėliavimo priemonėmis šilumos pritekėjimai dėl saulės spinduliuotės gali būti sumažinami iki 80 % [34]. Pastatų izoliavimas iš vidaus sumažina šilumos pritekėjimus 18-21 %, o fasado nudažymas šviesia spalva 16-18 % [33]. Kiek mažesnis efektyvumas 5-10 % pastebėtas dažant stogus balta spalva, naudojant vidaus žaliuzes, pritaikant natūralų vėdinimą kai langai atsiveria lauko temperatūrai esant

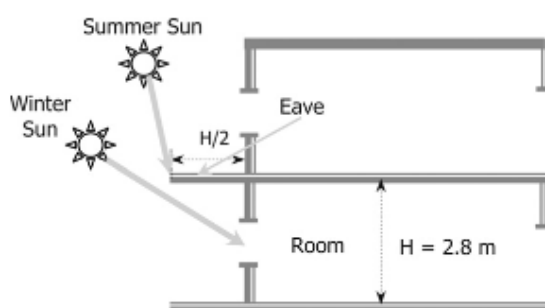


vėsesnei už patalpų, bei natūraliam vėdinimui naktį [33]. Stiklų padengimas saulės spinduliuotę atspindinčia medžiaga efektyvumas pastebėtas labai minimalus 1 – 2 % [33]. Visi pasyvūs vėsinimo sprendimai turi būti parenkami atsižvelgiant į kiekvieną pastatą individualiai, kad būtų pasiektas didžiausias jų naudingumas.

Apie pasyvaus vėdinimo priemonių naudojimą Lietuvoje duomenų nerasta, tačiau pastebėta, kad naudojamos žaliuzės, roletai, markizės bei stoginės.

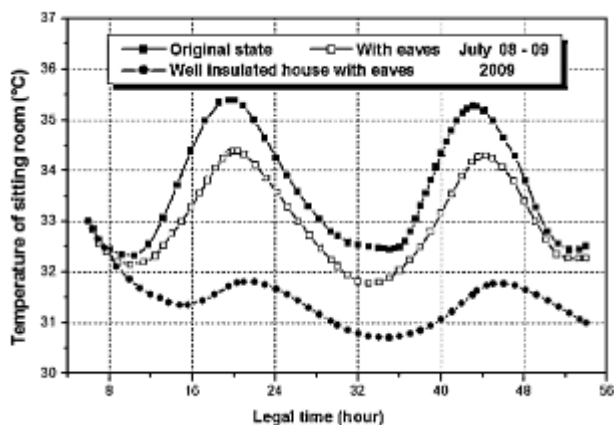
#### 1.4.2. Stogeliai

Norint sumažinti šilumos pritekėjimus iš lauko patartina įrengti stogelius, kurie skatintų šešėlių atsiradimą ties langais, tokiu būdu sumažinamas tiesioginių saulės spindulių pritekėjimas į vidaus patalpas vasaros metu, tačiau netrukdo šviesai patekti žiemos laikotarpiu [11]. Kaip kinta saulės padėtis esant skirtingiems metų laikams nurodyta 2 pav.



2 pav. Stoginės įtaka saulės spindulių kritimo kampui (S.M.A. Bekouche, 2011)

Siekiant parodyti stoginės naudą sudaryta liepos 8-9 dienų temperatūrų kitimo diagrama pateikta 3 pav., joje pateiktas neapšiltinto pastato su stogine ir apšiltinto pastato su stogine temperatūrinis palyginimas [11].



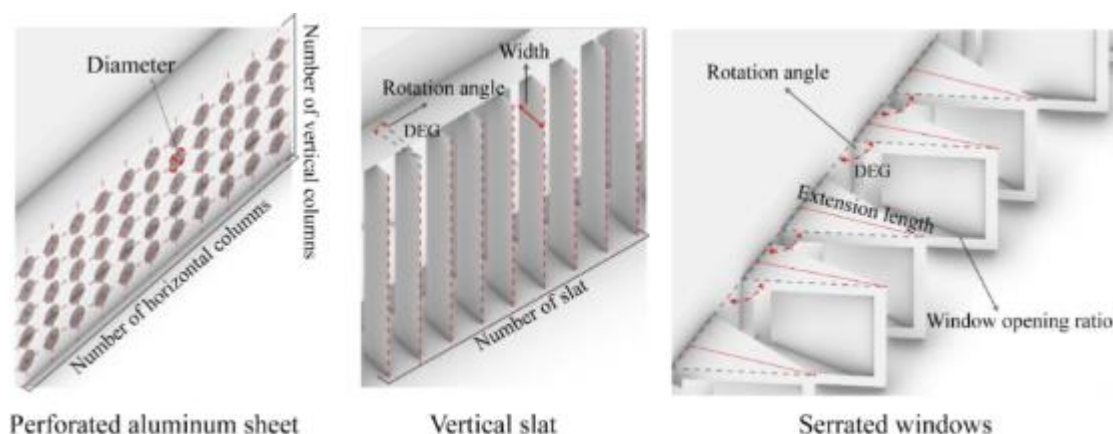
3 pav. Temperatūrų kitimo grafikas esant skirtingoms pastato konstrukcijoms

Iš diagramos galima pastebėti, kad dėl stogelio atsiradęs šešėlis sumažina patalpos temperatūrą 1 °C laipsniu, o apšiltintas ir sandarus pastatas su stogine sumažina vidaus patalpų temperatūrą nuo 4 °C dienos metu iki 1,5 °C naktį [11].

### 1.4.3. Langų šešėliavimo būdai

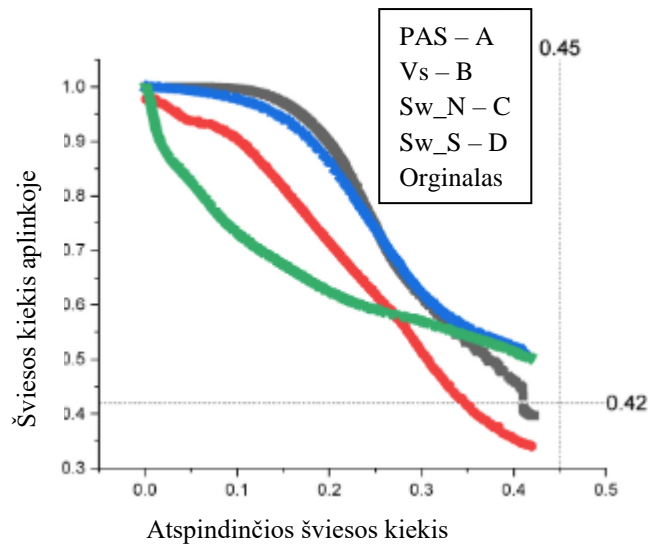
Shikang Wen atliko tyrimą, kurio metu buvo bandoma nustatyti 4 rūšių langų šešėliavimo įtaką pastatų perkaitimui ir žmonių savijautai. Natūrali šviesa turi teigiamą poveikį žmonių sveikatai ir gali padidinti žmonių produktyvumą [35]. Peng Xue nustatė, kad žmogaus savijauta labiausiai priklauso nuo natūralios šviesos kiekio patalpose kuriose praleidžiama daugiausiai laiko [36]. Visgi nuo daugiau šviesos nereiškia, kad bus geriau jaučiamasi. Per didelis šviesos kiekis atsirandantis nuo tiesioginės saulės per langus gali sukelti vizualinį diskomfortą, kuris atsiranda dėl atsispindėjusios šviesos nuo baldų ar kitų paviršių, tai nustatė Andreas Beck, kuris tą patį reiškinį pastebėjo keliose mokyklose [36].

Tyrimo metu analizuoti keturi šešėliavimo būdai pateikti 4 pav.



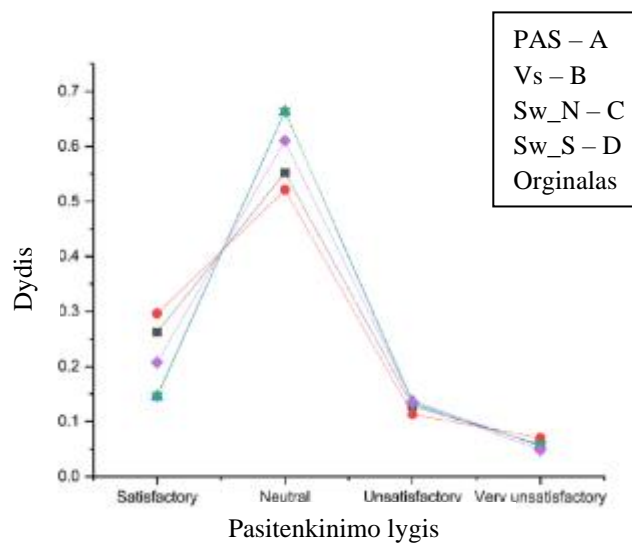
4 pav. Keturi šešėliavimo būdai, kur kampu iškišti langai orientuoti į šiaurę (C) ir pietus (D)

Pirmuoju šešėliavimo tipu buvo bandoma patikrinti kokį rezultatą duoda aliuminio plokštės su skylėmis uždengimas ant langų (A), antruoju vertikalųjų juostų šešėlių įtaka (B), trečiuoju išsikišusių langų kurie nukreipti į šiaurę įtaka (C), o ketvirtuoju išsikišusių langų nukreiptų į pietus įtaka (D). Trečiuoju (C) atveju į langus nepatenka tiesioginės saulės šviesos, šiluma į patalpą patenka nuo išilusios sienos, o šviesa atsispindėdama nuo kitų objektų. Ketvirtuoju atveju (D) saulės šviesa tiesiogiai sklinda per langus ir šildo vidaus sieną. Rezultatams nustatyti naudotos programinės įrangomis sudarytos simuliacijos. Pagal gautus rezultatus pritaikant Pareto taisyklę sudaryta visų variantų palyginimo diagrama, pateikta 5 pav.



**5 pav.** Šešėliavimo būdų palyginimas pritaikant Pareto taisyklę A, B, C ir D tipams

Visų tyrimų metu buvo tenkinamas šviesos atspindžio kiekis, tačiau tik (B) ir (A) tenkino pritekančios šviesos kiekio normą į patalpas. Tokie pat rezultatai pastebimi ir žmonių pasitenkinimo aplinka grafike, pateiktame 6 pav.[35].



**6 pav.** Žmonių pasitenkinimo aplinka lygis

Grafike horizontali dalis žymi pasitenkinimo tipą, o vertikali dydį. Apibendrinus rezultatus nustatyta, kad pritaikant vertikalias juostas 22 % padidėja žmonių pasitenkinimas aplinka, pritaikant aliuminio pluoštus su skylėmis 9 %, o išsikišusio lango nukreipto į šiaurę arba pietus, abiem atvejais 8 % [35]. Pagal pateiktą grafiką galima teigti, kad vertikalių juostų pritaikymas turi geriausius dienos šviesos rezultatus ir labiausiai tinka pastatų šešėliavimui iš tirtų keturių tipų, mažiausiai priimtinas (C) ir (D) tipai.

#### **1.4.4. Žaliuzės**

Siekiant kuo ilgiau patalpose išlaikyti komfortišką natūralios šviesos kiekį, kad apšvietimui nebūtų naudojama energija, pastatuose įrengiami dideli įstiklinti plotai. Per langus ypač vasaros metu į patalpas patenka dideli kiekiai saulės spindulių, kurie sukelia itin aukštą vidaus temperatūrą keliančią diskomfortą žmogaus savijautai. Tam, kad būtų suvaldytas patalpų perkaitimas būtina numatyti šešėliavimo priemones, kuriomis būtų galima suvaldyti ateities klimato kaitos reiškinius. Šešėliavimo priemonių įrengimui nėra jokių standartų ar taisyklių kurios būtų pritaikomos visiems projektuojamiems pastatams. Dažnu atveju manoma, kad esant poreikiui žmonės dienos metu naudosis žaliuzėmis siekdami užkirsti kelią tiesioginei saulės šviesos sukeliama karščiui, tačiau tai ne tiesa. Šešėliavimo priemonės privalo būti vertinamos kiekvienam pastatui individualiai, kad būtų pasiektas maksimalus jų naudingumas. Žaliuzės, naudojamos patalpų viduje yra pigiausias šešėliavimo būdas ir lengvai įrengiamas, bei kontroliuojamas, tačiau nėra tokios efektyvios lyginant su išorinėmis priemonėmis [37]. Saulės spinduliai pereidami per stiklą yra įkalinami tarp stiklo ir žaliuzių, dėl ko šiluma susikaupusi toje zonoje patenka į patalpas [37]. Įrengiant žaliuzes labai svarbu atsižvelgti į tinkamą jų pasirinkimą, kad būtų pasiektas maksimalus jų naudingumas saulės spinduliuotei sulaikyti ir natūralios šviesos kiekis patalpose vasaros metu, o maksimalus šviesos prasiskverbimas žiemos metu [37]. Labai svarbu, kad šešėliavimo priemonės nesumažintų natūralaus apšvietimo kiekio ir netrukdytų natūraliam vėdinimui [37]. Efektyviausiomis vėsinimo priemonėmis laikomi natūralus vėdinimas ir išorinės žaliuzės. Automatizavus vieno iš jų veikimą galima pasiekti išties komfortišką aplinką patalpose. Tyrimu nustatyta, kad siekiant mažiausių šilumos pritekėjimų geriau automatizuoti išorinių žaliuzių veikimą, tačiau eksploatuojant patalpas dienos metu, tai gali kelti didelį diskomfortą, todėl siekiant užtikrinti pakankamą šviesos srautą būtina palikti žaliuzes 45° pasuktas, o tai esant karščio bangoms netenkina vidutinių patalpų temperatūrų [38]. Žaliuzių naudojimas labiausiai tinkamas, kai dienos metu patalpose nėra žmonių ir galima langus pilnai užverti. Automatizuojant jų uždarymo, bei pravėrimo laiką pagal patalpų eksploatavimo laiką galima pasiekti išties efektyvius patalpų vėsinimo rezultatus [38]. Šiuo metu automatizuotos žaliuzės plačiai pradėtos naudoti komerciniuose pastatuose su dideliais įstiklintais plotais, kuriuose šviesos srautas į patalpas yra labai didelis, siekiant sumažinti energijos sąnaudas vėsinimui.

#### **1.4.5. Natūralus vėdinimas**

Natūralus patalpų vėdinimas tai labai populiarus ir efektyvus vėsinimo būdas, kuris vis dažniau naudojamas ir naujos statybos pastatuose. Toks vėsinimo būdas plinta dėl mažos įrengimo kainos ir energijos poreikio nebūvimo [39]. Natūralaus vėdinimo būdu gali būti sutaupomi dideli kiekiai energijos reikalingos patalpų vėsinimui karštuoju metų laiku, tačiau jo efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo vyraujančių orų sąlygų, orientacijos, įstiklinimo plotų, pastato formos ir t.t. Dėl visų šių faktorių efektyvius vėdinimo sistemas suprojektuoti nėra paprasta. Pastato forma turi tiesioginę įtaką vėdinimo kokybei, kadangi priklausomai nuo jo formos gali susidaryti skirtingas oro srautas įpučiamas per įėjimo ir išėjimo angas [39]. Oro srautui keliaujančiam tarp patalpų įtaką turi ir patalpų išdėstymas [39]. Svarbu, kad atveriant langus patalpose nesusidarytų diskomfortą keliantis skersvėjis [39].

Tyrimo Lenkijoje metu nustatyta, kad komforto lygis naudojant natūralų vėdinimą labai priklauso nuo aplinkos sąlygų ir vietovės [39]. Pastatai, kurių aplinka kalnuota ar aplink vyrauja daug medžių yra aukštesnėje rizikos grupėje kalbant apie patalpų perkaitimą [39]. Taip yra dėl to, nes nelygus

reljefas ar augmenija slopina vėjo greitį ir pastatams natūralus vėdinimas gali tapti neefektyvus [39]. Tyrimo Rusijoje, Sankt-Peterburge metu nustatyta, kad komforto lygis vasaros metu natūralaus vėdinimo būdu gali būti pasiekiamas laikant pravertus langus nuo 8 iki 18 val. kadangi patalpų temperatūra neviršija 25 °C [40]. Skaičiuoto skaitinio modelio 3D vaizdas pavaizduotas 7 pav.



7 pav. Skaitinis modelis Sankt-Peterburge

Laikant langus pravertus 8:00-18:00 valandomis sumažinamas patalpų perkaitimo valandų skaičius 63 % [40]. Šis metodas ypač efektyvus pritaikant jį šiauriniam fasadui, su 50 % įstiklinto fasado ploto, kadangi tada sumažinamas patalpų perkaitimo valandų skaičius 90 % [40]. Visgi ne visada ir ne visuose regionuose natūralus vėdinimas gali būti efektyvus. Esant karščio bangoms, kai išorės temperatūra siekia 25 °C ir daugiau, natūralus vėdinimas tampa neefektyvus [41]. Siekiant suvaldyti nuo saulės pritekančios šilumos kiekius privalu numatyti išorines šešėliavimo priemones [41]. Apjungus natūralų vėdinimą ir tinkamas šešėliavimo priemones gali būti pasiekiamas komfortiškas patalpų temperatūros lygis [41].

#### 1.4.6. Stogai

Plokščiųjų stogų pasirinkimas naujos statybos pastatuose vis dažniau pastebimas. Tokių stogų pritaikymas leidžia maksimaliau išnaudoti statinio aukštį ir suteikia modernesnę išvaizdą. Plokštieji stogai įrengiami daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose, kotedžuose, bei kartais pasitaiko individualiuose gyvenamuosiuose pastatuose.



8 pav. Daugiabučiai ir kotedžai Kaune

Keleto tyrimų metu pastebėta, kad pastatuose su plokščiais stogais vidutinė patalpų temperatūra dienos metu aukštesnė nei pastatuose su šlaitiniais stogais [23]. Pagrindinė priežastis, kodėl pastatai su plokščiais stogais perkaista labiau, tai dideli stogų plotai veikiami tiesioginės saulės spindulių. Šlaitiniai stogai dėl pasvirų ir kampuotų konstrukcijų sudaro mažesnius atvirus saulės

poveikiui plotus, dėl ko konstrukcijos įkaista mažiau. Šlaitiniai stogai taip pat daro teigiamą poveikį dėl savo formos ir dėl to, kad susidaranti šiluma kyla į viršų ir gali laikytis stogo viršutinėje dalyje nesukeliant diskomforto [23]. Nustatyta, kad pastatuose be kondicionierių siekiant mažiausių šilumos pritekėjimų šlaito pasvirimo kampas turi būti  $50^\circ - 60^\circ$ , o šlaitų orientacija pietūs ir šiaurė [23].

Mažiau populiarūs, tačiau vis dažniau minimi žalieji stogai pradedami įrenginėti ir Lietuvoje. Žalieji stogai dažnai naudojami kaip priemonė liūčių, karščio bangų, ilgaaamžiškumo problemoms pašalinti tropiniuose ar kalnuotuose kraštuose [24]. Toks stogų tipas pasižymi geromis izoliacinėmis savybėmis, bei teigiamais rezultatais ties energijos suvartojimu metų laikotarpiu [24]. Kaip žalieji stogai, taip ir šviesą atspindintys stogai yra itin efektyvūs karščio bangų metu [24]. Danga atspindinti šviesą sumažina pritekančios šilumos kiekį per stogo konstrukciją ir lyginant su žaliaisiais stogais yra kur kas pigesni, tačiau jie nėra tokie efektyvūs tropinės nakties metu [24]. Žalieji stogai yra itin populiarėjantys dėl ekosistemos didinimo miestuose, oro kokybės gerinimo ir triukšmo lygio mažinimo lyginant su bet kuriais kitais stogais [24]. Žalieji stogai lyginant su keraminiais ar metaliniais stogais sumažina šilumos pritekėjimus 92 – 97%, o šilumos nuostolius 49 – 20% [24]. Tuo tarpu žiemos metu šilumos pritekėjimai sumažinami 70 – 84%, o šilumos nuostoliai sumažinami 44 – 52% lyginant su keraminiais ar metaliniais stogais pietų Amerikoje [24]. Žaliųjų stogų efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo vietovės klimato sąlygų todėl negali būti tiesiogiai apibrėžiamas jų naudingumas. Lietuvoje tai dar brangus ir retai pasirenkamas stogų įrengimo būdas, tačiau su didėjančia klimato kaita ir griežtėjančiais reikalavimais tikimasi, kad žalieji stogai taps paklausesni ir labiau prieinami.

#### **1.4.7. Kiti veiksniai darantys įtaką šilumos pritekėjimams į patalpas**

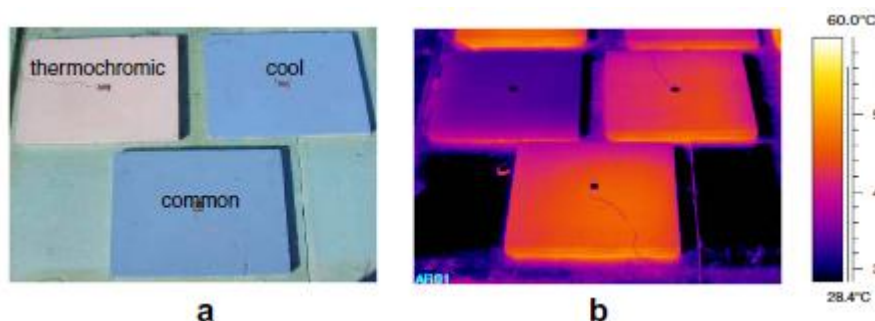
##### *Šviesėjantys dažai*

Ne visada įmanoma surasti šešėlius kurie uždengtų visus fasadus šešėliais palikdami ne daugiau kaip dvi tiesioginės saulės šviesos veikiamas sienas. Siekiant kuo maksimaliau sumažinti išorės sienų perkaitimą būtina parinkti tinkamas apdailos medžiagas. Medžiagų įtaka paviršių temperatūrai tirta T. Karlessi straipsnyje „Development and testing of thermochromic coating for buildings and urban structures“ [42]. Tyrimo metu analizuoti dviejų rūšių dažų tipai: pirmieji, tai termochrominiai dažai, kurie veikiant sąlyginai aukštai temperatūrai šviesėja, antra rūšis, tai termochrominiai dažai su titano oksido priedais ( $\text{TiO}_2$ ) [42]. Abiem tipams iširtos penkios skirtingos spalvos: geltona, žalia, pilka, juoda ir mėlyna. Papildomai tirta ir ruda spalva, tačiau tik su  $\text{TiO}_2$  priedais esanti dažų rūšis, kadangi paprasti termochrominiai dažai išlaiko per daug tamsų paviršių, o šiuo tyrimu buvo bandyta nustatyti šaltų spalvų poveikį perkaitimui [42]. Abiem dažų tipams lygintos termochrominės, šaltos ir tipinės spalvos. Tiriamų spalvų paletė pateikta 9 pav.

THERMOCHROMIC COATINGS				
with TiO <sub>2</sub>		color	without TiO <sub>2</sub>	
thermochromic	cool		thermochromic	cool
		YELLOW		
		GREEN		
		GREY		
		BLACK		
		BLUE		
		BROWN		

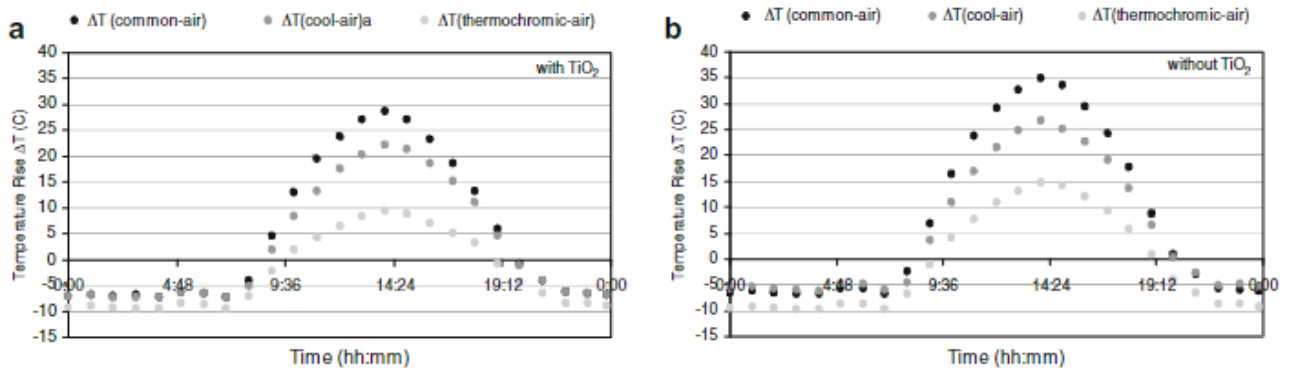
9 pav. Tirtos dažų rūšys

Atliekant tyrimą buvo matuota skirtingų paviršių temperatūra veikiant tiesiogine saulės šviesa nuo 6 valandos ryto iki 22 valandos vakaro. Nustatyta, kad termochrominiai paviršiai visais atvejais mažiau įkaista nei šalti ar tipiniai spalvų paviršiai [42]. Kaip reaguoja skirtingų tipų mėlynai paviršiai pateikta 10 pav.



10 pav. Temperatūrų skirtumai tarp mėlynos spalvos termochrominių, šaltų ir tipinių paviršių, a – vizualiai matomi skirtumai, b – infraraudonaisiais spinduliais matomi skirtumai

Tyrimo metu pastebėta, kad vasaros metu iki rugsėjo vidurio termochrominiai paviršiai lyginant su šaltų spalvų paviršiais įkaista nuo 9,5 °C iki 16,5 °C mažiau [42]. Tuo tarpu lyginant termochrominius ir tipinius paviršius pastebėtas skirtumas nuo 13,5 °C iki 23 °C. Šie temperatūrų skirtumai stebėti tarp visų spalvų paviršių išskyrus geltoną, kuris įkaista lyginant termochrominį su šaltų paviršiumi 2,1 °C mažiau o su tipinių paviršiumi 4,5 °C mažiau [42]. Visais atvejais termochrominiai paviršiai yra pranašesni atsižvelgiant į paviršiuose susidarančią temperatūrą. Kitas svarbus momentas kuris buvo analizuotas, tai kuris termochrominis paviršius pranašesnis, su titano oksidu ar be jo. Žalios spalvos termochrominių paviršių su TiO<sub>2</sub> priedais ir be jų įtaka paviršių temperatūrai pateikta 11 pav.

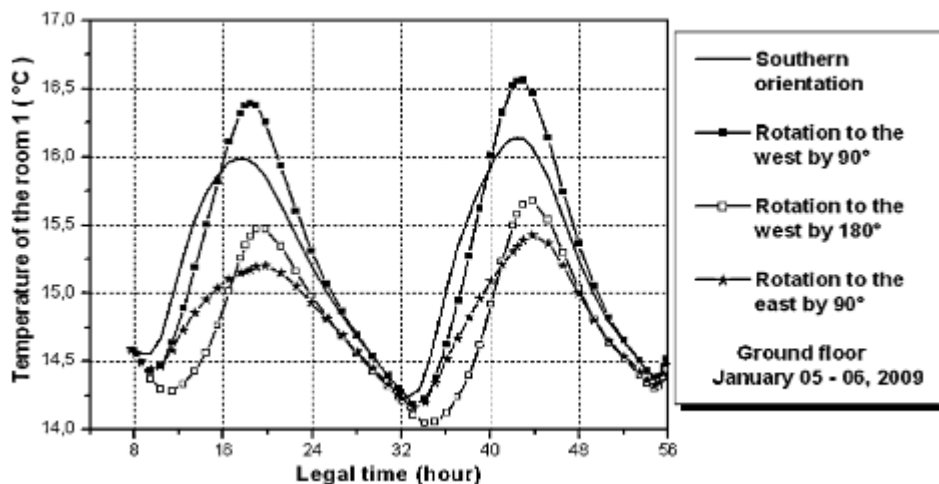


**11 pav.** Žalios palvos termochromio paviršiaus vidutinis temperatūros padidėjimas, a – paviršius su  $\text{TiO}_2$ , b – paviršius be  $\text{TiO}_2$

Iš 11 pav. galima matyti, kad paviršius su  $\text{TiO}_2$ , kuris turi šviesesnius atspalvius įkaista apie  $5^\circ\text{C}$  mažiau lyginant maksimalią temperatūrą. Nustatyta ir tai, kad termochrominiai paviršiai šviesdami nuo  $30^\circ\text{C}$  temperatūros atspindi kur kas daugiau saulės spindulių o esant žemesnei temperatūrai sugeria, todėl puikiai tinka pastato energijos poreikiams mažinti, žiemos metu šildymui, o vasaros metu vėsinimui [42].

### *Pastato orientacija*

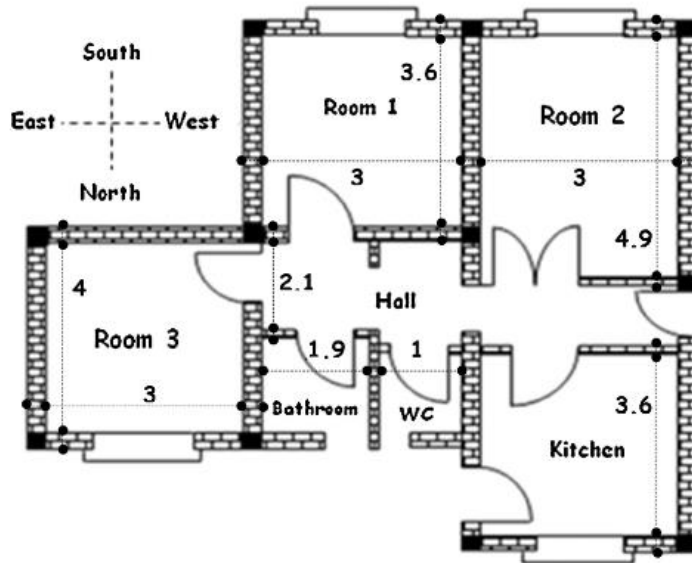
Šilumos pritekėjimai per pertvaras ir langus taip pat priklauso ir nuo pastato vietovės, orientacijos ir paviršių tipo. Nustatyta, kad pastato orientavimas į rytus  $90^\circ$  laipsnių kampu, sumažina pastato vidaus patalpų temperatūrą apie 1 laipsnį lyginant su  $90^\circ$  orientacija į vakarus [11]. Kokią įtaką pastato orientacija daro patalpos Nr. 1 perkaitimui pateikta 12 pav.



**12 pav.** Pastato orientacijos įtaka patalpos Nr. 1 perkaitimui (S.M.A. Bekouche, 2011)

Iš pateikto grafiko galima pastebėti, kad pastatą nukreipus į pietų arba vakarų pusę patalpos įkais labiau nei šiaurinėje ar rytinėje pusėse. Šalių orientacija parinkta pagal 13 pav. pateiktą planą kuriame buvo nagrinėta Nr. 1 patalpa [11].





13 pav. Pirmo aukšto planas (S.M.A. Bekouche, 2011)

Taip pat pastebėta, kad pastato orientacija teikia kur kas didesnę naudą mažinant energijos poreikius vėdinimui jeigu statinio stogas negauna tiesioginių saulės spindulių, o sienų skaičius esantis tiesioginėje saulėje nėra didesnis nei dvi [11]. Tyrimo metu tirta kaip įkaista skirtingi fasadai atsižvelgiant į jų orientaciją.

3 lentelė. Vidutinė mėnesinė spinduliuotė į fasadus ( $\text{Wh m}^{-2}$ )

	Janu-ary	Febru-ary	March	April	May	June	July	August	Septem-ber	October	November	December
Vertical South	6764	6576	5492	3929	2695	2153	2350	3198	4470	5649	3613	6478
Vertical North	260	307	382	689	1423	2084	1751	978	528	402	312	258
Vertical East and West	2653	3269	3773	4216	4256	4240	4106	3942	3616	3158	2690	2323

Nustatyta, kad daugiausiai tiesioginės saulės šviesios per metus sugeriantis fasadas yra pietinis, tačiau vasaros metu daugiausiai spindulių tenka rytų ir vakarų fasadams [11]. Pagal pateiktus duomenis galima spręsti, kad siekiant gauti naudos šaltuoju metų laiku ir turėti mažesnę perkaitimą vasaros metu vertėtų rinktis pietinę pastato orientaciją. Siekiant sumažinti šilumos pritekėjimus per šiaurinę fasadą vasaros metu, rekomenduojama fasade neįrengti langų, durų ar kitokio tipo angų [11].

### *Medžiagiškumo pritaikymas*

Lenkijoje pastebėta, kad pastatų perkaitimas daugiausiai pasireiškia gyvenamuosiuose pastatuose, kurie pastatyti iš medinių karkasų [43]. Lengvų konstrukcijų pastatai greitai praleidžia šilumą į patalpas, tačiau yra labiau draugiški aplinkai. Pastebėta, kad rugpjūčio mėnesį Lenkijoje betono konstrukcijų pastatai neišyla daugiau kaip  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kai tuo tarpu mediniai pastatai sušyla iki  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  ir daugiau [43]. Nustatyta, kad pakeitus medinių pastatų sienas betonu, dienų skaičius kai pastato

vidaus temperatūra viršija 26 °C sumažėja nuo 18,6 dienų iki 8 valandų [43]. Visgi siekiant užtikrinti komfortišką 24 °C aplinką nepakanka keisti konstrukcines medžiagas [43]. Tam, kad būtų pasiekta numatyta riba, privalu numatyti papildomas pasyvias vėsinimo priemones. Masyvių konstrukcijų pastatuose jaučiami kur kas mažesni temperatūrų skirtumai net ir esant karščio bangoms. Visgi tai nėra labai geras pavyzdys, kadangi šiuo metu siekiama atsisakyti betono. Betono sudėtyje yra cemento kurio gamybos metu išskiriami labai dideli kiekiai CO<sub>2</sub> į aplinką, o tai skatina klimato kaitos intensyvėjimą.

#### **1.4.8. Alternatyvos pastatų įrengimui Lietuvoje remiantis Baltijos regiono literatūra**

Atsakyti į klausimą kokį pastatą projektuoti energiška efektyviausiems rezultatams pasiekti vargu ar įmanoma. Idealių sąlygų turi būti nustatomos kiekvienam pastatui individualiai, priklausomai nuo jo vietovės, formos, medžiagiškumo ir kitų faktorių. Patalpų perkaitimo problema Lietuvoje vis dažniau pabrėžiama [44], [45], tačiau šiuo metu dar sunku rasti literatūros apžvalgos nusakančios problemos dydį. Siekiant surasti optimalius sprendinius, kurie padėtų suvaldyti pastatų perkaitimo problemą galima remtis Baltijos regione atliktais tyrimais.

Kadangi Lietuvoje tyrimų apie saulės spinduliavimo kampus ar šešėliavimo priemones nėra arba jie nėra lengvai prieinami, todėl galima remtis kaimyninės šalies Lenkijos atliktais tyrimais. D. Chwieduk atliko tyrimą, kurio metu nustatyta koks stogas tinkamiausias ir kokios šešėliavimo priemonės labiau tinkamos Lenkijos klimatui [46]. Pastebėta, kad plokštieji stogai, bei stogai su mažais nuolydžiais nėra efektyvūs ir kelia didesnę riziką vasarą perkaisti lyginant su šlaitiniais stogais kurių pasvirimo kampas 30-60° [46]. Nustatyta ir tai, kad ekonominiu požiūriu efektyviausia pagrindinio pastato fasado (įstiklinto) orientacija yra pietūs [46]. Fasadą orientuojant į pietus užtikrinamas geriausias šildymo ir vėdinimo poreikio santykis metų laikotarpyje [46]. Visgi svarbu vasaros periodui numatyti šešėliavimo priemones, kitu atveju patalpose atsiras diskomfortą kelianti aukšta temperatūra. Tyrimo metu nustatyta, kad pietų fasadui didžiausią efektyvumą duoda vertikalių arba pasvirų paviršių naudojimas [46]. Horizontalūs stogeliai nėra efektyvūs dėl vietovės azimuto kampo [46].

## 2. Tyrimų metodologija

Šiame skyriuje sudarytas skaitinis modelis patalpų prognozavimui, atliktų natūrinių tyrimų vieta ir būdai. Apžvelgiama, kaip atliktas sukurto skaitinio modelio patikimumo vertinimas. Naudojantis skaitiniu modeliu pristatomos modeliuotos vėsinimo priemonės atsižvelgiant į šių dienų ir ateities klimato scenarijus. Pristatoma ekonominė nauda ir įtaka energijos sąnaudoms lyginant skirtingas pasyvaus vėsinimo priemones.

### 2.1. Skaitinis modelis patalpų perkaitimo prognozavimui

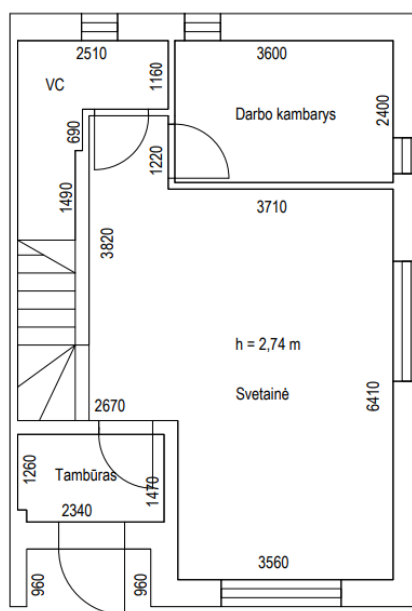
Siekiant nustatyti pasyvių vėsinimo priemonių įtaką patalpų temperatūroms, IDA ICE programiniu paketu, sudarytas realaus pastato esančio Kauno rajone skaitinis modelis. Modelyje vertinti pagrindiniai šilumos šaltiniai: žmonės, apšvietimas ir viryklė. Kiekvienam iš išvardintų šilumos šaltinių prisiklirtos jų veikimo valandos. Priskirta, kad apšvietimas darbo dienomis žiemos sezonu veiks nuo 6:00 val. iki 8:00 val. ir nuo 18:00 iki 23:00 val., o vasaros sezonu nuo 20:00 val. iki 23:00 val. imtinai. Žmonių būvimas patalpose parinktas toks pat kaip apšvietimo. Viryklės naudojimo laikas 7:00 val. ir 18:00 – 19:00 val. imtinai. Savaitgaliais ir nedarbo dienomis apšvietimas naudojamas žiemos sezonu nuo 18:00 val. iki 23:00 val., žmonės priimama, kad patalpose yra visą laiką, o viryklė naudojama 9:00, 14:00 ir 19:00 valandomis. Vasaros sezonu apšvietimas naudojamas nuo 20:00 iki 23:00 val., o viryklė ir žmonių buvimo laikas analogiškas kaip ir žiemos sezonu. Apšvietimo, bei žmonių būvimo patalpose laikas priskirtas kiekvienai patalpai skirtingas atsižvelgiant į loginę žmonių judėjimo seką. Pastato konstrukcijos priskirtos atsižvelgiant į A+ energinio efektyvumo keliamus reikalavimus. Sienų, grindų, stogo bei langų charakteristikos pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė. Konstrukcijų sudėties žiniaraštis

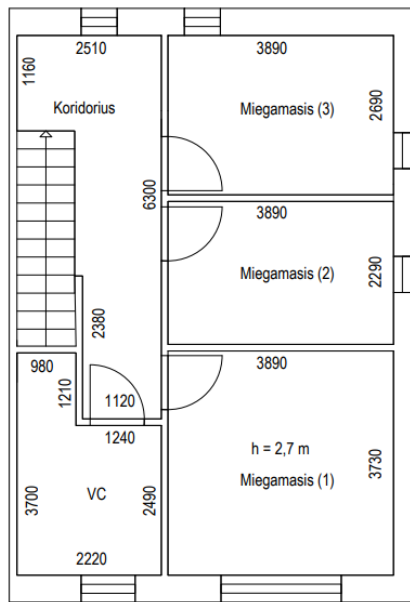
Konstrukcijos pavadinimas	Medžiaga	Storis, mm	Šilumos laidumo koeficientas, W/mK	Šilumos perdavimo koeficientas, W/m <sup>2</sup> K	A+ klasės šilumos perdavimo koeficientas
Išorinės sienos	Tinkas	10	0,9	0,119	0,13
	Gelžbetonis	200	2,0		
	Klijai	10	0,9		
	Polistirenas EPS	300	0,037		
	Tinkas	10	0,9		
Stogas	Hidroizoliacinė danga	30	0,15	0,112	0,12
	Mineralinė vata nuolydžio formavimui	70	0,036		
	Mineralinė vata	230	0,037		
	Orą ir garus izoliuojantis sluoksnis	2	1,0		
	Surenkamo g/b plokštės	220	0,51		

Grindys ant grunto	Grindų danga	10	0,14	0,118	0,12
	Betonas	150	1,7		
	Hidroizoliacinė plėvelė	2	1,0		
	Polistirenas XPS	300	0,037		
Langai	Plastikiniai, 44 mm stiklo paketo su $U_g=0,5$ W/(m <sup>2</sup> K)	-	-	0,8	0,9
Lauko durys	Metalinės, be įstiklinimo	-	-	0,82	1,3
Vidaus pertvaros	Gipsas	25	0,22	0,56	-
	Mineralinė vata	50	0,036		
	Gipsas	25	0,22		

Pagrindinis parametras, kuris tikrintas sudarius modelį, tai patalpose susidaranti vidutinė temperatūra. Vėsinimo ir šildymo įrenginių pastate nėra. Nustačius, kad gaunamos vertės atitinka realiai galimą pasiekti patalpų temperatūrą, sudarytas tikslus A+ energinės klasės objekto modelis, kurio planai pateikti 14 pav. ir 15 pav.

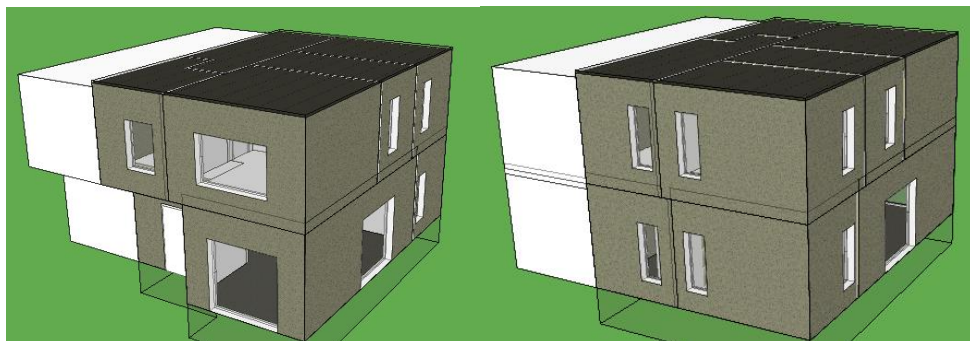


**14 pav.** Pirmo aukšto planas



**15 pav.** Antro aukšto planas

Sudarytas skaitinis modelis IDA ICE programine įranga pateiktas 16 pav.



**16 pav.** Sudarytas modelis IDA ICE programine įranga

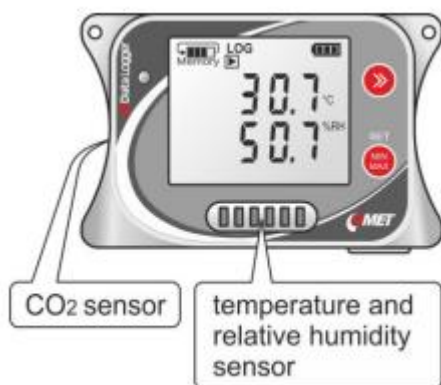
Vietovės sąlygos parinktos pagal IDA ICE duomenų bazės biblioteką. Ilginiai šiluminiai tilteliai priskirti „typical“ reikšmėms. Kiti parametrai išlaikyti pagal programinės įrangos automatinius priskyrimus.

Pagrindiniu tyrimo parametru vertinant patalpų komfortą pasirinkta patalpų temperatūra. Patalpose susidarantis karštis nulemia žmonių pasitenkinimą aplinka, nusako vėsinimo priemonių efektyvumą. Šis parametras gali ženkliai kisti priklausomai nuo vyraujančių aplinkos sąlygų bei vidaus faktorių, todėl jo vertinimas gali būti traktuojamas kaip svarbiausias patalpų perkaitimui nustatyti.

## 2.2. Natūriniai tyrimai

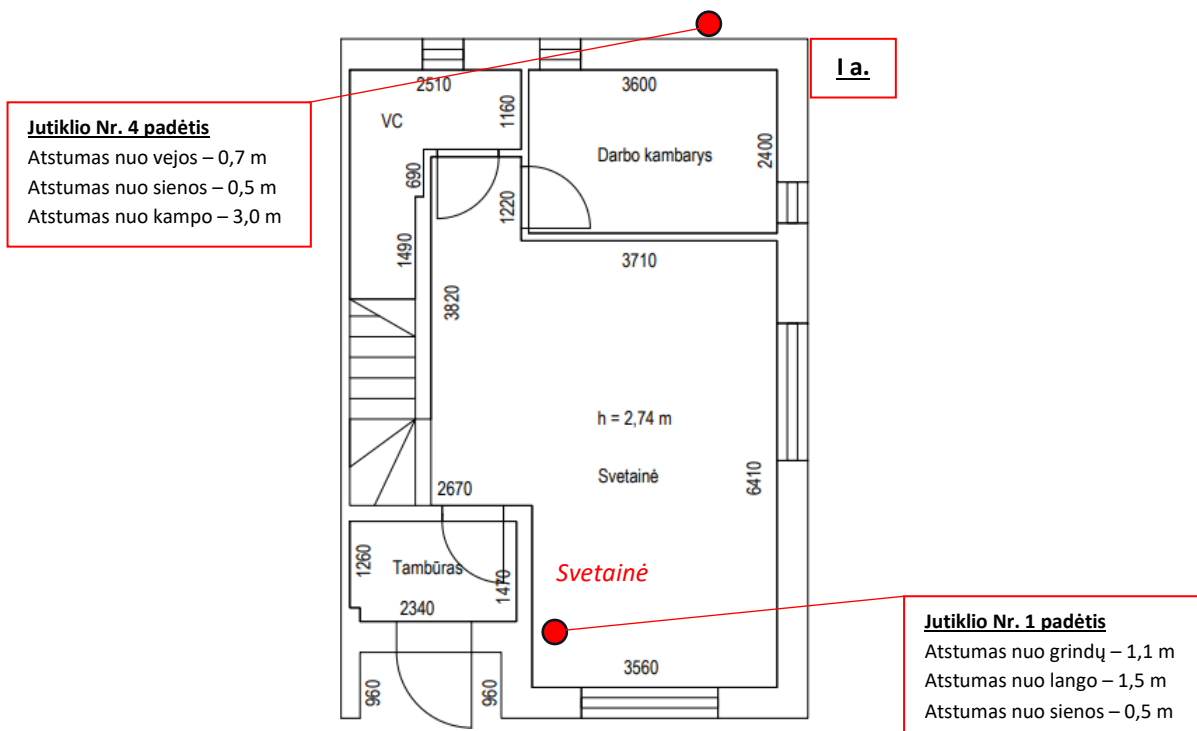
Siekiant nustatyti didžiausią temperatūrą nagrinėjamame objekte vasaros metu atlikti natūriniai tyrimai. Pastate kuriame atlikti matavimai gyvena du suaugę žmonės ir vaikas. Pastatas pastoviai

eksploatuojamas su veikiančiu mechaniniu vėdinimu, langai pastate nedarinėjami. Gyvenamasis namas yra Kauno rajone, sudarytas iš mūrinių sienų ir surenkamo gelžbetonio plokščių perdangų. Jutikliai fiksuojantys oro temperatūrą, santykinę drėgmę, rasos taško temperatūrą bei CO<sub>2</sub> kiekį ore sustatyti pastato viduje ir išorėje. Matavimams naudoti „OMET U3430“ jutikliai, kurie prieš pradėdant matavimus sukalibruoti parenkant datą, matavimų periodiškumą, surašant pavadinimus ir t.t. Matavimo prietaisas pateiktas 17 pav. Temperatūra ir santykinė drėgmė matuojama priekyje, po grotelėmis esančiais jutikliais, o CO<sub>2</sub> kiekis kairiajame prietaiso šone įmontuotu jutikliu. Matavimai atliekami visą parą, kas 10 min. laiko tarpais.



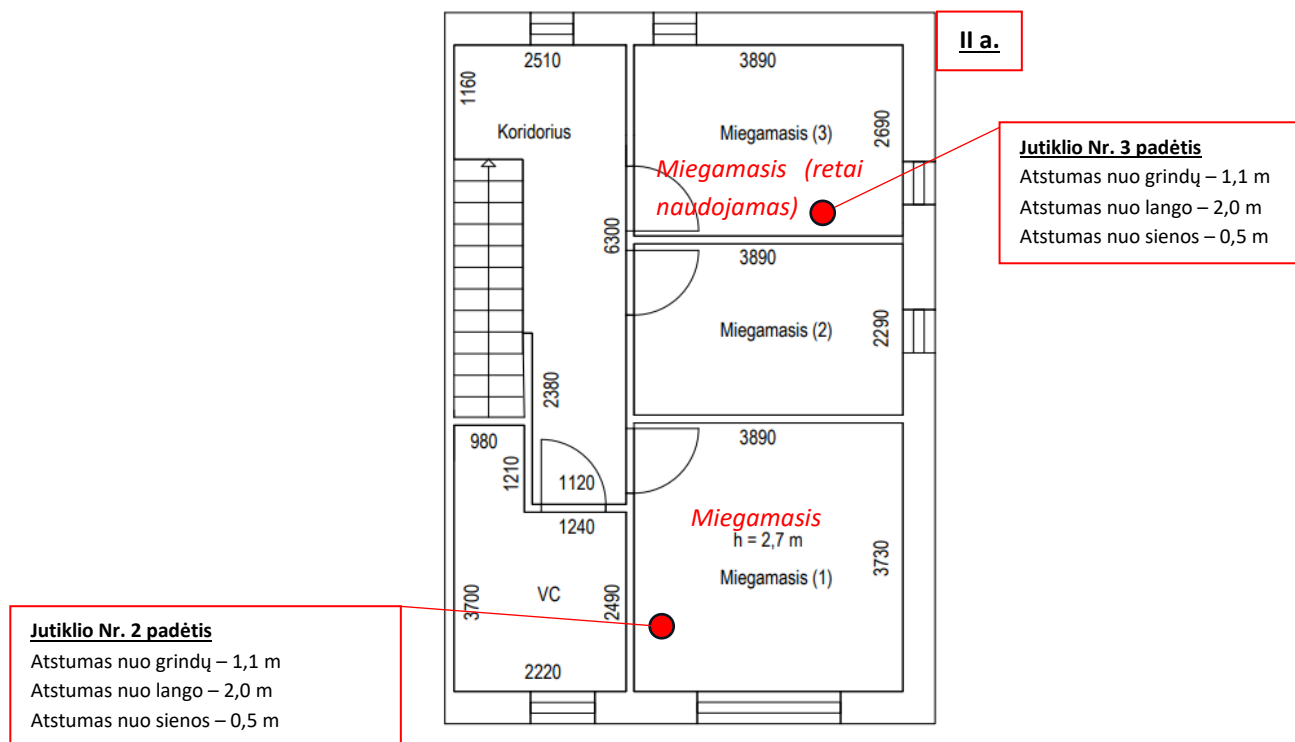
17 pav. „OMET U3430“ matavimo prietaisas

Pirmame aukšte jutiklis Nr.1 įrengtas svetainėje 1,1 m aukštyje nuo grindų, 1,5 m atstumu nuo lango ir 0,5 m nuo sienos. Jutiklis Nr. 4 įrengtas lauke, 0,7 m aukštyje nuo vejos, 0,5 m nuo sienos ir 3 metrai nuo pastato kampo iš rytų. Lauke pastatytas jutiklis apsaugotas nuo tiesioginių saulės spindulių, vėjo ar lietaus poveikio. Jutiklių išdėstymo vietas pažymėtos 18 pav.



18 pav. 1A jutiklių išdėstymo planas

Antrame aukšte jutiklis Nr. 2 įrengtas miegamajame 1,1 m aukštyje, 2 m nuo lango ir 0,5 m nuo sienos atstumu. Jutiklio Nr. 3 padėtis miegamajame kuris retai naudojamas, 1,1 m aukštyje nuo grindų, 2 m nuo lango ir 0,5 m nuo grindų. Stovėjimo vietos pažymėtos 19 pav.



19 pav. 2A Jutiklių išdėstymo planas

Matavimai pradėti 2023 m, birželio 12 dieną ir baigti liepos 31 dieną. Gauti rezultatai suvesti į Excel lenteles ir sudarytos linijinės diagramos vaizdiniam situacijos atvaizdavimui.

### 2.3. Skaitinio modelio patikimumo vertinimas

Siekiant nustatyti ar skaitinis modelis, kuriuo remiantis priimamos tyrimo išvados, yra teisingas atliekami natūriniai tyrimai. Natūrinių tyrimų metu nagrinėjamame objekte sudedami temperatūriniai jutikliai, kurie fiksuoja vidutinę oro temperatūrą patalpoje. Tyrimai atliekami nuo birželio 12 dienos iki liepos 31 dienos ir pagal gautas vertes parenkama karščiausia tyrimo savaitė, kad gautas vertes būtų galima palyginti su skaitinio modelio rezultatais.

Gauti skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų rezultatai suvedami į bendrą lentelę ir yra koreliuojami, tokiu būdu nustatant modelio patikimumą. Koreliacija tarp natūrinių tyrimų ir skaitinio modelio rezultatų atliekama Excel funkcija „Correl“ arba gali būti skaičiuojama rankiniu būdu pagal formulę:

$$\text{Koreliacija}(X, Y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

Čia:  $x$  – natūrinių tyrimų temperatūrų vertės,  $\bar{x}$  – natūrinių tyrimų temperatūrų vidurkis,  $y$  – skaitinio modelio temperatūrų vertės,  $\bar{y}$  – skaitinio modelio temperatūrų vidurkis.

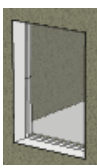

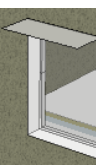
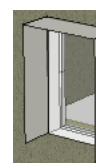

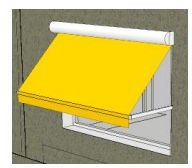


Kuo gautų rezultatų vertės artimesnės vienetui, tuo modelio ir natūrinių tyrimų rezultatai panašesni. Jeigu atlikus natūrinius tyrimus gauti rezultatai bus artimi vienetui, tada bus galima sakyti, kad skaitinis modelis sudarytas teisingai ir juo galima remtis pasyvių vėsinimų priemonių nustatymui.

## 2.4. Pasyvaus vėsinimo priemonių įtaka patalpų perkaitimo prognozavimui

### *Skaitiniai modeliavimai pagal natūrinių tyrimų metu užfiksuotas temperatūras*






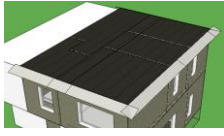
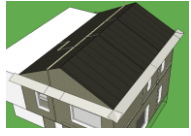
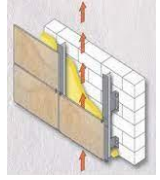
Siekiant nustatyti skirtingų pasyvaus vėsinimo priemonių įtaką patalpų temperatūroms, sudaromi skaitiniai modeliai patalpų perkaitimo prognozavimui, atsižvelgiant į nagrinėtoje literatūroje nustatytas pagrindines patalpų vėsinimo priemones. Pirmiausia modeliuojamos langų šešėliavimo priemonės: vertikalios sienutės, stogeliai, išorinės ir vidinės žaliuzės, bei markizės. Žaliuzės ir markizės modeliuotos priskiriant joms savybes automatiškai užsidaryti priklausomai nuo gaunamo šviesos srauto. Tyrimo laikotarpiu pasirinkta karščiausia natūrinių tyrimų laikotarpio savaitė, birželio 15 – 21 dienos. Modeliuojamos langų šešėliavimo priemonės pateiktos 5 lentelėje.

**5 lentelė.** Modeliuojamos langų šešėliavimo priemonės

							
1	2	3	4	5	6	7	8

Langų šešėliavimo priemonės nėra vienintelės patalpų vėsinimo priemonės, todėl atsižvelgta į pastatų medžiagiškumą ir formą. Atliekant modeliavimus vertinama stogų konfiguracijos įtaka patalpų temperatūroms. Nagrinėjami šlaitiniai ir plokštieji stogai, bei stogai su neeksploatuojama pastoge. Skaitinių tyrimų metu įvertinama ir vėdinamo fasado įtaka patalpų temperatūroms. Taip pat nustatoma stiklų paketų keitimo į selektyvinių stiklų paketų pasižyminčiu itin žemu saulės spinduliuotės praleisties koeficientu įtaka. Tyrimo laikotarpis taip pat priskiriamas karščiausiai savaitei. Išvardintos patalpų vėsinimo priemonės pavaizduotos 6 lentelėje.

**6 lentelė.** Kitos patalpų (pastatų) vėsinimo priemonės

				 Šlaitinis su pastoge
1	2	3	4	5
		Stiklų paketai „6 planibel II“ [51]		
6	7	8	9	



## **Skaitiniai modeliavimai vertinant ateities klimato scenarijų**

Atlikus literatūros apžvalgą nustatyta, kad iki 2050 metų vidutinė vasaros temperatūra pakils apie 1,7 °C [22]. Siekiant nustatyti, kokį poveikį tai gali turėti gyvenamiesiems pastatams sudaromi IDA ICE skaitiniai modeliai įvertinant 2 °C temperatūros padidėjimą tyrimo laikotarpiu nuo birželio 12 dienos iki liepos 12 dienos. Ateities klimato scenarijaus prognozavimui parenkamos efektyviausios vėsinimo priemonės. Modeliavimai atliekami vertikalioms sienutėms su stogeliu ir išorinėms žaliuzėms. Taip pat nustatoma efektyviausių vėsinimo priemonių derinių įtaka patalpų temperatūroms, vertinami selektyviniai stiklų paketai, vėdinamas fasadas, išorinės žaliuzės ir nevėdinama pastogė. Kadangi aplinkoje esantys objektai taip pat gali turėti įtaką patalpų perkaitimui, todėl modeliuojama ir aplinkoje esančių objektų (statiniai, augalai) įtaka patalpų temperatūroms.

Nustačius pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumą patalpų vėsinimui įvertinama pastato patalpose esanti CO<sub>2</sub> koncentracija atsižvelgiant į ateities klimato scenarijų. CO<sub>2</sub> koncentracija skaičiuojama IDA ICE programiniu paketu atsižvelgiant į gaunamas PPM vertes.

### **2.5. Ekonominė nauda ir įtaka energijos sąnaudoms**

Ekonominis vertinimas ir įtaka energijos sąnaudoms atliekama remiantis IDA ICE sudarytų modelių rezultatais. Nustatant energijos sąnaudas vėsinimui patalpose numatoma, kad veikia idealus vėsinimas. Skaičiavimų periodu pasirinktas birželio mėnesis, kadangi jo metu užfiksuotos aukščiausios patalpų ir lauko temperatūros. kWh kaina nustatyta remiantis „Ignitis grupė“ nustatytu 2023 liepos 1 d. kainoraščiu galiojančiu iki gruodžio 31 d. [52]. Elektros kainai parinktas standartinis elektros vartojimo planas, kurio kaina 0,227 Eur/kWh [52].

Siekiant nustatyti kiek skirtingu vėsinimo būdu sutaupoma elektros energijos naudojama skaičiavimo formulė, sutaupomos elektros energijos kainos nustatymui:

$$(259,9 - X_n \text{ kWh}) \cdot 0,227 \text{ Eur}; \quad (2)$$

Sutaupomas energijos kiekis procentine išraiška skaičiuojamas pagal formulę:

$$\frac{(Y_{0n} \cdot 100)}{X_0} - 100 \%; \quad (3)$$

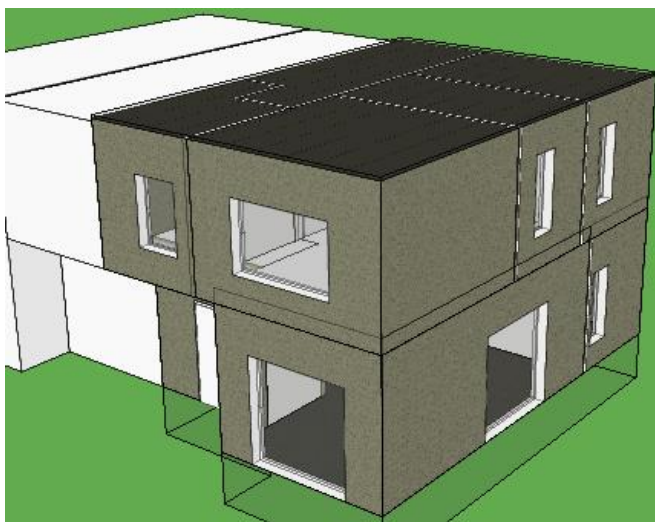
Čia:  $X_0$  – pirminio modelio energijos sąnaudos patalpų vėsinimui pagal šių dienų klimatą,  $X_1$  – pirminio modelio energijos sąnaudos patalpų vėsinimui pagal ateities klimato scenarijų;  $Y_{0n}$  – energijos sąnaudos patalpų vėsinimui konkrečių vėsinimo būdo atveju pagal šių dienų klimatą;  $Y_{1n}$  – energijos sąnaudos patalpų vėsinimui konkrečių vėsinimo būdo atveju pagal ateities klimato scenarijų.

### 3. Rezultatai ir diskusija

Šiame skyriuje pristatomas sudarytas skaitinis modelis patalpų prognozavimui, pagal egzistuojantį gyvenamąjį pastatą Kauno rajone. Pateikiami natūrinių tyrimų metu išmatuoti rodikliai ir pristatomi patikimumo vertinimo rezultatai sukurto skaitinio modelio tikslumui nustatyti. Pristatomos modeliuotos vėsinimo priemonės atsižvelgiant į šių dienų ir ateities klimato scenarijus, pateikiami atskirų vėsinimo priemonių veiksmingumai. Pateikiama ekonominė nauda ir įtaka energijos sąnaudoms lyginant skirtingas pasyvaus vėsinimo priemones pinigine ir procentine išraiškomis.

#### 3.1. Skaitinio modelio rezultatai

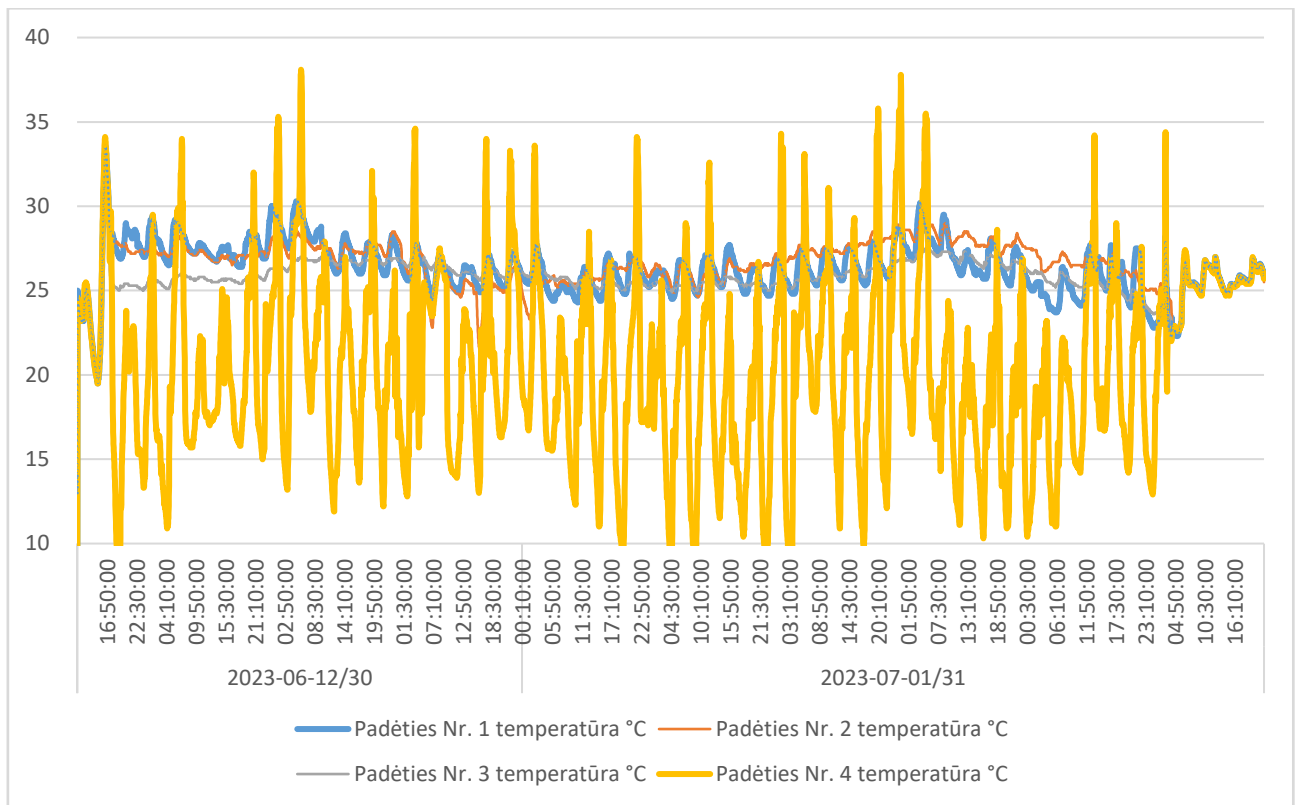
Siekiant atlikti skaitinius tyrimus patalpų perkaitimo prognozavimui, sudarytas skaitinis gyvenamojo pastato modelis, pagal žinomas pastato technines charakteristikas pateiktas 4 lentelėje. Sudarytas patikimas skaitinis modelis, kuris prognozuoja patalpų temperatūras 0,76 – 0,9 patikimumo koeficientu. Skaitiniame modelyje gaunamos patalpų temperatūros karščiausios tyrimo savaitės metu (06-15 – 06-21) gaunamos 0,7 – 1,7 °C didesnės dėl nežinomų durų ir langų savybių, žmonių vykdomos veiklos pastate, bei kitų pastate veikiančių faktorių. Sudarytas pastato skaitinis modelis IDA ICE programine įranga pavaizduotas 20 pav.



20 pav. Skaitinis gyvenamojo pastato modelis

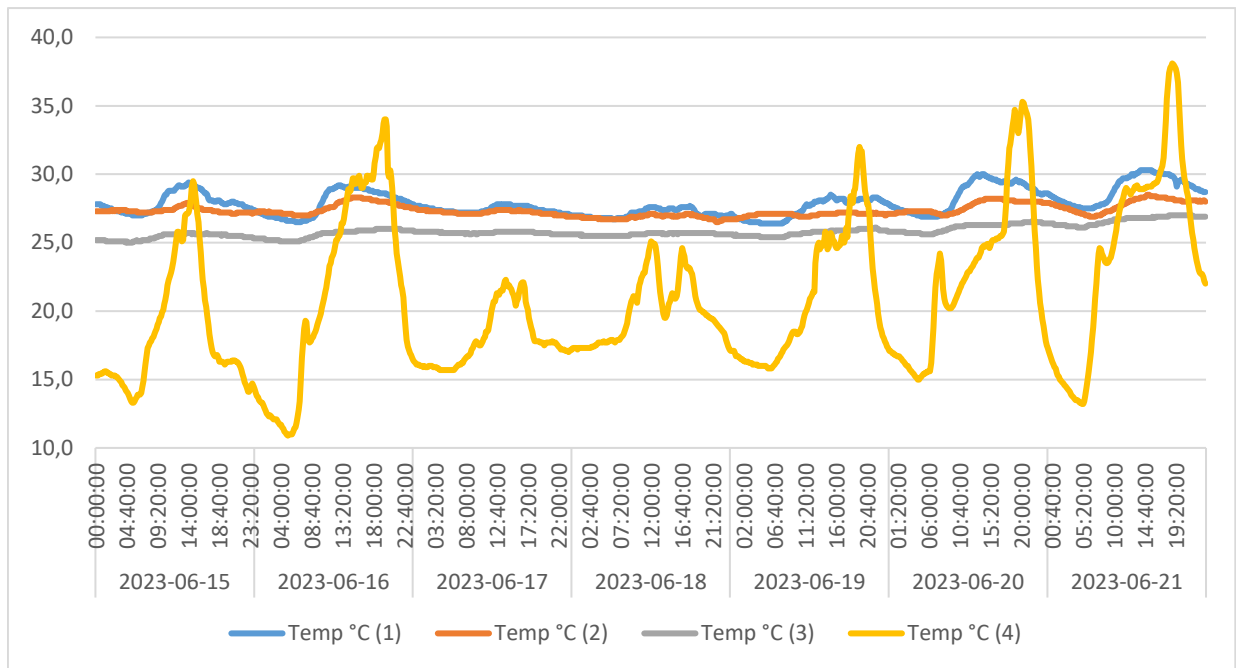
#### 3.2. Natūrinių tyrimų rezultatai

Birželio mėnesį aukščiausia lauko temperatūra užfiksuota 21 dieną, 18:50 val., kai lauko oro temperatūra pakilo iki 38 °C. Vidaus patalpose temperatūra užfiksuota Nr. 1 padėtyje 29,9 °C, Nr. 2 padėtyje 28,2 °C ir Nr. 3 padėtyje 27 °C. Liepos mėnesį aukščiausia temperatūra užfiksuota 15 dieną, 19:50 val., kai oro temperatūra pakilo iki 35,8 °C. Tuo metu pastate užfiksuotos temperatūros tokios: Nr. 1 – 27,0 °C, Nr. 2 – 28,2 °C, Nr. 3 – 26,4 °C. Matavimų metu pastebėta, kad vidaus patalpų temperatūra nekinta tolygiai su lauko temperatūra. Didžiausios vidaus patalpų temperatūros fiksuotos 14:00-17:00 val. laikotarpiu, kai lauko temperatūra aukščiausia 18:00-20:00 val. laiko tarpe. Tolygiau lauko ir vidaus temperatūra kinta, kai lauko temperatūra nepakyla aukščiau 30 °C. Taip pat pastebėta, kad dažniausiai pasikartojanti jutiklio Nr. 1 temperatūra 26,3 °C, Nr. 2 – 26,8 °C, Nr. 3 – 25,8 °C, o lauko temperatūra 20,4 °C. Gautų rezultatų diagrama pateikta 21 pav.



**21 pav.** Temperatūrų kitimo diagrama 06.12 - 07.31 d. laikotarpiu

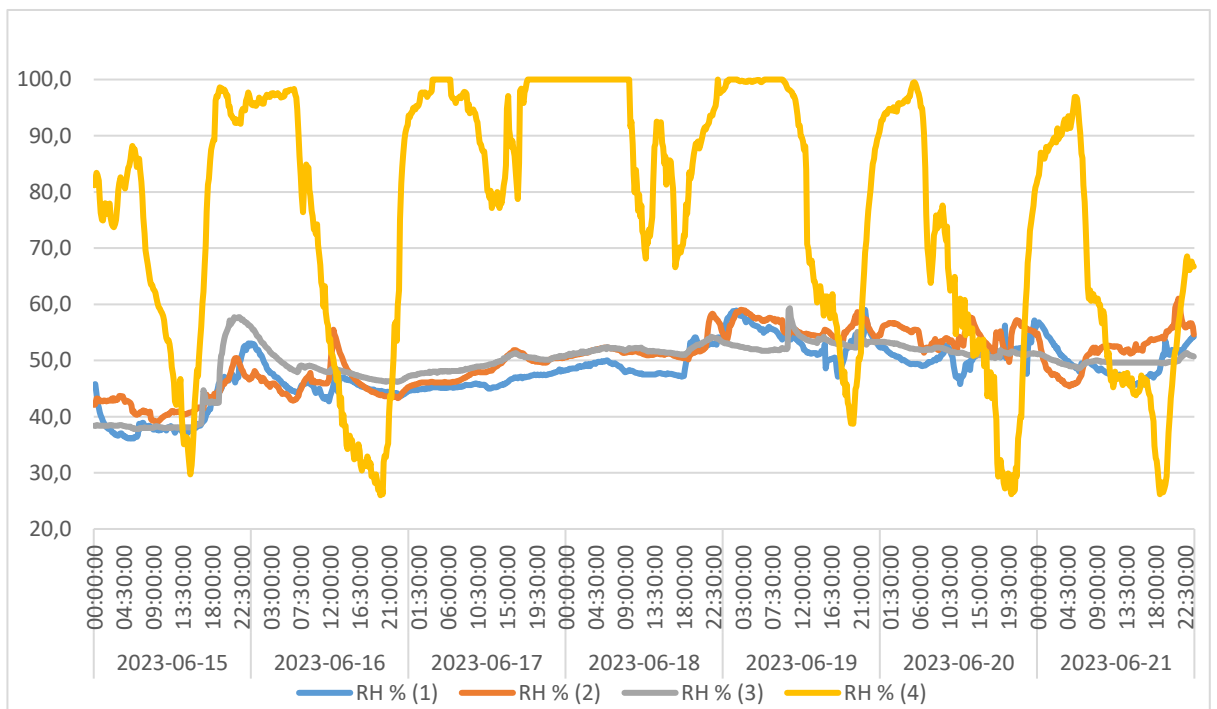
Įvertinus gautus rezultatus toliau pasirinkta nagrinėti karščiausią matavimų metu užfiksuotą savaitę, kurios metu sudaryti temperatūrų, santykinės drėgmės, rasos taško ir CO<sub>2</sub> grafikai. Savaitė, kurios metu pastebėtos didžiausios vidaus ir lauko temperatūros, užfiksuota birželio 15-21 dienomis. Linijinė diagrama pateikta 22 pav. Minėtu laikotarpiu vidutinė lauko temperatūra dienos metu nuo 10:00 val. iki 20:00 val. fiksuota 24,8 °C, o vidutinė naktų temperatūra 15,4 °C vertinant temperatūrą nuo 00:00 val. iki 7:00 val. ryto. Jutiklio Nr. 1 vidutinė patalpų temperatūra nagrinėjant laikotarpį nuo 10:00 iki 20:00 val. 28,5 °C, jutiklio Nr. 2 – 27,6 °C, Nr. 3 – 26,0 °C. Nakties vidutinė temperatūra nagrinėjant laikotarpį nuo 00:00 iki 7:00 val. jutiklio Nr. 1 – 27,1 °C, Nr. 2 – 27,1 °C, Nr. 3 – 25,5 °C.



**22 pav.** Temperatūrų kitimo diagrama karščiausiu vasaros laikotarpiu 06-15/21 d.

Remiantis higienos norma HN 42:2009 šiltuoju metų laikotarpiu vidaus patalpų oro temperatūra negali būti mažesnė kaip 18 °C ir didesnė kaip 28 °C [49]. Atsižvelgiant į gautus duomenis leistina vidaus patalpų temperatūra viršijama svetainėje ir 2 aukšto miegamajame Nr. 1, o kitose patalpose nakties metu jaučiamas diskomfortas.

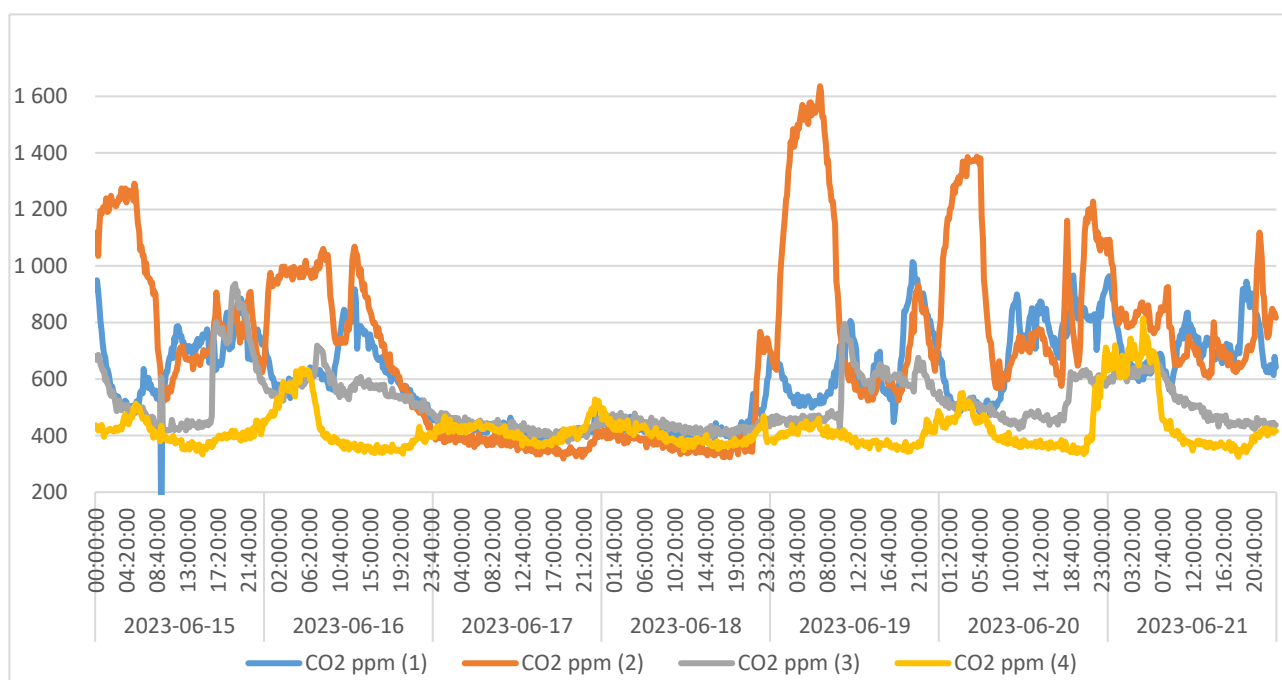
Suvedus santykinės drėgmės rezultatus sudaryta linijinė diagrama pavaizduota 23 pav.



**23 pav.** Santykinės drėgmės kitimo diagrama karščiausią vasaros savaitę 06-15/21 d.

Atsižvelgus į gautus duomenis nagrinėjamu laiko tarpu mažiausia santykinė oro drėgmė užfiksuota 15 dieną 36,1 %, Nr.1 padėtyje, o didžiausia 21 dieną 61 %, Nr. 2 padėtyje. Vidutinės santykinės drėgmės vertės visu savaitės laikotarpiu Nr. 1 padėtyje – 48,1 %, Nr.2 – 50,2 %, Nr. 3 – 49,5 %. Atsižvelgiant į higienos normas HN 42:2009 šiltuoju metų laikotarpiu santykinė oro drėgmė gyvenamosiose patalpose 35-65 % [49]. Karščiausios savaitės metu santykinės oro drėgmės ribinės vertės nėra pažeidžiamos. Tam įtakos gali turėti veikiantis mechaninis vėdinimas.

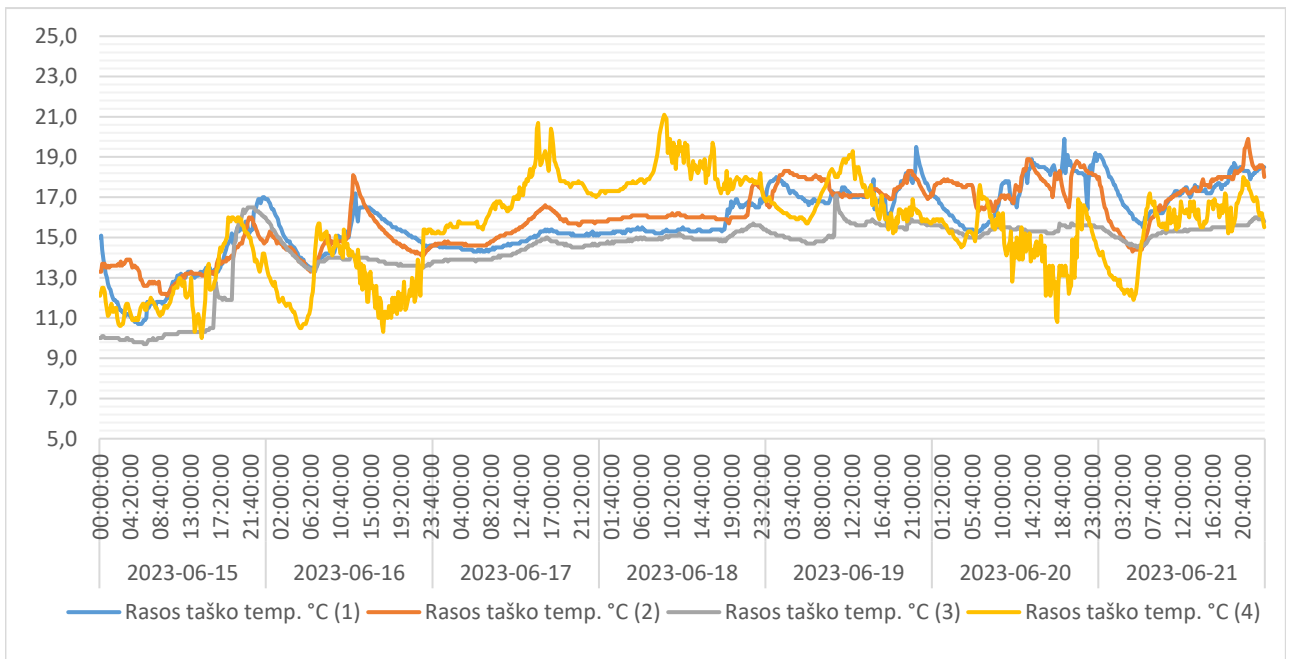
Anglies dioksido kiekis gyvenamosiose patalpose labai svarbus žmonių sveikatai. Atsižvelgiant į gautus duomenis sudaryta nagrinėjamos savaitės linijinė diagrama pavaizduota 24 pav.



24 pav. CO<sub>2</sub> kitimo diagrama karščiausią vasaros savaitę 06-15/21 d.

Matavimų metu nustatyta, kad pastato viduje esantys jutikliai užfiksavo didžiausią PPM vertę 19 dieną, kai ore esančio anglies dioksido kiekis pasiekė 1636 PPM, o mažiausia vertė 17 dieną 319 PPM. Rekomenduojama CO<sub>2</sub> riba gyvenamosios paskirties pastatuose yra 1000 PPM, remiantis statybos techniniu reglamentu STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ negyvenamosios paskirties pastatuose su vėdinimo įrenginiais oro kokybė, kai patalpoje CO<sub>2</sub> kiekis iki 400 PPM atitinka aukštą kokybę, iki 600 PPM vidutinę, iki 800 PPM pakankamą, o iki 1000 PPM žemą oro kokybės lygį [50]. Atsižvelgiant į minėtas ribines vertes nagrinėjamą savaitę, didžiąją laiko dalį padėtyse Nr. 3 ir Nr. 4 užtikrinama vidutinė oro kokybė, Nr. 1 patenka į žemą oro kokybės lygį, o padėtis Nr. 2, kuri yra antrame aukšte, pastoviai naudojamame miegamajame viršija rekomenduojamą PPM ribą nakties metu, kai jame yra 2 suaugę žmonės.

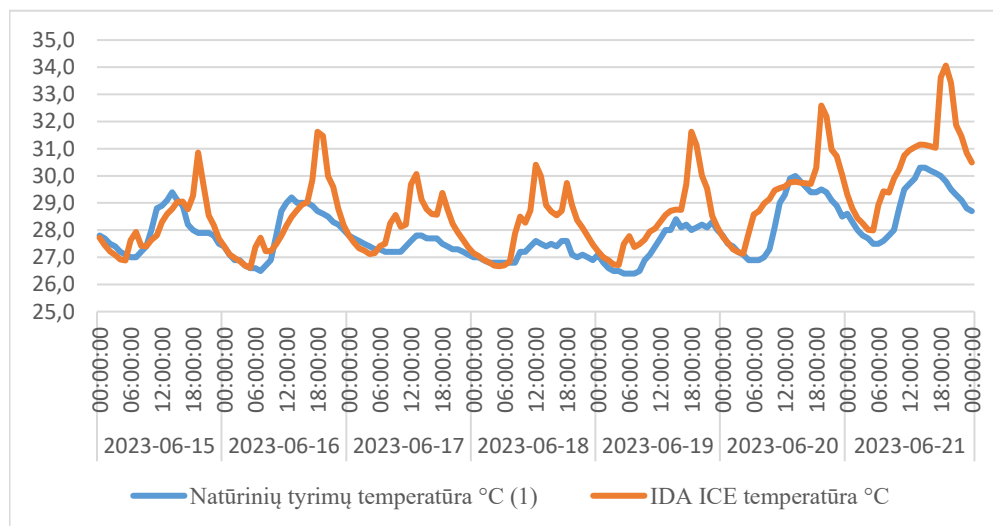
Matavimų metu taip pat nustatyta rasos taško kitimo diagrama pavaizduota 25 pav. Rasos taško temperatūra, tai temperatūra, prie kurios vandens garai esantys ore kondensuojasi į vandenį. Jeigu nustatyta, kad patalpoje rasos taško temperatūra 15 °C ir toje patalpoje yra paviršius artimas tai temperatūrai, vadinasi ant to paviršiaus ims kauptis kondensatas. Šiuo tyrimu nustatyti ar ant viduje esančių paviršių susidarys rasos taškas ar ne galimybių nėra, kadangi nėra išmatuota paviršių temperatūra.



**25 pav.** Rasos taško kitimo diagrama karščiausią vasaros savaitę 06-15/21 d.

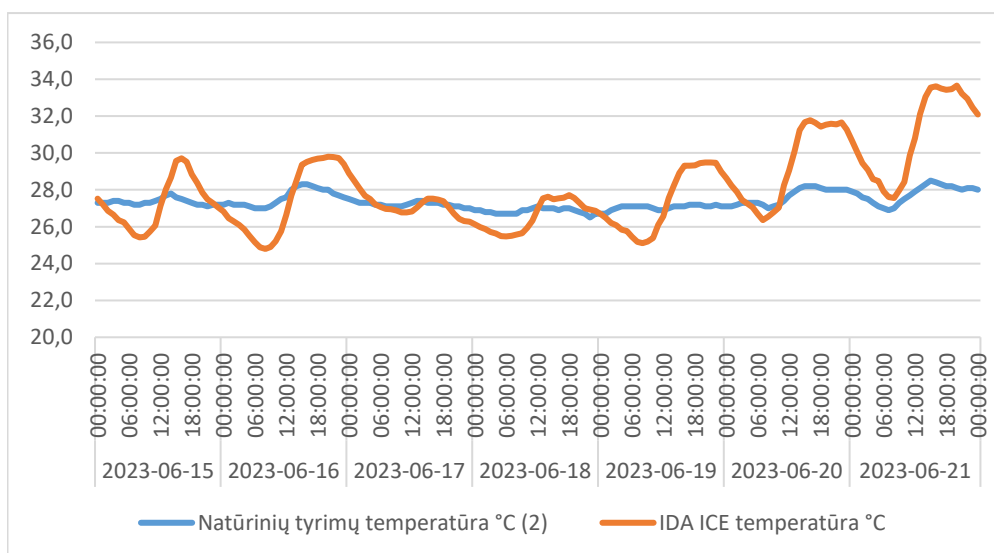
### 3.3. Skaitinio modelio patikimumo vertinimas

Natūrinių tyrimų metu nustatyta, kad karščiausią savaitę tyrimo laikotarpiu yra birželio 15 – 21 dienomis, kai vidutinė dienų temperatūra siekė 24,8 °C, o naktų temperatūra 15,4 °C. Nustatytam laikotarpiui atlikta patalpų, kuriose buvo sudėti matavimo prietaisai, rezultatų koreliacija su IDA ICE modelio gautais rezultatais. Natūrinių tyrimų ir IDA ICE modelio temperatūrų kitimo grafikai padėtyse Nr. 1, Nr. 2 ir Nr. 3 pateikti 26 pav.



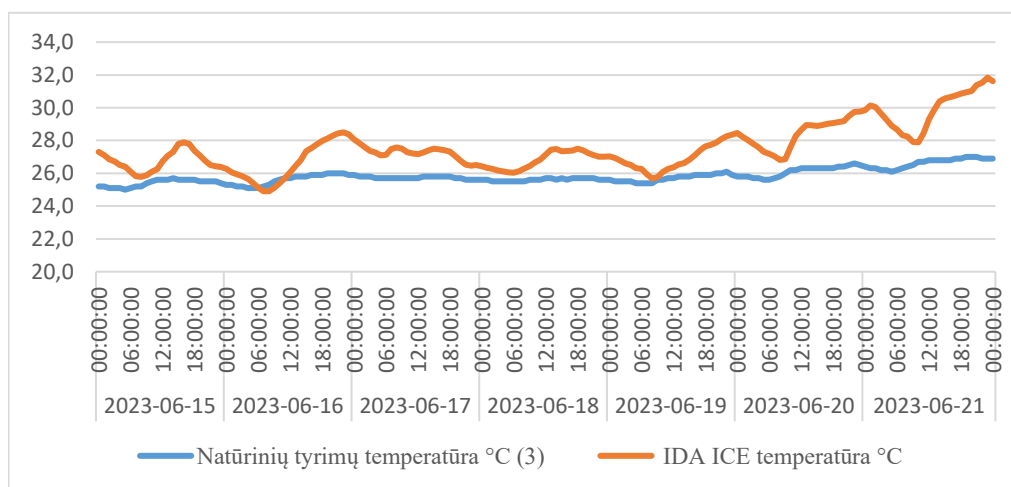
**26 pav.** Koreliacija tarp skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų temperatūrų rezultatų padėtyje Nr. 1, pirmo aukšto svetainėje

Didžioji dalis rezultatų tarp skaitinio ir natūrinio modelio rezultatų pirmo aukšto svetainėje sutampa arba atsikartoja jų kitimas laike. Gauta koreliacijos koeficiento vertė padėtyje Nr. 1 pagal pateiktą linijinę diagramą 0,76.



**27 pav.** Koreliacija tarp skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų temperatūrų rezultatų padėtyje Nr. 2, antro aukšto miegamajame Nr.1

Antro aukšto miegamajame, kuriame kiekvieną naktį miega 2 žmonės, nepaisant didesnio temperatūrų skirtumo tarp natūrinio ir skaitinio modelio rezultatų koreliacijos koeficientas padėtyje Nr. 2 gautas 0,81.



**28 pav.** Koreliacija tarp skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų temperatūrų rezultatų padėtyje Nr. 3, antro aukšto miegamajame Nr.3

Antro aukšto retai naudojamame miegamajame temperatūra taip pat gauta aukštesnė nei natūrinių tyrimų metu gauti rezultatai. Padėtyje Nr. 3 koreliacijos koeficientas gautas 0,9.

Atsižvelgiant į Nr. 1, Nr. 2 ir Nr. 3 padėtyse sudarytas linijines diagramas galima matyti, kad IDA ICE modelyje gaunama aukštesnė patalpų temperatūra dienos metu, nei natūrinių matavimų metu. Taip gali būti dėl to, nes nėra aiškios nagrinėjamo objekto langų savybės, todėl priimtas IDA ICE modelyje A+ energinę klasę atitinkantis langų paketas. Nepaisant aukštesnių temperatūrų koreliacijos koeficientai gauti artimi vienetui, todėl galima teigti, kad sudarytas modelis yra tikslus ir gali būti naudojamas skaitiniams tyrimams atlikti.

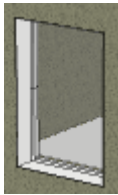
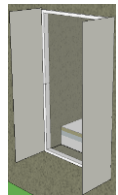
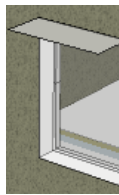
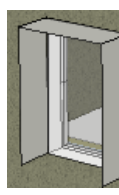

### 3.4. Pasyvaus vėsinimo priemonės ir jų įtaka patalpų temperatūroms

#### 3.4.1. Esamos situacijos vertinimas

Įvertinus, kad sudarytas skaitinis modelis IDA ICE programine įranga yra tikslus ir gali būti naudojamas tolimesniuose tyrimuose, modeliuojamos skirtingos pasyvios vėsinimo priemonės patalpų perkaitimo mažinimui.

Siekiant nustatyti efektyviausią šešėliavimo tipą sudaryti penki skirtingi skaitiniai modeliai ir palyginta vidaus patalpų vidutinė temperatūra. Šešėliavimo priemonės taikytos ant rytuose ir pietuose esančių angų. Šiauriniai langai neliečiami siekiant palaikyti maksimalų šviesos srautą. Pirmuoju atveju sudarytas modelis be šešėliavimo priemonių, antruoju su 40 cm vertikaliomis sienutėmis, trečiuoju su 40 cm stogeliu, ketvirtuoju su 40 cm vertikaliomis sienutėmis ir stogeliu, penktuoju su 40 cm vertikaliomis sienutėmis išdėliotomis kas 660 mm ant didesnių kaip 900 mm langų. Skaičiuotų patalpų perkaitimo rezultatai nagrinėjamai savaitei pateikti 7 lentelėje.

**7 lentelė.** Skirtingų pasyvių šešėliavimo priemonių aplink langus rezultatų suvestinė lentelė

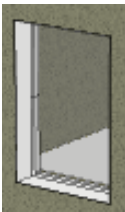
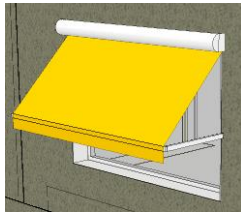


Aukštas	Zona					
		1	2	3	4	5
		Be šešėliavimo priemonių	Su 40 cm. vertikal. sienutėmis	Su 40 cm stogeliu	Su stogeliu ir vert. Sienutėmis 40 cm	Su 40 cm vertikalėmis 66 cm žingsniu ant did. langų
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	26,76	26,23	26,31	25,78	25,99
	Vonia	27,16	26,78	26,64	26,24	26,3
	Prieškambaris	25,29	24,97	24,83	24,50	24,6
	Svetainė	28,69	28,18	27,98	27,45	27,46
2A	Vonia	28,03	27,47	27,31	26,73	27,37
	Koridorius su laiptine	28,44	28,02	27,90	27,47	28,04
	Miegamasis (1)	27,99	27,53	27,06	26,60	27,62
	Miegamasis (2)	28,08	27,51	27,53	26,95	27,71
	Miegamasis (3)	27,57	27,07	27,17	26,66	27,29

Pagal gautus pirminius rezultatus galima matyti, kad šiuo metu efektyviausia vėsinimo priemonė yra 40 cm vertikaliomis sienutėmis su stogeliu. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad langai su vertikaliomis juostomis išdėliotomis žingsniu 660 mm ant didesnių kaip 900 mm langų yra labiau atveriami tiesioginei saulės spinduliutei nei langai su juostomis ir stogeliais. Mažesni langai turi tik po 2 juostas iš kraštų, taip pat nesumažindami saulės pritekėjimo ploto. Stogelio įrengimas virš langų kartu su juostomis iš šonų leidžia sudaryti didesnius šešėlių plotus mažinant saulės spinduliuotės pritekėjimus per langus.



Langų šešėliavimui gali būti naudojamos ir išmaniosios langų šešėliavimo priemonės. Kiek mažiau Lietuvoje paplitusi priemonė tai markizės. Ši priemonė neturi itin gero estetinio vaizdo, tačiau gali efektyviai apsaugoti langus. Vis gi yra jautri didelio vėjo poveikiui, todėl esant vėjuotoms dienoms praranda paskirtį. Kita automatinio šešėliavimo priemonė, kuri vis labiau populiarėja naujos statybos gyvenamuosiuose pastatuose tai automatinės žaliuzės. Tokios šešėliavimo priemonės gali būti reguliuojamos mechaniškai, automatinio būdu, kai yra sensoriai reaguojantys į saulę, vėją, bei automatinio būdu kai nustatomas laikas kada žaliuzės ar markizės išsiskleidžia ar susitraukia. Modeliuojamame pastate minėtų šešėliavimo priemonių efektyvumas pateiktas 8 lentelėje.

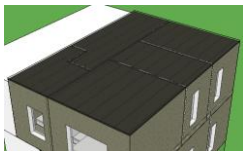

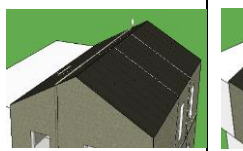

**8 lentelė.** Išmanių šešėliavimo priemonių rezultatų lentelė

Aukštas	Zona				
		1	2	3	4
		Be šešėliavimo priemonių	Markizės	Išorinės žaliuzės	Vidinės žaliuzės
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	26,76	25,38	24,58	25,96
	Vonia	27,16	25,66	24,75	26,29
	Prieškambaris	25,29	24,03	23,25	24,50
	Svetainė	28,69	26,63	25,38	27,54
2A	Vonia	28,03	26,34	25,15	27,00
	Koridorius su laiptine	28,44	27,03	26,16	27,64
	Miegamasis (1)	27,99	25,97	24,80	26,86
	Miegamasis (2)	28,08	26,51	25,58	27,19
	Miegamasis (3)	27,57	26,36	25,65	26,89

Įvertinus skirtingas automatinio šešėliavimo priemones galima matyti, kad pranašiausias yra išorinės žaliuzės, kurios sumažina vidutinę patalpų temperatūrą karščiausios savaitės laikotarpiu patalpose 2-3 °C. Lyginant su 7 lentelėje pateiktomis pasyviomis šešėliavimo priemonėmis išmanios lauko žaliuzės yra 1-1,5 °C pranašesnės patalpų perkaitimo atžvilgiu.

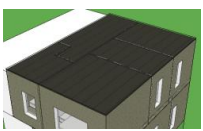
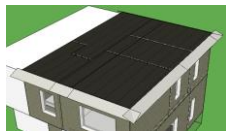
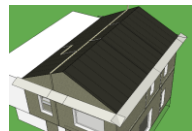
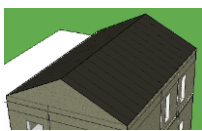
Kitas būdas kaip sumažinti patalpose susidarančią temperatūrą tai stogo tipo keitimas. Remiantis nagrinėta literatūra pastatuose su šlaitiniais stogais vyrauja žemesnė patalpų temperatūra. Stogo konfigūracijos įtaka patalpų temperatūrai pateikta 9 lentelėje.

**9 lentelė.** Skirtingų stogų tipų rezultatų suvestinė lentelė

Aukš-tas	Zona				
		1	2	3	4
		Sutapdintas stogas	Keturšlaitis stogas	Dvišlaitis stogas orientuotas į rytus ir vakarus	Dvišlaitis stogas orientuotas į pietus ir šiaurę
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	26,76	26,73	26,71	26,72
	Vonia	27,16	27,12	27,10	27,10
	Prieškambaris	25,29	25,25	25,23	25,23
	Svetainė	28,69	28,65	28,64	28,64
2A	Vonia	28,03	27,96	27,86	27,84
	Koridorius su laiptine	28,44	28,35	28,26	28,23
	Miegamasis (1)	27,99	27,94	27,82	27,89
	Miegamasis (2)	28,08	27,97	27,91	27,86
	Miegamasis (3)	27,57	27,54	27,42	27,48

Įvertinus keturis stogų tipus nustatyta, kad patalpų perkaitimo prasme efektyviausias stogo tipas yra dvišlaitis. Šlaitų orientacija šiuo atveju didelės įtakos nedaro, tačiau efektyvesnė šlaitų pusė yra orientuota į rytus ir vakarus. Rezultatai gauti panašūs dėl nelygių šlaitų plotų skirtingose orientacijose. Visgi stogų užlaidos taip pat gali turėti įtakos patalpų perkaitimui. 50 cm pločio stogų užlaidų efektyvumas dvišlaičiam ir sutapdintam stogų tipams pateiktas 10 lentelėje.

**10 lentelė.** Stogų su 50 cm užlaidomis ir nevėdinama pastoge efektyvumas

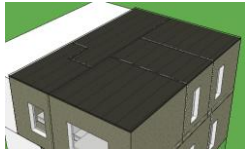
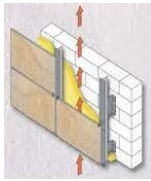
Aukštas	Zona				
		1	2	3	4
		Sutapdintas stogas	Sutapdintas stogas su užlaidomis	Dvišlaitis stogas su užlaidomis	Dvišlaitis su nevėdinama pastoge
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	26,76	26,68	26,64	26,32
	Vonia	27,16	27,07	27,02	26,91
	Prieškambaris	25,29	25,18	25,12	24,84
	Svetainė	28,69	28,59	28,55	28,00
2A	Vonia	28,03	27,58	27,43	26,67
	Koridorius su laiptine	28,44	28,18	28,01	27,07

	Miegamasis (1)	27,99	27,47	27,34	26,57
	Miegamasis (2)	28,08	27,89	27,72	26,43
	Miegamasis (3)	27,57	27,3	27,17	26,30

IDA ICE programine įranga dvišlaičiams stogams įrengti užlaidas pagal stogo pasvirimo kampą nėra galimybės, todėl užlaida sumodeliuota vienodame aukštyje kaip rytiniame fasade. Pagal gautus rezultatus 10 lentelėje galima matyti, kad užlaidų įrengimas sutapdintiems stogams padeda sumažinti vidaus patalpų temperatūrą vidutiniškai 0,23 °C, o šlaitiniam 0,33 °C lyginant su pirminiu modeliu. Nevėdinamos pastogės įrengimas padeda sumažinti patalpų temperatūrą vidutiniškai 1 °C.

Siekiant sumažinti šilumos pritekėjimus į vidaus patalpas taip pat gali būti taikomos ir kitokio tipo priemonės, nesusijusios su šešėlių plotais. Tokiomis priemonėmis gali būti stiklų paketų įrengimas, kurie pasižymi aukštu saulės spinduliuotės atspindėjimu, bei mažu šiluminiu laidumu. Taip pat vėdinamo fasado įrengimas. Modeliavimo rezultatai pateikti 11 lentelėje.

**11 lentelė.** Kitos vėsinimo priemonės

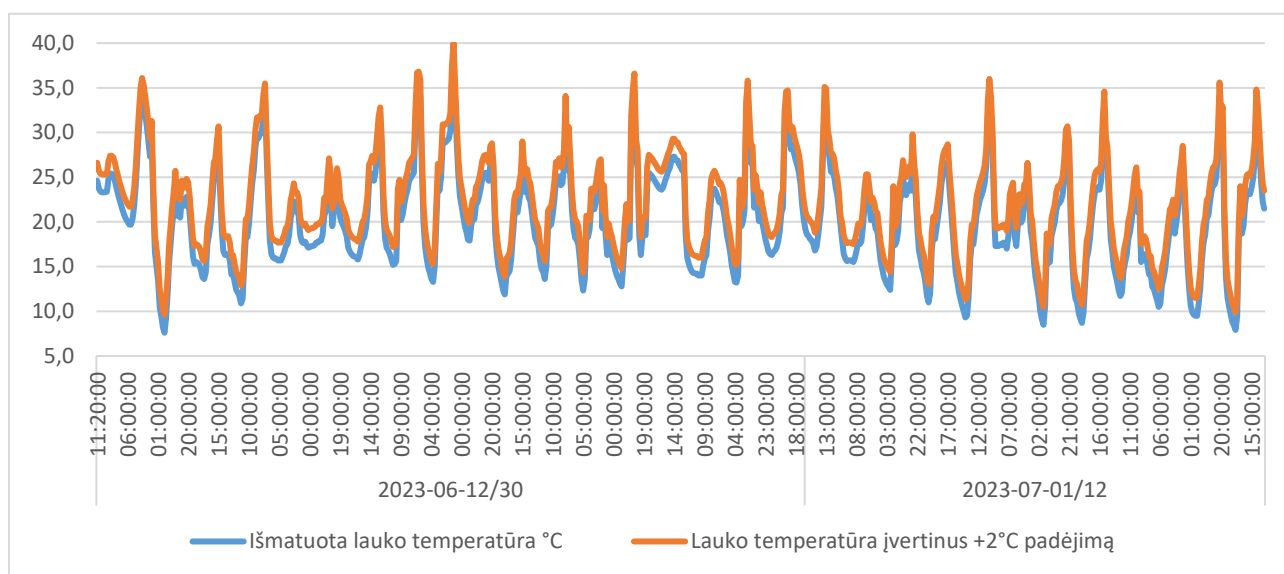
Aukštas	Zona		Stiklų paketai „6 planibel II“ [51]	
		1	2	3
		Pirminis modelis	Aukštos klasės stiklų paketai	Vėdinamas fasadas
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	26,76	24,99	26,37
	Vonia	27,16	25,36	26,70
	Prieškambaris	25,29	23,98	24,75
	Svetainė	28,69	26,69	28,38
2A	Vonia	28,03	26,23	27,49
	Koridorius su laiptine	28,44	26,80	27,98
	Miegamasis (1)	27,99	26,18	27,61
	Miegamasis (2)	28,08	26,42	27,76
	Miegamasis (3)	27,57	25,98	27,17

Stiklų paketai parinkti 2 kamerų su 0,29 % saulės energijos dalimi patenkančia į patalą, 0,34 % matomos šviesos laidumu, 8 % saulės šiluminės energijos laidumu ir 0,8 W/m<sup>2</sup>\*K šiluminiu laidumu [51]. Modeliuojant vėdinamą fasadą parinktas 50 mm oro tarpas ir šviesiai pilkos fibrocementės fasado plokštės. Atsižvelgiant į gautus rezultatus galima matyti, kad mažesnio šaulės spinduliuotės pralaidumo langai sumažina šilumos pritekėjimus į patalpas vidutiniškai 1,7 °C, o vėdinamo fasado įrengimas vidutiniškai 0,4 °C.

### 3.4.2. Ateities klimato scenarijus

Atlikus literatūros apžvalgą buvo nustatyta, kad iki 2050 metų vidutinė vasaros temperatūra turėtų pakilti 1,7 °C, rudens apie 1,8 – 2,0 °C [22]. Siekiant nustatyti kokį poveikį tai gali turėti gyvenamiesiems pastatams be mechaninio vėsinimo įrenginių, panaudotas sudarytas IDA ICE modelis.

Temperatūros padidėjimas vertinamas mėnesio laikotarpiui pradedant nuo natūrinių matavimų pradžios birželio 12 dieną ir baigiant liepos 12 dieną. Išmatuotos lauko temperatūros vertės padidinamos 2 °C visu minėtu laiko periodu, tokiu būdu sudarant du laiko periodus, kai tris ar daugiau naktų iš eilės lauko temperatūra nenusileidžia žemiau 17 °C. Temperatūrų išsidėstymas pateiktas 29 pav.

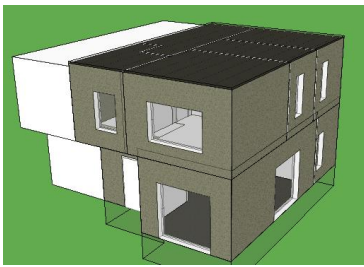


29 pav. Temperatūrų kitimo diagrama 06-12 – 07-12 laikotarpiu

Pateiktoje diagramoje 29 pav. įvertinus +2 °C padidėjimą pirmasis laiko periodas, kurio metu nakties temperatūra nenusileidžia žemiau 18 °C fiksuojamas birželio 17 – 19 dienomis, o žemiau 17 – birželio 20 dieną. Antras laiko tarpas, kai žemiausia nakties temperatūra buvo 17 °C, tai birželio 30 – liepos 2 dienos. Tokie laiko tarpai, kai nakties temperatūra laikosi artima 20 °C keletą dienų iš eilės, o dienos temperatūra pakyla aukščiau nei 20 °C, patalpose gali sukelti diskomfortą keliančią ir sveikatai pavojingą temperatūrą.

Siekiant nustatyti, kaip skirtinga lauko temperatūra veikia nagrinėjamo pastato patalpų temperatūrą, atliekami skaitiniai modeliavimai 29 pav. pateikto laikotarpio temperatūromis. Birželio 12 d. ir liepos 12 d. laikotarpio natūrinių tyrimų metu nustatytos, – bei +2 °C padidėjusios temperatūros poveikis modeliuoto kotedžo vidaus patalpoms pateiktas 12 lentelėje.

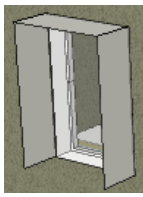

**12 lentelė.** Natūrinių tyrimų, bei +2 °C padidintų temperatūrų poveikis vidaus patalpoms birželio 12 d. – liepos 12 d. laikotarpiu

Aukštas	Zona		
		Natūrinių tyrimų metu išmatuotos temperatūros poveikis patalpoms	+2 °C padidintos lauko temperatūros poveikis vidaus patalpoms
		Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	27,53	29,78
	Vonia	28,24	29,49
	Prieškambaris	25,79	27,16
	Svetainė	28,73	29,88
2A	Vonia	28,49	29,85
	Koridorius su laiptine	28,96	30,17
	Miegamasis (1)	27,88	29,24
	Miegamasis (2)	27,91	29,19
	Miegamasis (3)	28,06	29,36

Pagal ateities klimato scenarijaus skaitinio modelio rezultatus galima matyti, kad esant +2 °C lauko temperatūros priaugiai patalpų temperatūra padidėja 1 – 1,5 °C. Visose patalpose susidaro diskomfortą kelianti ir sveikatai kenkianti temperatūra, todėl būtina numatyti vėsinimo priemones.

Pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas birželio 12 d. – liepos 12 d. laikotarpiui nustatomas nagrinėjant 7 ir 8 lentelėse pateiktas efektyviausias priemones. Iš 7 lentelės efektyviausia priemonė parenkama 40 cm pločio stogelis su vertikaliomis sienutėmis, o iš 8 lentelės į saulės šviesą reaguojančios išorinės žaliuzės. Šešėliavimo priemonių efektyvumas lyginant natūrinius tyrimus su ateities klimato scenarijumi pateiktas 13 lentelėje.

**13 lentelė.** Pasyvių šešėliavimo priemonių efektyvumas vertinant ateities scenarijų

Aukštas	Zona				
		Natūrinių tyrimų metu nustatyta temperatūra		+2 °C padidinta temperatūra vertinant ateities scenarijų	
		40 cm pločio stogelis su vertikaliomis sienutėmis	Išorinės žaliuzės	40 cm pločio stogelis su vertikaliomis sienutėmis	Išorinės žaliuzės

		1	2	1	2
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	26,78	26,12	28,08	27,43
	Vonia	27,49	26,48	28,78	27,80
	Prieškambaris	25,12	24,23	26,52	25,64
	Svetainė	27,7	26,31	28,92	27,54
2A	Vonia	27,34	26,11	28,77	27,58
	Koridorius su laiptine	28,17	27,3	29,46	28,64
	Miegamasis (1)	26,64	25,19	28,04	26,59
	Miegamasis (2)	27,01	26,21	28,36	27,57
	Miegamasis (3)	27,38	26,89	28,74	28,25

Atsižvelgiant į gautus rezultatus galima matyti, kad vertikaliuos sienutės su stogeliu tampa neefektyvios lauko temperatūrai padidėjus 2 °C. Visose patalpose vidutinės laikotarpio temperatūra pakyla apie 1,5 °C ir viršija higienos normoje HN 42:2009 numatytą leistiną temperatūrą – 28 °C šiltuoju metų laiku [49]. Įrengus išorines žaliuzes, kai lauko temperatūra padidėja +2 °C, vidutinė patalpų temperatūra padidėja 1,35 °C. Antro aukšto dažnai naudojamame miegamajame ir koridoriuje padidėjusi temperatūra viršija 28 °C, todėl net ir įrengus išmaniąsias šešėliavimo priemones, privalu numatyti papildomas priemones. Siekiant sumažinti patalpų temperatūrą, modeliui pritaikytos 11 lentelėje nagrinėtos vėsinimo priemonės. Gauti naujo modelio rezultatai pateikti 14 lentelėje.

**14 lentelė.** Patalpų perkaitimo požiūriu efektyviausių modelių palyginimas vertinant ateities scenarijų

Aukštas	Zona	Pirminis modelis			Ateities klimato scenarijus +2 °C		
		Aukštos klasės stiklų paketai, vėdinamas oro tarpas ir išorinės žaliuzės	Aukštos klasės stiklų paketai su pastoge ir išorinėmis žaliuzėmis	Aukštos klasės stiklų paketai ir išorinės žaliuzės	Aukštos klasės stiklų paketai, vėdinamas oro tarpas ir išorinės žaliuzės	Aukštos klasės stiklų paketai su pastoge ir išorinėmis žaliuzėmis	Aukštos klasės stiklų paketai ir išorinės žaliuzės
		1	2	3	1	2	3
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	24,04	23,85	24,24	25,30	25,09	25,57
	Vonia	24,37	24,16	24,65	25,65	25,52	26,01
	Prieškambaris	23,27	23,09	23,56	24,62	24,41	24,99
	Svetainė	25,05	24,85	25,22	26,28	26,05	26,49
2A	Vonia	24,61	23,90	24,91	26,06	25,18	26,45
	Koridorius su laiptine	25,46	24,65	25,72	26,84	25,88	27,17
	Miegamasis (1)	24,23	23,63	24,38	25,58	24,85	25,80
	Miegamasis (2)	24,96	24,23	25,12	26,30	25,43	26,51
	Miegamasis (3)	24,81	24,13	25,02	26,18	25,36	26,46

Pastate pakeitus langus į 2 kamerų su 0,29 % saulės energijos laidumu, 0,34 % matomos šviesos laidumu, 8 % saulės šiluminės energijos laidumu ir 0,8 W/m<sup>2</sup>\*K šiluminiu laidumu ir įrengus visuose languose išorines žaliuzes reaguojančias į saulės šviesą galima išgauti pastato modelį, kuris atsižvelgiant į ateities klimato scenarijų (iki 2050 metų) tenkina higienos normoje HN 42:2009 numatytą leistiną vidaus patalpų temperatūrą – 28 °C [49]. Pakeitus fasado tipą į vėdinamą galima patalpų vidutinę temperatūrą sumažinti 0,3 °C, tačiau šiuo atveju ekonominiu požiūriu tai nebūtų naudingas sprendimas. Įrengiant nevėdinamą pastogę patalpų temperatūra efektyviausiai sumažinama antrame aukšte esančiose patalpose. Tai efektyvus ir rekomenduotinas pastatų projektavimo sprendimas atsižvelgiant į gautus rezultatus.

Patalpų perkaitimo atžvilgiu radus efektyviausią pastato tipą patikrinama ar atsižvelgiant į ateities klimato scenarijų nebus viršijamas leistinas CO<sub>2</sub> kiekis patalpose. Pirminio modelio ir ateities klimato scenarijaus su efektyviausiu pastato modeliu PPM vertės pateiktos 15 lentelėje. Prieškambaryje CO<sub>2</sub> kiekis nevertinamas, kadangi tai retai ir trumpai naudojama patalpa, kuri nesudaro įtakos žmonių sveikatai.

**15 lentelė.** Pirminio ir pagal ateities klimato scenarijų sudaryto modelio CO<sub>2</sub> kiekis patalpose

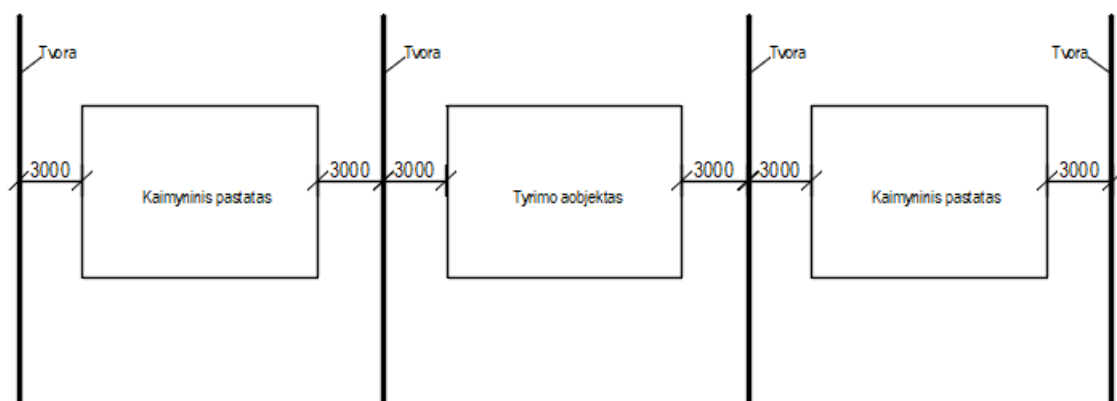
Aukštas	Zona	Natūrinių tyrimų metu išmatuota temperatūra	Ateities klimato scenarijus +2 °C
		1	2
		Pirminis modelis	Aukštos klasės stiklų paketai, vėdinamas oro tarpas ir išorinės žaliuzės
		CO <sub>2</sub> , PPM	CO <sub>2</sub> , PPM
1A	Darbo kambarys	670,1	670,9
	Vonia	594,6	595,4
	Svetainė	572,5	574,3
2A	Vonia	742,1	741,5
	Koridorius su laiptine	723,0	724,0
	Miegamasis (1)	535,5	536,2
	Miegamasis (2)	671,0	672,3
	Miegamasis (3)	625,8	626,9

Pagal gautus rezultatus 15 lentelėje galima matyti, kad CO<sub>2</sub> koncentracija sudaryto modelio patalpose nebus viršijama ir beveik nepakis nuo pirminio modelio rezultatų. Tam įtakos turi veikiantis mechaninis vėdinimas patalpose.

### *Aplinkos veiksnių įtaka patalpų perkaitimui*

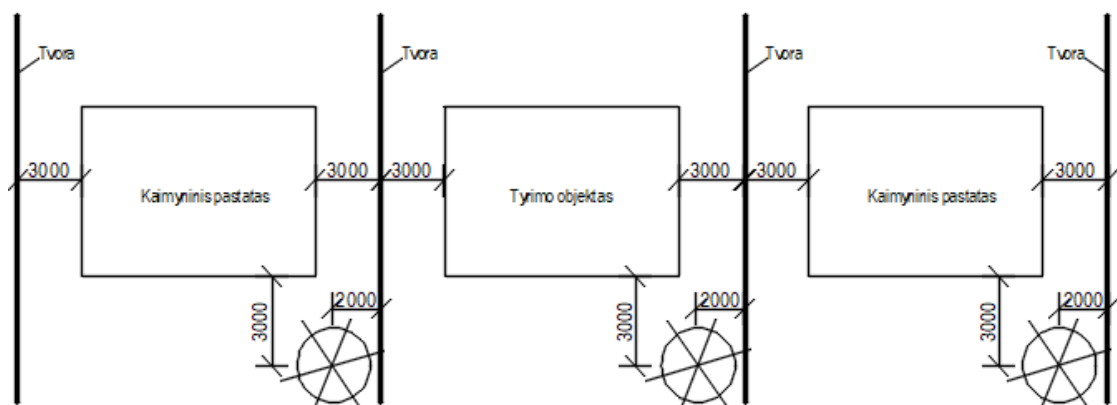
Patalpų perkaitimui įtakos turi ir aplinkoje esantys objektai. Nuo pastatų ar medžių susidarantys šešėliai gali sumažinti į patalpas pritekančios šilumos kiekį. Siekiant įvertinti aplinkos veiksnių įtaką palygintos atviroje vietovėje esančio pastato patalpų temperatūros su pastatais apstatyta

aplinka. Pastatų gabaritai parinkti analogiški sudarytam skaitiniam modeliui, taip pat įterpta sklypus atskirianti medinė tvora. 2D planą galima matyti 30 pav.



30 pav. 2D aplinkoje esančių objektų planas

Trečiu atveju įterpta sklypuose po 1 medį ir patikrinta kokią įtaką jų atsiradimas turi patalpose susidarantioms temperatūroms.



31 pav. 2D aplinkoje esančių objektų planas su įterptais medžiais

Tyrimų laikotarpiu pasirinktas mėnesio laikotarpis nuo birželio 12 d. iki liepos 12 d. Įvertintas esamos situacijos ir ateities klimato scenarijus, kai vidutinė aplinkos temperatūra pakyla 2 °C. Rezultatai pateikti 16 lentelėje.

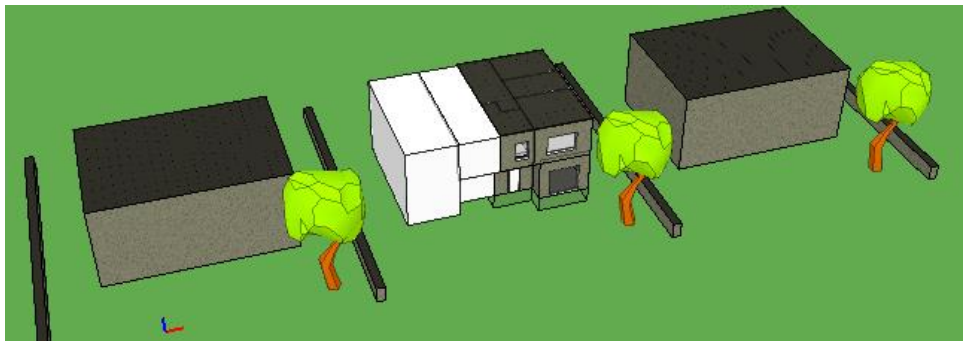
16 lentelė. Aplinkoje esančių objektų įtaka patalpų temperatūrai

Aukštas	Zona	Pirminis modelis			Ateities klimato scenarijus +2 °C		
		Atvirame lauke esantis pastatas	Aplinkoje yra kiti pastatai ir tvora	Aplinkoje yra pastatai, tvora ir medžiai	Atvirame lauke esantis pastatas	Aplinkoje yra kiti pastatai ir tvora	Aplinkoje yra pastatai, tvora ir medžiai
		1	2	3	1	2	3
		Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C
1A	Darbo kambarys	27,53	26,99	26,85	29,78	28,23	28,10



	Vonia	28,24	27,84	27,56	29,49	29,07	28,81
	Prieškambaris	25,79	25,51	25,26	27,16	26,86	26,63
	Svetainė	28,73	28,11	27,71	29,88	29,25	28,87
<b>2A</b>	Vonia	28,49	28,28	27,99	29,85	29,64	29,36
	Koridorius su laiptine	28,96	28,66	28,43	30,17	29,87	29,66
	Miegamasis (1)	27,88	27,58	27,10	29,24	28,90	28,44
	Miegamasis (2)	27,91	27,49	27,28	29,19	28,75	28,57
	Miegamasis (3)	28,06	27,69	27,59	29,36	28,98	28,89

Atsižvelgiant į gautus rezultatus galima pastebėti, kad tiek pirminiame modelyje tiek ateities klimato scenarijaus atveju aplinkoje atsirandančių objektų įtaka patalpų temperatūroms kinta tolygiai. Kai aplinkoje 6 m atstumu yra kiti pastatai ir rytų ir vakarų pusės, patalpų temperatūra sumažėja vidutiniškai 0,5 °C. Į modelį įterpus daugiau medžių atitolusių nuo pastato vienodu atstumu patalpų temperatūrą galima sumažinti dar iki 0,5 °C. Sudaryto 3 varianto modelio 3D vaizdą galima matyti 32 pav.



**32 pav.** Modelio su pastatais, tvora ir medžiais 3D vaizdas

Dėl ribotų IDA ICE programinės įrangos galimybių įterpti kitokių medžių ar objektų nėra galimybės, tačiau pagal gautus pirminius rezultatus galima matyti, kad aplinkos veiksniai turi įtakos į patalpas pritekančios šilumos kiekiui.

### **3.5. Ekonominio vertinimo rezultatai**

Numatant vėsinimo priemonės svarbu įvertinti jų teikiamą naudą energijos poreikiams vėsinimui. Modeliuotų vėsinimo priemonių nauda vidutinėms patalpų temperatūroms lygiagrečiai sumažina ir energijos poreikius, todėl sudaryta tik pagrindinių modelių energijos poreikio vėsinimui lentelė, vertinant birželio mėnesį. Energijos poreikio vertinimas atliktas naudojantis IDA ICE programiniu paketu. Vertinant energijos sąnaudas skaičiuota energijos suvartojimo simuliacija pagal programos parinktus temperatūrų parametrus įvertinus, kad pastato patalpose veikia idealus vėsinimas, kurio metu patalpos neįkaista aukščiau 25 °C ribos. Suvartotos energijos kiekiai skirtingais modeliavimo atvejais pateikti 17 ir 18 lentelėse.

**17 lentelė.** Langų šešėliavimo priemonių įtaka vėsinimo energijos poreikiams birželio mėnesį.

Vidutinės energijos sąnaudos vėsinimui birželio mėn.	Vidutinės energijos sąnaudos vėsinimui birželio mėn.			
	Be šešėliavimo priemonių	40 cm pločio stogelis ir vertikalios sienutės	Išorinės žaliuzės	Su saulei atspariais stiklų paketais (selektyviniais)
	1	2	3	4
	kWh	kWh	kWh	kWh
Pirminis modelis	259,9	229,8	104,3	126,3
Ateities klimato scenarijus +2 °C	405,4	310,9	219,8	251,2
Skirtumas	+145,5	+81,1	+115,5	+124,9

**18 lentelė.** Kitų vėsinimo priemonių įtaka vėsinimo energijos sąnaudoms birželio mėnesį

Vidutinės energijos sąnaudos vėsinimui birželio mėn.	Vidutinės energijos sąnaudos vėsinimui birželio mėn.			
	Pirminis modelis	Stogas su nevėdinama pastoge	Aplinkoje yra pastatai, tvora ir medžiai	Pastatas išorinėmis žaliuzėmis ir selektyviniais langais
	1	2	3	7
	kWh	kWh	kWh	kWh
Pirminis modelis	259,9	218,6	190,1	27,1
Ateities klimato scenarijus +2 °C	405,4	363,2	321,5	129,6
Skirtumas	+145,5	+144,6	+131,4	+102,5

Įvertinus pastato energijos sąnaudas vėsinimui birželio mėnesiui nustatyta, kad esant pastatui be vėsinimo priemonių pagal ateities klimato scenarijų energijos sąnaudos patalpų vėsinimui padidėja 145,5 kWh. Įrengus šešėliavimo priemones ar keičiant stogo tipą energijos sąnaudos sumažėja analogiškai patalpų temperatūroms. Bendru atveju įrengus vienetines vėsinimo priemones energijos sąnaudas vėsinimui galima sumažinti 0,5-2,5 karto, o ateities klimato scenarijaus atžvilgiu 0,5-1,5 karto. Įrengus selektyvinius, saulės spinduliuotei nepralaidžius stiklų paketus ir išorines žaliuzes, kurios reaguoja į saulės šviesą energijos sąnaudas galima sumažinti 9 kartus šių dienų klimatui ir 3 kartus ateities klimato scenarijaus atveju.

Siekiant nustatyti kiek ekonominiu požiūriu kiekvienu atveju sutaupoma lėšų, sudaryta 19 lentelė.

**19 lentelė.** Ekonominis skirtingų šešėliavimo priemonių palyginimas vertinant sutaupomas lėšas vėsinimui birželio mėnesį.

Pastato modelis	Pirminis modelis be šešėliavimo priemonių		Ateities klimato scenarijus +2 °C be šešėliavimo priemonių	
	1	2	1	2
	(Eur)	(%)	(Eur)	(%)

	$(X_0 - Y_{0n}) \cdot 0,227$ kWh) · 0,227 Eur	$\frac{(Y_{0n} \cdot 100)}{X_0}$ - 100	$(X_1 - Y_{1n} \text{ kWh})$ · 0,227 Eur	$\frac{(Y_{1n} \cdot 100)}{X_1}$ - 100
40 cm pločio stogelis ir vertikalios sienutės	6.83	12	21.45	23
Išorinės žaliuzės	35.32	60	42.13	46
Su saulei atspariais stiklų paketais (selektyviniais)	30.33	51	35.00	38
Stogas su nevėdinama pastoge	9.38	16	9.58	10
Aplinkoje yra pastatai, tvora ir medžiai	15.84	27	19.04	21
Pastatas su išorinėmis žaliuzėmis ir selektyviniais langais	52.85	90	62.61	68

Nustatytos pastato modelio energijos sąnaudos vėsinimui (X, Y) pateiktos 17, 18 lentelėse.

Atsižvelgiant į gautus rezultatus galima pastebėti, kad vertinant šių dienų klimatą tinkamas šešėliavimo priemonių pritaikymas gali padėti sutaupyti išlaidas patalpų vėsinimui iki 53 Eur. birželio mėnesiui, o ateities klimato scenarijaus atveju iki 63 Eur. Didžiausias sutaupymas pastebimas įrengus išorines žaliuzes, saulei atsparius selektyvinius stiklų paketus ar šių priemonių derinį. Pastato su išorinėmis žaliuzėmis ir selektyviniais langais atveju energijos sąnaudos ir išlaidos vėsinimui sumažinamos 90 % atsižvelgiant į šių dienų klimatą arba 68 % pagal ateities klimato scenarijų, kai užtikrinama ne didesnė kaip 25 °C patalpų temperatūra. Įvertinus sutaupymą procentine išraiška galima pastebėti, kad didėjant aplinkos temperatūrai, sumažėja pasyvių vėsinimo priemonių efektyvumas.

#### 4. Rekomendacijos projektuotojams

Šiame skyriuje pateikiamos rekomendacijos projektuotojams atsižvelgiant į nagrinėtą literatūrą ir tyrimo metu nustatytus rezultatus. Pateikiamas nagrinėto modelio pertvarkymo modelis, kad būtų sumažintos temperatūros patalpose vasaros metu.

Siekiant sumažinti energijos sąnaudas pastatų vėsinimui ir pastatus projektuoti pagal artimiausias ateities tendencijas privalu numatyti tinkamą pastato tipą. Tradicinį fasadą keičiant į dinaminį fasado tipą galima pakeisti pastatų funkcionalumą, patogumą bei efektyvumą. Remiantis Shady Attia straipsniu galima teigti, kad dinaminiai fasadai gali būti skaidomi į keturias grupes: šešėliavimo, chromogenines, aktyvius saulės ir aktyvius vėdinimo [53].



Dinaminis šešėliavimas

Chromogeninis fasadas



Saulėi aktyvūs fasadai

Aktyvaus vėdinimo fasadai

**33 pav.** Dinaminių fasadų tipai [53]

Dinaminis šešėliavimas – priemonės sudarančios šešėlius ir mažinančios saulės spinduliuotės pritekėjimus per įstiklintas fasado dalis. Dažniausiai tai langinės, roletai, žaliuzės, bei kito tipo šešėliavimo priemonės suformuotos ant fasado [53].

Chromogeninis fasadas – įstiklintų paviršių tipas, kai stiklas priklausomai nuo patiriamos įtampos ar galios keičia išvaizdą pasidarydamas daugiau ar mažiau skaidrus. Įstiklinimas gali būti elektrochrominis, skystųjų kristalų arba termochrominis [53].

Saulėi aktyvūs fasadai – tai tiesiogiai su saule kontaktuojantys, dvigubi ir žalieji fasadai. Tokiuose fasaduose gali būti naudojami fotovoltiniai elementai generuojantys saulės energiją, dvigubi fasadai atskiriantys pastato patalpas nuo tiesioginio išorės poveikio, žalieji fasadai arba stogai, bei fazę keičiančios medžiagos, kurios veikiant saulės spinduliuotei šviesėja arba tamsėja [53].

Aktyvaus vėdinimo fasadai – pastato fasado ir/ar vidaus vėdinimas, kai tam pasitelkiami vėdinami fasadai, kai kontroliuojamas oro srautas ertmėje ir/ar langų varstymas kontroliuojant į patalpas patenkantį oro srautą [53].

Atsižvelgiant į nagrinėtą literatūrą ir tyrimo rezultatus galima susidaryti išvadas, kad ne visi projektiniai pastatų spendimai yra pritaikyti vasaros laikotarpiui. Pastatai su dideliais įstiklintais

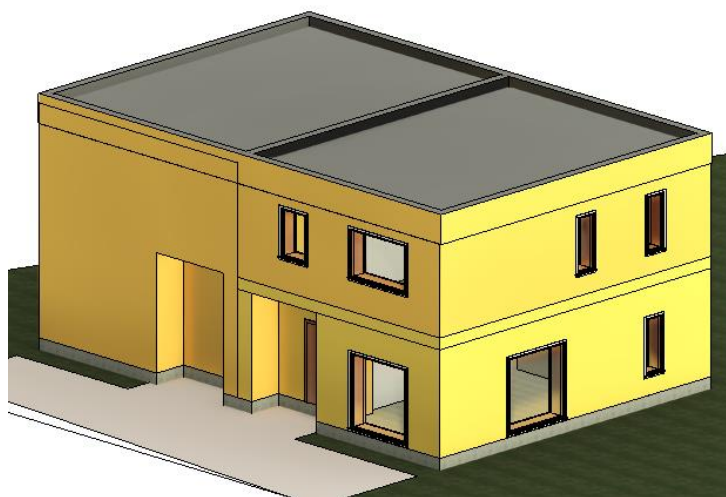
plotais, orientuoti į pietus, be šešėliavimo priemonių, tamsių spalvų ir nepritaikyto kraštovaizdžio patiria aukštesnę riziką patalpų perkaitimui ir didesniai energijos suvartojimui [53].

Tinkamai parinkus ir pritaikius dinaminio fasado tipą galima sumažinti esamų ir naujai projektuojamų pastatų energijos poreikius, bei perkaitimo riziką.

Siekiant sumažinti energijos sąnaudas vėsinimui ir pagerinti vidaus patalpų komfortą rekomenduotina:

1. Neprojektuoti didelių įstiklinimo plotų pietiniuose fasaduose arba numatyti dinamines šešėliavimo priemones apsaugančias nuo tiesioginės saulės spinduliuotės per langus [11], [53].
2. Pastatams numatyti chromogeninius įstiklinimus, arba saulės energijai nepralaidžius stiklų paketus [53].
3. Pastatus projektuoti su vėdinama arba nevėdinama pastoge, tinkamai izoliuojant lubas, tokiu būdu sumažinant gyvenamosiose patalpose susidarančią temperatūrą [54].
4. Numatyti aplinkoje medžių ar kitokio tipo objektų, kurie sukurtų natūralius šešėlius į didžiuosius įstiklinimo plotus [54].
5. Į pastatų fasadus ar stogą integruoti fotovoltinius elementus, sumažinant energijos poreikius pastato gyvavimo ciklo metu [53].
6. Pastatus projektuoti atsižvelgiant į saulės architektūros principus.

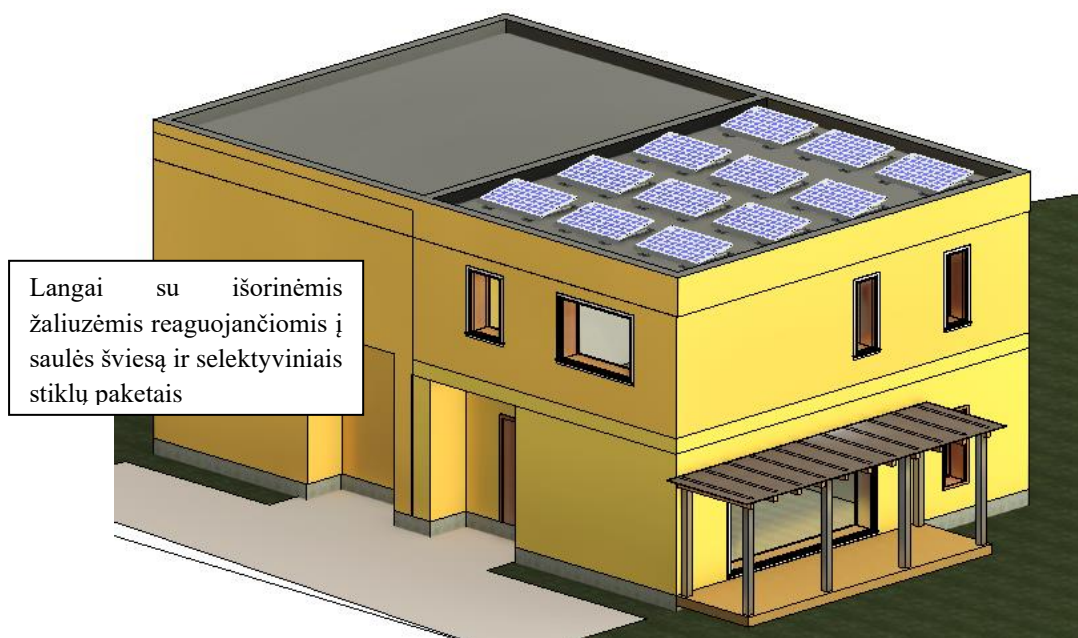
Atsižvelgiant į skaitinių tyrimų rezultatus, natūrinio tyrimo objektui rekomenduotina atlikti keletą pakitimų leidžiančių sumažinti patalpose susidarančią vidutinę temperatūrą vasaros metu. Pirminio modelio vaizdas sudarytas „Revit“ programiniu paketu pavaizduotas 34 pav.



**34 pav.** Pirminis modelis sudarytas „Revit“ programiniu paketu

Siekiant sumažinti patalpų temperatūrą rekomenduotina panaikinti pirmame aukšte pietiniame fasade esantį langą ir išlaikant įstiklinimo plotą padidinti rytiniame fasade esantį langą iki 4 m pločio. Apsaugai nuo tiesioginės saulės spinduliuotės į susidarančią vitriną rekomenduotina įrengti

pastogę. Tokiu būdu išlaikomas įstiklinimo plotas pastate ir sumažinami šilumos pritekėjimai į patalpas. Visi pastate esantys stiklų paketai pakeičiami į selektyvinius paketus su 0,29 % saulės energijos dalimi patenkančia į patalpas, 0,34 % matomos šviesos laidumu, 8 % saulės šiluminės energijos laidumu ir 0,8 W/m<sup>2</sup>\*K šiluminiu laidumu [51]. Siekiant kuo mažesnių šilumos pritekėjimų per langus ant langų taip pat įrengiamos išorinės žaliuzės reaguojančios į saulės šviesą. Pastato modelis pateiktas 35 pav.



**35 pav.** Rekomenduotinas pastato modelis siekiant sumažinti šilumos pritekimus į patalpas

Toks pastato modelis tyrimo laikotarpiu užtikrina vidutinę 25 °C temperatūrą karščiausio mėnesio metu atsižvelgiant į šių dienų klimatą nuo birželio 12 dienos iki liepos 12 dienos. Visgi ateities klimato scenarijaus metu vidutinė patalpų temperatūrą padidėja iki 26 °C minėtu tyrimo laikotarpiu, todėl pastate siekiant užtikrinti komfortišką patalpų temperatūrą vasaros metu reikėtų numatyti mechaninį vėsinimą. Siekiant mažinti CO<sub>2</sub> pėdsaką atsirandantį dėl didelio elektros energijos suvartojimo reikėtų numatyti saulės fotoelementus, kurie padėtų sumažinti, ar net visai eliminuoti išlaidas elektros energijai visu pastato eksploatacijos laikotarpiu.

Tyrimo objektui taip pat naudinga būtų numatyti stogą su vėdinamą pastogę, tokiu būdu vidutinė pastato patalpų temperatūra šių dienų ir ateities klimato scenarijaus metu sumažėtų dar bent 1 °C. Visgi, jau pastatytame pastate stogo tipo keitimas sudarytų per daug dideles išlaidas, todėl nėra siūlytinas.

## Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad dažniausiai naudojamos pasyvios vėsinimo priemonės yra vidaus ir lauko žaliuzės, markizės, natūralus vėdinimas, žalieji stogai, stogeliai ir vertikalios sienutės, o Lietuvoje vėsinimo priemonių naudojimas nėra paplitęs. Nustatyta, kad 5 metų laikotarpiu saulėtų dienų skaičius padidėjo 14,2 valandos, o prognozuojamas vasaros temperatūros padidėjimas iki 2050 metų Lietuvoje sieks 1,7 °C, tokiu būdu didinant patalpų perkaitimo riziką.
2. Sukūrus pastato skaitinį modelį patalpų perkaitimo prognozavimui nustatyta, kad sukurtas patikimas skaitinis modelis, kuris prognozuoja patalpų temperatūrą 0,76 – 0,9 patikimumo koeficientu. Palyginus skaitinio modelio ir natūrinių tyrimų rezultatus nustatyta, kad skaitiniame modelyje gaunamos 0,7 – 1,7 °C aukštesnės vidutinės patalpų temperatūros.
3. Naudojant sukurtą skaitinį modelį nustatyta, kad efektyviausios vėsinimo priemonės gyvenamajame pastate yra išorinės žaliuzės, selektyviniai stiklų paketai, vertikalios sienutės su stogeliu aplink langus, bei pastatai su pastoge. Tokių priemonių pritaikymas gali sumažinti patalpų temperatūras nuo 1,8 °C iki 2,6 °C, o jų junginiai apie 3,1 °C.
4. Sudarytas skirtingų modelių ekonominis vertinimas. Nustatyta, kad tyrimo objekte įrengus selektyvinius stiklų paketus, bei išorines žaliuzes reaguojančias į saulės šviesą, galima sumažinti energijos sąnaudas vėsinimui iki 90 % šių dienų klimato, arba 68 % ateities klimato scenarijaus metu, kai užtikrinama ne didesnė kaip 25 °C patalpų temperatūra.

## Literatūros sąrašas

1. TIAN, G., et al. Studies on the Thermal Optical Properties and Solar Heat Gain of Thin Membrane Structure Industrial Building. *Solar Energy*, 2021. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20311476> ISSN 0038-092X. DOI 10.1016/j.solener.2020.10.083.
2. STAMP, S., ALTAMIRANO-MEDINA, H. and LOWE, R. Measuring and Accounting for Solar Gains in Steady State Whole Building Heat Loss Measurements. *Energy and Buildings*, 2017. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816309070> ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.06.063.
3. XUE, P., MAK, C.M. and CHEUNG, H.D. The Effects of Daylighting and Human Behavior on Luminous Comfort in Residential Buildings: A Questionnaire Survey. *Building and Environment*, 2014. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314001978> ISSN 0360-1323. DOI 10.1016/j.buildenv.2014.06.011.
4. GLORANT, F., JOULIN, A., TITTELEIN, P. and LASSUE, S. Using Heat Flux Sensors for a Contribution to Experimental Analysis of Heat Transfers on a Triple-Glazed Supply-Air Window. *Energy (Oxford)*, 2021-01-15. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.119154> CrossRef. ISSN 0360-5442. DOI 10.1016/j.energy.2020.119154.
5. ARRIAZU-RAMOS, A., BES-RASTROLLO, M., SÁNCHEZ-OSTIZ GUTIÉRREZ, A. and MONGE-BARRIO, A. Building Parameters that Influence Overheating of Apartment Buildings in a Temperate Climate in Southern Europe. *Building and Environment*, 2023-01-15. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109899> CrossRef. ISSN 0360-1323. DOI 10.1016/j.buildenv.2022.109899.
6. LOMAS, K.J. and PORRITT, S.M. Overheating in Buildings: Lessons from Research. *Building Research and Information : The International Journal of Research, Development and Demonstration*, 2017-02-17. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2017.1256136> CrossRef. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/09613218.2017.1256136.
7. LAOUADI, A., BARTKO, M. and LACASSE, M.A. A New Methodology of Evaluation of Overheating in Buildings. *Energy and Buildings*, 2020-08-03. Prieiga per internetą: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=&#61;18cff1d9-928b-4954-a7bd-a68bf53b9d5d> ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110360.
8. VALIUKAS, D. *Analysis of Droughts and Dry Periods in Lithuania*. Institutional Repository of Vilnius University, 2015-06-11. Prieiga per internetą: [https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=&#61;od\\_4036::16ec456f7fed2008237046511f71a95d](https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=&#61;od_4036::16ec456f7fed2008237046511f71a95d).
9. TRIPOLSKAJA, L. and KAZLAUSKAITĖ-JADZEVIČĖ, A. Trend Analyses of Percolation of Atmospheric Precipitation due to Climate Change: Case Study in Lithuania. *Agronomy (Basel)*, 2022-07-28. Prieiga per internetą: <https://search.proquest.com/docview/2706074739> CrossRef. ISSN 2073-4395. DOI 10.3390/agronomy12081784.
10. SU, M.A., et al. *Empirical Evidence on the Impact of Urban Overheating on Building Cooling and Heating Energy Consumption*. DOI 10.1016/j.isci.
11. BEKKOUCHE, S.M.A., et al. Introduction to Control of Solar Gain and Internal Temperatures by Thermal Insulation, Proper Orientation and Eaves. *Energy and Buildings*, 2011. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002325> ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2011.05.018.
12. FOSAS, D., et al. Mitigation Versus Adaptation: Does Insulating Dwellings Increase Overheating Risk?. *Building and Environment*, 2018. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318304414> ISSN 0360-1323. DOI 10.1016/j.buildenv.2018.07.033.



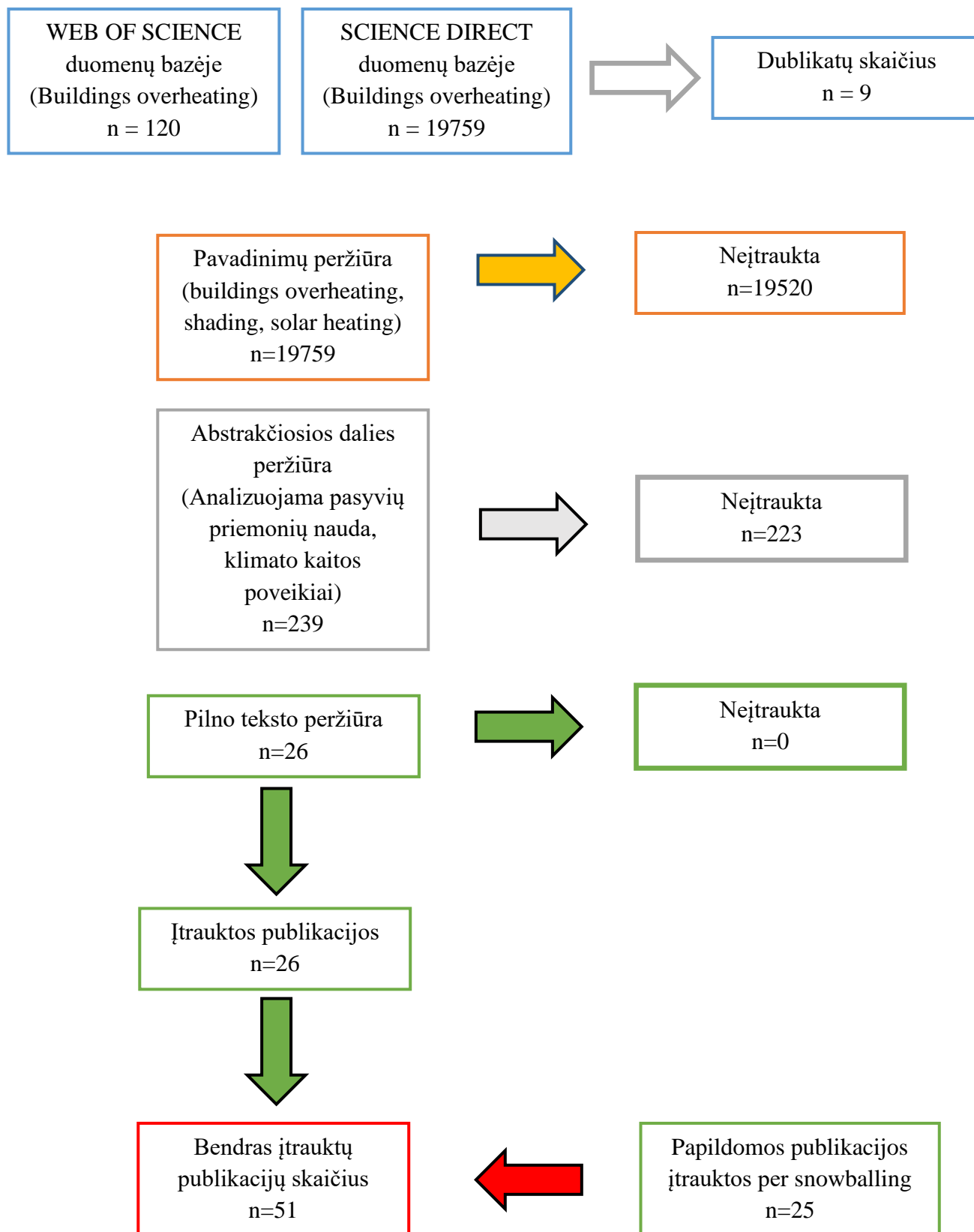
13. LOMAS, K.J. and PORRITT, S.M. Overheating in Buildings: Lessons from Research. *Building Research and Information : The International Journal of Research, Development and Demonstration*, 2017-02-17. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2017.1256136> CrossRef. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/09613218.2017.1256136.
14. PAZOLD, M., WINKLER, M. and ANTRETT, F. *Investigating Overheating by Measurement and Simulation in Classrooms*. DOI 10.1051/e3sconf/20201720.
15. LAOUADI, A., BARTKO, M. and LACASSE, M.A. A New Methodology of Evaluation of Overheating in Buildings. *Energy and Buildings*, 2020-08-03. Prieiga per internetą: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=#61;18cff1d9-928b-4954-a7bd-a68bf53b9d5d> ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110360.
16. OZDENIZ, M. and HANCER, P. Suitable Roof Constructions for Warm climates—Gazimağusa Case. *Energy and Buildings*, 2005-06-01. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.008> CrossRef. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2004.09.008.
17. HOSSEINI, M., TARDY, F. and LEE, B. Cooling and Heating Energy Performance of a Building with a Variety of Roof Designs; the Effects of Future Weather Data in a Cold Climate. *Journal of Building Engineering*, 2018 kovas. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.job.2018.02.001> CrossRef. ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.job.2018.02.001.
18. TILLSON, A., ORESZCZYN, T. and PALMER, J. Assessing Impacts of Summertime Overheating: Some Adaptation Strategies. *Building Research and Information : The International Journal of Research, Development and Demonstration*, 2013-11-01. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2013.808864> CrossRef. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/09613218.2013.808864.
19. HAWILA, A.A., MERABTINE, A., TROUSSIER, N. and BENNACER, R. Combined use of Dynamic Building Simulation and Metamodeling to Optimize Glass Facades for Thermal Comfort. *Building and Environment* 2019-06-15. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.027> CrossRef. ISSN 0360-1323. DOI 10.1016/j.buildenv.2019.04.027.
20. GUPTA, R., et al. Monitoring and Modelling the Risk of Summertime Overheating and Passive Solutions to Avoid Active Cooling in London Care Homes. *Energy and Buildings*, 2021-12--01. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111418> CrossRef. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2021.111418.
21. MASSON-DELMOTTE, V., et al. *Global Warming of 1.5°C an IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty Edited by Science Officer Science Assistant Graphics Officer*. Prieiga per internetą: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf): Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
22. BUKANTIS, A. Climatic Fluctuations in Lithuania Against a Background of Global Warming. *Acta Zoologica Lituanica*, 2001-01-01. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13921657.2001.10512366> CrossRef. ISSN 1392-1657. DOI 10.1080/13921657.2001.10512366.
23. TANG, R., MEIR, I.A. and WU, T. Thermal Performance of Non Air-Conditioned Buildings with Vaulted Roofs in Comparison with Flat Roofs. *Building and Environment*, 2006-03-01. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.008> CrossRef. ISSN 0360-1323. DOI 10.1016/j.buildenv.2005.01.008.
24. PARIZOTTO, S. and LAMBERTS, R. Investigation of Green Roof Thermal Performance in Temperate Climate: A Case Study of an Experimental Building in Florianópolis City, Southern Brazil. *Energy and Buildings*, 2011-07-01. Prieiga per internetą:

- <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.014> CrossRef. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2011.03.014.
25. KLOK, S., et al. *Tropical Nights (1976–2019) as an Indicator of Climate Change in Ukraine*. IOP Publishing, 2023. ISBN 1755-1307. DOI 10.1088/1755-1315/1126/1/012023.
26. TOMCZYK, A.M. Very Warm Nights in the Polish Coastal Area of the Baltic Sea. *Geographia Polonica*, 2015. Prieiga per internetą: <https://search.proquest.com/docview/1803805491> CrossRef. ISSN 0016-7282. DOI 10.7163/GPol.0031.
27. RODINOV, V. *Trends in the Frequency of Extreme Climate Events in Latvia*.
28. ZUNE, M., TUBELO, R., RODRIGUES, L. and GILLOTT, M. Improving Building Thermal Performance through an Integration of Passivhaus Envelope and Shading in a Tropical Climate. *Energy and Buildings*, 2021-09-29. Prieiga per internetą: <https://nottingham-repository.worktribe.com/output/6509826> ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2021.111521.
29. WEN, J., et al. Study of Surrounding Buildings' Shading Effect on Solar Radiation through Windows in Different Climates. *Sustainable Cities and Society*, 2022. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670722004565> ISSN 2210-6707. DOI 10.1016/j.scs.2022.104143.
30. NIKOOFARD, S., ISMET UGURSAL, V. and BEAUSOLEIL-MORRISON, I. Technoeconomic Assessment of the Impact of Window Shading Retrofits on the Heating and Cooling Energy Consumption and GHG Emissions of the Canadian Housing Stock. *Energy and Buildings*, 2014. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813007202> ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2013.11.023.
31. DAGHER, S., AKHOZHEYA, B. and SLIMANI, H. Energy Analysis Studying the Effect of Solar Shading on Daylight Factors and Cooling Hours in an Extreme Weather. *Energy Reports*, 2022. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722021667> ISSN 2352-4847. DOI 10.1016/j.egy.2022.10.231.
32. HASHEMI, A. and KHATAMI, N. Effects of Solar Shading on Thermal Comfort in Low-Income Tropical Housing. *Energy Procedia*, 2017. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217300462> ISSN 1876-6102. DOI 10.1016/j.egypro.2017.03.025.
33. S. M. Pritt, L. Shao, P. C. Cropper, C. I. Goodier. *Building Orientation and Occupancy Patterns and their Effect on Interventions to Reduce Overheating in Dwellings during Heat Waves*. Prieiga per internetą: [261360914\\_Building\\_orientation\\_and\\_occupancy\\_patterns\\_and\\_their\\_effect\\_on\\_interventions\\_to\\_reduce\\_overheating\\_in\\_dwellings\\_during\\_heat\\_waves](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S261360914_Building_orientation_and_occupancy_patterns_and_their_effect_on_interventions_to_reduce_overheating_in_dwellings_during_heat_waves): .
34. CHI, F., ZHU, Z., JIN, L. and BART, D. Calculation Method of Shading Area Covering Southerly Orientated Windows for the Tangwu Building in Sizhai Village. *Solar Energy*, 2019. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X19300180> ISSN 0038-092X. DOI 10.1016/j.solener.2019.01.010.
35. WEN, S., et al. Comparing the Performance of Four Shading Strategies Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm: A Case Study in a University Library. *Journal of Building Engineering*, 2023. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710222015388> ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.job.2022.105532.
36. BECK, A., KÖRNER, W., GROSS, O. and FRICKE, J. Making Better use of Natural Light with a Light-Redirecting Double-Glazing System. *Solar Energy*, 1999. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X99000225> ISSN 0038-092X. DOI 10.1016/S0038-092X(99)00022-5.
37. MALEKI, B.A. *IJTPE Journal SHADING: PASSIVE COOLING AND ENERGY CONSERVATION IN BUILDINGS*, 2011.
38. PONECHAL, R. and CHABADA, M. The Impact of Ventilation and Shading Control on the Result of Summer Overheating Simulation. *Civil and Environmental Engineering (Berlin)*, 2021-

- 06-01. Prieiga per internetą: <http://www.degruyter.com/doi/10.2478/cee-2021-0034> CrossRef. ISSN 2199-6512. DOI 10.2478/cee-2021-0034.
39. GDAN, R.A. *Civil and Environmental Engineering Reports Assessment of Natural Ventilation System for a Typical Residential House in Poland*. DOI 10.1515/ceer-2016.
40. BARANOVA, D., SOVETNIKOV, D., SEMASHKINA, D. and BORODINECS, A. Correlation of Energy Efficiency and Thermal Comfort Depending on the Ventilation Strategy. *Procedia Engineering*, 2017. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.403> CrossRef. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.403.
41. FIGUEROA-LOPEZ, A., ARIAS, A., OREGI, X. and RODRÍGUEZ, I. Evaluation of Passive Strategies, Natural Ventilation and Shading Systems, to Reduce Overheating Risk in a Passive House Tower in the North of Spain during the Warm Season. *Journal of Building Engineering*, 2021 lapkritis. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102607> CrossRef. ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.jobe.2021.102607.
42. WEN, S., et al. Comparing the Performance of Four Shading Strategies Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm: A Case Study in a University Library. *Journal of Building Engineering*, 2023. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710222015388> ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.jobe.2022.105532.
43. KUCZYŃSKI, T. and STASZCZUK, A. Experimental Study of the Influence of Thermal Mass on Thermal Comfort and Cooling Energy Demand in Residential Buildings. *Energy*, 2020. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220300918> ISSN 0360-5442. DOI 10.1016/j.energy.2020.116984.
44. KAUNELIENĖ, V., et al. Indoor Air Quality in Low Energy Residential Buildings in Lithuania. *Building and Environment*, 2016-11-01. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.018> CrossRef. ISSN 0360-1323. DOI 10.1016/j.buildenv.2016.08.018.
45. LEIVO, V., et al. Indoor Thermal Environment, Air Exchange Rates, and Carbon Dioxide Concentrations before and After Energy Retro Fits in Finnish and Lithuanian Multi-Family Buildings. *The Science of the Total Environment*, 2018-04-15. Prieiga per internetą: <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.227> PubMed. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.11.227.
46. CHWIEDUK, D. and BOGDANSKA, B. Some Recommendations for Inclinations and Orientations of Building Elements Under Solar Radiation in Polish Conditions. *Renewable Energy*, 2004-07-01. Prieiga per internetą: <https://search.proquest.com/docview/14700589> CrossRef. ISSN 0960-1481. DOI 10.1016/j.renene.2003.12.018.
47. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. *Hidrometeorologinių Savybių Apžvalga*. Prieiga per internetą: <http://www.meteo.lt/lt/2023-rugsejis>.
48. RUSSO, S., et al. Magnitude of Extreme Heat Waves in Present Climate and their Projection in a Warming World. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. Russo, S., A. Dosio, R. G. Graversen, J. Sillmann, H. Carrao, M. B. Dunbar, A. Singleton, P. Montagna, P. Barbola, and J. V. Vogt (2014), Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 12,500-12,512, doi:10.1002/2014JD022098. ed., 2014-11-27, vol. 119, no. 22. pp. 12,500-12,512. Prieiga per internetą: <https://api.istex.fr/ark:/67375/WNG-J30R700B-W/fulltext.pdf> CrossRef. ISSN 2169-897X. DOI 10.1002/2014JD022098.
49. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. *Higienos Normos HN 42:2009 "Gyvenamųjų Ir Visuomeninių Pastatų Patalpų Mikroklimatas"*. Įsakymas ed. , -01-01, 2010 ISBN V-1081.
50. Lietuvos Respublikos Aplinkos Ministras *Į s a K Y M a s Dėl Statybos Techninio Reglamento Str.*
51. GLASSLT. Produktų Savybių Palyginimas. pp. 1. Prieiga per internetą: <https://glasslt.com/produktai/produktu-savybiu-palyginimas/>.

## Priedai

### 1 priedas. PRISMA schema



## 2 priedas. Literatūros apžvalgos protokolas

<b>Research content</b>	<b>Buildings overheating</b>
<b>Breakdown</b>	Reducing overheating risk in residential buildings
<b>Keywords</b>	Buildings overheating; heat waves; passive cooling; night ventilation; external slides; thermal comfort; external shading; solar shading system; solar heating; visual comfort; climate change; thermal insulation; external blinds; internal shading; green roofs; cool roofs; flat roofs; thermal conductivity;
<b>Search strings</b>	{“building overheating“ AND review}; {“heat waves“ AND review}; {“climate change“ AND review}; {“solar shading systems“ AND review}; {“overheating“ AND definitions}; {“climate change“ AND definitions}; {“shading“ AND definitions}; {“external shading“ AND review}; {“green roofs“ AND review}; {“flat roofs“ AND review}; {“thermal conductivity“ AND definitions};
<b>Synonyms</b>	external slides; external blinds
<b>Databases included</b>	Google Scholar; OAK trust; Taylor and Francis online; ResearchGate; Science direct
<b>Exclusion criteria</b>	Not English; Published before 2013; non-scientific work; full text not available;
<b>Inclusion criteria</b>	Language English; availability full text; scientific work

# CERTIFICATE

**Svajūnas Jucis**

**Has participated in Student scientific conference  
„SMART BUILT ENVIRONMENT“  
on 24 November 2023**

Delivered the presentation:

**Effectiveness of Passive Cooling Strategies in Reducing  
Overheating Risk in Residential Buildings Under Future Climate  
Scenarios in Lithuania**

Dean of the Faculty of Civil  
Engineering and Architecture

Prof. Dr. Andrius Jurelionis

