



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS  
PASTATŲ ENERGINIŲ SISTEMŲ KATEDRA**

**Tautvydas Šimanauskas**

**PAVIRŠINIO ŠILDYMO IR VĖSINIMO SISTEMŲ BIURŲ  
PASTATUOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Andrius Jurelionis

**KAUNAS, 2018**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS  
PASTATŲ ENERGINIŲ SISTEMŲ KATEDRA**

**PAVIRŠINIO ŠILDYMO IR VĖSINIMO SISTEMŲ BIURŲ  
PASTATUOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (kodas 621H24001)

**Vadovas**

Prof. dr. Andrius Jurelionis

**Recenzentas**

Dr. Lina Šeduikytė

**Projektą atliko**

Tautvydas Šimanauskas

**KAUNAS, 2018**

Darbą atliko SPM-6 gr.  
Studentas:

Tautvydas Šimanauskas  
*vardas, pavardė*

\_\_\_\_\_ *parašas, data*

Darbo vadovas:

prof. dr. Andrius Jurelionis  
*vardas, pavardė*

\_\_\_\_\_ *parašas, data*

Katedros vedėjas:

prof. dr. Tadas Ždankus  
*vardas, pavardė*

\_\_\_\_\_ *parašas, data*

**Konsultantai:**

Grafinė dalis

lekt. dr. Ramūnas Gečys  
*vardas, pavardė*

\_\_\_\_\_ *parašas, data*



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros

(Fakultetas)

Tautvydas Šimanauskas

(Studento vardas, pavardė)

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai , 621H24001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Paviršinių šildymo ir vėsinimo sistemų biurų pastatuose tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. Sausio 8 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Tautvydo Šimanauskas**, baigiamasis projektas tema „Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemų biurų pastatuose tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

## **Užduotis**

Šimanauskas, Tautvydas. Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemų biurų pastatuose tyrimas. Magistro baigiamasis projektas. Vadovas prof. dr. Andrius Jurelionis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: paviršinis šildymas, paviršinis vėsinimas, šiluminis komfortas, energijos poreikis.

Kaunas, 2018. 58 p.

## **SANTRAUKA**

Baigiamajame darbe buvo nagrinėtos paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos biurų tipo pastatuose. Atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, kad tokios sistemos sukuria itin palankias sąlygas žmonių šiluminiam komfortui sudaryti, tačiau susiduriama su tokiomis problemomis kaip ribota vėsinimo galia, paviršių temperatūros, ant paviršių susidarantis kondensatas. Baigiamajame darbe atliktas tyrimas biurų pastate, kuriame veikia paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema. Tyrimo metu buvo atlikta darbuotojų apklausa ir eksperimentiniai matavimai. Pagal tyrimo rezultatus nustatyta, jog patalpos šiluminės aplinkos sąlygos atitinka šiluminio komforto reikalavimus. Naudojant kompiuterinę programą „IDA ICE“ buvo sukurtas nagrinėjamo objekto kompiuterinis modelis bei atlikta modelio patikimumo analizė remiantis tyrimo metu gautais rezultatais. Modelyje sukurtos 3 skirtingo tipo šildymo ir vėsinimo sistemos. Atliktas šių sistemų palyginimas šiluminio komforto sąlygų bei energijos suvartojimo pastatui šildyti ir vėsinti aspektais. Įvertintas skirtingų trijų sistemų modelyje atsiperkamumas 30-ies metų laikotarpyje.

Šimanauskas, Tautvydas. *Analysis of Radiant Heating and Cooling Systems in Office Buildings*. Master's thesis in / supervisor prof. Andrius Jurelionis. Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Civil Engineering.

Key words: radiant heating, radiant cooling, thermal comfort, energy need.

Kaunas, 2018. 58 p.

## SUMMARY

Analysis of radiant heating and cooling systems in office buildings was performed in the master thesis. The analysis of the scientific literature has shown that such systems provide appropriate conditions to create suitable thermal comfort conditions. However, such systems have disadvantages as limited cooling power and surface temperature, condensation on surfaces. The research of master thesis was made in office building where radiant heating and cooling systems are in operation. During the research there was made a survey for company employees and experimental measurements. According to the results of the research, the conditions of the thermal environment of the building were determined to meet the requirements of thermal comfort. By using software "IDA ICE" the model of the research object was created. The reliability of the created model was tested by comparing results of the simulation of the model and the results of the research. There were created 3 different types of heating and cooling systems in the model. The comparison of thermal comfort conditions created by different systems and energy consumptions for heating and cooling was done. There was estimated the difference of the cost to maintain three different systems during the period of 30 years.

## TURINYS

IŽANGA.....	9
1.LITERATŪROS APŽVALGA .....	10
1.1.Šiluminis komfortas .....	10
1.2.Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos.....	10
2.TIRIAMOJI DALIS .....	17
2.1.Tyrimo objektas .....	17
2.2.Darbuotojų apklausa .....	19
2.3.Apklausos rezultatai.....	19
2.3.1.Informacija apie ankstesnę darbovietę .....	19
2.3.2.Informacija apie dabartinę darbovietę.....	21
2.4.Aplinkos parametrų vertinimas.....	23
2.5.Šiluminės aplinkos parametrų eksperimentiniai matavimai .....	26
2.5.1.Trumpalaikiai matavimai .....	26
2.5.2.Ilgalaikiai matavimai.....	30
2.6.Tyrimo rezultatų apibendrinimas.....	32
3.KOMPIUTERINIS MODELIAVIMAS.....	33
3.1.Modelio kūrimas .....	33
3.2.Sukurto modelio patikimumo analizė .....	35
3.3.Skirtingos šildymo ir vėsinimo sistemos sukurtame modelyje.....	38
3.4.Sukurtų šildymo ir vėsinimo sistemų modelyje palyginimas .....	40
3.4.1.Metinio energijos šildymui ir vėsinimui poreikio vertinimas .....	40
3.4.2.Šiluminės aplinkos parametrų vertinimas .....	41
3.4.3.Įtakos žmonių šiluminiam komfortui ir darbingumui vertinimas .....	43
3.5.Modeliavimo rezultatų apibendrinimas .....	47
4.EKONOMINIS VERTINIMAS .....	48
IŠVADOS.....	50
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	51
PRIEDAI .....	52



## IŽANGA

Šiomis dienomis egzistuoja gan plati šildymo ir vėsinimo sistemų pasiūla: radiatorinis šildymas, orinis šildymas ir vėsinimas, paviršinis šildymas ir vėsinimas. Jei vertiname sistemų poveikį gyventojų šiluminiam komfortui, visi šie būdai turi savų privalumų ir trūkumų. Šiame darbe nagrinėtas paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemų taikymas pastatuose. Norint išsiaiškinti pagrindinius paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemų plusus ir minusus, dažniausiai sutinkamus taikymo būdus, buvo atlikta mokslinės literatūros analizė. Tyrimo objekte, biurų pastate Vilniuje, buvo atlikta darbuotojų apklausa apie komforto sąlygas ankstesnėje ir dabartinėje darbo vietose. Pastato antrajame aukšte atlikti eksperimentiniai matavimai šiluminio komforto bei oro kokybės rodikliams nustatyti. Apklausos ir eksperimento metu gauti duomenys susisteminti ir pateiktos išvados. Naudojant kompiuterinę programą „IDA ICE“ buvo sukurtas nagrinėjamo pastato kompiuterinis modelis. Modelyje buvo suprogramuotos trys skirtingos šildymo-vėsinimo sistemos: paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema, analogiška nagrinėjamo pastato sistemai, radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo bei orinio šildymo ir vėsinimo sistema. Atliktas skirtingų sistemų palyginimas keliais aspektais: įtaka žmonių šiluminiam komfortui, metiniai energijos suvartojimai, įrengimo ir priežiūros kaštai.

**Darbo tikslas:** Ištirti paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemų poveikį žmonių šiluminiam komfortui taikant eksperimentinio tyrimo ir skaitinio modeliavimo metodus bei įvertinti paviršinio šildymo-vėsinimo sistemos techninį ir ekonominį naudingumą lyginant su kito tipo šildymo-vėsinimo sistemomis.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Atlikti literatūros analizę šiluminio komforto ir paviršinio šildymo-vėsinimo sistemų taikymo srityje.
2. Šiltuoju laikotarpiu atlikti šiluminio komforto tyrimus ir darbuotojų apklausą nagrinėjamame objekte bei išanalizuoti gautus duomenis ir jų įtaką žmonių šiluminiam komfortui;
3. Sukurti analogišką nagrinėjamo pastato kompiuterinį modelį ir atlikti jo patikimumo analizę (palyginant eksperimentinius matavimo rezultatus su modelyje sukurtos sistemos duomenimis);
4. Sukurtame modelyje sukurti tris skirtingas šildymo-vėsinimo sistemas: paviršinio šildymo-vėsinimo sistemą (analogišką tiriamojo objekto sistemai), radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo bei orinio šildymo ir vėsinimo sistemas;
5. Atlikti sukurtų šildymo-vėsinimo sistemų palyginimą įtakos žmonių šiluminiam komfortui, ekonomiškumo, ilgaamžiškumo, energijos sąnaudų aspektais.

## 1.LITERATŪROS APŽVALGA

### 1.1.Šiluminis komfortas

Pagal standartus [1], šiluminis komfortas apibrėžiamas kaip pojūtis, išreiškiantis pasitenkinimą šilumine aplinka ir yra vertinamas gan subjektyviai. Sudaryti žmogui šiluminį komfortą reikia garantuoti, kad jis nesijaustų nei per karštai, nei per šaltai konkrečioje patalpoje. Oro temperatūra, jos pasiskirstymas patalpoje, santykinis oro drėgnis, oro judėjimo greitis, šiluminio spinduliavimo temperatūros, žmonių fizinis aktyvumas ir dėvima apranga – faktoriai, kurie yra svarbūs kuriant žmogui priimtina šiluminę aplinką. Komfortabilių sąlygų sukūrimas gyventojams reikalauja gan didelių energijos kaštų. Mokslininkų teigimu [2], ateityje tikėtinas energijos poreikio, šiluminio komforto sąlygoms sukurti, augimas dėl globalinio atšilimo, miestų taršos ir kt. Tačiau pritariama teiginiui, jog tinkamų mikroklimato sąlygų palaikymas išlieka vienu iš svarbiausių aspektų kuriant komfortabilią aplinką žmonės. Žmogaus savijauta, emocinė būklė, pasitenkinimo patalpos mikroklimatu lygis daro įtaką žmogaus darbingumo efektyvumui. Remiantis norminiais dokumentais [3], darbo patalpose, kuomet atliekamas lengvas darbas (Ia darbų kategorija) numatomos tokios šiluminio komforto aplinkos parametrų ribinės vertės šaltuoju ir šiltuoju metų laikotarpiu:

- oro temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu gali svyruoti tarp 22-24 °C, šiltuoju metų laikotarpiu 23-25 °C;
- oro santykinis drėgnis šaltuoju ir šiltuoju metų laikotarpiu gali svyruoti tarp 40-60 %;
- oro judėjimo greitis šiltuoju ir šaltuoju metų laikotarpiu neturėtų būti didesnis kaip 0,1 m/s.

Remiantis šaltiniais [4], šiluminei aplinkai vertinti dažniausiai naudojami tokie indeksai kaip PMV (tikėtinas vidutinis vertinimas), PPD (tikėtinas nepatenkintų žmonių procentas), DR (skersvėjo rodiklis) bei tokie rodikliai, kaip oro temperatūros gradientas, šiluminio spinduliavimo temperatūros asimetrija.

### 1.2.Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos

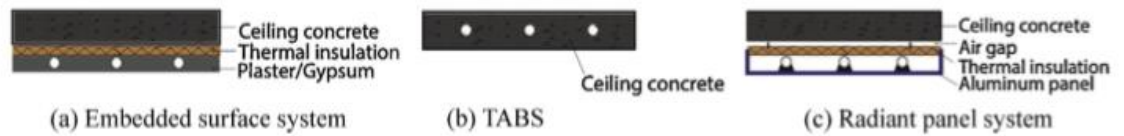
Vienas iš galimų pastatų aprūpinimo šiluma ir vėsa būdų – paviršinis šildymas ir vėsinimas. Šis būdas kuo toliau, tuo dažniau yra taikomas ne tik gyvenamuosiuose namuose, bet ir visuomeninės paskirties pastatuose, tokiuose kaip: mokyklos, biurai, gamyklos, oro uostai ir kt. Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos leidžia taupyti naudojamos energijos kiekius ir įgalina naudoti atsinaujinančius energijos išteklius. Mokslininkai [5] išskiria tokius pagrindinius sistemos privalumus: tylus veikimas,

mažos energijos sąnaudos, patrauklus dizainas bei pagrindinius trūkumus: gan sudėtingas valdymas ir kontrolė, dideli įrengimo kaštai, ribota šildymo ir vėsinimo galia.

Pirmos tokio tipo sistemos pradėtos naudoti Azijoje, kuomet šildymui grindyse buvo naudojami karšti garai. Šildymo sistemose pradėjus naudoti plastikinius vamzdžius, paviršinių sistemų naudojimas sparčiai išpopuliarėjo. Paviršinis šildymas plačiai naudojamas Korėjoje ir Kinijoje. Šiose šalyse beveik 85 proc. gyvenamųjų namų turi tokio tipo šildymo sistemas. 30-50 proc. naujai statomų gyvenamųjų namų Danijoje, Vokietijoje ir Austrijoje turi šias sistemas. Tyrimai rodo, kad paviršinis šildymas sumažina galimą oro išsausėjimą ir vietinį diskomfortą pėdų vietoje. Tai vykta dėl mažų temperatūrinių pokyčių ir vertikalų temperatūrinių gradientų. Taikant paviršinio šildymo sistemą, turėtų būti užtikrintas pakankamas oro judėjimas patalpose, tinkama vėdinimo sistema, kad vyktų tolygus šilumos srautų judėjimas. Yra nustatyta [6], kad vėsinimas grindų paviršiumi gali būti taikomas didelių pastatų, tokių kaip terminalai, oro uostai, prekybos centrai, cechai, kurie gauna daug tiesioginių saulės spindulių, vėsinimui. Europoje, Šiaurės Amerikoje, Kinijoje, Singapūre vis labiau populiarėja tokios paviršinio vėsinimo sistemos, ypač kai jos derinamos su vėdinimo sistemomis. Tačiau paviršinis vėsinimas nėra toks populiarus kaip grindinis šildymas. Mokslininkas (Kang Zhao) savo tyrime [7] išvelgia tokius pagrindinius grindinio vėsinimo taikymo trūkumus: galimą kondensato susidarymo ir mažą vėsinimo galią. Tipiniuose pastatuose maksimali vėsinimo grindimis galia siekia 30-40 W/m<sup>2</sup>. Kondensato grindų paviršiuje susidarymo galima išvengti tiekiant tinkamą lauko oro kiekį.

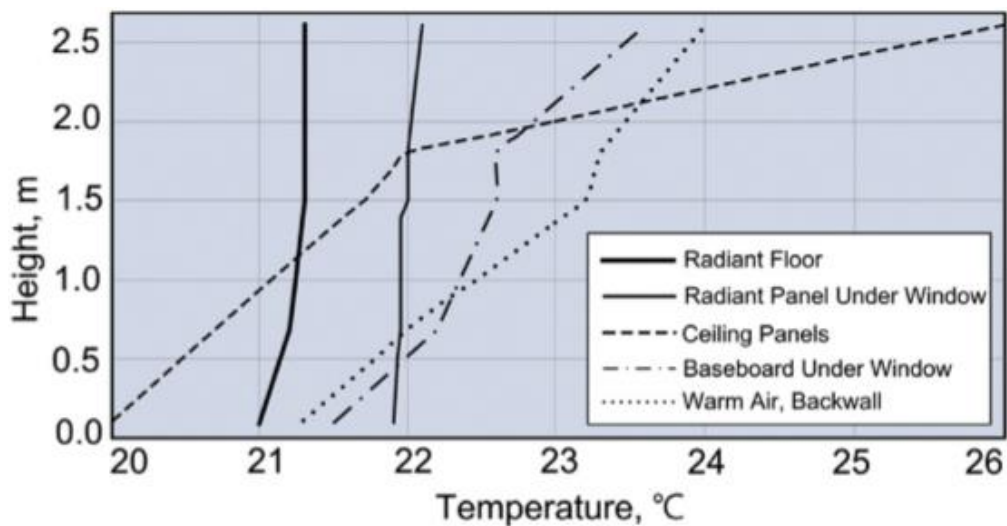
Yra išskiriama nemažai tokių sistemų privalumų. Pagal atliktus tyrimus [8], oro kokybei patalpoje daug įtakos turi pasirinktas šildymo sistemos tipas. Viena iš svarbių priežasčių, kodėl paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos yra pranašesnės už kitas naudojamas sistemas, yra tai, jog dėl patalpoje vyraujančio mažo oro judėjimo greičio susidarančių dulkių kiekis ore yra žymiai mažesnis. Paviršinio šildymo sistema paprastai naudoja vandenį, kuris gali transportuoti apie 3,5 kartų daugiau šilumos nei tas pats kiekis oro. Taip pat, galime ženkliai sumažinti šilumos poreikius, kadangi sistema patalpas šildo aptarnaudama didelius paviršiaus plotus. Naudojant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemas, šilumos perdavimo koeficientas padengia daugiau nei 50 % šilumos mainų erdvėje. Lyginant su kitomis sistemomis tokia sistema veikia derindama konvekcijos ir spindulinio šilumos judėjimo būdus patalpoje.

Priklausomai nuo vamzdynų vietos paviršiuje, tokios sistemos gali būti įrengtos skirtingais būdais. Sistemų įrengimo būdai pavaizduoti 1 pav., kur a) vamzdžiai klojami per pastato sluoksnį, kuris izoliuotas nuo pagrindinės pastato dalies, b) vamzdžiai yra integruoti į pagrindines pastato konstrukcijas (lubas, grindis, sienas), c) vamzdžiai integruojami į pakabinamas lubines plokštes. Taip pat, šildymui gali būti naudojami elektriniai kabeliai vietoj vamzdelių su vandeniu.



1 pav. Paviršinio šildymo sistemų tipai [8]

Pagal tyrimus [9], veikiant paviršinio šildymo vėsinimo sistemai, kuomet patalpa šildoma grindimis, yra sukuriamas idealus vertikalus temperatūrinis gradientas ir yra sušvelninamas šalto oro pojūtis, susidarantis dėl oro judėjimo. Skleidžiamos oro temperatūros pasiskirstymas skirtingame aukščio lygyje naudojant skirtingas paviršinio šildymo sistemas pateikiamas 2 pav.



2 pav. Paviršinio šildymo sistemų tipų skleidžiamos oro temperatūros pasiskirstymo skirtumai skirtinguose aukščio lygiuose [9]

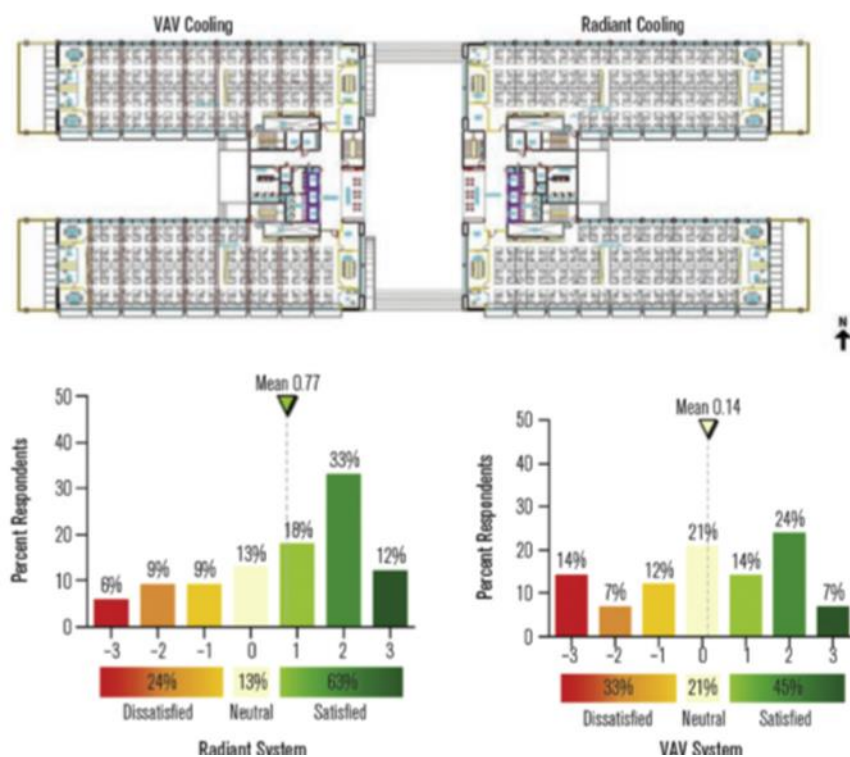
Projektuojant paviršinio šildymo, vėsinimo sistemas, svarbu atkreipti dėmesį į grindų paviršiaus temperatūras ir išvengti galimo diskomforto, nes žmogaus šiluminio komforto pojūčiui tai turi itin daug reikšmės. Pagal mokslininkų išvadas [10], rekomenduojama grindų paviršiaus temperatūra turėtų būti nuo 17 °C iki 29 °C. Dažniausiai, kai yra projektuojamas vėsinimas grindų paviršiumi, taikoma ne mažesnė nei 19 °C paviršiaus temperatūra. Projektuojat tokio tipo šildymo vėsinimo sistemas, svarbu atkreipti dėmesį į tai, kokio tipo patalpoje bus įrenginama sistema, kokia veikla ten vyks, kokia numatoma paviršiaus danga, ypač jei žmonės patalpoje neavės batų.

Pagal mokslininkės (C. Setiu) atliktą tyrimą [11], JAV komerciniuose pastatuose paviršinio vėsinimo sistema sukuria stabilesnę vidaus temperatūrą ir drėgnį nei visos orinės sistemos. Tyrime nagrinėtas biurų pastatas su paviršiniu plokščių vėsinimu. Pastebėta, jog vertikalus oro temperatūros skirtumas tarp žmogaus kulkšnies ir galvos buvo apie 0,5 K, o sauso oro diapazonas buvo apie 4 %. Tai parodo, jog paviršinis plokščių vėsinimas yra efektyvi priemonė mažinant vietinį diskomfortą. Buvo pastebėta, jog lubinė vėsinimo sistema gali pasiekti identišką šiluminį komfortą kaip ir visos

orinės sistemos esant 2 K didesnei temperatūrai. Tai dar kartą patvirtina teiginį, kad nagrinėjamos paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos yra pranašesnės.

Pagal Olandijos mokyklose atliktą tyrimą [12] paaiškėjo, kad paviršinio šildymo sistemos daro teigiamą įtaką šiluminiam komfortui. Mokyklos su paviršinio šildymo sistemomis buvo lyginamos su kitomis mokyklomis, turinčiomis įprastą radiatorinę šildymo sistemą su mechaniniu vėdinimu. Palyginimas atliktas vertinant PMV rodiklį ir rezultatus iš moksleivių apklausų. Apibendrinus rezultatus, yra teigiama, jog mokyklose, kuriuose naudojamos paviršinio šildymo sistemos, mokiniai jaučiasi geriau nei mokyklose, kuriose įrengtos įprastos šildymo sistemos. Nustatytas didesnis pasitenkinimas patalpos mikroklimato sąlygomis. Tyrimo metu pastebėta, kad respondentai dirbusieji patalpose, kuriose veikė paviršinio šildymo sistemos, buvo darbingi ilgesnį laiko tarpą.

Paviršinis vėsinimas ypač rekomenduojamas taikyti biurų pastatuose. Remiantis mokslininkų (G. Sastry, P. Rumsey) tyrimu [13] paaiškėjo, kad biurų darbuotojai pirmenybę teikia paviršinio vėsinimo sistemoms. Tyrimo metu buvo lyginami du panašūs biurai, iš kurių viename buvo įrengta orinio vėsinimo, o kitame paviršinio vėsinimo sistema. Biurų planai su sistemomis pateikiami 3 pav.



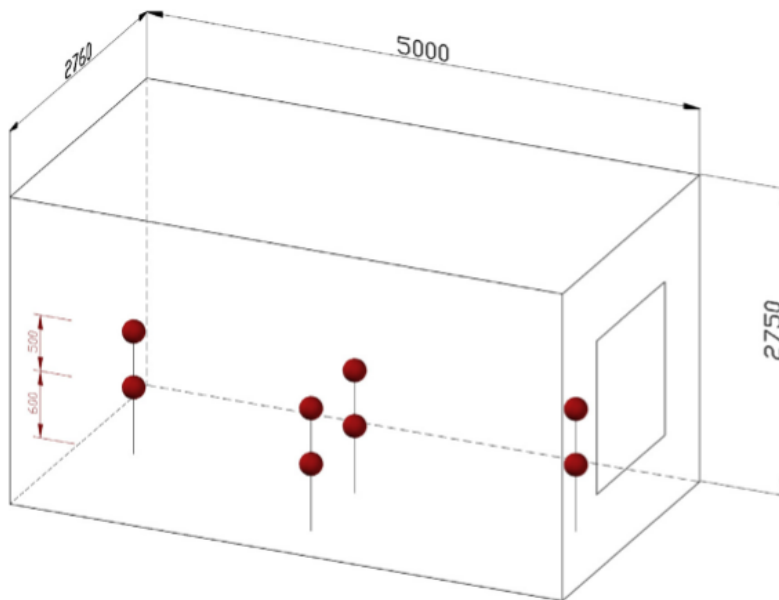
3 pav. Biurų planų su sistemomis schema ir apklausų rezultatai [13]

Tyrimo metu abejuose biuruose buvo atlikta darbuotojų apklausa. Atlikus apklausas, paaiškėjo, jog didesnis žmonių, kurie yra patenkinti šiluminės aplinkos sąlygomis, skaičius yra biure, kuriame veikia paviršinio vėsinimo sistema. Tokiame biure patenkintųjų šilumine aplinka dalis siekė 63 %, o tuo tarpu biure, kuriame veikė orinio vėsinimo sistema patenkintųjų dalis siekė 45 %.

Naudojant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemas, gali būti sumažinamas energijos poreikis naudojant žymiai mažesnes šilumnešio temperatūras nei įprastose sistemose. Paviršinio šildymo sistemose naudojamos ženkliai mažesnės, o paviršinio vėsinimo sistemose didesnės temperatūros nei įprastinėse sistemose. Taip sunaudojama daug mažiau energijos nei naudojant kitas sistemas.

Pagrindiniai parametrai, kuriais vadovaujamosi valdant šias sistemas, yra tiekiamo vandens temperatūra ir srautas. Sistemose turi būti naudojamas lauko oro temperatūros jutiklis, kuris nustato reikiamą tiekiamo vandens temperatūrą sistemoje, kad būtų užtikrinama tinkama patalpos temperatūra. Svarbu, kad būtų kontroliuojama tiek tiekiamo, tiek grįžtamo vandens temperatūra. Paviršinio vėsinimo sistemose vienas iš pagrindinių kriterijų, norint tinkamai valdyti sistemą, yra grindų temperatūra. Ji svarbi siekiant pagerinti energijos taupymo efektyvumą bei išvengti šiluminio diskomforto. Naudojant paviršinio šildymo sistemas, grindų temperatūros parametras taip pat yra svarbus siekiant, kad temperatūra neviršytų normų ir nesudarytų sąlygų galimam perkaitimui. Taip pat, projektuojant paviršinio vėsinimo sistemas svarbu atkreipti dėmesį į galimą kondensato susidarymą. Norint to išvengti, reikėtų kontroliuoti tiekiamo vandens temperatūrą, kad ji neviršytų rasos taško temperatūros tam tikrose zonose. Taikytinas individualus patalpų temperatūros reguliavimas norint sutaupyti energijos ir pasiekti geresnį mikroklimatą.

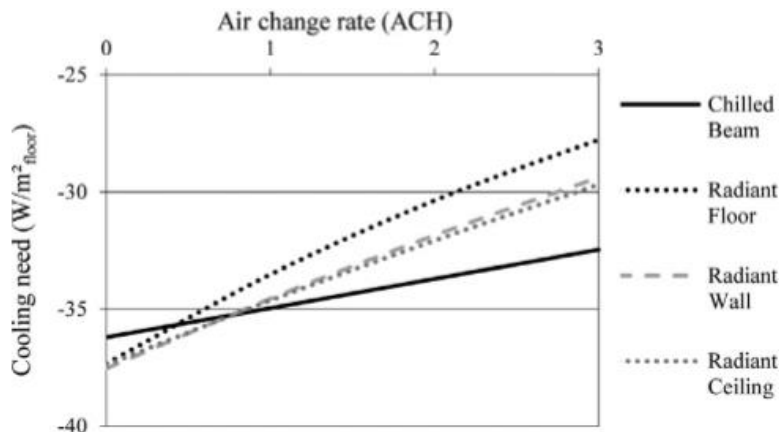
Pastatą vėsinant paviršiais galima naudoti sienas, lubas arba grindis. Mokslininkai (J. Le Dreau, P. Heiselberg) ištyrė [14], kaip skiriasi vėsinimo sistemų efektyvumas naudojant skirtingus paviršius. Tyrime atliekamas patalpos modeliavimas ją vėsinant keturiais skirtingais būdais: grindimis, siena, lubomis ir vėsinančia sija. Modeliavimui parenkama patalpa, kurios ilgis yra 5 m., plotis – 2,76 m., aukštis – 2,75 m., grindų plotas – 13,8 m<sup>2</sup>. Pietuose yra langas, pro kurį patenka saulės šviesa į patalpą. Patalpa turi gan didelę grindų ir lubų šiluminę izoliaciją. Vidiniai šilumos išsiskyrimai siekia 20 W/m<sup>2</sup>. Lauko oro sąlygos nustatytos pagal Kopenhagos miesto parametrus karštą vasaros dieną. Numatomi šilumos pritekėjimai iki 40 W/m<sup>2</sup>. Patalpos modelis pateikiamas 4 pav.



4 pav. Patalpos modelis [14]

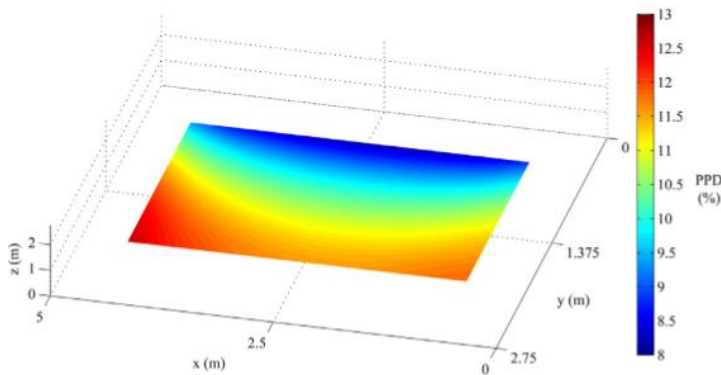
Visos keturios vėsinimo sistemos yra projektuojamos kartu su oro vėdinimo sistemomis, taip užtikrinant patalpos oro kokybę. Atliekant skirtingų vėsinimo būdų palyginimą, projektuojama temperatūra siekia 26 °C., oro greitis numatomas iki 0,2 m/s. Sėdinčiam asmeniui projektuojama temperatūra matuojama 0,6 m aukštyje, stovinčiam 1,1 m. Patalpoje yra 6 žmonės, kurių vietos numatytos patalpos viduryje arba 0,6 m. atstumu nuo išorinių sienų.

Atlikus tyrimą, buvo padarytos išvados, jog projektuojant vėsinimo sistemas yra svarbu derinti jas su vėdinimo sistemomis, kadangi tai turi daug įtakos patalpos mikroklimatui. Esant mažam oro kaitos dažniui (0,5), visi vėsinimo sistemų tipai veikė panašiai. Paviršinio vėsinimo sistemos veikė efektyviai prie aukštų patalpos temperatūrų. Kuo buvo didesnis oro kaitos dažnis, tuo vėsinimo poreikis buvo mažesnis. Atvėsintos sijos efektyvumas priklauso nuo oro judėjimo patalpoje ir suprojektuotos vėsinimo sistemos modelio. Iš visų paviršinių vėsinimo sistemų tipų, vėsinimas grindimis reikalauja mažiausiai energijos vėsinimui, jei vertiname modelį, kai patalpoje esantys žmonės sėdi. Jei patalpoje esantys žmonės stovi, visų trijų paviršinių vėsinimo sistemų tipai yra vienodai efektyvūs. Vėsinimo poreikio skirtumai, taikant skirtingą vėsinimo tipą, pateikiami 5 pav.



5 pav. Vėsinimo poreikio diagrama naudojant skirtingus vėsinimo paviršius [14]

Kalbant apie šiluminę komfortą patalpoje, tinkamiausias komforto sąlygas suteikia lubinis vėsinimas, prasčiausias – grindinis. Žmonės, esantys toliau nuo vėsinančio paviršiaus, gali ne taip stipriai jausti vėsinimą, todėl sistema gali veikti ne taip efektyviai. 6 pav. pateikiamas prognozuojamas nepasitenkinimo procentas 0,6 m. aukštyje vėsinant siena, kai lauke 30 °C.



6 pav. Prognozuojamo nepasitenkinimo rodikliai [14]



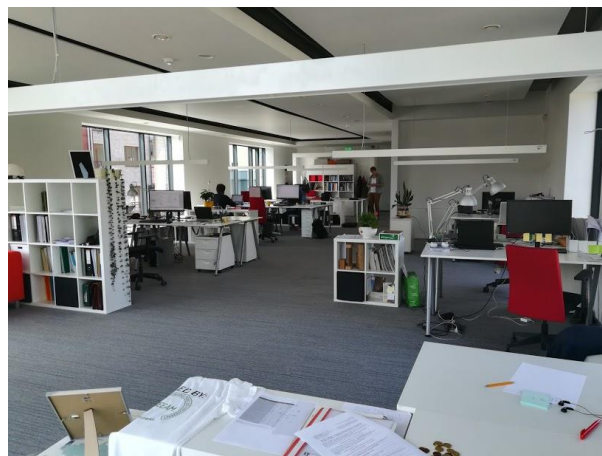
## 2.TIRIAMOJI DALIS

### 2.1.Tyrimo objektas

Eksperimentas buvo atliktas naujos statybos trijų aukštų biurų pastate, įsikūrusiame adresu Sakalų g. 8, Vilnius. Pastato nuotraukos iš išorės ir vidaus pateikiamos 7, 8 pav.



7 pav. Biurų pastato nuotrauka iš lauko



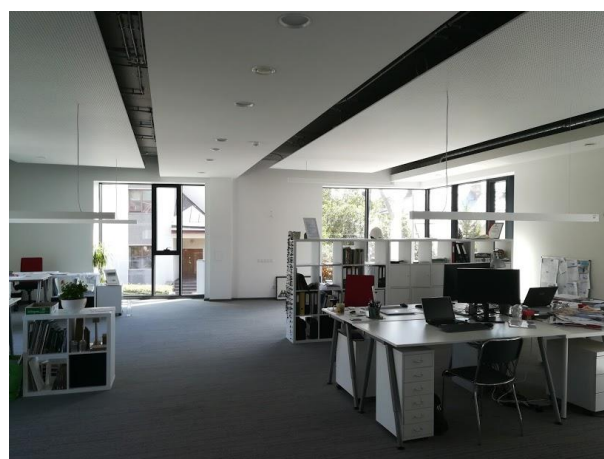
8 pav. Biuro vidus

Pastato ilgis – 27,68 m., plotis – 10,06 m. Pastato aukštis – 10,65 m. Bendras pastato plotas siekia 650,61 m<sup>2</sup>. Trijuose pastato aukštuose įsikūrusios trys skirtingos įmonės. Pirmojo aukšto plotas – 234,12 m<sup>2</sup>, antrojo – 207,07 m<sup>2</sup>, trečiojo – 209,42 m<sup>2</sup>. Pastato aukštų išplanavimas yra labai panašus. Kiekviename aukšte yra įrengtos bendros ir individualios darbo erdvės, pasitarimų kambariai, virtuvės, WC ir pagalbinės patalpos. Pastatas turi bendrą laiptinę.

Visuose pastato aukštuose veikia identiška paviršinio šildymo-vėsinimo sistema. Pastatui šildyti sumontuota grindinio šildymo sistema, o vėsinimui naudojamos plokštės, kurios sumontuotos išilgai patalpos, pakabinamų lubų konstrukcijoje. Vėsinimui naudojamos lubinės plokštės pavaizduotos 9 pav.



9 pav. Vėsinimo plokštės patalpoje



10 pav. Vėsinimo plokštės patalpoje

Siekiant sukurti komfortabilią aplinką patalpoje, darbo vietose yra įmontuoti termostatai. Tam, kad patalpose būtų užtikrintas tolygus temperatūrinis pasiskirstymas, patalpose yra daug paviršių (stalai, kėdės, lentynos), kas yra svarbu patalpą vėsinant. Šildymo-vėsinimo sistemai naudojamas energijos šaltinis – 2 geoterminiai šilumos siurbliai „Stiebel“. Sistema valdoma kiekviename aukšte atskirai įdiegtos automatinės sistemos pagalba. Pastate suprojektuota mechaninio vėdinimo sistema su rekuperacija. Nagrinėjamo pastato šildymo-vėsinimo sistemos metiniai energijos suvartojimai šildymui – 48,160 MWh, vėsinimui – 10,986 MWh. Duomenys apie metinį energijos poreikį gauti iš įmonės, kuri įsikūrusi nagrinėjamame pastate, atstovų.

Tyrimo metu objekte buvo atlikta darbuotojų kokybinė apklausa ir eksperimentiniai šiluminės aplinkos parametrų matavimai. Darbuotojų apklausa buvo atlikta visame pastate, visuose trijuose aukštuose, o eksperimentiniai matavimai atlikti antrajame aukšte.

## **2.2.Darbuotojų apklausa**

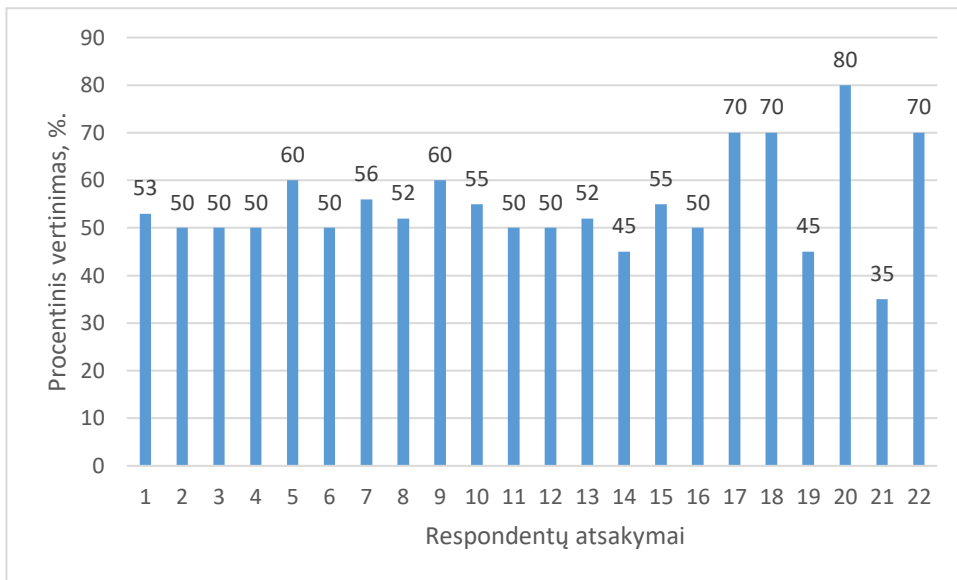
Norint nustatyti, kaip tyrimo objekto patalpų šiluminė aplinka veikia patalpose dirbančius žmones, jų sveikatą, komfortą, produktyvumą, asmeninius faktorius buvo atlikta darbuotojų apklausa. Darbuotojų apklausa raštu atlikta visuose trijuose aukštuose. Iš viso buvo užpildytos 22 anketos. 5-ios pirmajame, 9-ios antrajame ir 8-ios trečiajame aukšte. Kadangi pastate iš viso dirba 25 darbuotojai, pasiekta respondentų dalis yra 88 %. Bendras pastate apklaustųjų amžiaus vidurkis 31-eri metai. Apklausta 11 vyrų ir 11 moterų. Vidutiniškai respondentai darbe praleidžia iki 38 valandų per savaitę. Kadangi didžioji dalis darbuotojų į šį pastatą įsikėlė neseniai, o prieš tai dirbo kitose patalpose, sudarant apklausos anketą, buvo įtraukti klausimai apie šiluminės aplinkos sąlygas ne tik esamoje, bet ir ankstesnėje darbovietėje. Apklausos anketos pavyzdys pateikiamas 1-ame priede.

## **2.3.Apklausos rezultatai**

### **2.3.1.Informacija apie ankstesnę darbovietę**

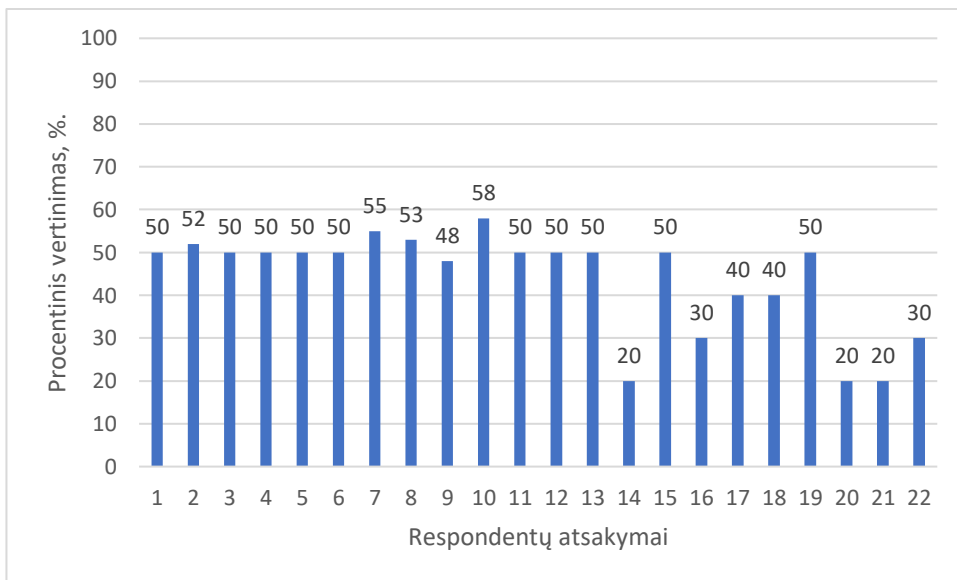
Prieš persikeliant į esamą biurų pastatą, apklaustieji dirbo patalpose, kurios taip pat buvo Vilniaus mieste. Pastarajame pastate buvo įrengta radiatorinė šildymo sistema su termostatais. Tačiau, pasak patalpose dirbusių darbuotojų, termostatai tinkamai nefunkcionavo, nes šildymo prietaisų temperatūra neatitiko nustatytos. Šilumos šaltinis – gamtinių dujų katilinė, įrengta prie pastato. Darbovietėje nebuvo įrengtos vėdinimo, vėsinimo bei drėkinimo sistemos. Šviežias oras į patalpas buvo tiekiamas per atidaromus langus. Patalpoje buvo itin sausas oras šildymo sezono metu, jaučiamas statinis krūvis, daugelis darbuotojų skųsdavosi išsausėjusiomis akimis, jaučiamas šviežio oro trūkumas, per didelis iš lauko sklindantis triukšmas dėl dažnai varstomų langų patalpai vėdinti. Vasaros laikotarpiu patalpa stipriai perkaisdavo.

Išanalizavus apklausos duomenis, paaiškėjo tokie papildomi neigiami aspektai ankstesnėje darbo vietoje: šviežio oro trūkumas, netinkama patalpos temperatūra (per karšta arba per šalta), per mažai atidaromų langų. Didžioji dalis respondentų teigia, kad temperatūra buvo tinkama dirbti – temperatūros sąlygų vidutinis procentinis vertinimas 57 %, kur 0 % – šalta, 50 % – neutralu, 100 % – karšta. Respondentų atsakymai pateikiami 11 pav.



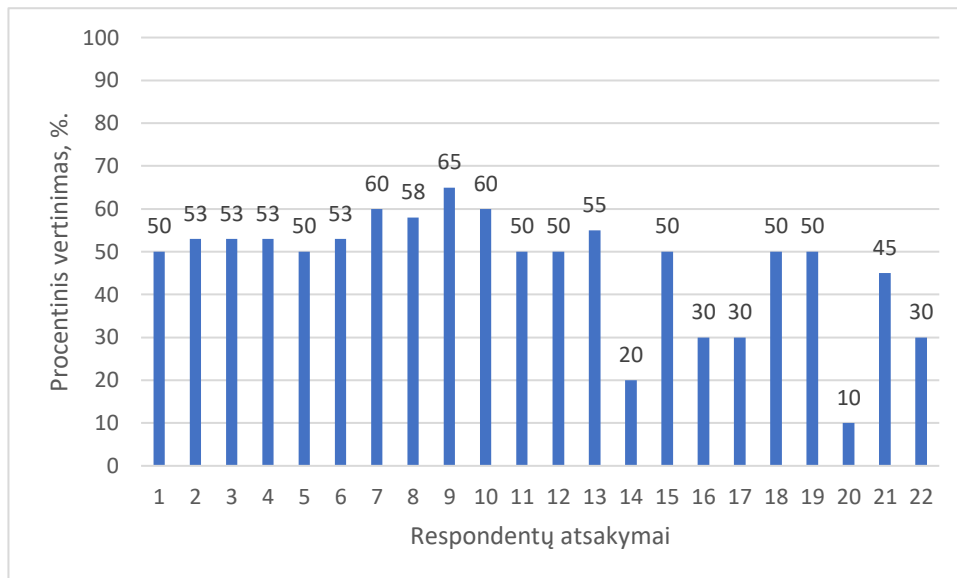
11 pav. Šiluminės aplinkos procentinis vertinimas skalėje nuo 0 - 100 %, kur 0 - šalta, 50 - neutralu, 100 – karšta

Oro kokybę įvertinta 44 %, kur 0 – labai prasta, 50 % – normali, 100 % – labai gera. Respondentų atsakymai pateikiami 12 pav.



12 pav. Oro kokybės procentinis vertinimas skalėje nuo 0 - 100 %, kur 0 - oro kokybė labai prasta, 50 - normali 100 - labai gera

Drėgmės sąlygas ankstesnėje darbovietėje įvertino 45 %, kur 0 % – sąlygos labai prastos, 50 % – sąlygos normalios, 100 % – labai geros. Respondentų atsakymai pateikiami 13 pav.

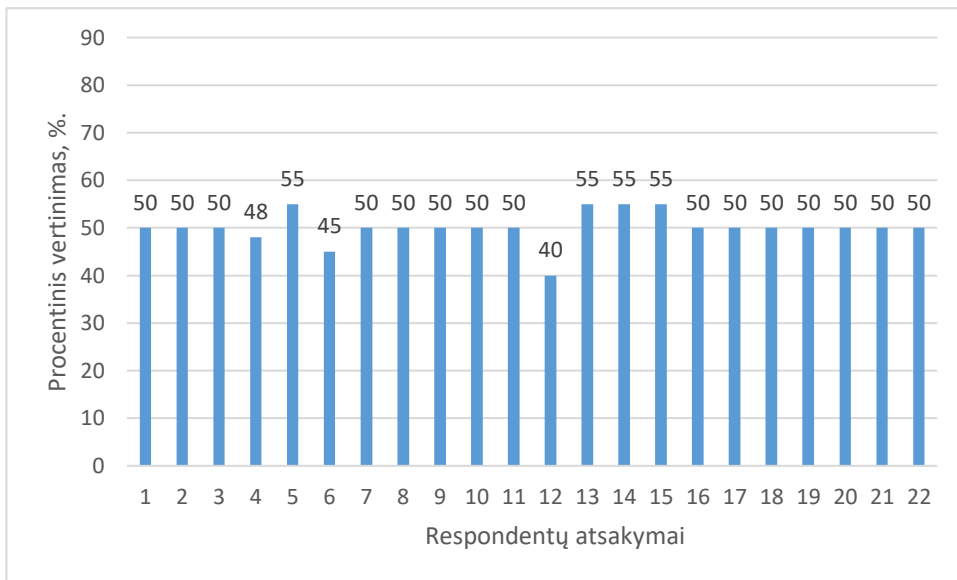


13 pav. Drėgmės sąlygų procentinis vertinimas skalėje nuo 0 - 100 %, kur 0 - drėgmės sąlygos labai prastos, 50 - normalios, 100 - labai geros

Didžioji dalis darbuotojų ankstesnėje darbo vietoje neturėjo galimybės reguliuoti oro temperatūros individualiai savo darbo vietoje. Į klausimą „Ar Jūs naudojote papildomus šildymo/vėsinimo prietaisus ankstesnėje darbovietėje?“ 6 respondentai iš 22 atsakė teigiamai. Dažniausiai naudoti šildymo / vėsinimo prietaisai: šildytuvai, ventiliatoriai, drėkintuvai. Didžioji dalis respondentų (16 iš 22 dalyvavusių apklausoje) skundėsi neturėję galimybės išvengti papildomos saulės spinduliuotės naudojant papildomus prietaisus. Tokią galimybę turėję sakė, kad naudojo užuolaidas, žaliuzes. Nei vienas iš apklaustųjų neturėjo galimybės reguliuoti oro drėgmės. Didžiosios dalies respondentų darbo vietose nebuvo galimybės drėkinti patalpos orą.

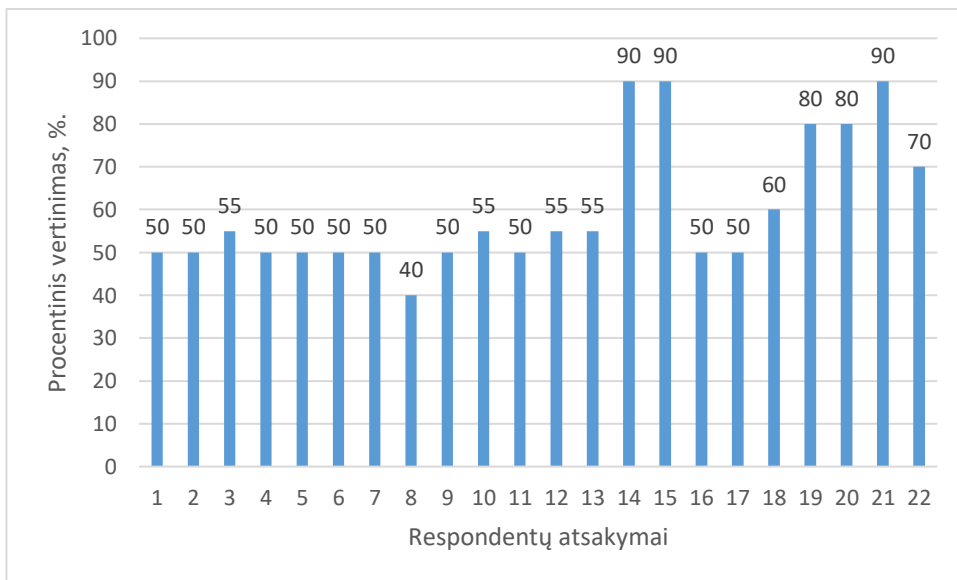
### 2.3.2. Informacija apie dabartinę darbovietę

Pagrindiniai neigiami aspektai dabartinėje darbo vietoje: susidarantis kondensatas prie langų apačios veikiant vėsinimui, dažnas patalpų perkaitimas itin saulėtomis dienomis. Didžioji dalis respondentų teigia, kad temperatūra buvo tinkama dirbti – temperatūros sąlygų procentinis vertinimas 49 %, kur 0% – šalta, 50% – neutralu, 100% – karšta. Respondentų atsakymai pateikiami 14 pav.



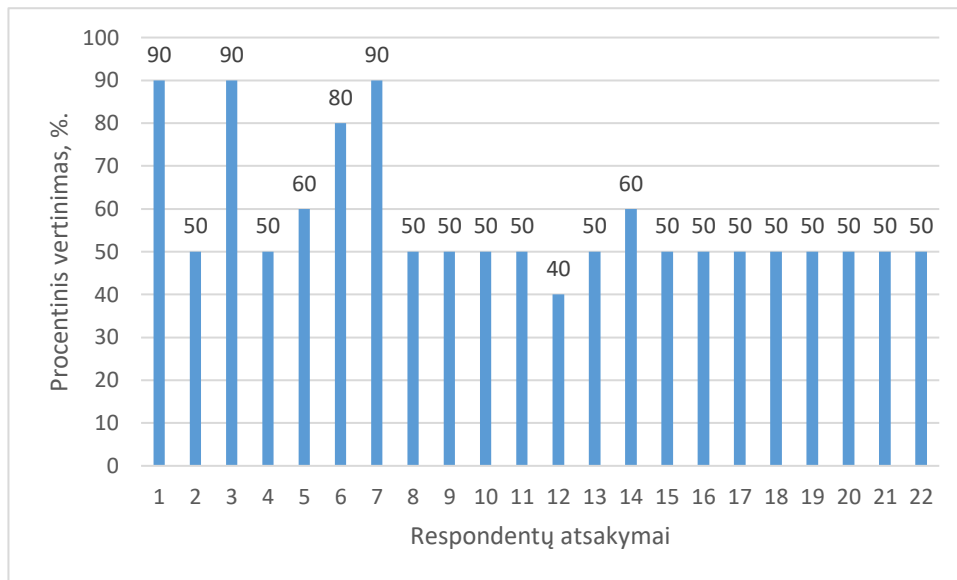
14 pav. Šiluminės aplinkos procentinis vertinimas skalėje nuo 0 - 100 %, kur 0 - šalta, 50 - neutralu, 100 – karšta

Oro kokybė įvertinta 61 %, kur 0 – labai prasta, 50 % – normali, 100 % – labai gera. Tačiau buvo nusiskundimų dėl oro gaidumo. Respondentų atsakymai pateikiami 15 pav.



15 pav. Oro kokybės procentinis vertinimas skalėje nuo 0 - 100 %, kur 0 - oro kokybė labai prasta, 50 - normali 100 - labai gera

Drėgmės sąlygas dabartinėje darbovietėje respondentai įvertino 58 %, kur 0 % – sąlygos labai prastos, 50 % – sąlygos normalios, 100 % – labai geros. Respondentų atsakymai pateikiami 16 pav.

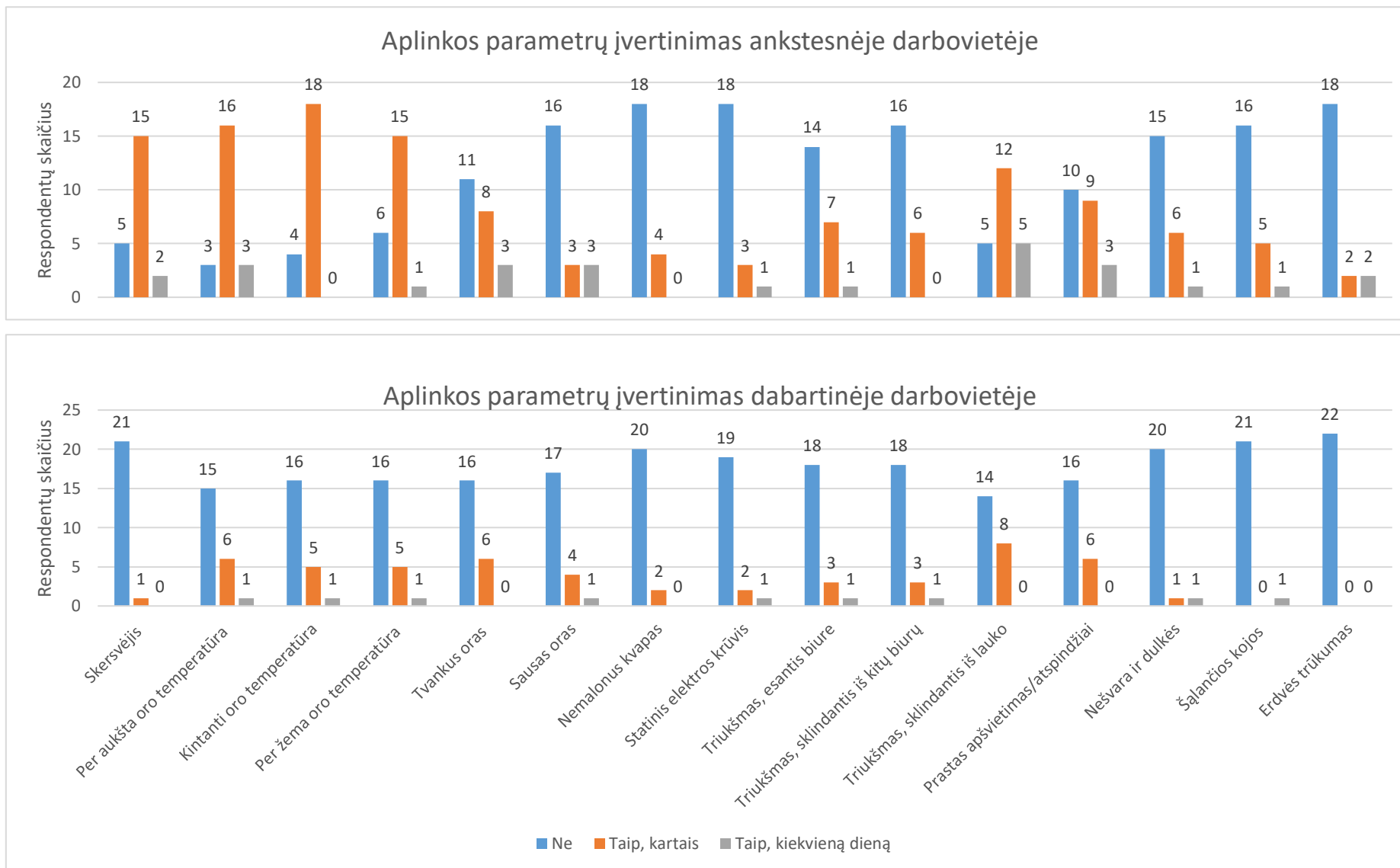


16 pav. Drėgmės sąlygų procentinis vertinimas skalėje nuo 0 - 100 %, kur 0 - drėgmės sąlygos labai prastos, 50 - normalios, 100 - labai geros

Visų trijų rodiklių vertinimai dabartinėje darbovietėje geresni nei buvusioje. Dabartinėje darbovietėje respondentai turi galimybę kontroliuoti temperatūrą bei oro drėgnį. Poreikio naudoti papildomus šildymo-vėsinimo prietaisus nėra. Didžioji dalis respondentų (21 iš 22 dalyvavusių apklausoje) skundėsi neturėję galimybės išvengti papildomos saulės spinduliuotės naudojant papildomus prietaisus. Respondentai teigė, kad tokie prietaisai padėtų jaustis komfortabiliau.

## 2.4. Aplinkos parametrų vertinimas

Norint sužinoti detalesnę informaciją apie patalpų mikroklimato sąlygas, buvo atliktas aplinkos parametrų įvertinimas. Išanalizavus gautus duomenis, buvo išsiaiškinta, kurie aplinkos parametrai dažniausiai sukelia darbuotojų diskomfortą dėl patalpų mikroklimato. Aplinkos parametrų vertinimo rezultatai pateikiami 17 pav.



17 pav. Aplinkos parametru vertinimas ankstesnėje ir dabartinėje darbovietėje



Lygindami aplinkos parametrų vertinimą ankstesnėje ir dabartinėje darbovietėje, galime teigti, jog net 81 % apklaustųjų ankstesnėje darbovietėje kartais buvo nepatenkinti besikeičiančia oro temperatūra. Dabartinėje darbovietėje besiskundžiančių kintančia oro temperatūra procentas sumažėjęs iki 23 %. 72 % apklaustųjų ankstesnėje darbovietėje teigė, jog kartais aplinkos temperatūra buvo per aukšta arba per žema. Dabartinėje darbovietėje šiuo parametru nepatenkintų skaičius sumažėjo iki 27 %. Net 68 % apklaustųjų teigė, jog kartais ankstesnėje darbovietėje jautė skersvėjų, tuo tarpu dabartinėje darbovietėje šiuo parametru skundėsi tik 4 % apklaustųjų. Galime daryti išvadą, jog šiluminės aplinkos parametrai dabartinėje darbovietėje buvo įvertinti geriau nei ankstesnėje ir neturi tokios didelės neigiamos įtakos darbuotojų šiluminiam komfortui. Tačiau dalis respondentų vis dar skundžiasi triukšmu, sklindančiu iš lauko, bei prastu apšvietimu / atspindžiais.

## 2.5.Šiluminės aplinkos parametrų eksperimentiniai matavimai

### 2.5.1.Trumpalaikiai matavimai

#### Paviršių temperatūros matavimas

Atliktas paviršių temperatūrų matavimas. Skirtingose zonose matavimai buvo pakartoti 5 kartus ir apskaičiuotas išmatuotų verčių vidurkis. Matavimo rezultatai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Paviršių temperatūros

Paviršius	1 matavimas °C	2 matavimas °C	3 matavimas °C	4 matavimas °C	5 matavimas °C	Matavimų verčių vidurkis, °C
Grindys	23,7	23,2	22,9	23	22,7	23,1
Sienos	23	23,3	23,4	23,6	23,7	23,4
Langai	22,7	23,8	27	24	23,6	24,2
Lubos	23,6	23,6	23,5	23,6	23,4	23,5

Pagal matavimo rezultatus galime daryti išvadą, jog šilumos pasiskirstymas patalpoje yra tolygus ir perkaitusių paviršių eksperimento metu nebuvo rasta.

#### Oro judėjimo greitis

Atliktas oro judėjimo greičio patalpoje matavimas. Remiantis higienos normomis [3], matavimai atlikti patalpos viduryje matuojant trijuose skirtinguose aukščiuose: 0,1 m., 1,1 m., 1,7 m. Matavimai pakartoti du kartus, kai patalpoje buvo darbuotojai ir kai darbuotojų nebuvo. Matavimo rezultatai pateikiami 2 ir 3 lentelėse.

2 lentelė. Oro judėjimo greičio suvestinė, kai patalpoje yra darbuotojai

Oro temperatūros ir judėjimo greičio suvestinė			
	Matavimo aukštis, m	Oro temperatūra, °C	Oro judėjimo greitis, m/s
1 zona	0,1	24,4	0,1
	1,1	24,5	0,07
	1,7	24,6	0,02
2 zona	0,1	24,5	0,1
	1,1	24,4	0,07
	1,7	24,3	0,05
3 zona	0,1	24,2	0,11
	1,1	23,9	0,15
	1,7	23,9	0,06

3 lentelė. Oro judėjimo greičio suvestinė, kai patalpoje nėra darbuotojų

<b>Oro temperatūros ir judėjimo greičio suvestinė</b>			
	<b>Matavimo aukštis, m</b>	<b>Oro temperatūra, °C</b>	<b>Oro judėjimo greitis, m/s</b>
<b>1 zona</b>	0,1	25	0,01
	1,1	24,8	0,01
	1,7	24,7	0,02
<b>2 zona</b>	0,1	24,5	0,01
	1,1	24,1	0,01
	1,7	24,1	0,02
<b>3 zona</b>	0,1	24	0,01
	1,1	23,8	0,02
	1,7	23,9	0,02

Remiantis norminiais dokumentais [3], šiluminio komforto sąlygomis oro judėjimo greitis patalpoje neturėtų būti didesnis kaip 0,1 m/s. Pagal gautus matavimo rezultatus galime teigti, jog oro judėjimo greičiai neviršija norminių. Oro temperatūros skirtumai skirtinguose aukščiuose neviršija leistinų.

### **DR indeksas**

Skersvėjis – vienas iš šiluminio diskomforto reiškinių, kurį galima apibūdinti kaip nepageidaujamą kūno paviršiaus vėsinimą, susidarantį judant orui. Jis išreiškiamas žmonių, nepatenkintų skersvėju, procentu, žymimu DR. Patalpos viduryje, trijuose skirtinguose aukščiuose (0,1 m., 1,1 m., 1,7 m.) 3 minutes buvo fiksuojami oro judėjimo greičio pokyčiai. Pagal gautus rezultatus apskaičiuotas žmonių, nepatenkintų dėl skersvėjo procentas pagal 1 formulę:

$$DR = (34 - t_{oro})(\bar{v}_{oro} - 0,05)^{0,62}(0,37 \times \bar{v}_{oro} \times T_u + 3,14), \quad (1)$$

$t_{oro}$  – oro temperatūra, °C;

$\bar{v}_{oro}$  – vidutinis oro judėjimo greitis per 3 minučių laikotarpį, m/s;

$T_u$  – turbulentiškumo intensyvumas, apskaičiuojamas pagal formulę:  $T_u = \frac{100 \times SN}{\bar{v}_{oro}}$ ;

$SN$  – standartinis nuokrypis, apskaičiuojamas pagal formulę:  $SN = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}}$ ;

Skaičiavimo rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lent. Darbuotojų nepasitenkinimas susidarančiu skerspjūviu procentais

<b>Aukštis, m.</b>	0,1	1,1	1,7
<b>DR, %</b>	14,18	10,40	0,64

Pagal apskaičiuotus rezultatus galime pastebėti, kad nepatenkintų skersvėju skaičius nebuvo itin didelis ir didelės įtakos mikroklimato vertinimui neturi (maksimali leistina DR indekso vertė yra 15 %). Eksperimentinio matavimo metu gauti duomenys patvirtino apklausus rezultatus, kur respondentų, nepatenkintų skersvėju, dalis siekė vos 4 %.

### Oro kokybė

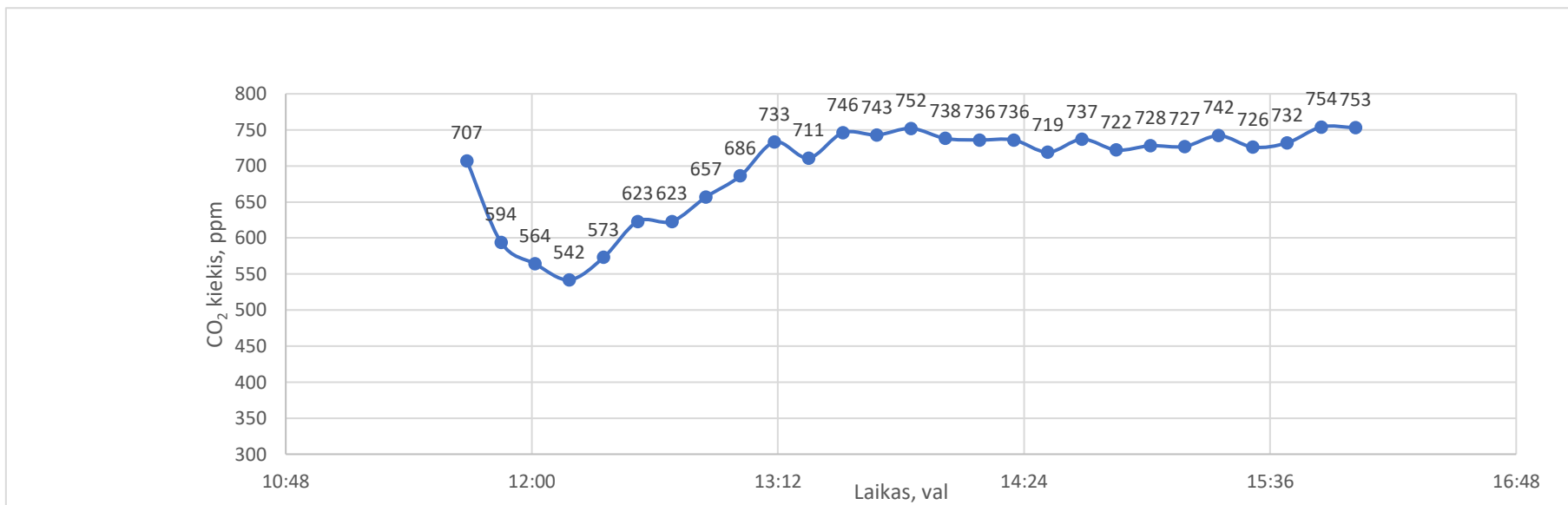
Tiek ankstesnėje, tiek dabartinėje darbovietėje respondentai skundėsi oro kokybe. Dažniausiai pasikartojantys nusiskundimai: tvankus oras, sausas oras, nemalonūs kvapai. Buvo respondentų, kurie teigė, kad trūksta gaivaus oro.

Eksperimento metu patalpoje buvo matuojama CO<sub>2</sub> koncentracija patalpos ore. Matavimo procesas pavaizduotas 18 pav.



18 pav. CO<sub>2</sub> rodiklio matavimas

Matavimus atlikome 5 valandas. Rezultatai buvo fiksuoti kas 10 minučių. Rodiklio kitimas pavaizduotas diagramoje (žr. 19 pav.).



19 pav. CO<sub>2</sub> koncentracijos kitimas per 5 valandų laiko tarpą

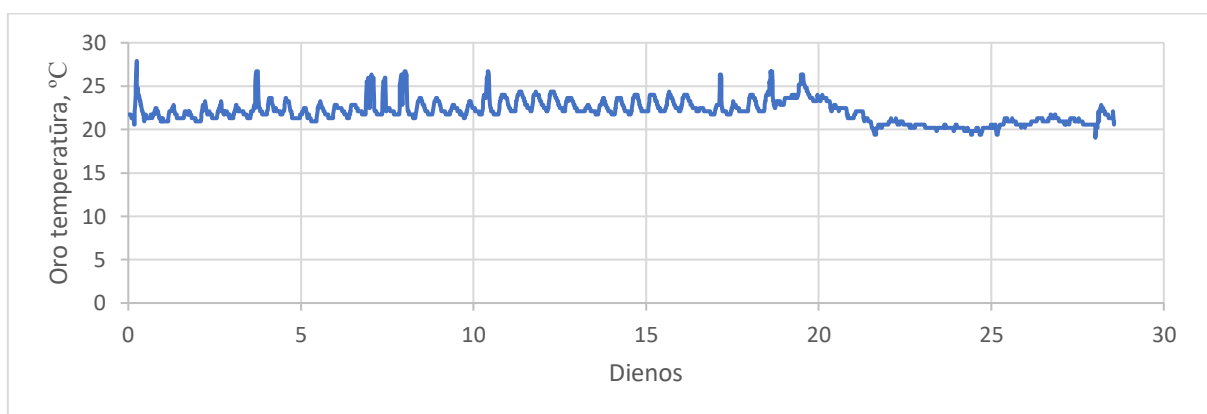
Iš pateiktos diagramos galime matyti, kad, atliekant matavimus, CO<sub>2</sub> koncentracija ore nusistovi ir svyruoja 700 – 800 ppm ribose. Galime daryti išvadą, jog CO<sub>2</sub> koncentracija ore neviršijo leistinos 1000 ppm ribos.

## 2.5.2. Ilgalaikiai matavimai

### Kaupiklių informacija

Patalpos viduje buvo palikti du HOBO Temp / RB kaupikliai, kurie kaupė duomenis apie temperatūros svyravimus, santykinio drėgumo pokytį patalpoje. Kaupikliai buvo palikti dviejose skirtingose pozicijose: 1,1 metrų aukštyje prie įėjimo į patalpą bei 1,1 metrų aukštyje patalpos viduryje. Kaupiklių pozicijos eksperimento metu pateiktos brėžiniuose. Duomenys buvo kaupiami nuo 2017 metų liepos 10 iki rugpjūčio 10 dienos, duomenų išsaugojimo intervalas – 10 minučių. Rezultatų analizėje naudojami dviejų kaupiklių sukauptų duomenų vidurkiai.

Duomenų analizė parodė, kad vidutinė patalpos oro mėnesio temperatūra siekia 22,11 °C. Temperatūros svyravimus bėgant laikui galime matyti 20 pav.



20 pav. Mėnesiniai oro temperatūros svyravimai patalpoje

Temperatūra kito 19 °C ir 27 °C diapazone.

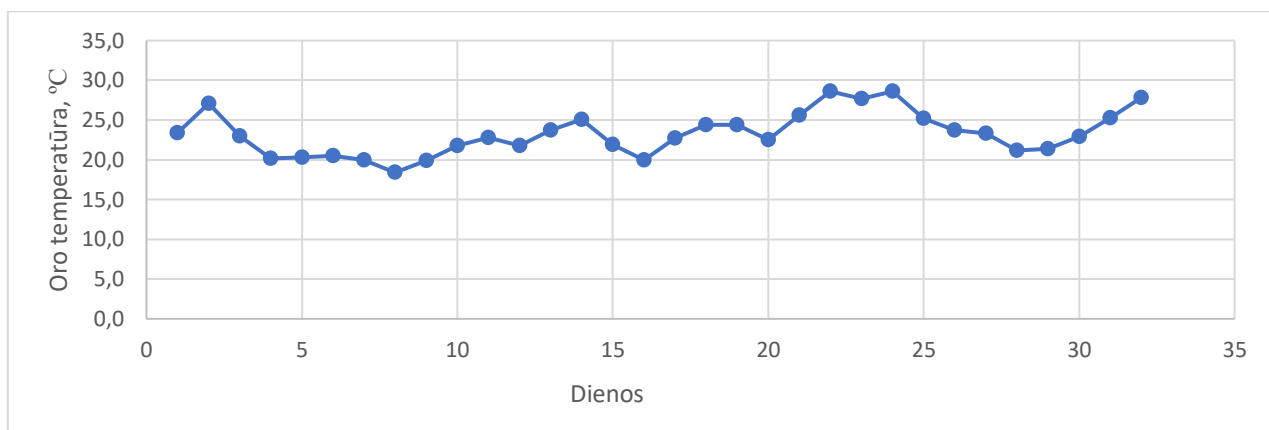
Vidutinė santykinio drėgumo reikšmė patalpoje siekia 58,53 %. Santykinio drėgumo svyravimus bėgant laikui galime matyti 21 pav.



21 pav. Mėnesiniai santykinio drėgumo svyravimai patalpoje

Santykinis drėgnis kito tarp 35,1 % ir 79,4 %.

Lauko oro temperatūros svyravimo duomenys buvo gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos. 22 pav. pateikiama maksimali lauko oro temperatūra užfiksuota kiekvieną dieną laikotarpyje nuo liepos 10 iki rugpjūčio 10 dienos.



22 pav. Mėnesiniai maksimalios lauko oro temperatūros svyravimai

## 2.6. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Remdamiesi atliktos apklausos rezultatais, galime išskirti tokius pagrindinius neigiamus aspektus, nulemiančius žmonių patiriamo diskomforto susidarymą darbo vietoje:

- nepastovi oro temperatūra;
- prastas apšvietimas / atspindžiai;
- netenkinanti oro kokybė;
- triukšmas sklindantis iš lauko (vasaros metu atidarant langus, kai temperatūra patalpoje per didelė);

Atlikus patalpos paviršių temperatūros matavimą, pastebėta, jog per didelių temperatūros svyravimų, perkaitusių paviršių nėra.

Oro judėjimo greičiai skirtinguose aukščiuose atitinka norminius ir nesukelia papildomo diskomforto darbuotojams. Oro temperatūros skirtumai skirtinguose aukščiuose neviršija leistinų.

Apskaičiavus nepatenkintų skersvėju rodiklį DR, buvo pastebėta, kad nepatenkintųjų skersvėju procentinė dalis yra maža ir neviršija leistinos 15 % ribos. Apskaičiuoti rezultatai sutapo su duomenimis, gautais atlikus darbuotojų apklausą.

Atlikus CO<sub>2</sub> kiekio nustatymo patalpoje tyrimą, nustatyta, jog patalpoje anglies dioksido kiekis nusistovi tarp 700 – 800 ppm. Šis kiekis neviršija leistinos 1000 ppm ribos.

Išanalizavus kaupiklių sukauptus duomenis, matyti, jog mėnesio laikotarpyje patalpos oro temperatūra kito 19 °C ir 27 °C diapazone. Santykinis drėgnis kito tarp 35,1 % ir 79,4 %. Pagal higienos normas [3] šiluminio komforto sąlygoms sukurti viršutinė temperatūros norminė riba, atliekant Ia kategorijos sunkumo darbą, neturėtų viršyti 25 °C, o santykinis drėgnis neturėtų būti didesnis nei 60 %. Galima daryti išvadą, jog išmatuotos vertės dalinai viršijo leistinas normines vertes.

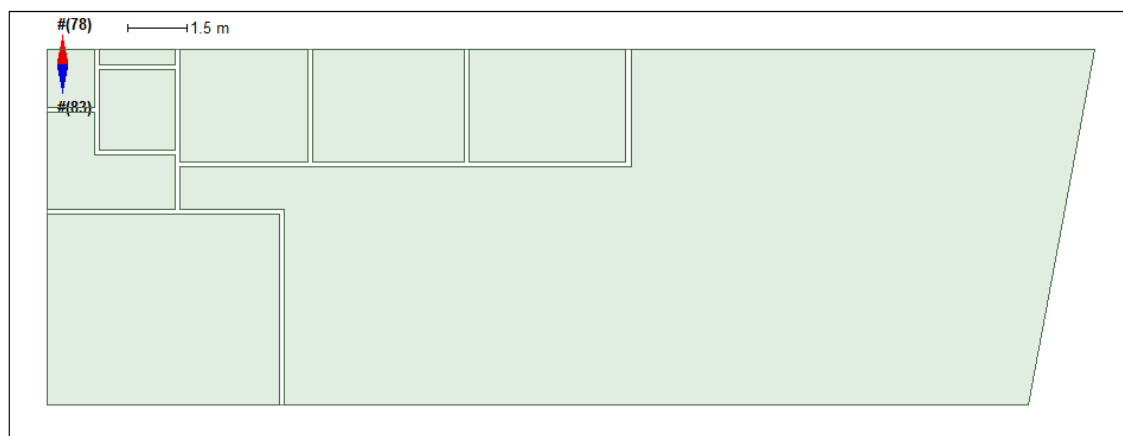
Apibendrinus tyrimo metu gautus rezultatus, galime teigti, jog patalpoje sukuriama tinkama šiluminė aplinkos sąlyga, leidžiančios darbuotojams jaustis komfortabiliai darbo vietoje.



### 3.KOMPIUTERINIS MODELIAVIMAS

#### 3.1.Modelio kūrimas

Remiantis nagrinėjamo biurų pastato architektūriniais brėžiniais, sukurtas identiškas pastato modelis programinės įrangos „IDA ICE“ aplinkoje. Programa skirta kurti patalpų mikroklimato modelius ir įvertinti energijos poreikius. Tipinis pastato aukšto planas pateikiamas 23 pav.



23 pav. Tipinis pastato aukšto planas programinės įrangos „IDA ICE“ aplinkoje

Programinės įrangos „IDA ICE“ aplinkoje sukurtas nagrinėjamo pastato 3D modelis pateikiamas 24 pav.



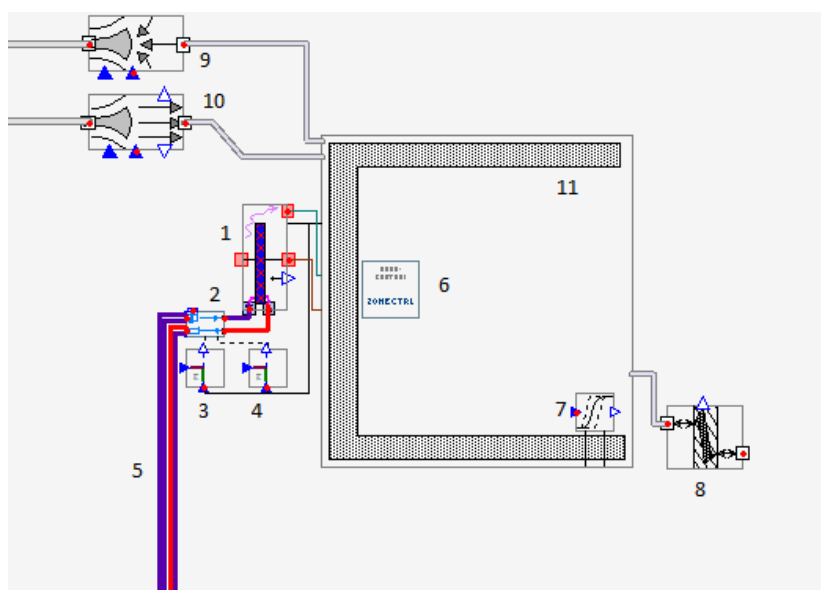
24 pav. Pastato 3D modelis programinės įrangos „IDA ICE“ aplinkoje

Kuriant modelį, buvo pasirinkta objekto vietovė – Vilnius. Pagal pasirinktą vietovę sistema parenka atitinkamus klimato parametrus. Modelis suskurtas įvertinant jį supančius pastatus, pastato

padėti pasaulio šalių kryptių atžvilgiu, pastatui tenkančią saulės spinduliuotę, pastato sienų, grindų, perdangų konstrukcijas, langus, duris bei jų šiluminio laidumo savybes. Taip pat buvo nustatytas atitinkamas darbuotojų skaičius, fizinis aktyvumas ir laiko praleidimas patalpoje.

### 3.2. Sukurto modelio patikimumo analizė

Norint įsitikinti, jog sukurtas modelis yra patikimas atlikti tolimesnius skaičiavimus, modelyje buvo sukurta identiška paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema, kokia yra suprojektuota ir nagrinėjamame pastate. Modelyje, kaip ir realiame objekte, patalpos šildomos grindimis, vėsinamos lubomis. Modelyje suprojektuotas grindinis šildymas, lubinės plokštės vėsinimui. Principinė paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos valdymo schema pateikiama 25 pav. Prietaisų išdėstymo planas patalpoje pateikiamas brėžiniuose. Patalpų temperatūra reguliuojama pagal lauko oro temperatūrą bei termostatus darbo vietose. Jei nepasirinkta specifinė patalpos temperatūra, vėsinimas patalpose įsijungia tuomet, kai patalpoje temperatūra pasiekia 23 °C. Temperatūrai fiksuoti patalpose suprojektuoti temperatūros jutikliai, sujungti su pagrindiniu valdymo skydeliu. Remiantis higienos normomis, modelyje parinktos temperatūros, kurias turi palaikyti sistema. Minimali temperatūra šildymo metu – 22 °C, maksimali temperatūra vėsinimo metu – 25 °C.



25 pav. Principinė paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos valdymo schema modelyje. 1 – šildymo / vėsinimo prietaisas, 2 – šilumnešio srauto reguliatorius, 3 – šalto vandens temperatūros reguliatorius, 4 – karšto vandens temperatūros reguliatorius, 5 – tiekiamojo ir grįžtamojo šilumnešio vamzdynas, 6 – valdymo skydelis, 7 – patalpos mikroklimato parametrų matavimo skydelis, 8 – lauko oro parametrų matavimo skydelis, 9 – oro ištraukimas, 10 – oro tiekimas, 11 – patalpos zona.

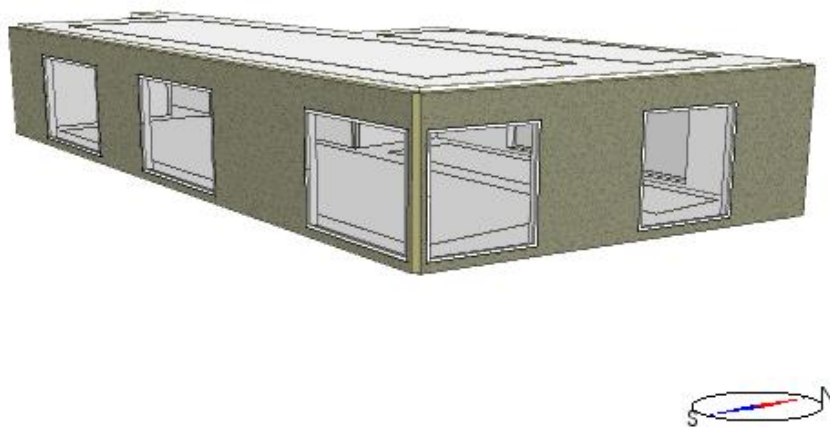
Naudojant kompiuterinę programą buvo sukurtas šildymo-vėsinimo sistemos skaitinis modelis ir atlikta sistemos veikimo simuliacija vienu metų periode, kuomet reikalingas tiek šildymas, tiek vėsinimas. Naudojant programą, buvo apskaičiuoti metiniai energijos poreikiai šildymui ir vėsinimui. Rezultatai pateikiami 5 lentelėje.

5 lent. Metinis energijos poreikis

	<b>Metinis energijos poreikis šildymui, MWh</b>	<b>Metinis energijos poreikis vėsinimui, MWh</b>
<b>Modelio duomenys</b>	51,682	17,596
<b>Realūs duomenys</b>	48,160	10,986

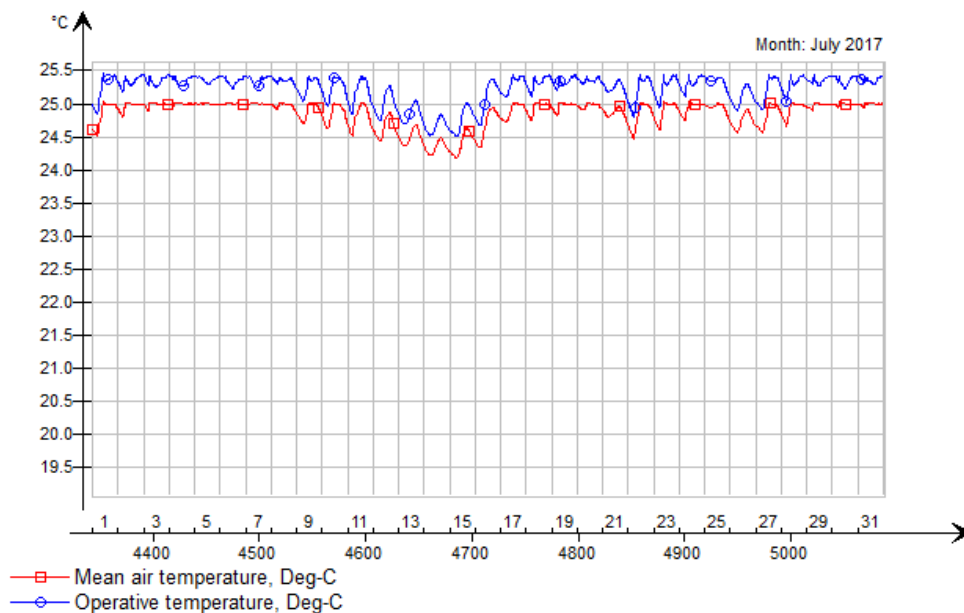
Lyginant simuliacijos metu apskaičiuotus metinės energijos sąnaudas pastato šildymui ir vėsinimui su realiais duomenimis, gautais iš įmonės, įsikūrusios nagrinėjamame objekte, galima teigti, jog modelio simuliacijos metu gauti rezultatai yra panašūs į realius. Modelyje apskaičiuoto metinio energijos poreikio šildymui neatitikimas nuo realių duomenų 4 %, vėsinimui – 28 %. Apskaičiuojant metinius energijos poreikius, netikslumai nuo realių duomenų galėjo atsirasti dėl daugybės faktorių, kurių, modeliuojant pastatą, sunku išvengti (metinė lauko oro temperatūra, patalpų temperatūra, darbuotojų temperatūros reguliavimo įpročiai, saulės spinduliuotė ir kt.).

Toliau pateikiami programos apskaičiuoti elementai, turintys įtakos modelio šiluminiam komfortui. Pateikiama pagrindinės antro aukšto patalpos, kurioje buvo atliktas eksperimentas realybėje, skaitinio modelio duomenys. Patalpos modelis pateikiamas 26 pav.



26 pav. Antro aukšto pagrindinė patalpa

Vidutinės liepos mėnesio (pastarąjį mėnesį buvo atliekami ilgalaikiai matavimai tyrimo objekte) oro temperatūros svyravimai patalpoje pateikiami 27 pav.



27 pav. Liepos mėnesio vidutinės temperatūros svyravimai pagrindinėje patalpoje

Vidutinė patalpos mėnesio oro temperatūra siekia 24,86 °C. Mėnesio laikotarpyje minimali patalpos oro temperatūra siekė 24,34 °C, maksimali – 25 °C. Vykdyto eksperimento metu atliekant ilgalaikius matavimus, buvo gauti duomenys, jog vidutinė patalpos oro temperatūra liepos mėnesį buvo 22,11 °C. Mėnesio laikotarpyje minimali patalpos oro temperatūra siekė 19 °C, maksimali – 27 °C.

Vidutinė santykinio drėgnumo reikšmė modelio pagrindinėje patalpoje 60,62 %, o išmatuota eksperimento metu siekia 58,52 %.

Maksimali anglies dioksido kiekio modelio pagrindinėje patalpoje siekia 638,6 ppm, o eksperimento mato anglies dioksido kiekio patalpos ore reikšmė svyravo 700-800 ppm ribose.

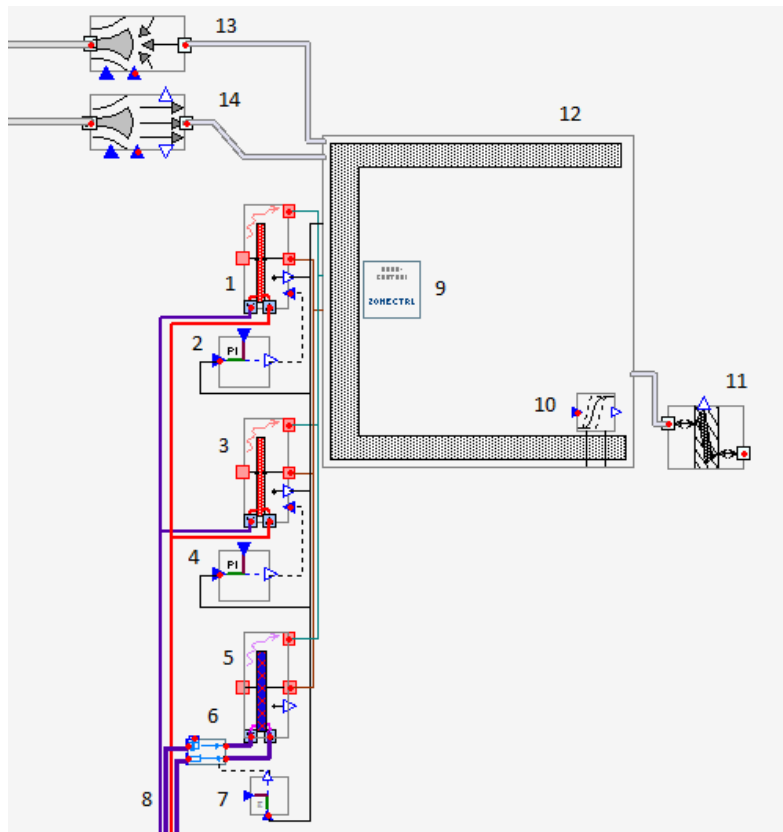
Lygindami modelio simuliacijos metu gautus duomenis su gautais eksperimento metu, galime teigti, kad didžioji dalis šiluminės aplinkos parametrų sukurtame modelyje daliniai atitinka realaus eksperimento metu gautus duomenis patalpoje.

Įvertinę modelio simuliacijos metu gautą metinių energijos sąnaudų šildymui ir vėsinimui poreikį ir šiluminės aplinkos parametrų atitikimą su eksperimento metu gautais rezultatais, galime teigti, jog modelis yra patikimas atlikti tolimesnes simuliacijas modelyje.

### 3.3. Skirtingos šildymo ir vėsinimo sistemos sukurtame modelyje

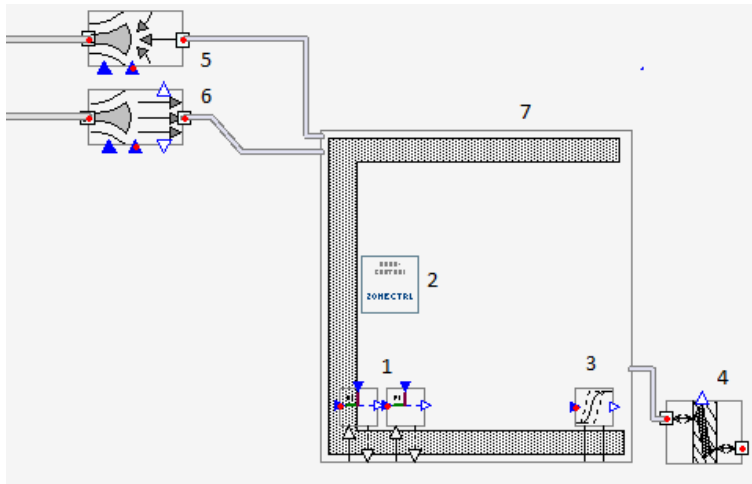
Modelyje buvo sukurtos 3 skirtingos šildymo ir vėsinimo sistemos: prieš tai jau aptarta paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema, radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema bei orinio šildymo ir vėsinimo sistema.

Principinė radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemos valdymo schema pateikiama 28 pav. Prietaisų išdėstymo planas patalpoje pateikiamas brėžiniuose.



28 pav. Principinė radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemos valdymo schema modelyje. 1,3 – radiatorius, 2,4,7 – valdiklis, 5 – vėsinimo panelė, 6 – srauto reguliatorius 8 – sistemos vamzdynas, 9 – valdymo skydelis, 10 – patalpos mikroklimato parametrų matavimo skydelis, 11 – lauko oro parametrų matavimo skydelis, 12 – patalpos zona, 13 – oro ištraukimas, 14 – oro tiekimas.

Principinė orinio šildymo ir vėsinimo sistemos valdymo schema pateikiama 29 pav. Prietaisų išdėstymo planas patalpoje pateikiamas brėžiniuose.



29 pav. Principinė orinio šildymo ir vėsinimo sistemos valdymo schema modelyje. 1 – valdikliai, 2 – valdymo skydelis, 3 – patalpos mikroklimato parametrų matavimo skydelis, 4 – lauko oro parametrų matavimo skydelis, 5 – oro ištraukimas, 6 – oro tiekimas, 7 – patalpos zona.

### 3.4.Sukurtų šildymo ir vėsinimo sistemų modelyje palyginimas

#### 3.4.1.Metinio energijos šildymui ir vėsinimui poreikio vertinimas

Su visomis trimis modelyje sukurtomis sistemos buvo atlikta metinė modelio simuliacija, kurios metu patalpos yra tiek šildomos, tiek vėsinamos. Atliekant simuliacijas su skirtingomis sistemomis visur buvo išlaikytos nustatytos pradinės minimalios ir maksimalios patalpos temperatūros, patalpų užimtumas, darbuotojų skaičius ir mikroklimato duomenys. Priklausomai nuo parinktos šildymo-vėsinimo sistemos tipo buvo sunaudojama skirtingi energijos kiekiai. Metinio energijos poreikio šildymui ir vėsinimui naudojant skirtingas sistemas poreikis pateikiamas 6 lentelėje.

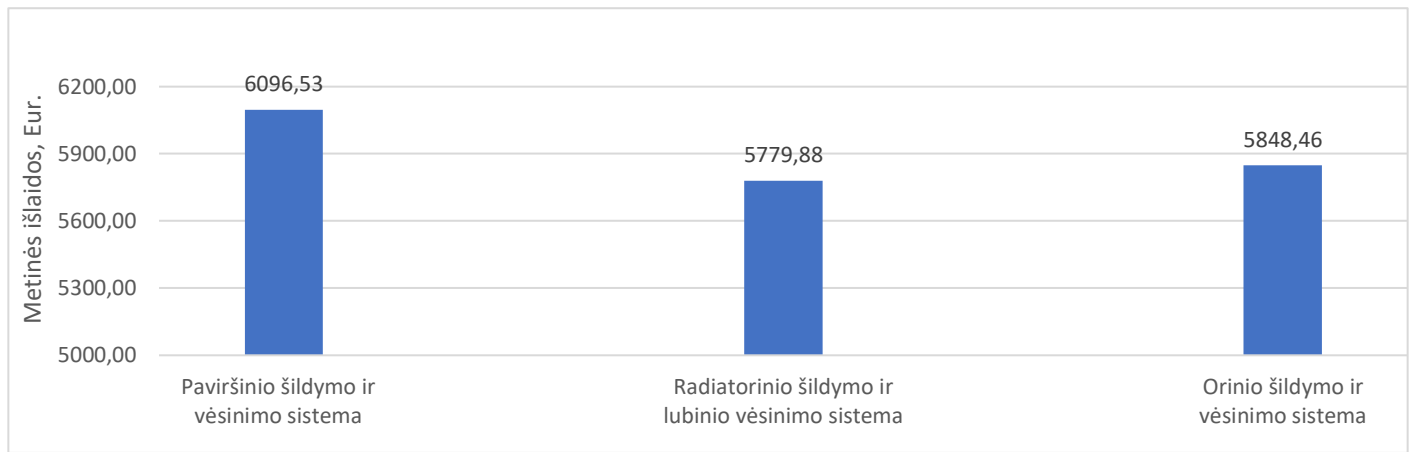
6 lent. Metiniai energijos poreikiai pastato šildymo ir vėsinimui

<b>Šildymo ir vėsinimo sistemos tipas</b>	<b>Metinis energijos poreikis šildymui, MWh</b>	<b>Metinis energijos poreikis vėsinimui, MWh</b>
Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema	51,682	17,596
Radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema	48,622	17,058
Orinio šildymo ir vėsinimo sistema	41,703	24,756

Pagal pateiktus duomenis lentelėje galime matyti, jog daugiausiai energijos šildymui (51,682 MWh) per metus sunaudojama taikant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemą, mažiausiai taikant orinio šildymo ir vėsinimo sistemą (41,703 MWh). Daugiausiai energijos vėsinimui (24,756 MWh) per metus sunaudojama taikant orinio šildymo ir vėsinimo sistemą, mažiausiai radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemą (17,058 MWh). Tačiau skirtumas tarp metinio energijos poreikio patalpų vėsinimui naudojant tris skirtingas modelyje sukurtas sistemas nėra didelis.

Palyginta, kokios būtų metinės išlaidos pastato šildymui ir vėsinimui naudojant šias sistemas. Įvertinus, jog 1 kWh kaina Lietuvoje - 0,088 Eur. [15], apskaičiuotos metinės išlaidos. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 30 pav.



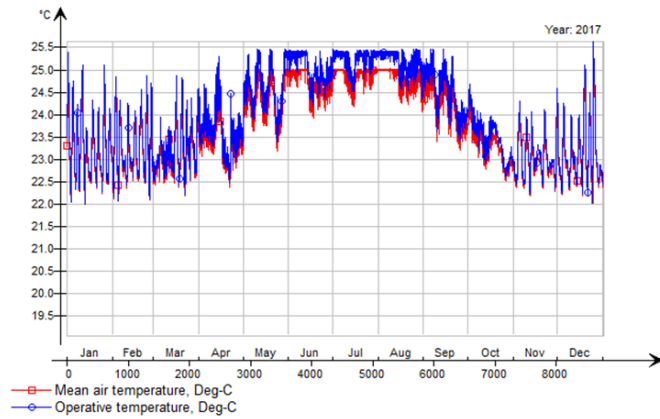


30 pav. Metinės išlaidos pastato šildymui ir vėsinimui

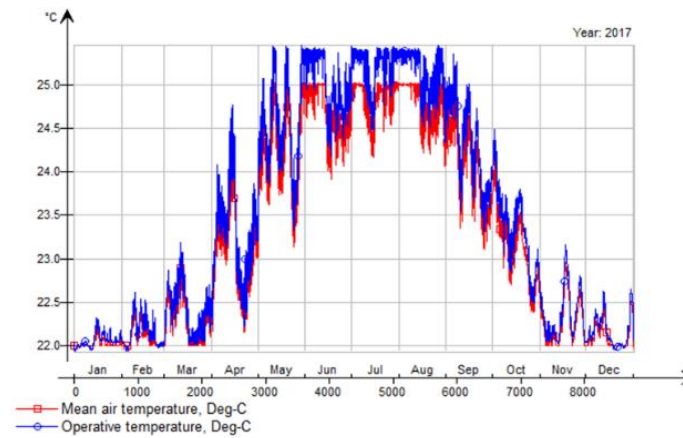
Iš 30 pav. matyti, jog pigiausia būtų taikyti radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemą, brangiausia – paviršinio šildymo-vėsinimo sistemą. Tačiau skirtumas tarp didžiausios kainos ir mažiausios nėra didelis – 315,65 Eur. per metus.

### 3.4.2. Šiluminės aplinkos parametrų vertinimas

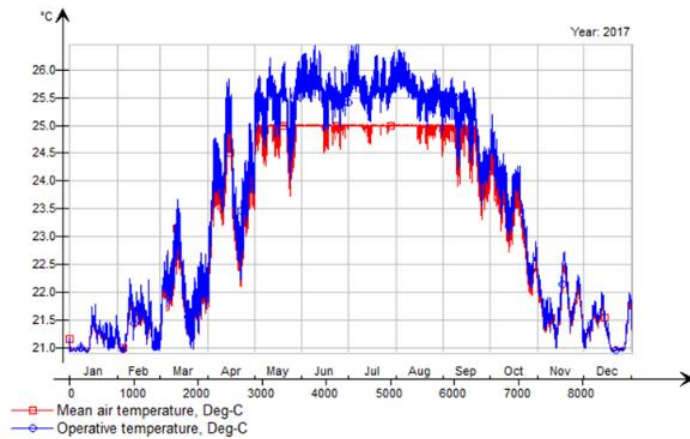
Veikiant skirtingai šildymo ir vėsinimo sistemai galimai skyrėsi ir vidutinė metinė patalpų temperatūra. Paveikslėliuose žemiau pateikiama patalpų vidutinės oro temperatūros kitimo grafikai metų laikotarpyje veikiant skirtingoms sistemoms.



31 pav. Metinės vidutinės oro temperatūros svyravimai patalpose veikiant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemai



32 pav. Metinės vidutinės oro temperatūros svyravimai patalpose veikiant radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemai



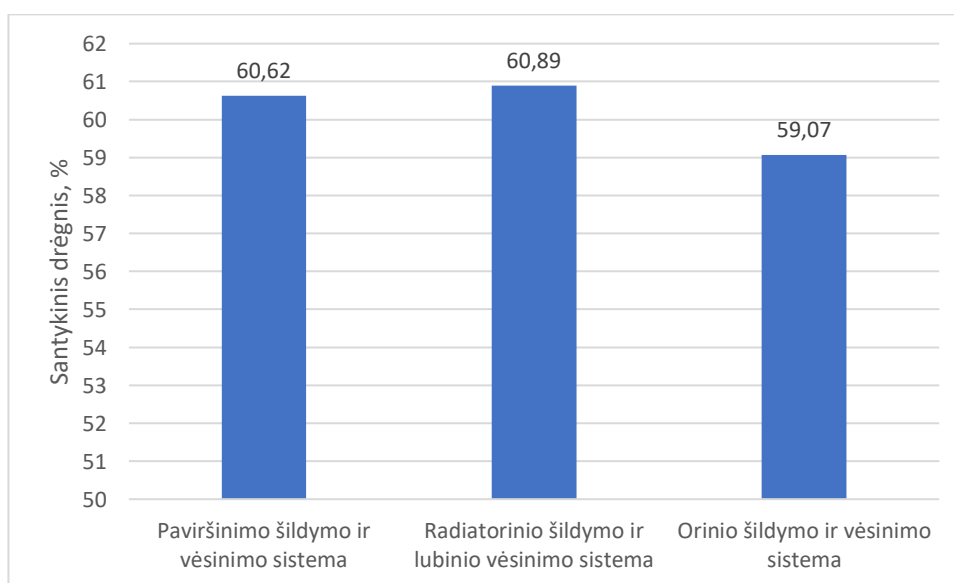
33 pav. Metinės vidutinės oro temperatūros svyravimai patalpose veikiant orinio šildymo ir vėsinimo sistemai.

Iš pateiktų diagramų galime daryti tokias išvadas apie metinius vidutinės temperatūros svyravimus patalpose:

- veikiant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemai, vidutinė patalpų metinė oro temperatūra siekė 23,74 °C, minimali patalpų oro temperatūra siekė 22,93 °C, maksimali – 24,86 °C;
- veikiant radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemai, vidutinė patalpų metinė oro temperatūra siekė 23,31 °C, minimali patalpų oro temperatūra siekė 22,03 °C, maksimali – 24,85 °C;
- veikiant orinio šildymo ir vėsinimo sistemai, vidutinė patalpų metinė oro temperatūra siekė 23,23 °C, minimali patalpos oro temperatūra siekė 21,13 °C, maksimali – 24,99 °C.

Lyginant metinės vidutinės patalpų temperatūros svyravimus, galime teigti, jog reikšmingų temperatūrinių skirtumų trijų skirtingų modelių simuliacijose nebuvo. Visose simuliacijose vidutinė metinė pagrindinės patalpos temperatūra buvo apie 23 °C. Vertinant minimalią ir maksimalią temperatūrą metų laikotarpyje didelių skirtumų nepastebėta. Galime daryti išvadą, jog visos trys šildymo-vėsinimo sistemos veikė sistemingai pagal užduotą išankstinę sąlygą modelyje, palaikyti minimalią 22 °C temperatūrą šildymo metu ir 25 °C maksimalią temperatūrą vėsinimo metu.

34 pav. pateikiamas vidutinio santykio drėgnio kiekio patalpose palyginimas.



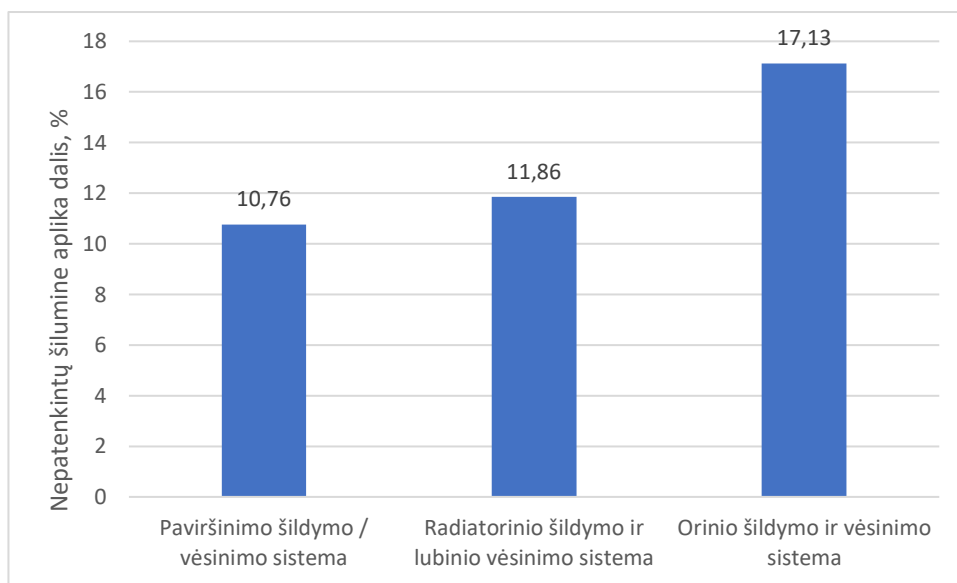
34 pav. Santykinio drėgnio svyravimai naudojant skirtingas sistemas

Iš diagramos matyti, kad naudojant skirtingas sistemas patalpose santykio drėgnio reikšmė išliko ženkliai nepakitusi.

### 3.4.3. Įtakos žmonių šiluminiam komfortui ir darbingumui vertinimas

Žmonių, kurie galimai yra nepatenkinti šilumine aplinka, skaičių apibūdina PPD rodiklis. Dažniausiai šis rodiklis naudojamas norint nustatyti tikėtiną procentą žmonių, kuriems bus per šalta

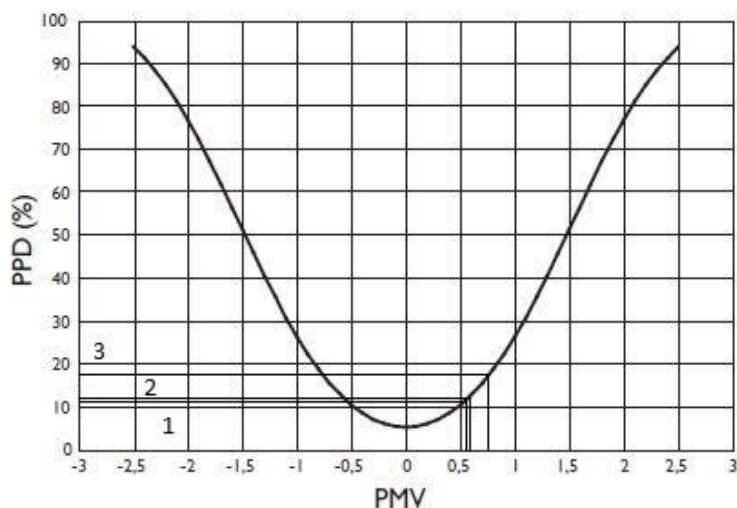
arba per karštą tam tikroje šiluminėje aplinkoje. Naudodami „IDA ICE“ programą gavome rezultatus, kokia maksimali dalis nepatenkintų žmonių buvo naudojant skirtingo tipo šildymo ir vėsinimo sistemas. Rezultatai pateikiami 35 pav.



35 pav. Maksimali nepatenkintų šilumine aplinka dalis, %

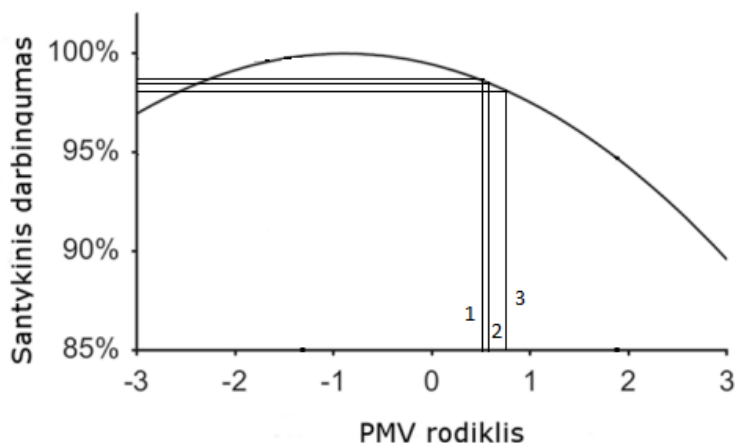
Pagal 18 pav. pateiktus duomenis galime daryti išvadą, kad patalpose esantys žmonės palankiausiai vertina šiluminę aplinką, kuomet patalpoje veikia paviršinio šildymo-vėsinimo sistema, o daugiausiai nusiskundimų turi, kuomet modelyje veikia orinio šildymo ir vėsinimo sistema.

Žinant žmonių, nepatenkintų šilumine aplinka, dalį procentais (PPD) veikiant skirtingoms šildymo ir vėsinimo sistemoms galime įvertinti žmonių darbingumo sumažėjimą. Darbingumo sumažėjimais procentais dėl nepasitenkinimo oro temperatūra įvertintas remiantis PPD rodiklio priklausomybe nuo PMV rodiklio (tikėtinas žmonių šiluminės aplinkos įvertinimo vidutinis dydis). PPD rodiklio priklausomybė nuo PMV rodiklio, kuomet modelyje veikia skirtinga šildymo ir vėsinimo sistema, pavaizduota 36 pav.



36 pav. PPD rodiklio priklausomybė nuo PMV rodiklio (1 – kai veikia paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema, 2 – kai veikia radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema, 3 – kai veikia orinio šildymo ir vėsinimo sistema)

Turėdami vidutines PMV reikšmes, galime įvertinti darbingumo sumažėjimą procentais dėl nepasitenkinimo oro temperatūra veikiant skirtingoms sistemoms. Santykinio darbuotojų darbingumo radimas pavaizduotas 37 pav.



37 pav. Santykinis darbuotojų darbingumas (1 – kai veikia paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema, 2 – kai veikia radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema, 3 – kai veikia orinio šildymo ir vėsinimo sistema)

Pagal 37 pav. matyti, jog didžiausias žmonių santykinis darbingumas (99 %) pasiekiamas, kuomet veikia paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema, mažiausias (97 %), kuomet patalpos šildomos ir vėsinamos veikiant orinei sistemai. Veikiant radiatoriniam šildymui ir lubiniam vėsinimui santykinis darbingumas siekia 98 %.

Pabandykime įvertinti, kaip žmonių darbingumas daro įtaką įmonės vykdymo verslo pelningumui. Mūsų nagrinėjamame pastate dirba 25 žmonės. Priimkime, jog vidutinis darbo užmokestis įmonėje siekia 1000 Eur. Tuomet atlyginimams per mėnesį bus išleidžiama 25 tūkst. Eur.

Skirtumas tarp darbuotojų santykinio darbingumo veikiant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemai bei orinio šildymo ir vėsinimo sistemai yra 2 %. Todėl pakeitus esamą pastate sistemą iš paviršinio šildymo ir vėsinimo į orinę būtų prarandama 500 Eur / mėn.

### 3.5. Modeliavimo rezultatų apibendrinimas

Išanalizavę visų trijų modelyje veikiančių šildymo ir vėsinimo sistemų simuliacijų metu gautus duomenis, galime apibendrinti rezultatus.

Daugiausiai energijos šildymui per metus sunaudojama taikant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemą (51,682 MWh), mažiausiai taikant orinio šildymo ir vėsinimo sistemą (41,703 MWh).

Daugiausiai energijos vėsinimui per metus sunaudojama taikant orinio šildymo ir vėsinimo sistemą (24,756 MWh), mažiausiai taikant radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemą (17,058 MWh).

Visos trys sistemos vienodai išlaiko patalpose tinkamą patalpos temperatūrą tiek šaltuoju, tiek šiltuoju metų laiku. Vidutinė metinė patalpų temperatūra modelyje, veikiant visoms trimis sistemoms, buvo 23 °C.

Vidutinio santykinio drėgnumo reikšmė veikiant skirtingoms sistemos išliko nepakitusi ir svyravo ties 60 % riba.

Vertinant žmonių, nepatenkintų šilumine aplinka, rodiklį PPD, pastebėta, jog žmonės palankiausiai vertina šiluminę aplinką, kuomet veikia paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema (10,76% nepatenkintų), o daugiausiai nusiskundimų turi, kuomet modelyje veikia orinio šildymo ir vėsinimo sistema (17,13 %).

#### 4.EKONOMINIS VERTINIMAS

Norėdami įvertinti, kokio tipo sistemą vertingiausia projektuoti pastate, palyginsime, kiek investicijų reiktų skirtingų sistemų įrengimui bei lėšų sistemų priežiūrai ir eksploatacijai. Ekonominį vertinimą atliksime 30-ies metų laikotarpiui.

Įmonės „Uponor“ atstovai, įgyvendinę paviršinio šildymo-vėsinimo sistemos projektą nagrinėjamame pastate suteikė informaciją, jog tokios sistemos kaina pastate buvo 18 000 Eur. (įskaičiuojant darbų kainą).

Preliminari radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemos kaina tokiam pastatui būtų 11 326 Eur.

Preliminari orinio šildymo ir vėsinimo sistemos tokiam pastatui būtų 10 600 Eur.

Detalūs sistemų kainų skaičiavimai pateikiami prieduose. Skaičiuojant skirtingų sistemų kainas, priimta, kad į bendras sistemų kainas neįskaičiuojama šilumos šaltinio kaina. Orinio šildymo ir vėsinimo sistema veikia su ventiliatoriniais konvektoriais ir nėra susieta su pastato vėdinimo sistema, todėl vamzdymo įrengimo kaštai skaičiuojant bendrąją sistemos kainą nevertinami. Prietaisų kainos parinktos remiantis vidutinėmis kainomis gamintojų internetiniuose puslapiuose [16], [17], [18].

Atliekant ekonominį vertinimą, priimta, jog paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema tarnaus 30 metų, radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema – 20 metų, o orinio šildymo ir vėsinimo sistema 15 metų. Duomenys, apie skirtingų sistemų tarnavimo laikotarpius, pateikiami prieduose.

Kiekvienai sistemai reikalinga priežiūra, detalių keitimas, atnaujinimas ir kita. Pagal preliminarius duomenis paskaičiuota, kiek išlaidų reikės kiekvienos sistemos eksploatacijai. Skaičiuojant išlaidas eksploatacijai, buvo įvertinta tai, jog kai kurias sistemas reikės iš naujo įrengti joms nusidėvėjus po galimo tarnavimo laiko.

Taip pat, žinant metines išlaidas šildymui ir vėsinimui naudojant kiekvieną sistemą, paskaičiavome, kaip išaugs išlaidos energijai 30 metų laikotarpyje.

Apibendrinti skaičiavimo rezultatai pateikiami 7 lentelėje.



7 lentelė. Šildymo ir vėsinimų sistemų ekonominio vertinimo rezultatai.

	<b>Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema</b>	<b>Radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema</b>	<b>Orinio šildymo ir vėsinimo sistema</b>
Sistemos kaina, tūkst. Eur.	18,000	11,326	10,600
Tarnavimo trukmė, metais	30	20	15
Metinės išlaidos eksploatacijai nuo pradinių investicijų, proc.	1%	2%	4%
Metinės išlaidos eksploatacijai, Eur.	180	226,52	424
Išlaidos sistemos priežiūrai 30-ies metų laikotarpyje, tūkst. Eur.	5,400	10,570	23,320
Išlaidos energijai pastato šildymui / vėsinimui 30-ies metų laikotarpyje, tūkst. Eur.	182,896	173,396	175,453

Pagal 7 lentelėje pateiktus duomenis galime teigti, kad brangiausia pastate įrengti paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemą (18 tūkst. Eur), pigiausia orinio šildymo ir vėsinimo sistemą (10,6 tūkst. Eur). Tačiau pastarosios sistemos tarnavimo laikas yra trumpiausias (15 metų) lyginant su kitomis sistemomis. 30-ies metų laikotarpyje daugiau investicijų reikės orinio šildymo ir vėsinimo sistemos priežiūrai (23,320 tūkst. Eur), mažiausiai – paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemai (5,4 tūkst. Eur). Vertinant išlaidas energijai 30-ies metų laikotarpyje, reikalingas pastato šildymui / vėsinimui, skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios kainos siekė vos 4 %.

Galima daryti išvadą, jog paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema reikalauja didelių pradinių investicijų sistemos įrengimui, tačiau sutaupoma sistemos priežiūros atžvilgiu vertinant ilgame laikotarpyje.

## IŠVADOS

1. Literatūros analizė parodė, kad paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemos yra pranašesnės už kito tipo šildymo ir vėsinimo sistemas dėl sukuriamų tinkamų šiluminio komforto sąlygų ir energijos panaudojimo efektyvumo, tačiau šios sistemos turi tokių trūkumų kaip ribota šildymo-vėsinimo galia bei ribotos paviršių temperatūros.
2. Atlikus šiluminio komforto tyrimus ir darbuotojų apklausą nagrinėtame objekte, kuriame pritaikytas paviršinis šildymas-vėsinimas, šiltuoju laikotarpiu, nustatyta, kad šiluminės aplinkos parametrai atitinka norminius. Tačiau ilgalaikių matavimų metu išmatuoti rodikliai dalinai viršija leistinas vertes (vidutinė mėnesinė oro temperatūra svyravo 19 °C ir 27 °C diapazone, o santykinis drėgnis kito tarp 35,1 % ir 79,4 %). Darbuotojai dabartinėje darbovietėje šiluminės aplinkos parametrus vertina geriau nei buvusioje.
3. Nagrinėjamo objekto metinės energijos sąnaudos buvo palygintos su pastato dinaminio energijos sąnaudų modeliavimo programa gautais rezultatais. Nustatyta, kad sukurtame modelyje reikia 51,9 MWh energijos šildymui ir 17,6 MWh energijos vėsinimui per metus, o tuo tarpu nagrinėjamo objekto metinės energijos sąnaudos šildymui – 48,2 MWh, vėsinimui – 11,0 MWh. Palyginus metines energijos sąnaudas ir šiluminės aplinkos parametrų atitikimą su eksperimento metu gautais rezultatais, galime teigti, jog modelis yra patikimas atlikti tolimesnes simuliacijas.
4. Išnagrinėjus paviršinio šildymo-vėsinimo, radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo bei orinio šildymo ir vėsinimo sistemų sukuriamas šiluminio komforto sąlygas žmonėms, pagal modelio rezultatus nustatyta, kad žmonių pasitenkinimas šilumine aplinka yra didžiausias veikiant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemai (10,76 % nepatenkintųjų), o mažiausias – veikiant orinio šildymo ir vėsinimo sistemai (17,13 % nepatenkintųjų).
5. Pagal sukurto skaitinio modelio simuliacijos rezultatus, daugiausiai išlaidų pastato šildymui ir vėsinimui reikia naudojant paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemą (6097 Eur.), mažiausiai – radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistemą (5780 Eur.)
6. Atlikus trijų sistemų ekonominį vertinimą nustatyta, jog paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema reikalauja didžiausių pradinių investicijų (18 tūkst. Eur.). 30-ies metų laikotarpyje tokia sistema reikalaus mažiausiai sąnaudų priežiūrai ir atnaujinimui (5,4 tūkst. Eur.). Taigi, lyginant šios sistemos ekonominį naudingumą su kito tipo šildymo-vėsinimo sistemomis, ši sistema yra efektyviausia.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. ASHRAE „Thermal environmental conditions for human occupancy“ standartas 55-2044.
2. Harimi Djamila – „Indoor thermal comfort predictions: Selected issues and trends“.
3. HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“.
4. Andrius Jurelionis, Lina Šeduikytė – „Pastatų mikroklimatas“.
5. Fanger, P.O. – „Analysis and Applications in Environmental Engineering“.
6. O. Ekren, A. Hepbasli, E. Biyik. – „Radiant Heating – Cooling performance assessment in shopping centre in Sopron, Hungary“.
7. Kang Zhao, Xiao-Hua Liu, Yi Jiang – „Application of radiant floor cooling in large space buildings“.
8. G.Z. Brown – „Sun, Wind, and Light: architectural design strategies“.
9. Caroline Karmann, Stefano Schiavon, Fred Bauman – „A critical literature review. Thermal comfort in buldings using radiant vs. all-air systems“.
10. Kyu-Nam Rhee, Bjarne W. Olsen, Kwang Woo Kim – „Ten questions about radiant heating and cooling systems.“
11. Corina Setiu – „Energy and peak power savings potential of radiant cooling systems in US commercial buildings“.
12. Wim Zeiler, Gert Boxem – „Effects on thermal acitvated building systems in schools on thermal comfort in winter“.
13. G. Sastry, P. Rumsey – „VAV vs. radiant: Side-by-side comparison“.
14. J. Le Dreau, P. Heiselberg – „Sensitivity analysis of the termal performance of radiant and convective terminals for cooling buildings“.
15. Elektros energijos tarifai ir kainos. Prieiga internete: <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra-2017-m..html>. Žiūrėta: [2017.12.15].
16. „Kermi“ šildymo prietaisų katalogas. Prieiga internete: <http://kermiradiatoriai.lt/lt/soninio-pajungimo-radiatoriai.html>. Žiūrėta: [2017.12.01].
17. Konvektorių katalogas. Prieiga internete: <http://www.orfejas.lt/produktai/ventiliatoriniai-konvektoriai/lubiniai/montuojamas-i-lubas-skystar>. Žiūrėta: [2017.12.05].
18. „Vilpra“ produktų katalogas. Prieiga internete: <http://www.vilpra.lt/sildymo-iranga/vamzdziai/daugiasluoksniai-pex-ir-pert-vamzdziai>. Žiūrėta: [2017.12.05].

## **PRIEDAI**

1 priedas. Darbuotojų apklausa.

**Mikroklimato tyrimas biuro tipo patalpoje (Sakalų g. 8, Vilnius)**

**Tyrimo apklausa**

**2017 07 10**

Klausimai apie respondentą:

1. Jūsų amžius: \_\_\_\_\_
2. Lytis:  Vyras |  Moteris
3. Kiek valandų per savaitę Jūs praleidžiate šiame pastate? \_\_\_\_\_

Klausimai aplinkos parametrų įvertinimui:

Ar per pastaruosius 3 mėnesius Jūs patyrėte diskomfortą savo darbo vietoje dėl (pažymėkite tinkamą variantą):

	Ankstesnėje darbo vietoje			Dabartinėje darbo vietoje		
	Ne	Taip, kartais	Taip, kiekvieną dieną	Ne	Taip, kartais	Taip, kiekvieną dieną
Skersvėjo						
Per aukštos oro temperatūros						
Kintančios oro temperatūros						
Per žemos oro temperatūros						
Tvankaus oro						
Sauso oro						
Nemalonių kvapų						
Statinio elektros krūvio						
Triukšmo, esančio biure						
Triukšmo, sklindančio iš kitų biurų						
Triukšmo, sklindančio iš lauko						
Prasto apšvietimo/atspindžių						
Nešvaros ir dulkių						
Šalančių kojų						
Erdvės trūkumo						

Klausimai apie mikroklimato sąlygas darbo vietoje:

Ankstesnėje darbo vietoje:

1. Kaip Jūs apibendrintai įvertintumėte temperatūros sąlygas ankstesnėje darbo vietoje? (Pažymėkite skalėje)

--

Šalta

Neutralu

Karšta

2. Ar Jūs turėjote galimybę reguliuoti temperatūrą savo ankstesnėje darbo vietoje?  Taip |  Ne
3. Ar Jūs naudojote papildomus šildymo/vėsinimo prietaisus savo ankstesnėje darbo vietoje?  Taip |  Ne  
Jei taip, kokius: \_\_\_\_\_
4. Ar Jūsų ankstesnėje darbo vietoje buvo galimybė išvengti tiesioginės saulės spinduliuotės?  Taip |  Ne  
Jei taip, kokiais būdais: \_\_\_\_\_
5. Kaip Jūs apibendrintai įvertintumėte oro kokybę ankstesnėje darbo vietoje? (Pažymėkite skalėje)

--

Labai prasta

Normali

Labai gera

6. Jūsų komentarai:

---

---

Dabartinėje darbo vietoje:

1. Kaip Jūs apibendrintai įvertintumėte temperatūros sąlygas dabartinėje darbo vietoje? (Pažymėkite skalėje)

--

Šalta

Neutralu

Karšta

- Ar Jūs turite galimybę reguliuoti temperatūrą savo dabartinėje darbo vietoje?  Taip |  Ne
- Ar Jūs naudojate papildomus šildymo/vėsinimo prietaisus savo dabartinėje darbo vietoje?  Taip |  Ne  
Jei taip, kokius: \_\_\_\_\_
- Ar yra galimybė Jūsų dabartinėje darbo vietoje išvengti tiesioginės saulės spinduliuotės?  Taip |  Ne  
Jei taip, kokiais būdais: \_\_\_\_\_
- Kaip Jūs apibendrintai įvertintumėte oro kokybę dabartinėje darbo vietoje? (*Pažymėkite skalėje*)

--

Labai prasta

Normali

Labai gera

- Jūsų komentarai:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Klausimai apie drėgmės sąlygas Jūsų darbo vietoje:

Ankstesnėje darbo vietoje:

- Kaip Jūs apibendrintai įvertintumėte drėgmės sąlygas Jūsų ankstesnėje darbo vietoje? (*Pažymėkite skalėje*)

--

Labai prastos

Normalios

Labai geros

- Ar Jūs turėjote galimybę reguliuoti drėgmę savo ankstesnėje darbo vietoje?  Taip |  Ne
- Ar Jūs naudojote papildomus oro drėkinimo prietaisus ankstesnėje darbo vietoje?  Taip |  Ne  
Jei taip, kokius: \_\_\_\_\_
- Jūsų komentarai:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Dabartinėje darbo vietoje:

- Kaip Jūs apibendrintai įvertintumėte drėgmės sąlygas Jūsų dabartinėje darbo vietoje? (*Pažymėkite skalėje*)

--

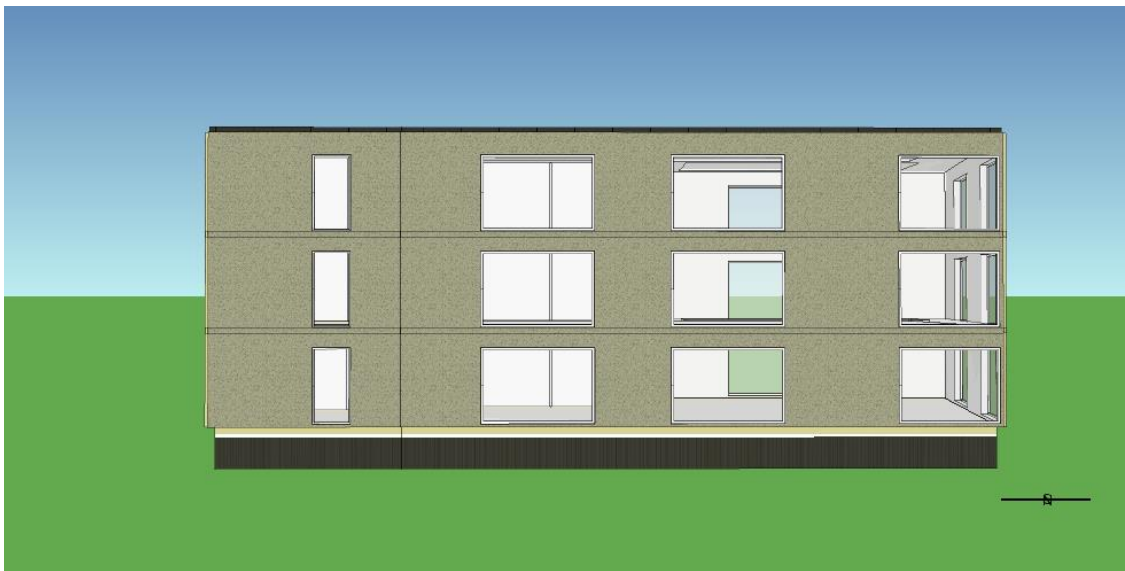
Labai prastos

Normalios

Labai geros

- Ar Jūs turite galimybę reguliuoti drėgmę savo dabartinėje darbo vietoje?  Taip |  Ne
- Ar Jūs naudojate papildomus oro drėkinimo prietaisus dabartinėje darbo vietoje?  Taip |  Ne  
Jei taip, kokius: \_\_\_\_\_
- Jūsų komentarai:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

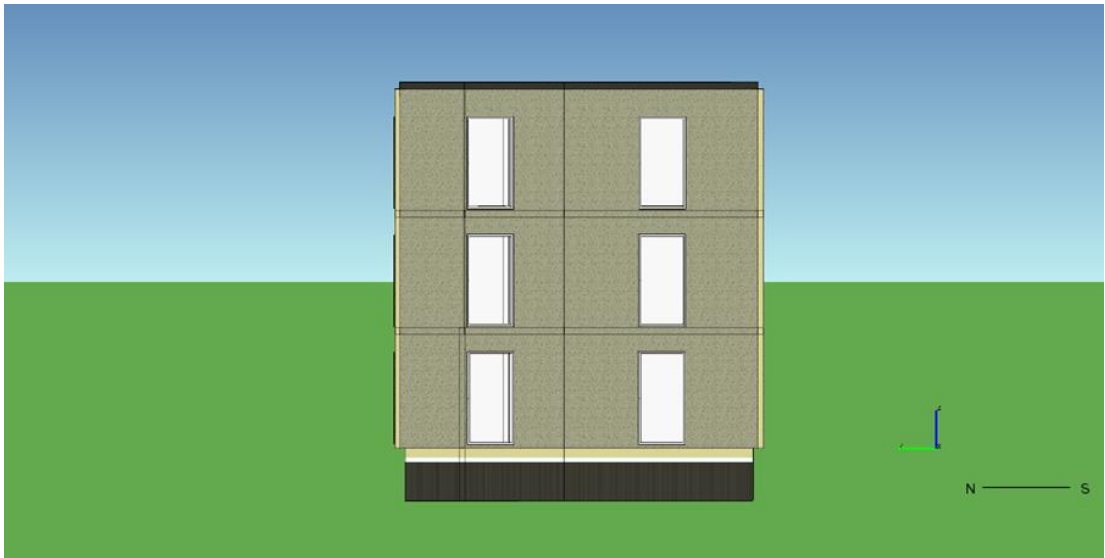
2 priedas. Pastato 3D modelio vaizdai.



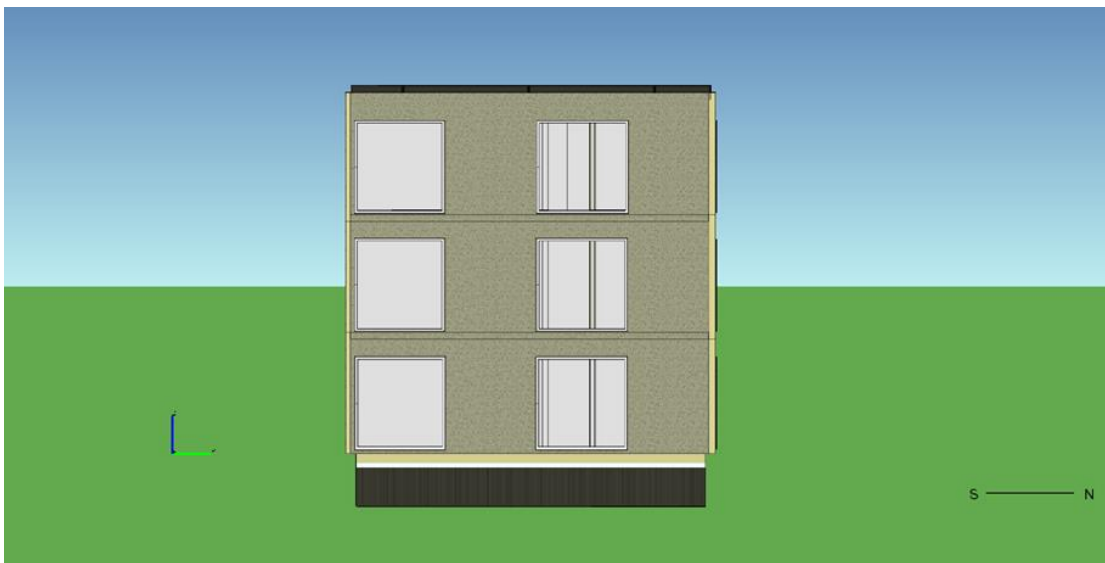
3 pav.



4 pav.



5 pav.



6 pav.



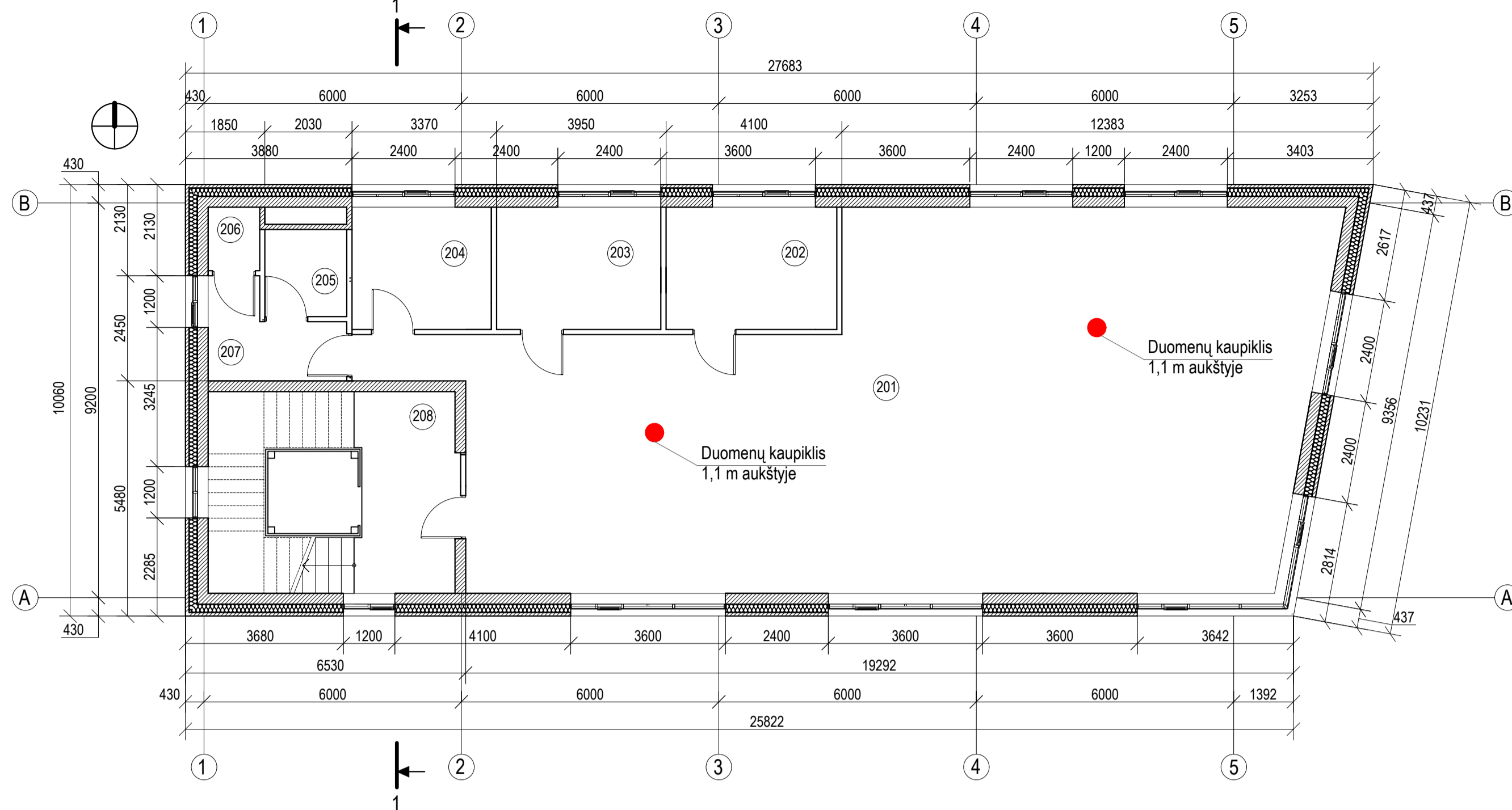
3 priedas. Projektuojamų šildymo ir vėsinimo sistemų kainų skaičiavimo lentelė.

Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistema				Radiatorinio šildymo ir lubinio vėsinimo sistema			Orinio šildymo ir vėsinimo sistema		
Išlaidos	Kiekis, vnt / m.	Vnt. / m. kaina, Eur.	Bendra kaina, Eur.	Kiekis, vnt / m.	Vnt. / m. kaina, Eur.	Bendra kaina, Eur.	Kiekis, vnt / m.	Vnt. / m. kaina, Eur.	Bendra kaina, Eur.
Šildymo prietaisai	-	-	18 000	45	130	5850	24	400	9600
Vėsinimo prietaisai	-	-		-	-	4000			
Vamzdynas	-	-		280	1,7	476	-	-	-
Vamzdyno įrengimo kaina	-	-		-	-	1000	-	-	-
Papildomų prietaisų kaina	-	-		-	-	1000	-	-	1000
<b>Viso (Eur):</b>			<b>18 000</b>			<b>11326</b>			<b>10600</b>

4 priedas. Prietaisų tarnavimo trukmė ir metinės išlaidos priežiūrai.

<b>LIFE SPANS AND MAINTENANCE COSTS</b>		
<i>Examples for life spans and annual maintenance costs (EN 13379:2004).</i>		
<b>Component</b>	<b>Life span in years</b>	<b>Annual maintenance cost in % of the initial investment</b>
Air-conditioning units	15	4
Air coolers	20	2
Air heaters, electric	15	2
Air heaters, steam	20	2
Air heaters, water	20	2
Burners, oil and gas	10	4
Condensers	20	2
Control equipment	15	4
Control valves, automatic	15	6
Control valves, manual	30	4
Cooling compressors	15	4
Cooling panels and ceilings	30	2
Dampers	20	1
Dampers with control motors	15	4
Diffusers	20	4
Dual duct boxes	15	4
Duct system for filtered air	30	2
Duct system for non filtered air	30	6
Evaporators	20	2
Extract air grills	20	10
Fan coil units	15	4
Fans	20	4
Fans with variable flow	15	6
Filter frames	15	2
Filter material, to be cleaned	10	10
Filter material to be exchanged	1	0
Grills in general	30	4
Heat pumps	15	4
Heat recovery units, cyclic	15	4
Heat recovery units, static	20	4
Humidifiers, water	10	6
Humidifiers, steam	4	4
Pipes, Cu	30	1
Pipes, plastic	30	1
Pipes, stainless	30	1
Pipes, steel in closed system	30	1
Pipes, steel in open system	15	1
Pumps in closed system	20	2
Pumps in open system	15	2
Radiators, electric	20	2
Radiators, water	30	2
Shut off valves, automatic	15	4
Shut off valves, manual	30	2
Sound traps	30	1
Thermostats for radiators	15	4
Variable flow units	15	6

# ANTRO AUKŠTO PLANAS MASTELIS 1:100



## Antro aukšto patalpų eskplikacija

Eil. Nr.	Pavadinimas	Plotas, m <sup>2</sup>
201	Pagrindinė patalpa	153.9
202	Pasitarimų kambarys	10.92
203	Posėdžių kambarys	11.34
204	Vadovo kabinetas	9.26
205	WC	3.88
206	Sandėlis	1.78
207	Virtuvė	5.74
208	Laiptinė	27.03
Bendras plotas:		207.07
Bendras viso pastato plotas:		650.61

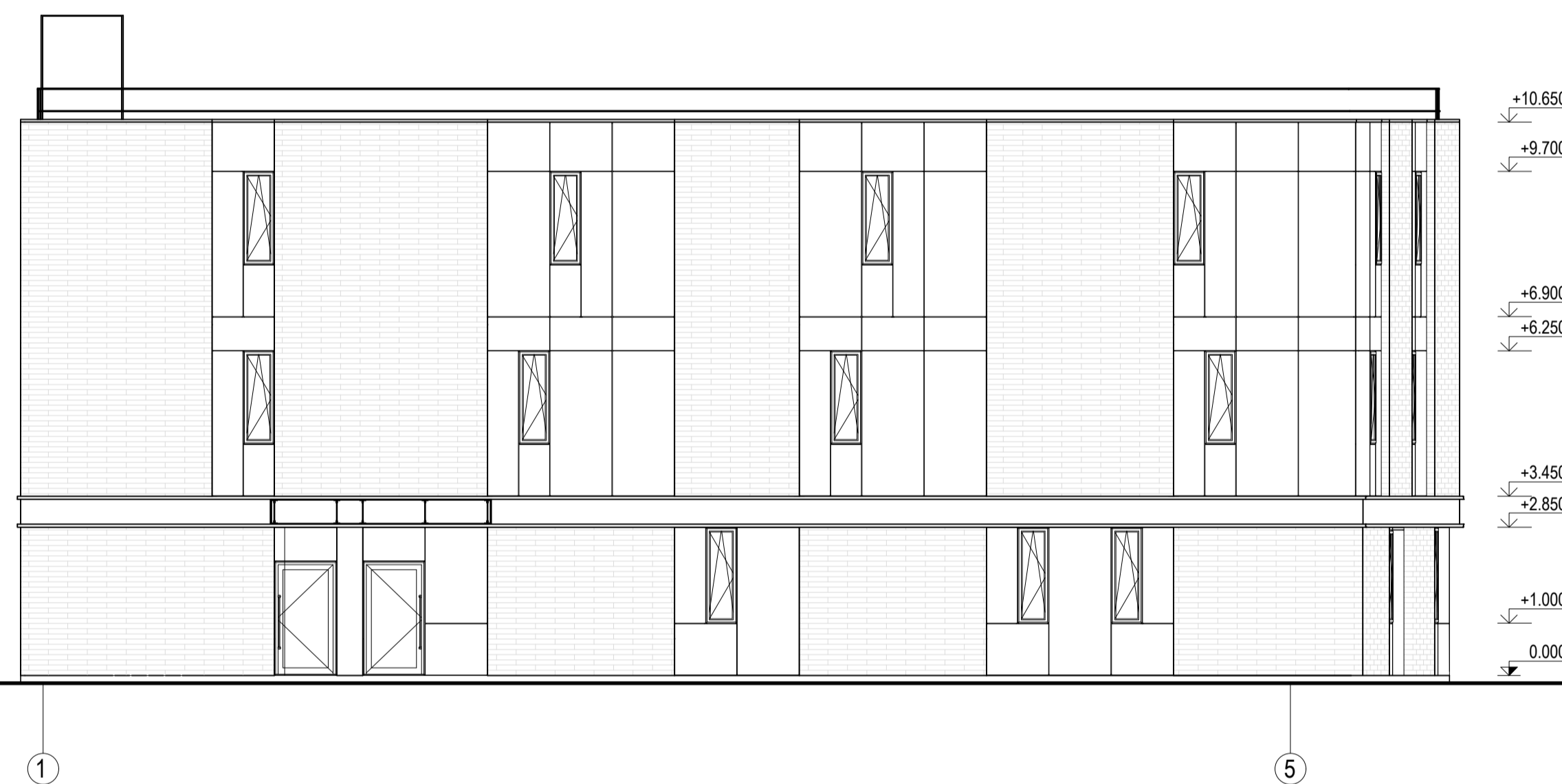
## Sutartiniai žymėjimai

Patalpos numeris	(201)
Duomenų kaupiklis	●
Mūras	▨
Termozoliacija	▨
Apdaila	▨

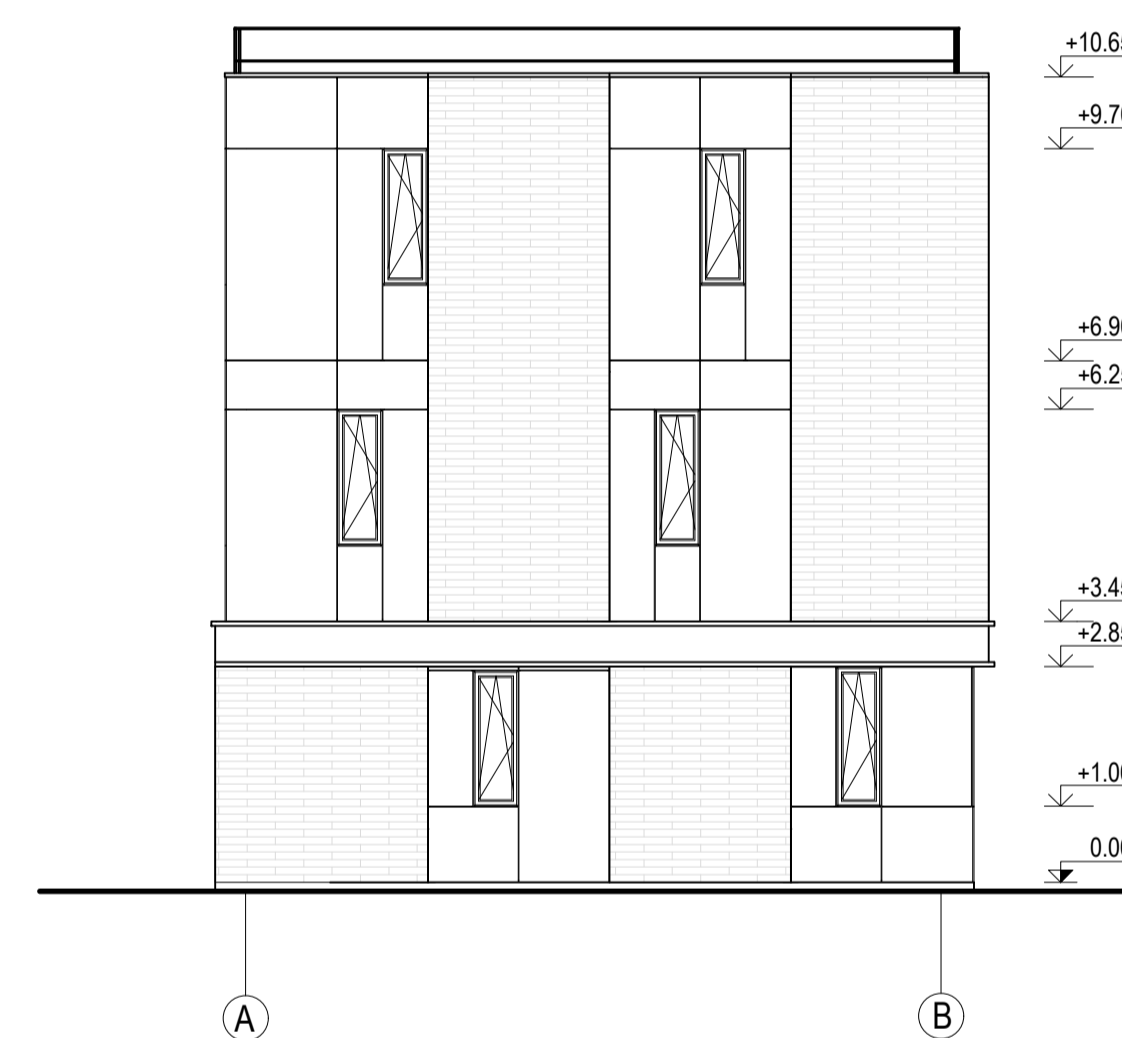
## PASTABOS:

- Brėžiniuose pateikiamas tik antro aukšto patalpų, kuriose buvo atliktas tyrimo eksperimentas, planas, nes visi likusieji aukštai yra tokie patys.

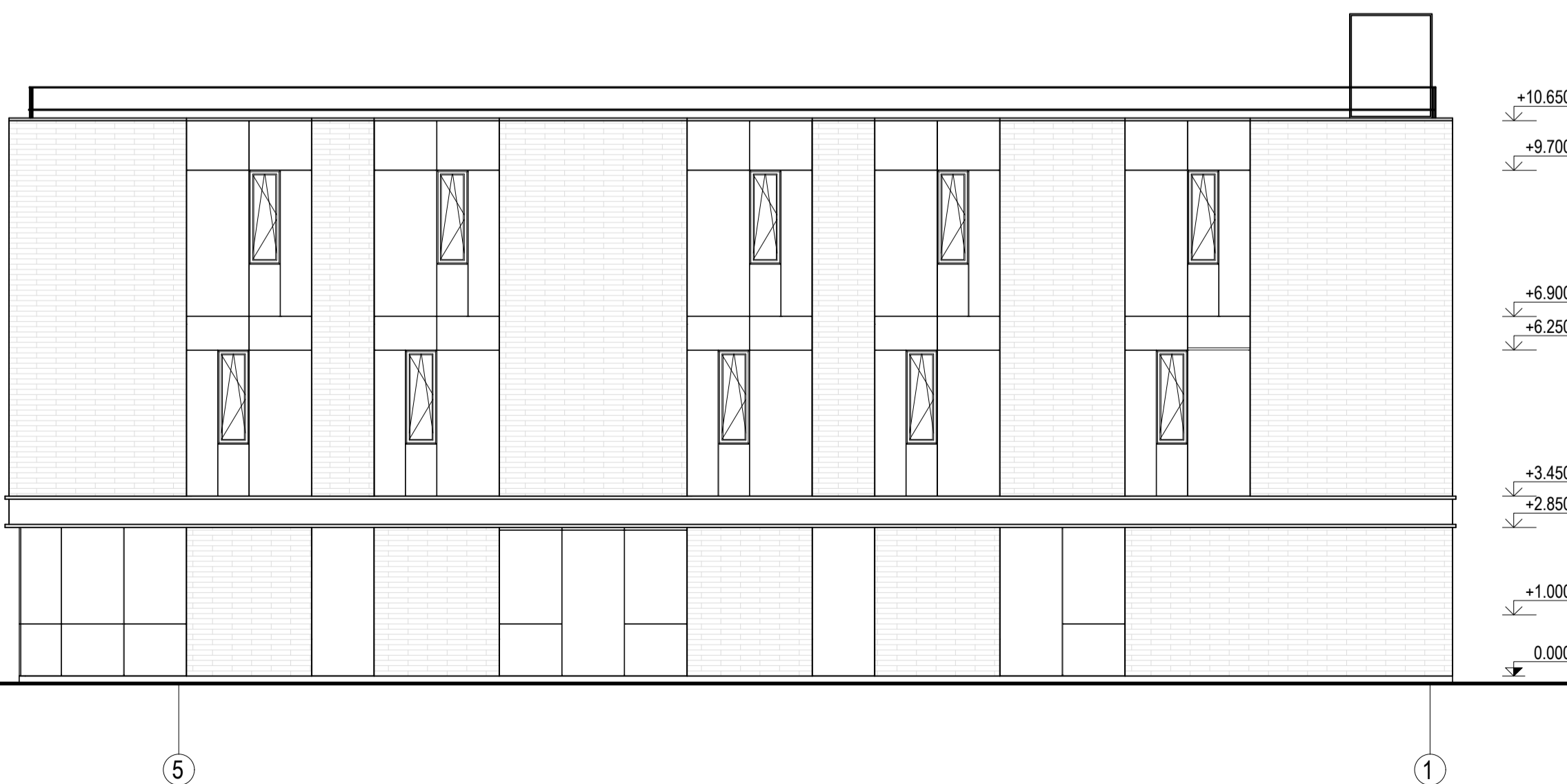
## PASTATO FASADAS 1-5 MASTELIS 1:100



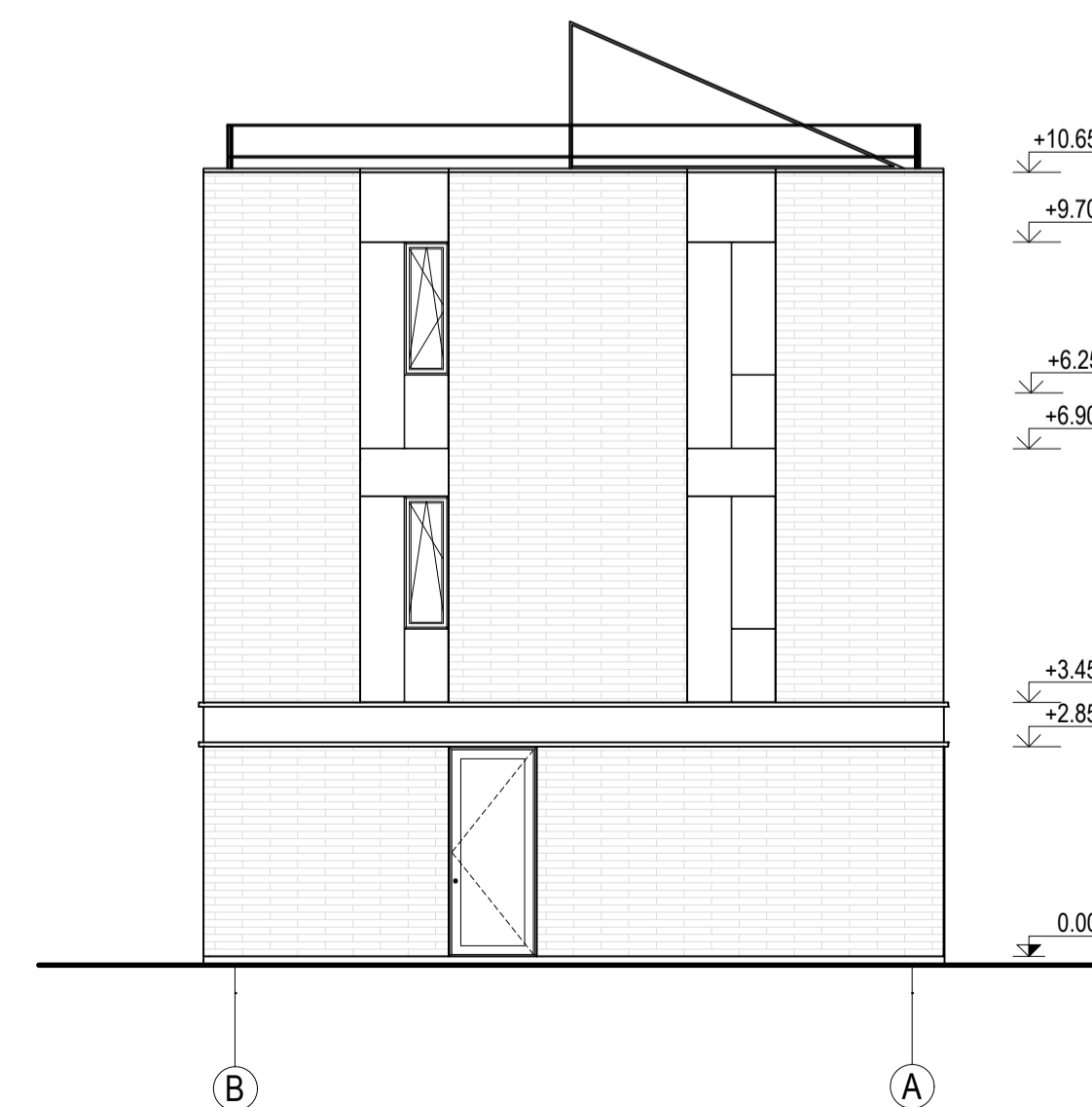
## PASTATO FASADAS A-B MASTELIS 1:100



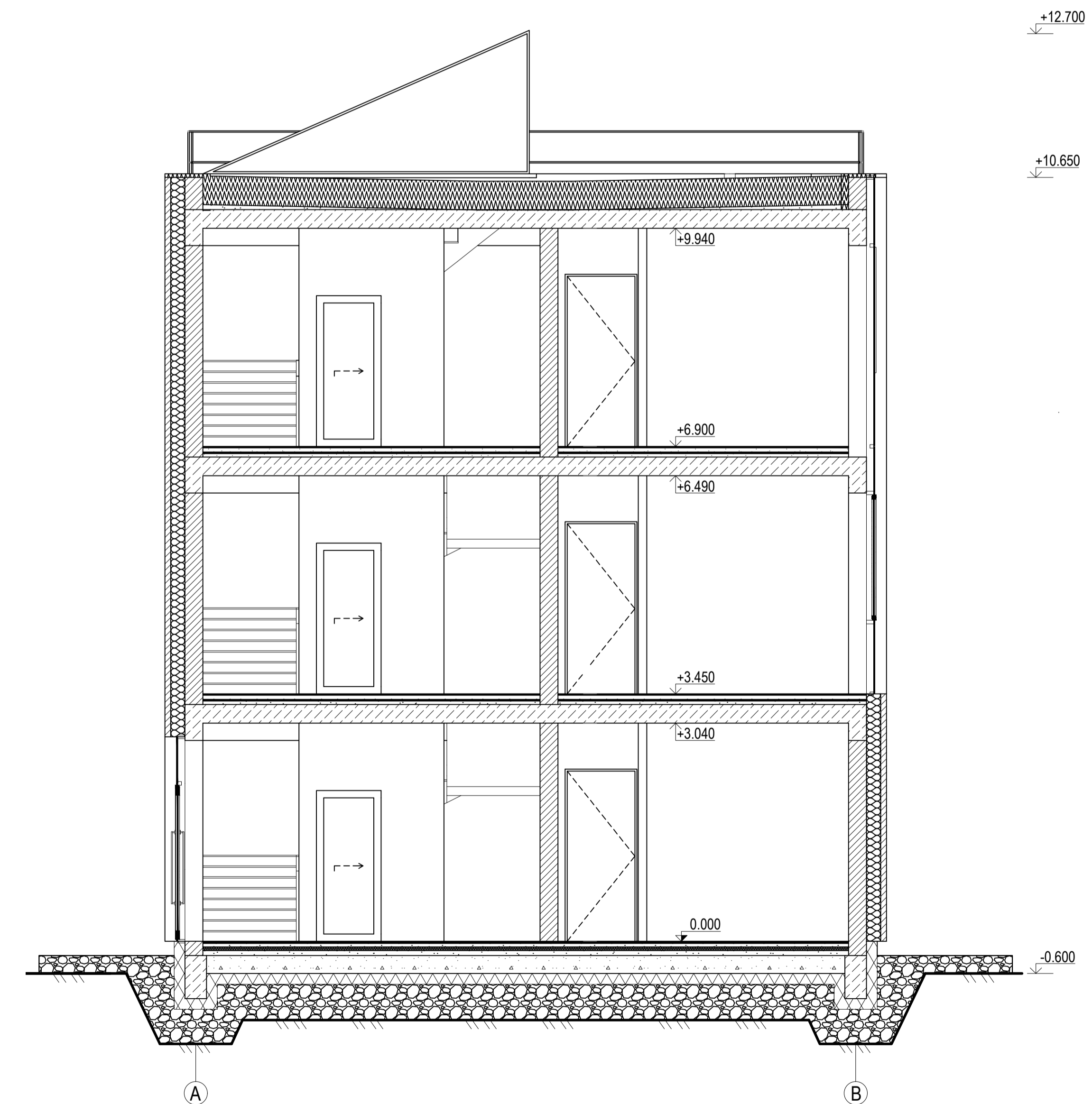
## PASTATO FASADAS 5-1 MASTELIS 1:100



## PASTATO FASADAS B-A MASTELIS 1:100



## PASTATO PJŪVIS 1-1 MASTELIS 1:50

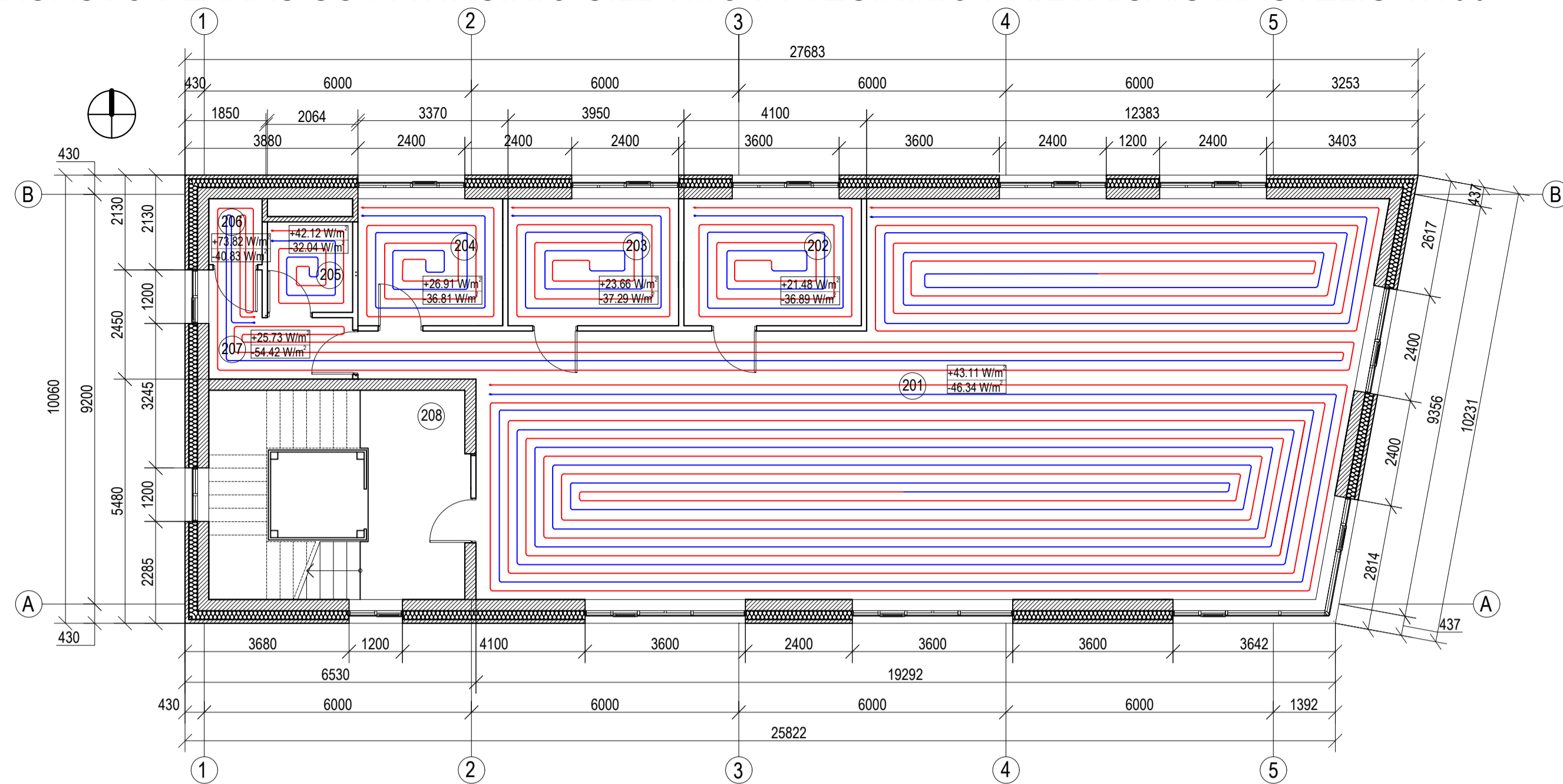


## Sutartiniai žymėjimai:

Fasado apdaila - raudono klinkerio mūras	▨
Metalinis dvitėjis - tarp klinkerio mūro	▨

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
SPM-6	Studentas T. Šimanas	2018-01-12	Pavišinio šildymo ir vėsinimo sistemų biurų pastatuose tyrimas	
	Vadovas A. Jurelionis	2018-01-12		
gd	Konsult. R. Gečys	2018-01-12		
			Antro aukšto planas, Pastato fasadas 1-5, Pastato fasadas 5-1, Pastato fasadas A-B, Pastato fasadas B-A, Pastato pjūvis 1-1, Mėnesinės oro temperatūros ir santykinio drėgno diagramos	
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra		2018-TP-PESK-SA	
TP	Studentų g. 48, 51367 Kaunas		Lapas	Lapų
			1	3

### AUKŠTO PLANAS SU PAVIRŠINIO ŠILDYMO IR VĖSINIMO PRIETAISAI MASTELIS 1:100



### Antro aukšto patalpų eksplikacija

Eil. Nr.	Pavadinimas	Plotas, m <sup>2</sup>
201	Pagrindinė patalpa	153.9
202	Posėdžių kambarys	10.92
203	Posėdžių kambarys	11.34
204	Vadovo kabinetas	9.26
205	WC	3.88
206	Sandėlis	1.78
207	Virtuvė	5.74
208	Laiptinė	27.03
Bendras plotas:		207.07
Bendras viso pastato plotas:		650.61

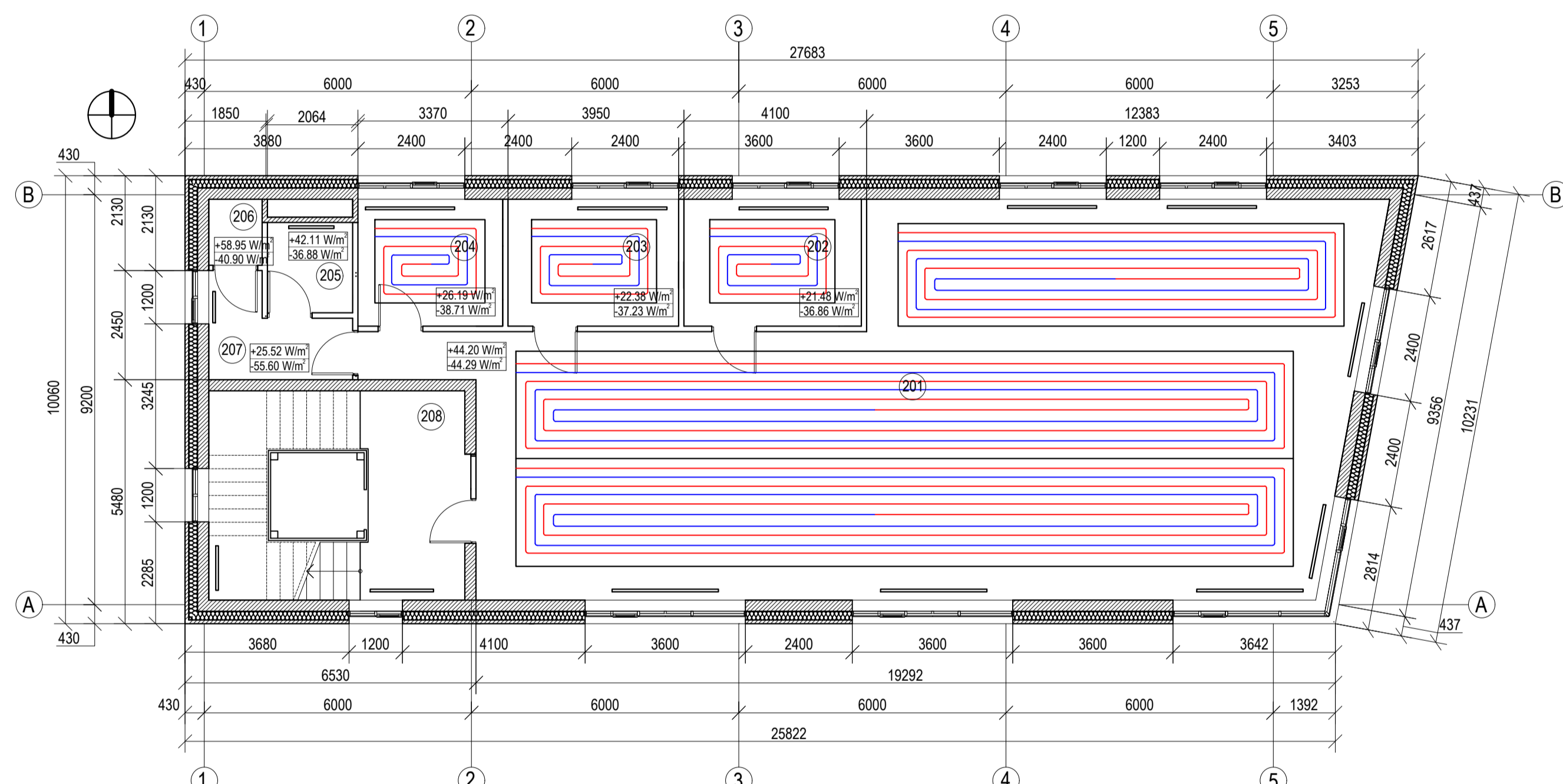
### Sutartiniai žymėjimai

- Tiekiamo šilumnešio vamzdis
- Grįžtančio šilumnešio vamzdis
- Radiatorius
- Lubinė plokštė
- Patalpos numeris
- Šildymo ir vėsinimo kontūras
- Ventiliatoriniai konvektoriai
- Šildymo ir vėsinimo poreikis

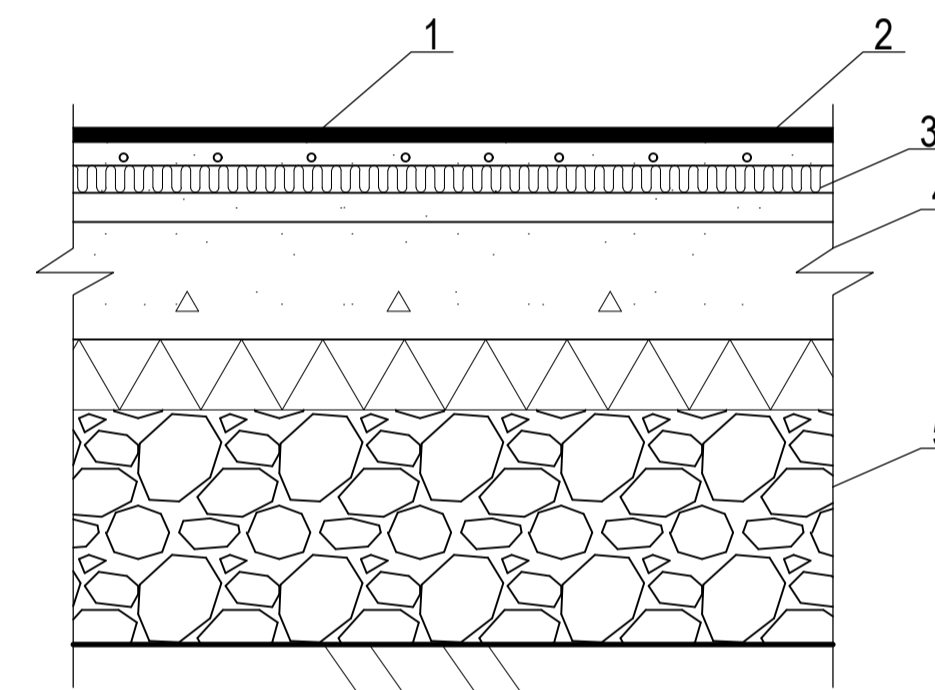
### PASTABOS:

1. Brėžiniuose pateikiamas tipinis antro aukšto planas su skirtingais šildymo ir vėsinimo prietaisais.

### AUKŠTO PLANAS SU RADIATORIAIS IR LUBINIO VĖSINIMO PRIETAISAI MASTELIS 1:100



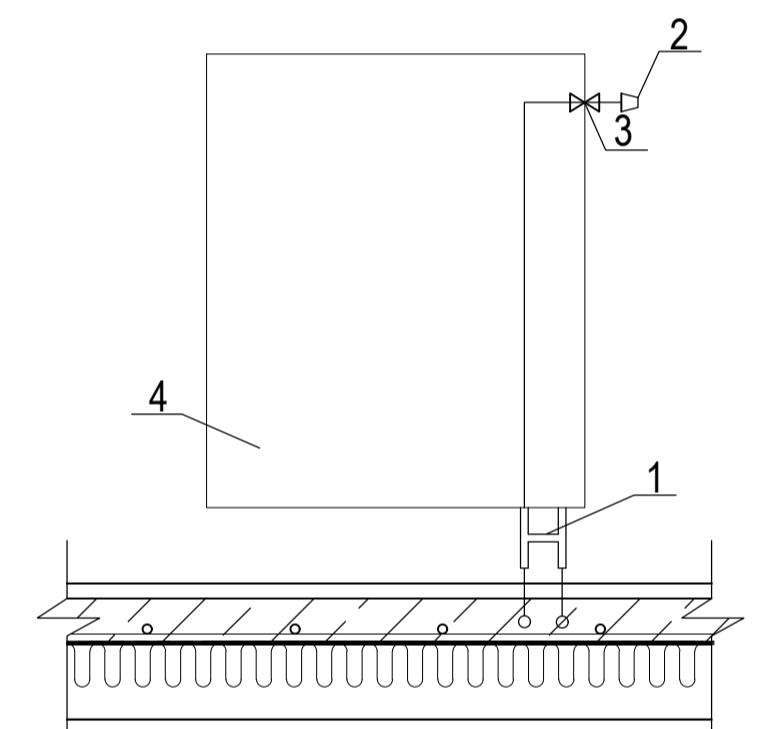
### GRINDINIO ŠILDYMO DETALĖ 1:10



### Sutartiniai žymėjimai:

- 1 - Grindų danga
- 2 - Šildymo vamzdeliai
- 3 - Šiluminė izoliacija
- 4 - Šutankintas gruntas
- 5 - Žemės sluoksnis

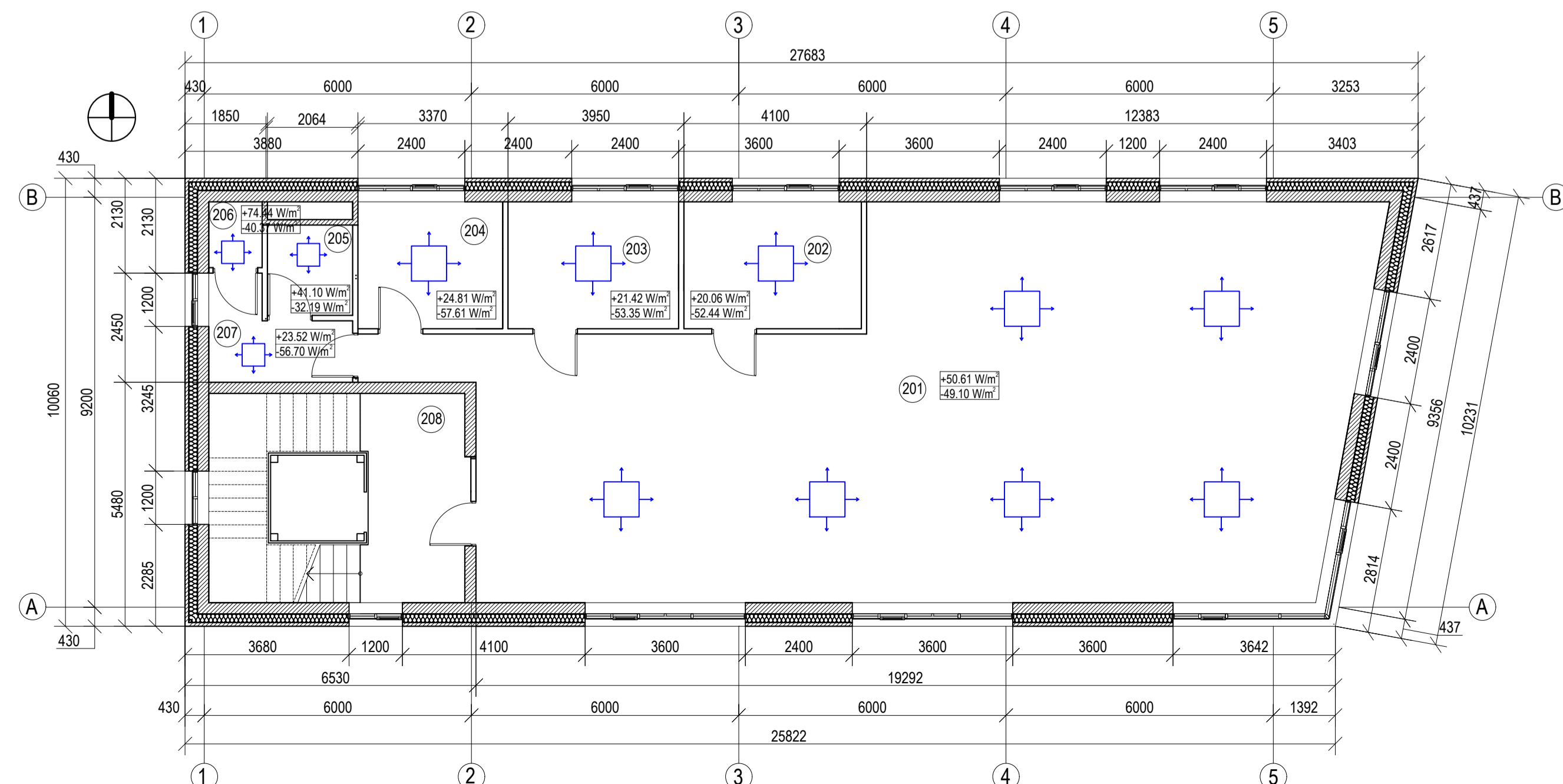
### RADIATORIAUS DETALĖ 1:10



### Sutartiniai žymėjimai:

- 1 - H tipo jungtis
- 2 - Termostatinis ventilis
- 3 - Rutulinis ventilis
- 4 - Radiatorius

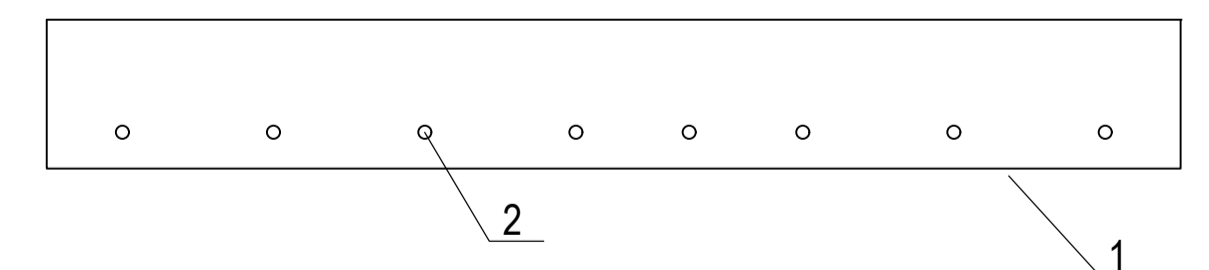
### AUKŠTO PLANAS SU ORINIO ŠILDYMO IR VĖSINIMO PRIETAISAI MASTELIS 1:100



### PASTATO INFORMACINIS MODELIS „IDA-ICE“ APLINKOJE



### LUBINĖS VĖSINIMO PLOKŠTĖS DETALĖ MASTELIS 1:10

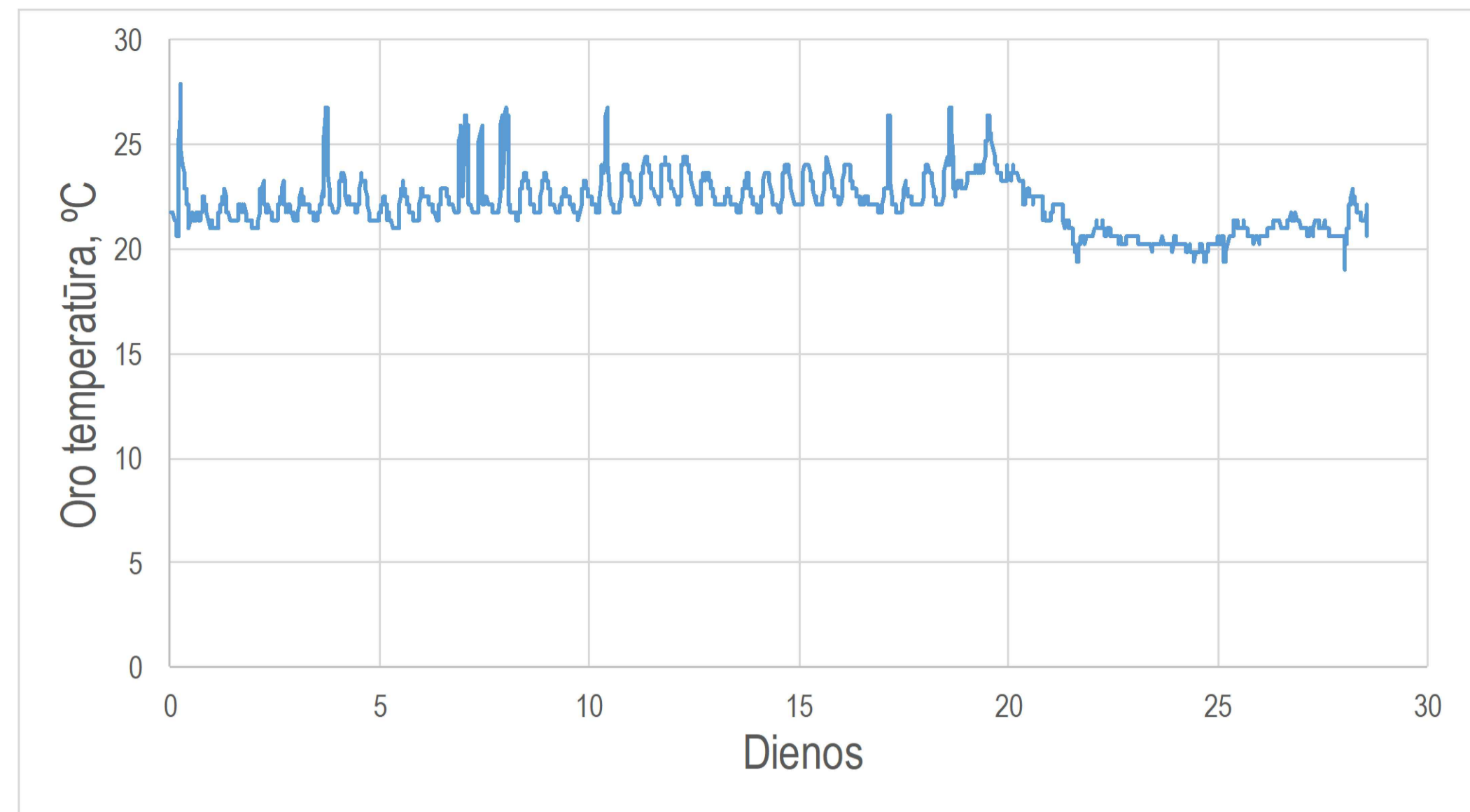


### Sutartiniai žymėjimai:

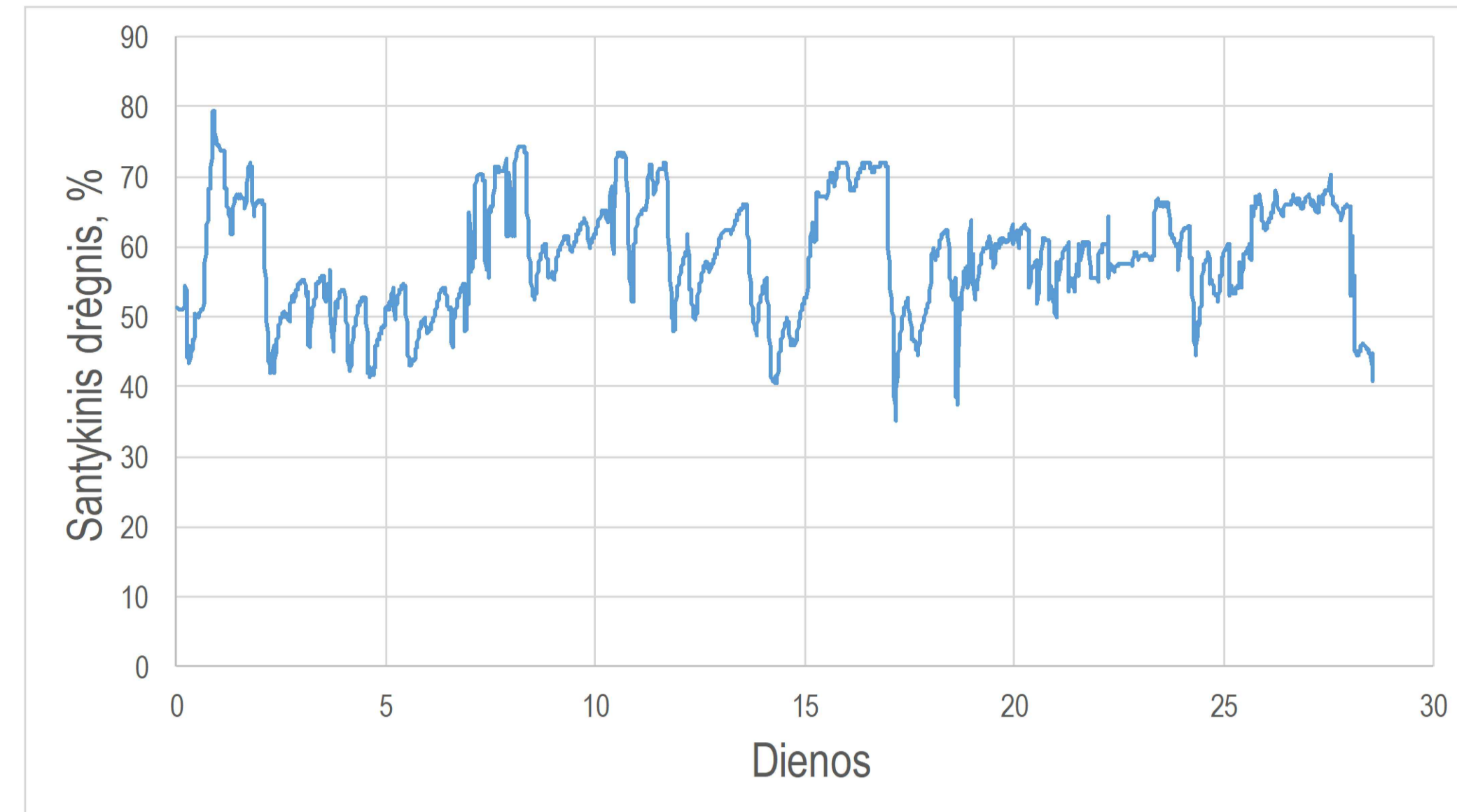
- 1 - Lubinė plokštė
- 2 - Vėsinimo vamzdelis

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas	Magistro baigiamasis projektas
SPM-6	Studentas T. Šimanas	2018-01-12
	Vadovas A. Jurelionis	2018-01-12
gd	Konsult. R. Gečys	2018-01-12
Antro aukšto planas su skirtingais šildymo ir vėsinimo prietaisais, Laida		
Pastato informacinis modelis, Grindinio šildymo detalė, O		
Radiatoriaus detalė, Lubinės vėsinimo plokštės detalė		
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra	Lapas Lapų
TP	Studentų g. 48, 51367 Kaunas	2018-TP-PESK-Š 2 3

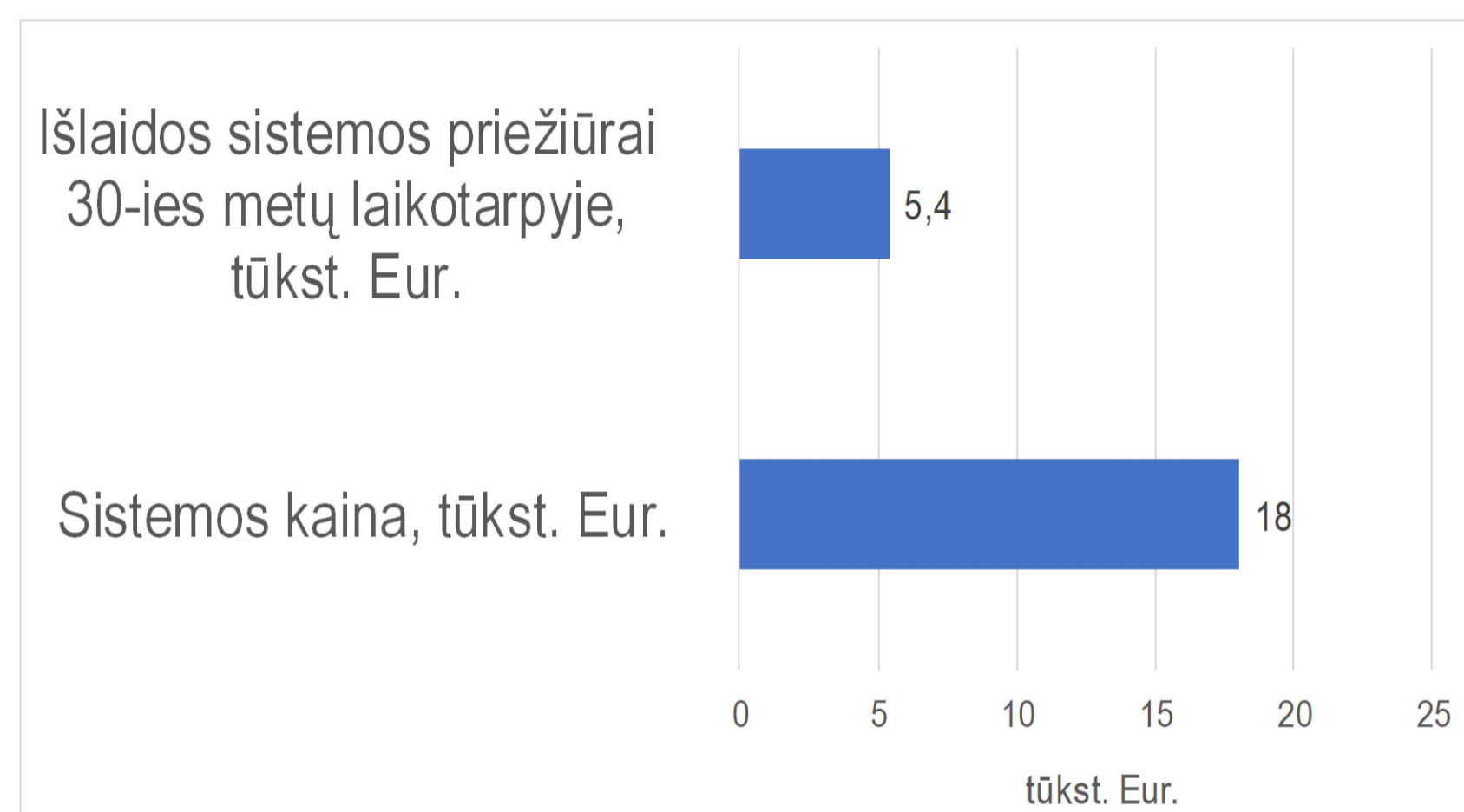
### MĖNESINIAI ORO TEMPERATŪROS SVYRAVIMAI



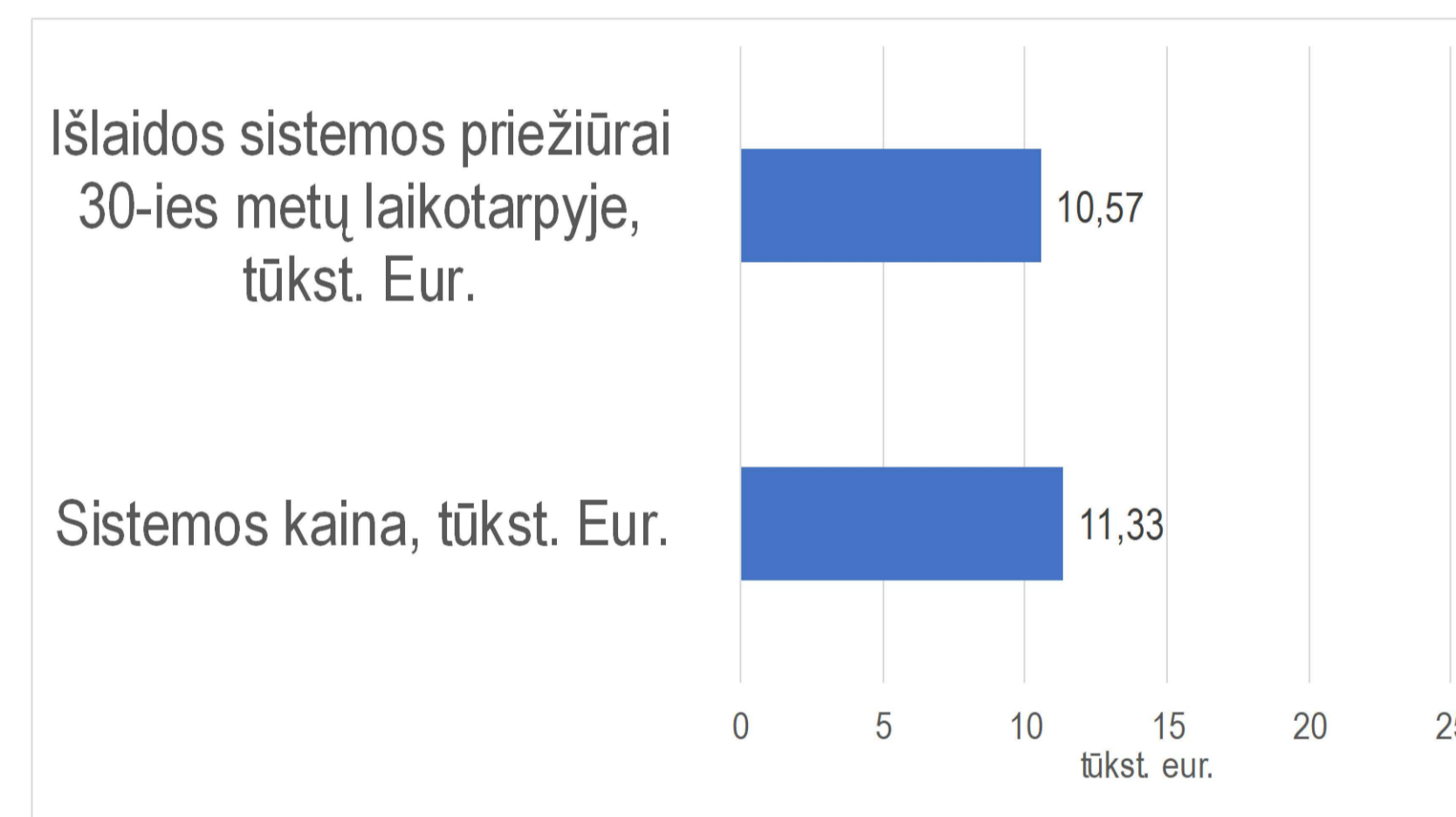
### MĖNESINIAI SANTYKINIO ORO DRĖGNIO SVYRAVIMAI



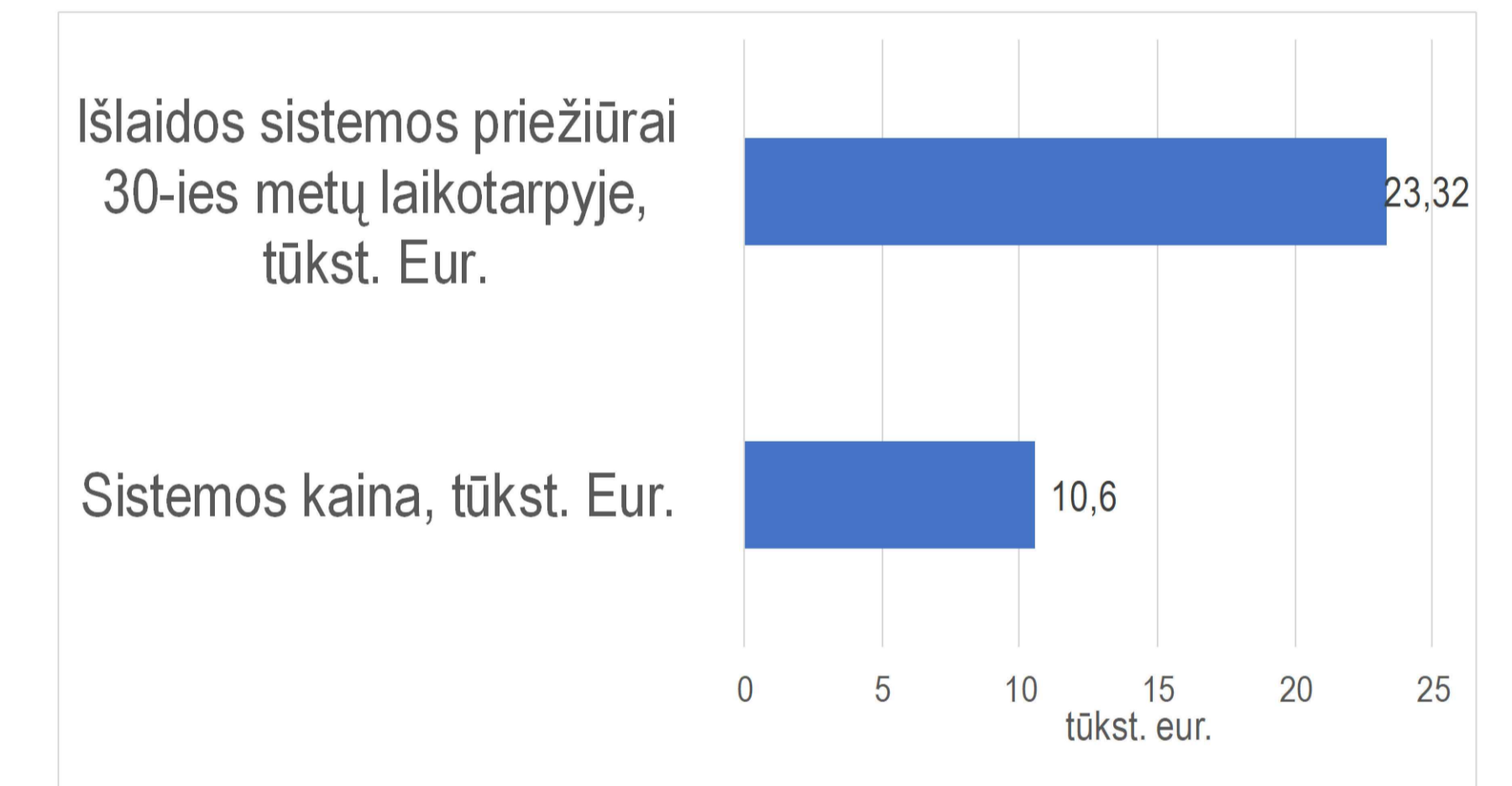
### IŠLAIDOS PAVIRŠINIO ŠILDYMO IR VĖSINIMO SISTEMAI



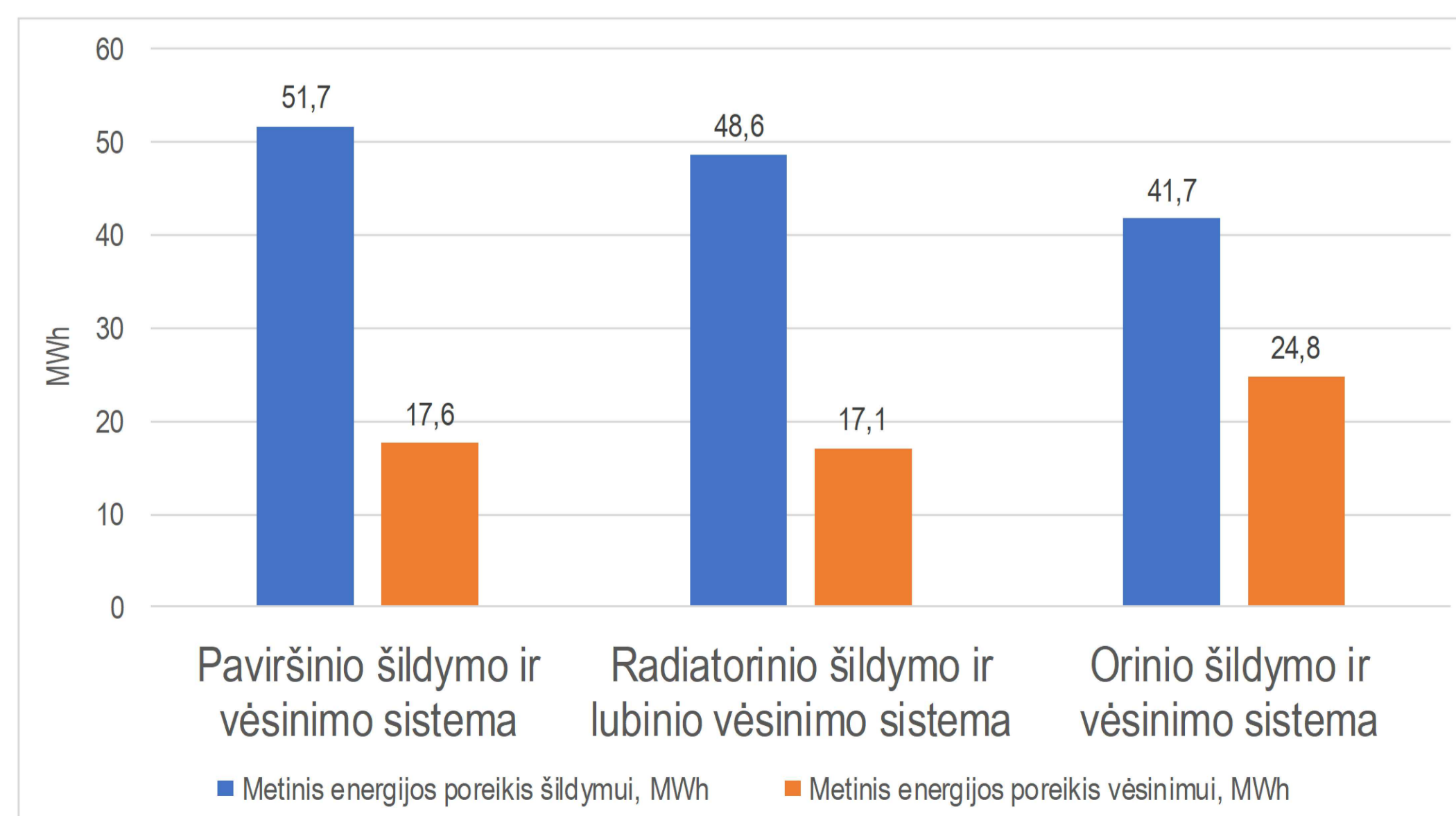
### IŠLAIDOS RADIATORINIO ŠILDYMO IR LUBINIO VĖSINIMO SISTEMAI



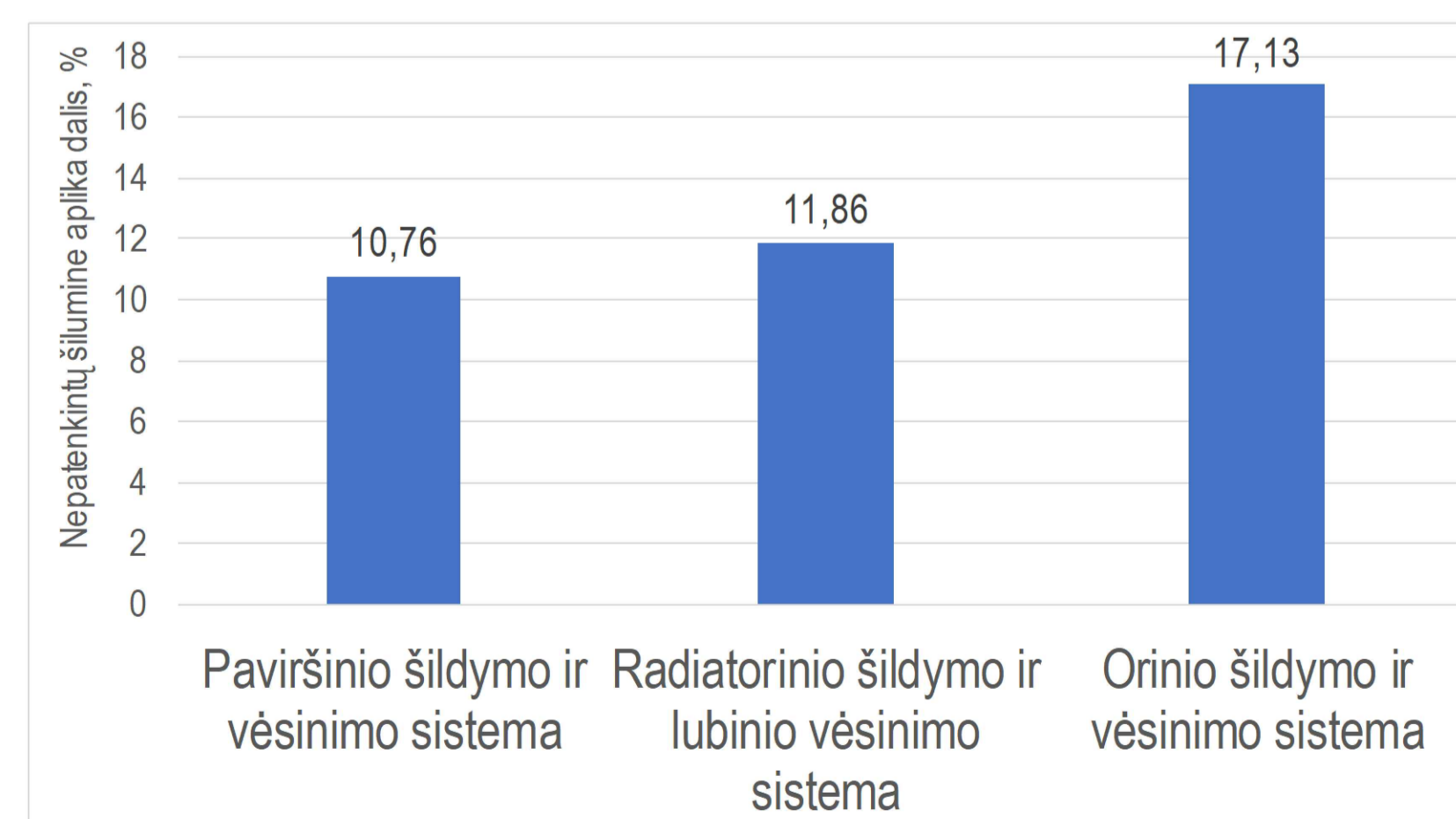
### IŠLAIDOS ORINIO ŠILDYMO IR VĖSINIMO SISTEMAI



### ENERGIJOS POREIKIO ŠILDYMOI IR VĖSINIMUI SKIRTUMAI VEIKIANT SKIRTINGOMS SISTEMOMS



### PPD RODIKLIO SKIRTUMAI VEIKIANT SKIRTINGOMS SISTEMOMS



Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
SPM-6	Studentas T. Šimanas	2018-01-12	Paviršinio šildymo ir vėsinimo sistemų biurų pastatuose tyrimas	
	Vadovas A. Jurelionis	2018-01-12		
gd	Konsult. R. Gečys	2018-01-12	Mėnesiniai oro temperatūros ir santykinio drėgumo svyravimai, išlaidų, energijos poreikio šildymui ir vėsinimui, PPD rodiklio skirtumai veikiant skirtingoms sistemoms	
			Laida	O
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra		2018-TP-PESK-SE	
TP	Studentų g. 48, 51367 Kaunas		Lapas	Lapų
			3	3