



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TADAS KUNDROTAS

**DAUGIABUČIO ŠILDYMO SISTEMOS MODERNIZAVIMO
EFEKTYVUMAS**

**MODERNISATION EFFECTIVENESS OF HEATING SYSTEM AT MULTI-
STOREY RESIDENTIAL BUILDING**

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas 621E30003

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Tadas Kundrotas

DAUGIABUČIO ŠILDYMO SISTEMOS MODERNIZAVIMO EFEKTYVUMAS
MODERNISATION EFFECTIVENESS OF HEATING SYSTEM AT MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas 621E30003

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos studijų kryptis

Vadovas

Doc. dr. Giedrius Šiupšinskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

Dr. Juozas Bielskus

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

Dr. Aušra Žemienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, pavardė)

(Parašas)

2018-05-21
(Data)

Vilnius, 2018

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Pastatų energijos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4 (energijos inžinerija)

Pavadinimas **Daugiabučio šildymo sistemos modernizavimo efektyvumas**
Autorius **Tadas Kundrotas**
Vadovas **Giedrius Šiupšinskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Magistro baigiamajame darbe atliekama daugiabučio gyvenamojo pastato vienvamzdės šildymo sistemos veikimo analizė ir modeliuojami įvairūs šios sistemos subalansavimo variantai. Modeliavimui pasirenkama Design Builder programa, naudojantis jos funkcijomis sukuriamas pastato modelis. Iš pradžių išmatuojamos temperatūros dviejuose šildymo sistemos stovuose bei patalpose, kurias šie stovai aptarnauja. Matavimams pasirinktas 2018.01.09 – 2018.01.15 laikotarpis, gauti kiekvienos minutės temperatūriniai duomenys matuotuose taškuose. Pagal gautus temperatūrinius duomenis apskaičiuojama šildymo prietaisų galia. Nustačius šildymo prietaisų galias, apskaičiuojamas patalpų šilumos poreikis, kurį apskaičiavus atliekamas modelio kalibravimas pagal faktinius dydžius. Sukalibravus modelį, modeliuojami pastato variantai išlyginus temperatūrą visame pastate matavimo laikotarpiu. Galiausiai įvertinama nesubalansuotos šildymo sistemos modernizavimo bei protarpinio temperatūrinio žeminimo pritaikymo patalpose įtaka energijos suvartojimui ir pasiektam sutaupyto energijos kiekiui.

Matavimo rezultatai atskleidė, kad daugiabutyje palaikoma nevienoda patalpų temperatūra. Tolstant nuo šilumos punkto, temperatūra ženkliai žemėja, su kiekvienu aukštu prarandama apie 1 °C šilumos. Modeliavimo rezultatai atskleidė, kad esant įvairiems nesubalansuotos sistemos atvejams, atlikus sistemos modernizavimą, būtų galima sutaupyti iki 28,17 % šiluminės energijos. Taip pat parodė, kad taikant protarpinį temperatūrinį žeminimą, būtų galima sutaupyti iki 9,53 % energijos.

Atlikus ekonominį vertinimą ir nustačius, PAL, TAL, VGN, GDV rodiklius paaiškėjo, kad šildymo sistemą modernizuoti naudinga tik tuo atveju, kai visas pastatas yra perkaitinamas ir jame palaikoma 20 °C – 24 °C temperatūra vertinant ekonominiu požiūriu.

Darbo apimtis: 60 psl. teksto be preidų, 33 paveikslai, 21 lentelė, 25 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: Šildymas, modernizacija, daugiabutis, subalansavimas, sureguliuojimas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Building Energetics

ISBN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Building Energy Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4 (Energy Engineering)

Title **Modernisation Effectiveness of Heating System at Multi-storey Residential Building**

Author **Tadas Kundrotas**

Academic supervisor **Giedrius Šiupšinskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Analysis of a single-pipe heating system performance analysis and models of various ways of balancing this system at multi-storey residential building is carried out in this master thesis. The Design builder program is chosen for modeling, using its functions to create a building geometrical model. Initially, the temperature is measured in the two stands of the heating system and in the rooms served by these stands. The period from 2018 01 09 to 2018 01 15 was chosen for measurements, and each minute temperature data were obtained at measured points. According to the obtained temperature data, the heating power is calculated. After determining the capacity of the heating devices, the heat demand of the premises is calculated, which leads to calibration of the model according to actual values. Then various options when the temperature is equalized throughout the building during the measurement period are modeled. Finally, the impact of the upgrading of the unbalanced heating system and the application of intermittent temperature degradation in premises influence the energy consumption and achieved amount of saved energy is determined.

The results of the measurements revealed that the multi-storey residential building maintains an uneven indoor temperature. From the heating point, the temperature is significantly lowered, with about of 1 °C of heat loss on each floor. The modeling results revealed that in the case of various unbalanced systems, up to 28,17 % of thermal energy could be saved through modernization of the system. It has also been shown that up to 9,53 % of energy can be saved through intermittent temperature degradation.

After the economic evaluation and determination of SPP, RPP, IRR, NPV indicators have shown that the modernization of the heating system is only useful economically if the whole building is overheated and an average temperature of 20 C - 24 C. is maintained.

Thesis consists of 60 psl. pages of text without appendixes, 33 pictures, 21 tables, 25 bibliographical entries.

Keywords: Heating, modernization, multi-storey residential building, balancing, adjustment

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	9
IVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Termostatinų radiatorių ventilių įdiegimo nauda ir suteikiamas sutaupyta energijos kiekis	13
1.2. Šildymo sistemos balansavimas ir galimas sutaupyti energijos kiekis	18
1.3. Šildymo sistemos valdymo, reguliavimo sukeltas sutaupyta energijos kiekis	20
2. TIRIAMOJI DALIS	22
2.1. Tiriamas daugiabutis pastatas.....	22
2.2. Pastato modelio sukūrimas	24
2.3. Reikalingų duomenų surinkimas, technologinių procesų matavimas.....	27
2.3.1. Nagrinėjamos sistemos aprašymas	27
2.3.2. Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika	29
2.3.3. Matavimo analizė	31
2.3.4. Duomenų apdorojimas.....	32
2.3.5. Radiatorių galios nustatymas:.....	39
2.3.6. Faktinio patalpų šilumos poreikio nustatymas.....	45
2.3.7. Modelio sukalibravimas pagal eksperimento duomenis	47
2.4. Atnaujintos, subalansuotos sistemos modeliavimas	49
2.5. Modeliavimo variantai	50
2.6. Nesubalansuotos sistemos įtaka metiniam šilumos poreikiui.....	52
2.7. Temperatūros žeminimo įtaka šildymo sistemos sutaupyta energijos kiekiams.....	53
2.8. Finansinis vertinimas tam tikriems nesubalansuotos šildymo sistemos variantams	55
2.8.1. Paprastas atsipirkimo laikas (PAL).....	56
2.8.2. Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL)	57
2.8.3. Grynoji dabartinė vertė (GDV).....	58
2.8.4. Vidutinė gražos norma (VGN)	59
IŠVADOS	60
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	61

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Sutaupytos energijos kiekiai po ir prieš modernizavimą (Cholewa <i>et al.</i> 2017):	16
2 lentelė. Pastatų fondo duomenys:.....	22
3 lentelė. Išmatuotos temperatūros vidurkiai stove Nr.5:.....	31
4 lentelė. Išmatuotos temperatūros vidurkiai stove Nr.6:.....	31
5 lentelė. Vidutinė lauko temperatūra matavimo metu.	33
6 lentelė. Apskaičiuoti radiatorių „gaminamos“ galios vidurkiai matavimo laikotarpiu (W), stovas Nr.5:.....	40
7 lentelė. Apskaičiuoti radiatorių galios vidurkiai matavimo laikotarpiu (W), stovas Nr.6:.....	42
8 lentelė. Stovo Nr.5 bendra radiatorių galia ir patalpų, kurias aptarnauja šis stovas, šilumos poreikis.	45
9 lentelė. Stovo Nr.6 bendra radiatorių galia ir patalpų, kurias aptarnauja šis stovas, šilumos poreikis.	46
10 lentelė. Stovo Nr.5 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis Wh/m ² , gautas modeliavimo metu.	47
11 lentelė. Stovo Nr.5 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis.	47
12 lentelė. Stovo Nr.6 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis Wh/m ² , gautas modeliavimo metu.	48
13 lentelė. Stovo Nr.6 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis.	48
14 lentelė. Šilumos poreikis visam pastatui, gautas modeliavimų metu	49
15 lentelė. Modeliavimo variantai ir rezultatai:	50
16 lentelė. Visų lyginamų modeliavimo variantų energijos suvartojimas.....	55
17 lentelė. Nagrinėtų modeliavimo variantų investicijos ir gyvavimo ciklo kaštai	56
18 lentelė. Paprastojo atsipirkimo laiko skaičiavimas visiems vertinamiems modeliavimo variantams	56
19 lentelė. Tikrojo atsipirkimo laiko skaičiavimas visiems vertinamiems modeliavimo variantams.	57
20 lentelė. Gryniosios dabartinės vertės skaičiavimas.	58
21 Lentelė. Vidutinės gražos normos skaičiavimas.	59

Paveikslų sąrašas

1 pav. Sumodeliuotas pastatas su apsupties objektais. (Monetti <i>et al.</i> 2015: 202–210).....	14
2 pav. Patalpos gaunami vidiniai ir išoriniai šilumos prietėkiai. (Xu <i>et al.</i> 2008: 1755–1764)	17
3 pav. Principinė šildymo sistemos schema. (Ahern <i>et al.</i> 2015: 199–209).....	18
4 pav. Nesubalansuotos šildymo sistemos schema. (Ahern <i>et al.</i> 2015: 199–209).....	19
5 pav. Nesubalansuotos, perkaitinamos šildymo sistemos schema. (Ahern <i>et al.</i> 2015: 199–209).....	19
6 pav. 1961 m. – 1990 m. statytų pastatų kiekis	22
7 pav. Lietuvoje pastatytų pastatų 3 – 5 aukštų kiekis	23
8 pav. Nagrinėjamo pastato geometrija.....	24
9 pav. Nagrinėjamo pastato suskirstymas į zonas	25
10 pav. Nagrinėjamo pastato principinė šildymo sistemos schema	26
11 pav. Matavimo prietaisų sumontavimo schema	28
12 pav. Temperatūros jutiklis.....	29
13 pav. Duomenų kaupiklis	29
14 pav. Jutiklių sumontavimo vietos.....	30
15 pav. Vidutinės valandinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stove Nr. 5.	33
16 pav. Vidutinės valandinės lauko oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.....	34
17 pav. Vidutinės valandinės patalpų oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.....	34
18 pav. Paros vidutinės lauko oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.....	35
19 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stove Nr. 5.....	36
20 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas patalpų, kurias aptarnauja stovas Nr. 5.....	36
21 pav. Vidutinės valandinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stove Nr. 6.	37
22 pav. Vidutinės valandinės patalpų oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.....	37
23 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas patalpų, kurias aptarnauja stovas Nr. 6.....	38
24 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stove Nr. 6.....	39
25 pav. Paros vidutinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.5.	41
26 pav. Vidutinės valandinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.5.	41
27 pav. Paros vidutinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.6.	42
28 pav. Vidutinės valandinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.6.	43
29 pav. Pastato išplanavimas su tiriamais stovais.	44
30 pav. Pastato šilumos poreikis kWh/m ² tam tikriems temperatūros kitimo intervalams patalpose.	51
31 pav. Patalpose vyraujančios temperatūros išlyginimo suteikiamas sutaupyta energijos kiekis %.	52
32 pav. Pastato šilumos poreikis kWh/m ² , taikant 2 °C, 3 °C ir 4 °C temperatūros žeminimą.	53
33 pav. Protarpinio temperatūros žeminimo suteikiami sutaupyti energijos kiekiai.	54

Ivadas

Europos Sąjungoje, o kartu ir visame pasaulyje didėja susirūpinimas dėl neefektyvaus ir vis kylančio energijos vartojimo. Vienas iš didžiausių energijos vartotojų yra pastatų sektorius. Europos sąjungoje pastatų sektorius suvartoja 40 % galutinės energijos, kurios didžiausia dalis atitenka šildymui (Martinaitis *et al.* 2010: 1063–1069). Tačiau gyvenamųjų pastatų sektorius turi didžiausią energijos taupymo potencialą. (Rogoža *et al.* 2016: 532–541) Lietuvoje dauguma gyvenamųjų pastatų pastatyti iki 1993 metų, jie yra neefektyvūs energiniu požiūriu. Žiemos laikotarpiu šių daugiabučių pastatų gyventojai gauna dideles šildymo sąskaitas, kadangi pastatai išekvoja didelį kiekį šilumos. Energinio efektyvumo potencialas žiūrint iš trumpalaikės perspektyvos yra ne naujų, efektyvių pastatų projektavime ir statybose, tačiau tinkamai vykdomame senų pastatų modernizavime. Stebint perspektyvas Europoje, galima teigti, kad gyvenamųjų namų sektorių kasmet papildoma maždaug 1,5 % naujai pastatytų pastatų. Akivaizdu, kad visiškai esamo būsto modernizavimas galėtų užtrukti 50–80 metų. Jei pastatų sugriovimas, kaip alternatyva, būtų atmestas, nes tai ekonomiškai nėra naudingas variantas ir daugeliu atvejų jo neįmanoma organizuoti ar vykdyti, tai senų, nusidėvėjusių pastatų modernizavimas rytų Europos šalyse turėtų būti prioritetas. (Martinaitis *et al.* 2015: 455–468)

Baigiamajame magistro darbe atliekama daugiabučio gyvenamojo pastato vienvamzdės šildymo sistemos veikimo analizė ir modeliuojami įvairūs šios sistemos subalansavimo variantai. Modeliavimui pasirenkama *Design Builder* programa, naudojantis jos funkcijomis sukuriamas pastato modelis. Iš pradžių išmatuojamos temperatūros dviejuose šildymo sistemos stovuose bei patalpose, kurias šie stovai aptarnauja. Matavimams pasirinktas 2018.01.09 – 2018.01.15 laikotarpis, gauti kiekvienos minutės temperatūriniai duomenys matuotuose taškuose. Pagal gautus temperatūrinius duomenis apskaičiuojama šildymo prietaisų galia. Nustačius šildymo prietaisų galias, apskaičiuojamas patalpų šilumos poreikis, kurį apskaičiavus atliekamas modelio kalibravimas pagal faktinius dydžius. Sukalibravus modelį, modeliuojami pastato variantai išlyginus temperatūrą visame pastate matavimo laikotarpiu. Galiausiai įvertinama nesubalansuotos šildymo sistemos modernizavimo bei protarpinio temperatūrinio žeminimo pritaikymo patalpose įtaka energijos suvartojimui ir pasiektam sutaupyto energijos kiekiui.

Matavimo rezultatai atskleidė, kad daugiabutyje palaikoma nevienoda patalpų temperatūra. Tolstant nuo šilumos punkto, temperatūra ženkliai žemėja, su kiekvienu aukštu prarandama apie 1 °C šilumos. Taip pat matavimo rezultatai parodė, kad temperatūra stovuose ir šildymo prietaisų gaminama galia tiesiogiai priklauso nuo lauko oro temperatūros kitimo. Krentant lauko oro temperatūrai, temperatūra stovuose ir šildymo prietaisų gaminama galia kyla. Modeliavimo rezultatai atskleidė, kad esant įvairiems nesubalansuotos sistemos atvejams, atlikus sistemos modernizavimą, būtų galima sutaupyti iki 28,17 % šiluminės energijos. Taip pat parodė, kad taikant protarpinį temperatūrinį žeminimą, būtų galima sutaupyti iki 9,53 % energijos.

Atlikus ekonominį vertinimą ir nustatčius, PAL, TAL, VGN, GDV rodiklius paaiškėjo, kad šildymo sistemą modernizuoti naudinga tik tuo atveju, kai visas pastatas yra perkaitinamas ir jame palaikoma 20–24 °C temperatūra vertinant ekonominiu požiūriu.

Sudarė Tadas Kundrotas

Darbo problematika

Gyvenamieji pastatai visoje Rytų Europoje yra labai panašūs savo dizainu, pastato apvalkalu ir netgi naudotojų įpročiais. Taip yra todėl, kad didelė dalis gyvenamųjų pastatų buvo pastatyti Sovietų Sąjungos laikotarpiu, naudojant panašius standartus. (Csoknyai *et al.* 2016: 39–52) Todėl reikia ieškoti efektyviausių būdų, kaip sutaupyti kuo daugiau šiluminės energijos, nepamirštant komforto lygio patalpose gyvenamųjų pastatų sektoriuje. Žiūrint į trumpalaikę perspektyvą, modernizavimo nauda tikriausiai neatneštų finansinės grąžos, kuri padengtų investicijas. Tačiau ilgu laikotarpiu, kai pastato elementai prarastų savo funkcionalumą, tai padėtų išvengti dar didesnių investicijų. (Martinaitis 2004: 3–8). Tai labai svarbi informacija, atsižvelgiant į pastato priežiūros būtinybę viso pastato gyvavimo ciklo metu.

Kalbant apie daugiabučių pastatų modernizavimą, dažniausiai pateikiami sutaupytos energijos kiekiai, atlikus pilną tiek apvalkalo, tiek inžinerinių sistemų modernizaciją. Modernizavus pastato apvalkalą ir inžinerines sistemas, būtų galima pasiekti 50–70 % mažesnę kuro sunaudojimą, taip pat ir mažesnes eksploatacines sąnaudas. (Krawczyk 2014: 30–37) Bendrus sutaupytos energijos kiekius, atlikus pastato modernizavimą, pateikia ir modernizavimo priemonių gamintojai. Pavyzdžiui, įmonė „Danfoss“ tokią informaciją pateikia savo techniniame žinyne „Šildymo sistemų modernizavimas“. Tačiau kyla klausimas, kiek sutaupoma energijos, atlikus tik šildymo sistemos modernizavimą?

Šildymo sistemos modernizacijos efektyvumą įvertinti gana sudėtinga. Norint įvertinti, kiek naudos atneš sistemos modernizavimas, būtina išsiaiškinti esamą situaciją: koks yra sistemos hidraulinio išsibalansavimo lygis, kokios temperatūros vyrauja patalpose, esančiose šalia šilumos punkto, ir kokios temperatūros vyrauja tolimiausiuose taškuose. Taip pat labai svarbu įvertinti, ar patalpoms parinkti pakankamos galios šildymo prietaisai.

Baigiamojo darbo tikslas

Remiantis eksperimento metu išmatuotais duomenimis, ištirti tipinio iki 1993 m. statyto daugiabučio namo šildymo sistemos veikimą ir galimus sutaupyti energijos kiekius, įgyvendinant tam tikras šildymo sistemos modernizavimo priemones.

Baigiamojo darbo uždaviniai

1. Atlikti pastato, statyto iki 1993 m., temperatūros matavimą vienvamzdės šildymo sistemos stovuose ir įvertinti šilumos nuostolius sistemoje.
2. Atlikti daugiabučio modeliavimą *Design Builder* programa.
3. Nustatyti tiriamojo nemodernizuoto daugiabučio pasiekiamus sutaupyto energijos kiekius, panaudojant tam tikras modernizavimo priemones, palyginti faktinių matavimo ir modeliavimo rezultatus.
4. Remiantis gautais rezultatais, suformuluoti išvadas bei pateikti rekomendacijas.

1. Literatūros apžvalga

Europos Sąjungoje pastatai suvartoja 40 % galutinės energijos, kurios didžiausia dalis atitenka šildymui. (Martinaitis *et al.* 2010: 1063–1069) Pastatuose energiją galima taupyti, taikant pasyvias arba aktyvias taupymo priemones. Pasyvias taupymo priemones ir jų atnešamą naudą vertinti nesudėtinga, bet norint įvertinti aktyviomis taupymo priemonėmis pasiekiamus sutaupytos energijos kiekius, kyla įvairių problemų. Dažniausiai problemų kyla dėl sudėtingo esamų šildymo sistemų būklės nustatymo bei esamų šildymo sistemų hidraulinio išsibalansavimo. Taip pat dėl netinkamai parinktų šildymo prietaisų galių, dėl kurių patalpose vyrauja skirtinga temperatūra. Norint įvertinti modernizavimo priemonėmis pasiektus sutaupytos energijos rodiklius senuose daugiabučiuose pastatuose, reikia nustatyti, kiek išbalansuota yra sistema ir koks temperatūros intervalas vyrauja patalpose bei šildymo sistemos stovuose.

Daugiabučių namų šildymo sistemų modernizacijos priemonių efektyvumo analizė buvo atlikta, apžvelgiant Lietuvos ir užsienio mokslininkų sukaupią patirtį paskelbtą moksliniuose straipsniuose taip pat nagrinėjant studentų parašytus mokslinius darbus. Apžvelgus aktualią literatūrą, buvo pastebėta, kad didžiausią įtaką pastato sutaupytos energijos kiekiams, modernizuojant šildymo sistemą, daro šios priemonės:

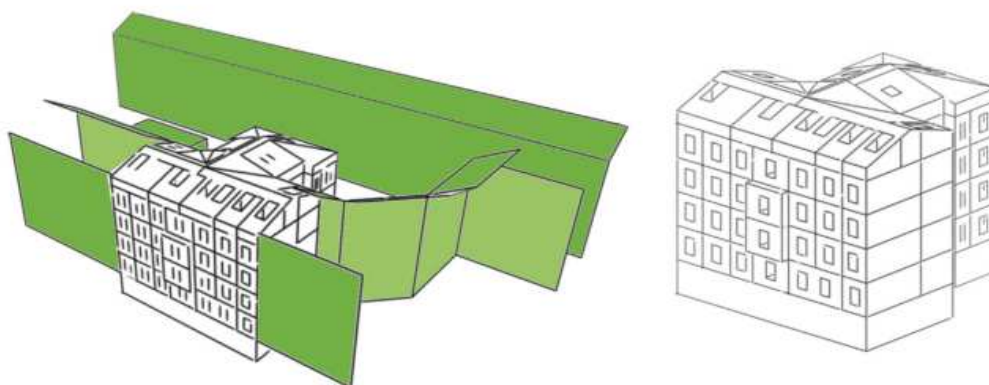
1. Termostatinų ventilių įdiegimas, išorinių šilumos prietėkių panaudojimas. Tai yra labai svarbi priemonė, norint sutaupyti energijos kiekį šildymo sistemoje. Įdiegus termostatinus ventilius, panaudojant išorinius prietėkius, sureguliuojama temperatūra patalpose.
2. Šildymo sistemos subalansavimas. Tinkamai nesubalansavus sistemos, neįmanoma užtikrinti reikiamo šilumos srauto kiekvienam šildymo sistemos stovui. Norint įvertinti sutaupytos energijos kiekį, kurį suteikia šildymo sistemos subalansavimas, į vertinimo analizę būtina įtraukti ir termostatinų radiatorių ventilių panaudojimą, nes nereguliuojant temperatūros patalpose stovų balansavimas tarpusavyje praranda prasmę.
3. Šildymo sistemos valdymas. Tai priemonė, kurią vertinti sudėtinga dėl neaiškių gyventojų įpročių bei mikroklimato poreikių.

1.1. Termostatinų radiatorių ventilių įdiegimo nauda ir suteikiamas sutaupytos energijos kiekis

Termostatiniai radiatorių ventiliai (TRV) yra svarbi efektyvios šildymo sistemos dalis. Atnaujinant šildymo sistemą ir sumontuojant šiuos ventilius, galima tikėtis sutaupytos šiluminės energijos kiekio, investuojant palyginti mažą kiekį lėšų, nes TRV yra mažai kainuojanti šildymo sistemos efektyvinimo priemonė (Monetti *et al.* 2015: 202–210). Norint pasiekti kuo didesnius

sutaupytos energijos kiekius ir taip pat pagerinti patalpų komforto sąlygas, labai svarbu informuoti sistemos naudotojus, kaip teisingai eksploatuoti sistemą. Termostatiniai ventiliai gali naudoti nemokamą energiją – saulės prietėkius, kad būtų patenkinti patalpų šilumos poreikiai ir taip sutaupyta dar daugiau energijos. (Xu *et al.* 2011: 1169–1174)

Straipsnyje (Monetti *et al.* 2015: 202–210) analizuojami šildymo reguliavimo prietaisai – termostatiniai radiatorių ventiliai. Šie ventiliai yra gana dažna modernizavimo priemonė. Straipsnyje nagrinėti tyrimai parodė, kad TRV gali atnešti iki 10 % sutaupytos energijos kiekį. Jei pridamas pastato apvalkalo modernizavimas, sutaupytos energijos kiekiai gali siekti ir 50 %. Senam nemodernizuotam daugiabučiui, esančiam Turino mieste Italijoje, atliktas modeliavimas programa *EnergyPlus*. Buvo sukurtas detalus ir kompleksiškas pastato modelis, kurio kiekvienas kambarys su radiatoriumi buvo sumodeliuotas kaip atskira terminė zona. Iš viso sumodeliuotos 55 atskiros terminės zonos. Kuriant modelį taip pat buvo atsižvelgta ir į pastato aplinkoje esančius statinius (1 pav.), kadangi tik taip galima nustatyti ir įvertinti pastato gaunamus šilumos prietėkius.



1 pav. Sumodeliuotas pastatas su apsupties objektais. (Monetti *et al.* 2015: 202–210)

Norint palyginti modeliavimo metu gautus duomenis su išmatuotais duomenimis, pastato energinis modelis buvo kalibruojamas, kol sumodeliuotas šilumos poreikis atitiko realų – išmatuotą. Taip pat buvo sumodeliuotas ir pastato modelis be TRV, prieš jų įdiegimą. Šios studijos metu buvo sukurti devyni scenarijai su skirtingomis termostatų padėtimis, modeliuojant skirtingus jų naudojimo atvejus. Gauti rezultatai parodė, kad energijos suvartojimas, nenaudojant termostatinių ventilių 115,4 kWh/m², o parankiausio scenarijaus atveju, naudojant termostatinčius ventilius, sumažėja iki 103,4 kWh/m², o tai yra apie 10 % sutaupytos energijos kiekis.

Iš straipsnyje pateiktos analizės matyti, koks yra termostatinių radiatorių ventilių poveikis mažinant šildymo energijos sąnaudas. Rezultatai parodė, kad tiriamame objekte naudojant termostatinčius radiatorių ventilius, galima sumažinti 10 % bendro šilumos energijos suvartojimo per visą šildymo sezoną. Jie taip pat patvirtino, kad termostatinių radiatorių ventilių naudojimas daugiabučiuose pastatuose yra mažai investicijų reikalaujanti šildymo sistemos modifikavimo priemonė, kurią galima lengvai pritaikyti ir istoriniams pastatams. Termostatai buvo modeliuojami

tik remiantis teorinėmis prielaidomis ir spėjant gyventojų elgesį. Norint gauti tikslesnius rezultatus, reikėtų daugiau ir įvairesnės informacijos. Pavyzdžiui, protarpinis temperatūrinis žeminimas gali nulemti dar didesnius sutaupyto energijos kiekius, padėdamas suvokti tikruosius gyventojų įpročius ir jų komforto poreikius. Kitame termostatinis radiatorių ventilius nagrinėjančių mokslininkų straipsnyje pristatoma kelių šildymo sezonų metu surinkta medžiaga iš devynių daugiabučių, suskirstytų į tris grupes ir išskirtų pagal modernizavimo priemones, panaudojant termostatinis radiatorių ventilius. Pirmajai grupei priklauso atvejai, kai pastatuose yra sumontuoti termostatiniai ventiliai be hidraulinio šildymo sistemos balansavimo su išankstinio nustatymo (angl. *pre-set*) funkcija (A grupė). Antrajai grupei priklauso pastatai, kurie iš karto buvo su termostatiniais ventiliais ir vėliau buvo atliktas hidraulinis sistemos balansavimas, panaudojant išankstinio nustatymo (angl. *pre-set*) funkciją (B grupė). Trečiajai pastatų grupei priklauso pastatai, kuriuose tuo pačiu metu sumontuoti termostatiniai ventiliai šildymo prietaisuose ir atliktas hidraulinis šildymo sistemos balansavimas, panaudojant išankstinio nustatymo (angl. *pre-set*) termostatinis radiatorių ventilių funkciją (C grupė). (Cholewa *et al.* 2017)

Visuose modeliuotuose variantuose investicijų atsipirkimas siekdavo ne daugiau kaip 2,5 šildymo sezonų. Duomenų analizė atlikta atsižvelgiant į 6 šildymo sezonų duomenis, kurie buvo tipiški modernizavimo veiklai, atliekamai pasirinktuose pastatuose. Šildymo sezonas tyrimo laikotarpiu prasidėdavo spalio mėnesį ir baigdavosi balandžio mėnesį. Analizuojami pastatai buvo pastatyti nuo 1951 metų iki 1969 metų. Kadangi juos statant buvo taikomi panašūs konstrukciniai sprendimai, panašūs principai buvo taikomi ir įrengiant šių pastatų šildymo sistemas. Kiekvieno namo rūsyje, šilumos punkte buvo įrengtos nepriklausomos šildymo sistemos, kuriose šilumokaitis sumažindavo temperatūrą iki 80/60 °C. Tada šilumnešis buvo transportuojamas į radiatorius-konvektorius, įrengtas kiekviename kambaryje (Cholewa *et al.* 2017).

Pastatų iš A ir C grupių analizei buvo naudojami 6 šildymo sezonai: 2 šildymo sezonai prieš modernizaciją ir 4 šildymo sezonai po modernizacijos. Į pastatų, priklausančių B grupei, dėl trūkstamų duomenų analizę buvo įtraukti tik 4 šildymo sezonai: 1 šildymo sezonas prieš modernizaciją ir 3 šildymo sezonai po modernizacijos.

Termostatinis ventilių, kaip šildymo sistemos modernizavimo priemonės, įdiegimas A grupės pastatuose, hidraulinis balansavimas B grupės pastatuose ir termostatinis ventilių įdiegimas ir hidraulinis balansavimas C grupės pastatuose buvo vykdomas vasarą. Tokiu atveju buvo išvengta sistemų darbo nutraukimo šildymo sezono metu, kai pastatams labiausiai reikalinga šiluma. Analizuojamu laikotarpiu jokia kita modernizavimo priemonė pastatuose nebuvo panaudota, o tai leidžia tiksliai įvertinti kiekvienos įdiegtos priemonės įtaką pastato energijos suvartojimui.

A grupės pastatų pasiekti vidutiniai sutaupyto energijos kiekiai siekė 10,3%. B grupės pastatų tyrimas parodė, kad hidraulinis šildymo sistemos balansavimas, naudojant išankstinio termostatinio

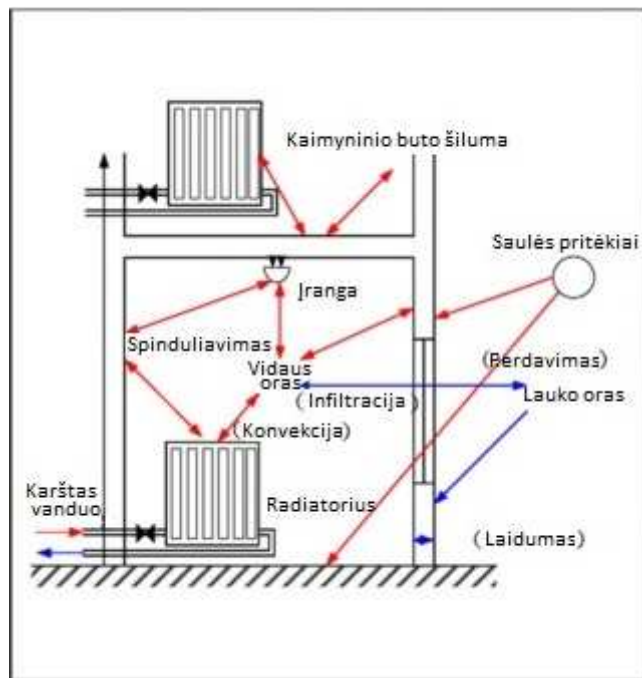
radiatorių ventilio (pre-set) nustatymo funkciją, gali padėti pasiekti nuo 7,1 % iki 10,2 %. Sutaupyta energijos kiekiai, kai sistema ir subalansuojama, ir sumontuojami TRV su išankstinio nustatymo funkcija, vidutiniškai sutaupo 20,8 % šiluminės energijos. Visi rezultatai pateikti 1 lentelėje:

1 lentelė. Sutaupyta energijos kiekiai po ir prieš modernizavimą (Cholewa *et al.* 2017):

Pastatai	Vidutiniškai sunaudota šilumos [GJ m ⁻²]		Sutaupyta energijos kiekiai [%]
	Prieš	Po	
A1	0,858	0,761	11,4
A2	0,741	0,666	10,1
A3	0,972	0,879	9,5
Pastatai	Vidutiniškai sunaudota šilumos [GJ m ⁻²]		Sutaupyta energijos kiekiai [%]
	Prieš	Po	
B1	0,717	0,652	9,1
B2	0,576	0,517	10,2
B3	0,678	0,630	7,1
Pastatai	Vidutiniškai sunaudota šilumos [GJ m ⁻²]		Sutaupyta energijos kiekiai [%]
	Prieš	Po	
C1	0,672	0,544	19,1
C2	1,058	0,812	23,3
C3	0,797	0,638	19,9

Mokslininkų, kurie taip pat nagrinėja šildymo sistemų reguliavimą naudojant termostatinis ventilius, parašytame straipsnyje (Xu *et al.* 2011: 1169–1174) nustatyta, kad patalpų perkaitinimas ir nelygus srauto pasiskirstymas šildymo sistemoje gali atsirasti dėl neteisingos hidraulikos arba per didelio šilumnešio srauto vartotojams, gyvenantiems arčiau šilumos punkto. Per dideli radiatoriai gali sukelti patalpų perkaitinimo ir neekonomiško šilumos vartojimo problemų. Pavyzdžiui, vienodo tipo pastatams su atitvaromis, turinčiomis mažesnę šilumos perdavimo koeficientą, nereikalingas toks didelis radiatorių plotas, koks reikalingas pastatams su nemodernizuotu fasadu. Taip atsitinka, kai atnaujinamas fasadas, bet neliečiama šildymo sistema ir paliekami per dideli, seni radiatoriai. Straipsnyje nurodoma, kad per didelė tiekiamo vandens temperatūra gali atsirasti dėl neteisingo temperatūrinio reguliavimo. Norint patenkinti žmonių, gyvenančių nuo šilumos punkto nepatogiausiose vietose, poreikius, pakeliama tiekiamo vandens temperatūra, todėl gaunasi pernelyg didelė temperatūra vartotojams, gyvenantiems šalia šilumos punkto. Šiame straipsnyje taip pat pateikiama, kad termostatiniai radiatorių ventiliai ne tik sumažina nuostolius, kuriuos sukelia patalpų perkaitinimas, bet taip pat sumažina ir srauto, pertekancio per šildymo sistemos cirkuliacinį siurbį, kiekį. Dėl to sumažėja ir cirkuliacinio siurblio energijos suvartojimas. Visi šie paminėti veiksniai yra labai svarbūs, nagrinėjant šildymo sistemos modernizavimo galimybes ir galimus sutaupyti energijos kiekius, pritaikant modernizavimo priemones.

Kito tyrimo metu (Xu *et al.* 2008: 1755–1764) buvo pateiktas termostatinų radiatorių ventilių veikimo modeliavimo analizės atvejis. Remiantis esamu pastatu ir jo šildymo sistema buvo nustatyta, kad temperatūrinius radiatorių ventilius nustačius ties 2–3 pozicijomis ir apribojus šilumos srautą, šilumos suvartojimą galima sumažinti apie 12,4 %, palyginus su situacija, kai TRV yra visiškai atidaryti ir praleidžia visą srautą. Vandens srautas buvo svarbus rodiklis, kuris iš tikrųjų atspindi šilumos apkrovos pokyčius. Be to, buvo nustatyta, kad butui, išjungus šildymą, šildymo sezono metu, kaimyninių butų šilumos suvartojimas padidėtų apie 6–14 %.



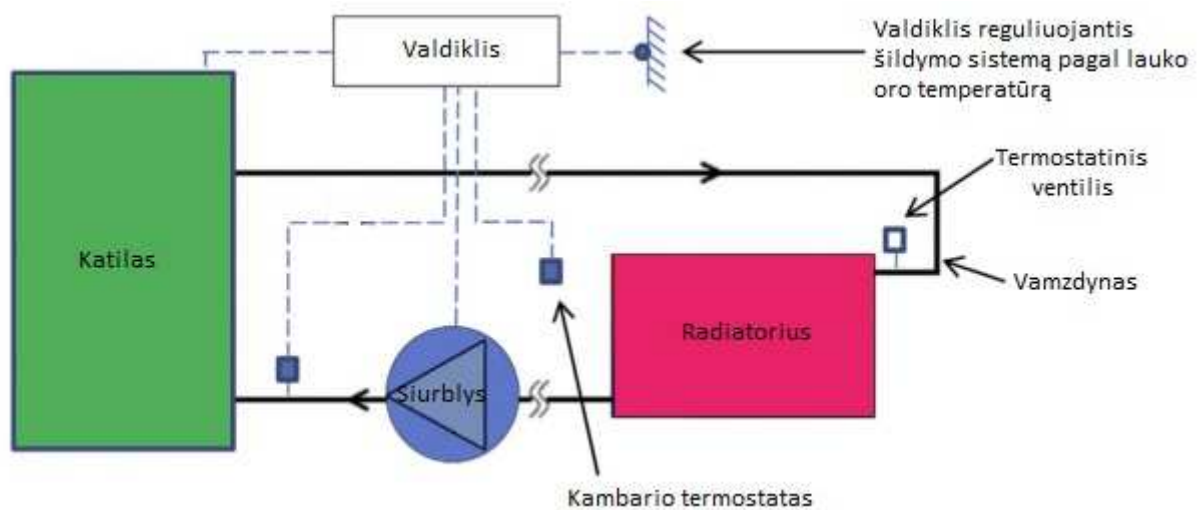
2 pav. Patalpos gaunami vidiniai ir išoriniai šilumos prietėkiai. (Xu *et al.* 2008: 1755–1764)

2 pav. pateikiama schema, kurioje matyti, kas sudaro vidinius ir išorinius šilumos prietėkius patalpoje. Taip pat galima matyti, kur patalpoje šiluminė energija gaunama šilumos perdavimo, laidumo, konvekcijos ar spinduliavimo būdu.

1.2. Šildymo sistemos balansavimas ir galimas sutaupyti energijos kiekis

Norint nustatyti, kokią energijos kiekį gali sutaupyti šildymo sistemos balansavimas, apžvelgtas darbas, kurio tikslas kiekybiškai įvertinti sutaupytą energijos kiekį Europos Sąjungoje, optimizuojant esamas šildymo sistemas ir išlaikant komforto lygį. Iš straipsnyje nagrinėtų atvejų matyti, kad sutaupyti energijos kiekiai gaunami nuo 1 % iki 19 % priklausomai nuo pastato tipo, laiko, pastatymo vietos, pradinio konkretaus šilumos suvartojimo. Visi potencialūs sutaupyti energijos kiekiai Europos Sąjungos pastatų ūkio energijos vartojimo sektoriuje siekia 22,6 Mtne, apie 7,3 % viso energijos kiekio. Mažai investicijų reikia, norint esamose sistemose patobulinti aktyvias modernizavimo priemones, tokias kaip termostatinų ventilių sumontavimas, šildymo stovų tarpusavio balansavimas.

Per didelių galių šiluminiai prietaisai sukelia 50 % didesnę energijos suvartojimą. Ištyrus 92 pastatus šiaurės Vokietijoje nuo 2002 m. iki 2005 m. paaiškėjo, kad vidutiniškai katilai buvo per dideli maksimaliam šilumos poreikiui apie 1,8 karto, suprojektuoti cirkuliaciniai siurbliai buvo 3 kartus didesni nei buvo reikalinga ir radiatoriai buvo 1,7 karto per dideli. O hidraulinis reguliavimas vandens pasiskirstymo vamzdyne yra pasiekiamas, panaudojant iš anksto nustatomus termostatinus radiatorių ventilius arba pritaikomus srauto uždarymo balansinius vožtuvus, kaip hidraulinius pasipriešintojus, kurie subalansuoja srautus.



3 pav. Principinė šildymo sistemos schema. (Ahern *et al.* 2015: 199–209)

Principinė daugiabučių pastatų šildymo sistemų schema pateikta 3 paveiksle.

Nesubalansuota sistema reiškia, kad artimiausias siurblio radiatorius gauna perteklinį šilumnešio kiekį ir yra didesnis nei projektinis šilumos kiekis (raudonas). Tuo tarpu į radiatorius, kurie yra toli nuo siurblio, yra tiekama nepakankamai šilumos, todėl užtikrinama mažesnė šiluminė galia nei numatyta (mėlyna). Šį grafiškai pavaizduotą procesą galime matyti 5 paveiksle, kuriame vaizduojamas vienas šildymo sistemos stovas, į kurį jungiasi po 5 šildymo prietaisus kiekviename aukšte.



4 pav. Nesubalansuotos šildymo sistemos schema. (Ahern *et al.* 2015: 199–209)

Įveikti hidraulinio balansavimo trūkumą sistemoje galima keliais būdais:

- 1) padidinus siurblio greitį,
- 2) įrengus didesnę siurblių, kaip parodyta 5 pav.



5 pav. Nesubalansuotos, perkaitamos šildymo sistemos schema. (Ahern *et al.* 2015: 199–209)

Esamos šildymo hidraulinio paskirstymo sistemos optimizavimas gali padėti sutaupyti 7,3 % energijos be didelių investicijų galutiniam vartotojui. Esamų pastatų šildymo paskirstymo sistemų optimizavimas yra pigus, o poveikis didelis. ES valstybėse narėse turi būti numatytos vidaus politikos priemonės, skirtos gyvenamųjų pastatų šildymo sistemų veikimo našumui didinti. Bet kokia remonto priežastis, kaip optimizavimo galimybė, taip pat turėtų būti matoma. Prieš pradedant naudoti brangias ir daug investicijų reikalaujančias technologijas, iš pradžių reikėtų įvertinti lengvai ir nebrangiai įdiegiamų modernizavimo priemonių panaudojimo galimybes (Ahern *et al.* 2015: 199–209).

1.3. Šildymo sistemos valdymo, reguliavimo sukeliamas sutaupyta energijos kiekis

Savo straipsnyje (Nägele *et al.* 2017: 1254–1268), atlikdami pastatų šildymo sistemų valdymo būdų apžvalgą ir kiekybinį vertinimą, teigia, kad elektroniniai šildymo valdymo prietaisai, palyginus su visais šildymo sistemos įrenginiais, yra palyginti nebrangūs ir gali būti įdiegiami ir pakeičiami gana paprastai. Taigi technologijos, kuriomis tiksliai sumažinama šilumnešio temperatūra mažesnio šilumos poreikio laiku, (t. y., kai žmonių nebūna namie arba naktį), gali atnaujinti šildymo sistemas ir būti ekonominiu papildymu tradiciniam modifikavimui.

Protingos reguliavimo sistemos gali iki minimalaus sumažinti žmogaus kišimąsi į šildymo sistemos valdymą, naudojant žmonių buvimo patalpose tvarkaraščius bei žinant šiluminius įpročius (Peffer *et al.* 2011: 2529–2541). Gyvenamųjų patalpų šilumos reguliavimo strategijos stipriai supaprastėjo, pradėjus naudoti programuojamus termostatus, kaip pagrindinę valdymo sistemą. Namų savininkai vis labiau vertino geresnę gyvenimo kokybę ir stengėsi dar labiau pagerinti komfortą patalpose ir tausoti sveikatą (Moon *et al.* 2010: 1612–1625). Programuojami termostatai išrasti jau daugiau nei 30 metų, tačiau tik 30 % JAV namų ūkių turi juos įsidiegti (Peffer *et al.* 2011: 2529–2541). (Conference *et al.* 2012: 56–62) studija atskleidžia, kad ištyrus 20 nedideles pajamas gaunančių namų ūkių termostatų naudojimo įpročius paaiškėjo, kad tik 30 % iš jų buvo užprogramuoti, 45 % buvo palaikoma vienoda temperatūra, 5 % buvo išjungti. Jų atliktoje internetinėje apklausoje nustatyta, kad 89 % respondentų retai arba niekada nenaudojo programuojamų termostatų, norėdami nustatyti savaitės ar savaitgalio programą, o 54 % naudojo įjungimo / išjungimo jungiklį bent kartą per savaitę. Tik maždaug pusė termostatų yra programuojami, norint sumažinti temperatūrą naktį arba kai žmonių nebūna namuose. Dėl šios priežasties programuojami termostatai yra ne visada taupantys energiją (Peffer *et al.* 2011: 2529–2541). Rankinio nustatymo termostato neefektyvumą galima įveikti su valdymo daviklių pažangumu ir belaidžiu ryšiu. Šios priemonės leidžia sudaryti geresnes sąlygas, užtikrinančias komfortą (Nägele *et al.* 2017: 1254–1268). Atsirado prietaisai, galintys nustatyti žmonių buvimą patalpose. Integruojama informacija apie žmonių buvimą patalpose yra svarbi klimato kontrolės sistemos kūrimo dalis (Oldewurtel *et al.* 2013: 521–532).

Žmonių buvimą patalpose nustatantys prietaisai:

- durų jutikliai;
- infraraudonųjų spindulių jutikliai;
- judesio jutikliai;
- judesio ir durų jutikliai;
- fotoaparatai;
- radijo dažnių identifikavimo (RFID);

- ir belaidžių jutiklių tinklų derinys.

Visi pirmiau išvardinti sprendimai turi vieną pagrindinį tikslą – didinti energijos taupymą bei komfortą (Nägele *et al.* 2017: 1254–1268).

Naudojant programuojamus termostatus ir jų teisingai neužprogramavus, gyventojai gali būti priversti atvykti į šaltus namus. Teisingas sistemos naudojimas gali dar labiau padidinti komfortą, kurį patiria vartotojai. Nepaisant to, sudėtinga kurti technologijas, skirtas gyvenamųjų patalpų užimtumui (atvykimas, išvykimas, gyventojų miego trukmė ir kt.) prognozuoti.

Lietuvos mokslininkų parengta studija (Motuziene *et al.* 2013: 798–807) yra paremta prielaida, kad didžiausias efektyvaus energijos vartojimo potencialas yra galutinio vartotojo pusėje. Veiksniai, pavyzdžiui, vieta, pastato apvalkalas, suprojektuotos šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo bei apšvietimo sistemos ir pasirinktos valdymo strategijos, turi didžiulį poveikį energijos suvartojimo rezultatams. Yra sunkiau nuspėti energijos vartojimo įpročius pastatuose, ypač gyvenamuose namuose (vienos šeimos), kurie priklauso nuo daugelio veiksnių. Tai reiškia, kad energijos vartojimo profiliai ŠVOK sistemoms, karštam vandeniui ir elektrai turi būti žinomi. Pastatas turėtų būti vertinamas kaip kompleksas dinaminių ir netiesinių sistemų. Supaprastinti metodai, naudojami inžinerinėje praktikoje, gali padėti įvertinti kompleksines sistemas, todėl reikalingos kompiuterinių modeliavimų programos.

Savo straipsnyje (Semprini *et al.* 2015: 633–638) teigia, jog Bolonijos miesto daugiabučiuose pastatuose, kuriuos šiluma aprūpina centralizuoti šilumos tinklai, nustatyta, kad skirtingas vidaus temperatūros nustatymas gretimuose butuose gali lemti energijos suvartojimo svyravimus iki 30 %.

Dar vieno straipsnio autoriai ištyrė trijų pastatų šildymo sistemų valdymo įtaką šildymo sistemos efektyvumo lygiui. Pristatomas paprastas ir daug laiko neužtrunkantis būdas, kaip kiekybiškai įvertinti pastato šildymo sistemos valdymo efektyvumo didinimą. Palyginimas tikro ir idealaus pastato šildymo sistemos valdymo efektyvumo lygio gali būti gautas, panaudojant pastato šilumos nuostolių indikatorių. Trijų pastatų tyrimas parodė, kad pasiekti sutaupyti energijos kiekiai, padidinus šildymo sistemos valdymo efektyvumo lygį, siektų 5,6 %, 4,7 % ir 7,3 % (Martinaitis *et al.* 2015: 455–468).

Atlikus literatūros apžvalgą, paaiškėjo, kad norint nustatyti šildymo sistemos modernizavimo suteikiamus sutaupyti energijos kiekius labai svarbu žinoti esamą sistemos būklę. Taip pat išsiaiškinta, kad viena dažniausių šildymo sistemų modernizavimo priežasčių – per didelės galios šildymo prietaisai, kurie perkaitina patalpas. Pastebėta, kad šildymo sistemos modernizavimo tyrimų, kurie įvertintų termostatinų ventilių įdiegimą patalpose prie šildymo prietaisų ir balansinių ventilių įdiegimą šildymo sistemos stovuose, nėra daug. Todėl nuspręsta ištirti esamo senos statybos daugiabučio pastato vienvamzdės šildymo sistemos veikimą ir galimus sutaupyti energijos kiekius, atlikus šios sistemos modernizavimą.

2. Tiriamoji dalis

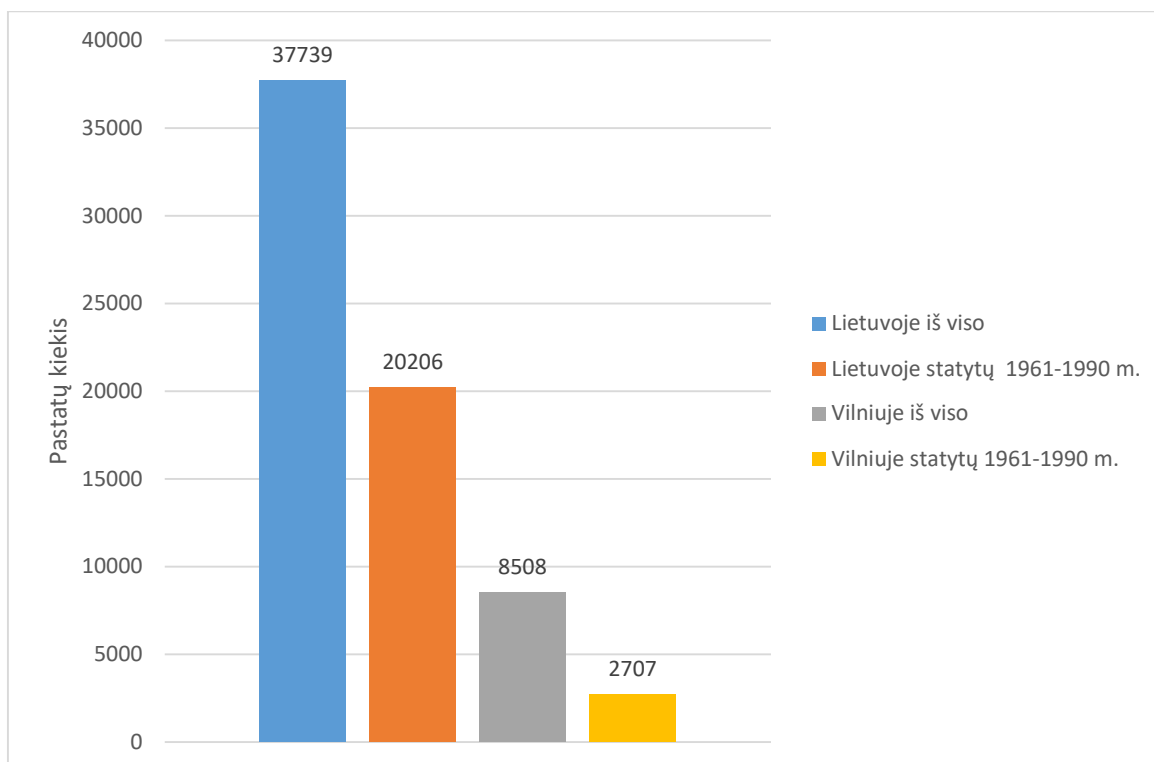
2.1. Tiriamas daugiabutis pastatas

Tirti pasirenkamas gyvenamasis daugiabutis pastatas, kuris patenka į pastatų, statytų nuo 1961 m. iki 1990 m. ribas, yra nuo 3 iki 5 aukštų. Duomenys paimti iš Lietuvos Respublikos nekilnojamo turto registro įregistruotų statinių apskaitos 2016 m. Duomenis Lietuvos mastu galime matyti 2 lentelėje.

2 lentelė. Pastatų fondo duomenys:

	Skaičius	Plotas, m ²
Lietuvoje iš viso	37739	53061747
Vilniuje iš viso	8508	16908853
Lietuvoje statytų 1961–1990 m.	20206	37418554
Vilniuje statytų 1961–1990 m.	2707	8349058
Lietuvoje 3–5 aukštų.	14024	33061515
Vilniuje 3–5 aukštų.	3163	7933467

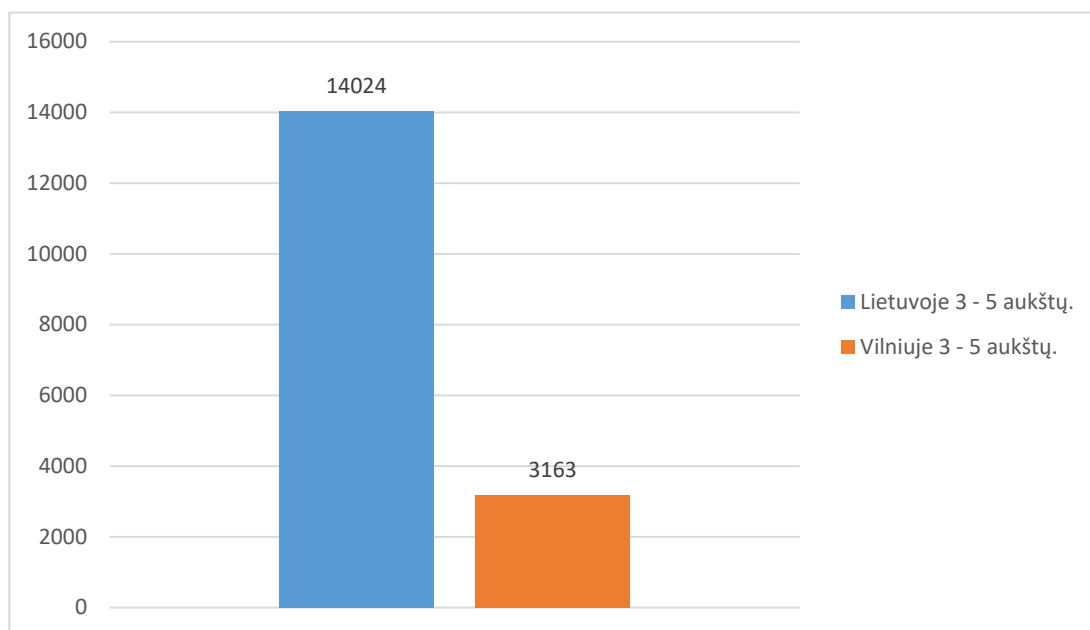
Grafiškai pavaizduotą gyvenamųjų daugiabučių pastatų skaičių galime matyti 6 paveiksle.



6 pav. 1961–1990 m. statytų pastatų kiekis

Išanalizavus grafike pateiktus duomenis matome, kad nurodytais metais Lietuvoje statytų pastatų kiekis sudaro 53,54 % viso apskaitoje įregistruotų pastatų kiekio. Vilniuje statytų pastatų kiekis

nurodytais metais yra 31,82 %. Tai procentaliai parodo, kad būtent nurodytais metais buvo pastatyta labai didelis esamų pastatų kiekis.



7 pav. Lietuvoje pastatytų pastatų 3 – 5 aukštų kiekis

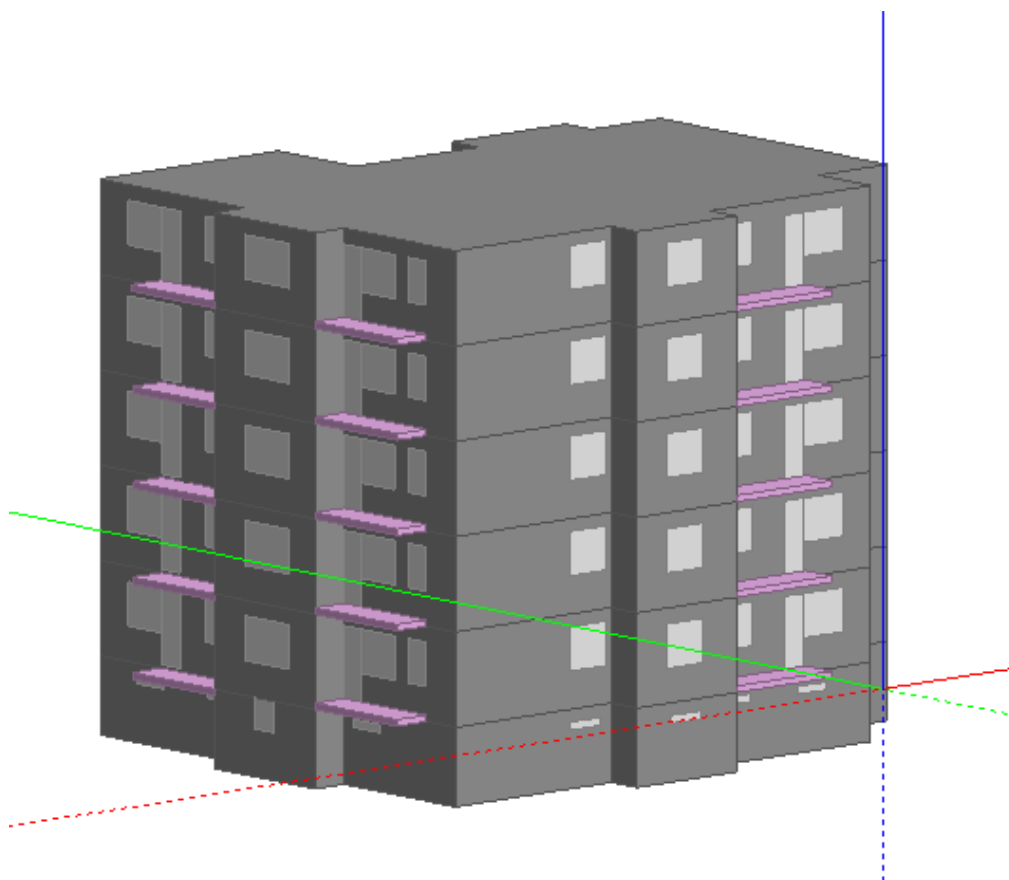
Išanalizavus 7 paveikslo duomenis galime nustatyti, kad pastatų nuo 3 iki 5 aukštų kiekis Lietuvoje sudaro 22,55 % viso pastatų kiekio.

Taigi apibendrinant Lietuvos Respublikos nekilnojamo turto registro įregistruotų statinių apskaitos 2016 m. pateikiamus duomenis galima daryti prielaidą, kad darbo tema yra aktuali, nes apima didelio esamų pastatų kiekio problemas. Kadangi šiuo laikotarpiu statytų pastatų gyvavimo laikas viršija 25 metus, juos reikia modernizuoti, o čia ir slypi efektyvaus energijos vartojimo potencialas.

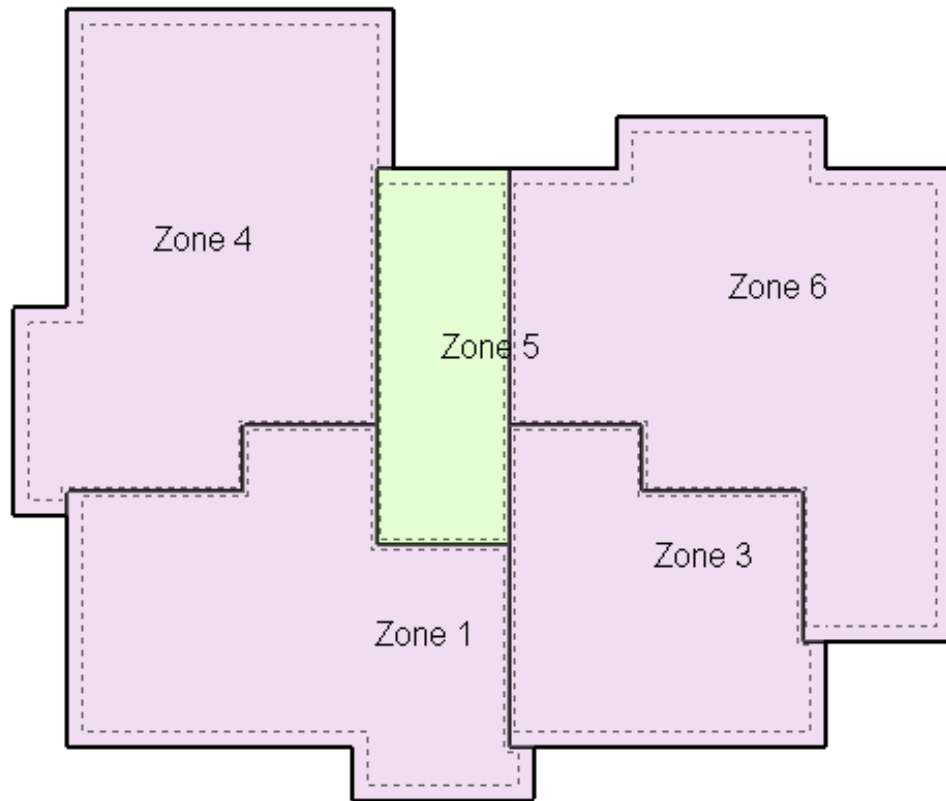
2.2. Pastato modelio sukūrimas

Naudojantis *Design Builder* programa pagal tipinio pastato modernizacijos projektą sukurta pastato geometrija, matoma 8 paveiksle. Nustatyta pastato buvimo vieta bei pasirinkta meteorologinė stotis, kurios klimatiniai duomenys naudojami pastato energinių poreikių skaičiavimui. Toliau sumodeliuotos pastato atitvaros, kurių storis bei šilumos perdavimo koeficientas atitinka tipinio pastato modernizavimo projekte numatytus duomenis. Taip pat pasirinktas pastate esančių šildymo prietaisų tipas.

Norimiems modeliavimo rezultatams gauti buvo naudojamosi tipinių meteorologinių metų duomenimis pagal Kauno miesto meteorologinę stotį.



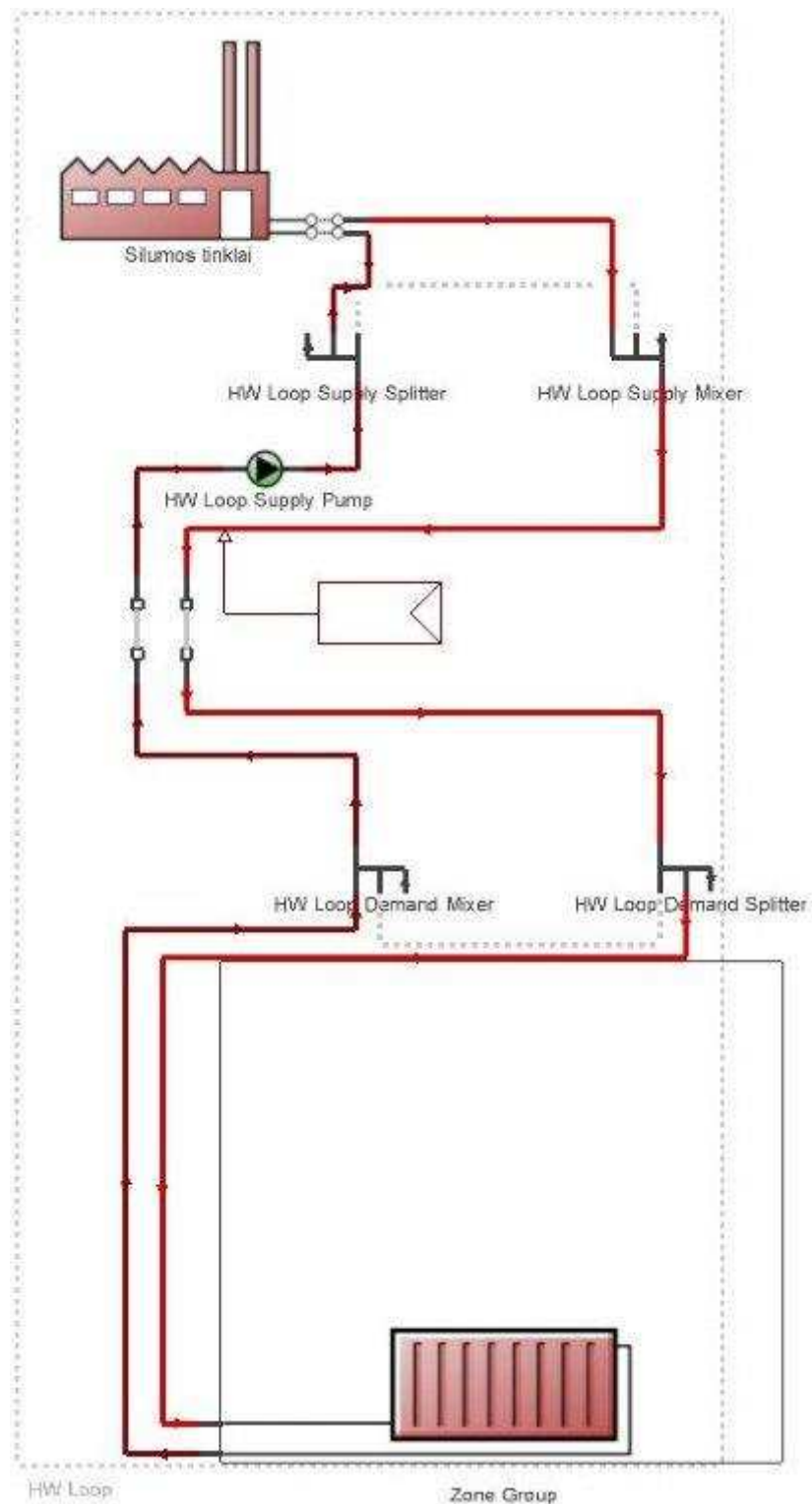
8 pav. Nagrinėjamo pastato geometrija



9 pav. Nagrinėjamo pastato suskirstymas į zonas

Norint nustatyti kuo tikslesnius pastato suvartojamus energijos kiekius, modeliuojamas pastatas suskirstomas į zonas. Kiekvienai patalpai priskiriama tam tikra paskirtis ir pagal šias paskirtis patalpos suzonuojamos (9 pav.). Kadangi modeliuojamas daugiabutis pastatas, jis skirstomas į programos leidžiamas pasirinkti zonas:

1. Pagrindinės buto erdvės – svetainės zona.
2. Bendro naudojimo patalpos.



10 pav. Nagrinėjamo pastato principinė šildymo sistemos schema

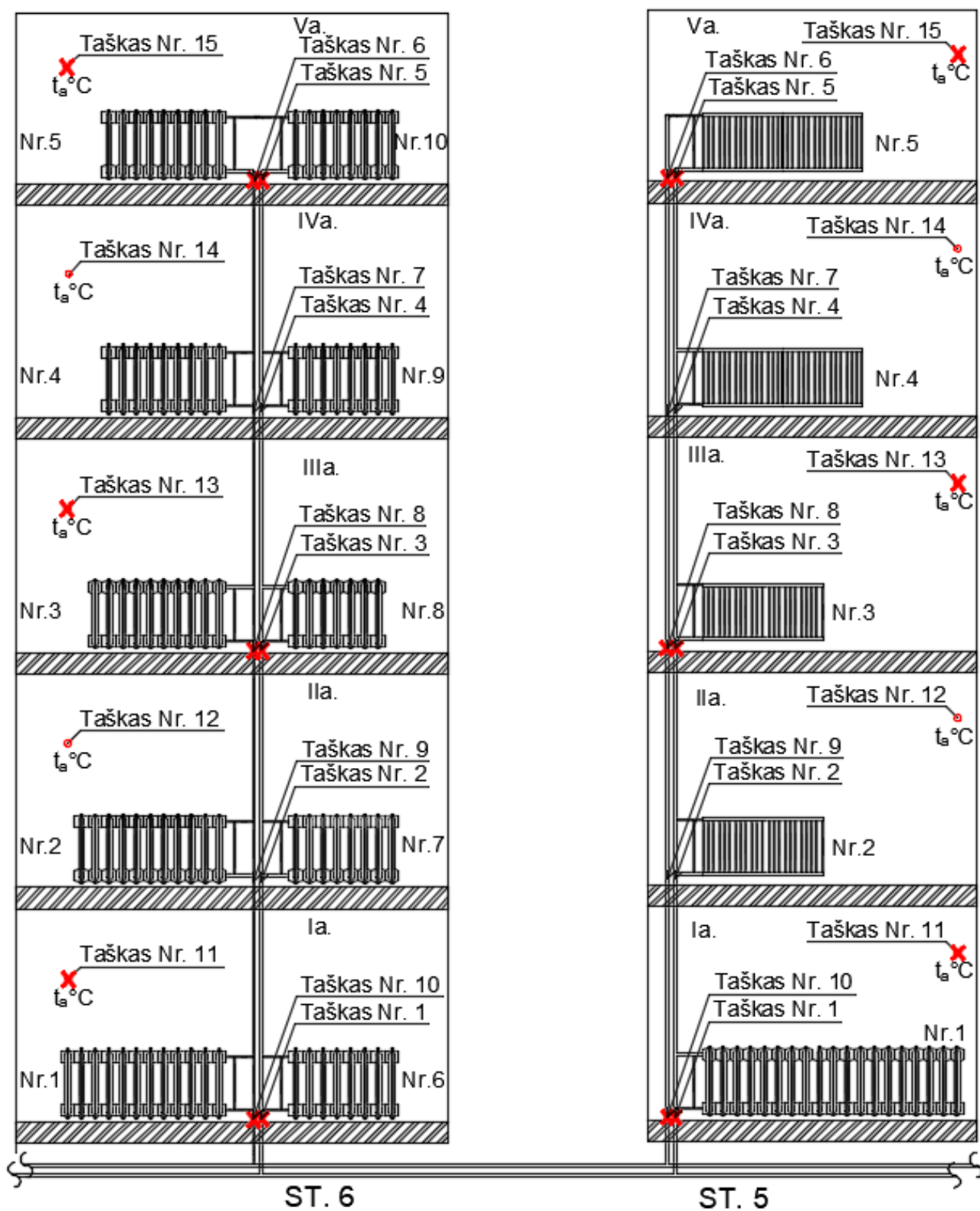
Šioje schemoje pavaizduota principinė šildymo sistemos schema, sudaryta programa *Design Builder*, kai šiluminė energija gaunama iš centrinių šilumos tinklų. Schemoje taip pat galima matyti šildymo sistemos kontūrą nuo šilumos tinklų iki šildymo prietaisų.

2.3. Reikalingų duomenų surinkimas, technologinių procesų matavimas

Norint įvertinti šildymo sistemos modernizavimu pasiektus sutaupytos energijos kiekius, antras žingsnis po modelio sukūrimo *Design Builder* programa yra šildymo sistemos realios būklės nustatymas. Tam, kad būtų pasiektas šis tikslas, nuspręsta išmatuoti šilumnešio temperatūrą dviejuose vienvamzdės šildymo sistemos stovuose. Norint įvertinti šildymo sistemos hidraulinį išbalansavimą būtina išmatuoti ir patalpų oro temperatūrą atitinkamose pastato patalpose, kurias aptarnauja matavimams pasirinkti stovai. Matavimams atlikti panaudoti temperatūros jutikliai bei duomenų kaupikliai išmatuotoms temperatūroms kaupti. Šiuos duomenis pasirinkta kaupti, kad gavus rezultatus būtų galima nustatyti patalpose esančių šildymo prietaisų šiluminę galią ir apskaičiuoti realų šilumos poreikį matavimo laikotarpiui. Minėtas poreikis būtinas norint sukalibruoti modelį ir įvertinti, kokius sutaupytos energijos kiekius galėtų atnešti patalpų temperatūros išlyginimas.

2.3.1. Nagrinėjamos sistemos aprašymas

Tirto daugiabučio pastato šildymo sistema vienvamzdė, viršutinio paskirstymo, viename tirtame stove radiatoriai sumontuoti ne tik ant grįžtamo srauto, bet ir ant tiekiamo. Pirminė gyventojų apklausa parodė, kad viršutiniuose pastato aukštuose nėra pakankama patalpų temperatūra. Šias prielaidas patvirtino ir faktinių patalpų vidaus temperatūros matavimas. Matavimo metu ji buvo gana žema, kartais nukrisdavo iki 17 °C . Šildymo sistemos stovų ir prietaisų sumontavimo schemą galime matyti 12 paveiksle. Schemoje pavaizduoti šildymo prietaisai, jų išmatavimai bei sekcijų skaičius atitinka realius pirminės tyrimo objekto apžiūros metu nustatytus šildymo prietaisų dydžius.



11 pav. Matavimo prietaisų sumontavimo schema

2.3.2. Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika

Daugiabučio pastato stovų temperatūros matavimai buvo atliekami 2018.01.09–2018.01.15. Matavimams savaitės intervalas buvo pasirinktas todėl, kad tai yra pakankamas laiko tarpas, norint padaryti tam tikras išvadas, o dėl galimų matavimo paklaidų, turint daugiau duomenų analizei, galima gauti tikslesnius rezultatus. Buvo išmatuota dviejų šildymo sistemos stovų, Nr. 5 ir Nr. 6, temperatūra. Temperatūros matavimai atlikti I, III ir V aukštuose. Temperatūros jutikliai (12 pav.) prijungiami prie tiekiamo bei grįžtamo stovo vamzdynų, taip pat matuota patalpos temperatūra. Jutiklis, matuojantis patalpų vidaus temperatūrą, buvo sumontuotas toliau nuo radiatorių, kad radiatorių skleidžiama šiluma nedarytų įtakos jo kaupiamiems duomenims.



12 pav. Temperatūros jutiklis

Temperatūros matavimo duomenys buvo kaupiami „data logger“ kaupikliuose (13 pav.) 7 dienas vienos minutės intervalu.



13 pav. Duomenų kaupiklis

14 pav. esančiose nuotraukose matyti, kaip buvo sumontuoti temperatūros jutikliai. Du temperatūriniai jutikliai, matuojantys tiekiamą ir grįžtamą stovo temperatūrą, pažymėti raudonomis rodyklėmis. Trečias temperatūros jutiklis buvo skirtas patalpos temperatūros matavimui. Patalpų vidaus temperatūra buvo matuojama patalpos viduryje, siekiant išvengti šildymo prietaisų įtakos. Iš nuotraukų taip pat galime matyti, kad šildymo sistema yra seno tipo, nemodernizuota.



14 pav. Jutiklių sumontavimo vietos

Temperatūra buvo matuojama ant stovo virš perdangos, matavimo vietoje pritvirtinus jutiklį, izoliacinę medžiagą ir užveržus užveržimo dirželiu.

2.3.3. Matavimo analizė

Duomenys buvo eksportuojami, naudojantis HOBOWARE programine įranga. Prietaisai buvo užprogramuoti fiksuoti kiekvienos minutės temperatūrą pasirinktuose taškuose, kuriuos galima matyti 11 pav. Po to duomenys buvo susisteminti: buvo išvesti kiekvienos matuotos dienos, kiekvieno matuoto taško temperatūriniai vidurkiai, kuriuos galima matyti 2 ir 3 lentelėse. Jose tiekiamo šilumnešio temperatūra matuojamame stovo taške žymima **Temp. °C Tiekiamas**, o grįžtamo šilumnešio temperatūra matuojamame stovo taške žymima **Temp. °C Grįžtamas**, patalpos temperatūra matuojamame taške žymima **Temp. °C Patalpos**.

3 lentelė. Išmatuotos temperatūros vidurkiai stove Nr.5:

	Buto Nr:	44			48			52			56			60		
Nr.	Diena	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos
	Taško nr.	1	10	11	2	9	12	3	8	13	4	7	14	5	6	15
1	2018.01.09	39,10	34,69	22,14	39,07	35,72	21,31	39,05	36,75	20,48	39,03	37,79	19,59	39,00	38,82	18,70
2	2018.01.10	40,91	35,63	22,06	40,78	36,78	21,18	40,65	37,92	20,29	40,43	39,06	19,23	40,39	40,20	18,17
3	2018.01.11	40,95	35,59	21,84	40,78	36,54	20,93	40,61	37,49	20,01	40,31	38,88	19,11	40,26	40,02	18,21
4	2018.01.12	39,56	34,51	21,57	39,40	35,61	20,71	39,24	36,72	19,84	39,15	37,83	18,76	39,06	38,93	17,68
5	2018.01.13	43,43	37,29	21,94	43,26	38,62	21,11	43,10	39,95	20,28	42,93	41,27	19,26	42,77	42,60	18,24
6	2018.01.14	43,77	37,58	21,88	43,60	38,76	21,00	43,43	39,95	20,13	43,26	41,13	18,79	43,08	42,32	17,46
7	2018.01.15	44,98	38,51	21,95	44,80	39,69	21,06	44,63	40,87	20,18	44,46	42,04	18,63	44,28	43,22	17,08

4 lentelė. Išmatuotos temperatūros vidurkiai stove Nr.6:

	Buto Nr:	44			48			52			56			60		
Nr.	Diena	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos	Temp. °C Tiekiamas	Temp. °C Grįžtamas	Temp. °C Patalpos
	Taško nr.	1	10	11	2	9	12	3	8	13	4	7	14	5	6	15
1	2018.01.09	39,52	31,82	21,28	38,56	32,64	20,87	37,61	33,45	20,46	36,35	33,78	19,58	35,08	34,10	18,70
2	2018.01.10	40,97	32,59	22,15	40,11	33,51	21,44	39,25	34,44	20,73	37,77	34,74	19,50	36,29	35,03	18,17
3	2018.01.11	40,84	32,61	22,48	40,11	33,48	21,48	39,38	34,35	20,47	37,73	34,50	19,34	36,08	34,65	18,21
4	2018.01.12	39,40	31,61	22,45	38,73	32,42	21,31	38,06	33,23	20,17	36,45	33,31	18,93	34,84	33,39	17,68
5	2018.01.13	43,13	33,71	22,82	42,43	34,76	21,61	41,72	35,80	20,41	39,80	36,16	19,32	37,88	36,51	18,24
6	2018.01.14	43,49	33,86	22,95	42,77	34,95	21,29	42,05	36,03	19,64	40,13	36,37	18,55	38,21	36,71	17,46
7	2018.01.15	44,64	34,33	22,35	43,88	35,47	21,00	43,12	36,60	19,66	41,00	37,05	18,37	38,88	37,49	17,08

2.3.4. Duomenų apdorojimas

Duomenų analizė parodė, kad duomenys svyruoja ir keliuose matuotuose taškuose yra neatitikimų. Be to, temperatūra nebuvo matuojama „tarpiniuose“ aukštuose, antrame ir ketvirtame. Temperatūros matuotuose taškuose nustatymui buvo priimtos tam tikros prielaidos:

1. Taško Nr. 2 temperatūra abiejuose šildymo sistemos stovuose buvo nustatyta, išvedant vidurkį iš taško Nr. 1 ir taško Nr. 3 temperatūros. Taško Nr. 4 temperatūra buvo nustatyta išvedant vidurkį iš taško Nr. 3 ir taško Nr. 5 temperatūros. Taško Nr. 7 temperatūra buvo nustatyta, išvedant vidurkį iš taško Nr. 6 ir taško Nr. 8 temperatūros. Analogiškai, taško Nr. 9 temperatūra buvo nustatyta, išvedant vidurkį iš taško Nr. 8 ir taško Nr. 10 temperatūros. Taškų vietą nurodantys žymėjimai pavaizduoti 11 pav.
2. Akivaizdžiai klaidingai išmatuota stovo Nr. 5 tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūra viduriniame taške (Nr. 3 ir Nr. 8) buvo pakeista taško Nr. 1 bei taško Nr. 5 ir taško Nr. 6 bei taško Nr. 10 temperatūros vidurkio reikšmėmis. Žiūrėti 11 pav.
3. Jutiklio Nr. 15 viršutiniame aukšte prie stovo Nr. 6, matavusio patalpos temperatūrą, duomenys buvo pakeisti jutiklio Nr. 15 prie stovo Nr. 5, matavusio patalpos temperatūrą, duomenimis, nes neatitiko realybės – išmatuota temperatūra buvo 5–6 °C per didelė. Tokiems rezultatų netikslumams įtaką galėjo daryti per arti šildymo prietaiso sumontuotas patalpos temperatūros jutiklis, kuris 11 pav. pažymėtas Nr. 15.

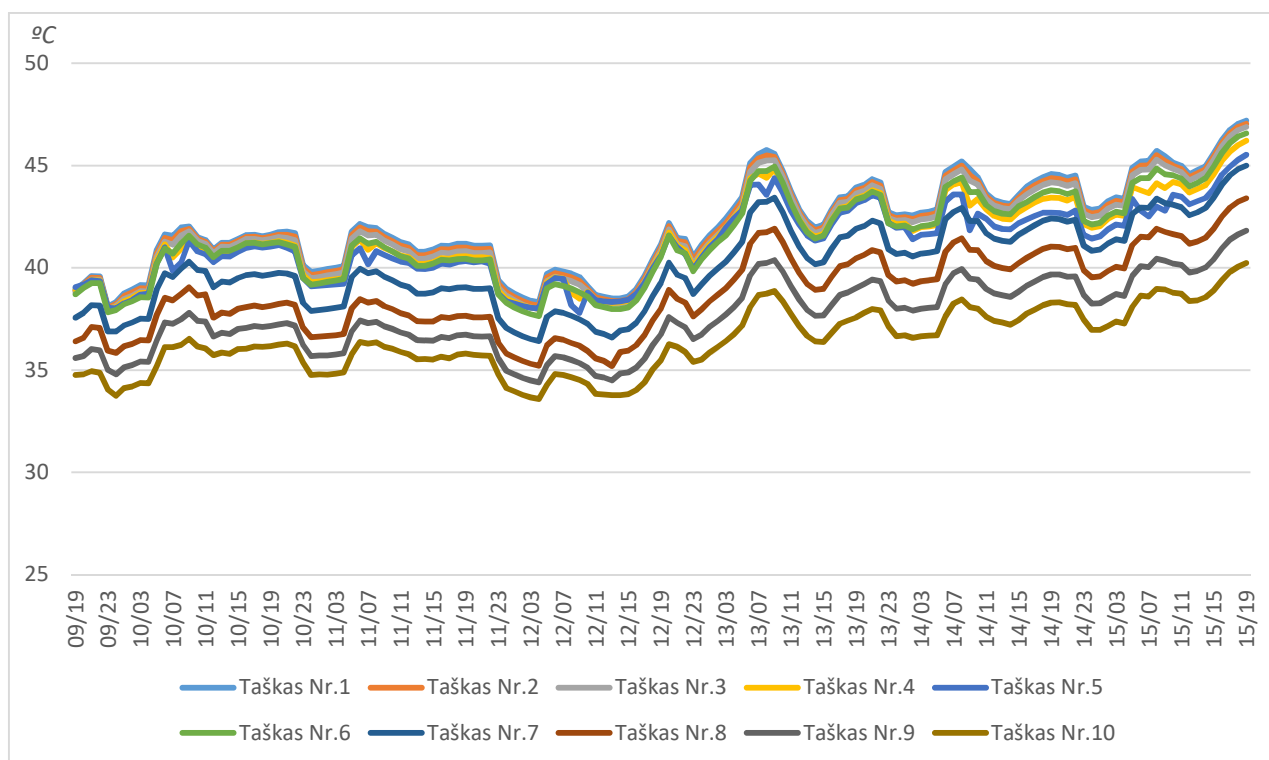
Padarius prielaidas ir apskaičiavus trūkstamą temperatūrą, bandyta išsiaiškinti rezultatų patikimumas, kurį galima patikrinti, išanalizavus temperatūros, vyraujančios sistemoje tam tikru matavimo laikotarpiu, priklausomybę nuo lauko oro temperatūros. Lauko oro temperatūra gauta iš VGTU meteorologinės stotelės.

Iš pradžių pateikiami grafikai, nurodantys temperatūrą matuotuose taškuose valandos laikotarpiu. Tokiu būdu galima lengviau pastebėti sistemos jautrumą besikeičiančios lauko oro temperatūros atžvilgiu. Vėliau iki paros vidutinės temperatūros sustambinami duomenys, pagal kuriuos atliekami skaičiavimai ir modelio kalibravimas.

5 lentelė. Vidutinė lauko temperatūra matavimo metu.

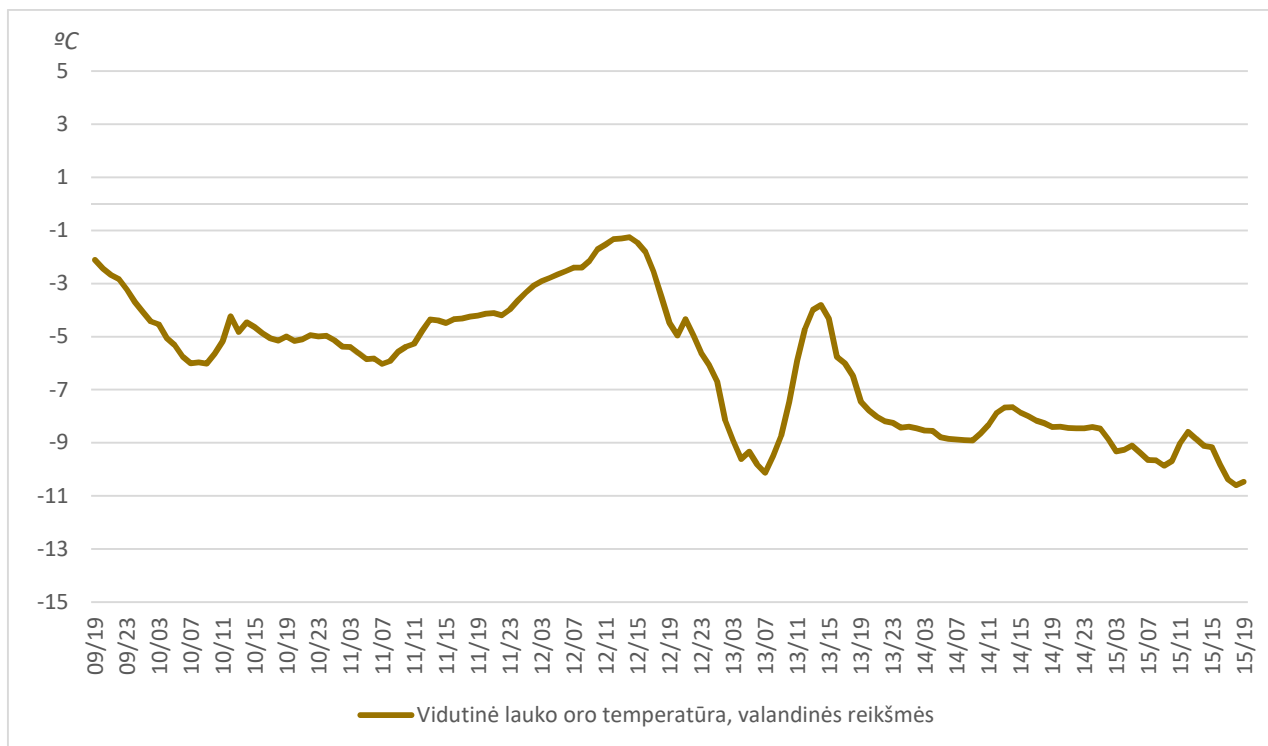
	Diena	Vidutinė temperatūra, °C
1	2018.01.09	-2,67
2	2018.01.10	-5,00
3	2018.01.11	-4,91
4	2018.01.12	-2,86
5	2018.01.13	-7,30
6	2018.01.14	-8,39
7	2018.01.15	-9,38

5 lentelėje matome vidutinę lauko temperatūrą matavimo laikotarpiu. Iš minutinių reikšmių išvesti valandos ir dienos temperatūros vidurkiai.



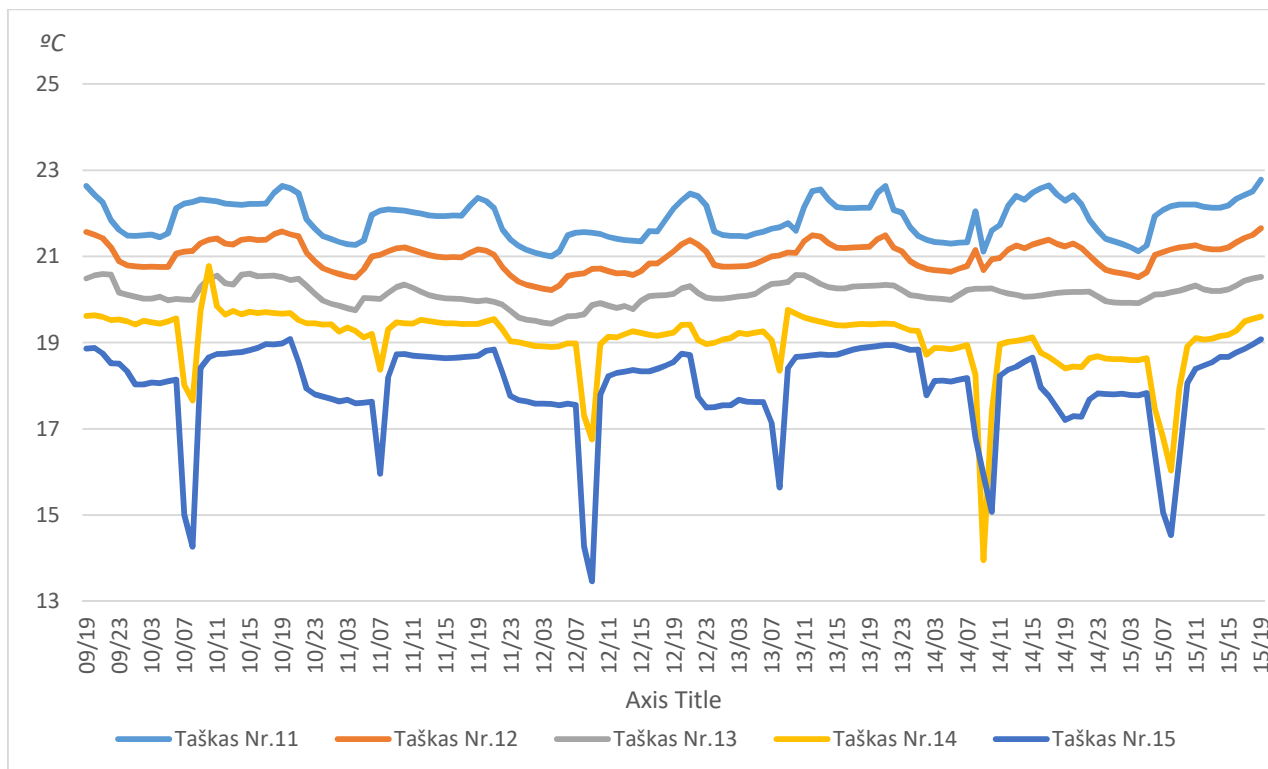
15 pav. Vidutinės valandinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stovė Nr. 5.

Iš 15 pav. galima matyti, kaip kito temperatūra matuojamuose stovų Nr. 5 taškuose kiekvieną matavimo valandą. Ją galima palyginti su 16 pav. pavaizduotu kasvalandiniu lauko oro temperatūros kitimu. Akivaizdu, kad temperatūros kitimas stovuose buvo priklausomas nuo lauko oro temperatūros: kylant lauko oro temperatūrai, temperatūra stovė krito ir, atvirkščiai, krentant lauko oro temperatūrai, temperatūra stovuose kilo.



16 pav. Vidutinės valandinės lauko oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.

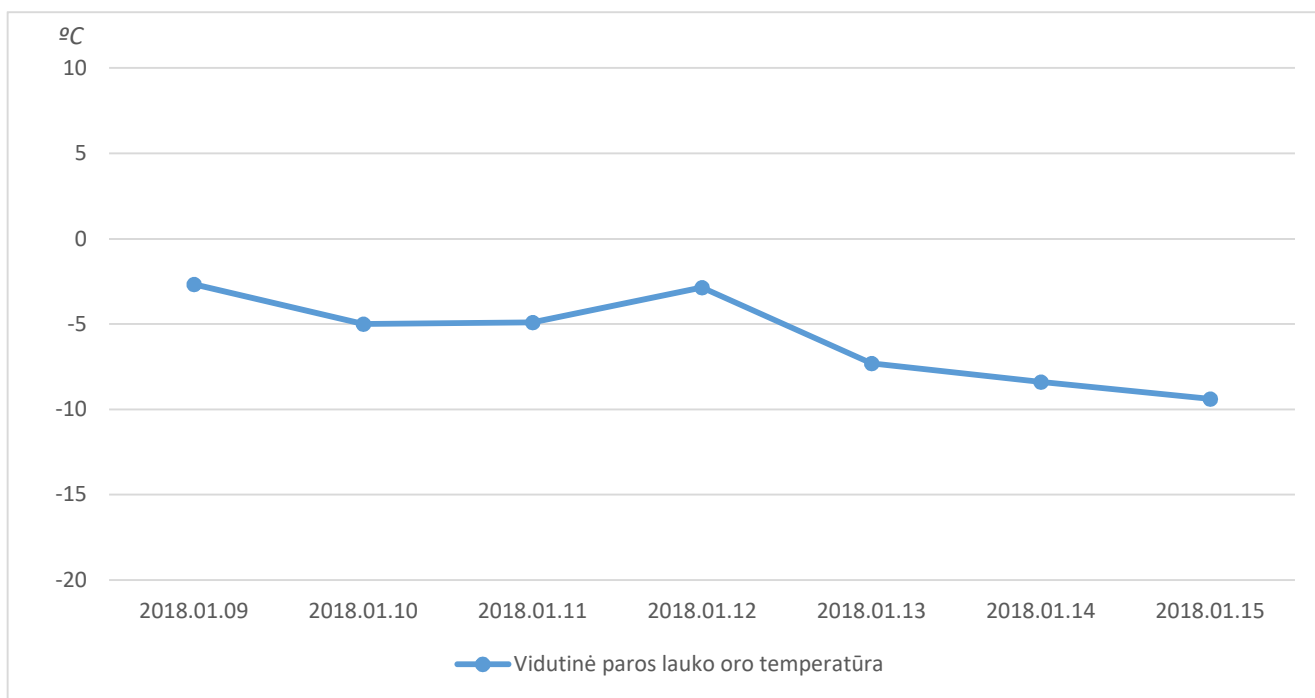
Iš 16 pav. galima matyti, kaip kito lauko oro temperatūra matavimo laikotarpiu, pavaizduotos vidutinės valandinės temperatūros kitimas.



17 pav. Vidutinės valandinės patalpų oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.

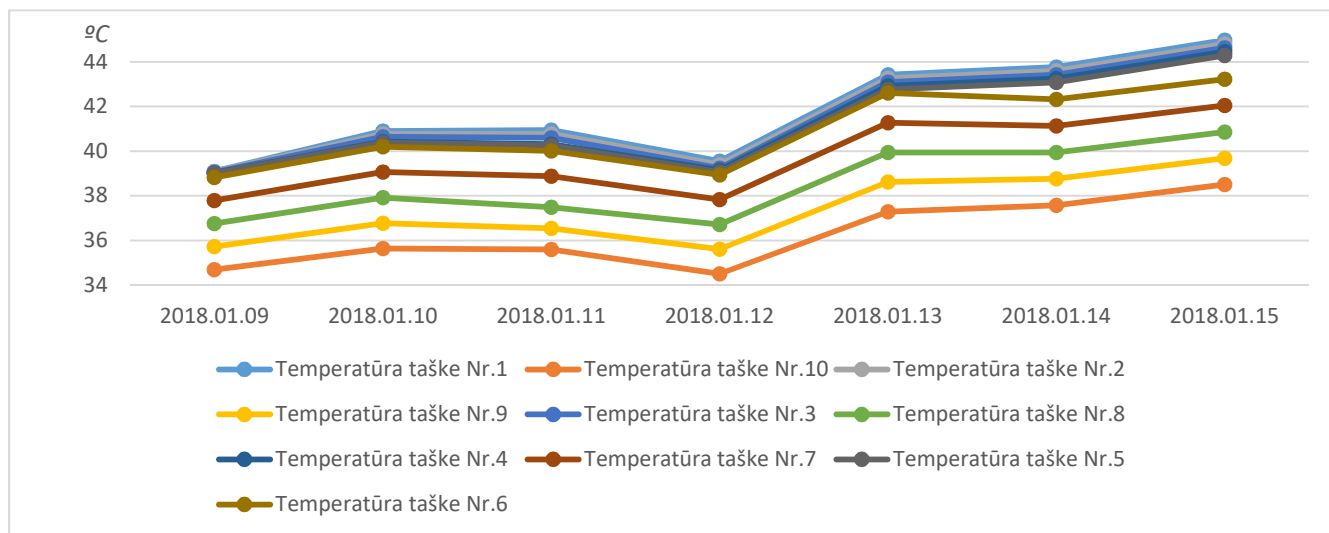
Iš 17 pav. galima pastebėti, kad oro temperatūra patalpose svyruodavo apie 2,0 °C priklausomai nuo lauko oro temperatūros. Tačiau kartais pasitaikydavo staigus patalpų oro temperatūros kritimas. Ypatingai šis kritimas buvo jaučiamas taške Nr. 15. Tokie patalpų oro temperatūros svyravimai galėjo atsirasti dėl langų varstymo ir per arti lango sumontuoto jutiklio, kuris matavo patalpų oro temperatūrą.

Lauko oro paros vidutinės temperatūros grafiką galima matyti 18 pav. Paros vidutinis temperatūros kitimas 5-tame šildymo sistemos stovė matavimo laikotarpiu matomas 19 pav. Lyginant 18 pav. ir 19 pav., galima pastebėti, kad temperatūra šildymo sistemos stovuose tiesiogiai priklauso nuo lauko oro temperatūros. Sustambinus matavimo rodiklius į paros reikšmes, ši priklausomybė matoma aiškiau. Kadangi stovė matoma temperatūros priklausomybė nuo lauko oro temperatūros, galima teigti, kad matavimai atlikti teisingai.



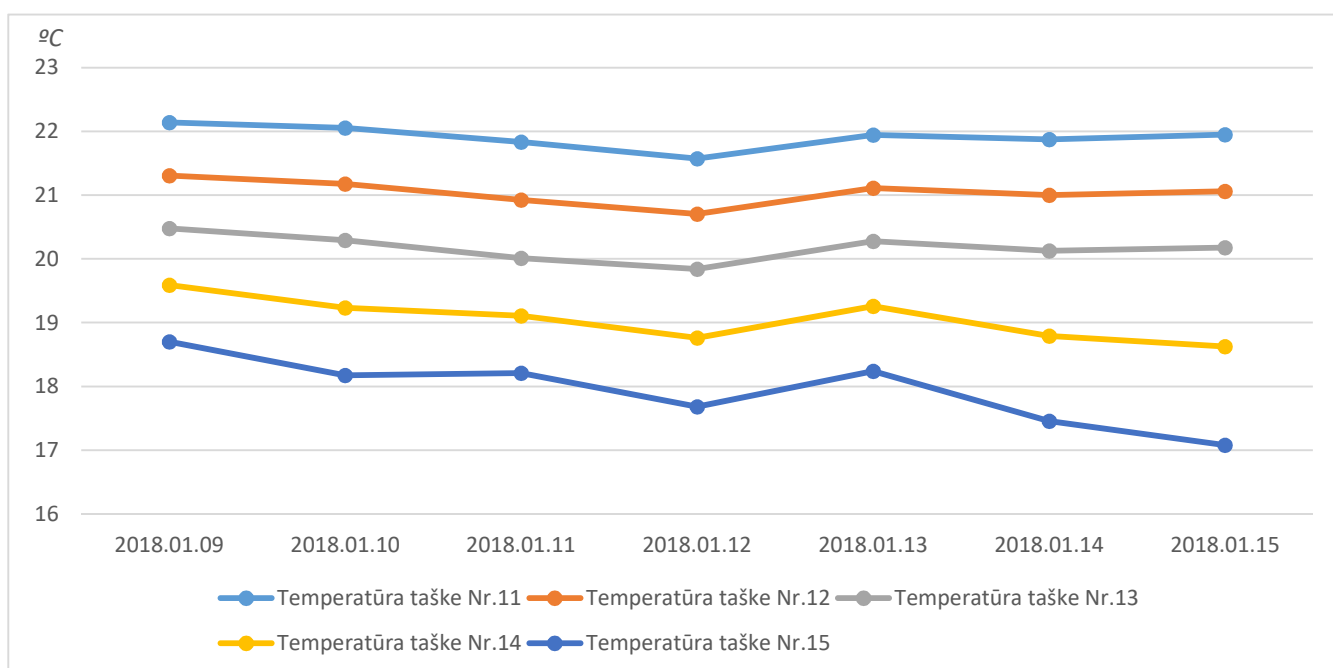
18 pav. Paros vidutinės lauko oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.

Analizuojant stovė Nr. 5 gautus duomenis, šildymo sistemos veikimo ypatumai geriausiai matomi, krentant lauko oro temperatūrai 2018.01.12 – 2018.01.15. Lauko oro temperatūros kritimas automatiškai sąlygoja temperatūros kilimą šildymo sistemos stovuose. Temperatūra taške Nr. 11, Nr. 12 ir Nr. 13 (žiūrėti 11 pav.) išlieka gana pastovi, tačiau su kiekvienu aukštu patalpose prarandama apie 1 °C šilumos. Akivaizdu, kad patalpų temperatūra aukščiausia taške Nr. 11, kuris yra arčiausiai šilumos punkto – pirmame aukšte. Taške Nr. 14 ir taške Nr. 15 pastebimas staigesnis patalpų temperatūros kritimas.



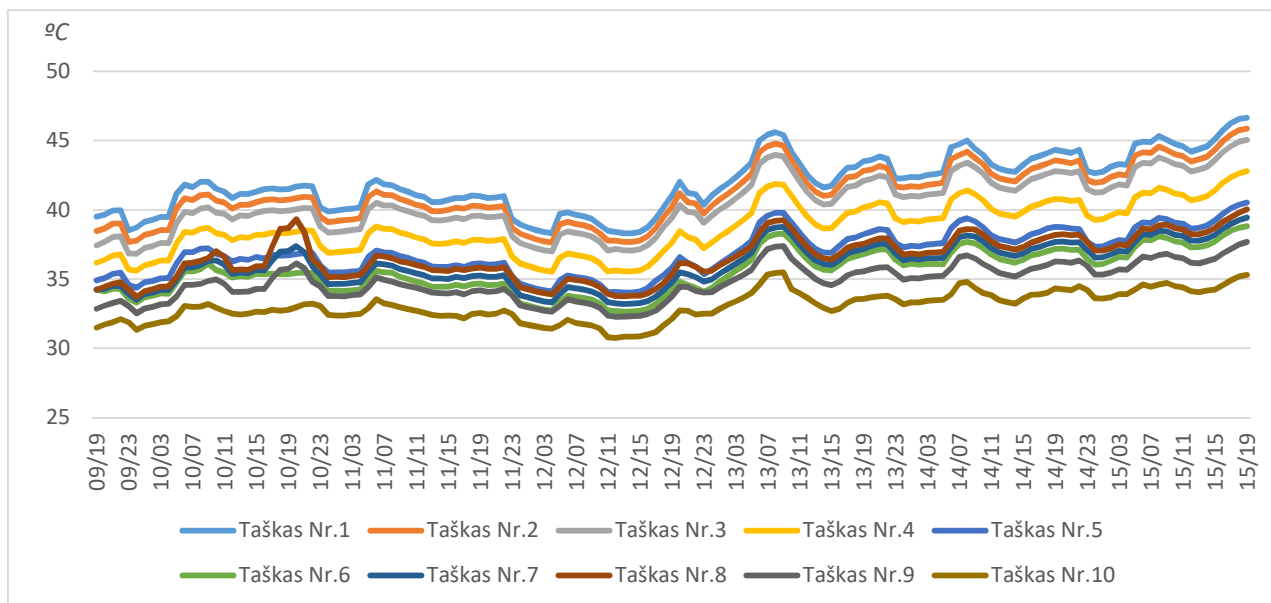
19 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stovė Nr. 5.

Sustambintus patalpų temperatūros pasikeitimus iki vidutinės paros temperatūros kiekviename matuotame taške matavimo laikotarpiu galima matyti 19 paveiksle. Didžiausia lauko temperatūros įtaka patalpos temperatūrai pastebima 5 aukšte taške Nr. 15, kuriame užfiksuota žemiausia temperatūra, siekianti 17,08–18,70 °C matavimo laikotarpiu. Pirmo aukšto gyventojai patalpų temperatūra yra patenkinti (taškas Nr. 11), kadangi matavimo dienomis patalpų temperatūra svyravo nuo 21–23 °C.

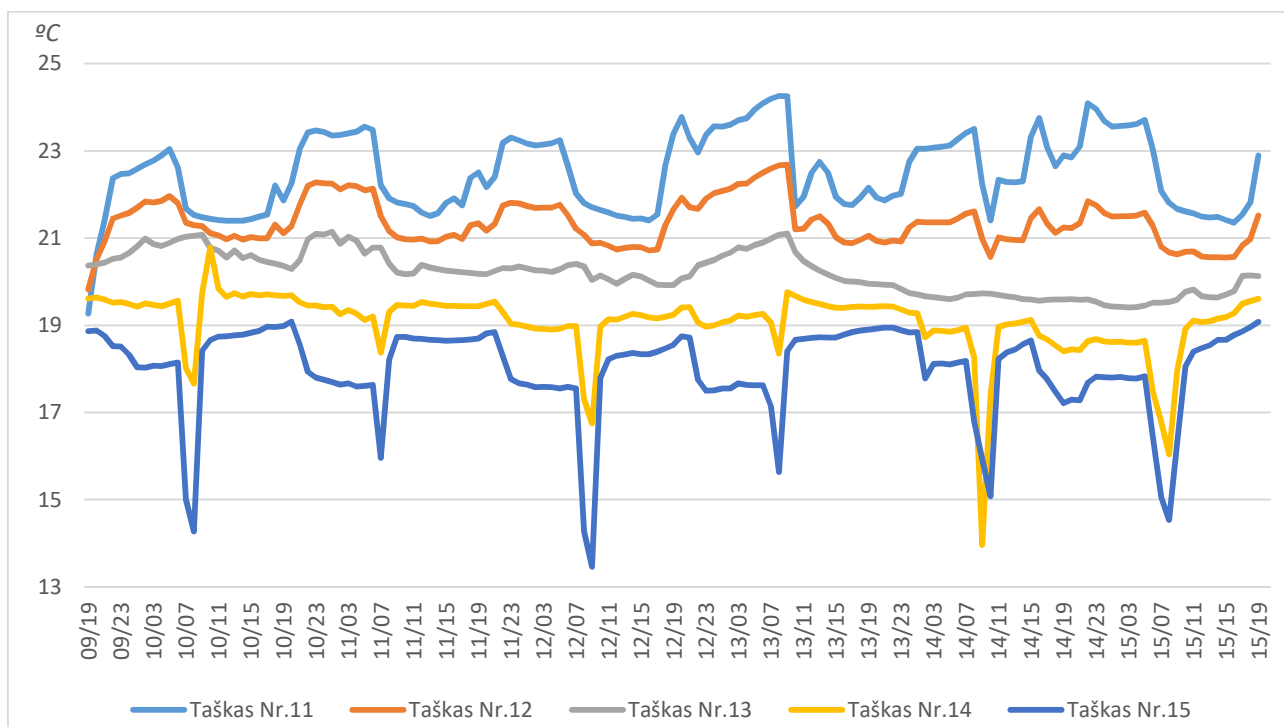


20 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas patalpų, kurias aptarnauja stovai Nr. 5.

Analizuojant stovo Nr. 6 valandines temperatūrinės reikšmės, matoma, kad šiame stove šilumnešio temperatūra kinta analogiškai, kaip ir stove Nr. 5. Krintant lauko oro temperatūrai, pastebimas šilumnešio temperatūros kilimas. Šiuos rezultatus galime matyti, žiūrėdami į 21 pav. ir 16 pav., kur pavaizduoti lauko oro temperatūros valandiniai duomenys.



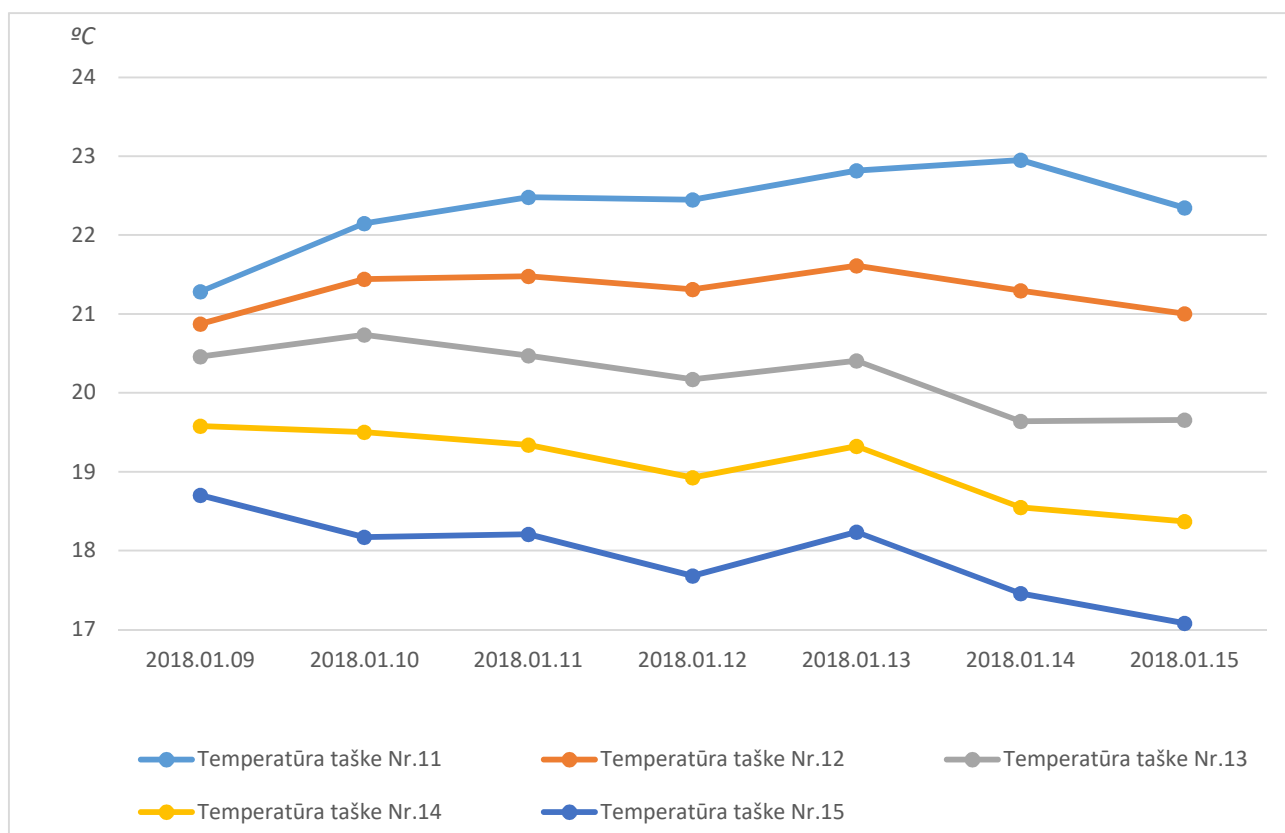
21 pav. Vidutinės valandinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stove Nr. 6.



22 pav. Vidutinės valandinės patalpų oro temperatūros grafikas matavimo laikotarpiu.

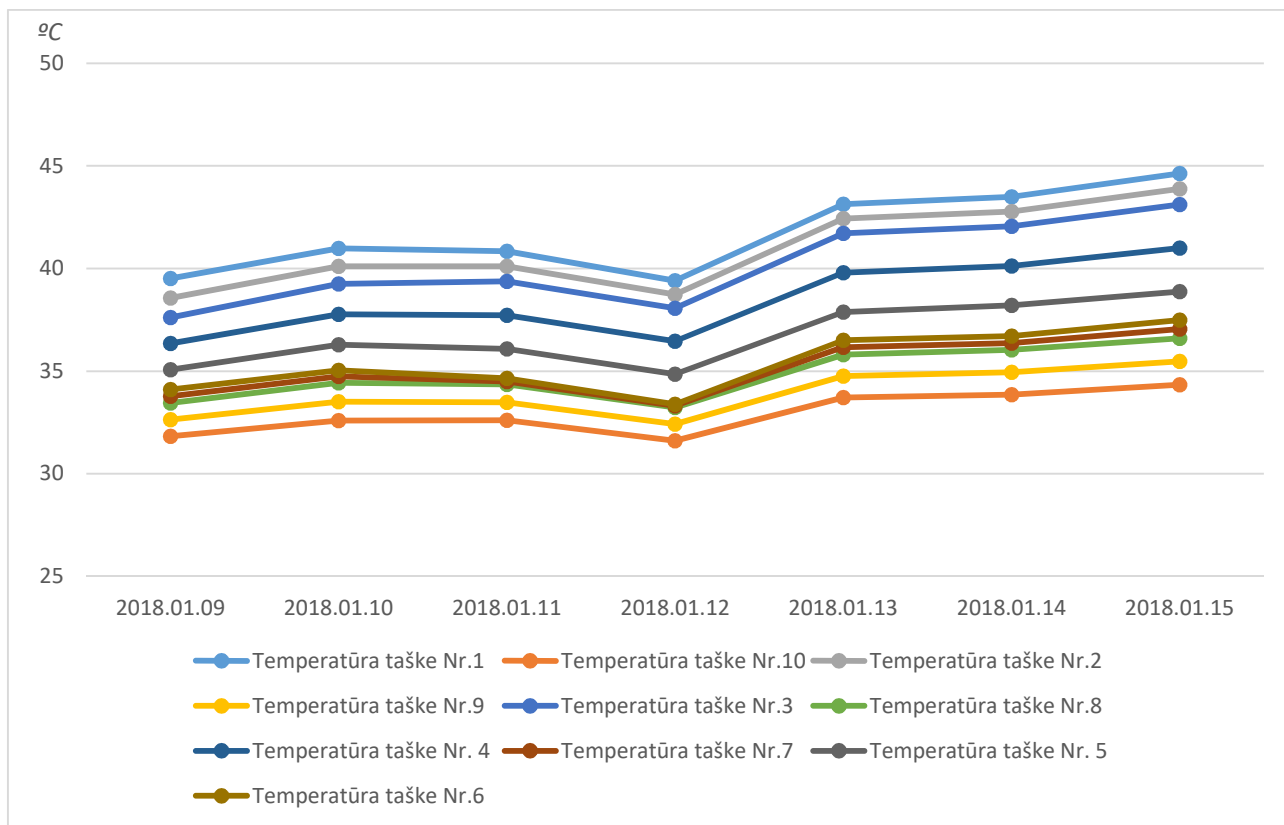
Analizuojant patalpų, kurias aptarnauja stovas Nr.6 temperatūrą, pastebėta, kad jos taip pat kito priklausomai nuo lauko oro temperatūros. Lauko oro temperatūrai krentant, patalpų temperatūra svyruodavo iki 2,0 °C. Taške Nr. 15 matomi analogiški svyravimai, kaip ir stovo Nr. 5 aptarnaujamoje patalpoje. Kadangi šiam taškui panaudota stovo Nr. 5 taško Nr. 15 temperatūra, reikėtų žiūrėti duomenų analizei priimtų prielaidų 3 punktą (25 psl.).

Skaiciavimams atlikti buvo naudojami sustambinti iki paros vidutinės temperatūros duomenys. Pagal šiuos duomenis analizuojant patalpų, kurias aptarnauja šis šildymo sistemos stovas, temperatūrą (23 pav.), pastebėta, kad su kiekvienu aukštu nuo taško Nr. 11 iki taško Nr. 15 prarandama 1 °C arba daugiau šilumos. Neatitikimai pastebėti 2018.01.14, kai 1 aukšto patalpos taške Nr. 11 temperatūra pakilo nepriklausomai nuo lauko oro temperatūros. Šiam kilimui galėtų daryti įtaką neįprastai dideli vidiniai prietėkiai nuo žmonių buvimo patalpoje ar elektrinių prietaisų naudojimo. Didžiausia lauko temperatūros įtaka patalpos temperatūrai, analogiškai kaip ir stove Nr. 5, pastebima 4 – 5 aukštuose (taškas Nr. 14 ir taškas Nr. 15), kuriuose užfiksuota žemiausia temperatūra, siekianti 17,08–19,58 °C matavimo laikotarpiu.



23 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas patalpų, kurias aptarnauja stovas Nr. 6.

Analizuojant 24 pav. ir 19 pav. galima pastebėti priklausomybę tarp stovo vidutinės paros temperatūros ir vidutinės paros lauko temperatūros. Krintant lauko oro temperatūrai, temperatūra stove kilo analogiškai, kaip ir stove Nr. 5.



24 pav. Paros vidutinės temperatūros grafikas atitinkamuose matavimo taškuose stove Nr. 6

2.3.5. Radiatorių galios nustatymas:

Atlikus temperatūros matavimus ir išanalizavus temperatūros kitimą stovuose buvo siekiama nustatyti radiatorių galias. Radiatorių galias nustatyti būtina, norint išsiaiškinti šilumos poreikį patalpose ir tokiu būdu sukalibruoti modelį.

Naudojant radiatorių galios skaičiavimo metodiką (*Справочник проектировщика* 1975), buvo nustatytos radiatorių galios.

Sekcinio radiatoriaus galios nustatymo metodika:

$$\mu_1 = \left(\frac{\frac{t_t + t_g}{2} - t_p}{t_g} \right)^{1+0,3}; \quad (1)$$

$$\mu_2 = 0;$$

$$Q_{pr} = q_n \cdot n_{sekc} \cdot \mu_1 \cdot 1; \quad (2)$$

q_n – 178 W/sekcijos;

t_t – į radiatorių įeinanti temperatūra (°C);

t_g – iš radiatoriaus išeinanti temperatūra (°C);

t_p – patalpos temperatūra (°C);

n_{sekc} – radiatoriaus sekcijų skaičius.

Plokščiojo radiatoriaus galios nustatymo metodika:

Knygoje (*Справочник проектировщика* 1975) rasta analogiškų radiatorių galia, kuri apskaičiuota esant 90/70/20 °C šilumnešio ir patalpos temperatūrai. Galia perskaičiuojama pagal realią išmatuotą temperatūrą, naudojantis PURMO radiatorių parinkimo kataloge pateiktomis formulėmis:

$$\Phi = \Phi_n \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^n; \quad (3)$$

$$\Delta t_n = \frac{t_z - t_p}{\ln\left(\frac{t_z - t_p}{t_p - t_i}\right)}; \quad (4)$$

Φ – radiatoriaus šiluminė galia (W);

Φ_n – radiatoriaus šiluminė galia, apskaičiuota pagal EN 442 (W);

Δt – logaritminis temperatūrų skirtumas (°C);

Δt_n – logaritminis temperatūrų skirtumas, apskaičiuotas pagal santykinį atskaitos tašką 90/70/20 (°C);

t_z – į radiatorių tiekiamo vandens temperatūra (°C);

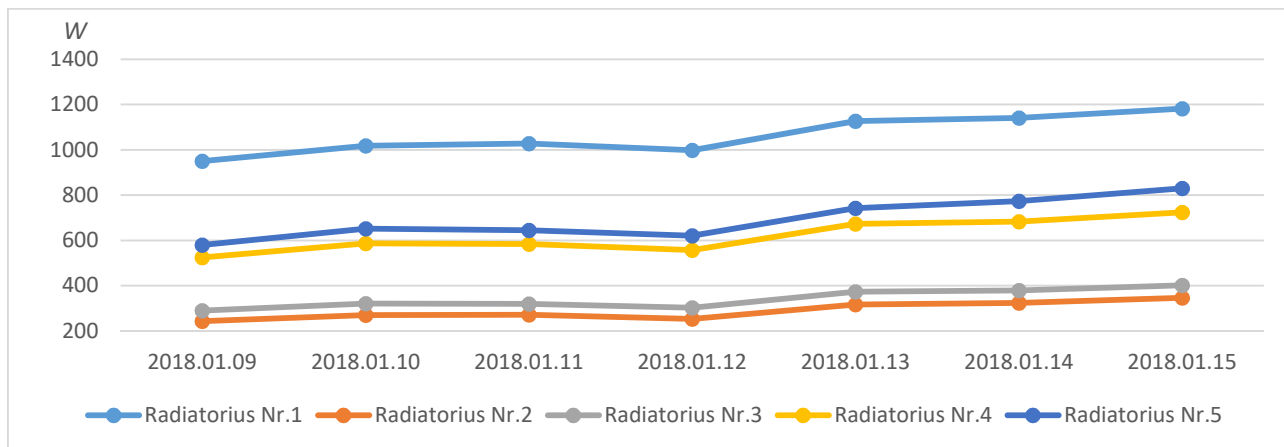
t_p – radiatoriaus grįžtamojo vandens temperatūra (°C);

t_i – temperatūra patalpoje (°C).

6 lentelė. Apskaičiuoti radiatorių „gaminamos“ galios vidurkiai matavimo laikotarpiu (W), stovas Nr.5:

Sekcijų skaičius, ilgis	19	Panelinis dvigubas, L = 1,20 m	Panelinis dvigubas, L = 1,20 m	Panelinis dvigubas, L = 1,50 m	Panelinis dvigubas, L = 1,50 m
Radiatoriaus Nr;	1	2	3	4	5
2018.01.09	950	243	290	524	579
2018.01.10	1018	270	321	586	651
2018.01.11	1027	272	319	584	644
2018.01.12	997	254	303	557	621
2018.01.13	1127	317	374	673	742
2018.01.14	1141	324	379	682	773
2018.01.15	1181	347	402	724	830

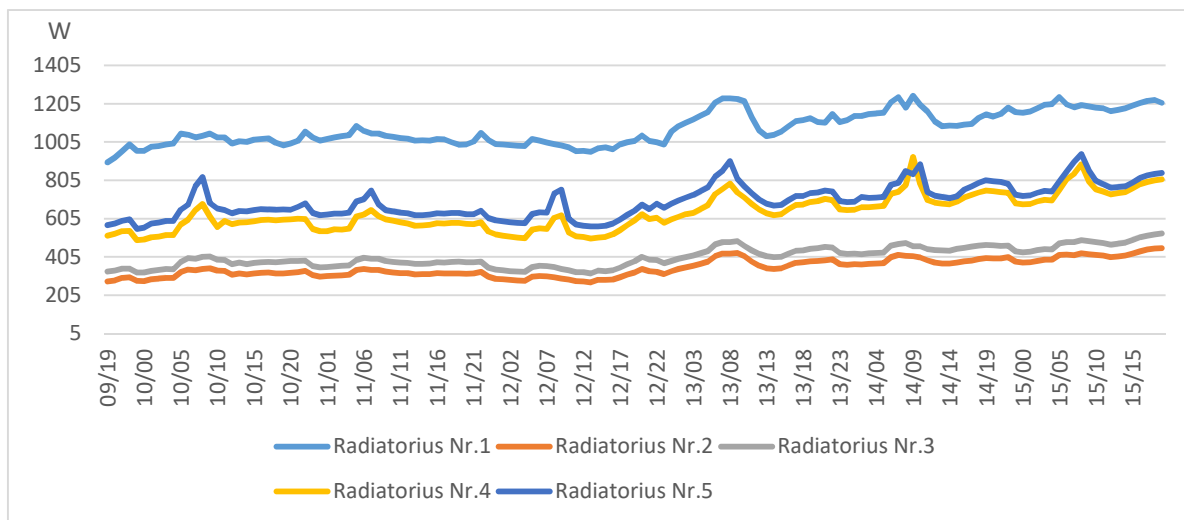
Kiekvienam radiatoriui, prijungtam prie analizuojamų stovų, suteikti tam tikri numeriai. Kiekvienas radiatorius ir jo numeris sužymėtas 11 pav. Taip pat šioje lentelėje galima matyti kiekvieną matavimo dieną vyraujančius radiatorių gaminamos galios vidurkius.



25 pav. Paros vidutinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.5.

Iš grafiko galima matyti, kad pirmame aukšte esančio 19 sekcijų radiatoriaus (lentelėje pažymėtas Nr. 1) gaminama galia yra gerokai per didelė, dėl to patalpoje vyraujanti temperatūra yra apie 22 °C, žiūrėti 20 pav. Viduriniuose 2 ir 3 taške esantys radiatoriai, Nr. 2 ir Nr. 3, yra mažiausios galios, tačiau patalpoje nėra taip šalta, kaip 4 arba 5 aukšte, kadangi vidurinė patalpa neturi tiek daug nuostolių per išorines atitvaras ir nesiriboja su stogu. Taip pat iš šio grafiko galima matyti, kad radiatorių galios grafikas kinta taip pat, kaip temperatūros kitimo stovė grafikas (19 pav.).

Analizuojant radiatorių galias kiekvieną valandą (26 pav.), matyti, kad kreivės ganėtinai panašios. Kai kuriuose taškuose matomi staigūs galios pakilimai, kurie galėjo būti įtakojami žemesnės lauko oro temperatūros.

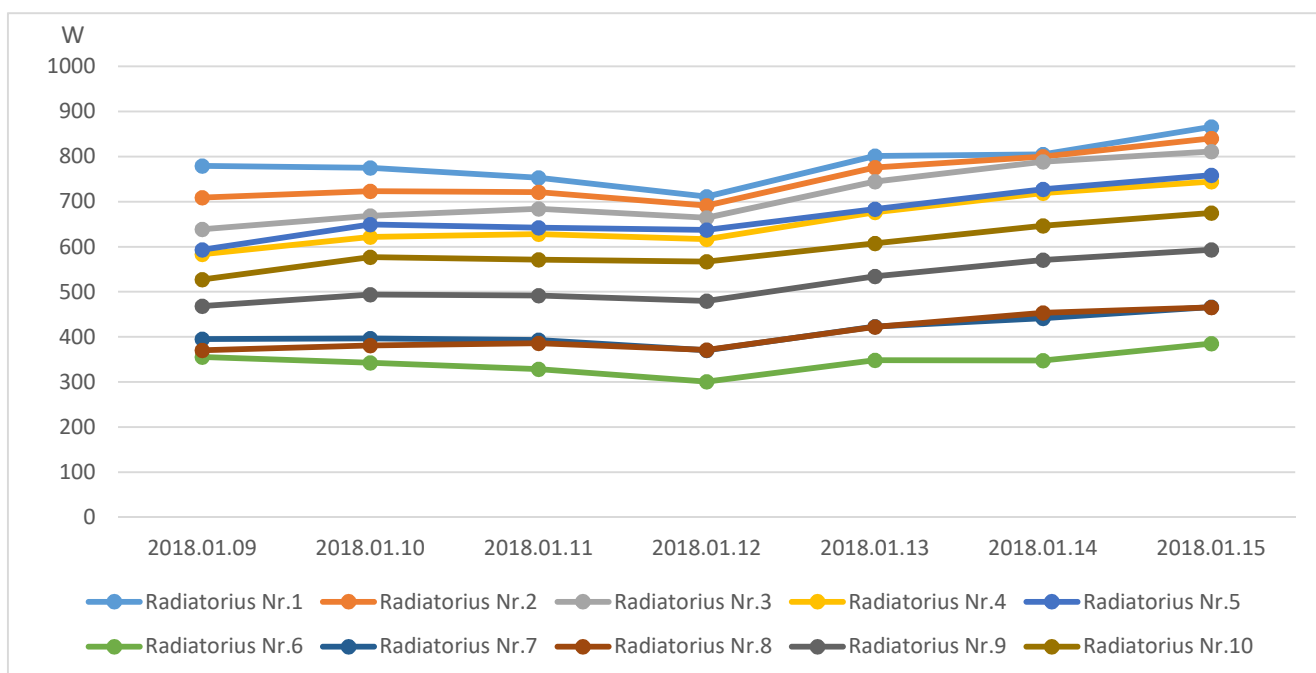


26 pav. Vidutinės valandinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.5.

7 lentelė. Apskaičiuoti radiatorių galios vidurkiai matavimo laikotarpiu (W), stovas Nr.6:

	Tiekiamas					Grįžtamas				
Sekcijų skaičius	12	11	10	9	9	8	8	7	8	8
Radiatoriaus Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2018.01.09	779	709	639	584	594	356	395	370	468	528
2018.01.10	775	723	668	622	649	343	397	381	494	577
2018.01.11	753	721	684	628	642	329	393	386	492	571
2018.01.12	711	691	665	617	638	301	371	371	480	567
2018.01.13	801	775	744	677	683	348	423	422	534	608
2018.01.14	804	800	789	719	728	348	441	454	570	647
2018.01.15	866	840	811	745	759	385	467	466	594	675

Lentelėje galima matyti kiekvieno radiatoriaus, prijungto prie stovo Nr. 6, gaminamą galią matavimo laikotarpiu. 1 ir 6 numeriais pažymėti radiatoriai stovi pirmame pastato aukšte, 2 ir 7 numeriais pažymėti radiatoriai stovi antrame pastato aukšte, 3 ir 8 numeriais pažymėti radiatoriai stovi trečiame aukšte, 4 ir 9 – ketvirtame bei 5 ir 10 – penktame. Iš 23 pav. ir 7 lentelės galima matyti, kad kiekviename aukšte esančių radiatorių galios yra gana panašios.

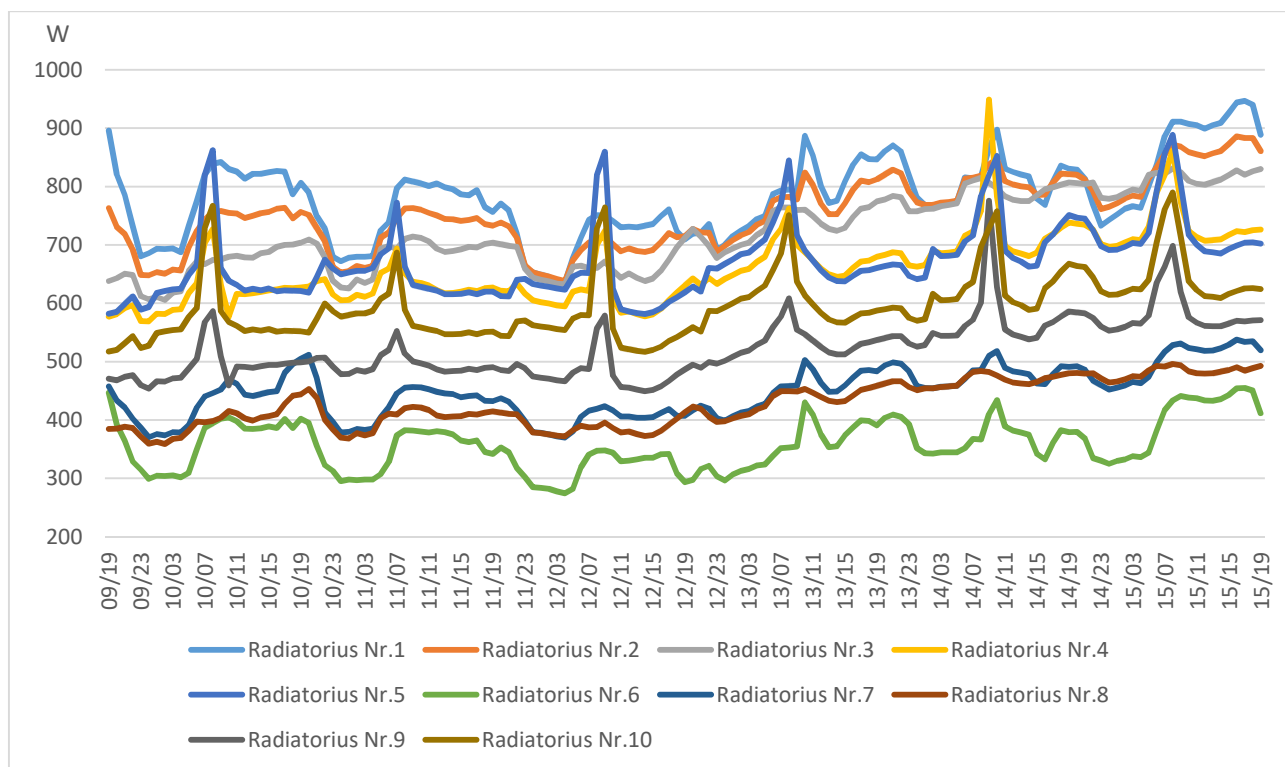


27 pav. Paros vidutinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.6.

Iš 27 pav. galima matyti, kad radiatorių Nr. 1 – 5 galia yra didesnė nei Nr. 6 – 10. Taip yra todėl, kad pirmieji 5 radiatoriai prijungti prie šilumnešį tiekiančio stovo ir turi didesnę sekcijų skaičių. (Kiekvieno radiatoriaus sekcijų skaičius nurodytas 11 pav.) Taip pat galima matyti, kad šio stovo paros vidutinės radiatorių gaminamos galios grafike vaizduojami duomenys kinta priklausomai nuo vidutinės lauko oro temperatūros grafiko duomenų – lauko oro temperatūrai krintant, radiatorių galia

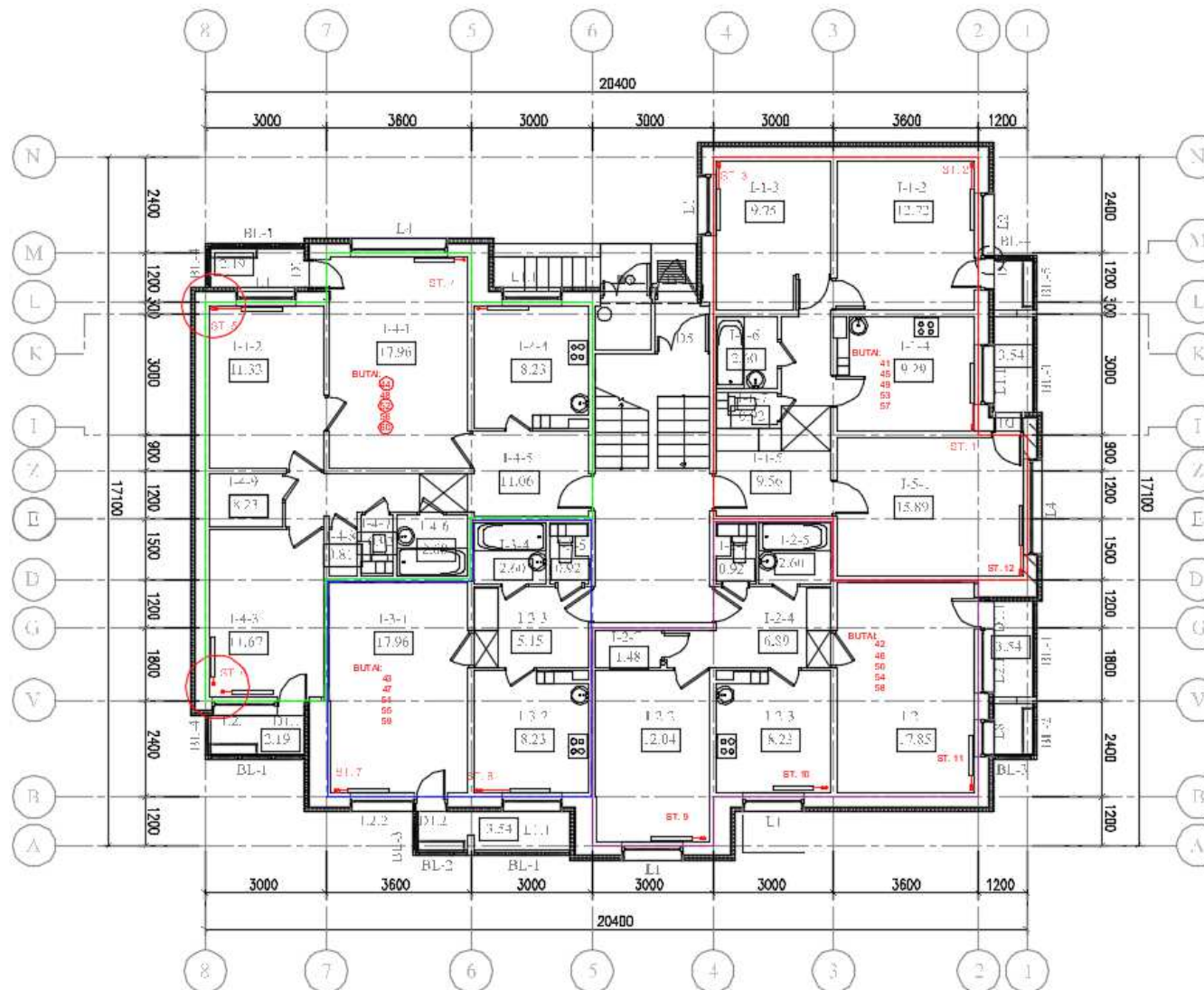
kyla. Žiūrint į 24 pav., kur pavaizduota patalpų, kurias šis stovas aptarnauja temperatūra, matyti, jog visuose aukštuose nepalaikoma vienoda temperatūra (kylant stovui, kiekviename aukšte ji krinta daugiau nei 1 °C), nors radiatorių gaminamos galios visuose šio stovo aptarnaujamuose aukštuose yra gana panašios. Toks temperatūros skirtumas galimas dėl didelių šilumos nuostolių per išorės atitvaras.

Analizuoiant valandines radiatorių galias (28 pav.), galima pastebėti kur kas didesnę gaminamos galios svyravimą ir matoma, kad sistema į lauko oro temperatūros pokyčius reaguoja gana jautriai.



28 pav. Vidutinės valandinės radiatorių gaminamos galios grafikas, stovas Nr.6.

Apibendrinant galima daryti išvadą, kad šalčiausia buvo 2018.01.15. 5 ir 6 lentelėse, kuriose parodyta radiatorių galios apskaičiuota vertė, didžiausią radiatorių galią taip pat matome būtent šią dieną. Išnagrinėjus lenteles ir prieš tai pateiktus radiatorių gaminamos galios grafikus, kuriuose taip pat galima matyti, kad aukščiausia radiatorių galia vyrauja būtent 2018.01.15, kai vyrauja aukščiausia lauko temperatūra, galima įžvelgti, kad krentant temperatūrai, radiatorių galia didėjo. Tai parodo, kad skaičiavimai atlikti teisingai, kadangi radiatorių galia būna didžiausia tada, kai lauko oro temperatūra mažiausia ir patalpoms šildyti reikalinga daugiau šilumos. Tačiau palaikyti komfortinei patalpų vidaus temperatūrai šių radiatorių gaminamos galios ne visada užtekdavo ir viršutiniuose pastato aukštuose ji būdavo žemesnė, nesiekdavo 18 °C.



29 pav. Pastato išplanavimas su tiriamais stovais.

Stovai, kuriuose buvo atliekami matavimai, apvesti raudonais apskritimais.

2.3.6. Faktinio patalpų šilumos poreikio nustatymas

Norint sukalibruoti modelį ir pritaikyti jį tolimesniam modeliavimui, būtina nustatyti faktinį patalpų šilumos poreikį. Taigi, skaičiuojamas patalpos 1–1–2, kurios plotas 11,33 m², šilumos poreikis. Šią patalpą aptarnauja stovas Nr. 5. Patalpos vertikalčiai per visą pastatą yra vienodų matmenų. Todėl galima daryti prielaidą, kad valandinis šilumos poreikis bus lygus apskaičiuotai radiatorių galiai.

8 lentelė. Stovo Nr.5 bendra radiatorių galia ir patalpų, kurias aptarnauja šis stovas, šilumos poreikis.

	Stovo radiatorių galia, W	Šilumos poreikis patalpoms, kurias aptarnauja stovas, Wh	Šilumos poreikis patalpoms, kurias aptarnauja stovas, kWh
2018.01.09	2586,02	62064,50	62,06
2018.01.10	2846,40	68313,68	68,31
2018.01.11	2845,90	68301,72	68,30
2018.01.12	2731,73	65561,59	65,56
2018.01.13	3231,62	77558,99	77,56
2018.01.14	3299,73	79193,43	79,19
2018.01.15	3484,53	83628,71	83,63
		Bendras:	504,62

Iš 8 lentelės matyti, kad patalpų, kurias aptarnauja stovas Nr. 5, bendras šilumos poreikis matavimo laikotarpiu yra 504,62 kWh.

$$E = P \cdot t; \quad (5)$$

Formulė, pagal kurią buvo apskaičiuotas šilumos poreikis, kiekvienai matavimo dienai.

E – patalpų šilumos poreikis, Wh;

P – patalpų šiluminė galia, W;

t – matavimo laikas, h.

Skaičiuojamas patalpos 1–4–3, kurios plotas 11,67 m², šilumos poreikis. Taip pat šioje patalpoje kyla stovas Nr. 6. Patalpos vertikalčiai per visą pastatą yra vienodų matmenų. Galima daryti prielaidą, kad valandinis šilumos poreikis bus lygus apskaičiuotai radiatorių galiai.

9 lentelė. Stovo Nr.6 bendra radiatorių galia ir patalpų, kurias aptarnauja šis stovas, šilumos poreikis.

	Stovo radiatorių galia, W	Šilumos poreikis patalpoms, kurias aptarnauja stovas, Wh	Šilumos poreikis patalpoms, kurias aptarnauja stovas, kWh
2018.01.09	5421,02	130104,4	130,10
2018.01.10	5629,73	135113,4	135,11
2018.01.11	5600,47	134411,2	134,41
2018.01.12	5410,85	129860,5	129,86
2018.01.13	6016,73	144401,6	144,40
2018.01.14	6299,02	151176,5	151,18
2018.01.15	6607,03	158568,6	158,57
		Bendras:	983,64

Iš 9 lentelės matyti, kad patalpų, kurias aptarnauja stovas Nr. 6, bendras šilumos poreikis matavimo laikotarpiu yra 983,64 kWh. Abiejų tipų matuotų patalpų plotas yra gana panašus, tačiau patalpose, kurias aptarnauja stovas Nr. 6, šilumos poreikis yra 49 % didesnis. Tokiam dideliame poreikių skirtumei įtaką galėtų daryti didesni nuostoliai per išorės atitvaras arba langus.

2.3.7. Modelio sukalibravimas pagal eksperimento duomenis

Programa *Design Builder* sukurtas modelis buvo sukalibruotas pagal gautus matavimo duomenis. Programa *PhpStorm* buvo pakeista vidutinė valandinė lauko oro temperatūrinė vertė, kurią naudoja programa matavimo atlikimo laikotarpiu. Lauko temperatūros vertė buvo pakeista iš VGTU meteorologinės stotelės gautais 2018.01.09–2018.01.15 vidutiniais valandiniais duomenimis.

Modelio parametrai buvo keičiami pagal realius išmatuotus parametrus. Buvo įvedama vidutinė patalpų temperatūra bei keičiamas oro infiltracijos koeficientas, siekiant gauti realius skaičius, kurie buvo gauti eksperimento ir skaičiavimo metu.

10 lentelė. Stovo Nr.5 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis Wh/m², gautas modeliavimo metu.

Data	Pirmo aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Antro aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Trečio aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Ketvirto aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Penkto aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²
2018.01.09	1298	1068	1035	974	964
2018.01.10	1395	1149	1115	1056	1061
2018.01.11	1440	1196	1162	1105	1122
2018.01.12	1364	1133	1099	1038	1020
2018.01.13	1537	1278	1245	1182	1173
2018.01.14	1605	1340	1308	1247	1245
2018.01.15	1663	1395	1363	1303	1301

Naudojantis programos modeliavimo funkcija, modeliuojant tik matavimo laikotarpį, buvo gautas nagrinėjamos patalpos šilumos poreikis Wh/m², kurio vertę matome 10 lentelėje.

11 lentelė. Stovo Nr.5 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis.

Data	Pirmo aukšto šilumos poreikis, Wh	Antro aukšto šilumos poreikis, Wh	Trečio aukšto šilumos poreikis, Wh	Ketvirto aukšto šilumos poreikis, Wh	Penkto aukšto šilumos poreikis, Wh	Bendras šilumos poreikis gautas modeliuojant, kWh	Bendras šilumos poreikis gautas matuojant, kWh	Skirtumas, %
2018.01.09	14706	12100	11727	11035	10922	60,49	62,06	2,60
2018.01.10	15805	13018	12633	11964	12021	65,44	68,31	4,39
2018.01.11	16315	13551	13165	12520	12712	68,26	68,30	0,06
2018.01.12	15454	12837	12452	11761	11557	64,06	65,56	2,34
2018.01.13	17414	14480	14106	13392	13290	72,68	77,56	6,71
2018.01.14	18185	15182	14820	14129	14106	76,42	79,19	3,63
2018.01.15	18842	15805	15443	14763	14740	79,59	83,63	5,07
Bendras:						486,95	504,62	3,63

Visa gauta vertė dauginama iš patalpos ploto, kuris šiuo atveju yra 11,33 m². Modeliuojant gaunamas bendras šilumos poreikis ir palyginamas su bendru šilumos poreikiu, gautu matavimo metu. Taip pat procentais apskaičiuojamas išmatuotų rezultatų ir rezultatų, gautų modeliavimo metu, skirtumas. Jis neviršija 10 %, todėl galima daryti prielaidą, kad modelio kalibravimas atliktas teisingai. Visi rezultatai pateikti 11 lentelėje.

Analogiškai sukalibruojamos patalpos, kurias aptarnauja stovas Nr. 6

12 lentelė. Stovo Nr.6 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis Wh/m², gautas modeliavimo metu.

Data	Pirmo aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Antro aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Trečio aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Ketvirto aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²	Penkto aukšto šilumos poreikis, Wh/m ²
2018.01.09	2457	2091	1984	1875	1818
2018.01.10	2690	2300	2191	2082	2038
2018.01.11	2736	2344	2235	2128	2093
2018.01.12	2526	2156	2049	1939	1875
2018.01.13	2923	2515	2407	2296	2241
2018.01.14	3049	2631	2524	2414	2365
2018.01.15	3151	2726	2618	2509	2461

Naudojantis programos modeliavimo funkcija ir modeliuojant tik matavimo laikotarpį, buvo gautas nagrinėjamos patalpos šilumos poreikis Wh/m², kurio vertę matome 12 lentelėje.

13 lentelė. Stovo Nr.6 aptarnaujamų patalpų šilumos poreikis.

Data	Pirmo aukšto šilumos poreikis, Wh	Antro aukšto šilumos poreikis, Wh	Trečio aukšto šilumos poreikis, Wh	Ketvirto aukšto šilumos poreikis, Wh	Penkto aukšto šilumos poreikis, Wh	Bendras šilumos poreikis gautas modeliuojant, kWh	Bendras šilumos poreikis gautas matuojant, kWh	Skirtumas, %
2018.01.09	28671	24396	23152	21884	21221	119,32	130,10	9,03
2018.01.10	31392	26835	25574	24301	23779	131,88	135,11	2,45
2018.01.11	31931	27356	26085	24831	24431	134,63	134,41	-0,17
2018.01.12	29480	25165	23909	22628	21885	123,07	129,86	5,52
2018.01.13	34115	29354	28089	26790	26149	144,50	144,40	-0,07
2018.01.14	35581	30710	29450	28169	27600	151,51	151,18	-0,22
2018.01.15	36772	31810	30556	29279	28723	157,14	158,57	0,91
Bendras:						962,05	983,64	2,24

Visa gauta vertė dauginama iš patalpos ploto, kuris šiuo atveju yra 11,67 m². Modeliuojant gaunamas bendras šilumos poreikis ir palyginamas su bendru šilumos poreikiu, gautu matavimo metu. Taip pat procentais apskaičiuojamas išmatuotų rezultatų ir rezultatų, gautų modeliavimo metu, skirtumas. Jis neviršija 10 %, todėl galima daryti prielaidą, kad modelio kalibravimas atliktas teisingai. Visi rezultatai pateikti 13 lentelėje.

2.4. Atnaujintos, subalansuotos sistemos modeliavimas

Modeliavimas buvo atliekamas tam pačiam laikotarpiui, 2018.01.09 – 2018.01.15, kaip ir temperatūros matavimas. Gauti rezultatai parodė sutaupyti galimus energijos kiekius modeliavimo laikotarpiui, suregulius šildymo sistemą iki tam tikros temperatūros, vyraujančios patalpose.

Modeliavimo variantai:

1. Esama nereguluota šildymo sistema, kai patalpose vyrauja 18–22 °C temperatūra, laikoma baziniu variantu, nuo kurio skaičiuojami modernizavimu pasiekti sutaupyti energijos kiekiai.
2. Modernizuota ir sureguliuota šildymo sistema, patalpose palaikoma 18 °C temperatūra.
3. Modernizuota ir sureguliuota šildymo sistema, patalpose palaikoma 19 °C temperatūra.
4. Modernizuota ir sureguliuota šildymo sistema, patalpose palaikoma 20 °C temperatūra.
5. Modernizuota ir sureguliuota šildymo sistema, patalpose palaikoma 21 °C temperatūra.
6. Modernizuota ir sureguliuota šildymo sistema, patalpose palaikoma 22 °C temperatūra.

14 lentelė. Šilumos poreikis visam pastatui, gautas modeliavimų metu

	Sistemos šilumos poreikis, kWh	Sutaupytos energijos kiekis, %:	Sistemos šilumos poreikis, kWh/m ² šildomo ploto
Nereguluota sistema, patalpose vyrauja 18 °C – 22 °C temperatūra, bazinis variantas	9944	0	7,40
Sureguliuota sistema, patalpose palaikoma 18 °C temperatūra	8982	10,71	6,68
Sureguliuota sistema, patalpose palaikoma 19 °C temperatūra	9519	4,46	7,08
Sureguliuota sistema, patalpose palaikoma 20 °C temperatūra	9828	0,16	7,39
Sureguliuota sistema, patalpose palaikoma 21 °C temperatūra	10310	-3,54	7,67
Sureguliuota sistema, patalpose palaikoma 22 °C temperatūra	10759	-7,58	8,01

Iš 14 lentelės galima matyti, kad suregulius temperatūrą visame pastate, t.y. įrengus termostatinis ventilius prie radiatorių ir balansinius ventilius ant šildymo sistemos stovų ir palaikant temperatūrą 18 °C, gyventojai sutaupytų 10,71 % energijos, o palaikant 19 °C gyventojai sutaupytų 4,46 % energijos. Palaikant 20 °C temperatūrą, gyventojai sutaupytų 0,16 %, o tai praktiškai reikštų, kad gyventojai nesutaupytų energijos. Temperatūrą keliant iki 21 °C gyventojai išleistų daugiau lėšų šildymui po modernizavimo nei išleisdavo prieš, nes suvartojamos energijos kiekis padidėtų 3,54 %. Palaikant 22 °C temperatūrą patalpose, gyventojai mokėtų 7,58 % daugiau. Gautų rezultatų negalima vertinti tik pagal suvartojamos energijos kiekį. Pakėlus temperatūrą patalpose, pagerėtų komfortas.

Toliausiuose taškuose esančių butų gyventojai galėtų pasididinti temperatūrą patalpose ir geriau jaustis.

2.5. Modeliavimo variantai

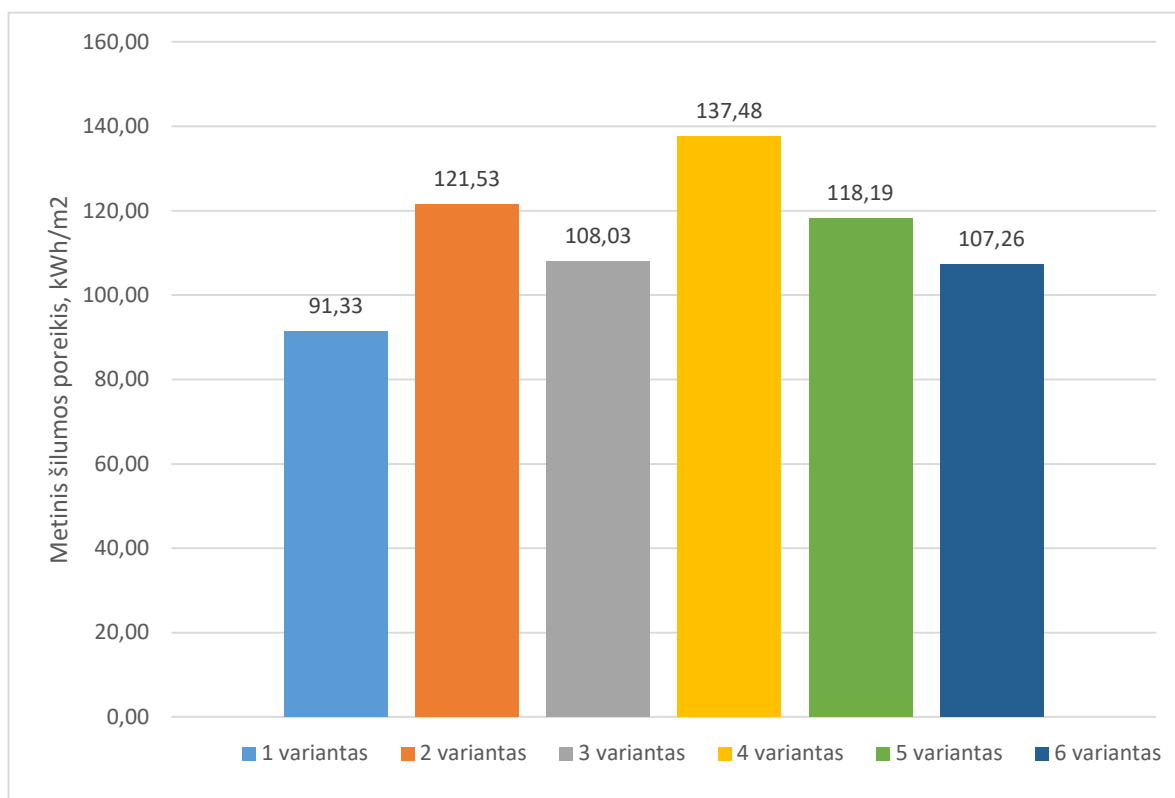
Sena, nemodernizuota šildymo sistema daugiabutyje gali veikti įvairiai ir patalpose palaikyti nevienodą temperatūrą. Šiame skyriuje bandoma nuspėti įvairius tokio tipo sistemos veikimo variantus, kuriuos taip pat galima pamatyti 15 lentelėje:

1. Arčiausiai šilumos punkto esančiose patalpose vyrauja 20 °C temperatūra, su kiekvienu aukštu temperatūra nukrenta 1 °C ir toliausiai esančiose patalpose vyrauja 16 °C.
2. Arčiausiai šilumos punkto esančiose patalpose vyrauja 24 °C temperatūra, su kiekvienu aukštu temperatūra nukrenta 2 °C ir toliausiai esančiose patalpose vyrauja 16 °C.
3. Arčiausiai šilumos punkto esančiose patalpose vyrauja 22 °C temperatūra, su kiekvienu aukštu temperatūra nukrenta 1 °C ir toliausiai esančiose patalpose vyrauja 18 °C.
4. Arčiausiai šilumos punkto esančiose patalpose vyrauja 24 °C temperatūra, su kiekvienu aukštu temperatūra nukrenta 1 °C ir toliausiai esančiose patalpose vyrauja 20 °C.
5. Arčiausiai šilumos punkto esančiose patalpose vyrauja 22 °C temperatūra, su kiekvienu aukštu temperatūra nukrenta 0,5 °C ir toliausiai esančiose patalpose vyrauja 20 °C.
6. Bazinis variantas – patalpose vyrauja 20 °C, sistema modernizuota.
7. Patalpose vyrauja 20 °C ir taikomas 2 °C protarpinis temperatūros ar temperatūros žeminimas.
8. Patalpose vyrauja 20 °C ir taikomas 3 °C protarpinis temperatūros žeminimas.
9. Patalpose vyrauja 20 °C ir taikomas 4 °C protarpinis temperatūros žeminimas.

15 lentelė. Modeliavimo variantai ir rezultatai:

Sumodeliuoti variantai					
Variantas	Parametrų derinys	Metinis šilumos poreikis, kWh	Metinis šilumos poreikis, kWh/m ²	Sutau pymas	Sutaupyta energijos kiekis skaičiuojamas nuo varianto
1	Patalpose vyrauja 16-20 °C	122813	91,33	-14,85 %	6
2	Patalpose vyrauja 16-24 °C	163433	121,53	13,31 %	6
3	Patalpose vyrauja 18-22 °C	145267	108,03	0,71 %	6
4	Patalpose vyrauja 20-24 °C	184870	137,48	28,17 %	6
5	Patalpose vyrauja 20-22 °C	158940	118,19	10,19 %	6
6	Patalpose vyrauja 20 °C	144237	107,26	-	-
7	Patalpose vyrauja 20 °C + temperatūros žeminimas 2 °C	130477	97,03	9,54 %	6
8	Patalpose vyrauja 20 °C + temperatūros žeminimas 3 °C	132641	98,64	8,04 %	6
9	Patalpose vyrauja 20 °C + temperatūros žeminimas 4 °C	135806	100,99	5,85 %	6

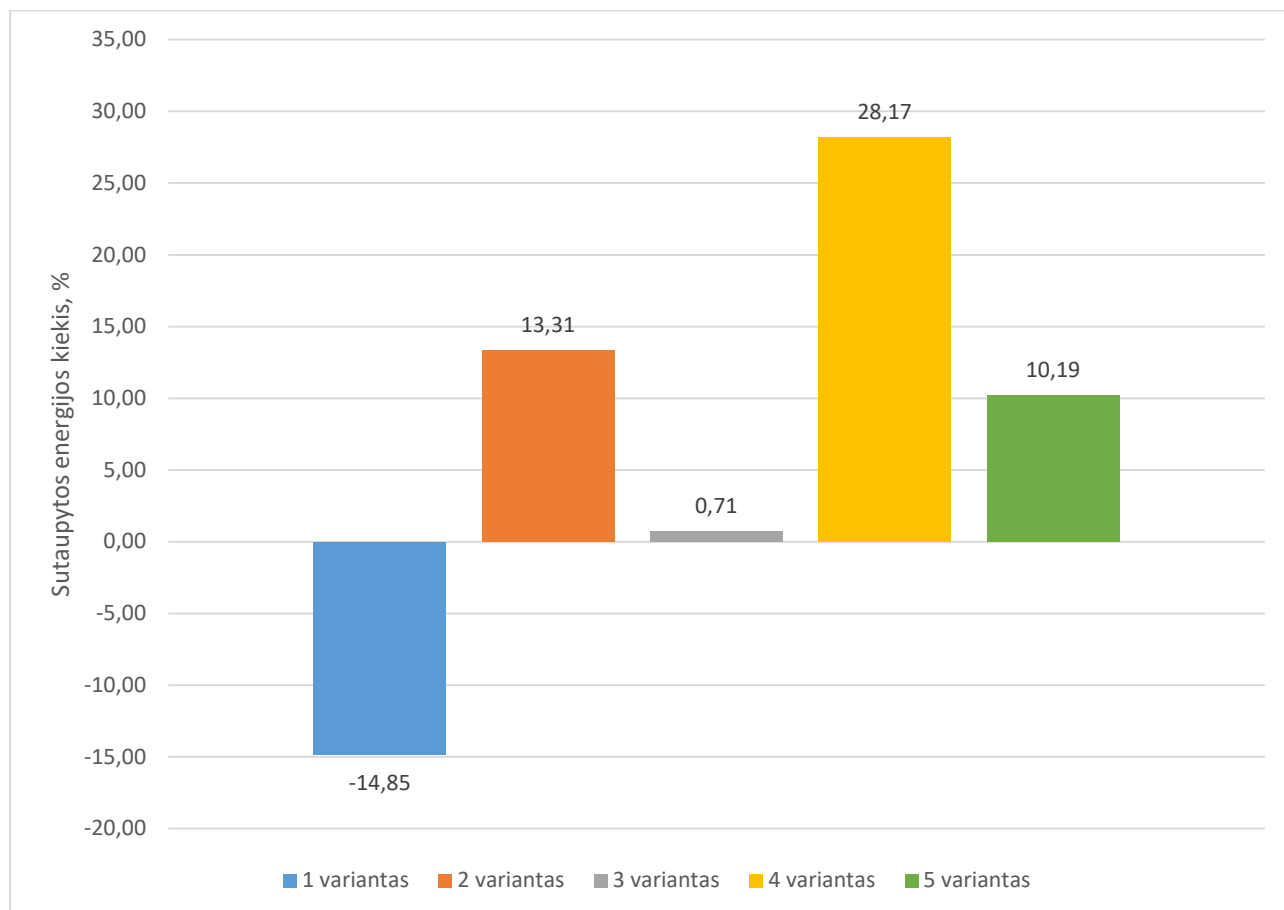
15 lentelėje parodyti visi modeliavimo variantai ir jiems reikalingas metinis šilumos poreikis, kuris perskaičiuotas į kWh/m². 30 pav. pavaizduoti grafiškai apskaičiuoti sutaupyti energijos kiekiai nuo 6 varianto, kuris lentelėje paryškintas. 6-ame variante visose pastato patalpose vyraujanti temperatūra yra 20 °C. Iš lentelės duomenų galima matyti, kad sutaupyti energijos kiekiai, suregulius patalpų temperatūrą, gali siekti iki 28,17 %. Taikant temperatūros žeminimą pasiekiami iki 9,54 % sutaupyti energijos kiekiai.



30 pav. Pastato šilumos poreikis kWh/m² tam tikriems temperatūros kitimo intervalams patalpose.

2.6. Nesubalansuotos sistemos įtaka metiniam šilumos poreikiui

Suskirsčius modeliavimo variantus ir sukūrus atskirus modelius, buvo gauti tam tikri sutaupytos energijos kiekiai kiekvienam modeliuojamo varianto atvejui. Sutaupytos energijos kiekiai buvo skaičiuojami pagal variantą, kai visose pastato patalpose vyrauja 20 °C temperatūra.

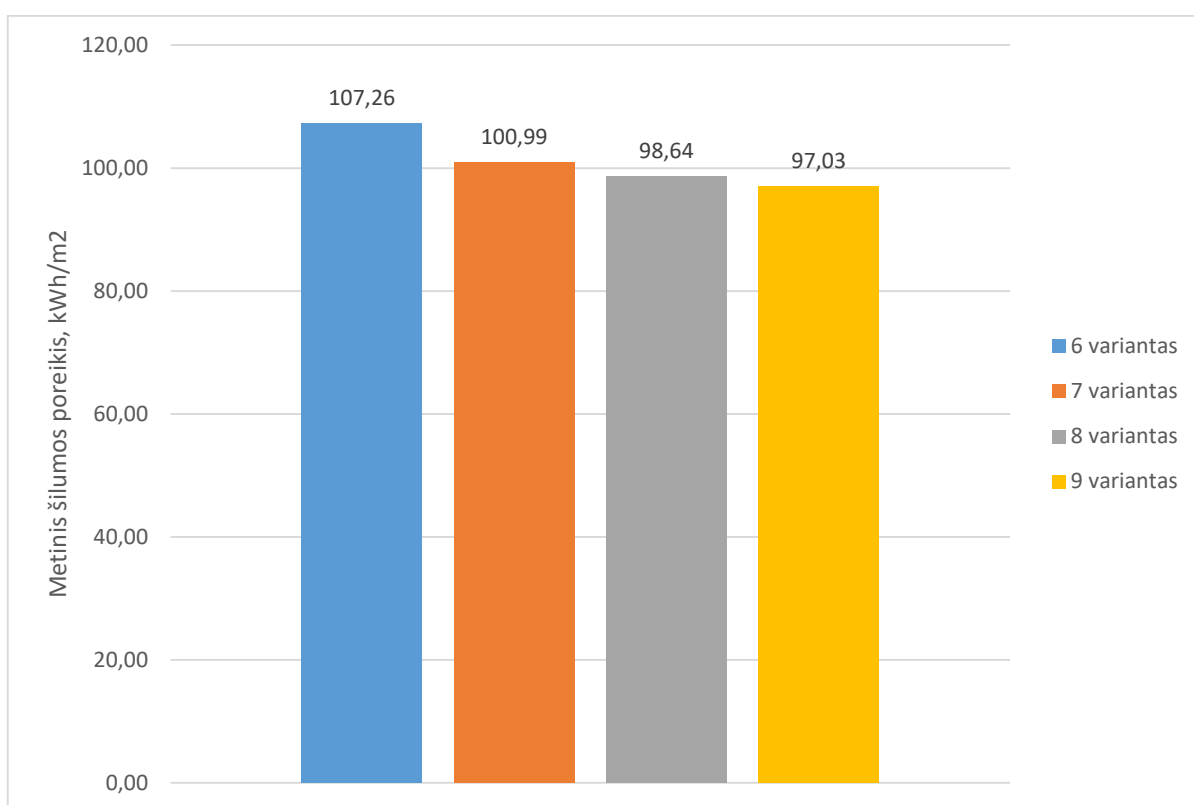


31 pav. Patalpose vyraujančios temperatūros išlyginimo suteikiamas sutaupytas energijos kiekis %.

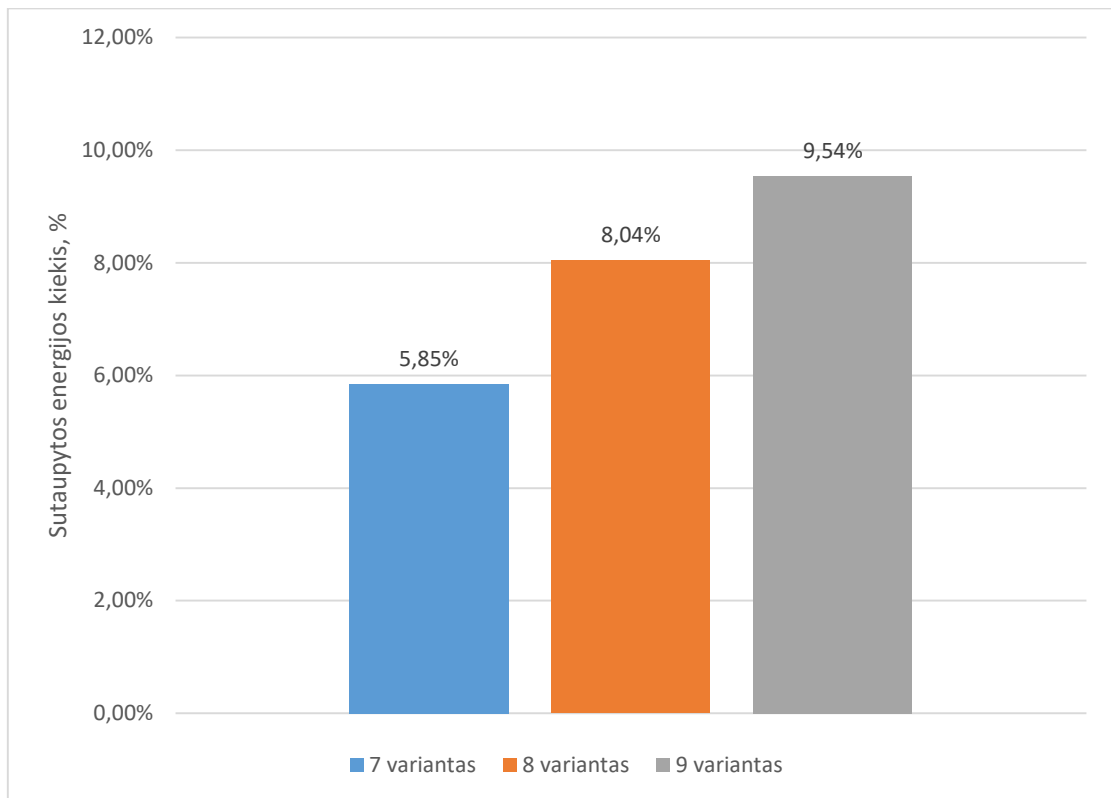
Iš 31 paveikslo matyti, kad 1 varianto atveju, kai pastate vyraujanti temperatūra 16–20 °C, šilumos sunaudojama 14,85 % mažiau, negu suregulius temperatūrą iki 20 °C. Tačiau praktiškai visame pastate yra neužtikrinama komfortinė temperatūra. Jei patalpose vyraujanti temperatūra būtų 20–24 °C, 4 varianto atveju šilumos suvartojimas išaugtų iki 28,17 %, nes visas pastatas būtų peršildomas. Jei pastate vyrautų 16–24 °C temperatūra kaip 2 variante, tai šilumos suvartojimas išaugtų 13,31 %. Taip pat 10,19 % šilumos suvartojimo išaugimas būtų matomas 5 varianto atveju, jei patalpose vyrautų 20–22 °C. 3 varianto atveju, kai patalpose vyraujanti temperatūra 18–22 °C, šilumos suvartojimas išaugtų tik 0,71 %, tačiau tam tikruose butuose būtų palaikoma per žema, ne komfortinė, temperatūra.

2.7. Temperatūros žeminimo įtaka šildymo sistemos sutaupytos energijos kiekiams

Analizuojant patalpų temperatūros žeminimą daroma prielaida, kad darbo dienomis patalpose temperatūra skirtingų scenarijų atveju žeminama nuo 20 °C iki 18 °C, 17 °C arba 16 °C. Modeliuojant pastato inercija buvo vertinama pagal atitvarų masyvumą. Buvo priimtos teorinės prielaidos, t.y. panaudoti dirbančios šeimos nebuvimo namuose temperatūros intervalai, kai temperatūra pažeminama nuo 9:00 val., kai suaugę žmonės išeina į darbus, o vaikai palydimi į mokyklas ir darželius, 16:00 val. temperatūra vėl palaikoma komfortinė, o nuo 22:00 val. miego laikotarpiu vėl pažeminama, priklausomai nuo scenarijaus – 4 °C, 3 °C arba 2 °C. Pastato šilumos poreikis kWh/m², taikant protarpinį temperatūrinį žeminimą, pavaizduotas 32 paveiksle.



32 pav. Pastato šilumos poreikis kWh/m², taikant 2 °C, 3 °C ir 4 °C temperatūros žeminimą.



33 pav. Protarpinio temperatūros žeminimo suteikiami sutaupyti energijos kiekiai.

33 paveikslo duomenys parodo, kad taikant temperatūrinį žeminimą, kai naudojamas infiltracijos koeficientas prie 50 Pa – 3 1/h ir naudojamas temperatūrinis žeminimas 2 °C, 3 °C ir 4 °C, gaunami sutaupyti energijos kiekiai nuo 5,85–9,54 %. Taigi, naudojant vidaus temperatūros protarpinį žeminimą gyventojai galėtų sutaupyti iki 9,54 % energijos.

2.8. Finansinis vertinimas tam tikriems nesubalansuotos šildymo sistemos variantams

Ekonominiame vertinime lyginami 2–6 nesubalansuotos sistemos veikimo variantai iš 3.5. skyriaus. Pirmas variantas atmetamas dėl to, kad jo suvartojimas yra mažesnis už suvartojimą, kuris pasiekiamas modernizavus sistemą. Skaičiavimai buvo atliekami programos Excel aplinkoje. Buvo nustatomi kasmetiniai kaštai elementų eksploatacijai, priežiūrai ir keitimui. Pagal šiuos duomenis per visą nagrinėjamą laikotarpį buvo skaičiuojami gyvavimo ciklo kaštai (LCC). Vėliau buvo randami pagrindiniai ekonominiai rodikliai, tokie kaip paprastas atsipirkimo laikas (PAL), tikrasis atsipirkimo laikas (TAL), grynoji dabartinė vertė (GDV), vidutinė grąžos norma (VGN).

Kadangi ekonominiame vertinime yra tam tikrų neapibrėžtumų, todėl yra daromos prielaidos, kurios paaiškina sprendimus ir palengvina skaičiavimus, nedarydamos didelės įtakos skaičiavimų tikslumui. Pagrindinės prielaidos:

1. Vertinimo periodas 20 m. (pagal laikotarpį, kuriam praėjus rekomenduojama daryti pastato kapitalinį remontą)
2. Diskonto norma 3,35 %. (duomenys imami iš puslapio <https://www.lb.lt/lt/nauji-paskolu-susitarimai-ir-ju-palukanu-normos>)
3. CŠT kaina 0,0433 €/kWh.
4. Daroma prielaida, kad CŠT energija per metus brangs 2 % dėl infliacijos.
5. Įrenginių bei įrengimo kainos priimamos, remiantis daugiabučių renovacijos investiciniais planais:

Šildymo sistemos įrangos kaina priimama – 13571,96 €

Modernizavimo darbų kaina priimama 25 % nuo investicijų – 3392,99 €

Bendra šildymo sistemos modernizavimo investicijų suma – 16964,95 €

16 lentelė. Visų lyginamų modeliavimo variantų energijos suvartojimas

6 variantas – bazinis	107,26 kWh/m ² /metus	144237 kWh/metus
2 variantas	121,56 kWh/m ² /metus	163433 kWh/metus
3 variantas	108,03 kWh/m ² /metus	145267 kWh/metus
4 variantas	137,48 kWh/m ² /metus	184870 kWh/metus
5 variantas	118,19 kWh/m ² /metus	158940 kWh/metus

17 lentelė. Nagrinėtų modeliavimo variantų investicijos ir gyvavimo ciklo kaštai

Nagrinėtas variantas	Investiciniai kaštai, €	Gyvavimo ciklo kaštai, €
6 variantas - bazinis	16965	126822
2 variantas	0	124089
3 variantas	0	110621
4 variantas	0	139993
5 variantas	0	120761

2.8.1. Paprastas atsipirkimo laikas (PAL)

Paprastas atsipirkimo laikas (PAL) – Metais išreikštas laikas, per kurį sugrįžta investuotos lėšos, apskaičiuojamas kaip investuotų lėšų sumos ir metinių piniginių įplaukų santykis.

$$PAL = \frac{I}{N} \quad (6)$$

čia:

I – investicijos, €.;

N – metinės piniginės įplaukos, €/metus.

18 lentelėje yra pateikiami gauti rezultatai, skaičiuojant paprastąjį atsipirkimo laiką (PAL).

18 lentelė. Paprastojo atsipirkimo laiko skaičiavimas visiems vertinamiems modeliavimo variantams

PAL				
Variantas	Pradinės investicijos	Kaštai	Gyvavimo ciklo kaštai	Atsipirkimo laikas
6 variantas – bazinis	0.00	6445,45	126822	-
	0.00	-		-
2 variantas	16965	7276,36	124089	-
	-16965	830,90		20,42
3 variantas	16965	6490,06	110621	-
	-16965	44,61		380,32
4 variantas	16965	8204,87	139993	-
	-16965	-1759,42		9,64
5 variantas	16965	7082,10	120761	
	-16965	-636,65		26,65

Iš gautų rezultatų matyti, kad mažiausias paprastas atsipirkimo laikas yra 4 modeliavimo varianto. Jo metu pastate vyrauja 20–24 °C ir visas pastatas yra perkaitinamas. Tokio scenarijaus metu modernizacija atrodo patraukli, atsižvelgiant ne tik į geresnes mikroklimato ir komforto sąlygas, bet ir ekonominiu atžvilgiu. Visų kitų modeliavimo atvejų metu paprastas atsipirkimo laikas viršija 20 metų laikotarpį, todėl galima teigti, kad jos nėra naudingos, žiūrint tik ekonominiu požiūriu.

2.8.2. Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL)

Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL) – tai metais išreikštas laikas, per kurį sugrįžta investuotos lėšos, apskaičiuojamas įvertinus diskonto faktorių, t.y. pinigų nuvertėjimą. Randamas pagal formulę:

$$TAL = \frac{-\ln(1-dx \frac{I_0}{\Delta S})}{\ln(1+d)} \quad (7)$$

čia:

I_0 – investicijos, €;

ΔS – kiekvienais metais sutaupomos piniginės lėšos, €/metus;

d – diskonto norma.

19 lentelėje pateikiami gauti rezultatai, apskaičiuojant tikrąjį atsipirkimo laiką (TAL).

19 lentelė. Tikrojo atsipirkimo laiko skaičiavimas visiems vertinamiems modeliavimo variantams.

TAL					
Variantas	Diskonto norma	Pradinės investicijos	Kaštai	Gyvavimo ciklo kaštai	Atsipirkimo laikas
6 variantas – bazinis		16964,95	6445,45	126821,60	
	3,35 %	0	-		
2 variantas		0	7276,36	124088,76	
	3,35 %	0	830,90		34,96
3 variantas		0	6490,06	110620,70	
	3,35 %	0	44,61		-
4 variantas		0	8204,87	139992,81	
	3,35 %	0	1759,42		11,84
5 variantas		0	7082,10	120761,47	
	3,35 %	0	636,65		67,74

Iš 19 lentelėje gautų rezultatų matyti, kad tikrasis atsipirkimo laikas yra didesnis nei paprastas atsipirkimo laikas. Bet tai yra natūralu, nes skaičiuojant tikrąjį atsipirkimo laiką yra vertinamas pinigų nuvertėjimas. Iš rezultatų matyti, jog ketvirtosios alternatyvos atsipirkimo laikas išauga iki 11,84

metų. Tačiau šis variantas lieka vienintelis, žiūrint ekonominiu požiūriu. Trečiasis modeliavimo variantas, vertinant pagal tikrąjį atsipirkimo laiką, neatsiperka niekada.

2.8.3. Grynoji dabartinė vertė (GDV)

Grynoji dabartinė vertė – skirtumas tarp investicijos dabartinės vertės rinkoje ir jos kaštų. Apskaičiuojama pagal formulę:

$$GEV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (8)$$

čia:

k – diskontavimo norma, %;

t – praėjęs laikas, metais;

CF_t – grynųjų pinigų srautai, €.

$$CF_t = P - C - I \quad (9)$$

čia:

P – pajamos per metus, €;

C – metinės išlaidos, €;

I – investicijos, €.

Skaiciavimams atlikti yra naudojama Excel programa, todėl grynosios dabartinės vertės skaičiavimui yra pasitelkiama funkcija NPV, kurios pagalba Excel suskaičiuoja grynąją dabartinę vertę. Visi atlikti skaičiavimai pateikiami 20 lentelėje.

20 lentelė. Grynosios dabartinės vertės skaičiavimas.

Variantas	Diskonto norma	Pradinės investicijos	Kaštai		GDV
			1	20	
6 variantas – bazinis		16964,95	6445,45	9298,45	
	3,35 %	0	-	-	
2 variantas		16964,95	7276,36	10508,92	-2644,26 €
	3,35 %	-16964,95	830,90	1210,47	
3 variantas		16964,95	6490,06	9363,43	-15675,76 €
	3,35 %	-16964,95	44,61	64,98	
4 variantas		16964,95	8204,87	11861,59	12744,28 €
	3,35 %	-16964,95	1759,42	2563,14	
5 variantas		16964,95	7082,10	10225,92	-5863,69 €
	3,35 %	-16964,95	636,65	927,48	

Iš 20 lentelės matyti, kad didžiausią dabartinę vertę turi 3 modeliavimo variantas. Visi kiti modeliavimo variantai turi neigiamą grynąją dabartinę vertę, todėl yra ekonomiškai nepatrauklūs.

2.8.4. Vidutinė gražos norma (VGN)

Vidutinė gražos norma – diskonto norma, kuriai esant grynoji dabartinė vertė prilyginama nuliui.

Kadangi visi skaičiavimai yra atliekami su Excel programa, todėl vidutinė gražos norma yra apskaičiuojama Excel programos IRR funkcija. Skaičiavimas pateikiamas 21 lentelėje.

21 Lentelė. Vidutinės gražos normos skaičiavimas.

Variantas	Diskonto norma	Pradinės investicijos	Kaštai		VGN
			1	20	
6 variantas – bazinis		16964,95	6445,45	9298,45	
	3,35 %	0	-	-	
2 variantas		16964,95	7276,36	10508,92	
	3,35 %	-16964,95	830,90	1210,47	2 %
3 variantas		16964,95	6490,06	9363,43	
	3,35 %	-16964,95	44,61	64,98	-18 %
4 variantas		16964,95	8204,87	11861,59	
	3,35 %	-16964,95	1759,42	2563,14	10 %
5 variantas		16964,95	7082,10	10225,92	
	3,35 %	-16964,95	636,65	927,48	-1 %

Iš 21 lentelės matyti, kad visuose rodikliuose pirmauja 3 modeliavimo variantas, jo vidutinė gražos norma yra didžiausia, siekia 10 %. 2 variantas turi taip pat teigiamą 2 % vidutinę gražos normą, o visų kitų variantų vidutinė gražos norma yra neigiama.

Taigi, atlikus ekonominį vertinimą paaiškėjo, kad modernizuoti šildymo sistemą ekonomiškai naudinga tik tuo atveju, kai prieš modernizaciją visos pastato patalpos yra perkaitinamos ir jose palaikoma aukštesnė temperatūra. Vertinant ekonominiu požiūriu pagal visus rodiklius (PAL, TAL, GDV ir VGN) priimtinausias buvo 4 modeliavimo variantas, kai pastato patalpose nemodernizavus sistemos vyravo 20–24 °C, kadangi visi rodikliai .

Išvados

1. Faktiniai vienvamzdės šildymo sistemos temperatūros tyrimai parodė, kad patalpose neužtikrinamas reikiamas komforto lygis. Matavimo metu temperatūra viršutiniame pastato aukšte nesiekė 18 °C, apatiniame aukšte patalpų temperatūra buvo pakilus iki 22 °C. Tikėtina, kad tam didžiausią įtaką darė hidrauliškai nesubalansuota šildymo sistema.
2. Skirtingų programa *Design Builder* atliktų modeliavimo scenarijų, kai siekiama užtikrinti patalpose komforto lygį, rezultatų analizė parodė, kad tam tikrais atvejais būtų galima sutaupyti iki 28,17 % šiluminės energijos. Pasiekus tokius sutaupytos energijos kiekius, inžinerinių sistemų modernizacijos galimybė galėtų būti patrauklesnė gyventojams.
3. Modeliuojant patalpų vidaus temperatūros protarpinį žeminimą nuo 20 °C iki 18 °C, 17 °C arba 16 °C viso šildymo sezono metu, nustatyti galimi sutaupytos šilumos kiekiai nuo 5,85 % iki 9,54 %. Kadangi šiam inžinerinių sistemų modernizavimo būdui nereikia didelių investicijų, sutaupytos šilumos rodikliai, taikant protarpinį temperatūros žeminimą, yra gana nemaži.
4. Vertinant ekonominiu požiūriu nustatyta, kad šildymo sistemos modernizavimas galėtų atsipirkti per 20 metų laikotarpį, jei prieš modernizaciją pastato patalpos yra perkaitinamos ir jose palaikoma per aukšta temperatūra.

Literatūros sąrašas

1. Ahern, C.; Norton B. 2015. Energy savings across EU domestic building stock by optimizing hydraulic distribution in domestic space heating systems, *Energy & Buildings* 91: 199–209.
2. Cholewa, T.; Siuta-olcha, A.; Balaras, C.A. 2017. Actual energy savings from the use of thermostatic radiator valves in residential buildings – Long term field evaluation, *Energy & Buildings*.
3. Urban, B.; Elliot, D.; Sachs, O. 2012. Towards better modeling of residential thermostats, in *Fifth National Conference of IBPSA-USA, Madison, Wisconsin, 2012*. Cambridge University Press, 56–62.
4. Csoknyai, T.; Hrabovszky-horváth, S.; Georgiev Z. 2016. Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries, *Energy & Buildings* 132: 39–52.
5. Krawczyk, D. A. 2014. Theoretical and real effect of the school's thermal modernization – A case study, *Energy & Buildings* 81: 30–37.
6. Martinaitis, V. 2004. Criterion to evaluate the „twofold benefit“ of the renovation of buildings and their elements, *Energy & Buildings* 36: 3–8.
7. Martinaitis, V.; Biekša D.; Misevičiūtė V. 2010. Degree-days for the exergy analysis of buildings, *Energy & Buildings* 42: 1063–1069.
8. Martinaitis, V., *et al.* 2015. Quantitative estimation of improvements in the efficiency of district heating substation control system, *Building Services Engineering Research and Technology* 36: 455–468.
9. Monetti, V.; Fabrizio, E., Filippi M. 2015. Impact of the low investment strategies for space heating control : Application of thermostatic radiators valves on an old residential building, *Energy & Buildings* 95: 202-210.
10. Moon, J.W.; Kim, J.J. 2010. ANN-based thermal control models for residential buildings, *Building and Environment* 45: 1612-1625.
11. Motuzienė, V.; Vilutienė, T. 2013. Modelling the Effect of the Domestic Occupancy Profiles on Predicted Energy Demand of the Energy Efficient House, *Procedia Engineering* 57: 798-807
12. Nägele, F.; Kasper T.; Girod B. 2017. Turning up the heat on obsolete thermostats: A simulation-based comparison of intelligent control approaches for residential heating systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75: 1254-1268.
13. Oldewurfel, F.; Sturzenegger, D.; Morari, M. 2013. Importance of occupancy information for building climate control, *Applied Energy* 101: 521-532.

14. Peffer, T., *et al.* 2011. How people use thermostats in homes: A review, *Building and Environment* 46: 2529-2541.
15. Motuzienė, V., *et al.* 2016. Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study, *Journal of Cleaner Production* 112: 532-541.
16. Semprini, G., *et al.* 2015. Effect if occupant behavior and control systems on the reduction of energy needs of residential buildings, *Energy Procedia* 78: 633-638.
17. Xu, B.; Fu, L.; Di, H. 2008. Dynamic simulation of space heating systems with radiators controlled by TRVs in buildings, *Energy & Buildings* 40: 1755-1764.
18. Xu, B., *et al.* 2011. Simulation and analysis on control effectiveness of TRVs in district heating systems, *Energy & Buildings* 43: 1169-1174.
19. Martinaitis, V.; Rogoža, A.; Čiuprinskas, K. 2010. Pastatų energijos vartojimo auditas. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 37.
20. HN 69:2003 *Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai.* 2003.
21. HN 42:2009 *Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas.* 2009.
22. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 1. Отопление. 1975.
23. Techninis katalogas Plokščių radiatoriai, PURMO, Lietuva 2011.
24. Lietuvos Respublikos nekilnojamo turto registro įregistruotų statinių apskaita. 2016 m.
25. Danfoss techninis katalogas [interaktyvus], [žiūrėta 2018.04.10 13:15]. Prieiga per internetą: <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/Techninis%20zinynas%20renovacijai%202015.pdf> žiūrėta 2018.04.10 13:15.