



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Pastatų energinio efektyvumo rodiklių prognozavimo analizė renovacijos procese

Magistro baigiamasis projektas

Martynas Pranauskas

Projekto autorius

Doc. Jurgita Černeckienė

Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Pastatų energinio efektyvumo rodiklių prognozavimo analizė renovacijos procese

Magistro baigiamasis projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Martynas Pranauskas

Projekto autorius

Doc. Jurgita Černeckienė

Vadovė

Lekt. Vilma Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė

Recenzentė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Martynas Pranauskas

Pastatų energinio efektyvumo rodiklių prognozavimo analizė renovacijos procese

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Martynas Pranauskas

Patvirtinta elektroniniu būdu



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):
PASTATŲ ENERGINIO EFEKTYVUMO RODIKLIŲ PROGNOZAVIMO ANALIZĖ
RENOVACIJOS PROCESĖ

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanų potvarkiu Nr.: 2023 m. lapkričio 30 d. Nr. V25-09-28.

(lietuvių k.):
Pastatų energinio efektyvumo rodiklių prognozavimo analizė renovacijos procese

(anglų k.):
Analysis of the Prediction of Energy Performance of Buildings in the Renovation Process

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

**TIRIAMŲ OBJEKTŲ ARCHITEKTŪRINIAI PLANAI IR FAKTINIAI SUVARTOTOS
ENERGIJOS ŠAUNAUDŲ DUOMENYS.**

Baigiamojo projekto dalys:	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	☐
Analitiniai tyrimai	x
Skaitiniai tyrimai	x
Ekonominė dalis	☐
Išvados	x

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

NUOTOLINĖS KONSULTACIJOS PENKTADIENIAIS 8:00

Vadovas: Doc. Jurgita Černeckienė Patvirtinta elektroniniu būdu
(indėlis _100_ %)
pareigos, vardas, pavardė *parašas*

Studentas: Martynas Pranauskas Patvirtinta elektroniniu būdu
vardas, pavardė *parašas*

Pranauskas, Martynas. Pastatų energinio efektyvumo rodiklių prognozavimo analizė renovacijos procese. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Jurgita Černeckienė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų krypčių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: šildymo sąnaudų prognozavimas, faktinės energijos sąnaudos, mėnesių vidurkių metodas, dinaminio modeliavimo metodas, prognozavimo metodų tikslumas.

Kaunas, 2024. 48 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame projekte išanalizuota literatūra, kuri susijusi su energijos sąnaudų prognozavimo šildymui metodais. Išsiaiškintas ir aprašytas fizikiniais metodais grįstas prognozavimas, mašininų algoritmų duomenimis grįstas energijos sąnaudų prognozavimas ir hibridinis mašininų algoritmų bei fizikiniais duomenimis grįstas energijos sąnaudų prognozavimas. Taip pat atlikta anoniminė apklausa, kurios pagalba nustatyti respondentų energijos sąnaudų prognozavimo tikslumo lūkesčiai ir juos tenkinus – tai taptų papildoma paskata renovuoti pastatą.

Darbo tikslas – nustatyti, kokią energijos sąnaudų prognozavimo tikslumą turi skirtingi energijos sąnaudų prognozavimo metodai.

Darbe ištirti 5 gyvenamosios paskirties pastatai, esantys K. Baršausko gatvėje, Kaune, pagal mėnesių vidurkių metodą ir dinaminio modeliavimo metodą prieš ir po renovacijos etapo. Faktiniai duomenys lyginami su mėnesių vidurkių metodo skaičiavimo rezultatais pagal Statybos sektoriaus vystymo agentūros (SSVA) pateiktais išrašais, su darbo autoriaus apskaičiuotais mėnesių vidurkių metodo rezultatais „NRG PRO“ programinės įrangos pagalba ir su „IDA ICE“ programine įranga darbo autoriaus apskaičiuotais dinaminio modeliavimo metodo rezultatais.

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad prieš renovacijos procesą tiriamųjų objektų, pagal „Statybos sektoriaus vystymo agentūros“ (SSVA) pateiktus mėnesių vidurkių metodo duomenis, skaičiuojamųjų sąnaudų paklaidų vidurkis sudaro +131 % (mediana +138 %) lyginant su faktinėmis energijos sąnaudomis pastatui šildyti. Tyrimo metu atlikus pakartotinius skaičiavimus mėnesių vidurkių metodu pagal darbo autorių, skirtumas tarp skaičiuojamųjų ir faktinių energijos sąnaudų pastatui šildyti sudarė vidutiniškai +101 % (mediana +90 %). Skaičiuojamųjų sąnaudų dinaminio modeliavimo metodu paklaidų vidurkis sudaro +44 % (mediana +63 %).

Po renovacijos tiriamųjų objektų, pagal SSVA pateiktus mėnesių vidurkių metodo duomenis, skaičiuojamųjų sąnaudų paklaidų vidurkis sudaro +17 % (mediana +41 %). Paklaidos vidurkis tenkintų didžiąją dalį apklaustųjų, tačiau paklaidų diapazonas svyruoja tarp +41 % ir +60 %. Pagal darbo autorių, mėnesių vidurkių metodo paklaidų vidurkis +24 % (mediana +40 %). Dinaminio modeliavimo metodu pagal darbo autorių skaičiuojamųjų paklaidų vidurkis +3 %, diapazonas tarp -7 % ir +24 %, o mediana sudaro -4 %.

Tirtuose renovuotuose pastatuose, neatsižvelgiant į priimtas energijos sąnaudų mažinimui priemones, faktinės energijos sąnaudos šildymui po renovacijos proceso sumažėjo vidutiniškai 53,87 % (diapazonas tarp 49,10 % ir 56,02 %), o mediana sudaro 55,77 %. Projekte pateikiamos 5 lentelės ir 33 paveikslėliai, panaudota 40 literatūros šaltinių.

Pranauskas, Martynas. Analysis of the Prediction of Energy Performance of Buildings in the Renovation Process. Master's Final Degree / supervisor assoc. prof. dr. Jurgita Černeckienė; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences.

Keywords: Forecast of heating costs, actual energy costs, method of monthly averages, method of dynamic modelling, accuracy of the forecasting methods.

Kaunas, 2024. 48 pages.

Summary

The Master's thesis project analyses the literature related to methods for predicting heating energy costs. Physics based prediction, machine algorithm data-based energy cost prediction and hybrid machine algorithm and physics-based energy cost prediction are developed and described. An anonymous survey was also conducted to determine respondents' expectations of the accuracy of the energy cost prediction and, if met, to provide an additional incentive to renovate the building.

The aim of this paper is to determine the accuracy of different energy cost prediction methods.

Five residential buildings in K. Baršausko Street, Kaunas, were studied using the method of monthly averages and dynamic modelling before and after the renovation phase. The actual data are compared with the results of the monthly average method calculated on the basis of extracts provided by the Construction Sector Development Agency (SSDA), with the results of the monthly average method calculated by the author of the paper using the NRG PRO software, and with the results of the dynamic modelling method calculated by the author of the paper using the IDA ICE software.

The calculations show that the average of the errors in the calculated costs of the study properties before the renovation process is +131 % (median +138 %) compared to the actual energy costs for heating the building, according to the monthly averages method data provided by the Building Sector Development Agency (BDA). When the study was recalculated using the monthly average method according to the author of the paper, the difference between the calculated and actual energy consumption for heating the building was on average +101 % (median +90 %). The average error in the dynamic modelling of the calculated costs is +44 % (median +63 %).

For post-renovation properties, the average error in the cost calculation is +17 % (median +41 %) based on the monthly averages provided by SSVA. The average error would satisfy most respondents, but the range of errors is between +41 % and +60 %. According to the author of the paper, the average error for the monthly averages method is +24 % (median +40 %). For the dynamic modelling method, the mean error of the estimates is +3 %, the range is between -7 % and +24 % and the median is -4 %.

In the renovated buildings studied, regardless of the measures taken to reduce energy consumption, the actual energy consumption for heating after the renovation process decreased on average by 53.87 % (range between 49.10 % and 56.02 %), with a median of 55.77%. The report contains 5 tables and 33 figures and is based on 40 references.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Renovaciją stabdantys veiksniai Lietuvoje	13
1.2. Energijos naudojimo prognozavimo tyrimo metodai	15
1.3. Fizikiniais metodais grįstas energijos sąnaudų prognozavimas	16
1.4. Mašininių algoritmų duomenimis grįstas energijos sąnaudų prognozavimas	18
1.5. Hibridinis mašininių algoritmų ir fizikiniais duomenimis grįstas energijos sąnaudų prognozavimas.....	19
2. Metodologija	22
2.1. Faktiniai energijos sąnaudų duomenys.....	22
2.2. Mėnesių vidurkių metodo duomenys pagal Statybos sektoriaus vystymo agentūrą	22
2.3. Mėnesių vidurkių metodo duomenys pagal darbo autorių	22
2.4. Dinaminio modeliavimo metodo duomenys	24
3. Tiriamoji dalis.....	27
3.1. Vykdytos apklausos rezultatų apžvalga.....	27
3.2. Tyrimo objektai	29
3.2.1. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 92, Kaunas	30
3.2.2. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 67, Kaunas	32
3.2.3. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 65, Kaunas	34
3.2.4. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 69, Kaunas	36
3.2.5. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 88, Kaunas	39
3.3. Rezultatai	42
Išvados	44
Literatūros sąrašas	45
Priedai.....	49
1 priedas. Sisteminis literatūros apžvalgos protokolas.....	49
2 priedas. Sisteminė literatūros apžvalga pagal PRISMA metodą	50
3 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 65 namo prieš ir po renovacijos etapo...	51
4 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 67 namo prieš ir po renovacijos etapo...	52
5 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 92 namo prieš ir po renovacijos etapo...	53
6 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 69 namo prieš ir po renovacijos etapo...	54
7 priedas. Pastato energinio naudingumo sertifikatas K. Baršausko g. 88 namo prieš renovacijos etapą	55
8 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 88 namo po renovacijos etapo	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Energijos sąnaudų prognozavimo metodų tikslumo suvestinė.....	16
2 lentelė. STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6] įvairių rodiklių vertės pastatų energinio naudingumo skaičiavimams	24
3 lentelė. Norminės oro apykaitos vertės [6]	26
4 lentelė. Suvestinė tiriamųjų objektų informacija	43
5 lentelė. Sisteminis literatūros apžvalgos protokolai	49

Paveikslų sąrašas

1 pav. Tiriamojo projekto struktūrinė schema	13
2 pav. Energijos naudojimo prognozavimo tyrimo metodai [18]	16
3 pav. Mašininio modelio reikalingi įvesties duomenys [35]	19
4 pav. Mašininio hibridinio modelio reikalingi įvesties duomenys [18]	20
5 pav. Iškarpa iš „IDA ICE“ modelio plano ir 3D vaizdo su balkonu	25
6 pav. Modeliuojamo pastato pjūvis iš „IDA ICE“ modelio	26
7 pav. Atsakymo „Kokio tipo nekilnojamojo turto objekto savininkas esate?“ duomenys	28
8 pav. Atsakymo „Ar planuojate/norėtumėte renovuoti savo būstą?“ duomenys.....	28
9 pav. Atsakymo „Ar Jūsų apsisprendimui renovuoti pastatą turi įtakos prognozuojami energijos sąnaudų sutaupymai?“ duomenys.....	28
10 pav. Atsakymo „Kokiu tikslumu prognozuojamų energijos sąnaudų sutaupymų tikėtumėtės renovacijos planavimo etape?“ duomenys	29
11 pav. Atsakymo „Jeigu energijos sąnaudų prognozavimas atitiktų Jūsų lūkesčius, ar tai būtų papildoma paskata renovuoti Jūsų pastatą?“ duomenys.....	29
12 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 92, Kaunas nuotrauka	30
13 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 92 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos	31
14 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 92, Kaune.....	32
15 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaunas nuotrauka	33
16 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 67 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos	33
17 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 67, Kaune.....	34
18 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 65, Kaunas nuotrauka	35
19 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 65 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos	35
20 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 65, Kaune.....	36
21 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 69, Kaunas nuotrauka	37
22 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 69 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos	38
23 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 69, Kaune.....	39
24 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaunas nuotrauka	40
25 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 88 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos	41
26 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 88, Kaune.....	41
27 pav. Literatūros apžvalga pagal PRISMA metodą [36]	50
28 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 65, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33].....	51
29 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33].....	52
30 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 92, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33].....	53
31 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33].....	54

32 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaunas, energinio naudingumo sertifikatas prieš renovaciją	55
33 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas po renovacijos [33]	56

Įvadas

Remiantis Europos Parlamento parengto pranešimu spaudai „CO₂ išlakų mažinimas: ES tikslai ir veiksmai“ [1] duomenimis, pastatų šildymui ir vėsinimui sunaudojama 40 procentų visos Europos Sąjungos suvartojamos energijos ir išskiriami 36 procentai visų su energija susijusių šiltnamio efekto sukeliančių dujų kiekio [2]. Dėl šios priežasties Europos Komisija paskelbė pastatų energinio naudingumo didinimo strategiją pavadinimu „Renovacijos banga“. Šios strategijos pagrindinis tikslas: „per ateinančią dešimtmetį renovavimo rodiklį padidinti bent du kartus ir užtikrinti, kad renovuotuose pastatuose būtų efektyviau vartojama energija ir ištekliai“ [2]. Taip pat 2015 vykusiame Jungtinių Tautų susitikime priimtas tarptautinis dokumentas (rezoliucija) „Keiskime mūsų pasaulį: Darnaus vystymosi darbotvarkė iki 2030 metų“ [3], kuriame nurodyti 17 darnaus vystymosi tikslų, aktualių ir pastatų renovacijos klausimu. Dieko Helzerio publikuotame straipsnyje [4] nustatyta, kad anglies dvideginio išsiskyrimo mažinimui ir žmonių sąmoningumui skatinti naudoti atsinaujinančią žaliąją energiją, didelę įtaką turi vyriausybės finansavimas mokslinių tyrimų plėtrai ir jų rezultatų viešinimui. Tačiau remiantis „Aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA)“ sudaryto renovacijos žemėlapiu programos duomenimis [5], šiuo metu Lietuvoje renovuota tik 12,0 % (4606) iš visų potencialiai galimų renovuoti daugiabučių namų. Lietuvoje pastatų energinio vertinimo prognozavimui teisės aktais yra patvirtinti energinis sertifikavimas, remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6] ir audito tyrimas, remiantis Lietuvos energetikos agentūros pateikta „Išsamiojo energijos ir energijos išteklių vartojimo audito atlikimo pastatuose metodika“ [7], tačiau abu šie metodai turi tam tikrų trūkumų prognozavimo tikslume realioms sąlygoms po renovacijos etapo. Dėl šių išvardintų priežasčių, šiame darbe nagrinėjama pastatų energetinio vertinimo įtakos renovacijos skatinimui tema labai aktuali, norint įgyvendinti iškeltus pastatų renovacijos tikslus.

Siekiant nustatyti, kokią įtaką apsisprendimui renovuoti pastatą turi pastato energijos sąnaudų prognozavimo tikslumas prieš renovaciją, parengta anoniminė internetinė apklausa „Pastato renovacijos efektyvumo prognozavimas“. Nustačius pagrindines priežastis stabdančias renovacijos tempą Lietuvoje, reikia rasti sprendimus, kaip energijos sąnaudų prognozavimo etape atlikti kuo tikslesnius modeliavimus, kad renovacijos tempas paspartėtų ir būtų įgyvendinami ES iškelti tikslai.

Tikslas: Nustatyti, kokį energijos sąnaudų prognozavimo tikslumą turi skirtingi energijos sąnaudų prognozavimo metodai.

Hipotezė: į teisės aktus įtraukus dinaminio energinio modeliavimo metodą, energijos suvartojimo prognozė taptų tikslesnė už pastatų energinio sertifikavimo – mėnesių vidutinių verčių metodą ir tai papildomai skatintų žmones renovacijos investicijoms.

Uždaviniai:

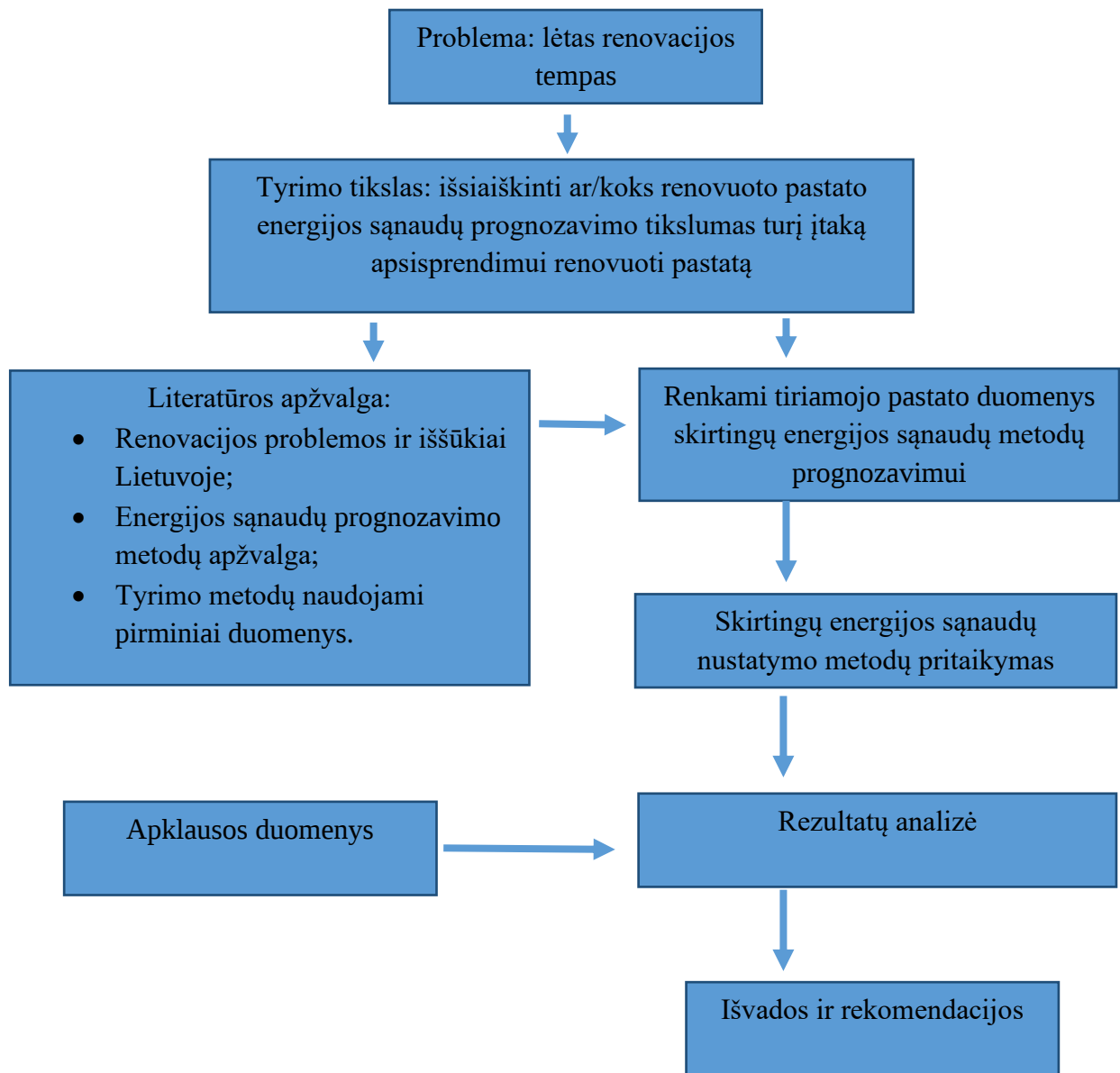
1. Atlikti pastatų naudotojų apklausą, kuria siekiama nustatyti energijos sąnaudų prognozavimo tikslumo įtaką apsisprendimui renovuoti pastatą.
2. Išanalizuoti faktinius energijos sąnaudų duomenis tiriamuosiuose objektuose prieš ir po pastato renovacijos bei įdiegtas pastatų renovacijos priemones.
3. Nustatyti tiriamųjų objektų skaičiuojamuosius energetinio efektyvumo rodiklius naudojant mėnesių vidurkių ir dinaminio modeliavimo metodus.
4. Nustatyti ir palyginti faktinių ir skaičiuojamųjų reikšmių nuokrypius.

1. Literatūros apžvalga

Šiame skyriuje apžvelgiama literatūra, kuri apibūdina veiksnius, kurie turi didžiausią įtaką renovacijos vykdymo apsisprendimui Lietuvoje bei analizuojama informacija apie energijos poreikio prognozavimo tyrimo metodus po renovacijos etapo ir renkamus metodų pradinius duomenis. Įgyvendinant renovacijos projektus, kiekviena šalis susiduria su tam tikromis savo regionui būdingomis planavimo ar įgyvendinimo kliūtimis. Visos Europos Sąjungos šalys yra pasirašiusios ir 2020 metais patalpinusios Europos Komisijos tinklalapyje atnaujintas ilgalaikės renovacijos strategijas [8], kurios pritaikytos šalies renovacijos skatinimui su įvardintomis būdingomis problemomis, išsikeltais tikslais ir įgyvendinimo planais pastatų energinio efektyvumo gerinimui ir dekorbanizavimui. Šiame darbe apžvelgiamos problemos, su kuriomis susiduria Lietuva.

Pagal 2022 metų Vasantha Ramani ir Limao Zhang publikuotą tiriamąjį straipsnį „Klimato kaitos įtaka ilgalaikiam gelžbetoninių konstrukcijų patikimumui dėl chlorido patekimo“ [9], galima daryti prielaidą, kad dėl visame pasaulyje vykstančio globalinio atšilimo ir kylančios oro temperatūros, į pastato konstrukcijas patenkantis vis didesnis chlorido kiekis daro tiesioginę įtaką konstrukcijų pažeidimams, kas lemia suprastėjusias pastato termines ir sandarumo savybes. Dėl šios priežasties ir dėl vis tobulėjančių technologijų statybos sektoriuje, laikui bėgant pastate atsiranda defektai, jis tampa energetiškai neefektyvus ir jį reikia renovuoti.

1-ame paveikslėlyje pateikiama „tiriamąjo projekto struktūrinė schema“, kurioje išskirtos „literatūros apžvalgos“ dalyje temos, kurios nagrinėjamos šiame skyriuje. Taip pat apžvelgiama kokiais duomenimis remiantis pateikiamos išvados ir rekomendacijos.



1 pav. Tiriamojo projekto struktūrinė schema

1.1. Renovaciją stabdantys veiksniai Lietuvoje

Remiantis „Oficialiosios statistikos portalo“ duomenimis [10], Lietuvoje 2021 metų pabaigoje valstybės Registrų centro įmonėje buvo įregistruoti 1,53 mln. visų gyvenamųjų namų tipų būstų, t.y. vienuosiu gyvenamųjų namų, jo dalių, butų ar kitų gyvenamųjų patalpų, tinkančių asmeniui ar šeimai gyventi. Didžiąją dalį visų šių pastatų (41,9 %) sudaro 1–2 butų namai (643 391). Šiame darbe koncentruojamasi į daugiabučių namų renovacijos skatinimą. Šiuo metu Lietuvoje renovuota 12,0 % (4606) nuo visų potencialiai galinčių dalyvauti daugiabučių atnaujinimo programoje daugiabučių namų, tačiau dar vykstančiame renovacijos procese įvardijami 1416 objektai. Pagal Aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA) pateiktą informaciją [11], šioje daugiabučių renovacijos „programoje gali dalyvauti tik daugiabučių namų klasifikaciją atitinkantys būstai – trijų ir daugiau butų gyvenamieji namai, kuriuose gali būti ir negyvenamųjų patalpų – prekybos, administracinių, viešojo maitinimo ir kitų. Taip pat daugiabutis turi būti pastatytas pagal iki 1993 m. galiojusius

statybos techninius normatyvus – šių daugiabučių energinis efektyvumas yra maždaug dvigubai prastesnis nei būstų, statytų pagal atnaujintus normatyvus“. Pastatų renovacijos efektyvumas priklauso individualiai nuo pastato būklės ir galimybių, tačiau esant palankioms sąlygoms, siekiama pastatus modernizuoti iki A energinio naudingumo klasės. Tačiau į šį procesą žiūrima racionaliai ir pastatai dažnu atveju atnaujinami iki B energinio naudingumo klasės.

Remiantis Lietuvos Respublikos Vyriausybės pritarta ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos pateikta ilgalaikė renovacijos strategija [12], Lietuvoje kaip didžiausi renovaciją stabdantys barjerai įvardijami:

- Planavimo etapo barjerai;
- Paramos priemonių formavimo barjerai;
- Finansavimo užtikrinimo barjerai;
- Komunikacijos barjerai;
- Įgyvendinimo barjerai.

Mūsų šalyje planavimo etapo barjeru tampa tarpinstitucinis bendradarbiavimas, kuomet už atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo skatinimą yra atsakinga Energetikos ministerija, o už pastatų renovaciją – Aplinkos ministerija. Taip pat nėra vieningos sistemos, kuri privalomai kauptų visų pastatų duomenis apie pastato charakteristikas, techninę būklę ar šildymui sunaudojamą energijos kiekį ne tik prieš renovacijos etapą, tačiau ir po jo, todėl investuotojai pradeda abejoti renovacijos nauda ir jos teikiamomis galimybėmis.

Dėl Pasaulyje išaugusių energijos išteklių kainų, Lietuvoje taikomos subsidijos energetikos kainų mažinimui, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje, dėl neatspindinčios pilnos energijos kainos yra stabdomas renovacijos procesas, kadangi nėra skatinama diegti energijos efektyvumo mažinimo priemonių, o mažinama finansinė našta išaugusių energijos kainų padengimui. Šiuo aspektu nėra mažinamas ir išskiriamas anglies dioksido kiekis, kuris tiesiogiai priklauso nuo pastato suvartojamos energijos kiekio. Renovacijos tempo taip pat neskatina augančio darbo užmokesčio dydis ir statybinių medžiagų kainos, kurios susideda į renovacijos proceso kainą ir keičia atsiperkamumo laikotarpį nepalankia linkme.

Valstybės parama nedengia visos renovacijos darbų kainos, todėl daugeliui žmonių tenka skolintis. Nors skolinantis yra sudaromos lengvatinės ir palankios sąlygos, tačiau dėl pastatų savininkų nenoro tapti finansiškai įpareigotais, dėl skirtingų poreikių ir dėl trūkstamo finansinio išprusimo, kad investuojama į nekilnojamą turtą, kurio vertė išaugs, renovacijos vykdymui tai tampa opi problema. Taip pat taikomomis lengvatomis gali pasinaudoti ne visi, kadangi dėl prasto kreditavimo ne visiems asmenims paskolos suteikiamos dėl skolinimosi apribojimo.

Komunikacijos barjero aspektas pastebimas, kai žmonės tikisi, jog jų gyvenamasis pastatas renovacijos etapo išvengs ir ilgalaikėje perspektyvoje bus galima atsisakyti šio žingsnio, nors pastatas yra senos statybos, energetiškai neefektyvus ir su ryškėjančiais defektais. Tačiau tai netiesa, kadangi pagal 2023 kovo mėnesį paskelbtą Europos Parlamento straipsnį „Energijos tausojimas: ES veiksmai mažinant energijos suvartojimą [13], „iki 2033 metų visi pastatai, įskaitant gyvenamuosius, negyvenamuosius ir visuomeninės paskirties, turi būti atnaujinti iki D energinio naudingumo klasės. Tai reiškia, kad laikui bėgant senos statybos ir žemiausią E, F ar G energinio naudingumo klasę atitinkantys pastatai (remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“) [6] privalės būti atnaujinami ir tapti bent šiek tiek energetiškai efektyvesni. Taip pat

komunikuojant ir skatinant gyventojus renovuoti pastatus, be energijos sutaupymo klausimų reikėtų labiau akcentuoti kitas renovacijos naudas, tokias kaip: socialinės aplinkos, saugumo, pagerėjusios sveikatos dėl pagerėjusių mikroklimato parametrų, būsto vertės padidėjimo ir kiti aspektai. Pagal Nivethitha Somu, Gauthama Raman M R ir Krithi Ramamritham 2020 metų paskelbtą publikaciją [14], žmonės pastatuose praleidžia 90 % paros laiko, todėl pastato mikroklimato pagerinimas po renovacijos etapo turi didelę įtaką ne tik energijos sąnaudų mažinimui, tačiau ir darbingumo padidinimui.

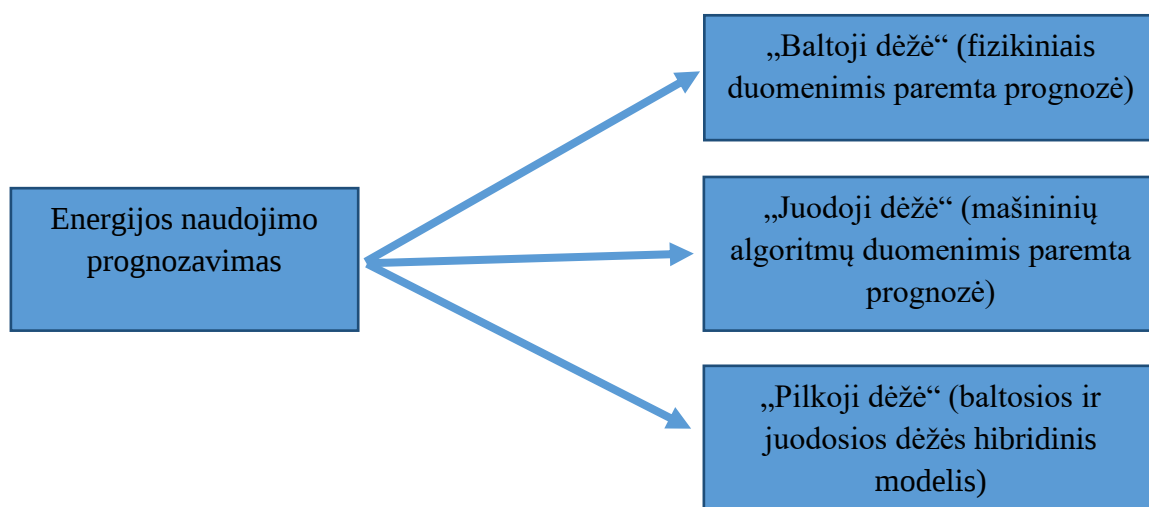
Sekantis žmonės nuo renovacijų projektų stabdantis veiksnys Lietuvoje yra prasta darbų atlikimo kokybė, kuri dažnu atveju yra viešinama žiniasklaidoje ir socialinėje medijoje nepateisinus gyventojų lūkesčių, o techninė priežiūra, kuri esminį darbą atlieka renovacijos proceso pabaigoje, nepašalina šių abejonių. Dėl šios priežasties STR 1.06.01:2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“ [15] išskirtas penktasis skirsnis „statinio statybos techninės priežiūros ypatumai vykdant daugiabučių gyvenamųjų pastatų atnaujinimą (modernizavimą)“ tikslesniam ir kokybiškesniam darbų priėmimui. Šiuo aspektu galima išskirti ir žmonių abejones dėl galutinio teigiamo rezultato, kuris ne visuomet pateisina prognozuojamus lūkesčius.

1.2. Energijos naudojimo prognozavimo tyrimo metodai

Tiksliam renovacijos efektyvumo ir atsiperkamumo laikotarpio įvertinimui reikalingi metodai, kurie po renovacijos etapo patvirtina prognozuotus rezultatus. Lietuvoje pastatų energijos vartojimo prognozavimas po renovacijos etapo atliekamas pagal STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas [6]“, kuriame naudojamas mėnesių vidurkio metodas bei įvertinama pastato energetinė klasė iš tyrėjui pateiktų duomenų. Taip pat naudojamas detaliojo energijos vartojimo pastato auditas [7], kuriame įvertinama tiriamo pastato būklė su specialia įranga prieš ir po renovacijos etapo ir pateikiami energijos taupymo priemonių pasiūlymai. Tačiau vis dažniau kalbama apie energijos naudojimo prognozavimo programose dirbtinio intelekto įdiegimą. Remiantis Lietuvos statybininkų asociacijos prezidento Daliaus Gedvilo teiginiais almanache „Skaitmeninė statyba 2022“ [16], 6D dimensija „tvarus ir energijos vartojimo efektyvumo informacija“ naudojimas leistų ankstyvoje stadijoje nustatyti išsamius ir tikslius energijos suvartojimo kaštus bei patikrinti projekto įgyvendinamumą virtualioje realybėje. „Technologijos yra galingas sąjungininkas, kai reikia tobulinti sprendimų priėmimo procesus arba kai reikia užtikrinti strateginį valstybės tikslą – tapti stipria ir energetiškai nepriklausoma valstybe“ [16]. Tačiau ne projektavimo stadijoje esantiems pastatams tai taptų dideliu iššūkiu, kadangi reikėtų sumodeliuoti pastatą įvertinant kiekvienos patalpos realią situaciją. O skaitmeninių dvynių (angl. Digital twin) plėtojimas dar detaliau analizuoja prognozuojamų energijos suvartojimo reikšmių neatitikimus, programiškai stebint ir valdant inžinerinių sistemų veikimą [17].

Remiantis Mathieu Bourdeau, Xiao qiang Zhai ir kt. parašytu straipsniu „Pastato energijos suvartojimo modeliavimas ir prognozavimas: duomenimis pagrįstų metodų apžvalga“ [18] pastatų energijos suvartojimo prognozavimo modeliavimo tyrimo metodai skirstomi į tris pagrindines grupes, kurios priklauso nuo tyrimo metodo detalumo. Pirmoji rūšis vadinama „baltąja dėže“ (angl. „white box“), kurioje tiriami pastato energijos sunaudojimai klasikiniu būdu, t.y. pasitelkiami fizika pagrįsti modeliavimai ir terminiai moduliai. Antroji rūšis vadinama „juodąja dėže“ (angl. „black box“), kuri paremta statistiniais analizės duomenimis ir mašininio mokymosi algoritmais. Trečioji rūšis – pilkoji dėžė (angl. „grey box“) – tai kombinuotas pirmos ir antrosios rūšies modelis, kuriame remiamasi

fizikiniai moduliai bei mašininių algoritmų duomenys. 2–ame paveikslėlyje pavaizduota apibendrinta energijos naudojimo prognozavimo tyrimo metodų informacija.



2 pav. Energijos naudojimo prognozavimo tyrimo metodai [18]

Renkamų pradinių duomenų kiekis ir programinės įrangos pažangos lygis energijos sąnaudų prognozavimo metoduose turi įtaką galutiniams prognozavimo tikslumams. Apibendrinami duomenys pateikiami 1 lentelėje „Energijos sąnaudų prognozavimo metodų tikslumo suvestinė“. Plačiau apie kiekvieną tyrimo metodą aprašoma sekančiuose skyriuose.

1 lentelė. Energijos sąnaudų prognozavimo metodų tikslumo suvestinė

Pastatų sertifikavimo ir energinio audito metodas	Fiziniais duomenimis remtas dinaminio modeliavimo metodas	„Juodosios dėžės“ mašininių algoritmų prognozavimo metodas	„Pilkosios dėžės“ hibridinis prognozavimo metodas
Paklaida 19-37 % [19, 20, 21]	Paklaida 10-15 % [28, 29]	Paklaida 4-11 % [28, 37]	Paklaida apie 0,5-3 % [31]

1.3. Fizikiniais metodais grįstas energijos sąnaudų prognozavimas

Fizikiniais duomenimis pagrįsti skaičiavimai vadinami „Baltąja energijos naudojimo prognozavimo dėže“ [18]. Lietuvoje šiam modeliui priskiriami ir reglamentais patvirtinti „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6] ir „Pastatų energijos vartojimo auditas“ [7]. Sertifikavimo tyrimas atliekamas remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“, kurio metu atliekami atitvarų šilumos perdavimo koeficiento „U“ teoriniai skaičiavimai iš užsakovo turimos arba pateiktos informacijos, nustatoma pastato energinio naudingumo klasė, pagal kurią teoriškai galima vertinti pastato būklę energinio efektyvumo aspektu, lyginant su kitais pastatais. Šiame tyrime naudojamas mėnesių vidurkių metodas, kai skaičiuojami pastato šildymo energijos poreikiai gaunami pagal kiekvieno mėnesio nuostolių per atitvaras ir vidutinius tų mėnesių išorės temperatūrų duomenis. Energijos vartojimo auditas pastatuose atliekamas remiantis Lietuvos energetikos agentūros pateikta metodika „Energijos, energijos išteklių ir vandens vartojimo audito atlikimo technologiniuose procesuose ir įrenginiuose metodika“ [7], pagal kurią pastatas įvertinamas su specialiais jutikliais, kurie įvertina ne teorinę, o realią atitvaros būklę bei išskaičiuojamas faktinis atitvaros šilumos perdavimo koeficientas „U“. Taip pat įvertinama

inžinerinių sistemų būklė bei vandens suvartojimas pastate. Šio tyrimo esmė išsiaiškinti esamą situaciją ir pateikti investicinį planą su pasiūlymais energijos vartojimo sąnaudų sumažinimui.

Lietuvoje dar nereglamentuotas ir neprivalomas, tačiau detaliausias „Baltosios dėžės“ metodas gali būti realizuojamas taikant pastatų energijos sąnaudų modeliavimo programine įranga („IDA ICE“, „EnergyPlus“, „DOE-2“, „TRNSYS“, „IES-VE“ ir kt.), kuriose sumodeliuojamas esamas pastatas, priskiriamos atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės, parenkamas regionas ir jame vyraujantis klimatas, pagal pastato faktinę vietą bei suvedami visi turimi papildomi duomenys. Remiantis Didžiojoje Britanijoje atlikto tyrimo duomenimis [22] nustatyta, kad kuo pastato energinio naudingumo klasė žemesnė, tuo prognozuojamo energijos suvartojimo nuo faktiškai išmatuotos vertės paklaida didėja.

Tokia pati išvada priimta ir kitame tyrime perteklinės energijos sąnaudų prognozavimo tema, kurioje Stefanus Cozza, Jonathanas Chamberso ir kiti mokslininkų pateiktame straipsnyje „Ar energinio naudingumo sertifikatai leidžia patikimai prognozuoti faktinį energijos suvartojimą ir sutaupymą? Tyrimas iš Šveicarijos nacionalinės duomenų bazės“ [19]. Atliktame tyrime nustatyta, kad modernizavus žemiausios energinio naudingumo klasės pastatus, mediana tarp prognozuojamo ir realaus energijos sąnaudų rodiklio išlieka didžiausia. Tyrimas buvo atliktas remiantis surinktais pastatų energijos sąnaudas fiksuojančių skaitiklių duomenimis ir lyginant šiuos duomenis su atliktais skaičiavimais pagal Šveicarijos pastatų energinio sertifikavimo standartą, įvertinant pastato energinio naudingumo klasę prieš ir po renovacijos. Šis tyrimas parodo, kad fiziniiais duomenimis paremti standartizuoti metodai nėra tikslūs, kadangi prognozuojant energijos suvartojimus po renovacijos proceso, gautos vidutiniškos paklaidos 23 %, o didžiausia paklaida G energinio naudingumo klasės pastatuose, kuri siekė 37 %. Esant tokiems nuokrypiams galima pateisinti gyventojų abejones dėl energijos sąnaudų prognozavimo tikslumo ir tuo pačiu investicijų atsiperkamumo laikotarpio.

Remiantis Abdo Abdullaho Ahmedo ir Cha, Seungo Hyuno straipsniu, galutinis modelio tikslumas priklauso kurių įvesties kiekio ir tikslumo [23]. Adrienn Gelesz, Elena Catto Lucchino ir kt. mokslininkų atliktame tyrime „Klimato fasado charakteristikos: jautrumo analizė naudojant pastato energijos modeliavimo priemones“ [21] buvo lyginamos „IDA ICE“ ir „EnergyPlus“ programinės įrangos neatitikimai fasado konstrukcijose. Tyrime nustatyta, kad abiejų programų galutiniam rezultatui didžiausią įtaką turintys įvesties duomenys yra skirtingi ir „IDA ICE“ leidžia įvesti daugiau duomenų nei „EnergyPlus“, tačiau galutinis tyrimas parodė, kad tai buvo mažai vertinga informacija, kadangi jautriausi parametrai yra prieinami abiejuose įrankiuose. Lina La Fleur ir kt. Švedijoje atlikto tyrimą [24], kuriame atliko modeliavimą „IDA ICE“ programa prieš renovaciją ir po jos bei programoje panaudojo faktiškai išmatuotas lauko oro parametrų reikšmes, pastato užimtumo grafikus pagal patalpose išmatuotą CO₂ lygį ir faktines elektros sąnaudas. Tai parodo, kad modelyje galima įvesti įvairias faktines reikšmes, o jų neturint, galima naudoti programos užduodamas, tačiau nustatyta, kad šilumokaičio naudingumo koeficientas modelyje aukštesnis, nei faktiškai išmatuotas. Skirtingi įrankiai įgyvendina skirtingus modelius su skirtingu detalumo lygiu tam tikrose modeliujamose vietose, todėl, kad būtų galima pasiekti kuo tikslesnį prognozavimą, vartotojas turi išanalizuoti tiriamą pastatą ir įvesti ne tik visus žinomus duomenis, bet ir juos įvesti teisingai (pvz. sienos konstrukcijos paviršių seka pagal faktą) [25].

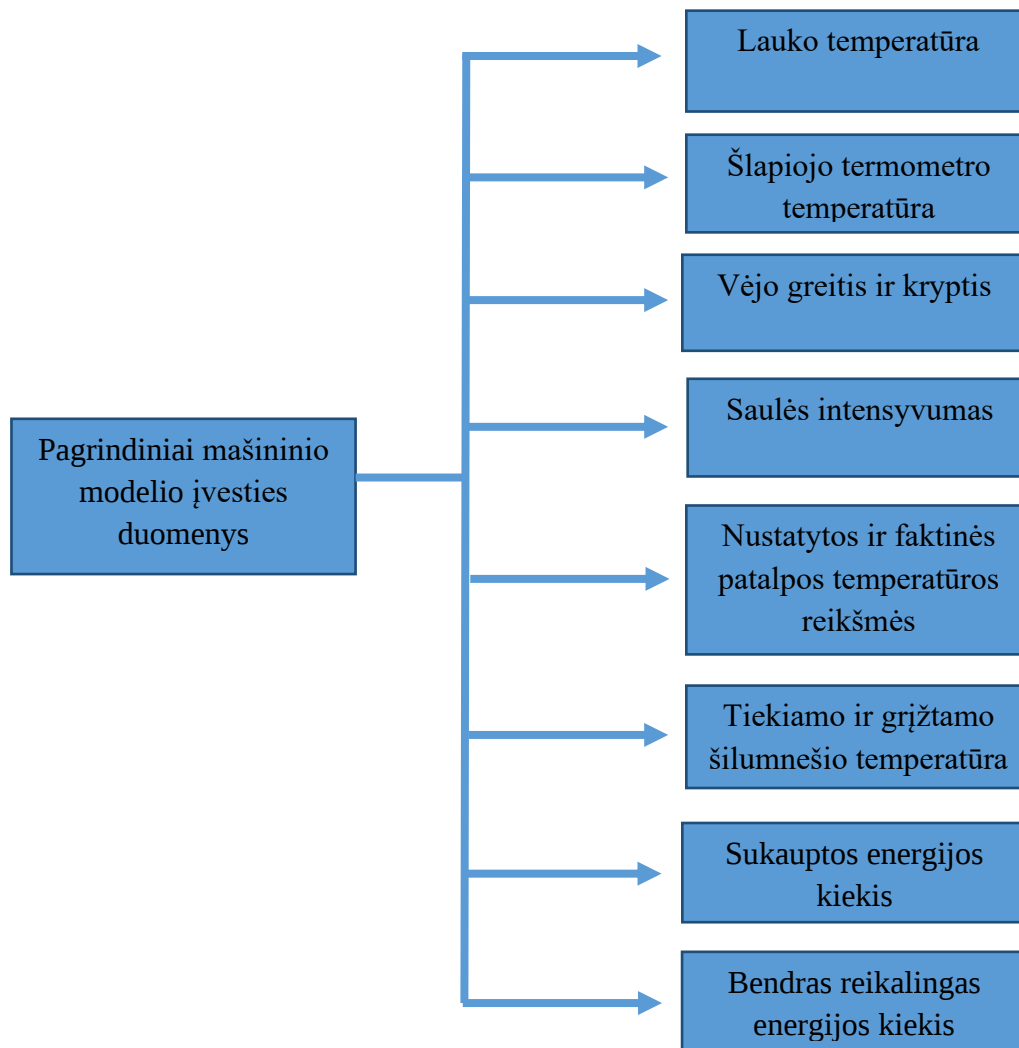
1.4. Mašininių algoritmų duomenimis grįstas energijos sąnaudų prognozavimas

Mašininių algoritmų duomenimis paremti energijos sąnaudų skaičiavimai vadinami „juodąja dėže“. Remiantis Chao Wang, Xinyi Li ir Hailong Li 2022 metais paskelbto straipsnio „Įvesties ypatybių vaidmuo kuriant duomenimis pagrįstus pastato šilumos poreikio prognozės modelius“ [26] pateiktais duomenimis, mašininių algoritmų duomenimis paremtiems energijos sąnaudų vartojimo modeliams (angl. black box), galima priskirti tris kategorijas pagal tyrimo metodo detalumą:

1. Tiesiniai modeliai;
2. Netiesiniai modeliai;
3. Mašininio mokymosi modeliai (angl. deep learning models).

Tiesiniams metodams priskiriamas vienas iš metodų nurodantis autoregresinius ir statistinius regresijos modelius, kuriems būdingas aukštas tikslumo ir paprastumo įdiegimui santykis [27]. Visų pirma šiam modeliui įvedama viena pagrindinių naudojamo savybė, tokia kaip lauko temperatūra. Naudojant kelių eilių tiesinius modelius, sukuriamas tiesinis regresinis modelis, tačiau šio modelio įvesties funkcijų, sąveikų ir kitų įvesties duomenų įvedimas yra subjektyvus ir reikalaujantis tiriamos srities žinių, kaip šiuo atveju apie šilumos nuostolių įtaką [26]. Taip pat dėl įvedamų duomenų kiekio galimas variantas, kai modelio įvesties ir išvesties duomenys nėra tiesiogiai tiesiniai. Šio tyrimo apimtyje tiriamiems objektams mašininių algoritmų duomenimis paremti energijos sąnaudų skaičiavimai neatliekami.

Netiesinių modelių variacijų yra taip pat be galo įvairių, kurie turi savo specifinių skaičiavimų modeliavime ir pagal tai priklausančių prognozės tikslumų [28]. Tačiau netiesiniuose modeliuose tikslumas didesnis, kadangi taikomi pažangesni metodai lyginant su tiesinio modelio metodais.



3 pav. Mašininio modelio reikalingi įvesties duomenys [35]

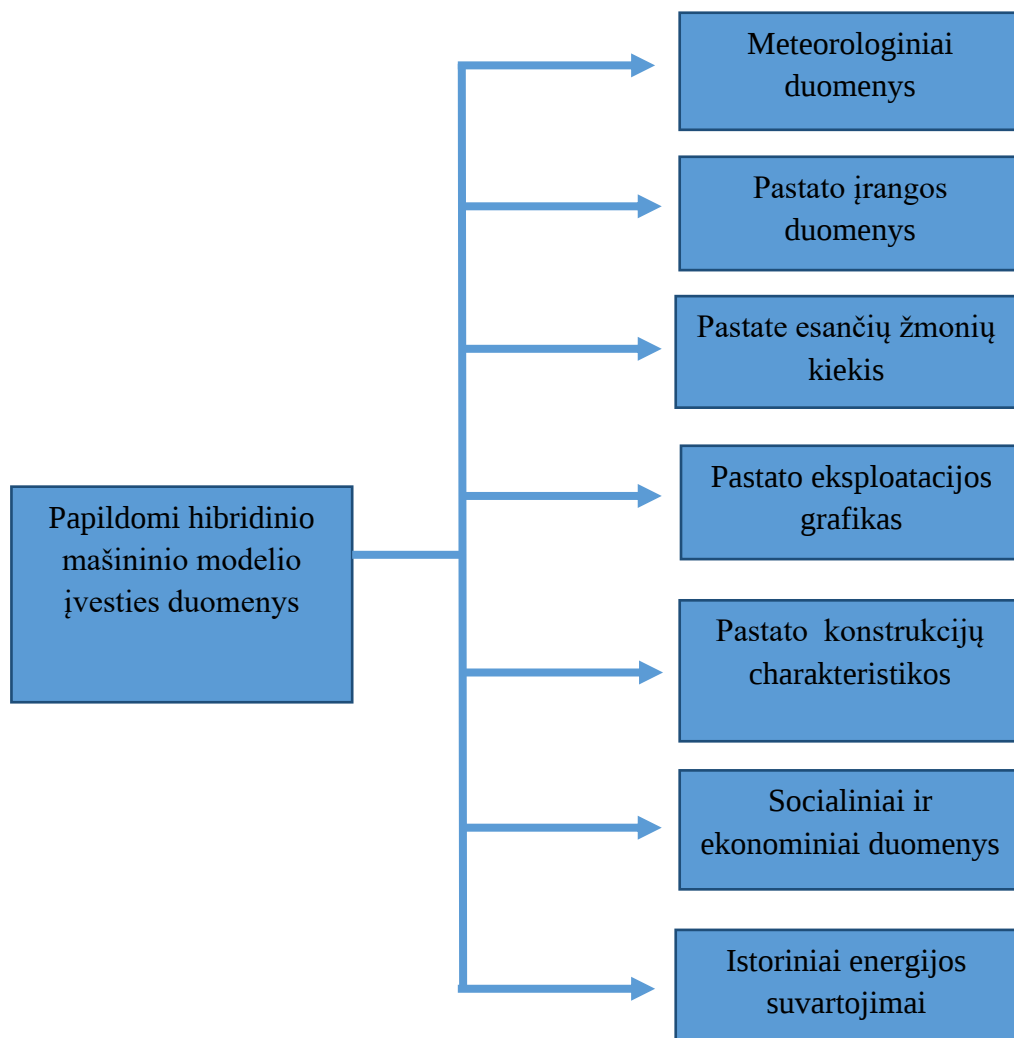
Remiantis „Pastato energijos suvartojimo modeliavimas ir prognozavimas: duomenimis pagrįstų metodų apžvalga“ [18] straipsniu, netiesiniai modeliai orientuoti į prognozavimo metodų optimizavimą, kai modeliavimo metu naudojami keli tiesiniai modeliai, juos sujungiant. Pagal gautus kelių tiesinių modelių atliktų skaičiavimų rezultatus, atliekamas rezultatų palyginimas ir paklaidos įvertinimas, po kurio sujungiami tiksliausius duomenis sugeneravę modeliai į viena išvestį [18].

Mašininio mokymosi modeliai, dar įvardinami kaip dirbtinio intelekto modeliais, atlieka tiksliausią ir daugiausiai duomenų reikalaujančią energijos sąnaudų prognozę. Šis modelis gali suderinti itin sudėtingus netiesinius analitinius modelius su prastai apibrėžta problema. Tačiau esant per mažam kiekiui reikalingų duomenų, tyrimo metodas tampa labai sudėtingas ir reikalingas ypatingai didelis įrangos našumas tyrimui atlikti [18]. Todėl labai svarbu įsivertinti realų užduodamą modeliavimų skaičių, kitaip vadinamą „tinklelio jautrumą arba tankį (angl. grid sensitivity)“ ir parinkti tinkamą modelį.

1.5. Hibridinis mašininis algoritmas ir fizikiniais duomenimis grįstas energijos sąnaudų prognozavimas

Hibridinis mašininio mokymosi prognozavimo modelis, dar kitaip vadinamas „pilkąja dėže“, apima inžinerinius (fizikinius) ir statistinius metodus. Mašininio mokymosi modeliui reikia įvesti daug ir

tikslų (žr. 4 pav.), ne tik su analizuojamu pastatu susijusių, tačiau ir su šalyje vyraujančia situacija duomenų, tokių kaip vidutinė elektros kaina. Nuo šių įvesties duomenų tikslumo priklauso galutinis prognozavimo dirbtinio intelekto modelio tikslumas, todėl prieš pradedant modeliavimą, duomenys su didele paklaida atmetami ir skaičiavimuose nenaudojami. Dėl šios priežasties, norint prognozuoti besivystančias tendencijas su ribota duomenų seka, reikalingas naujas modelis, veikiantis su mažais duomenų rinkiniais, siekiant įveikti ribotą duomenų prieinamumą [29]. Modelyje nėra įvertinami tam tikri netikėti ar nuolatiniai klimato pokyčiai, kurie gali turėti įtakos pastato temperatūrai ir kitoms sąlygoms, dėl kurių gali būti sunku apibrėžti modelio duomenų rinkinį. Be to, naujos prietaisų įrangos diegimas ar atnaujinimas taip pat gali turėti įtakos energijos vartojimo elgsenai, bet šios naujos įrangos efektai gali būti sunkiai numatomi arba neprognozuojami. Šie neaiškumai gali būti sumažinti naudojant kuo daugiau reprezentatyvių ir kokybiškų duomenų, taip pat atlikus tinkamą modelio analizę ir validaciją. Kinijos mokslininkų atliktame eksperimente, siekiant nustatyti energijos poreikio ir apsirūpinimo lygį šalyje, pagal „pilkojo modelio“ sudarytus skaičiavimus, vidutinė procentinė paklaida siekė 0,52 % [30]. Iš to galima daryti išvadą, kad net ir nesant visiems reikalingiems įvesties duomenims, modelis labai tiksliai prognozuoja trūkstamas reikšmes. Taip pat šiuo „pilkosios dėžės“ metodo modeliu galima kurti ištikus miestų ar rajonų modelius ir tai yra puikus įrankis pastatų energetikos srityje, tačiau šiam tikslui reikia ypač daug programinių įrangos paketų orientuotų į šį modeliavimą [31].



4 pav. Mašininio hibridinio modelio reikalingi įvesties duomenys [18]

Šio modelio tyrimo variacijų yra labai įvairių, tačiau bendra prasme yra modeliuojama begalė algoritmų, ieškant teisingiausios vertės su jau žinomais duomenimis, iš kurių vėlesniuose etapuose atliekamas energijos sąnaudų prognozavimas. Visų pirma modelis įvertina metrologinius duomenis, vyraujančius objekto vietovėje, kadangi kiekvienam pastatui, priklausomai nuo šalia esančių statinių ir aplinkos reljefo, skiriasi vėjo greitis, saulės apšvietos kiekis ir kiti lauko oro sąlygų parametrai [18]. Žinant pastato išorės duomenis, toliau siekiama išanalizuoti vidaus patalpų komforto parametrus. Šiame etape aktuali informacija, kuri tiesiogiai veikia pastato sąnaudas šildymui ar vėsinimui, todėl suvedama informacija, kuri nustatyta tokiuose prietaisuose kaip: kambariniai termostatai, palaikomas oro drėgmės lygis patalpose ir vidaus CO₂ koncentracijos lygio ribos. Modelio tikslumui aktuali informacija apie pastato gyventojus, aprangos lygį, jų aktyvumą pastate, siekiant nustatyti optimalius šiluminio komforto parametrus. Ši informacija aktuali skaičiuojant šilumos išsiskyrimus tiek vasaros, tiek žiemos laikotarpiu. „Baltosios dėžės“ metoduose nėra vertinami šilumos pritekėjimai žiemos laikotarpiu. Taip pat įvertinamos ir tendencingos pastate esančių žmonių valandos, jeigu modeliuojamas administracinės paskirties pastatas, tuomet yra įvedamas būdingas darbo valandų tvarkaraštis, pagal kurį modelis galėtų sumodeliuoti, kuriuo momentu yra didžiausias išskiriamas šilumos bei žmonių kiekis [18]. Modeliui aktualūs ir pastato charakteristiniai duomenys, kuriuose įvertinama pastato atitvaros, patalpų ir stogo plotai, pastato orientacija šiaurės atžvilgiu, langų plotai, jų skaidrumas bei kiti su pastato atitvaromis susiję duomenys. Mašininis modelis žmonių elgsenai nuspėti įvertina ir socialinius ir ekonominius duomenis, į kuriuos įtraukiama informacija apie populiaciją, elektros kainą, kadangi šie aspektai turi įtakos žmonių įpročiams. Galutiniam mašininio modelio tikslumui įvertinti įvedami istoriniai energijos suvartojimo duomenys, pagal kuriuos modelis priartėjimo būdu kuria situaciją panaudodamas anksčiau išvardintus duomenis, todėl šių duomenų tikslumas turi įtakos modelio tikslumui ir ateities energijos poreikių prognozavimui po renovacijos.

Remiantis Ando Andriamamonjy, Ralfo Kleino ir Dirko Saelenso publikuoto straipsnio „Automatizuotas pilkos dėžutės modelio įgyvendinimas naudojant BIM ir „Modelica“ [32] duomenimis, keletą „pilkujų dėžių“ sistemینگam integravimui patogiau naudoti BIM, kuris leidžia automatizuoti ryšį tarp modelių ir pastato stebėjimo sistemos.

2. Metodologija

Šioje dalyje aprašomi pasirinkti būdai ir metodai, kurie buvo naudojami siekiant nustatyti dinaminio energinio modeliavimo ir pastatų energinio sertifikavimo metodų tikslumą, lyginant su faktiniais duomenimis, aprašomi tarpiniai duomenys, kurie naudojami energinio sertifikavimo ir dinaminio modeliavimo metoduose. Siekiant nustatyti Lietuvos daugiabučių gyvenamųjų namų energijos sąnaudų prognozavimo tikslumą, šiame tyrime lyginamos 4 pagrindinės duomenų grupės prieš ir po renovacijos proceso:

1. Faktinės energijos sąnaudos prieš ir po renovacijos etapo;
2. Mėnesių vidurkių metodo skaičiavimo duomenys pagal Statybos sektoriaus vystymo agentūros (toliau SSVA) [33] pateikiamą informaciją;
3. Mėnesių vidurkių metodo skaičiavimo duomenys pagal darbo autorių;
4. Dinaminio modeliavimo metodo skaičiavimo duomenys pagal darbo autorių.

2.1. Faktiniai energijos sąnaudų duomenys

Faktinės energijos sąnaudos priimamos pagal „Kauno energijos“ [34] internetiniame puslapyje pateikiamą informaciją gyventojams, parodant koks suvartojamas šilumos kiekis pasirinktame name tam tikrą šildymo sezono mėnesį. Kadangi duomenys pateikiami dviejų tipų: vidutinis šilumos kiekis (kWh/m^2) pasirinktą šildymo sezoną ir kasmėnesinis rodmenų skirtumas, tačiau nenurodoma koks priimamas bendras pastato šildomų patalpų plotas, todėl dėl tikslesnių rezultatų, skaičiavimuose naudojamas šildymo sezono metu bendras suvartotos šilumos kiekis (kWh). Faktinių suvartojimų rodmuo prieš renovacijos procesą apskaičiuojamas pagal 3-4 metų suvartotos energijos vidurkį, priklausomai nuo pateiktos informacijos kiekio. Po renovacijos faktinių suvartojimų rodmuo apskaičiuojamas įtraukiant visų metų duomenis po renovacijos darbų pabaigos ir apskaičiuojamas sąnaudų vidurkis.

2.2. Mėnesių vidurkių metodo duomenys pagal Statybos sektoriaus vystymo agentūrą

Šiuo metu pagal galiojančius teisės aktus [6], daugiabučių namų modernizacijos projektuose prognozuojami šilumos energijos sąnaudų suvartojimai ir sutaupymai skaičiuojami pagal mėnesių vidurkių metodą. Ekspertų apskaičiuotų duomenų išrašai iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro pateikiami SSVA [33] internetinėje svetainėje. Darbe naudojami tiriamųjų objektų pateiktų išrašų duomenys prieš renovaciją ir po renovacijos etapo. Dažniausiai prieš ir po renovacijos proceso skaičiavimus atlieka ne tas pats ekspertas, todėl atitvarų skaičiavimo ir kitų duomenų įvesties vertės gali skirtis. Sertifikavimus atliekamas atitinkamai prieš ir po renovacijos proceso. Pagal išrašą nurodomą šildomą patalpų plotą ir energijos sąnaudas šildymui vienam kvadratiniam metrui per metus, apskaičiuojamos suminės energijos sąnaudos pastato šildymui per šildymo sezoną tolimesniems tyrimo skaičiavimams vykdyti.

2.3. Mėnesių vidurkių metodo duomenys pagal darbo autorių

Kadangi pastebėta, jog pagal SSVA [33] pateikiamų išrašų duomenis tam tikrų pastatų šildomo pastato ploto duomenys prieš ir po renovacijos procesą ženkliai skiriasi (K. Baršausko g. 92 šildomas plotas po renovacijos padidėjo 72 %, žr. 5 priedą), todėl buvo nuspręsta atlikti tiriamųjų objektų papildomus skaičiavimus pagal mėnesių vidurkių metodą su „NRG PRO“ programine įranga.

„NRG PRO“ programoje prieš renovacijos etapą sienų atitvara pasirenkama kaip standartinė – iki 1992 m. (pagal pastato paskirtį), įvertinama atitvaros orientacija šalių atžvilgiu bei nustatoma, kad atitvaros padėtis ribojasi tarp patalpų ir išorės. Tiriamuosiuose objektuose, kuriuose yra įstiklinti balkonai, apskaičiuojamas sienų plotas ir atitvara parenkama kaip „tarp šildomų patalpų ir įstiklinto balkono arba įstiklintų galerijų“ ir pataisos koeficientas vietoj įprastos 1,00 reikšmės nustatomas 0,85. Stogas taip pat priimamas, kaip standartinės – iki 1992 m. konstrukcijos. Iš modernizavimo projektuose pateiktų pjūvių apskaičiuojamas durų plotas, jų perimetras, nustatoma orientacija šalių atžvilgiu ir pastatuose, kuriuose yra tambūras, parenkamas konstrukcijos apibūdinimas „durys į tambūrą“, kuris programiškai siūlomą šilumos perdavimo reikšmę U nuo 1,3 ($W/(m^2K)$) padidina iki 2,2 ($W/(m^2K)$), oro skverbis abiem atvejais $G = 9,00 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Pagal aprašytą pastato situaciją ir sudarytus fasadų planus, įvertinama esama langų būklė, įvertinami gyventojų pakeisti langai, langai į įstiklintus ir neįstiklintus balkonus. Pagal orientaciją ir langų tipą apskaičiuojami langų plotai, perimetrai ir nustatomos reikšmės. Taip pat įvertinamos stiklinės atitvaros, virš kurių įdiegtos apsaugos nuo saulės spinduliuotės priemonės. Kadangi visi tiriamieji objektai turi nešildomus vėdinamus rūsius, todėl daugiabučių namų grindų atitvara skaičiuojama pagal šį atitvaros tipą. Iš turimų pjūvių nustatoma informacija apie grindis ribojančios sienos storį, jos šiluminę varžą R (m^2K/W). Jeigu rūsio atitvaros viršutinis lygis yra virš grunto, tuomet nustatomas sienų aukštis virš grunto ir atitvaros šilumos perdavimo koeficientas U ($W/(m^2K)$). Taip pat nustatomas grindų gylis nuo grunto paviršiaus ir sienų požeminės dalies suminė varža R (m^2K/W). Nustatoma rūsio grindų ant grunto varža R (m^2K/W), oro pasikeitimo dažnis ($1/h$) ir apskaičiuojamas bendras vėdinamo rūsio tūris V (m^3).

Sekančiame etape įvertinama ir suvedama informacija apie šiluminius tiltelius. Nustatomi tiltelių ilgiai tarp pamatų ir išorinių sienų, sienų ir stogo, apie langų, švieslangių, išorinių durų ar vartų angas sienoje, tarp balkonų grindų sankirtų su išorinėmis sienomis bei tarp vidinių ir išorinių fasadų kampų. Kadangi pastatas prieš renovacijos procesą šilumos izoliacinio sluoksnio neturi, todėl šiluminių tiltelių vertės priimamos programiškai siūlomos tarp atitvarų be izoliacinio sluoksnio.

Paskutiniame etape įvertinama inžinerinių pastato sistemų būklė ir duomenys. Elektros dalyje, kurioje įvertinami duomenys apie apšvietimą, dėl tiksliai nežinomos informacijos priimama proporcija, jog 15 % pastato ploto apšviečiama šviestuvais su kaitrinėmis lempomis (įrangos efektyvumo rodiklis $n = 15 \text{ lm/W}$), 30 % plotui apšviesti naudojami šviestuvai su halogeninėmis ar liuminescencinėmis (tame tarpe "taupiomis") lempomis ($n = 50 \text{ lm/W}$) ir likusi 55 % pastato dalis apšviečiama su šviesos diodų (LED) lempomis ($n = 150 \text{ lm/W}$). Taip pat įvertinama karšto ir cirkuliacinio vandentiekio (jeigu yra) sistemų būklė, vamzdynų ilgiai. T.y. įvertinama, vamzdynai iki stovų izoliuoti prieš, ar po 1993 metų bei nustatomas izoliacijos storis. Pagal šiuos aspektus nustatomas vamzdyno šilumos perdavimo koeficientas U ($W/(m^2K)$). Toliau atsižvelgiama į paskirstymo stovų ir skirstomųjų vamzdynų įrengimo tipą (kanaluose, sienose, patalpose), izoliacijos storį ir vamzdynų ilgį. Įvertinamas šilumos šaltinio ar įrenginio tipas, nustatoma automatizacijos lygis, pagal kuriuos priskiriamas naudingumo koeficientas. Tiriamuosiuose objektuose mechaninio vėdinimo ir vėsinimo sistemų nėra, todėl visas pastato plotas priimamas kaip su natūralaus vėdinimo sistema ir be vėsinimo įrenginių. Programoje taip pat galima įvesti atsinaujinančios energijos šaltinius, tokius kaip vandenį šildančius kolektorius, fotovoltinius kolektorius, vėjo ir hidro elektrines, tačiau tiriamuosiuose objektuose šios sistemos neįrengtos.

Atliekant skaičiavimus po renovacijos etapo, remiamasi modernizavimo projekte pateikiamais ir įgyvendintais sprendiniais. Apskaičiuojamas sienų, stogo, grindų šilumos perdavimo koeficientas U , įvertinami inžinerinių sistemų atnaujinimo darbai, pakeistų langų vertės.

2.4. Dinaminio modeliavimo metodo duomenys

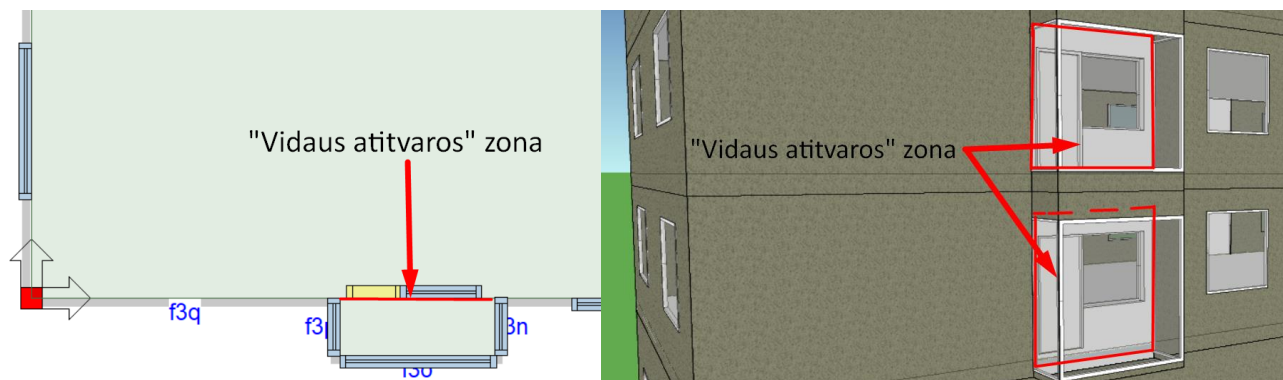
Darbo metu taip pat tiriamas energijos sąnaudų prognozavimo šildymui dinaminio modeliavimo metodu tikslumas, su „IDA ICE“ (Indoor Climate and Energy) programine įranga [35]. Šis metodas nuo mėnesių vidurkių metodo pranašesnis tuo, jog gali lanksčiau pagal sukauptus duomenų bazės duomenis generuoti ateities rezultatus, įvertinant dinamišką įrangos naudojimą, kintamą žmonių būvimą, nenuolatinę saulės spinduliuotę visais metų laikais ir kitus aspektus.

Siekiant tarp tyrimo metodų palikti kuo mažesnę įvesties duomenų skirtumą, „IDA ICE“ (Indoor Climate and Energy) programinėje įrangoje pastato duomenys buvo priimti remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6] pateiktos 2.4 lentelės „Įvairios paskirties pastatų įvairių rodiklių vertės pastatų energinio naudingumo skaičiavimams“ duomenimis. Šie apibendrinamieji duomenys pateikiami 2-oje lentelėje. Vidaus oro temperatūra šildymo sezono metu pasirinkta $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pastato plotas vienam žmogui – 40 m^2 . Pastatui priskiriamas $0,7\text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$ išorės oro kiekis vėdinimui, taip pat sudaromas grafikas, kuriuo vadovaujantis žmogus pastate vidutiniškai praleidžia 12 valandų per parą išskirdamas 70 W šilumos kiekį. Kadangi modeliavimo tikslas nustatyti šildymo energijos poreikį, todėl į vidaus temperatūrą nešildymo sezono metu (vasarą) neatsižvelgiama. Pastato vėsinimo prietaisai ir situacijos nemodeliuojami, elektros energijos sąnaudos nevertinamos.

2 lentelė. STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6] įvairių rodiklių vertės pastatų energinio naudingumo skaičiavimams

Eil. Nr.	Pastato paskirtis	Vidaus temperatūra šildymo sezono metu, θ_{in} , $^{\circ}\text{C}$	Plotas vienam žmogui*, A_o , $\text{m}^2/\text{žm.}$	Žmogaus išskiriama šiluma, g_o , $\text{W}/\text{žm.}$	Žmonių buvimo patalpoje laikas per parą (vidutinis mėnesio), t , h/(para)	Išorės oro kiekis 1 m^2 pastato vėdinimui*, v_o , $\text{m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{)}$
1.	Kiti gyvenamieji pastatai (namai)	20	40	70	12	0,7

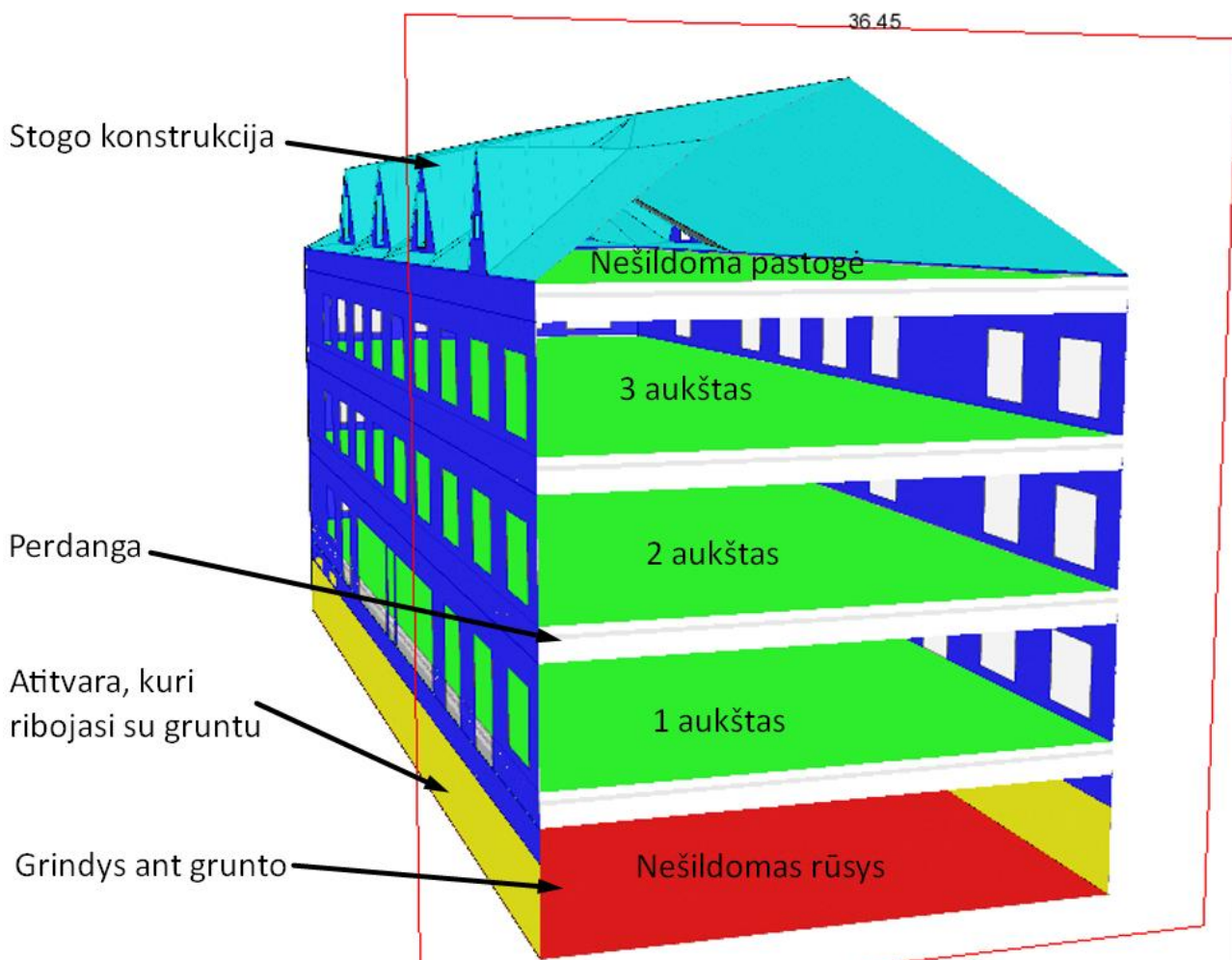
Vis dėlto modelyje ne visose patalpose nustatoma 20°C temperatūra. Kadangi modelyje matomos įstiklintų balkonų zonos/patalpos, tačiau jos yra nešildomos ir šildymo prietaisų neturi, todėl šios patalpos modeliuojamos kaip atskiras kambarys, iš kurio modelyje ištrinamas šildymo prietaisas ir šildymo poreikis šioms patalpoms nemodeliuojamas bei neskaičiuojamas. Tarp patalpų ir balkono automatiškai sumodeliuojama „vidaus atitvaros“ zona (žr. 5 pav.), kuriai priimamos ne lauko, o vidinių atitvarų reikšmės. Kadangi daugiau vidinių atitvarų modeliuose nėra (butų zonos nemodeliuojamos ir bendras aukšto plotas priimamas kaip viena šildoma patalpa), todėl galima teisingai ir tiksliai parinkti šioms atitvaroms būdingas reikšmes. 5-ame paveikslėlyje pavaizduota vieno iš modeliuojamo pastato plano iškarpa, kurioje matoma patalpų ir balkono zona, su durimis ir langu į balkoną bei pažymėta anksčiau minima „vidaus atitvaros“ zona. Taip pat šalia pavaizduota tos pačios vietos 3D iškarpa, kurioje šviesesne pilka spalva vaizduojama „vidaus atitvara“, o tamsiai ruda spalva vaizduojamos lauko išorinės atitvaros.



5 pav. Iškarpa iš „IDA ICE“ modelio plano ir 3D vaizdo su balkonu

Prieš renovacijos etapą visiems tiriamiems objektams priskirta Kauno miesto vietovė, pagal kurią programa sugeneruoja duomenis apie vyraujančias klimato sąlygas. Kadangi tiriami pastatai Kauno mieste, todėl nuvykus į vietą buvo galima įvertinti ir sumodeliuoti šešėliavimo zonas. Pastatai apstatyti ne iš visų pusių, todėl nuspręsta palikti programos siūlomą priemiesčio apgyvendintos teritorijos vėjo poveikio reikšmę. Pagal modernizavimo projektų planų ir pjūvių informaciją, sumodeliavus realių matmenų, formų ir tūrio pastatą (žr. 6 pav.), atitvarų plotų skaičiuoti nebereikia, tačiau modelyje įvedami pastato konstrukcijų ir atitvarų duomenys, kurie identiški mėnesių vidurkių metodo metu naudojamiems duomenims. Ilginiai šilumos tilteliai įvesti remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6] pateiktos 2 lentelės „Įvairios paskirties pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų U_R (W/(m²K)) ir ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ_R (W/(mK)) vertės D ir E energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui“ reikšmėmis, kurios naudojamos kaip „kitiems gyvenamiesiems pastatams (namams)“. Modelyje galima įvesti papildomą informaciją apie karšto vandens suvartojimus, paskirstymo sistemų, tokių kaip cirkuliacinio vandentiekio, tiekiamo oro ortakių šilumos šaltinio šilumos nuostolius, tačiau šiame darbe šie duomenys nevertinami.

6-ame paveikslėlyje pavaizduota pjūvio iškarpa su vieno iš „IDA ICE“ programine įranga modeliuojamo pastato informacija. Modelyje skirtingomis spalvomis išskirtos atskiros konstrukcijos: raudona spalva pažymėtos grindys ant grunto, geltona spalva žymi cokolinę dalį, kuri ribojasi su gruntu, mėlyna spalva žymi lauko sienų atitvaras, žalia – perdangas, o likusi žydra spalva – stogo konstruktyvą. Pastatams, kurie turi nešildomos pastogės zoną, išskiriama atskira patalpa, kurioje šildymo prietaisai nemodeliuojami ir skaičiavimai vykdomi kaip su nešildoma patalpa.



6 pav. Modeliuojamo pastato pjūvis iš „IDA ICE“ modelio

Po renovacijos etapo „IDA ICE“ programinėje įrangoje pastato sandarumas pasirenkamas, kad neviršija 3-oje lentelėje „Norminės oro apykaitos vertės“ [6] pateiktų reglamentuojamų oro apykaitos reikšmių, tarp pastato vidaus ir išorės, esant 50 Pa slėgių skirtumui. Ši pasirinkta reikšmė programoje nustatoma atsižvelgiant į kiekvieno objekto energinio naudingumo klasę, pagal SSVA [33] pateikiamą išrašą iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro po renovacijos etapo. Po renovacijos pastatų šildomų patalpų plotas, tūris išlieka tokie patys ir modelis nesikeičia, tačiau atitvarų sluoksniuose pakeičiami modernizacijos projektuose priimti sprendiniai, tai yra pridedami izoliacinių medžiagų, tinko sluoksniai, ir pagal naujas atitvarų detales, automatiškai perskaičiuojamas šilumos perdavimo koeficientas U . Taip pat modelyje, pagal tikslesnę informaciją, rankiniu būdu pakeičiamos ilginių šilumos tiltelių reikšmės Ψ_R .

3 lentelė. Norminės oro apykaitos vertės [6]

Eil. Nr.	Pastato paskirtis	Pastato energinio naudingumo klasė	$n_{50,N}$, (1/h)
1.	Gyvenamosios, administracinės, mokslo ir gydymo	C (65, 69, 92 namai)	2,00
		B (67, 88 namai)	1,50

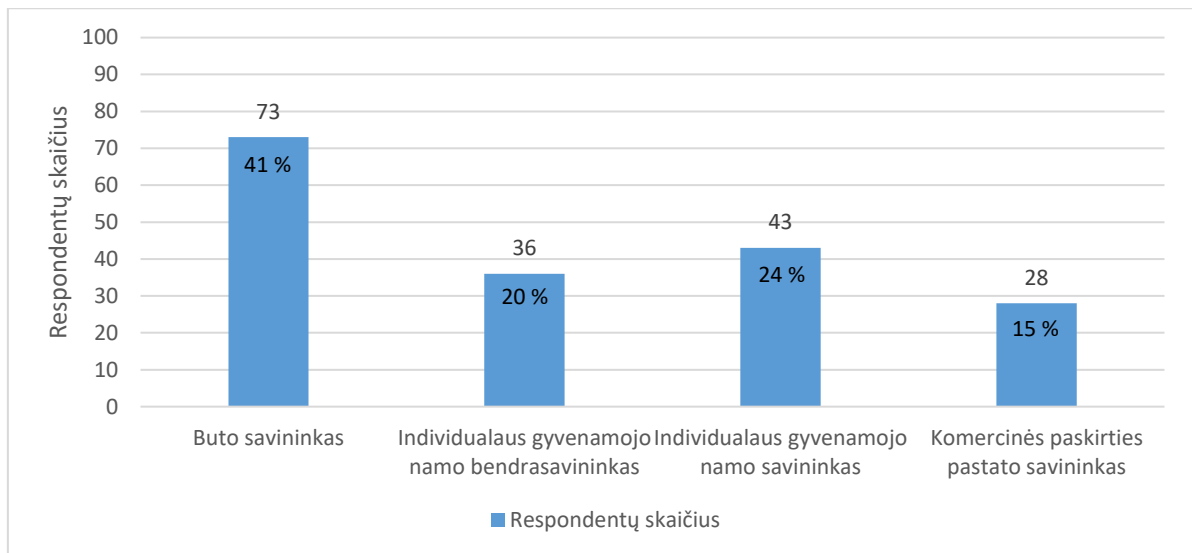
3. Tiriamoji dalis

Šioje dalyje aprašomi temos aktualumo pagrindimui vykdytos anoniminės apklausos rezultatai, taip pat pateikiami kiekvieno tiriamojo objekto energijos sąnaudų prognozavimo metodo tikslumo vertės bei apibendrinamoji gautų skaičiavimo rezultatų suvestinė.

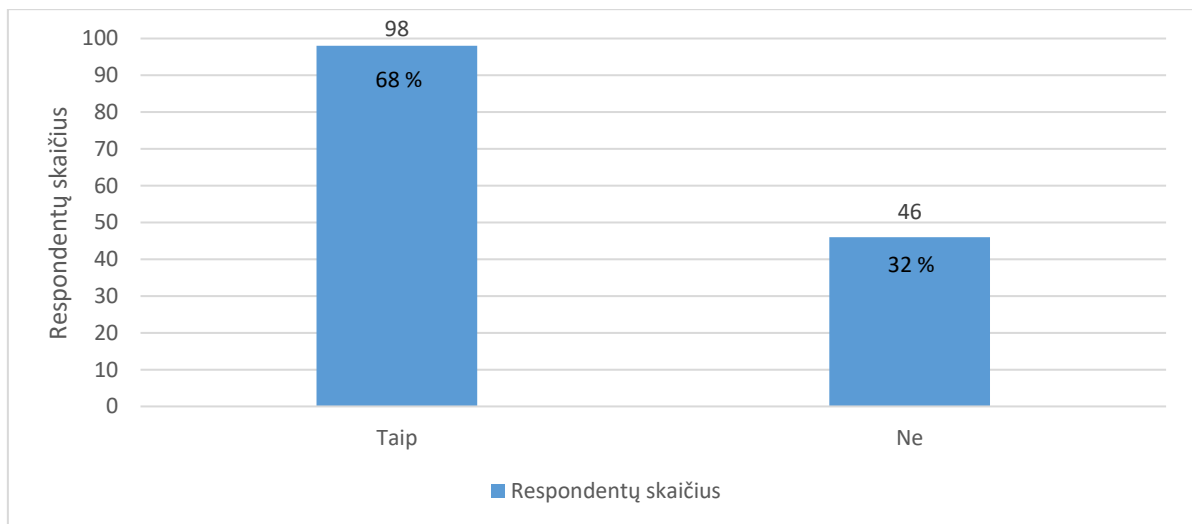
Darbe analizuojami faktiniai energijos sąnaudų rodikliai, kurie lyginami su Statybos sektoriaus vystymo agentūros (toliau SSVA) [33] pateikiama informacija bei atliekamas mėnesių vidurkio ir dinaminio modeliavimo metodo prognozavimas energijos sąnaudų šildymui. Tyrimo patikimumui įvertinti siekiama sumodeliuoti ir apskaičiuoti 5 objektus. Mėnesių vidurkių metodo rezultatai tarp SSVA [33] ir darbo autoriaus pateikiamų rezultatų gali skirtis dėl skirtingai apskaičiuotų langų, sienų, angų plotų ir perimetrų. Tiriamų objektų SSVA publikuojami išrašai iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro pateikiami 3–8 prieduose.

3.1. Vykdytos apklausos rezultatų apžvalga

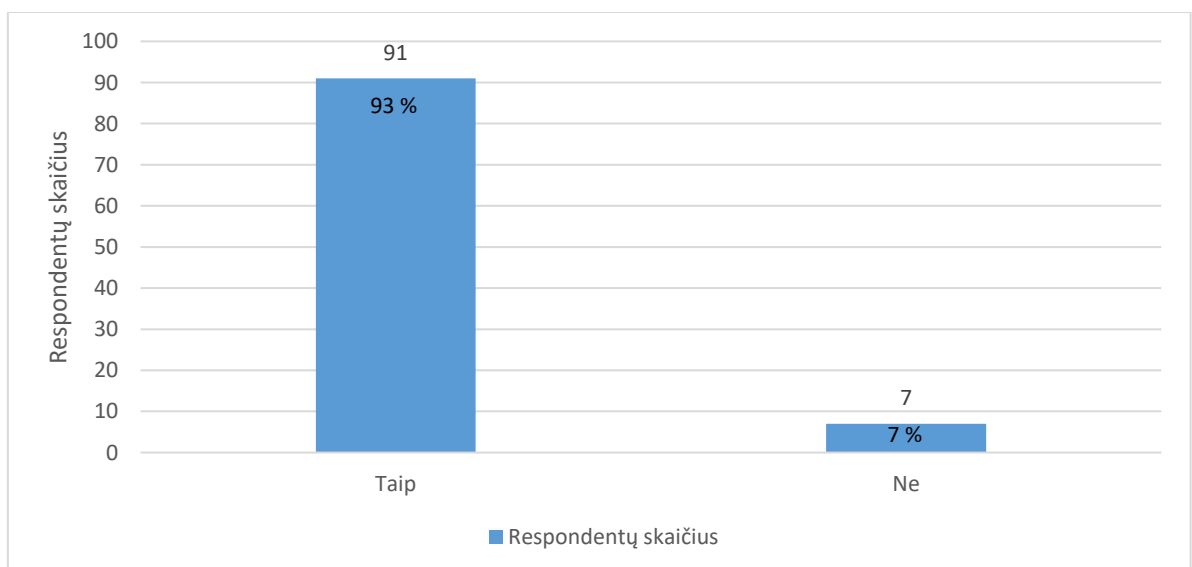
Šiame skyriuje pateikiami rezultatai, gauti vykdytos anoniminės apklausos tema „Pastato renovacijos efektyvumo prognozavimas“ internetinėje svetainėje „Mano apklausa.lt“ [36]. Šios apklausos pagrindinis tikslas – išsiaiškinti, ar nagrinėjama tema aktuali pastatų savininkams bei koks energijos sąnaudų prognozavimo tikslumas turėtų būti siekiamas. Apklaustųjų lytis, amžius, socialinė padėtis, darbo vieta ir kiti aspektai nebuvo nustatinėjami ar apribojami. Apklausą užpildė 144 respondentai, tačiau iki galo apklausą užpildė 91 respondentas. Iš surinktų duomenų matoma, kad dalis apklaustųjų turi daugiau nei vienos paskirties pastatų. Daugiausiai apklausą užpildė butų savininkai (73 respondentai), toliau sekė individualių gyvenamųjų namų savininkai (43), individualių gyvenamųjų namų bendrasavininkiai (36) ir komercinės paskirties pastatų savininkai (28) (žr. 7 pav.). 68 % visų respondentų planuoja arba nori renovuoti savo pastatą (žr. 8 pav.) ir 92 % iš jų turi įtakos prognozuojami energijos sąnaudų sutaupymai (žr. 9 pav.). Respondentų pasiskirstymas tarp „labai tikslų“ ir „tikslų“ tikėtinų prognozuojamų energijos sąnaudų sutaupymų renovacijos planavimo etape beveik identiškas ir nustatyta, kad iki 10 % tikslumo tikisi 44 % apklaustųjų, o 10–30 % tikslumo tikisi 43 % respondentų. Likusią respondentų dalį tenkina žemas prognozuojamų energijos sąnaudų tikslumas (žr. 10 pav.). Taip pat 93 % respondentų paskatintų renovacijos procesą, jeigu energijos sąnaudų prognozavimo tikslumas pateisintų jų keliamus lūkesčius (žr. 11 pav.).



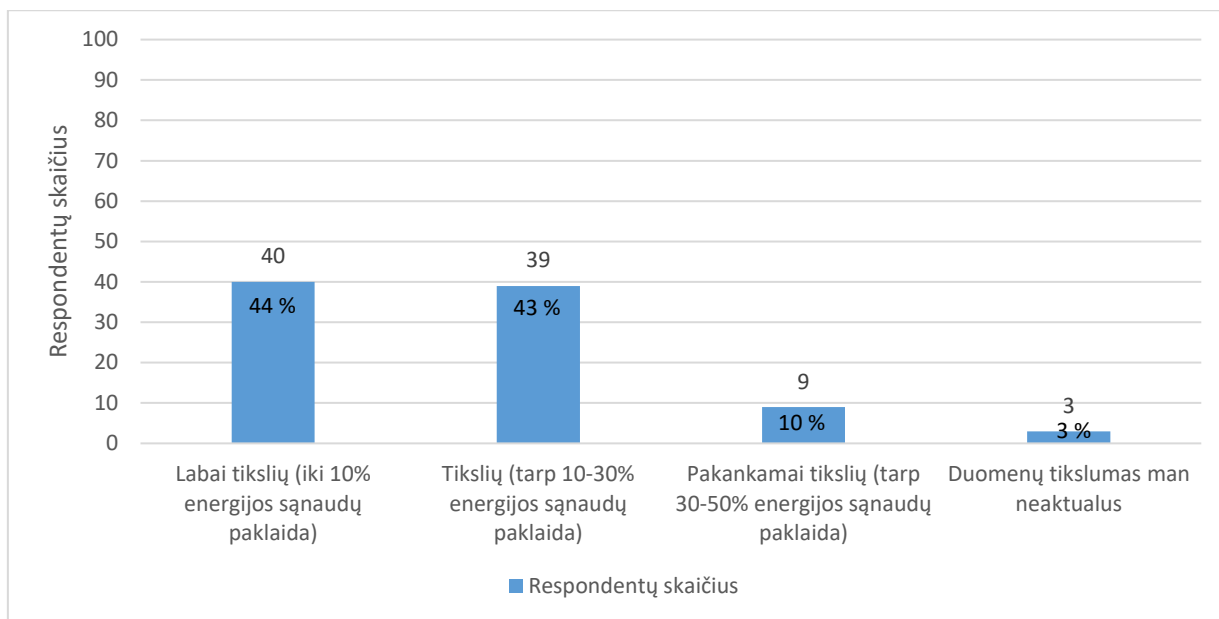
7 pav. Atsakymo „Kokio tipo nekilnojamojo turto objekto savininkas esate?“ duomenys



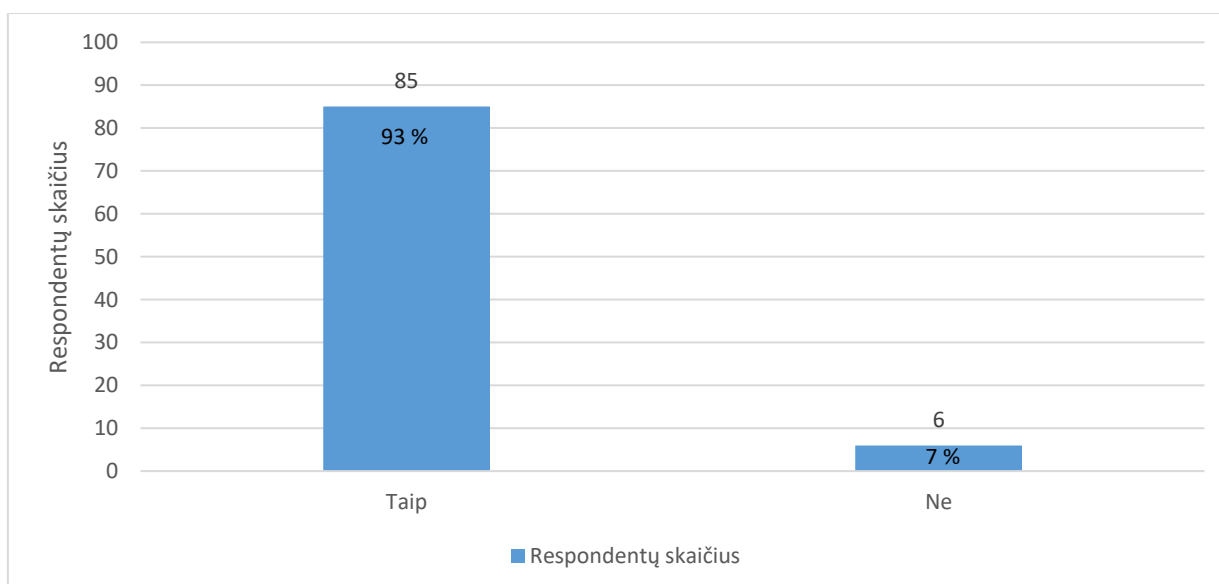
8 pav. Atsakymo „Ar planuojate/norėtumėte renovuoti savo būstą?“ duomenys



9 pav. Atsakymo „Ar Jūsų apsisprendimui renovuoti pastatą turi įtakos prognozuojami energijos sąnaudų sutaupymai?“ duomenys



10 pav. Atsakymo „Kokiu tikslumu prognozuojamų energijos sąnaudų sutaupymų tikėtumėtės renovacijos planavimo etape?“ duomenys



11 pav. Atsakymo „Jei energijos sąnaudų prognozavimas atitiktų Jūsų lūkesčius, ar tai būtų papildoma paskata renovuoti Jūsų pastatą?“ duomenys

3.2. Tyrimo objektai

Visų tiriamų objektų atitvarų plotai, langų, durų geometrijos, priimtų sprendinių detalės skaičiuojamos pagal faktinius objektų architektūrinius planus ir pjūvius, kurie buvo naudojami ruošiant modernizavimo projekto dokumentaciją. Tiriama objektai: 65, 67, 69, 88 ir 92 numeriais pažymėti gyvenamosios paskirties pastatai, esantys K. Baršausko gatvėje, Kaune. Tiriama objektai 3–4 aukštų, turintys rūsio ir pastogės zoną, tačiau 69 numeriu pažymėtame name pastogės zonos nėra. Pastatų statybos metai svyruoja tarp 1951–1957, o gyvenamieji plotai sudaro tarp 1100–2644 m².

3.2.1. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 92, Kaunas

K. Baršausko g. 92, Kaune esantis pastatas prieš renovacijos etapą atitiko E energinio naudingumo klasę ir buvo priimti modernizavimo sprendimai pasiekti C energinio naudingumo klasę. Pastatą sudaro 4 aukštai bei nešildomo rūšio ir nešildomos pastogės zonos. Iš viso bendras pastato plotas 1810 m². Sienos šiltinamos vėdinama sistema, cokolis – nevėdinama sistema. Sienų ir cokolio šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0.2$ (W/(m²K)). Pastate keičiami visi langai į plastikinius, su 1 – kameriniais stiklo paketais, 1 selektyvine danga, atitinkančius 4 orinio laidžio klasę bei ne didesne kaip $U = 1,3$ (W/(m²K)) šilumos perdavimo koeficiento verte. Pastato visos balkono zonos įstiklinamos. Sienos į įstiklintą balkoną, apšildintos EPS 80, šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,45$ (W/(m²K)). Taip pat apšildoma pastogės zona ir pakeičiama stogo danga, kurios šilumos perdavimo vertė $U = 0,16$ (W/(m²K)). 12–ame paveikslėlyje pavaizduota objekto nuotrauka po renovacijos etapo.



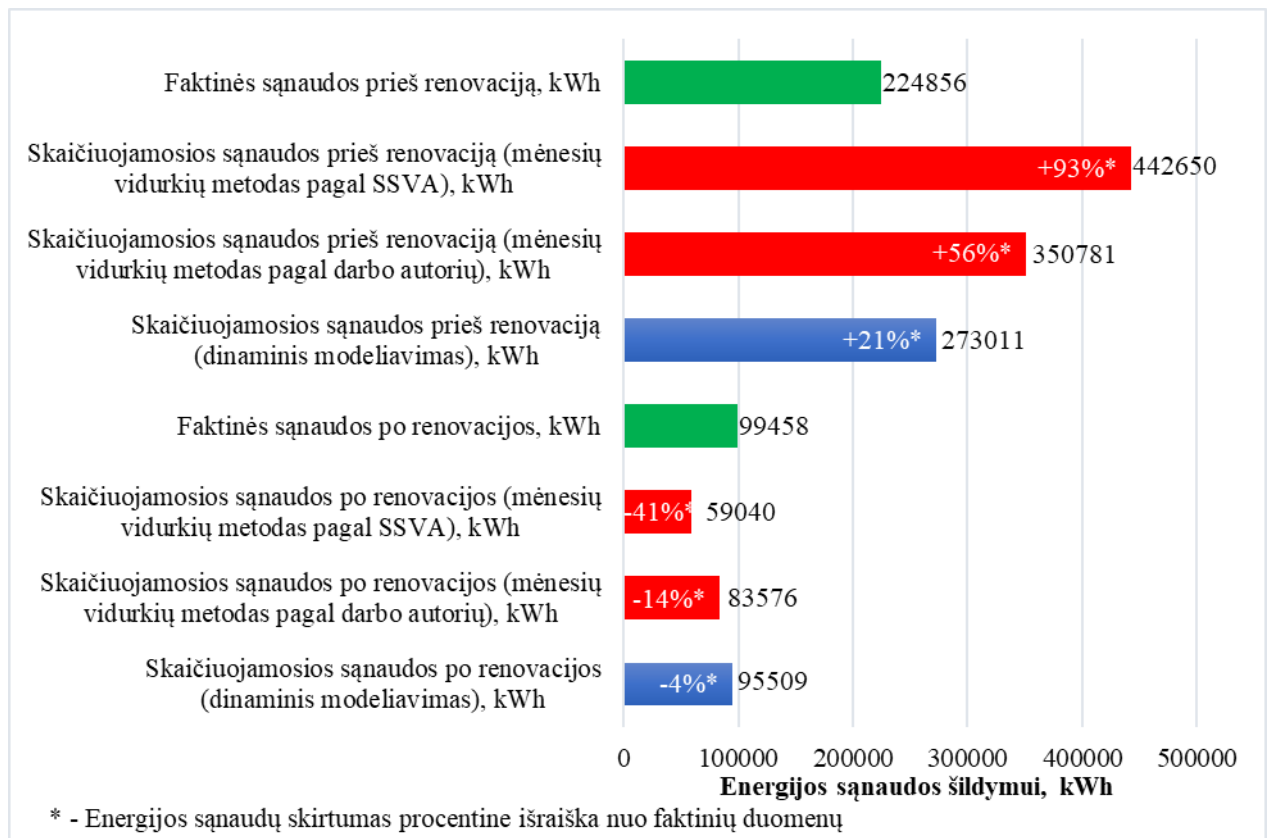
12 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 92, Kaunas nuotrauka

13–ame paveikslėlyje pavaizduota gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 92, Kaune iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos. Modeliuojamo pastato tūris, langų, durų plotai atitinka realius pastato parametrus. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų, ilginių šilumos perdavimo tiltelių reikšmės atitinka suprojektuotas objekto modernizavimo projekto reikšmes. Šilumos sąnaudų prognozavimas po renovacijos projektuojamas 2018 – 2022 metų šildymo sezonams, kai buvo atlikta renovacija ir išvedamas gautų rezultatų vidurkis, tačiau prognozuojamų sąnaudų skirtumas skirtingais skaičiuojamaisiais metais nėra žymus ir neviršija 2 %.



13 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 92 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos

14-ame paveikslėlyje pavaizduota faktiniais ir modeliavimo būdu gauta informacija apie K. Baršausko g. 92, Kaune esantį pastatą. Faktiniai energijos sąnaudų rodikliai priimti remiantis „Kauno energijos“ [34] internetiniame puslapyje pateikiama informacija. Realios vidutinės energijos sąnaudos prieš renovacijos etapą apskaičiuojamos pagal faktinių duomenų kelių metų energijos sąnaudų šildymo energijai suvartojimo vidurkį. Pagal tuos pačius metus atliekamas ir dinaminis modeliavimas „IDA ICE“ programine įranga. Po renovacijos etapo duomenys apie faktinius suvartojimus ir dinaminio modelio rezultatus įvertinami identišškai. Mėnesių vidurkio metodo duomenys priimami pagal SSVA [33] publikuojamus išrašus iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro. Taip pat atliekamas mėnesių vidurkio metodo skaičiavimas darbo autoriaus, kadangi pastebėta, jog pastatų plotai prieš renovaciją ir po renovacijos nesutampa ir gali būti atlikta faktinių skaičiavimo klaidų, dėl kurių iškraipomos gautos rezultatų reikšmės. Paveikslėlyje taip pat pavaizduota energijos sąnaudų skirtumas procentine išraiška nuo faktinių duomenų prieš ir po renovacijos. Žalia spalva pažymėti faktinių energijos sąnaudų duomenys, raudona spalva – mėnesių vidurkių metodo duomenys, o mėlyna spalva – dinaminio modeliavimo metodo duomenys.



14 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 92, Kaune

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad prieš renovacijos etapą tiek mėnesių vidurkio, tiek dinaminio modeliavimo metodais gaunami nuo +21 % (dinaminis modeliavimas) iki +97 % (mėnesių vidurkių metodas) prognozavimo rezultatų neatitikimai nuo faktinių duomenų. Tokią paklaidą gali iššaukti atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės, kurios priimamos pagal STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [6]. Realybėje pastatų atitvaros skirtingų charakteristikų ir kokybės, todėl pastovus rodiklis skaičiavimams yra netinkamas. Po renovacijos etapo paklaidos mažesnės tarp faktinių duomenų ir svyruoja nuo -4 % (dinaminio modeliavimo metodas) iki -41 % (mėnesių vidurkių metodas). Dinaminio modeliavimo gautas rezultatas labai artimas realybei ir tenkintų didžiąją dalį apklaustųjų. SSVA [33] pateikta reikšmė turi paklaidą net 41 %, kai tuo tarpu darbo autoriaus skaičiavimo paklaida sudaro -16 %. Šią paklaidą galėjo iššaukti neteisingai apskaičiuoti pastato plotai, kadangi prieš renovaciją plotas priimtas 1041,58 m², o po renovacijos 1794,55 m² (žr. 5 priedą).

3.2.2. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 67, Kaunas

Sekantis skaičiuojamas objektas esantis Kaune, K. Baršausko g. 67, kuris baigtas statyti 1957 metais. Pastatą sudaro trys aukštai su nešildoma palėpe ir nešildomu rūsiu. Pastato bendras plotas 2052,59 m². Prieš renovacijos etapą pastatas atitiko F energinio naudingumo klasę ir buvo priimti modernizavimo sprendimai pasiekti B energinio naudingumo klasę. Pastato sienos ir cokolinė dalis šiltinama nevėdinama sistema, tinkuojant plonasluoksniu tinku. Sienų ir cokolio šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0,2$ (W/(m²K)). Pastate keičiami visi langai į plastikinius, su 2 kamerų stiklo paketais, kurių vienas su selektyvine danga, atitinkančius 4 orinio laidžio klasę bei ne didesne kaip $U = 1,4$ (W/(m²K)) šilumos perdavimo koeficiento verte. Taip pat apšildoma ir pakeičiama stogo danga,

kurios šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0.16$ (W/(m²K)). Pirmame pastato aukšte įrengtos vaistinės, grindų parduotuvės ir grožio salono patalpos. 15–ame paveikslėlyje pavaizduota objekto nuotrauka po renovacijos.



15 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaunas nuotrauka

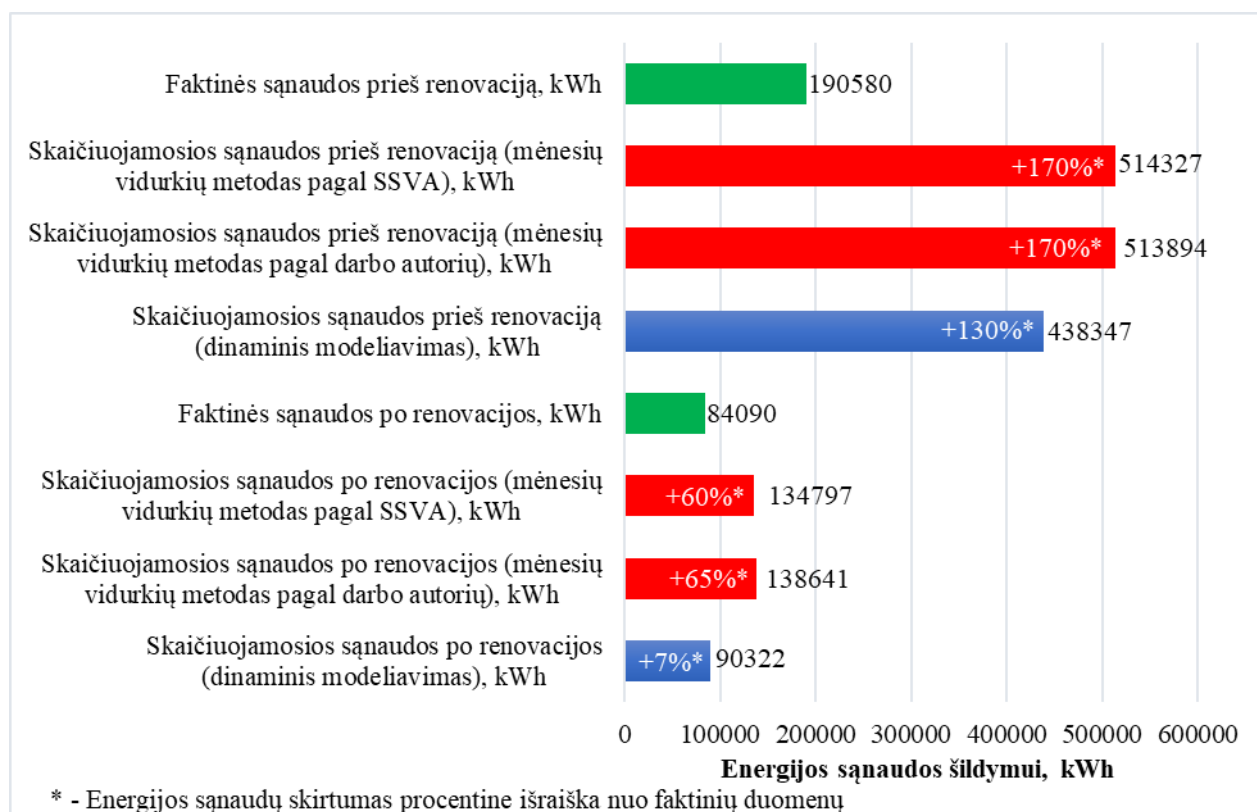
16–ame paveikslėlyje pavaizduota gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaune iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos. Modeliuojamo pastato tūris, langų, durų plotai atitinka realius pastato parametrus. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų, ilginių šilumos perdavimo tiltelių reikšmės atitinka suprojektuotas objekto modernizavimo projekto reikšmes. Šilumos sąnaudų prognozavimas po renovacijos projektuojamas 2019 – 2022 metų šildymo sezonams, kai buvo atlikta renovacija ir iš gautų duomenų išvedamas rezultatų vidurkis.



16 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 67 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos

17–ame paveikslėlyje pavaizduota faktiniais ir modeliavimo būdu gauta informacija apie K. Baršausko g. 67, Kaune esantį pastatą. Faktiniai energijos sąnaudų rodikliai priimti remiantis „Kauno energijos“ [34] internetiniame puslapyje pateikiama informacija. Realios vidutinės energijos sąnaudos prieš renovacijos etapą apskaičiuojamos pagal faktinių duomenų kelių metų energijos sąnaudų šildymo energijai suvartojimo vidurkį. Pagal tuos pačius metus atliekamas ir dinaminis modeliavimas „IDA ICE“ programine įranga. Po renovacijos etapo duomenys apie faktinius suvartojimus ir dinaminio modelio rezultatus įvertinami identišškai. Mėnesių vidurkių metodo duomenys priimami pagal SSVA [33] publikuojamus išrašus iš pastatų energinio naudingumo

sertifikatų registro. Paveikslėlyje taip pat pavaizduota energijos sąnaudų skirtumas procentine išraiška nuo faktinių duomenų.



17 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 67, Kaune

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad prieš renovacijos etapą mėnesių vidurkio metodu gaunama +170 % paklaida, o dinaminio modeliavimu +130 %. Tiek publikuoto SSVA išrašo duomenimis [33], tiek darbo autoriaus skaičiavimais, gauta identiška paklaida. Po renovacijos etapo paklaidos mažesnės, lyginant su prieš renovacijos skaičiavimais ir svyruoja nuo +7 % (dinaminio modeliavimo metodas) iki +65 % (mėnesių vidurkių metodas). Dinaminio modeliavimo gautas rezultatas ganėtinai artimas realybei ir tenkintų didžiąją dalį apklaustųjų. Šiame objekte SSVA [33] pateikta reikšmė nuo projekto autoriaus apskaičiuotos reikšmės mėnesių vidurkio metodais skiriasi 5 %.

3.2.3. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 65, Kaunas

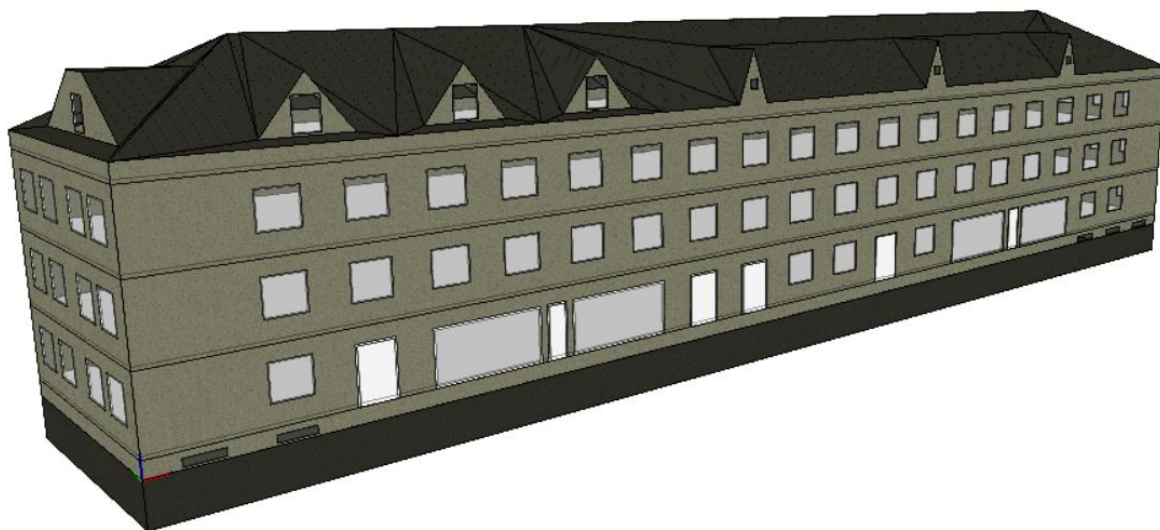
Trečiasis tiriamasis daugiabutis gyvenamasis pastatas esantis Kaune, K. Baršausko g. 65. Pastatas baigtas statyti 1959 metais, kurį sudaro trys aukštai su nešildoma palėpe ir nešildomu rūsiu. Pastato bendras plotas 2420,8 m². Prieš renovacijos etapą pastatas atitiko E energinio naudingumo klasę ir buvo priimti modernizavimo sprendimai pasiekti C energinio naudingumo klasę. Pastato sienos ir cokolinė dalis šiltinama nevėdinama sistema, tinkuojant plonasluoksniu tinku. Sienų ir cokolio šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0,2$ (W/(m²K)). Pastate keičiami visi langai į plastikinius, su 2 kamerų stiklo paketais, kurių vienas su selektyvine danga bei ne didesne kaip $U = 1,4$ (W/(m²K)) šilumos perdavimo koeficiento verte. Taip pat apšildoma ir pakeičiama stogo danga, kurios šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0,16$ (W/(m²K)). Pirmajame pastato aukšte įrengta odontologijos klinika, lošimų automatų salonas, grožio salonas, drabužių parduotuvė, vairavimo mokykla, picerija ir parfumerijos salonas. Kadangi išvardintose patalpose palaikoma komfortinių sąlygų informacija

nežinoma [37], todėl patalpų temperatūra ir šilumos išsiskyrimai priimami tokie patys, kaip gyvenamųjų patalpų, esančių sekančiuose pastato aukštuose. Georg'o Laurento, Dar Usman'o Ijaz'o, ir kt. publikuotame straipsnyje nustatyta, kad dinaminių modelių privalumas yra tai, jog galima įvesti pastato vartotojų įpročius, kurie gali turėti apie 12 % galutinių energijos sąnaudų prognozavimo tikslumui [38]. 18-ame paveikslėlyje pavaizduota objekto nuotrauka po renovacijos.



18 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 65, Kaunas nuotrauka

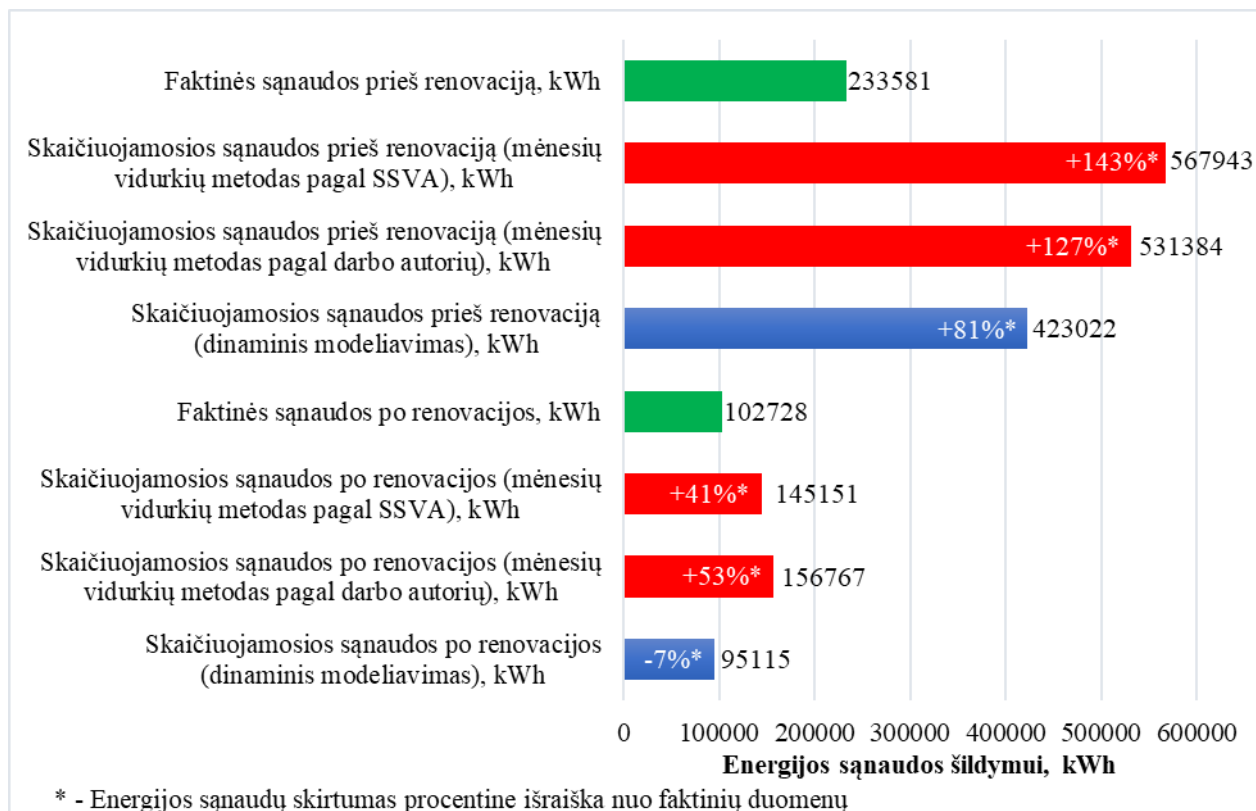
19-ame paveikslėlyje pavaizduota gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 65, Kaune iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos. Modeliuojamo pastato tūris, langų, durų plotai atitinka realius pastato parametrus. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų, ilginių šilumos perdavimo tiltelių reikšmės atitinka suprojektuotas objekto modernizavimo projekto reikšmes. Šilumos sąnaudų prognozavimas po renovacijos projektuojamas 2017 – 2022 metų šildymo sezonams, kai buvo atlikta renovacija ir iš gautų duomenų išvedamas rezultatų vidurkis.



19 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 65 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos

20-ame paveikslėlyje pavaizduota faktiniais ir modeliavimo būdu gauta informacija apie K. Baršausko g. 92, Kaune esantį pastatą. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad prieš renovacijos etapą mėnesių vidurkiu metodu gaunama tarp +127 % ir +143 % paklaida, o dinaminio modeliavimo metodu +81 %. Po renovacijos etapo paklaidos mažesnės, lyginant su prieš renovacijos skaičiavimais ir svyruoja nuo -7 % (dinaminio modeliavimo metodas) iki +56 % (mėnesių vidurkių metodas).

Dinaminio modeliavimo metu gautas rezultatas nepadengtų šilumos nuostolių, kai tuo tarpu mėnesių vidurkių metodo skaičiavimais reali energijos sąnaudų vertė viršijama nuo +41 % iki +53 %.



20 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 65, Kaune

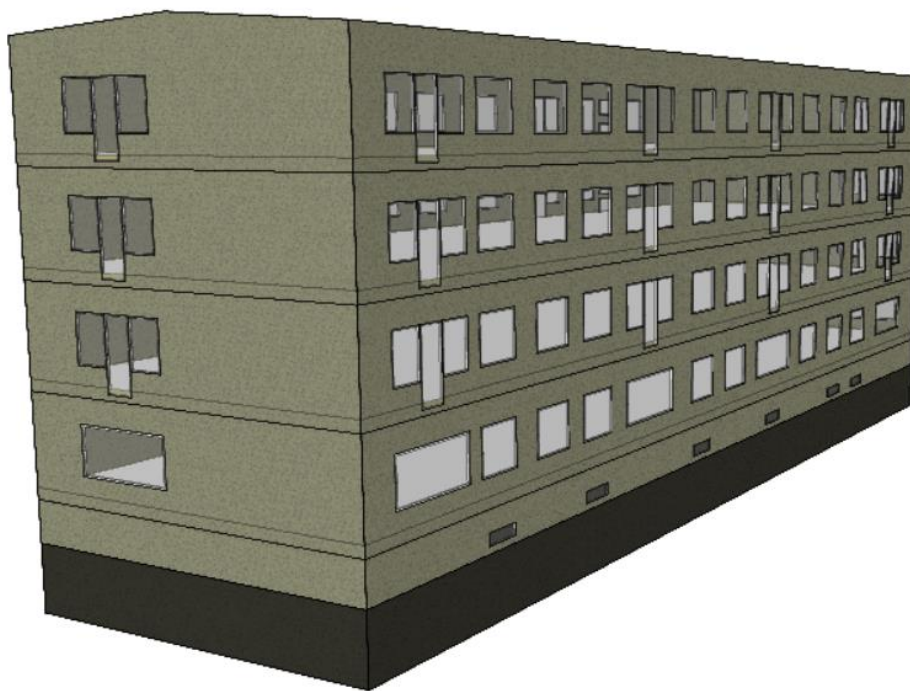
3.2.4. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 69, Kaunas

Ketvirtas tiriamas objektas esantis Kaune, K. Baršausko g. 69, gyvenamosios paskirties pastatas, kuris baigtas statyti 1961 metais ir turintis keturis aukštus, nešildomą rūšį, tačiau be palėpės. Pastato bendras šildomas plotas 1271,59 m². Prieš renovacijos etapą pastatas atitiko E energinio naudingumo klasę ir buvo priimti modernizavimo sprendimai pasiekti C energinio naudingumo klasę. Pastato sienos ir cokolinė dalis šiltinama nevėdinama sistema, tinkuojant plonasluoksniu tinku. Sienų ir cokolio šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0,2$ (W/(m²K)). Pastate keičiami visi langai į plastikinius, 5 kamerų, su 2 stiklų paketu (vienas iš stiklų – su selektyvine danga) bei ne didesne kaip $U = 1,3$ (W/(m²K)) šilumos perdavimo koeficiento verte. Taip pat apšildoma ir pakeičiama stogo danga, kurios šilumos perdavimo koeficientas $U \leq 0,16$ (W/(m²K)). Šiame pastate dėl ne vieningai nuspręsto balkonų įstiklinimo klausimo, buvo priimtas sprendimas, kad visi balkonai renovacijos procese nėra įstiklinami, tačiau kiekvienam gyventojui palikta teisė tai daryti individualiai, pagal suderintą langų tipą ir spalvą. 21–ame paveikslėlyje pavaizduota objekto nuotrauka po renovacijos.



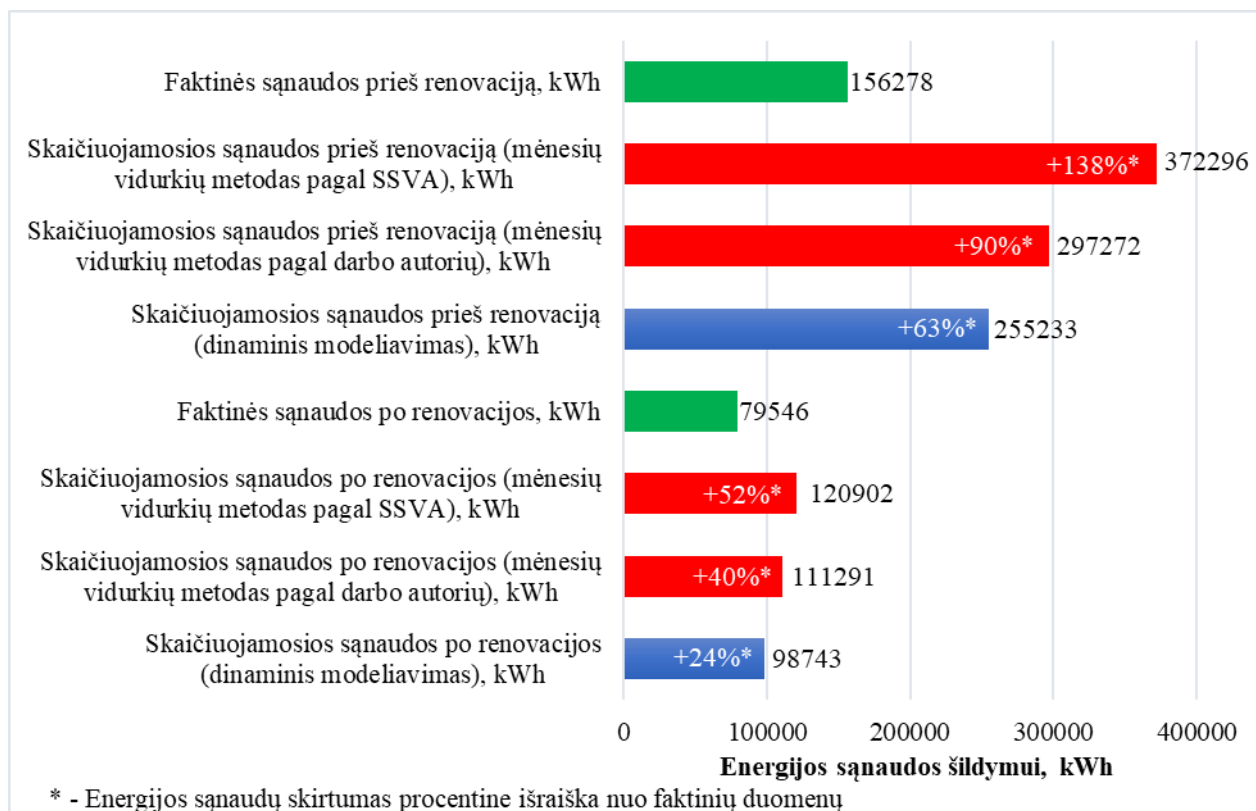
21 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 69, Kaunas nuotrauka

22-ame paveikslėlyje pavaizduota gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 69, Kaune iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos. Modeliuojamo pastato tūris, langų, durų plotai atitinka realius pastato parametrus. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų, ilginių šilumos perdavimo tiltelių reikšmės atitinka suprojektuotas objekto modernizavimo projekto reikšmes. Šilumos sąnaudų prognozavimas po renovacijos projektuojamas 2016 – 2022 metų šildymo sezonams, kai buvo atlikta renovacija ir iš gautų duomenų išvedamas rezultatų vidurkis. Kadangi renovacijos projekte priimta, kad balkonai neįstiklinami, todėl modelyje į tai atsižvelgiama ir balkonu durys su langais modeliuojamos į lauką zoną.



22 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 69 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos

23-ame paveikslėlyje pavaizduota faktiniais ir modeliavimo būdu gauta informacija apie K. Baršausko g. 69, Kaune esantį pastatą. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad prieš renovacijos etapą mėnesių vidurkiu metodu gaunama tarp +90 % ir +138 % paklaida nuo faktinių duomenų, o dinaminio modeliavimu +63 %. Po renovacijos etapo tyrimų metodais gauti duomenys prognozuoja šilumos perteklių ir paklaidos tarp faktinių duomenų svyruoja nuo +24 % (dinaminio modeliavimo metodas) iki +52 % (mėnesių vidurkių metodas). Šiame pastate dinaminio modeliavimo metodu gauta paklaida iš tiriamųjų objektų yra didžiausia. Kadangi prognozuojama energijos sąnaudų vertė teigiama, kas reiškia, jog skaičiuojama pastato suvartojama energijos šildymui vertė didesnė, nei suvartojama faktiškai, galima daryti prielaidą, kad ši paklaida susijusi su balkonų įstiklinimu. Skaičiavimuose buvo priimta, jog balkonai neįstiklinti (kaip priimta pastato modernizavimo projekte), tačiau objekto nuotraukoje matoma, kad dalis balkonų įstiklinti ir taip gerinama pastato būklė energijos sąnaudų atžvilgiu. Nors projekte toks sprendimas buvo priimtas, kad gyventojai balkonus įstiklina savo nuožiūra, tačiau skaičiuojant energijos sąnaudas šildymui, tai turi papildomą įtaką didesniems nuokrypiams nuo faktinių verčių.



23 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 69, Kaune

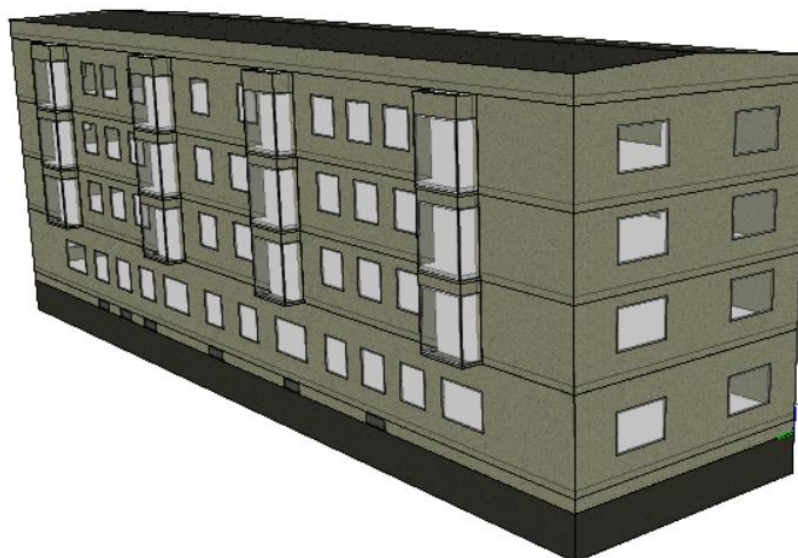
3.2.5. Gyvenamosios paskirties pastatas - K. Baršausko g. 88, Kaunas

Penktasis tiriamas gyvenamosios paskirties objektas esantis Kaune, K. Baršausko g. 88. Pastatas baigtas statyti 1961 metais, kurį sudaro keturi aukštai su nešildomu rūsiu ir nešildoma palėpės zona. Pastato bendras šildomas plotas 1510,52 m². Prieš renovacijos etapą pastatas atitiko E energinio naudingumo klasę ir buvo priimti modernizavimo sprendimai pasiekti B energinio naudingumo klasę. Kadangi pastato energinio naudingumo klasės sertifikato išrašas prieš renovacijos etapą nėra patalpintas SSVA internetinėje svetainėje, todėl skaičiavimams naudojama pridėta pastato energinio naudingumo sertifikato informacija modernizacijos projekte (žr. 7 priedą). Pastato sienos šiltinamos ventiliuojama fasado šiltinimo sistema, su akmens masės plytelių apdaila. Šiltinama dviejų sluoksnių šilumos izoliacija. Apatinis sluoksnis – mineralinės vatos plokštės, viršutinis sluoksnis (taip pat ir angokraščiai) – mineralinės vatos plokštės. Cokolinė dalis šiltinama nevėdinama sistema, tinkuojant plonasluoksniu tinku. Pastate keičiami visi langai į plastikinius, 5 kamerų, su 2 stiklų paketu (vienas iš stiklų - su selektyvine danga) bei ne didesne kaip $U = 1,3 \text{ (W/(m}^2\text{K))}$ šilumos perdavimo koeficiento verte, visi balkonai taip pat įstiklinami. Pastato stogo danga pakeičiama, o pastogė šiltinama 200 mm storio rulonine mineraline vata. 24-ame paveikslėlyje pavaizduota objekto nuotrauka po renovacijos.



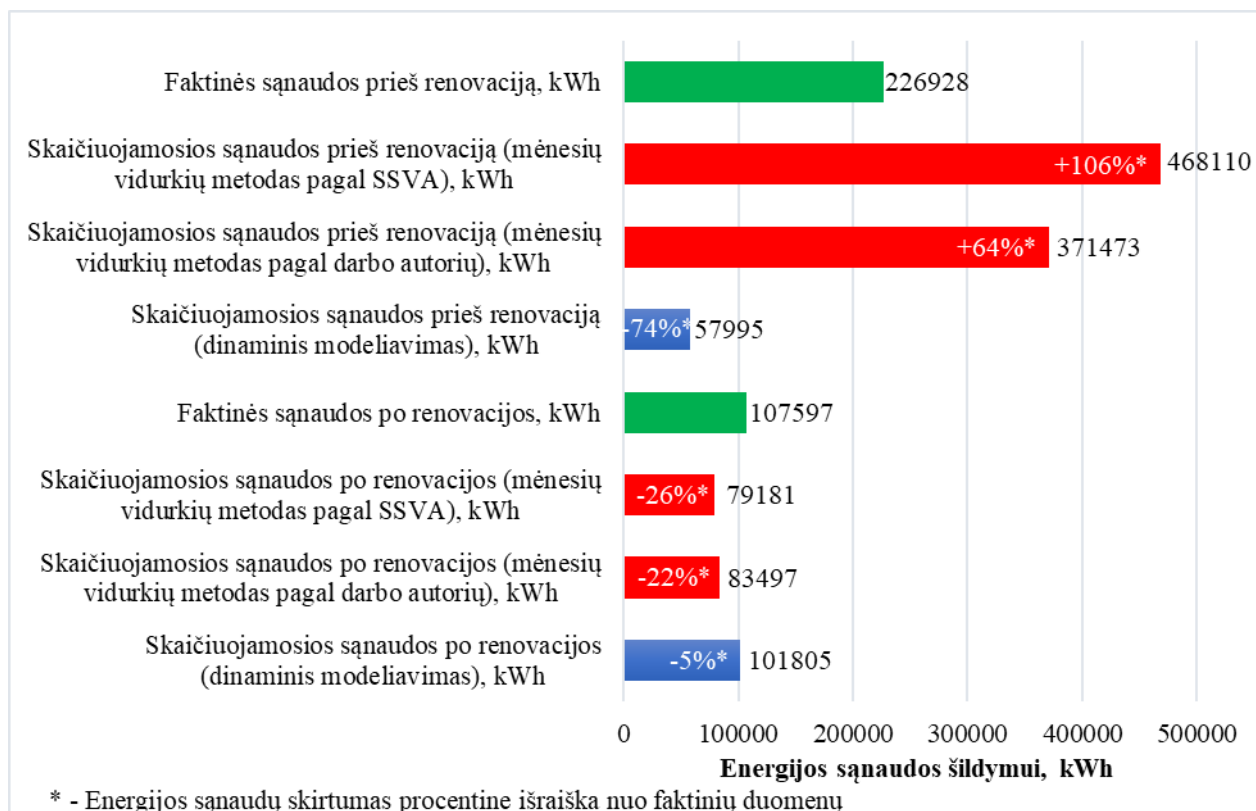
24 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaunas nuotrauka

25-ame paveikslėlyje pavaizduota gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaune iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos. Modeliuojamo pastato tūris, langų, durų plotai atitinka realius pastato parametrus. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų, ilginių šilumos perdavimo tiltelių reikšmės atitinka suprojektuotas objekto modernizavimo projekto reikšmes. Šilumos sąnaudų prognozavimas po renovacijos projektuojamas 2016 – 2022 metų šildymo sezonams, kai buvo atlikta renovacija ir iš gautų duomenų išvedamas rezultatų vidurkis.



25 pav. Modeliuojamo pastato Kaune K. Baršausko g. 88 iškarpa iš „IDA ICE“ programinės įrangos

26-ame paveikslėlyje pavaizduota faktiniais ir modeliavimo būdu gauta informacija apie K. Baršausko g. 88, Kaune esantį pastatą. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad prieš renovacijos etapą, mėnesių vidurkiu metodu gaunama tarp +64 % ir +106 % paklaida nuo faktinių duomenų, o dinaminio modeliavimo metodo paklaida -74 %. Tai vienintelis objektas, kuriame dinaminio modeliavimo metodu sugeneruotų rezultatų vertė yra neigiama ir nepadengia šilumos nuostolių prieš renovacijos etapą. Po renovacijos etapo, paklaidos tarp tyrimo metodų ir faktinių duomenų mažesnės, lyginant su prieš renovacijos skaičiavimais ir svyruoja nuo -5 % (dinaminio modeliavimo metodas) iki -26 % (mėnesių vidurkių metodas).



26 pav. Energijos sąnaudų suvestinė K. Baršausko g. 88, Kaune

3.3. Rezultatai

4-oje lentelėje pateikiama suvestinė visų tiriamųjų objektų informacija, su procentiškai išreikšta paklaida nuo faktinių duomenų ir taip pat išskaičiuotas kiekvieno metodo paklaidų vidurkis bei išreikšta mediana. Lentelėje prieš ir po renovacijos etapo, žalia spalva pažymėtos kiekvieno metodo minimalios vertės (nepriklausomai teigiamos, ar neigiamos), o raudona – didžiausios ekstremumo vertės (nepriklausomai teigiamos, ar neigiamos). Atlikus tiriamųjų objektų galutinius skaičiavimus nustatyta, kad skaičiuojamųjų sąnaudų prieš renovaciją mėnesių vidurkių metodu, pagal SSVA paklaidų vidurkis +131 % ir mediana sudaro +138 %. Tuo pačiu mėnesių vidurkių metodu pagal darbo autorių paklaidų vidurkis sudaro +101 %, o mediana +90 %. Dinaminio modeliavimo gauti rezultatai prieš renovaciją buvo tiksliausi ir paklaidų vidurkis sudaro +44 %, o mediana +63 %. Visi metodai tiksliausiai prognozavo K. Baršausko g. 92 numeriu pažymėtą daugiabutį gyvenamąjį namą, o didžiausia paklaida, taip pat visų metodų nustatyta K. Baršausko g. 67 namui.

Prieš renovaciją, tiek mėnesių vidurkių, tiek dinaminio modeliavimo metodai turi dideles paklaidų vertes lyginant su faktiniais duomenimis, tačiau visi mėnesių vidurkių metodo skaičiavimai parodė, kad pastatas suvarto daugiau šilumos energijos, kartais net 2,5 karto, nei suvartojama realiai (pastatas K. Baršausko g. 67, Kaunas). Ši priklausomybė iššaukiama iš pastovių įvesties koeficientų visiems pastatams, neatsižvelgiant į realią pastato konstrukcijų kokybę, kuri, kaip matoma iš gautų rezultatų, yra daug kokybiškesnė ir pastato sandarumas geresnis, negu yra tikimasi. Jeigu nėra prieš skaičiavimą žinomas ir faktiškai apskaičiuotas konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientas U , tuomet priimama ta pati „standartinės konstrukcijos iki 1992 metų“ vertė, nors pastatas gali būti įrengtas labai kokybiškai ir neseniai, lyginant su senos statybos nesandariu pastatu.

Po renovacijos proceso nurodoma tikslesnė informacija tiriamiems objektams modernizavimo projektuose lemia ženklų tikslumo padidėjimą ir ekstremumų verčių sumažėjimą abiem tyrimo metodais. Skaičiuojamosios sąnaudos mėnesių vidurkių metodu pagal SSVA [33] sudaro +17 % paklaidų vidurkį, o mediana siekia +41 %. Pagal darbo autorių, mėnesių vidurkių metodo paklaidų vidurkis sudaro +24 %, o mediana +40 %. Dinaminio modeliavimo metodas tiksliausias ir paklaidų vidurkis sudaro +3 %, o mediana -4 %. Po renovacijos etapo, tiksliausias ir mažiausiai tikslus energijos sąnaudų šildymui prognozavimo objektas tarp metodų skiriasi (žr. 4 lentelę). Mėnesių vidurkių metodu pagal SSVA prognozavimas tiksliausias K. Baršausko g. 88 namui, kai tuo tarpu mėnesių vidurkių metodas pagal darbo autorių ir dinaminio modeliavimo metodas tiksliausias tam pačiam objektui, kaip ir prieš renovaciją – K. Baršausko g. 92 namui. Mėnesių vidurkių metodu, tiek pagal SSVA, tiek pagal darbo autorių, netiksliausiai apskaičiuojamas tas pats objektas kaip ir prieš renovaciją – K. Baršausko g. 67. Tačiau dinaminio modeliavimu netiksliausiai apskaičiuojamas ir ženkliai didesnę paklaidą nuo kitų objektų turintis pastatas K. Baršausko g. 69. Šiame pastate yra anksčiau aprašytų netikslumų tarp projekto duomenų ir realybės, su įstiklintomis balkono atitvaromis.

Įvertinus tiriamų pastatų faktines energijos sąnaudas šildymui tarp prieš renovacijos ir po renovacijos laikotarpių, neatsižvelgiant į priimtas energijos sąnaudų mažinimui priemones, nustatyta, kad po renovacijos proceso sąnaudos šildymui sumažėjo vidutiniškai 53,87 % (diapazonas tarp 49,10 % ir 56,02 %), o sutaupymų mediana sudaro 55,77 %;

4 lentelė. Suvestinė tiriamųjų objektų informacija

	B92		B67		B65		B69		B88		Vidurkis	Mediana
Faktinės sąnaudos prieš renovaciją, kWh	224856		190580		233581		156278		226928			
Skaičiuojamosios sąnaudos prieš renovaciją (mėnesių vidurkių metodu pagal SSVA), kWh	442650	+97%	514327	+170%	567943	+143%	372296	+138%	468110	+106%	+131%	+138%
Skaičiuojamosios sąnaudos prieš renovaciją (mėnesių vidurkių metodu pagal darbo autorių), kWh	350781	+56%	513894	+170%	531384	+127%	297272	+90%	371473	+64%	+101%	+90%
Skaičiuojamosios sąnaudos prieš renovaciją (dinaminis modeliavimas), kWh	273011	+21%	438347	+130%	423022	+81%	255233	+63%	57995	-74%	+44%	+63%
Faktinės sąnaudos po renovacijos, kWh	99458		84090		102728		79546		107597			
Skaičiuojamosios sąnaudos po renovacijos (mėnesių vidurkių metodu pagal SSVA), kWh	59040	-41%	134797	+60%	145151	+41%	120902	+52%	79181	-26%	+17%	+41%
Skaičiuojamosios sąnaudos po renovacijos (mėnesių vidurkių metodu pagal darbo autorių), kWh	85343	-14%	138641	+65%	156767	+53%	111291	+40%	83497	-22%	+24%	+40%
Skaičiuojamosios sąnaudos po renovacijos (dinaminis modeliavimas), kWh	95509	-4%	90322	+7%	95115	-7%	98743	+24%	101805	-5%	+3%	-4%
Faktinių sąnaudų skirtumas (energijos sutaupymas) tarp faktinių duomenų prieš renovaciją ir po renovacijos (%)	55,77		55,88		56,02		49,10		52,59		53,87	55,77

Išvados

Remiantis mokslinių literatūros šaltinių analize, rengtos apklausos duomenimis ir pradiniais tyrimo rezultatais nustatyta, kad:

1. Pagal atliktos anoniminės apklausos, kurioje dalyvavo 144 respondentai, tačiau iki galo užpildė 91 respondentas, atsakymus, prognozuojant energijos sąnaudas šildymui po renovacijos proceso, 44 % apklaustųjų tikisi iki 10 % tikslumo, 43 % respondentų tikisi tarp 10–30 % tikslumo. Taip pat 93 % respondentų paskatintų vykdyti pastato renovacijos procesą, jeigu energijos sąnaudų prognozavimo tikslumas pateisintų jų keliamus lūkesčius;
2. Tirtuose renovuotuose pastatuose, neatsižvelgiant į priimtas energijos sąnaudų mažinimui priemones, faktinės energijos sąnaudos šildymui po renovacijos proceso sumažėjo vidutiniškai 53,87 % (diapazonas tarp 49,10 % ir 56,02 %), o mediana sudaro 55,77 %;
3. Prieš renovacijos procesą, tiriamųjų objektų, pagal „Statybos sektoriaus vystymo agentūros“ (SSVA) pateiktus mėnesių vidurkių metodo duomenis, skaičiuojamųjų sąnaudų paklaidų vidurkis, lyginant su faktinėmis energijos sąnaudomis pastatui šildyti, sudaro +131 %, mediana +138 %, tuo pačiu metodu pagal darbo autorių atliktus skaičiavimus paklaidos vidutiniškai sudaro +101 % (mediana +90 %). Tiriamųjų objektų skaičiuojamųjų sąnaudų dinaminio modeliavimo metodu paklaidų vidurkis lyginant su faktiniais energijos sąnaudų suvartojimais sudaro +44 % (mediana +63 %).
4. Po renovacijos, tiriamųjų objektų, pagal SSVA pateiktus mėnesių vidurkių metodo duomenis, skaičiuojamųjų sąnaudų paklaidų vidurkis sudaro +17 % (mediana +41 %). Gautas objektų paklaidų vidurkis tenkintų didžiąją dalį apklaustųjų, tačiau paklaidų diapazonas svyruoja tarp -41 % ir +60 %, pagal atlikus pakartotinius skaičiavimus po renovacijos mėnesių vidurkių metodu, skirtumas tarp skaičiuojamųjų ir faktinių energijos sąnaudų pastatui šildyti sudarė vidutiniškai +24 % (mediana +40 %). Dinaminio modeliavimo metodu paklaidų vidurkis nuo faktinių duomenų sudaro +3 %, diapazonas tarp -7 % ir +24 %, o mediana -4 %;
5. Prieš renovaciją mėnesių vidurkių metodu nustatytų pastatų sąnaudų šildymui nuokrypiai nuo faktinių duomenų svyruoja tarp +56 % ir +170 %, o dinaminio modeliavimo metodo analogiškai nuokrypiai svyruoja nuo -74 % iki +130 %. Po renovacijos mėnesių vidurkių metodu nustatytų analogiškų verčių nuokrypiai nuo faktinių duomenų svyruoja nuo -41 % iki +65 %, o dinaminio modeliavimo metodo nuokrypiai po renovacijos svyruoja tarp -7 % ir +24 %.

Rekomendacija: įtraukus dinaminio modeliavimo metodą į Lietuvos teisės aktus, energijos sąnaudų prognozavimas po renovacijos proceso taptų tikslesnis ir tenkintų didžiosios dalies apklausoje dalyvavusių respondentų tikslumo lūkesčius ir šis aspektas taptų papildoma paskata renovuoti pastatą. Manoma, kad energijos sąnaudų šildymui skaičiavimo nuokrypius tyrimo methoduose prieš renovacijos procesą lemia nepakankamas ir netikslus įvesties duomenų kiekis, o po renovacijos proceso skaičiavimų nuokrypius lemia metodo netikslumai ir žmogiškosios klaidos asmens, kuris atlieka skaičiavimus.

Literatūros sąrašas

1. CO2 Išlakų Mažinimas: ES Tikslai Ir Veiksmai, -02-23, 2023. pp. 1-5. Prieiga per: https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180305STO99003/20180305STO99003_lt.pdf.
2. Strategija „Renovacijos Banga“, Kurios Tikslas – Renovuoti Dvigubai Daugiau Pastatų, Kad Būtų Sumažintas Išmetamųjų Teršalų Kiekis Ir Energijos Nepriteklis Ir Paskatintas Ekonomikos Atsigavimas, -10-14, 2020. pp. 1-3. Prieiga per: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/lt/ip_20_1835.
3. Keiskime Mūsų Pasaulį: Darnaus Vystymosi Darbotvarkė Iki 2030 Metų, -10-21, 2015. pp. 1-36. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/es-ir-tarptautinis-bendradarbiavimas/darnus-vystymasis/darnus-vystymasis-ir-lietuva/jt-darbotvarke-2030-darnaus-vystymosi-tikslai-ir-kiti-tarptautiniai-susitarimai>.
4. HERZER, Dierk. The Impact on Domestic CO2 Emissions of Domestic Government-Funded Clean Energy R&D and of Spillovers from Foreign Government-Funded Clean Energy R&D. *Energy Policy*, 2022, vol. 168. pp. 113126. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421522003512>. ISSN 0301-4215.
5. *Daugiabučių Namų Atnaujinimo (Modernizavimo) Programa*. <https://renomap.apva.lt/>.
6. STR 2.01.02:2016 „Pastatų Energinio Naudingumo Projektavimas Ir Sertifikavimas“ Patvirtinimo. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>.
7. Energijos Vartojimo Auditas. Prieiga per: <https://www.ena.lt/energijos-vartojimo-auditas/>.
8. Long-Term Renovation Strategies. Prieiga per: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/long-term-renovation-strategies_lt.
9. RAMANI, Vasantha; and ZHANG, Limao. Impacts of Climate Change on Long-Term Reliability of Reinforced Concrete Structures due to Chloride Ingress. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 354. pp. 129091. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822027465>. ISSN 0950-0618.
10. Būstų Skaičiaus Statistika, 2021. Prieiga per: https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=f0bf8bcc-16c4-4bbb-b386-b37c3ad6c178#.
11. Daugiabučių Namų Atnaujinimas (Modernizavimas). Prieiga per: <https://modernizuok.apva.lt/veiklos-sritys/administruojamos-programos/daugiabuciu-namu-atnaujinimo-modernizavimo-programa/102>.
12. Lietuvos Ilgalaikė Renovacijos Strategija, -03-31, 2021. pp. 1-130. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/STPD/Lietuvos%20ilgalaik%C4%97%20renovacijos%20strategija.pdf>.
13. Energijos Tausojimas: ES Veiksmai Mažinant Energijos Suvartojimą, -03-20, 2023. Prieiga per: https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2022/12/story/20221128STO58002/20221128STO58002_lt.pdf.

14. SOMU, Nivethitha; M R, Gauthama Ramanand RAMAMRITHAM, Krithi. A Hybrid Model for Building Energy Consumption Forecasting using Long Short Term Memory Networks. *Applied Energy*, 2020, vol. 261. pp. 114131. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919318185>. ISSN 0306-2619.
15. STR 1.06.01:2016 „Statybos Darbai. Statinio Statybos Priežiūra“. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/e0458643b88611e6a3e9de0fc8d85cd8/asr>.
16. . Almanachas "Skaitmeninė Statyba 2022". pp. 17. Prieiga per: https://issuu.com/lba8/docs/prew-skaitmenine_statyba.
17. DE WILDE, Pieter. Building Performance Simulation in the Brave New World of Artificial Intelligence and Digital Twins: A Systematic Review. *Energy and Buildings*, 2023. pp. 113171. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823004012>. ISSN 0378-7788.
18. BOURDEAU, Mathieu, et al. Modeling and Forecasting Building Energy Consumption: A Review of Data-Driven Techniques. *Sustainable Cities and Society*, 2019, vol. 48. pp. 101533. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670718323862>. ISSN 2210-6707.
19. COZZA, Stefano, et al. Do Energy Performance Certificates Allow Reliable Predictions of Actual Energy Consumption and Savings? Learning from the Swiss National Database. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 224. pp. 110235. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820303315>. ISSN 0378-7788.
20. LU, Hongfang, et al. Short-Term Prediction of Building Energy Consumption Employing an Improved Extreme Gradient Boosting Model: A Case Study of an Intake Tower. *Energy*, 2020, vol. 203. pp. 117756. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422030863X>. ISSN 0360-5442.
21. GELESZ, Adrienn, et al. Characteristics that Matter in a Climate Façade: A Sensitivity Analysis with Building Energy Simulation Tools. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 229. pp. 110467. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820307738>. ISSN 0378-7788.
22. FEW, Jessica, et al. The Over-Prediction of Energy use by EPCs in Great Britain: A Comparison of EPC-Modelled and Metered Primary Energy use Intensity. *Energy and Buildings*, 2023, vol. 288. pp. 113024. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823002542>. ISSN 0378-7788.
23. GASSAR, Abdo Abdullah Ahmed; and CHA, Seung Hyun. Energy Prediction Techniques for Large-Scale Buildings Towards a Sustainable Built Environment: A Review. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 224. pp. 110238. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820301237>. ISSN 0378-7788.
24. LA FLEUR, Lina; MOSHFEGH, Bahramand ROHDIN, Patrik. Measured and Predicted Energy use and Indoor Climate before and After a Major Renovation of an Apartment Building in Sweden. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 146. pp. 98-110. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817313580>. ISSN 0378-7788.
25. MAGNI, Mara, et al. Detailed Cross Comparison of Building Energy Simulation Tools Results using a Reference Office Building as a Case Study. *Energy and Buildings*, 2021, vol. 250. pp.

111260. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821005442>. ISSN 0378-7788.
26. WANG, Chao; LI, Xinyi and HAILONG LI, and. Role of Input Features in Developing Data-Driven Models for Building Thermal Demand Forecast. *Energy and Buildings*, 2022, vol. 277. pp. 112593. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822007642>. ISSN 0378-7788.
27. AMBER, K. P., et al. Intelligent Techniques for Forecasting Electricity Consumption of Buildings. *Energy*, 2018, vol. 157. pp. 886-893. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421830999X>. ISSN 0360-5442.
28. CHEN, Yongbao, et al. Physical Energy and Data-Driven Models in Building Energy Prediction: A Review. *Energy Reports*, 2022, vol. 8. pp. 2656-2671. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722001615>. ISSN 2352-4847.
29. XIE, Nai-ming; YUAN, Chao-qing and YANG, Ying-jie. Forecasting China's Energy Demand and Self-Sufficiency Rate by Grey Forecasting Model and Markov Model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2015, vol. 66. pp. 1-8. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061514006310>. ISSN 0142-0615.
30. AHMAD, Tanveer, et al. Smart Energy Forecasting Strategy with Four Machine Learning Models for Climate-Sensitive and Non-Climate Sensitive Conditions. *Energy*, 2020, vol. 198. pp. 117283. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422030390X>. ISSN 0360-5442.
31. LI, Yanfei, et al. Grey-Box Modeling and Application for Building Energy Simulations - A Critical Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 146. pp. 111174. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121004639>. ISSN 1364-0321.
32. ANDRIAMAMONJY, Ando; KLEIN, Ralf and SAELENS, Dirk. Automated Grey Box Model Implementation using BIM and Modelica. *Energy and Buildings*, APR 1, 2019, vol. 188. pp. 209-225.
33. Pastatų Energinis Naudingumas. Prieiga per: <https://www.ssva.lt/cms/paslaugos/pastatu-energetinis-naudingumas>.
34. Kauno Energija. Prieiga per: <https://www.kaunoenergija.lt/silumos-suvartojimas-jusu-name>.
35. IDA ICE (*Indoor Climate and Energy*).
36. *ManoApklausa.Lt.*. [žiūrėta 2023 – 04 – 10]. Prieiga per: <https://www.manoapklausa.lt/>.
37. HN 69:2003 „Šiluminis Komfortas Ir Pakankama Šiluminė Aplinka Darbo Patalpose. Parametrų Norminės Vertės Ir Matavimo Reikalavimai“. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>.
38. DAR, Usman Ijaz, et al. Influence of Occupant's Behavior on Heating Needs and Energy System Performance: A Case of Well-Insulated Detached Houses in Cold Climates. *Building Simulation*, 2015, vol. 8, no. 5. pp. 499-513. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12273-015-0230-y>. ISSN 1996-8744.

39. *PRISMA Flow Diagram*. . Prieiga per: <http://prisma-statement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram>.

40. MICROSOFT OFFICE. Microsoft Office 2011 [programinė įranga]. [žiūrėta 2023 – 03 – 10].

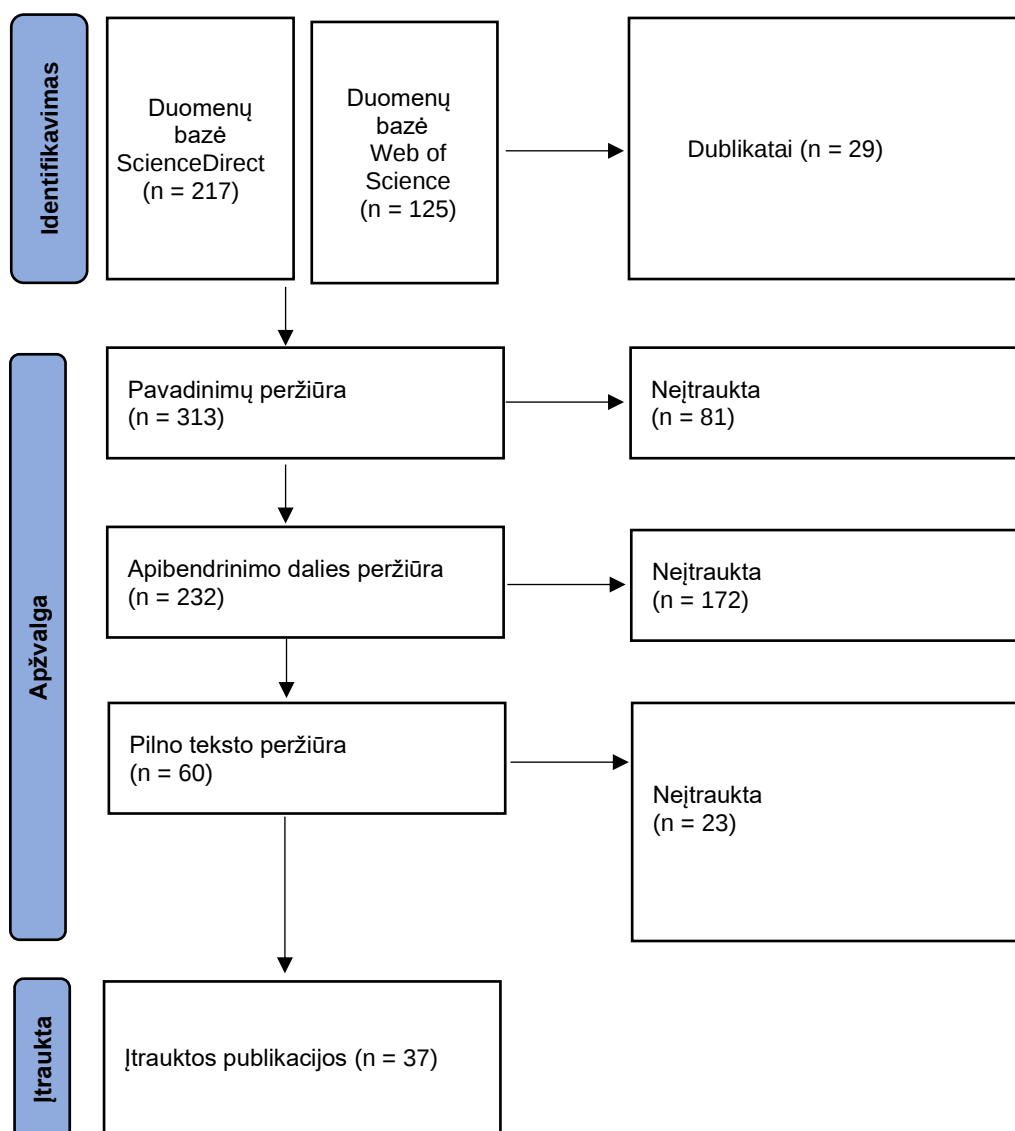
Priedai

1 priedas. Sisteminiis literatūros apžvalgos protokolas

5 lentelė. Sisteminiis literatūros apžvalgos protokolas

Tyrimo tema	Pastatų energetinio vertinimo įtakos renovacijos skatinimui analizė	
Potemės	Renovaciją stabdantys ir įtaką turintys veiksniai	Energijos naudojimo prognozavimo tyrimo metodai
Paieškos raktiniai žodžiai	Ilgalaikė renovacijos strategija (long-term renovation strategies); Renovacijos barjerai (renovation barriers);	Energijos sąnaudų prognozavimas (forecasting energy consumption); Baltoji dėžė (white box); Juodoji dėžė (black box); Pilkioji dėžė (grey box)
Sinonimai	Kliūtis (obstacle/difficulty); Įtaka (influence/impact).	Atnaujinimas (renewal/update/resumption); Prognozė (prediction); Prielaida (presumption).
Informacinių šaltinių duomenų bazės	ScienceDirect, Scopus,	
Šaltinių atmetimo kriterijai	1. Šaltinis publikuotas prieš 2018 metus (išskyrus teisinę bazę) 2. Šaltinis nerecenzuotas 3. Neprieinamas pilno teksto dokumentas	
Šaltinių tinkamumo kriterijai	1. Šaltinis publikuotas nuo 2018 metų (išskyrus teisinę bazę) 2. Šaltiniai turintys raktinių žodžių 3. Galimas pilno teksto dokumentas	

2 priedas. Sisteminė literatūros apžvalga pagal PRISMA metodą



27 pav. Literatūros apžvalga pagal PRISMA metodą [39]

3 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 65 namo prieš ir po renovacijos etapo

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0456-0289
Išdavimo d.	2014-08-20
Galiojimo d.	2024-08-20
Unikalus Nr.	1995-9003-8014
Adresas	K. Baršausko g. 65, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	E
Šildomas plotas (m²)	2420.8
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	279.14
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	234.61
CO ₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	
Šilumos šaltinis(-iai)	Šilumos tinklai, rankinis reguliavimas
Eksperto vardas pavardė	Šarūnas Berkmanas
Atestato Nr.	0456
TBS ⁴⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁵⁾	n/d

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0416-01398
Išdavimo d.	2018-05-18
Galiojimo d.	2028-05-18
Unikalus Nr.	1995-9003-8014
Adresas	K.Baršausko g. 65, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamieji pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	C
Šildomas plotas (m²)	2420.8
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	0
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	59.96
CO ₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	28.95
Šilumos šaltinis(-iai)	Šil.šaltinis_1: Šilumos tinklai + pastato šilumos punktas
Eksperto vardas pavardė	Saulius Kapčius
Atestato Nr.	0416
TBS ⁴⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁵⁾	n/d

28 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 65, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33]

4 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 67 namo prieš ir po renovacijos etapo

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0132-1302
Išdavimo d.	2013-06-25
Galiojimo d.	2023-06-25
Unikalus Nr.	1995-7004-0012
Adresas	K.Baršausko g. 67, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	E
Šildomas plotas (m²)	2063.83
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	295.21
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	249.21
CO ₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	
Šilumos šaltinis(-iai)	Šilumos tinklai, rankinis reguliavimas
Eksperto vardas pavardė	Ilona Kojelienė
Atestato Nr.	0132
TBS ⁴⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁵⁾	n/d

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0608-00019
Išdavimo d.	2020-06-10
Galiojimo d.	2030-06-10
Unikalus Nr.	1995-7004-0012
Adresas	K. Baršausko g. 67, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamieji pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	B
Šildomas plotas (m²)	2049.84
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	0
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	65.76
CO ₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	29.47
Šilumos šaltinis(-iai)	Šildymas: Šilumos tinklai + pastato šilumos punktas
Eksperto vardas pavardė	Andrius Vaitkūnas
Atestato Nr.	0608
TBS ⁴⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁵⁾	n/d

29 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33]

5 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 92 namo prieš ir po renovacijos etapo

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0132-1305
Išdavimo d.	2013-06-25
Galiojimo d.	2023-06-25
Unikalus Nr.	1996-1005-1076
Adresas	K.Baršausko g. 92, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	E
Šildomas plotas (m ²)	1041.58
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m ² /metai)	470.98
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m ² /metai)	424.98
CO ₂ kiekis ³⁾ (kg/m ² /metai)	
Šilumos šaltinis(-iai)	Šilumos tinklai, rankinis reguliavimas
Eksperto vardas pavardė	Ilona Kojelienė
Atestato Nr.	0132
TBS ⁴⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁵⁾	n/d

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0615-00021
Išdavimo d.	2019-10-18
Galiojimo d.	2029-10-18
Unikalus Nr.	1996-1005-1076
Adresas	K.BARŠAUSKO 92, 51442 Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamieji pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	C
Šildomas plotas (m ²)	1794.55
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m ² /metai)	0
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m ² /metai)	32.9
CO ₂ kiekis ³⁾ (kg/m ² /metai)	22.81
Šilumos šaltinis(-iai)	Šil.šaltinis_1: Šilumos tinklai + pastato šilumos punktas
Eksperto vardas pavardė	Rolandas Moksvytis
Atestato Nr.	0615
TBS ⁴⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁵⁾	n/d

30 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 92, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33]

6 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 69 namo prieš ir po renovacijos etapo

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0411-0036
Išdavimo d.	2013-12-12
Galiojimo d.	2023-12-12
Unikalus Nr.	1996-1004-6016
Adresas	K. Baršausko g. 69, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	E
Šildomas plotas (m²)	1271.59
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	338.78
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	292.78
CO₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	
Šilumos šaltinis(-iai)	Šilumos tinklai, rankinis reguliavimas
Eksperto vardas pavardė	Gediminas Zakšauskas
Atestato Nr.	0411
TBS ⁵⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁶⁾	n/d

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0406-2188
Išdavimo d.	2016-11-24
Galiojimo d.	2026-11-24
Unikalus Nr.	1996-0006-0014
Adresas	K. Baršausko g. 69, Kaunas, Kauno r. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	C
Šildomas plotas (m²)	1271.59
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	137.13
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	95.08
CO₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	
Šilumos šaltinis(-iai)	Šilumos tinklai, automatinis reguliavimas
Eksperto vardas pavardė	Genadijus Mikšys
Atestato Nr.	0406
TBS ⁵⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁶⁾	n/d

31 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 67, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas prieš ir po renovacijos [33]

7 priedas. Pastato energinio naudingumo sertifikatas K. Baršausko g. 88 namo prieš renovacijos etapą

PASTATO ENERGINIO NAUDINGUMO SERTIFIKATAS

Nr. KG-0132-1304

Unikalus pastato Nr.:	1096-1005-1059
Pastato adresas:	K.Baršausko g. 88, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis:	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)
Pastato naudingasis plotas:	1510,52 m ²

Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas į klases*:

Nustatyta pastato energinio naudingumo klasė:

E

* A++ klasė yra laikoma aukščiausia, nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą, G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą

Skačiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto:	355,90 kWh/(m ² ×metai)
Pagrindinis pastato šildymui naudojamas šilumos šaltinis:	Šilumos tinklai, rankinis reguliavimas
Energijos sąnaudos pastato šildymui:	309,90 kWh/(m ² ×metai)
Sertifikato išdavimo data:	2013-06-25
Sertifikato galiojimo terminas:	2023-06-25

Sertifikatą išdavė ekspertas

Ilona Kojelienė

Atestato Nr.0132

40117

Kopija tik

Kauno miesto savivaldybės administracijos Energetikos skyriaus vedėjas

Algirdas Vaitiekūnas

2013-06-25

32 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaunas, energinio naudingumo sertifikatas prieš renovaciją

8 priedas. SSVA pateikiamas išrašas K. Baršausko g. 88 namo po renovacijos etapo

Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro

Sertifikato Nr.	KG-0314-00871(1)
Išdavimo d.	2016-10-13
Galiojimo d.	2026-10-13
Unikalus Nr.	1996-1005-1059
Adresas	K. Baršausko g. 88, Kaunas, Kauno m. sav.
Pastato paskirtis	Kiti gyvenamieji pastatai (namai)
Energinio naudingumo klasė	B
Šildomas plotas (m²)	1510.52
E.sąnaudos ¹⁾ (kWh/m²/metai)	0
E.sąnaudos šildymui ²⁾ (kWh/m²/metai)	52.42
CO₂ kiekis ³⁾ (kg/m²/metai)	33.74
Šilumos šaltinis(-iai)	Šil.šaltinis_1: Šilumos tinklai + pastato šilumos punktas
Eksperto vardas pavardė	Andrius Kirklys
Atestato Nr.	0314
TBS ⁵⁾	☐
Pastato projektavimas ir (ar) statyba ir (ar) modernizavimas finansuojama LR ir (ar) ES biudžeto lėšomis ⁶⁾	n/d

33 pav. Gyvenamosios paskirties pastato K. Baršausko g. 88, Kaunas, energinio naudingumo sertifikavimo išrašas po renovacijos [33]