VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Indrė Jankauskaitė

ADMINISTRACINIO PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMAS IR ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBĖS

Baigiamasis magistro darbas

Pastatų energijos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas ***6211EX059***

Energijos inžinerijos specializacija

Energijos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
Artur Rogoža
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Indrė Jankauskaitė

ADMINISTRACINIO PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMAS IR ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBĖS

ASSESSMENT OF THE MODERNIZATION OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING AND OPPORTUNITIES TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

Baigiamasis magistro darbas

Pastatų energijos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas ***6211EX059***

Energijos inžinerijos specializacija

Energijos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas *dr. doc. K. Valančius* _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas *dr. lekt. Aušra Žemienė* _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2021

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Pastatų energijos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Administracinio pastato modernizavimo vertinimas ir energinio efektyvumo didinimo galimybės**

Autorius **Indrė Jankauskaitė**

Vadovas **Kęstutis Valančius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Atnaujintų pastatų vertinimui keliama daug tikslų, kuriuos apibūdina skirtingi vertinimo rodikliai. Siekiant tiksliau įvertinti pastatų atnaujinimą ir ateityje vykdomų energijos efektyvumo galimybių tobulinimą, taikomi natūriniai bandymai ir kompiuteriniai modeliavimai, kurie padeda priimti racionalesnius sprendimus.

Šio darbo tikslas - esamo modernizuoto administracinės paskirties pastato pagrindu atlikti natūrinius bandymus modernizavimo atliekant šilumos perdavimo koeficiento ir oro parametrų nustatymą. Naudojant tyrimo metu surinktus duomenis apie analizuojamus pastatus energijos sąnaudas bei pastato parametrus prieš ir po modernizavimo, kompiuterine modeliavimo priemone „DesignBuilder“ atlikti imitacinių modelių validavimą pagal turimas metines šilumos, vėsinimo bei vėdinimo sąnaudas atitinkamai kiekvienam pastatui. Pagal duomenų ir rezultatų analizę atliktas energinio efektyvumo didinimo priemonių bei papildomų veiksnių analizė ir kiekybinis vertinimas. Teorinėje dalyje aptariama statinių klasifikaciją pagal pastato paskirtį skirtinguose teisiniuose reglamentuotuose aktuose, analizuojami pastatų modernizavimo metodai, bei aptariamos energinio efektyvumo galimybės. Analitinėje darbo dalyje pateikiam pagrindinė informacija apie tyrimui naudojamą metodiką. Svarbiausia tyrimo išvada – pastate įdiegtos ŠVOK sistemos bei išorinių atitvarų atnaujinimas, pagerinimo pastato mikroklimato parametrus ir užtikrino komfortą patalpose, po modernizavimo šilumos energijos poreikiai sumažėjo net 66%.

Darbo apimtis – 84 p. teksto be priedų, 51 iliustracija, 15 lentelė, 68 bibliografiniai šaltiniai. Pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: modernizavimas, energinis efektyvumas, natūriniai matavimai, šilumos perdavimo koeficientas, energijos sąnaudos, DesinBuilder, EnergyPlus

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

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

Master Degree Studies **Building Energy Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Assessment of the Modernization of the Administrative Building and Opportunities to Increase Energy Efficiency**

Author **Indrė Jankauskaitė**

Academic supervisor **Kęstutis Valančius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The evaluation of renovated buildings has many objectives, which are characterized by different evaluation indicators. To more accurately assess the renovation of buildings and the improvement of future energy efficiency options, in-kind measurements and computer modelling is used, which helps to make more rational decisions.

This work aims to perform field tests of modernization based on the existing modernized administrative building by determining the heat transfer coefficient and air parameters. Using the data collected during the research on the energy consumption of the analysed buildings and building parameters before and after the modernization, the computer modelling tool „DesignBuilder" to validate the simulation models according to the available annual heating, cooling and ventilation costs for each building. Based on the analysis of data and results, the analysis and quantification of energy efficiency improvement measures and additional factors were performed. The theoretical part discusses the classification of buildings according to the purpose of the building in different legal regulations, analyses the methods of building modernization, and discusses the possibilities of energy efficiency. In the analytical part of the work, we provide basic information about the methodology used in the research. The main conclution of the study - after the administrative building renovation the installation of a wake system and the renovation of external partitions led to a 66 percent reduction in heat energy needs, improving the building's microclimate parameters and ensuring comfort in the premises.

Thesis consists of 84 p. text without appendixes, 51 pictures, 15 tables, 68 bibliographical entries. Work attachments are included.

Keywords: modernization, energy efficiency, natural measurements, heat transfer coefficient, energy consumption, DesignBuilder, EnergyPlus

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Indrė Jankauskaitė, 20190960
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Aplinkos inžinerijos fakultetas
(Fakultetas)
Pastatų energijos inžinerija, PEImf-19
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2021 m. gegužės 26 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Administracinio pastato modernizavimo vertinimas ir energinio efektyvumo didinimo galimybės“ patvirtintas 2021 m. kovo 04 d. dekano potvarkiu Nr. 39ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas docentas daktaras Kęstutis Valančius.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas) Indrė Jankauskaitė
(Vardas ir pavardė)

SUTIKIMAS DĖL ASMENS DUOMENŲ NAUDOJIMO

2020-05-26
(Data)

Šiuo sutikimu aš, Indrė Jankauskaitė (toliau – Duomenų subjektas) sutinku, kad Vilniaus Gedimino technikos universitetas, juridinio asmens kodas 111950243, adresas Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius (toliau – Duomenų valdytojas), tvarkytų mano asmens duomenis kitų studentų mokymosi tikslu. T. y. tvarkytų (*pažymėkite tinkamą*):

☐ vardą, pavardę, bakalauro baigiamąjį darbą;
☐ bakalauro baigiamąjį darbą, nenurodant vardo, pavardės;
☐ vardą, pavardę, magistro baigiamąjį darbą;
☒ magistro baigiamąjį darbą nenurodant vardo, pavardės.

Šiuo tikslu tvarkomų asmens duomenų Duomenų valdytojas neperduos jokiems tretiesiems asmenims, studentams su baigiamaisiais darbais bus leidžiama susipažinti vidinėje informacinėje sistemoje. Duomenų subjekto asmens duomenys šiuo tikslu bus naudojami ne ilgiau nei 5 metai.

Šiuo sutikimu Duomenų subjektas patvirtina, kad yra supažindintas su šiomis teisėmis:

- Susipažinti su savo duomenimis ir kaip jie yra tvarkomi (teisė susipažinti);
- Reikalauti ištaisyti arba, atsižvelgiant į asmens duomenų tvarkymo tikslus papildyti asmens neišsamius asmens duomenis (teisė ištaisyti);
- Savo duomenis sunaikinti arba sustabdyti savo duomenų tvarkymo veiksmus (išskyrus saugojimą) (teisė sunaikinti ir teisė „būti pamirštam“);
- Reikalauti, kad asmens duomenų valdytojas apribotų asmens duomenų tvarkymą (teisė apriboti);
- Teise į duomenų perkėlimą (teisė perkelti);
- Nesutikti, kad būtų tvarkomi asmens duomenys, kai šie duomenys tvarkomi ar ketinami tvarkyti kitais tikslais;
- Pateikti skundą Valstybinei duomenų apsaugos inspekcijai;

Duomenų subjektas turi teisę bet kuriuo metu atšaukti savo sutikimą.

Indrė Jankauskaitė
[Duomenų subjekto vardas, pavardė, parašas]

Duomenų valdytojo rekvizitai:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Juridinio asmens kodas: 111950243
Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius
Tel. (8 5) 274 5030
Faks. (8 5) 270 0112
El. paštas: vgtu@vgtu.lt
PVM mokėtojo kodas: LT119502413
Duomenų apsaugos pareigūno tel. (8 5) 251 2191, el. paštas: dap@vgtu.lt

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(parašas)

Artur Rogoža
(vardas, pavardė)

2021 _____mėn. _____ d.

Energijos inžinerija studijų kryptis

Pastatų energijos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas ***6211EX059***

Energijos inžinerijos specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS
2020. 10. 10. Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) ..... *Indrei Jankauskaitei* .....….....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *ADMINISTRACINIO PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMAS IR ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBĖS*

.....

patvirtinta 2021m. kovo mėn. 04 d. dekano įsakymu Nr. *39ap*

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2021 m. gegužės mėn. 26 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti moksliniuose tyrimuose ir praktikoje naudojamų pastatų modernizavimo vertinimui naudojamų tyrimų ir taikomų metodų apžvalgą. Išanalizuoti energijos efektyvumo vertinimo bei energijos vartojimo rodiklius.
Įvertinti esamo pastato būklę, surinkti ir apibendrinti tiriamojo pastato energinius duomenis bei atlikti išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų ir oro parametrų natūrinius matavimus.
Sudaryti analizuojamojo pastato prieš ir po modernizavimo kompiuterinius modelius ir validuoti juos remiantis faktinėmis energijos sąnaudomis.
Naudojant surinktus, išmatuotus ir sumodeliuotus duomenis, atlikti energinio efektyvumo didinimo priemonių bei papildomų veiksnių analizę ir kiekybinį vertinimą.

.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: ……*…dr. lekt. Aušra Žemienė ……*…….
(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Vadovas ....*Doc. dr. Kęstutis Valančius*.....
(Parašas) (Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..
(Parašas)

Indrė Jankauskaitė
(Vardas, pavardė)

……2020. 10. 11……...
(Data)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 10
LENTELIŲ SĄRAŠAS 12
TRUMPINIŲ/PAAIŠKINIMŲ SĄRAŠAS 13
ĮVADAS 14
1. ADMINISTRACINĖS PASKIRTIES PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMO METODIKOS IR ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMO PRIEMONIŲ APŽVALGA 16
1.1. Statinių klasifikavimas pagal naudojimo paskirtį 16
1.2. Negyvenamųjų pastatų modernizacija Lietuvoje ir užsienyje 18
1.3. Pastatų energinio naudingumo vertinimas 26
1.4. Pastatų energinio vartojimo rodikliai 30
1.5. Mažai energijos vartojantis pastatas 32
1.6. Energinio efektyvumo didinimo galimybės pastatuose 32
1.7. Kompiuterinis modeliavimas ir pritaikymas pastatams 34
1.8. Pirmojo skyriaus išvados 36
2. PASTATO ENERGINIO EFEKTYVUMO MODERNIZAVIMO GALIMYBIŲ VERTINIMO METODIKA 38
2.1. Naudota metodologija ir tyrimo prielaidos 38
2.2. Tyrimo objektas 39
2.3. Pastato aktyviųjų ir pasyviųjų energinių sistemų aprašymas bei energijos sąnaudos 41
2.4. Natūriniai „A“ pastato matavimai 46
2.4.1. Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento ir mikroklimato parametrų nustatymas 47
2.4.2. Norminės patalpų mikroklimato ir šilumos perdavimo koeficiento reglamentuotos vertės 49
2.4.3. Matavimo prietaisai 49
2.5. Programinės įrangos „*Designbuilder*“ apžvalga 51
2.6. Antrojo skyriaus išvados 52
3. NATŪRINIAI TYRIMŲ REZULTATAI, „D“ IR „A“ PASTATŲ TEORINIŲ MODELIŲ KŪRIMAS 53
3.1. Natūrinių „A“ pastato matavimų rezultatai 53
3.2. Pirminiai skaitmeninio pastato modelio įvesties duomenys 56
3.2.1. Geometrija ir zonavimas 57
3.2.2. Pastato naudojimo režimai 60
3.2.3. Pastato mikroklimato sistemų darbo režimai 63
3.3. Trečiojo skyriaus išvados 65

4. „D“ IR „A“ PASTATŲ ENERGININIO EFEKTYVUMO GALIMYBIŲ IR MODERNIZAVIMO VERTINIMO REZULTATAI....66
4.1. Komforto sąlygų palaikymo analizė....66
4.2. Šilumos pritekėjimai dėl saulės spinduliuotės....68
4.3. Pastatų šilumos energijos poreikių analizė....69
4.4. Elektros energijos sąnaudos apšvietimui ir kitiems elektros įrenginiams....71
4.5. Vėsinimo elektros sąnaudos....72
4.6. Vėdinimo sąnaudos „A“ pastate....73
4.7. Pastatų nuo „D“ iki „A“ modernizavimo priemonių energinis efektyvumo vertinimas ir analizė....74
IŠVADOS....78
LITERATŪROS SĄRAŠAS....80
PRIEDAI....85

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Negyvenamųjų pastatų kategorijų pasiskirstymas ES (EPNI *Marina Economidou*, 2020) 17
2 pav. „*Powerhouse Kjørbo*" pastato nuotraukos (*Mads Mysen, 2015)*: 20
3 pav. Vienos Technologijų universiteto administracinis pastato nuotraukos (Prof. Dr. *Thomas Bednar*, 2015 m*)*: 21
4 pav. „*Rockwool International Office Building "Center 2*" pastato nuotraukos (*Arne Førland Larsen*, 2016): *1 – prieš renovaciją; 2 – po renovacijos*.....21
5 pav. *„Schüco Italian Headquarters"* pastato nuotrauka (*Ezilda Costanzo*, 2009*)* 22
6 pav. *„Bruck/Mur"* apygardos teismo ir mokesčių tarybos administracinės paskirties pastato nuotraukos (*Sophie Grünewald 2015)*: *1 – po renovacijos; 2 – prieš renovaciją; 3 – į fasadą integruotos saulės energiją kaupiančios konstrukcijos* 22
7 pav. Vienas iš Dr. R. Volvačiono disertacijoje nagrinėjamų pastatų (R. Volvačiovas, 2014):.....24
8 pav. Išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų nustatymo schema 25
9 pav. Energijos vartojimo efektyvumas (sudaryta autoriaus remiantis *C. Filippín and S. F. Larsen*, 2009) .27
10 pav. Pastate sunaudojamos energijos kiekis (sudaryta autoriaus remiantis *Lingyan Li, Yao wang et al.*, 2021).....31
11 pav. Bakų universiteto administracinės paskirties pastato teorinis modelis (J. Tere-Zubiaga at al., 2017). 35
12 pav. Viešosios paskirties) pastatas Vienoje - *Viena international Center* (VIC (V. Motuzienė, 2010) ...35
13 pav. Tyrimo metodika.....39
14 pav. Pastatas prieš renovaciją (nuotr. autoriaus).....40
15 pav. Pastatas po renovacijos (nuotr. autoriaus).....40
16 pav. Šilumos sąnaudos patalpų šildymui (2016 m.).....41
17 pav. Pastato elektros energijos sąnaudos (2016 m.).....42
18 pav. „A" pastato šildymo – vėsinimo sistema: 1 – ant stogo sumontuoti vėsinimo įrenginiai; 2 – pastato viduje sumontuotas šilumos siurblys oras – vanduo; 3 – grindinis šildymo įrengimas darbų vykdymo eigoje (nuotr. autoriaus) 43
19 pav. Vėdinimo įrenginys (nuotr. autoriaus) 43
20 pav. „A" pastato metinės elektros energijos sąnaudos šildymui, vėsinimui ir vėdinimui (2020 m. duomenys) 44
21 pav. Saulės elektrinė prijungta prie tinklo (sudaryta aut.) 44
22 pav. Įrenginiai sumontuoti ant pastato stogo: 45
23 pav. Ištrauka iš *SolarEdge* gamintojo programos (ištrauka iš *SolarEdge* programos): 45
24 pav. Elektros energijos poreikiai po renovacijos (2020 m. duomenys) 46
25 pav. Pastato mikroklimato parametrų ir šiluminių charakteristikų nustatymo, eksperimento būdu natūrinis modelis 47

26 pav. Pastato mikroklimato parametrų ir šiluminių charakteristikų nustatymo, eksperimentui naudota įranga 50
27 pav. Skaičiavimo eigos sekos modelis (sudaryta aut.) 52
28 pav. Vidaus ir išorės oro temperatūros rodiklių dinamika visą matavimo laikotarpį 53
29 pav. Šilumos srauto matavimai visą tyrimo laikotarpį 54
30 pav. Pastato išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų palyginimas 55
31 pav. Faktiniai savitieji šilumos nuostoliai per pastato išorines atitvaras 56
32 pav. Modelio įvesties duomenys **„***DesignBuilder“* modeliavimo programoje 56
33 pav. „D“ pastato vizualizacija (ištrauka iš *DesignBuilder)* 57
34 pav. „A“ pastato vizualizacija (ištrauka iš *DesignBuilder*) 57
35 pav. Pastato aukštų išplanavimas 58
36 pav. *DesignBuilder* programoje nustatoma vietovė (ištrauka iš *DesignBuilder*) 58
37 pav. *DesignBuilder* zonų išdėstymas (ištrauka iš *DesignBuilder*) 60
38 pav. Žmonių užimtumo grafikas darbo kambariuose (ištrauka iš *DesignBuilder*) 60
39 pav. Komforto sąlygų „D“ pastato parametrai 66
40 pav. Komforto sąlygų parametrai pastato po renovacijos (modeliavimas) 67
41 pav. Saulės pritekėjimai po ir prieš renovaciją 68
42 pav. „D“ pastato faktinės šiluminių sąnaudos ir sumodeliuoti poreikiai *DesignBuilder* programoje 69
43 pav. Elektros energijos sąnaudos šildymui 70
44 pav. Metinės šilumos energijos sąnaudos „D“ ir „A“ pastatuose 71
45 pav. Elektros energijos apšvietimui ir kitiems elektrą vartojantiems įrenginiams sąnaudų ir poreikių validavimo palyginimas 72
46 pav. Elektros energijos vėsinimui sąnaudų ir poreikių validavimo palyginimas 73
47 pav. Elektros energijos vėdinimui sąnaudų ir poreikių validavimas (palyginimas) 73
48 pav. Šilumos perdavimo koeficientai (palyginimas) 74
49 pav. Šilumos energijos sąnaudos (palyginimas) 75
50 pav. Elektros energijos sąnaudos 76
51 pav. Saulės elektrinės gamyba ir bendras elektros suvartojimas (remiantis 2019 m duomenimis) 77

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Energinės nagrinėjamų pastatų sistemos (TEA, 2020).....23
2 lentelė. Pastatų energijos vartojimo sumažėjimo rodiklių analizė (TEA, 2020).....24
3 lentelė. Tyrimo objektai.....38
4 lentelė Vidaus ir išorės šiluminės varžos R_{si} *ir* R_{se} , $m^2 \cdot K/W$.....48
5 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientai (STR 2.01.02:2016).....49
6 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientai.....59
8 lentelė. Darbo kabinetų parametrai ir jų nustatymai.....61
9 lentelė. Bendros biurų patalpos parametrai ir jų nustatymai.....61
10 lentelė. Buitinių patalpų parametrai ir jų nustatymai.....62
11 lentelė. Koridoriaus ir laiptinių parametrai ir jų nustatymai.....62
12 lentelė. Virtuvės parametrai ir jų nustatymai.....63
13 lentelė. Wc parametrai ir jų nustatymai.....63
14 lentelė Šildymo sezono grafikas.....64
15 lentelė Vėsinimo sezono grafikas.....65

TRUMPINIŲ/PAAIŠKINIMŲ SĄRAŠAS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

AM – Aplinkos ministerija

APVA – aplinkos projektų valdymo agentūra

COP – šildymo energijos vartojimo naudingumo koeficientas

EBPO – Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija

EER – šaldymo energijos vartojimo naudingumo koeficientas

EK – Europos komisija

EN – energijos naudingumo sertifikato žymėjimas

EPNI – Europos pastatų našumo institutas

ES - Europos Sąjunga

EVED – energijos vartojimo efektyvumo direktyva

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos

JTAAP – Jungtinių Tautų Aplinkos apsaugos programa

LR – Lietuvos Respublika

PEND – pastatų energinio naudingumo direktyva

PV – fotoelektros sistema

SCOP – bendras įrenginio veiksmingumo koeficientas, atitinkantis visą nustatytą šildymo sezoną

SEER – bendras įrenginio energijos vartojimo efektyvumo koeficientas per visą vėsinimo sezoną

SRT – Statybinis techninis reglamentas

SŠAP – Saulės šildymo ir aušinimo programa

ŠESD – šiltnamio efekta sukeliančios dujos

ŠVOK - Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas

TEA – Tarptautinė energetikos agentūra

TPK – Tarptautinis pastatų kodeksas

SE – saulės elektrinė

ĮVADAS

Problemos formavimas

Pastatų atnaujinimas (modernizavimas) yra vienas iš labiausiai nagrinėjamų sričių Europos Sąjungoje, šios temos pagrindu įsigaliojo 2010/31/ES direktyva dėl pastatų energinio naudingumo. Pastatų energinis efektyvumas ir patalų mikroklimato parametrai yra svarbiausios priežastys, kurios lemia pastatų modernizavimą. Energiją taupantys pastatai suteikia galimybę sutaupyti pinigų ir sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, todėl skatinama domėtis ir aktyviai dalyvauti pastatų atnaujinimo procesuose.

Atnaujintų pastatų vertinimui keliama daug tikslų, kuriuos apibūdina skirtingi vertinimo rodikliai. Siekiant tiksliau įvertinti pastatų atnaujinimą ir ateityje vykdomų energijos efektyvumo galimybių tobulinimą, taikomi natūriniai ir kompiuteriniai modeliavimai, kurie padeda priimti racionalesnius sprendimus. Tiriamajame darbe atlikti natūriniai matavimai bei validuoti skaitmeniniai modeliai leidžia atlikti tolimesnį pastato modernizavimo vertinimą analizuojant kitus parametrus. Darbe taikoma metodika gali būti panaudota kitiems pastatams vertinant modernizavimo galimybes, nepriklausomai nuo jo paskirties.

Darbo aktualumas

Pasaulyje pastatų sektorius, palyginti su kitais sektoriais, sunaudoja daugiausiai energijos (apie 42 proc.). Viena iš tokios priežasčių yra tai, kad žmonės daugiau nei 90 proc. laiko praleidžia pastatuose (ES, 2010). Didėjant urbanizacijai, besivystančiose šalyse, miestuose, didėja ir pastatų skaičius bei jų dydis, todėl didėja ir elektros energijos bei kitos energijos rūšies poreikis.

Statybos sektorius sparčiai auga, investuodamas 30–40 % visų pasaulinių pagrindinių išteklių. Šiandien pastatai tapo trečiuoju pagal dydį iškastinės energijos vartotoju po pramonės ir žemės ūkio. Europos Komisijos iniciatyva (2018) sukurta programa „*Asia-Link*“, kuria siekiama skleisti žinias apie tvarią sukurtą aplinką, naudojant beveik nulinės energijos metodą. Šioje tvarios sukurtos aplinkos programoje skatinama integruoti patikrintas atsinaujinančios energijos technologijas pastato įvairioms reikmėms, pavyzdžiui vandens šildymui, šildymui / vėsinimui ir elektros gamybai.

Daugelis mokslininkų ieško būdų, kaip gerinti techninius, ekonominius ir fizinius sprendinius pastatų atnaujinimo sprendinius, kaip valdyti ir vykdyti pastatų renovacijos procesą (*M. Fesanghary, S. Asadi, ir Z. W. Geem*, 2012). Atsižvelgiant į pastatų atnaujinimo trukmės ir ekonomiškumo pranašumus, palyginti su naujomis statybomis, daugėja projektų, kurie pirmenybę teikia modernizavimo darbams, o ne naujoms statyboms (*Cho, K., Kim, J., ir Kim, T.*, 2019).

Tyrimo objektas

Darbo tyrimų objektas – realus administracinės paskirties modernizuotas pastatas, esantis Kauno miesto savivaldybėje, V. Krėvės pr. 120.

Darbo tikslas – esamo modernizuoto administracinio pastato pagrindu, naudojant surinktus, išmatuotus ir sumodeliuotus duomenis, atlikti energinio efektyvumo didinimo priemonių bei papildomų veiksnių analizę ir kiekybinį vertinimą.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti išsikelti šie uždaviniai:

1. Atlikti moksliniuose tyrimuose ir praktikoje naudojamų pastatų modernizavimo vertinimui tyrimų ir taikomų metodų apžvalgą. Išanalizuoti energijos efektyvumo vertinimo bei energijos vartojimo rodiklius. Aptarti pastatų energinio efektyvumo didinimo galimybes.
2. Įvertinti esamo pastato būklę, surinkti ir apibendrinti tiriamojo pastato energinius duomenis bei atlikti išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų ir oro parametrų natūrinius matavimus.
3. Sudaryti analizuojamojo pastato prieš ir po modernizavimo kompiuterinius modelius ir remiantis faktinėmis energijos sąnaudomis juos validuoti.
4. Pasiektų modeliavimo rezultatų bei esamų energijos sąnaudų pagrindu, atlikti energinio efektyvumo didinimo priemonių bei papildomų veiksnių analizę ir vertinimą.

Tyrimų metodika

Darbe atliekami natūriniai matavimai, pastato šilumos nuostolių vertinimui ir išorinių atitvaro šilumos koeficiento skaičiavimui. Energinis pastatų modeliavimas prieš modernizavimą ir po modernizavimo atliekamas naudojant *„DesignBuilder“* programą, duomenų apdorojimui ir analizei naudojama MS Excel programa.

Darbo struktūra

Teorinėje dalyje remiantis įvairiais moksliniai šaltiniai, teisiniais reglamentais ir kitais norminiais dokumentais atliekama pastatų modernizavimo vertinimo metodikos bei energinio efektyvumo didinimo galimybių apžvalga. Analitinėje darbo dalyje sudaroma darbo metodika, nurodoma pagrindinė informacija apie surinktus duomenis, natūrinius matavimus ir kompiuterinę modeliavimo programą *„DesignBuilder“*, nustatomas tyrimo modelio prielaidos, pateikiami tyrimo rezultatai.

Darbo mokslinė reikšmė

Remiantis atliktais natūriniais matavimais bei skaitmeniniais modeliais galima atlikti tolimesnį pastato modernizavimo vertinimą analizuojant kitus parametrus. Darbe taikoma metodika gali būti panaudota kitiems pastatams vertinant modernizavimo galimybes, nepriklausomai nuo jo paskirties.

Indrė Jankauskaitė

1. ADMINISTRACINĖS PASKIRTIES PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMO METODIKOS IR ENERGINIO EFEKTYVUMO DIDINIMO PRIEMONIŲ APŽVALGA

Šiame skyriuje aprašomas nagrinėjamos administracinės paskirties pastato naudojimas. Pateikiami nagrinėjami praktikoje ir moksliniuose tyrimuose taikomi pastatų modernizavimo vertinimo metodikos ir modeliai Lietuvoje bei užsienyje. Taip pat aprašomi pastatų energinio vertinimo reglamentavimai bei reikalavimai tam tikros energinės klasės pastatams, bei energinio efektyvumo modernizavimo galimybių vertinimas naudojant kompiuterines modeliavimo priemones.

1.1. Statinių klasifikavimas pagal naudojimo paskirtį

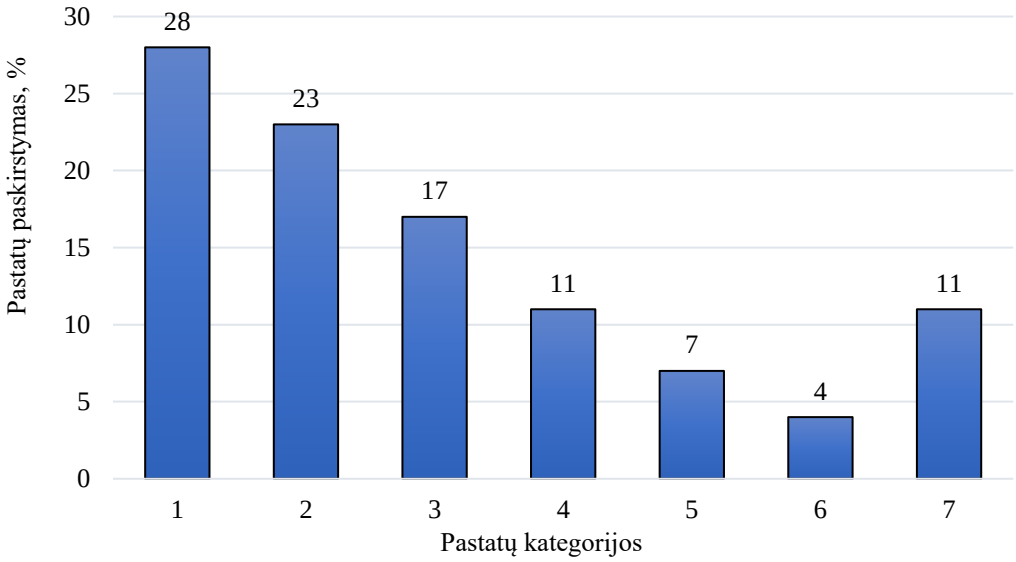
Pastatai pagal naudojimo paskirtį skirstomi į dvi grupes gyvenamuosius ir negyvenamuosius, šie apibrėžimai nurodomi statybos techniniame reglamente (toliau – STR) 2003 m. birželio 11 d. LR aplinkos ministro įsakymu Nr. 289 (STR 1.01.09:2003) bei 2018 m Tarptautiniame pastatų kodekse (toliau – TPK) (angl. k. *International Building Code*). Minėtuose techniniuose dokumentuose nustatytos pagrindinės grupės (pogrupiai) ir požymiai, pagal kuriuos nustatoma statinių naudojimo paskirtis ir statiniai skirstomi į grupes (pogrupius).

Statinys moksliniuose šaltiniuose apibrėžiamas kaip pastatas ir inžinerinis statinys, kuris turi laikančiąsias konstrukcijas, tai nekilnojamas daiktas, kurio dalys montuojamos statybų darbų metu. Pastatas apibūdinamas, statinys apdengtas stogu, patalpos sudaro didžiausią dalį. Inžinerinis statinys, tai visi statiniai, kurie nėra pastatų grupėje t. y. inžineriniai tinklai bei kanalai, susisiekimo komunikacijos, hidrotechnikos statiniai (STR1.01.03:2017; TPK, 2018; *BOMA Inernational*, 2013; Zavackas et al., 2000).

Statinio naudojimo paskirties tikslai nurodyti viešajame statinio registre t. y. žmonėms gyventi, ūkinei ar kitai veiklai vykdyti. Statinys turi atitikti saugos ir organizuojamos veiklos ar proceso privalomus reikalavimus, kurie nustatyti statinio saugos ir paskirties dokumentuose. Pastatas priskiriamas konkrečiai paskirties grupei, tik tuomet, kai visas jo plotas ar didžiausioji dalis yra panaudojama priskirtai paskirčiai. Jei pastatas yra sudarytas iš skirtingų paskirčių patalpų, formuojami kaip atskiri nekilnojamieji daiktai (maitinimo, sporto, mokslo ir kt.), o pastato naudojimo paskirtis registruojama pagal didžiausio bendro ploto patalpos paskirtį (STR 1.01.09:2003, TPK, 2018).

Remiantis Europos pastatų našumo institutu (toliau – EPNI) (angl. k. *Buildings Performance Institute Europe*), negyvenamųjų pastatų sektorių tipologija yra labai įvairi, palyginti su gyvenamaisiais pastatais, šis sektorius yra sudėtingesnis ir nevienalytis. Šiam sektoriui priklausančios kategorijos švietimo pastatai, biurai, ligoninės, viešbučiai ir restoranai, sporto objektai, didmeninės

ir mažmeninės prekybos paslaugų pastatai ir kiti energiją vartojantys pastatai (EPNI *Marina Economidou*, 2020). Negyvenamieji pastatai užima 25% viso europinio pastato ploto. Negyvenamieji pastatai priklauso privačiam arba viešajam sektoriui. Kiekvienoje iš šių kategorijų turi platų susiskirstymą tarp subkategorijų, remiantis 1 pav. (EPNI *Bogdan Atanasiu*, 2020). Parodytas šių kategorijų pasiskirstymas Europos lygmeniu. Didžiausią negyvenamųjų pastatų dalį sudaro mažmeninės ir didmeninės prekybos pastatai. Šie pastatai nuo kitų kategorijų skiriasi šildymo ir vėsinimo sąlygomis, nes dideli didmeninių pastatų plotai dažnai naudojami tik sandėliavimo tikslams.



1 pav. Negyvenamųjų pastatų kategorijų pasiskirstymas ES (EPNI *Marina Economidou*, 2020)

Pateiktame 1-ajame paveiksle vaizduojamas kategorijų pasiskirstymas: *1- individualios parduotuvės, prekybos centrai, mugės ir kongresų pastatai ir kita mažmeninė prekyba; 2- biurai privačiose įmonėse ir biurai visuose valstybės, savivaldybių ir kituose administraciniuose pastatuose; 3- pradinės ir vidurinės mokyklos, vidurinės mokyklos ir universitetai, turimų laboratorijos, profesinio mokymo veikla ir kt.; 4-viešbučiai, restoranai, barai ir kavinės, valgyklos ar kavinės įmonėse, maitinimo įstaigose ir kt.; 5- valstybinės ir privačios ligoninės, medicinos pagalbos, neįgaliųjų namai ir kt.; 6- sporto salės, baseinai, sporto klubai ir kt.; 7- sandėliavimo, transporto ir garažų pastatai, žemės ūkio pastatai, sodo pastatai.*

Biurų pastatai yra antri pagal dydį kategorija, kurių plotas atitinka ¼ viso negyvenamojo ploto. Biuruose šildymo ir vėsinimo sąlygos yra panašios į gyvenamųjų pastatų, nors jie yra trumpesnio naudojimo. Panašaus naudojimo būdas, kaip ir biuruose, yra švietimo pastatuose, kurie sudaro mažiau nei 20% viso negyvenamojo ploto, Ligoninėse (7% viso negyvenamojo ploto) energija naudojama nuolat, o energijos poreikis gali skirtis priklausomai nuo teikiamų paslaugų.

1.2. Negyvenamųjų pastatų modernizacija Lietuvoje ir užsienyje

Modernizacijos patirtis aktuali daugeliu požiūriu, statant eksploatuojant ir griaunant pastatus sunaudojama daug energijos, medžiagų ir reikalauja daug investicijų, bei daromas poveikis aplinkai. Apie darnų vystymąsi statyboje mokslininkai tyrėjai, bei šios srities specialistai šia tema kalba vis daugiau (L. Ustinovičius et al., 2012).

Statybos techniniai kodeksai apie tinkamą pastato išorinių atitvarų šilumos izoliacijos reglamentuotas normas atsirado po 1970-ųjų, tai reiškia, kad didelė dalis ES pastatų, pastatyta neatsižvelgiant į energinio naudingumo reglamentus: trečdalis (35%) ES pastatų yra apie 50 metų amžiaus, daugiau nei 40% pastatų buvo pastatyti iki 1960 m (Sandberg, 2016). Pagal dabartinius standartus 75% pastatų yra energetiškai neefektyvūs ir jiems reikalinga renovacija. Daugelis pastatų šildymui ir vėsinimui naudoja iškastinį kurą bei senas technologijas ir energiją vartojančius prietaisus. (EK, 2019). Kasmet atnaujinama tik 0,4-1,2 % pastatų - skirtingais tempais visose ES valstybėse (*Artola et al.*, 2016; EK, 2019). Esamų pastatų renovacija gali padėti sutaupyti daug energijos ir atlikti svarbų vaidmenį pereinant prie švarios energijos (IPEE, 2017).

Remiantis 2018 m. gegužės 30 d. Europos Parlamento ir Tarybos nutarta direktyva (ES) 2018/844 (Pakeitimo direktyva), kuria iš dalies keičiama Direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo (PEND) ir Direktyva 2012/27/ES dėl energijos vartojimo efektyvumo (EVED), Lietuva turi parengti ilgalaikę renovacijos strategijos planą, kuriame būtų kalbama apie nacionalinio lygio pastatų renovacijos projektų modernizavimą. Plane turi būti trys pagrindiniai etapai, bei jų vystymo strategijos: pastatų sektoriaus energija turi būti vartojama ypač efektyviai, pastatų ūkis iki 2050 m. taptų nepriklausomas nuo iškastinio kuro t. y. pastatų energijos vartojimas būtų tiekiamas tik iš atsinaujinančių energijos šaltinių, taip pat turi būti sudaromos sąlygos ekonomiškai efektyviam esamų pastatų pertvarkymui į beveik nulinės energijos pastatus (LR AM, 2020).

ES nustatė politikos tikslus ir reglamentus, siekdama užtikrinti Europos pastatų energijos vartojimo efektyvumo didinimą. Pastatų energinio naudingumo direktyva (2010/31/ES-EPBD), tai pagrindinė ES teisėkūros ir politikos priemonė, orientuota tiek į naujus, tiek į esamus pastatus (Europos Komisija, 2018). 2018 m. gegužės 30 d. Direktyva buvo peržiūrėta siekiant dviejų papildomų tikslų: iki 2050 m. paspartinti esamų pastatų atnaujinimą; finansuoti visų pastatų modernizavimą naudojant pažangias technologijas, siekiant švarios energetikos. Energijos vartojimo efektyvumo direktyvoje 2012/27/ES (EK, 2018) pastatai vaidiną svarbų vaidmenį, esamas pastatų fondas įvardijo pastatus kaip vienintelį didžiausią sektorių energijos taupymui ir ŠESD kiekio mažinimui (EK, 2016; *Stadler et al.*, 2007).

Norint pasiekti tarptautinius tikslus, susijusius su tvarumu ir energijos poreikiais, reikia atlikti esmines priemonės esamame negyvenamųjų pastatų sektoriaus fonde. 1974 m. sukurta Tarptautinė

energetikos agentūra (*angl. k. International Energy Agency*), vykdant Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija (EBPO) tarptautinei energetikos programai įgyvendinti. Pagrindinis TEA tikslas skatinti 29 TEA dalyvaujančių šalių tarptautinį bendradarbiavimą ir didinti energetinį saugumą vykdant energetinius tyrimus, plėtra ir demonstravimą energijos vartojimo efektyvumo ir atsinaujinančiųjų energijos šaltinių technologijų srityje.

1977 m. TEA sukurta programa saulės šildymo ir aušinimo programa (TEA SŠAP) (*angl. Solar heating and cooling program*). Tai viena pirmųjų Tarptautinės energetikos agentūros daugiašalių technologijų iniciatyvų. Šios programos tikslas sustiprinti žinias į saulės šildymo bei vėsinimo pritaikymą bendradarbiaujant tarptautiniu mastu, iki 2050 metų užsibrėžtiems tikslams pasiekti (TEA, 2020). Iki šiol šalyse, kurios prisideda prie TEA SŠAP yra ne daug pavyzdinių modernizavimo projektų. Norint labiau sutelkti dėmesį į esamų negyvenamųjų pastatų fondų tvarumą, reikia pasibrėžti, kas yra tvarus pastato atnaujino projektas, kokie yra pastato atnaujinimo prioritetai ir kaip juos integruoti į renovacijos procesą (projektavimas ir statybvietė). Šie minėti klausimai nagrinėjami viename iš TEA SŠAP organizuotų mokslinės konferencijos užduočių.

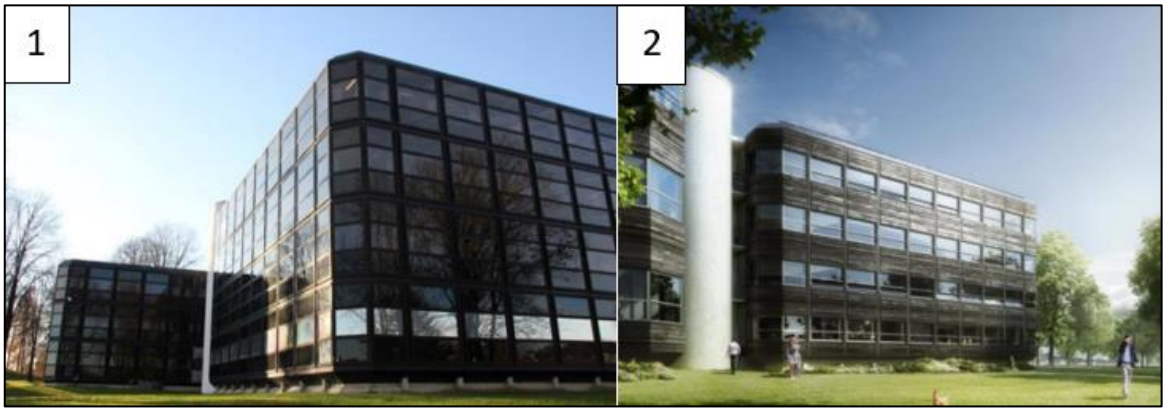
Negyvenamosios paskirties pastatų renovacijos projektuose TEA SŠAP nagrinėja energijos efektyvumo priemones, kurios gerokai sumažintų bendrą pirminės energijos suvartojimą. Dauguma nekilnojamojo turto savininkų net nežino, kad toks taupymas yra įmanomas, jie nustato pernelyg konservatyvius energijos tikslus (*Claudia Dankl*, 2016). Pastatai, kurie renovuoti „vidutiniškai“, gali būti negatyvus padarinys modernizuojant pastatą ateityje. Tarptautiniai ekspertai statybos pramonės profesionalai, tyrėjai ir vyriausybės atstovai TEA SŠAP pristatė tvarius ir ekonomiškai efektyvius sprendinius negyvenamųjų pastatų atnaujinimui (*Fritjof Salvesen, Mari Lyseid Authen*, 2015).

TEA SŠAP atlikti tyrimai, siekiant pateikti sistemą, pasirinktas priemones ir gaires, kad būtų galima gerokai sumažinti energijos naudojimą (daugiau nei 50%) vyriausybiniuose ir visuomeniniuose pastatuose. Projektas apsiribojo pastatais, kurie buvo pastatyti iki devintojo dešimtmečio su mažomis vidinėmis apkrovomis (pvz. Biurų pastatai, bendrabučiai, kareivinės, viešieji būstai ir švietimo pastatai) ir kurie buvo renovuoti. Tyrimai pateikiami iš Europos (Austrijos, Danijos, Estijos, Vokietijos, Austrijos, Latvijos, Juodkalnijos, Nyderlandų, Jungtinės Karalystės) ir JAV. Surinkti duomenys apie pastatus, buvo išanalizuoti atvejo tyrimai, atsižvelgiant į energijos naudojimą (prieš ir po modernizacijos), aptartos priežastys, dėl kurių buvo imtasi modernizacijos, pasiekta bendras naudingumas, pateikti gauti sąnaudų efektyvumo ir verslo modeliai.

Norvegijos Universiteto mokslų daktaras *Fritjof Salvesen* 2015 m. vasario mėn. 5 dienos mokslininkų konferencijoje pristatė pranešima „*Pamokos, kurių išmokta 20 negyvenamųjų pastatų renovacijos metu*“. Tyrėjas kalba apie 20-ties pastatų renovacijos projektus, kurie suskirstyti į tris kategorijas: švietimo įstaigų pastatai, biurų pastatai, istoriniai kultūros paveldo pastatai. Kiekvienam pastatui naudojama natūrinių tyrimų metodika vertinant išorinių atitvarų šilumos perdavimo

koeficientą *U* (W/m^{2}K) vertes prieš ir po modernizavimo. Visuose biurų pastatuose buvo atlikti išorinių pastato atitvarų pakeitimai. Pateikiami keletas administracinės paskirties pastatų modernizavimo vertinimo analizės projektų.

Vienas iš Norvegijos statybų tyrimų instituto mokslininkų *Dr. Mads Mysen* su komanda atliko administracinės paskirties pastato „*Powerhouse Kjørbo*", esančio Sandvikoje, Osle (2 pav.).



2 pav. „*Powerhouse Kjørbo*" pastato nuotraukos (*Mads Mysen, 2015)*:
1 – po modernizavimo; 2 – prieš modernizavimą.

Pastatas pastatytas 1980 m., iki 2015 m. nebuvo renovuotas (2 pav.). Pastato bendras plotas 5180 m^2 (vidinis plotas be išorinių sienų), suprojektuotas maždaug 240 asmenų, tai sudaro 22 m^2/ž.

Pagrindinis ***„Powerhouse"*** apibrėžimas yra – pastatas, kuris per savo gyvavimo ciklą gamina daugiau atsinaujinančios energijos, nei sunaudoja statybinėms medžiagoms gaminti, statybai, eksploatavimui ir griovimui (*Thyholt*, 2012). Nagrinėjamo pastato tikslas atnaujinti išorines sienas, sumažinti stogo nesandarumą, susidėvėjusius langus pakeisti naujais stiklo paketais, ant esamų pastogių sudėta visiškai naujo stogo danga su 140 mm izoliacija, dideli stoglangiai pakeisti į mažesnius dvigubo stiklo paketo stoglangius. Esamoje sienoje buvo 30 mm izoliacija, modernizuojant pastatą pridėtas 220 mm izoliacijos sluoksnis. Pastato pamatas neturėjo izoliacijos, todėl išorėje pridėta 160 mm izoliacija (*Mads Mysen,* 2015*)*.

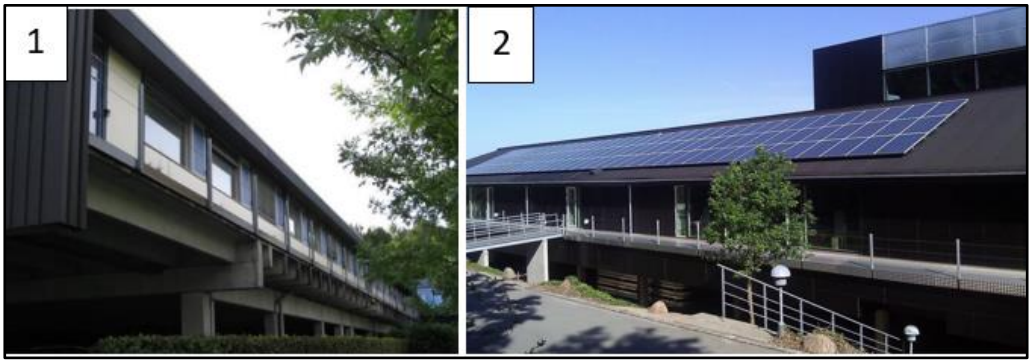
Austrijos Technologijų universiteto mokslininkas Prof. Dr. *Thomas Bednar* parengė Vienos Technologijų universiteto administracinis pastato (3 pav.), esančio Austrijoje, Vienoje, modernizavimo projektą.

3 pav. Vienos Technologijų universiteto administracinis pastato nuotraukos (Prof. Dr. *Thomas Bednar*, 2015 m*)*: *1 – po modernizavimo; 2 – prieš modernizavimą; 3 – į fasadą integruoti saulės moduliai*

Pastatas pastatytas 1969 m., renovuotas 2015 m., bendras plotas 13 500 m^2 , suprojektuotas maždaug 1 800 asmenų. Po renovacijos pastatas tapo didžiausiu efektyvios energijos vartojančiu pastatu Austrijoje su didžiausia fasade integruota fotovoltine sistema.

„*TU Vienna Plus Energy*“ pastate įgyvendintos stogo, sienų, langų ir grindų atnaujinimo priemonės. Sienos su PV plokštėmis pavyzdys parodytas 3-čiame paveiksle. Sieną sudaro tinkas 10 mm, lengvas betonas 325 mm, betono mišinys 105 mm, oro nepraleidžianti užtvara 2 mm, fasado izoliacinė sienų plokštė 180 mm, fasado šiltinimo sienų plokštė 160 mm, neperpučiamas barjeras 130 mm ir stiklas su PV moduliu 13 mm (*Thomas Bednar*, 2015).

Norverų mokslų daktaras, architektas *Arne Førland Larsen* parengė „*Rockwool International Office Building “Center 2*” renovacijos analizę (4 pav.), esančio Hedehusene, Danijoje. ***P***astato statybos metai 1979 m., atnaujinimo tikslas buvo pagerinti energinį naudingumą, kad jis atitiktų būsimą 2016 m. Danijos naujų energijos naudingumo pastatų klasę, ir pasiekti aukštos kokybės biuro darbo erdvę.



4 pav. „*Rockwool International Office Building “Center 2*” pastato nuotraukos (*Arne Førland Larsen*, 2016): *1 – prieš renovaciją; 2 – po renovacijos*

Nagrinėjamame pastate sumontuoti nauji fasadai su trijų sluoksnių langais. Stovėjimo aikštelėje buvo įrengta papildoma 180 mm didelio tankio mineralinės vatos izoliacija ir granulės. Sienų

konstrukcija susideda iš gipso plokštės, 170 mm mineralinės vatos, faneros, 300 mm mineralinės vatos, akmens sienų plokščių (*Arne Førland Larsen*, 2016).

Italijos nacionalinės naujųjų technologijų, energetikos ir tvarios ekonominės plėtros agentūros mokslininkė Dr. *Ezilda Costanzo* atliko įmonės *„Schüco Italijos būstinės" (angl. Schüco Italian Headquarters)* pastato vertinimą (5 pav.), esančio Pauda, Italijoje. Įmonė *„Schüco"* yra langų, durų, fasadų ir įrenginių iš saulės energijos sprendimų kūrėja.

Projekto tikslas buvo padidinti biuro plotą. Originalus pastatas buvo pastatytas 1990 m., modernizuotas 2009 m. Be pirminio pastato atnaujinimo, buvo pastatytas gretimas naujas pastatas. Esamo pastato bendrasis sąlyginis plotas yra 1515 m^2.

Renovacijos rezultatai, atnaujintas stogo konstrukcijos, pridėta 20 mm gipso kartono, 70 mm palikta oro erdvė, 400 mm betoninė plokštė, 120 mm polistirolo izoliacija, hidroizoliacija ir 300 mm žvyro plytelės. Sienos buvo izoliuotos Rockwool ir polistirolu (140 mm), seni langai pakeisti naujais (*Ezilda Costanzo*, 2009).

5 pav. *„Schüco Italian Headquarters"* pastato nuotrauka (*Ezilda Costanzo*, 2009*)*

Austrijos Graz Universiteto mokslų daktaras *Sophie Grünewald* analizavo *„Bruck/Mur"* apygardos teismo ir mokesčių tarybos administracinės paskirties pastato modernizavimą (angl k. *Bruck/Mur – District Court and Fiscal Office)*, esantį. Pastatas pastatytas 1946 m., renovacijos darbai atlikti 2015 m.

6 pav. *„Bruck/Mur"* apygardos teismo ir mokesčių tarybos administracinės paskirties pastato nuotraukos (*Sophie Grünewald 2015)*: *1 – po renovacijos; 2 – prieš renovaciją; 3 – į fasadą integruotos saulės energiją kaupiančios konstrukcijos*

Pastato fasadams įrengti buvo naudojami metalinės dailylentės su kombinuotomis saulės konstrukcijomis (3 pav. (3)). Iš vidinio ir išorinio sluoksnio sienoje yra kreidos-cemento tinkavimas, betoninės plytos, akmens vatos izoliacija 200 mm ir saulės elementų fasadas, susidedantis iš oro vietos 4 mm ir stiklo 5 mm (*Sophie Grünewald*, 2015).

Visuose nagrinėjamuose pastatuose pagrindinis tikslas atnaujinti aktyviąsias energetines sistemas t. y. energiją taupančias atsinaujinančias energijos išteklių technologijas, kurios padėtų sutaupyti suvartojamos energijos sąnaudas pastatuose. Remiantis minėtais mokslininkų projektai susisteminus duomenis pateikiamos atnaujinimo technologijos naudotos aptartuose pastatuose (TEA, 2020), pateikiama 1-oje lentelėje.

1 lentelė. Energinės nagrinėjamų pastatų sistemos (TEA, 2020)

Pastatas	***Atsinaujinančios technologijos***	***Šildymo įrenginiai***
,,Powerhouse Kjørbo" (Norvegija)	312 kW PV (60,2 W/m^2)	Šilumos siurblys gruntas - vanduo
,,TU Vienna Plus Energy" (Austrija)	336 kW PV (43,8 W/m^2)	Centrinis šildymas + elektrinis boileris
,,Schüco Headquarter" (Italija)	600 kW PV +15 kW SK (139,18 W/m^2)	Šilumos siurblys gruntas - vanduo + kondensacinis katilas
,,Rockwool office building" (Danija)	600 kW PV (170 m^2) +170 m^2 SK (3kWh/m^2)	Šilumos siurblys gruntas - vanduo
,,Administration Building Bruck/Mur" (Austrija)	24,2 kW PV (140 m^2) + pasyvi saulės sistema integruota į fasadą (28,61 W/m^2)	Šilumos siurblys gruntas - vanduo

Iš 1-os lentelės matoma, kad penki iš dešimties biurų pastatų įdiegta PV. Keturiuose biurų pastatuose buvo sumontuotas žemė šilumos siurblys, o viename pastate naudojamas oras – vanduo šilumos siurblys, viename iš analizuotų pastatų naudojamas centralizuotas šildymas šilumos poreikiams tenkinti. Taip pat visuose pastatuose įgyvendintos apšvietimo gerinimo priemonės (didesnis dienos šviesos ir (arba) energiją taupančio apšvietimo naudojimas, įrengtas mechaninis vėdinimas bei tam tikra vėsinimui naudojama įranga Pastatuose su žemės šilumos siurbliais taip pat naudojami šuliniai, kurie vasarą laisvai aušinami. (TEA, 2020).

Analizuojant pastatus taip pat buvo apžvelgiami energijos suvartojimo sumažėjimo rodikliai, šie susisteminami remiantis tyrėjų bei mokslininkų duomenimis, informacija pateikiama 2-oje lentelėje.

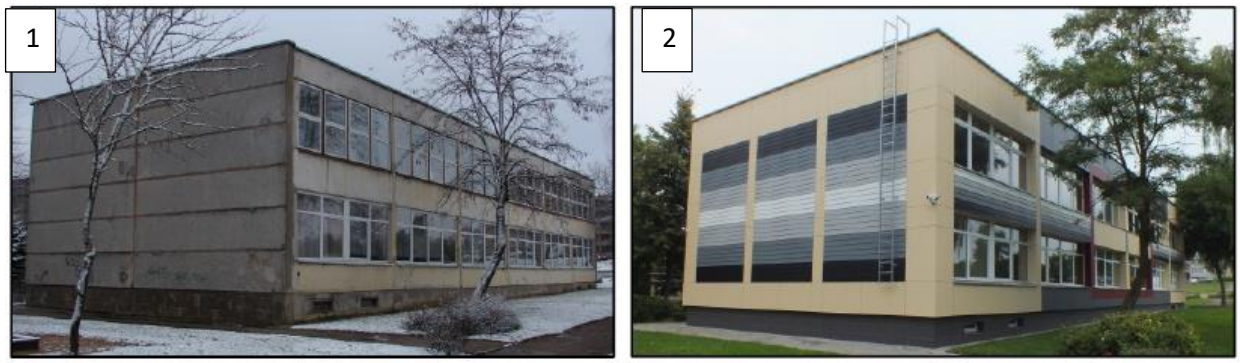
Iš 2-os lentelės matoma, kad dviejuose pastatuose t.y. ,,*Powerhouse Kjørbo*" (Norvegija) ir ,,*TU Vienna Plus Energy*" (Austrija) pasiektas pasyvaus namo lygis. Kituose pastatuose taip pat matomas ženkliai sumažėjamas energijos vartojimas. Taigi remiantis *Dr. Mads Mysen*, Prof. Dr. *Thomas Bednar, Arne Førland Larsen,* Dr. *Ezilda Costanzo* mokslininkų nagrinėtais pastatų modernizacijos

projektais galima teigti, kad atnaujinus pastatą minimaliais projektiniais sprendiniais galimas ženkliai pakeisti pastatų energijos vartojimo rodiklius.

2 lentelė. Pastatų energijos vartojimo sumažėjimo rodiklių analizė (TEA, 2020)

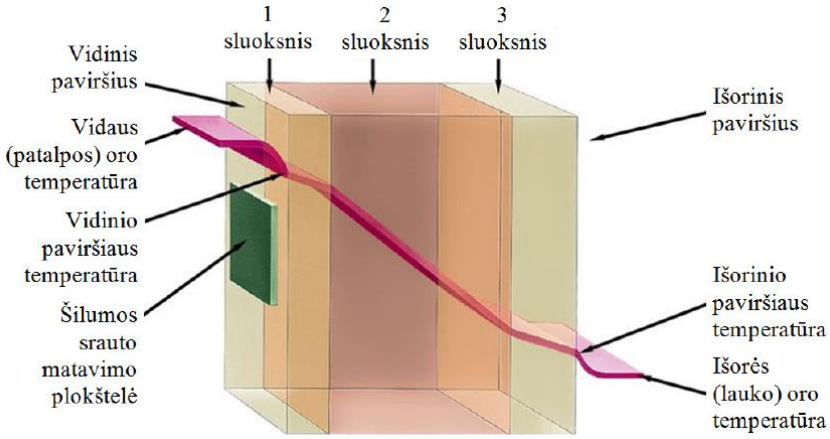
Pastatas	***Prieš modernizaciją (kWh/m²)***	***Po modernizacijos (kWh/m²)***	***Energijos sąnaudų sumažėjimas***
„Powerhouse Kjørbo" (Norvegija)	210	20	90%
„TU Vienna Plus Energy" (Austrija)	358	36	90%
„Schüco Headquarter" (Italija)	97	61	37%
„Rockwool office building" (Danija)	264	41	84%
„Administration Building Bruck/Mur" (Austrija)	153	24	84%

Negyvenamosios paskirties renovacijos pastatų atnaujinimo efektyvumo gerinimą savo disertacijoje mini Dr. R. Volvačiovas nagrinėdamas visuomenės paskirties pastatus siekiant energinio efektyvumo. Mokslininko R. Volvačiovo darbe kalbama apie pastatų atnaujinimo daugiatikslį vertinimą, natūrinius tyrimus nei atnaujinimo energinio efektyvumo priemones. Tyrimui pasirikti keturi LR vaikų lopšelių – darželių pastatai (7 pav.).



7 pav. Vienas iš Dr. R. Volvačiono disertacijoje nagrinėjamų pastatų (R. Volvačiovas, 2014): 1 – pastatas prieš modernizaciją; 2 – pastatas po modernizacijos

Disertacijoje taikomi daugiatikslio sprendimo vertinimo metodai, geriausiai tinkantys statybos inžinerijos uždaviniams spręsti. Visiems darbe analizuojamiems pastatams atlikti natūrinių tyrimų metodikos: fizinio nusidėvėjimo vertinimas, fasadų įgerties tyrimų, termovizinių tyrimų, patalpų mikroklimato paramtrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų (*U,* kWh/m^2) (8 pav.) tyrimai (R. Volvačiovas, 2014).



8 pav. Išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų nustatymo schema (Messbar. De 2013, R. Volvačiovas, 2014)

Pagal 8-ame paveiksle pateiktą nustatymo schemą, atliekami šilumos atitvarų perdavimo koeficientų skaičiavimai R. Volvačiovo disertacijos darbe, tyrėjas naudojo Vokietijos pastatu atnaujinimo ir modernizavimo instituto (IEMB) klasikinę metodiką (R. Volvačiovas, 2014).

Apie viešojo naudojimo pastatų energinio modernizavimo modelius kalba ir L. Užšilaitytės moksliniame darbe, kuriame nagrinėjamas pastatų modernizavimo vertinimas pagal energinius, aplinkosauginius, pastato nusidėvėjimo kriterijus. Darbe atlikti pastatų atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo įtakos pastato gyvavimo ciklo sąnaudoms analizė (L. Užsilaitytė, 2010).

Naudojant daugiatikslius vertinimo metodus M. Kračka daktaro disertacijoje kalbėjo apie pastatų modernizavimo vertinimo metodikas, taikomas gyvenamiesiems, visuomeniniams pastatams energijos suvartojimo ir priemonių energiniams nuostoliams sumažinti nustatymas. Darbe kalbama apie eksperimentiškai nustatytus šilumos perdavimo koeficientus per išorines atitvaras, nubraižytos sorbcijos izotermės ir atlikti termografijos tyrimai atitvarų daugiatiksliam vertinimui. Mokslininkas suskaičiuotus šilumos nuostolius per išorines atitvaras palygino su gautais eksperimentiniais tyrimais (M. Kračka, 2018). Natūrinių tyrimai, nustatant šilumos perdavimo koeficientą per išorines atitvaras, atliekami naudojant tą pačią metodiką, kaip ir R. Volvačiovo moksliniame darbe.

Nagrinėjant Lietuvos negyvenamosios paskirties pastatų sektoriaus renovaciją, nuo 2020 m. birželio 15 d. Būsto energijos taupymo agentūros (BETA) sukurta privačių juridinių asmenų visuomeninės ir gamybinės pastatų atnaujinimo projektas, kuriam ES fondas skyrė administracinės paskirties pastatų, mokslo gydymo, kultūros bei gamybai skirtų pastatų savininkams paramas minėtų pastatų modernizavimui (BETA, 2020).

Viena iš modernizacijos skatinimo įstaigų Lietuvoje yra LR AM Aplinkos projektų valdymo agentūra (APVA) administruojanti ES fondų (ISPA, Europos regioninės plėtros, Sanglaudos, fondų, LIFE + programos) ir LR lėšomis finansuojamus aplinkos sektoriaus projektus (APVA, 2021). 2019

m. vykdomas AVPA projektas, kuriuo tikslas skatinti juridinius asmenis teikti paraiškas dėl atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo administracinės ar visuomeninės paskirties pastatuose (APVA, 2019).

Vadovaujantis klimato kaitos programos lėšomis LR AM 2021 m balandžio 6 d. įsakymu LR rengiami finansavimo projektai, kuriais remiantis mažinamas CO_2 išmetimas į aplinką. LR aplinkos ministro 2021 m. gegužės 3 d. įsakymu D1-263 „Dėl finansavimo skyrimo projektas, pateiktiems pagal klimato kaitos programos konkursinę priemonę „*Atsinaujinančių energijos išteklių (saulės, vėjo, geoterminės energijos, biokuro ar kirų) panaudojimas privačių juridinių asmenų visuomeninės, gamybinės paskirties pastatuose, kitos paskirties inžineriniuose statiniuose (sąvartynuose, nuotekų valyklų statiniuose), pakeičiant iškastinio kuro naudojimą*“ (LR AM, 2021). Projekte dalyvavo 41 vienas pareiškęs, visuose programoje aprašytuose projektuose diegiama saulės fotovoltinės elektrinės ant stogo. Dar vienas iš pastatų modernizacijos projektų rengiamų LR 2021 m. vasario 1 d. įsakymas Nr. D1-61 dėl finansavimo skyrimo projektams, kurio tikslas „Privačių juridinių asmenų energijos vartojimo efektyvumo priemonių įgyvendinimas pagal energijos audito ataskaitas“ (LR AM, 2021).

1.3. Pastatų energinio naudingumo vertinimas

Pastato energinio naudingumo vertinimas yra labai svarbus siekiant nustatyti energijos vartojimą ir yra pagrindas priimti, bet kokį sprendimą dėl energijos vartojimo efektyvumo didinimo (*Bio Intelligence Service*, 2013; *Jensen*, 2018). Apie energijos nesuvartojimą ir eksploatacinius rodiklius bei apie palyginimą su etalonais informacija turi būti suteikiama pastatų savininkams ir nuomininkams, tai motyvacija pagerinti energinį naudingumą, kai naudojamo pastato eksploatacinės savybės netenkinamos ir reikalinga nustatyti energetiškai efektyvias energijos taupymo galimybes (*Constantinos et al.*, 2020). Ši iniciatyva suteikia naudos, sumažinant eksploatavimo ir priežiūros išlaidas, bei palengvina pastatų sektoriaus išmetamą CO2 kiekį (*C. Outline*, 2019;).

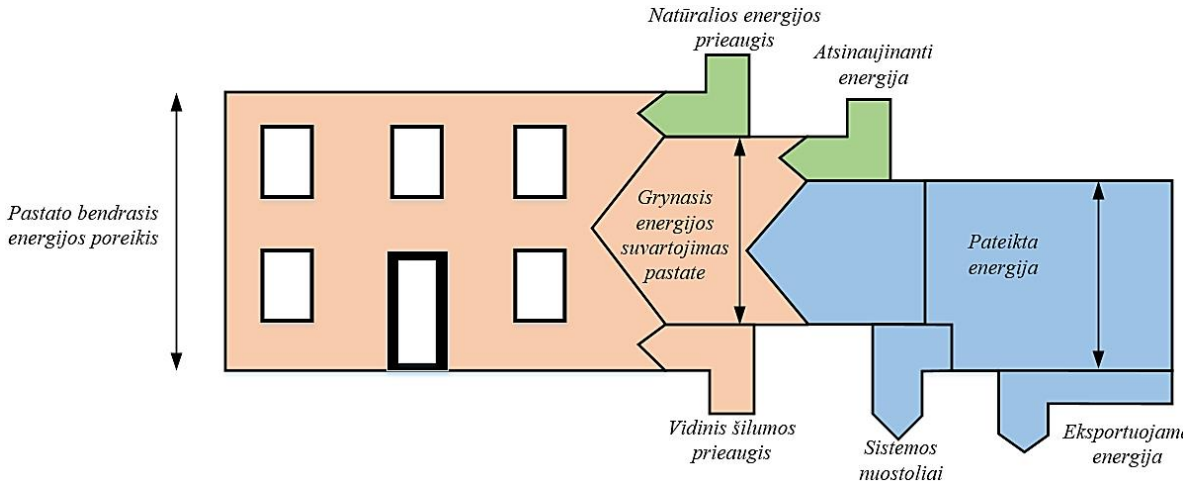
Dauguma mokslininkų ir tyrėjų gilinasi į energijos taupymo ir energijos vartojimo efektyvumo galimybes bei kaip galima apibrėžti ir nustatyti pastatų energinė naudingumą. Energijos vartojimo efektyvumo terminas apibrėžiamas kaip „*mažiau energijos sunaudojant nepakenkiant pastato veikimui*“ (JTAAP, 2007). Europoje ir pasaulyje pastato energinis efektyvumas apibrėžiamas kaip energijos sunaudojimo, tenkančio vienam pastato grindų kvadratiniam metrui, dydis iki nustatytų klimato sąlygų tam tikro tipo pastatui nustatytų energijos suvartojimo etalonų (*Z. Tian, S. Wei, and X. Shi*, 2020).

Energijos naudingumas, tai terminas, nurodantis energijos vartojimo pastato kokybę (*B. Poel, G. Van Cruchten, C.A. Balaras*, 2009; EN 15217, 2007). Energijos naudingumo rodikliai

yra kiekybiškai įvertinamos priemonės energiniam naudingumui įvertinti. Daugeliui pastatų tipų dažniausiai naudojamas energijos vartojimo intensyvumas kWh/m^2. Pastato energinis naudingumas priklauso nuo klimato, pastato išorinių atitvarų, pastato paskirties ir įdiegtų energetikos sistemų, pastato eksploatavimo ir priežiūros, gyventojų veiklos ir elgsenos bei teikiamos patalpos aplinkos kokybės (TEA, 2017).

Pastato energijos suvartojimo etalonai yra tipiškos tipinių pastatų vertės, su kuriomis galima palyginti faktinius pastato rodiklius. Etalonai yra gaunami analizuojant duomenis apie skirtingus pastatų tipus tam tikroje šalyje. Įprastas etalonas yra visų tam tikros kategorijos pastatų eksploatacinių savybių mediana, o geroji praktika atspindi aukščiausią kvartilių efektyvumą. Palyginimas su paprastais metiniais energijos suvartojimo rodikliais, tenkančiais vienam kvadratiniam metrui grindų ploto arba apdoroto grindų ploto (kWh / m^2 / per metus), leidžia įvertinti energijos vartojimo efektyvumo standartą ir nustatyti prioritetines veiksmų sritis (*Mengxue Lu, Joseph H.K.*, 2019).

Šilumos nuostoliai dėl medžiagos, vadinami *U* (šilumos perdavimo koeficientas) verte, taip pat naudojami kaip būdas apibūdinti pastato energinį naudingumą (Kijevičius et al., 2014). *U* vertė nurodo, kaip gerai elementas praleidžia šilumą iš vienos pusės į kitą, įvertindamas, kiek šilumos komponentas leidžia praleisti pro jį. Šilumos perdavimo koeficientai per atitvaras nurodomi STR 2.01.03:2016, siekiant nurodyti minimalias energijos vartojimo efektyvumo vertes langams, durims, sienoms ir kitiems išoriniams pastato komponentams (STR, 2016). *U* vertės taip pat įvertina kombinuotų medžiagų energijos efektyvumą pastato komponente ar sekcijoje. Maža *U* vertė rodo gerą energijos vartojimo efektyvumą (*Burek*, 2007; Paulauskaitė S. ir Valančius K, 2012) . Langai, durys, sienos ir stoglangiai gali įgyti arba prarasti šilumą, todėl padidėja aušinimui ar šildymui reikalinga energija. Dėl šios priežasties dauguma statybos kodeksų nustatė minimalius šių komponentų energijos vartojimo efektyvumo standartus (*C. Filippín and S. F. Larsen*, 2009).



9 pav. Energijos vartojimo efektyvumas (sudaryta autoriaus remiantis *C. Filippín and S. F. Larsen*, 2009)

Aukščiau 9 paveiksle pavaizduoti tipiški energijos srautai pastate. Bendras pastato energijos poreikis atspindi numatomus pastatų šildymo, apšvietimo, vėsinimo, vėdinimo, oro kondicionavimo ir drėkinimo reikalavimus. Vidaus klimato reikalavimai, lauko klimato sąlygos ir pastato savybės yra parametrai, naudojami nustatant, koks bus bendras pastato energijos poreikis. Kaip parodyta aukščiau pateiktoje diagramoje, tiekiama energija, natūralios energijos ir vidinės šilumos prieaugis prisideda prie pastato energijos poreikių tenkinimo (*C. Filippín and S. F. Larsen*, 2009).

Natūralios energijos prieaugis, tai apima pasyvų saulės šildymą, pasyvų aušinimą, natūralų vėdinimo srautą ir dienos šviesą. Remiantis moklininkų tyrinėtai darbais maksimalus natūralios energijos naudos padidėjimas gali žymiai sumažinti tiekiamos energijos kiekį, kurio reikia pastato energijos poreikiams patenkinti (*Leaon Clarke, et al*., 2018; *Peng Xu, et al*, 2012). Aplinkai nekenkiantys pastatai naudoja energijos išteklius, tuo pačiu sumažinant atliekų kiekį (J. Huang, K. R. Gurney, 2016). Tyrimai rodo, kad tarp įvairių natūralių įtaką darančių veiksnių pastato energijos suvartojui pirmiausia turi įtakos temperatūra, drėgmė, saulės spinduliuotė. Li Mingcai ir kt. nustatė, kad energijos suvartojimą įtakos turi keli veiksniai, visų pirma temperatūra ir ypač drėgmė, energijos suvartojimą žiemą šildant daugiausiai veikia temperatūra, o vasarą drėgmė (*Mingzai Li et al*., 2014; *Weu shi et al.*, 2014).

Vidiniai šilumos pritekėjimai, vidinė šiluma yra žmonių siluminė energija, apšvietimas ir prietaisai, kurie išskiria šilumą patalpų aplinkai. Biurų pastatuose, komercinėse parduotuvėse, prekybos centruose, pramogų salėse ir kt. vasarą didelę perkaitimo problemą gali sukelti įrangos skleidžiama šiluma arba aukštas dirbtinio apšvietimo lygis (*Gh R. Roshan* et al. 2012).

Pateikta energija, tai yra energijos kiekis, patiektas patenkinti grynąjį pastato energijos poreikį, t. y. tiekti energiją šildymui, vėsinimui, vėdinimui, karštam vandeniui ir apšvietimui. Paprastai jis išreiškiamas kilovatvalandėmis (kWh), o pagrindiniai energijos nešėjai yra elektra ir kuras, t. y. dujos, nafta ar biomasė katilams. Kaip matyti iš 9 paveikslo, tiekiama energija gali būti papildyta atsinaujinančia energija vietoje, tai gali būti saulės PV, saulės vandens šildytuvų ar vėjo pavidalas (*C. Filippín and S. F. Larsen*, 2009).

Eksportuota energija, tai tiekiamos energijos dalis, kuri, kuomet yra taikoma, parduodama išorės vartotojams.

Sistemos nuotoliai, atsiranda dėl neefektyvaus energijos transportavimo ir konvertavimo, ty iš 100 procentų tiekiamos energijos, tik 90 procentų gali būti naudojama faktinėms paslaugoms teikti, pvz. apšvietimas, aušinimas ar vėdinimas dėl naudojamos įrangos neefektyvumo. Nagrinėjant pastatų energijos vartojimo efektyvumo problemą, pagrindinis dėmesys skiriamas energijai, sunaudotai

norint pasiekti reikiamus patalpų klimato standartus. Energijos kiekis, kurį pastatas turės įsigyti, kad jį pasiektų, priklauso nuo pastato savybių (*IPEEC,* 2017):

- Šilumos perdavimo lygis:
  - kuo mažesnis šilumos perdavimas, tuo mažesni šilumos nuostoliai šaltu oru ir šilumos padidėjimas šiltu oru. Tai sumažins energijos poreikį šildymui ar aušinimui;
  - ar pastatas suprojektuotas taip, kad būtų kuo mažiau sunaudojamos energijos, atsižvelgiant į lauko klimato sąlygas.
- Kaip efektyviai tiekiama energija naudojama siekiant patenkinti grynąjį pastato energijos poreikį, t. Y. Naudojamos įrangos ir prietaisų efektyvumą;
- Kaip efektyviai energiją žmonės naudoja pastate;
- Pastato energijos poreikio procentas, kurį teikia atsinaujinanti energija.

Energijos vartojimo efektyvumo vertinimo metodus statybų sektoriuje galima suskirstyti į dvi kategorijas. Pirmoji pagrystą metodiką ir konkrečiai funkcijai būdingus metodus. Taikant rezultatais pagrįstą metodiką, vertinimo rezultatai gaunami lyginant veiklos rodiklius su nustatytais etalonais (*E.L. Lee, F.W.H. Yik, J. Burnett,* 2003; V. Martinaitis et al., 2012). Efektyvumu pagrįsto požiūrio naudojimas vertinant pastato energijos naudingumą yra daug tikslesnis ir dažniau taikomas, nes pagrįstas kiekybiškai įvertinant efektyvumo rodikliais.

Energijos naudingumo vertinimo schemos ir metodai yra sukurti dviem tikslams: energijos klasifikavimui ir energinio naudingumo diagnostikai. Energijos klasifikavimas suteikia vienodas arba patvirtintas priemones, kaip perteikti apie pastato santykinį energijos vartojimo efektyvumą ir anglies dvideginio išmetimą tiek visuomenei ar pastato savininkui, tam, kad būtų skatinamas nuolatinis efektyvumas. Energijos klasifikavimas yra informacinė priemonė, teikianti pastatų savininkams ar visuomenei informaciją apie vertinamų pastatų energinį naudingumą. Tokia informacija paprastai išreiškiama labai praktiškomis ir suprantamomis formomis t.y 1-100 arba A-M, prastai – puikiai, o tai skatina geresnius rezultatus geriau pripažįstant ir motyvuoja pastatų savininkus gerinti energinį naudingumą pastatuose. Praktikoje atsirado keletas tipiškų energijos klasifikavimo priemonių, įskaitant energijos palyginimą, energijos įvertinimą, energijos ženklinimą ir energijos sertifikavimą (*L. Perez Lombar, J. Otiz it kt.,* 2009).

Energijos palyginimas dažniausiai, tai vadinama viso pasaulio etalonu. Naudojamas paprastas metodas, tam, kad būtų informuota sprendimus priimančius asmenis apie santykinį energinio naudingumo lygį, palyginti viso įvertinto pastato energinio naudingumo indeksą su iš anksto nustatytais etalonais. Energijos įvertinimas palyginti su kitomis klasifikavimo priemonėmis, unikalus energijos reitingo bruožas yra griežtas kreipimasis į energijos kiekybinio įvertinimo metodus.

Europos standarte EN 15603:2008, siūlomi du pagrindiniai energijos reitingo tipai: apskaičiuotos energijos įvertinimas ir išmatuotos energijos įvertinimas. Apskaičiuoti reitingai skirstomi į standartinį reitingą ir pritaikytą reitingą, atsižvelgiant į tai, ar apskaičiavimo sąlygose, kur įskaitomas ir užimtumas, eksploatavimo grafikai bei vidaus ir lauko klimato sąlygos, naudojami standartiniai ir faktiniai duomenys (EN 15603:2008, ES, 2008).

Energijos sertifikavimas tai procedūra, skirta įvertinti energijos vartojimą ir pateikti įgalioto instituto ar asmens energijos sertifikatą. Sertifikavimo programa paprastai apima „energijos įvertinimo“ procesą, siekiant įvertinti energijos suvartojimą, patvirtinta „energijos ženklinimo“ skale, pagal kurią klasifikuojami atitinkami eksploataciniai parametrai, taip pat minimalų reikalavimą pašalinti nepriimtinus rodiklius (*P. Fleckinger et al*., 2019; *Haase*, 2008). Europoje pastatų energinio naudingumo sertifikavimas tapo privalomas. Naujų pastatų, taip pat esamų pastatų, kuriems reikalingas kapitalinis atnaujinimas, energinio naudingumo sertifikatai turi būti prieinami savininkams arba nuomininkams, kai statomi, parduodami ir nuomojami pastatai (*Limao Zhang, Yan Li*, 2018).

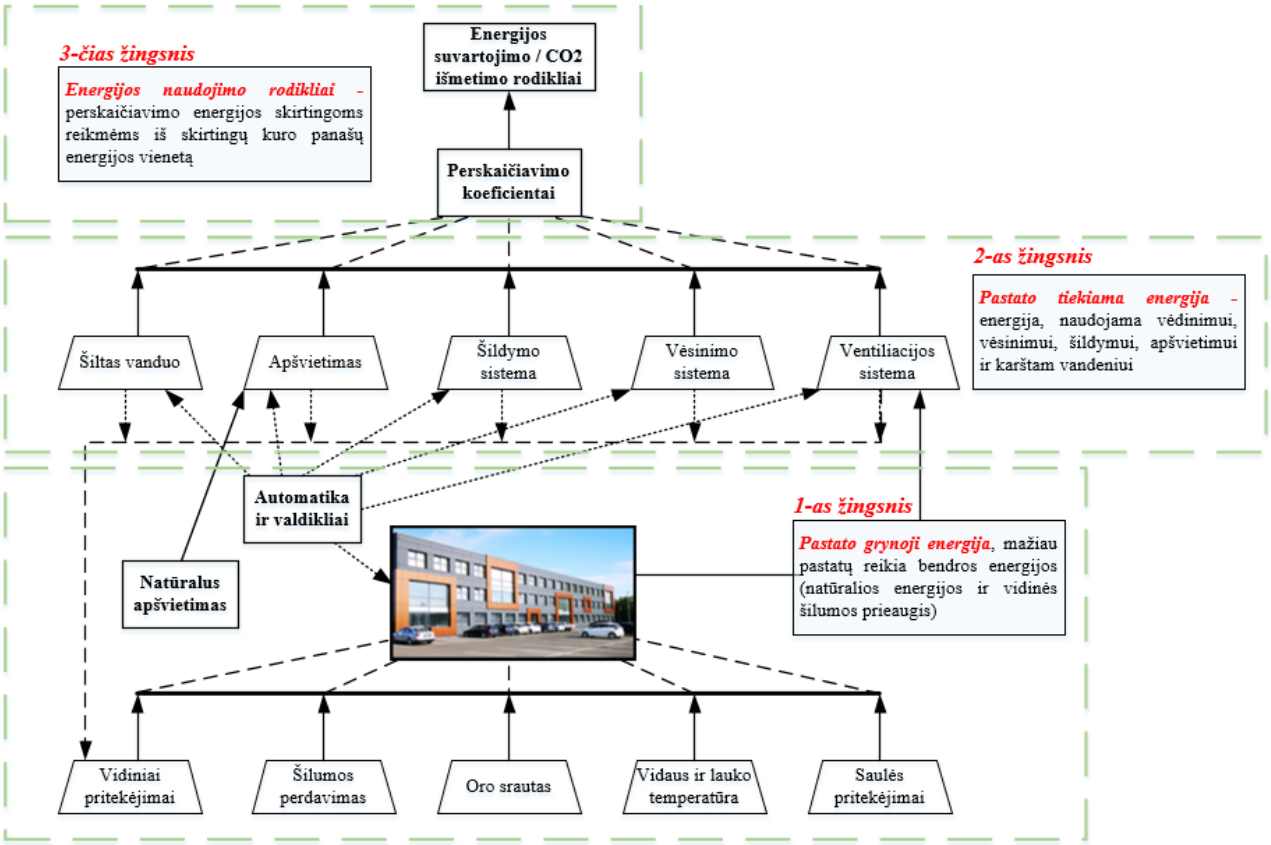
Naujų pastatų eksploatacinių savybės yra neapsiekiamos, todėl energinio naudingumo vertinimas turėtų būti pagrįstas apskaičiuojamomis normomis. Esamiems pastatams taikomi ir apskaičiuoti, ir išmatuoti vertinimo metodai, praktikoje pirmenybė teikiama antrajam metodui. Vertinant esamų pastatų energiją taip pat galima naudoti skaičiavimais pagrįstą metodą, tačiau jam taikomi didesni esamų pastatų suvaržymai. Pirmiausia, sunku gauti išsamius projektinius duomenis, įskaitant informaciją apie pastato išorines atitvaras, oro kondicionavimo sistemos ir užimtumo sąlygų duomenis, norint modeliuoti pastatą. Siekiant patvirtinti projektinius duomenis, atliekama matavimų metodika taip pat yra sudėtinga ir užima daug laiko, be to, galima lengvai nustatyti numatomo ir faktinio pastato suvartojimo neatitikimus, o tai gali sumažinti šio vertinimo metodo patikimumą.

Kitą vertus, išmatuotas įvertinimas, kurio metu vertinant naudojami išmatuoti duomenys, patiria mažiau paribojimų ir turi naudos tikrajam pastatų naudojimui. Esamuose pastatuose energijos suvartojimą išmatuoti paprastai ir daug lengviau nei surinkti ir pateikti įvairius įvesties parametrus, reikalingus skaičiavimo modeliuose. Pagrindinius matavimais pagrįstų metodų privalumas taip pat lemia tai, kad jie atspindi ir tikrąjį pastatų elgesį ir leidžia nustatyti visų veiksnių įtaką pastato energiniam naudingumui (*Hiroshi Yohino ir kt.*, 2016).

1.4. Pastatų energinio vartojimo rodikliai

Veiksnių, turinčių įtakos energijos suvartojimui, analizė yra labai svarbi taupant energija ir mažinant vartojima pastatuose. Pastatuose sunaudojamos energijos kiekis apskaičiuojamas

atsižvelgiant į pastato ir jame sumontuotos įrangos savybes. Ji suskirstyta į tris lygmenis, kaip parodyta toliau, skaičiavimas atliekamas iš apačios į viršų (Lingyan Li, Yao wang et al., 2021).



10 pav. Pastate sunaudojamos energijos kiekis (sudaryta autoriaus remiantis *Lingyan Li, Yao wang et al.*, 2021)

Pirmasis žingsnis - pastate grynosios energijos poreikio, t. y. energijos, reikalingos patalpų klimato reikalavimams, kaip nurodyta pastato kodekse, apskaičiavimas. Skaičiavimas naudojamas norint nustatyti grynąją energiją, reikalingą atsižvelgiant į lauko ir vidaus klimato reikalavimus, atsižvelgiant į vidinio pelno, saulės energijos ir natūralus apšvietimas ir nuostoliai dėl pastato savybių, t. y. šilumos perdavimo ir oro srautų. Šis skaičiavimas naudojamas vidiniam pastato energiniam naudingumui nustatyti (*Chel et al.* 2018).

Antras žingsnis yra pastato tiekiamos energijos, t. y. pastato energinio naudingumo, atsižvelgiant į faktinį naudojimą, nustatymas. Energijos kiekis, sunaudotas šildymui, vėsinimui, karštam vandeniui, apšvietimui, vėdinimo sistemoms, įskaitant valdiklius ir pastatų automatiką, taip pat įskaitant papildomą energiją, reikalingą ventiliatoriams, siurbliams ir kt. (*Lingyan Li, Yao wang et al.*, 2021).

Trečiasis žingsnis yra bendrųjų energinio naudingumo rodiklių nustatymas: Jis sujungia aukščiau pateikto 2 žingsnio rezultatus skirtingais tikslais ir iš skirtingų degalų, kad būtų gautas bendras energijos suvartojimas ir susiję eksploataciniai rodikliai. Kadangi pastatas gali naudoti

daugiau nei vieną kurą (pvz., dujas ir elektrą), skirtingi energijos šaltiniai turi būti perskaičiuoti ir sujungti atsižvelgiant į pirminę energiją, kad būtų pateiktas neprivalomas galutinis energinio naudingumo skaičiavimo rezultatas. Dažniausiai naudojami pastatų energijos rodikliai yra kWh/m^2 (energijos suvartojimas kilovatvalandėmis vienam kvadratiniam metrui grindų ploto) arba išmetamo CO2 kiekis (*M. Lu and J. H. K. Lai,* 2019).

Atliekant šį skaičiavimą, pastatai skirstomi į kategorijas atsižvelgiant į tai, ar jie yra gyvenamieji, ar negyvenamieji, nuo pastato projekto tipo, pastato dydžio ir naudojimo. Be esamų pastatų eksploatacinių savybių skaičiavimo, energinio naudingumo skaičiavimai atliekami ir naujų pastatų bei atnaujintų pastatų projektavimo etape, kad būtų imituojamas jų energinis naudingumas (P. Moseley and A. Bruhin, 2012). Vyriausybė yra atsakinga už tai, kad nacionaliniu ar vietos lygiu būtų pateiktos skaičiavimo gairės ir metodikos energinio naudingumo nustatymui. Daugeliu atvejų šiems skaičiavimams yra sukurta programinė įranga.

1.5. Mažai energijos vartojantis pastatas

Pastaraisiais dešimtmečiais mažai energijos vartojantys (angl. *Low –energy building*) pastatai sulaukė didelio dėmesio. Naujausiais tyrimais remiantis daugiausia skirta pastatų statybos bei alternatyviųjų energijos šaltinių optimizavimui (*S. Privara,* 2011). Mažai energijos naudojančio pastato koncepcija grindžiama pirminės energijos poreikio mažinimu dėl aukšto izoliacinio lygio, didelio efektyvumo šildymo/vėsinimo naudojamų technologijų ir atsinaujinančių energijos šaltinių (AEI) integravimu į pastatą (*Ioan at al.,* 2017; Pikas at al., 2014). STR galima rasti mažai energijos naudojančio pastato bei energijos beveik nevartojančių pastatų apibrėžimą, šie pastatai apibūdinami, kaip labai aukšto energinio naudingumo pastatai, kuriuose energijos sunaudojimas beveik lygus nuliui arba energijos sunaudojimas labai mažas (STR 2.01.02:2016).

Dar kitaip tokie pastatai vadinami beveik nulinės energijos pastatai (nZEB) (angl. *Nearly ZeroEnergy Building*), paprastai tai prie tinklo prijungtas pastatas su labai dideliu energiniu naudingumu. Šis pastatas subalansuoja pirminės energijos naudojimą taip, kad pirminė energija perduodama į tinklą. Metinis pirminės energijos sunaudojimas lygus 0 kWh/m^2 (J. Kurnitski *et al.,* 2011).

1.6. Energinio efektyvumo didinimo galimybės pastatuose

Energijos vartojimo efektyvumo pastatuose strategija apima daugelį aspektų, dažnai glaudžiai susijusių ir sąveikaujančių. Pastato modernizacijos sprendiniai apima tiek išorinių atitvarų charakteristikas, tiek energinių sistemų veikimą bei įrenginių naudojimo tipą. Visos energinio

efektyvumo didinimo priemonės turi būti parinktos atsižvelgiant į pastato naudojimo paskirtį (*Andaloro* et al, 2010)

Daugelis tyrėjų dėmesį skyrė energijos vartojimo efektyvumo skatinimui pastatuose. Pavyzdžiui Short ir kt. Parašė, kad natūrali ventiliacija yra veiksminga pastatų energinio efektyvumo didinimo strategija (*Short el al*., 2004). Jonesas-Lee ir Loomesas parodė, kad ankstesnė strategija su naudos ir sąnaudų santykio matu gali padėti sutaupyti energijos (Jones-Lee, G. Loomes, 2003) Daugelyje ankstesnių tyrimų daugiausiai dėmesio buvo sukuriama techninėms ar projektavimo strategijoms. Peippo ir kt naudojo skaitmeninio optimizavimo procedūra, kad nustatytų optimalius skaitmeninio optimizavimo pastato projekto kintamuosius, kurie, atsižvelgiant į tam tikras projekto specifikacijas ir energijos suvartojimo tikslą, sudarytų mažiausias gyvavimo ciklo išlaidas. Jie parodė, kad pastato sistema turi būti vientisa, kad vienu metu būtų galima optimizuoti projektinius kintamuosius, nes projektavimo galimybės yra labai susijusios (*Z Yilmaz*, 2007).

Toliau remiantis moksliniais tyrimais pateikiamos pagrindinės energinio efektyvumo didinimo galimybės modernizuojant pastatą (*J. R. Krentowski*, 2021; *J. Anika et al*. 2020; *K. Rijal et al*., 2021; *R. M. Reffat and R. M. Ahmad*, 2020; K. Valančius and R. Mikučionienė, 2020; *N. T. Mbungu et al.*, 2020).

Išorinės pastato atitvarų atnaujinimas. Pažangus energiją taupantis pastato atitvarų dizainas yra būtinas norint sumažinti pastato energijos suvartojimą. Patalpų šildymas ir vėsinimas sunaudoją didžiąją dalį viso pastato energijos suvartojimo. Patalų šildymui ir vėsinimui sunaudojamos energijos mažinimas daugiausiai priklauso nuo pastato atitvarų veikimo pagerinimo (*J. R. Krentowski*, 2021).

ŠVOK sistema. Norint sumažinti pastato energijos suvartojimą ŠVOK įranga apima tokias technologijas kaip šilumos energijos apskaitos technologija, įvairių šilumos siurblių technologijų taikymas, efektyvaus oro kondicionavimo sistemos, spinduliuojančios lubų aušinimo/šildymo sistemos, šilumos atgavimas vėdinimo technologija ir kt. (J. *Anika et al.* 2020).

Didelio efektyvumo apšvietimo sistemos. Yra du pagrindiniai būdai sumažinti energijos suvartojimą apšvietimui, vienas iš jų yra visiškai išnaudoti natūralią šviesą, kitas ekologiškų apšvietimo produktų ir išmaniųjų valdymo sistemų pritaikymas (*K. Rijal et al*., 2021).

Dienos apšvietimas turi pasyvų ir aktyvų metodą. Pasyviuose dienos apšvietimo metoduose paprastai naudojami architektūros elementai, tokie kaip įvairių tipų langai, šuliniai ir kt. Aktyvūs dienos apšvietimo metodai naudoja tokiais prietaisais kaip judantys veidrodžiai ir optinis pluoštas, kad sukoncentruotų, perduotų ir paskirstytų natūralią šviesą naudojimo vietoje (*R. M. Reffat and R. M. Ahmad*, 2020).

Atsinaujinančių išteklių naudojimas. Atsinaujinančioje energijoje, naudojamoje pastatuose ir bendruomenės lygiu, daugiausia vyrauja saulės energija ir vėjo energija. Saulės energija paprastai

sudaro saulės elektros energijos gamybą ir saulės erdvės bei vandens šildymas (K. Valančius and R. Mikučionienė, 2020; *N. T. Mbungu et al.,* 2020).

1.7. Kompiuterinis modeliavimas ir pritaikymas pastatams

Norit geriau įvertinti faktinį skirtingų įrenginių tarpusavio sąveikas reikalinga naudoti skaitmeninius dinaminius metodus, pritaikytus konkrečiam pastatui. Šiais laikais dauguma pastatų energinio efektyvumo programų sprendžiama naudojant dinaminio modeliavimo programas (Hargaš et al., 2006; Kalz el al., 2006; Masoso Grobler 2008, Moeseke et al., 2007). Programos sukurtos *AD HOC (lot. ad hoc – šiam tikslui)* principu, t.y. integruojant įvairius turimus įrenginius ir modeliavimo programinę įrangą. Paprastai energijos imitavimo kompiuterinės modeliavimo priemonės būdingi statiniai ar dinaminio modeliavimo modeliai, gali būti vienos arba kelių zonų. Pastatų energiniai modeliai yra efektyvūs ir patikimi tik tose klimato zonose, kur šildymo poreikis vyrauja dėl vėsinimo poreikio, dinaminiai energiniai modeliai yra reikalingi tam, kad kuomet aušinimo poreikis yra didelis (*Christoph F. Reinhart,* 2016).

Įvairių pastatų eksploatacinių savybių modeliavimo ir imitavimo priemonių kūrimas atsirado dėl tvarumo ir išsaugojimo poreikio aplinkai, kuri paskatino technologinė pažanga (*Jain ir kt.,* 2001; K. Valančius, 2016). Pastatų modeliavimo programų raida leido imituoti kompleksinę pastato komponentų ir sistemų sąveiką, palyginti su paprastais energijos suvartojimo skaičiavimais (*Nakahara* ir kt., 1999; *Cornaro* at al., 2016). Kompiuterinis modeliavimas tampa būtinu elementu statybose ir renovacijos procesuose, nes tai galinga priemonė alternatyviems projektams palyginti ir optimaliam veiksnių deriniui pasiekti. Kompiuterinėmis imitacijomis optimizuoti ir „sureguliuoti“ pastatai taupo pinigus, didina komfortą gyventojams, bei padeda palaikyti sveikatingumą bei veikia optimaliai ilgą laiką (*Vital Engineering,* 2020).

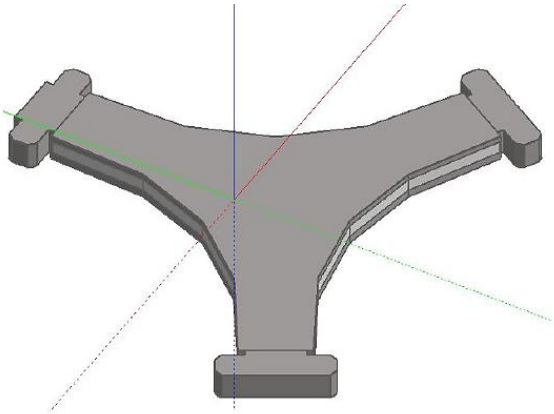
Vienas iš kompiuterinės modeliavimo programos pavyzdžių, kuris savo moksliniame darbe pritaikė *J.T. Zuiiaga* ir kt. pastatų dinaminio modeliavimo programoje „*DesignBuilder*“ sukūrus pastato teorinį modelį ir panaudojus integruota „*EnergyPlus*“ pastato energinio modeliavimo priemonę, kuria inžinieriai, architektai ir tyrėjai naudoja modeliuoti energijos suvartojimus (šildymui, vėdinimui, apšvietimui, kištukinėms ir procesinėms apkrovoms) (EnergyPlus, 2020). Mokslininkai savo darbe aprašė pastato esančio Ispanijoje, Baskų universiteto administracinės paskirties pastato modernizavimo vertinimą naudojant natūrinius bandymus bei modeliavimo programą (*J. Tere-Zubiaga at al.,* 2017). 11-ame paveiksle pateiktas teorinis pastato nuotrauka, bei modelis sukurtas programoje.

11 pav. Bakų universiteto administracinės paskirties pastato teorinis modelis (J. Tere-Zubiaga at al., 2017).

Tyrėju darbo tikslas skurti mažai energijos vartojančius pastatus, naudojant energijos atnaujinimą, taikant novatoriškus sprendimus ir naudojant sisteminį modifikavimo metodą, atsižvelgiant į viešųjų pastatų ypatumus. Pastato modernizavimas buvo numatytas laikantis holistinio (*iš graikų k. ž. Holas, reiškiančio visas, pilnas*) požiūrio. Pastato energinio naudingumo gerinimas yra vienas iš pagrindinių projekto tikslų, numatant pasaulinę intervenciją, kurioje yra apžvelgiama ne tik energetikos aspektai (pastato išorinės atitvaros, energinės sistemos, valdymas ir kt.) , bet ir į komforto sąlygų palaikymą pastate (*J. Tere-Zubiaga at al*., 2017).

Dar vienas iš kompiuterinių modeliavimo programų pritaikymo pavyzdžių kalbama Violetos Motuzienės daktaro disertacijoje, kur nagrinėjama *įstiklinimo įtakos viešųjų pastatų energijos poreikiams*. Darbe taip pat naudojama *„DesinBuilder“* kompiuterinė modeliavimo programa. 12-tame paveiksle pavaizduotas analizuojamojo pastato esančio Vienoje - *Viena international Center* (VIC) dinaminis modelis.

Pagrindinis mokslinio darbo autorius sprendžia problemą dėl viešosios paskirties pastato architektūrinių ir konstrukcinių elementų, fasado įstiklinimo, įtakos energijos vartojimo efektyvumui bei natūraliam apšvietimui.



12 pav. Viešosios paskirties) pastatas Vienoje - *Viena international Center* (VIC (V. Motuzienė, 2010)

Darbe aptariami energijos suvartojimo rodiklių analizė, pateikiamos pastato energinio efektyvumo didinimo priemonės sumažinant saulės pritekėjimus į pastatą per langus (V. Motuzienė, 2010)

Kompiuteriniai modeliai naudojami siekiant įvertinti pastatų energinį naudingumą ir parodyti atitiktį pastatų energijos standartams. Kompiuterinis modeliavimas optimizuoja pastato ir jo aptarnavimo sistemos dizainą pagal patalpų oro kokybės reikalavimus, išlaikant minimalų energijos suvartojimą (*Bartak ir kt.*, 2000). Norint sukurti modeliavimo modelį, reikia išsamiai ištirti, dokumentuoti ir paaiškinti procesą, susijusį su tiriama sistema (*Isken,* 2003). Kompiuterinis modeliavimas pastatuose yra skirtas imituoti įvairias situacijas, kurios turės įtakos pastato energinio naudingumo rezultatams pvz., pastato naudojimo modelius, pastato formą ir medžiagas bei oro sąlygas. Kompiuterinis modeliavimas gali būti naudojamas tiek projektui rengti naują pastatą, tiek optimizuoti šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo valdymo strategijas eksploatuojat jau pastatyta pastatą.

1.8. Pirmojo skyriaus išvados

Mokslinėje literatūroje aptarta, kad pastatai skirstomi pagal naudojimo paskirtį skirstomi į dvi grupes gyvenamuosius ir negyvenamuosius, šie apibrėžimai nurodomi statybos techniniame reglamente Tarptautiniame pastatų kodekse. Narinėtuose mokslininkų darbuose pastebima, kad iki šios didelė dalis pastatų yra pastatyti prieš kelis dešimtmečius ir neatitinka šiuo metu galiojančių techninių reglamentų, todėl pastatams reikalingas modernizavimas. Europoje ir Lietuvoje kuriami energinio efektyvumo galimybių planas, norit pasiekti tarptautinius tikslus, susijusius su tvarumu ir energijos poreikiais, reikia atlikti esmines priemonės esamame negyvenamųjų pastatų sektoriaus fonde.

Analizuojant modernizacijos procesą matoma, kad užsienyje senų negyvenamosios pastatų modernizavimas paplitęs plačiau nei Lietuvoje. Mokslininkai, tyrėjai, bei pastatų energetikos specialistai tyrinėja kaip pagerinti energinį efektyvumą pastatuose naudojant natūrinių bandymų t. y. pastato išorinių atitvarų šilumos perdavimo matavimai bei kitas metodikas, bei įtraukiant kompiuterines modeliavimo programas bando optimizuoti pastatų energinių sistemų valdymo procesų sklandų veikimą, taip sumažinant energijos sąnaudas ir gerinant įrenginių potencialo sklandų veikimą.

Remiantis moksliniais straipsniais bei literatūros šaltiniais pastato energinis naudingumas priklauso nuo klimato, pastato išorinių atitvarų, pastato paskirties ir įdiegtų energetikos sistemų, pastato eksploatavimo ir priežiūros, gyventojų veiklos ir elgsenos bei teikiamos patalpos aplinkos kokybės. Energijos naudingumo vertinimo schemos ir metodai yra sukurti dviem tikslams: energijos

klasifikavimui ir energinio naudingumo diagnostikai. Pastatuose sunaudojamos energijos kiekis apskaičiuojamas atsižvelgiant į pastato ir jame sumontuotos įrangos savybes. Ji suskirstyta į tris lygmenis: grynoji energija, tiekiama energija bei bendrieji energijos rodikliai t. y. energijos suvartojimas kilovatvalandėmis vienam kvadratiniam metrui grindų ploto arba išmetamo CO2 kiekis.

Apžvelgus mažai energijos pastatų vartojimo sąvoką, šis terminas plačiąją prasme apibūdinamas, kaip pastatas, kuris visą naudojamą energija gauna iš atsinaujinančių energijos išteklių technologijų, kurios integruojamos į pastatą t. y. šildymo/vėsinimo įranga bei elektros energijos poreikius tenkinančios priemonės tokios kaip fotovoltinės saulės energija.

Dauguma mokslininkų pastato energinio efektyvumo optimalių sprendinių parinkimui modernizuojant pastatą bei naujai statant naudoja kompiuterines modeliavimo priemones, kurios suteikia galimybe plačiau imituoti kompleksinę pastato komponentų ir sistemų sąveiką, palyginti su paprastais energijos suvartojimo skaičiavimais. Kompiuterinis modeliavimas gali būti naudojamas tiek projektui remti naują pastatą, tiek optimizuoti šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo valdymo strategijas eksploatuojat jau pastatyta pastatą.

2. PASTATO ENERGINIO EFEKTYVUMO MODERNIZAVIMO GALIMYBIŲ VERTINIMO METODIKA

Antrajame skyriuje pateikiama pastatų prieš modernizavimą (toliau - ***„D“ pastatas***) ir po modernizacijos (toliau - ***„A“ pastatas***) energinio efektyvumo galimybių nustatymo metodikos bei palyginimas. Surenkami duomenys apie *„D“* ir *„A“* pastatų energijos sąnaudas. Aptariamos natūrinių tyrimų ir energinio modeliavimo *„DesignBuilder“* programos metodikos.

2.1. Naudota metodologija ir tyrimo prielaidos

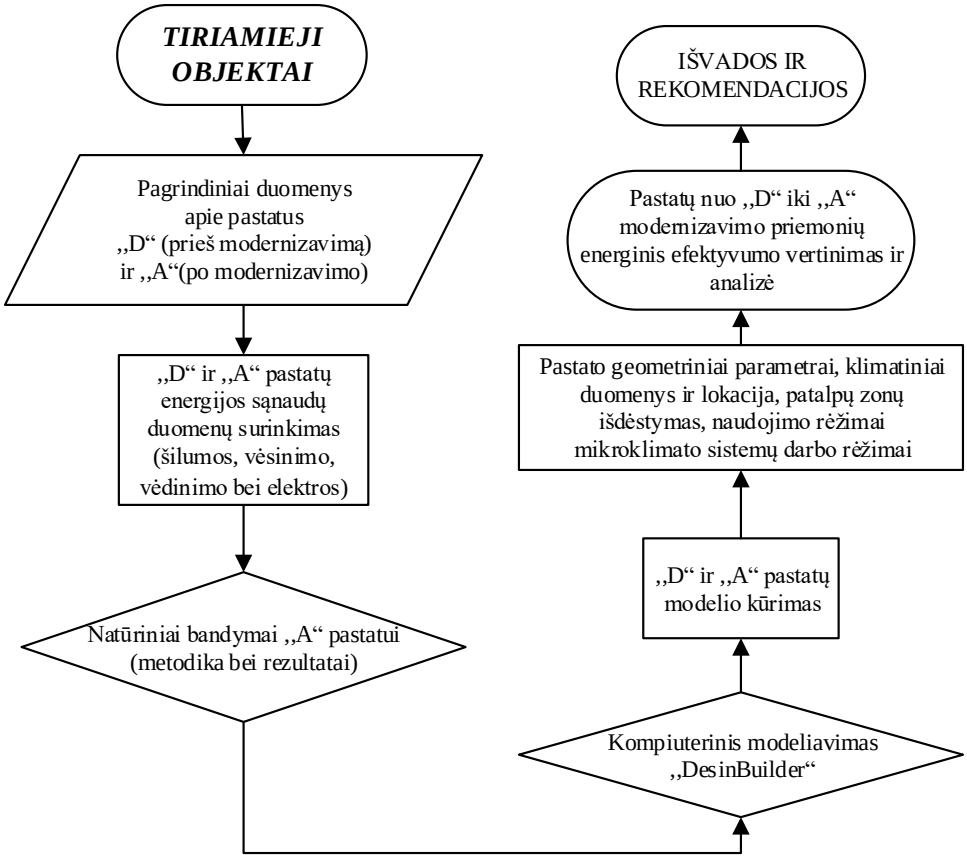
Tyrime taikomų metodų eiga pateikta (13 pav.), metodika sudaryta remiantis aptartais mokslininkų ir tyrėjų darbais, natūrinių bandymų bei teorinio pastato kūrimo metodais. Atliekant tyrimą pirmiausiai surenkama informaciją apie tiriamųjų objektų *„D“* ir *„A“* pastatų (3 lentelė) energijos sąnaudas, taip pat aprašomos aktyviosios pastatų sistemos, kurios naudojamos šildymui, vėsinimui ir oro kondicionavimui bei išsiaiškinamų pastatų pasyviųjų sistemų architektūriniai sprendiniai (šilumos perdavimo koeficientai, patalpų išdėstymas bei geometrija).

3 lentelė. Tyrimo objektai

Tyrimo objektas	***Aprašymas***
„D“ pastatas	Administracinės paskirties pastatas, priklausantis D energinei efektyvumo klasei, pastatas pastatytas *1996 m.*
„A“ pastatas	Administracinės paskirties pastatas, priklausantis A energinei efektyvumo klasei, pastato atnaujinimo darbai pradėti nuo 2018 m., modernizavimo darbai atlikti 2019 m.

Surinkus duomenis apie pastatą atliekami natūriniai tyrimai, kurių metu matuojamos *„A“* pastato išorinės atitvaros (sienos, įstiklinimas, rėmas, stogas) šilumos laidumo koeficientui nustatyti bei mikroklimato parametrai (vidaus patalpų oro temperatūra bei santykinis drėgnis). Atlikus bandymus kompiuterinės modeliavimo programos pagalba buvo sudarytas trijų aukštų administracinės paskirties *„D“* ir *„A“* pastatų modeliai. Pastatų energijos poreikių (šilumos, vėsos, vėdinimo), komforto palaikymo parametrų (vidaus patalpų oro bei lauko oro temperatūra, santykinis drėgnis), šilumos pritekėjimui dėl saulės spinduliuotės modeliavimui buvo pasitelkta pastatų dinaminio energetinio modeliavimo kompiuterinės programoje *„DesignBuilder“* įdiegtos simuliacijos *„EnergyPlus“*, kuri leidžia atlikti išsamiai aprašyto pastato detalų, kompleksinį modeliavimą

pasirinktu laiko žingsniu. Remiantis gautomis imitacinių modelių gautomis simuliacijomis, tinkamam rezultatų pateikimui naudojami „Microsoft Excel“ programą, kur gauti duomenys apdorojami įdiegtomis programos funkcijomis.



13 pav. Tyrimo metodika

Nustačius tyrimo eigos metodiką (13 pav.) atliekami tolimesni žingsniai darbo atlikimui, išsikeliamos tyrimo prielaidos bei aprašomi pirminiai duomenys.

2.2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektai – administracinės paskirties „D“ ir „A“ pastatai. Tyrimui atlikti pasirinktas realiai egzistuojantis administracinis pastatas, Kauno miesto savivaldybėje, V. Krėves pr. 120. Pagrindinis pastato modernizavimo tikslas - atlikta pasyviųjų ir aktyviųjų pastato dalių atnaujinimai t. y. apšildytos sienos, stogas, langai pakeisti naujais. Nagrinėjamas pastatas yra trijų aukštų susidedantis iš 59 patalpų. Pastatas yra trijų aukštų, bendra šildomas plotas yra *2587,81* m^2, vieno aukšto aukštis 2,9 metrai, viso pastato apie 10 metrų, pagrindinis pastato fasadas orientuotas į pietus.

Atliekant tolimesnius natūrinius bandymus ir modeliavimą, ***priimamos prielaidos:***

- *Pastate „D“ ir „A“ dirbo/dirba 105 darbuotojai;*

- *Pastatuose geometrija bei pastato patalpų išdėstymas ir geometrija „D“ ir „A“ pastatuose lieka vienodi;*
- *„A“ pastato šilumos perdavimo koeficientai: perdangoms, grindims, durims priimami iš STR nurodytų A energinei efektyvumo klasei; sienų, langų, stogo priimami darbe išmatuoti rodikliai.*

Pateiktame paveiksle *„D“* pastato nuotrauka prieš modernizavimą, pastatas pastatytas 1996 m. (14 pav.)

14 pav. Pastatas prieš renovaciją (nuotr. autoriaus)

Pirmą kartą *renovacijos darbai pastatui atlikti 2019 m.* 1 pav. pateikta „A“ pastato nuotrauka po modernizavimo (15 pav.):

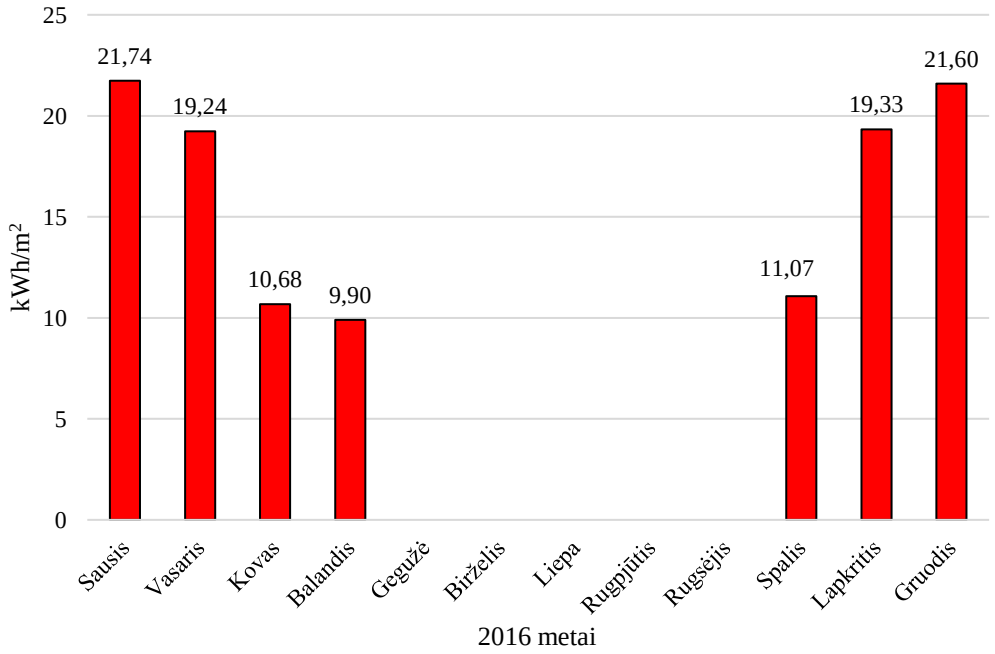
15 pav. Pastatas po renovacijos (nuotr. autoriaus)

Remiantis pasirinkto pastato projektiniais duomenimis ir architektūriniais planais, energijos sąnaudų rodikliais, natūriniais bandymai bei kompiuterinėmis modeliavimo priemonėmis buvo sukurti du „D“ ir „A“ pastatų modeliai. Gauti įdiegtos energinio efektyvumo galimybės, remiantis išmatuotais bei sumodeliuotais rezultatais validuojami su realiais turimais duomenimis.

2.3. Pastato aktyviųjų ir pasyviųjų energinių sistemų aprašymas bei energijos sąnaudos

Pastatas yra suskirstytas į dvi struktūrines dalis: aktyviąsias ir pasyviąsias technines dalis. Aktyviomis dalinis laikoma tokia technika, kuri nuolatos kinta (elektros, vėsinimo bei šildymo sistemos) pastato eksploatavimo metu, šių dalių šilumos nuostoliai vertinami reglamentuose nurodytais metodais, bei kompiuterinėmis programomis, taikant dinaminio modeliavimo metodus, priklausomai nuo pastato paskirties. Pasyviųjų pastato dalių šilumos nuostoliai gaunami eksperimentiniu bei teoriniu modelio būdu, skaičiuojant atskirų atitvarų šilumos nuostolius. Pastato šilumos nuostoliai priklauso nuo šilumos laidumo, atitvaros storio, atitvarų plotų, ilginių šilumos tiltelių perdavimo koeficientų ir jų ilgių, taip pat nuo infiltruojamo oro kiekio į patalpas, šildymo sistemos tipo ir įdiegtos įrangos.

„D“ pastato šilumos energinė sistema ir sąnaudos. Prieš modernizavimą nagrinėjamo pastato šilumos poreikiai buvo tenkinami iš centrinių šilumos tinklų. Remiantis AB „Kauno energijos“, 2016 m. duomenimis 16 pav. pateikti šilumos suvartojimai prieš pastato modernizavimą.

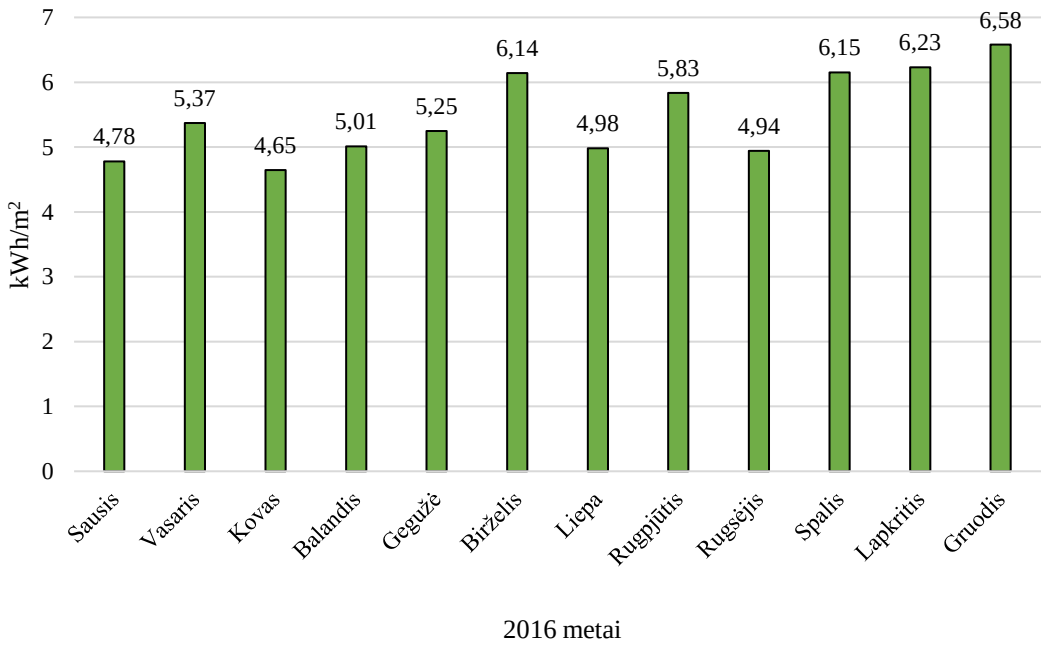


16 pav. Šilumos sąnaudos patalpų šildymui (2016 m.)

Šildymui pastate prieš modernizaciją buvo įdiegta radiatorinė šildymo sistema, vėsinimo įrenginių nebuvo, tik natūralus vėdinimas per langus.

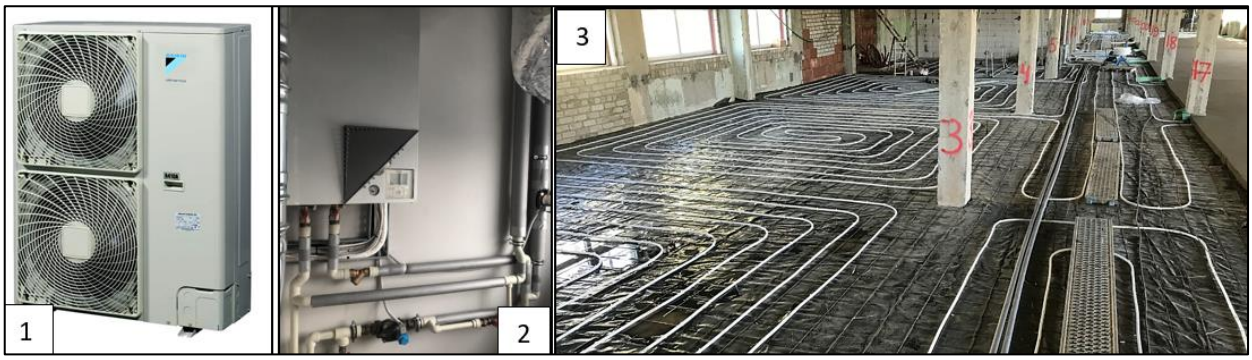
„D“ pastato elektros energijos poreikiai buvo tenkinami iš elektros tinklų. Elektros energijos prietaisai bei apšvietimui naudojamos technologijos buvo neefektyvus sprendimas, nes vartodavo daug elektros energijos.

Elektros suvartojimo duomenys gauti AB „ESO“ (*Energijos skirstymo operatorius*) 2016 m. duomenimis pateikiami 17-tame paveiksle.



17 pav. Pastato elektros energijos sąnaudos (2016 m.)

„A“ pastato šildymo – vėsinimo energinė sistema (18 pav.) ir sąnaudos. Pastato kiekviename aukšte įrengti žematemperatūriniai *Daikin Altherma* šilumos siurbliai oras/vanduo. Vidaus blokas su reversu - šildymas ir vėsinimas. Šilumos siurblio sandara: cirkuliacinis siurblys, išsiplėtimo indas, apsaugos vožtuvas, plokštelinis šilumokaitis freonas/vanduo, papildomas elektrinis šildytuvas (BUH), valdymo modulis. Šilumos siurblio išorės bloko sandara: kompresorius, šilumokaitis, ventiliatorius. Šilumos siurbliai įrengti kiekviename pastato aukšte, vieno įrenginio šildymo galia 16,10 kW, vėsinimo galia 13,12 kW. Taip pat visuose trijuose pastato aukštuose įrengtas grindinis šildymas. Šilumos siurblio šildymo naudingumo koeficientas *COP = 4,20,* šaldymo naudingumo koeficientas *EER = 2,29*.



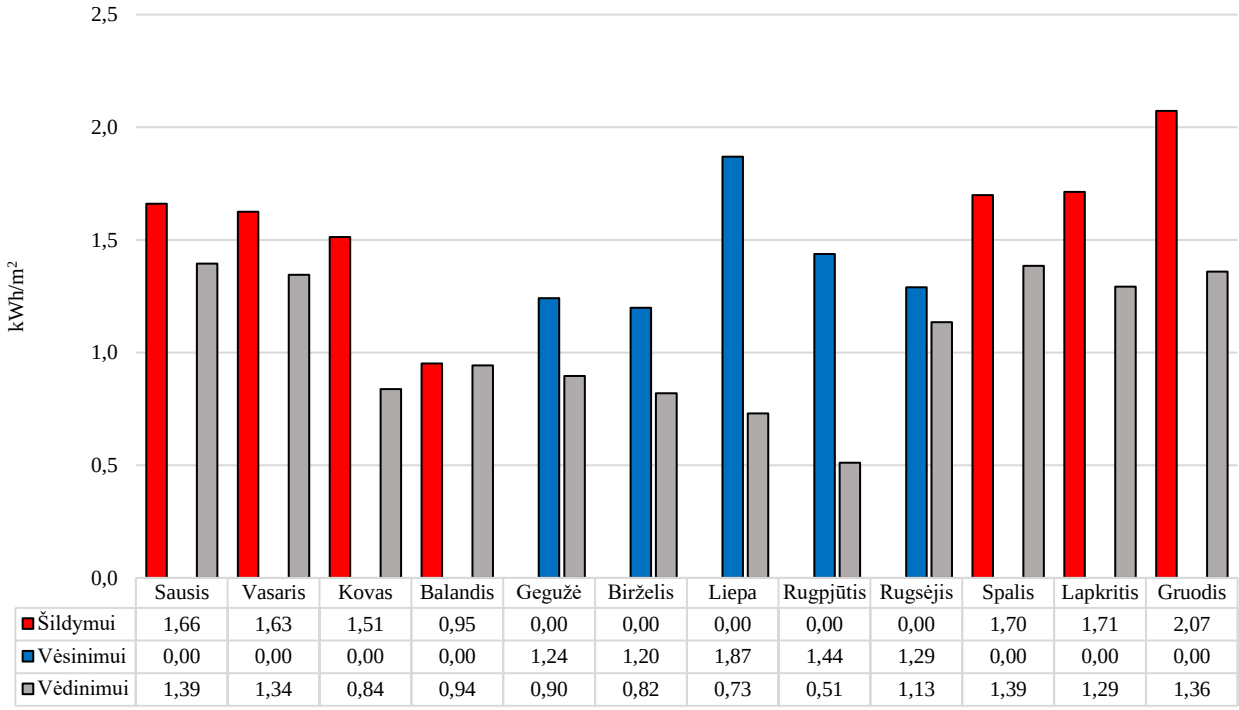
18 pav. „A“ pastato šildymo – vėsinimo sistema: 1 – ant stogo sumontuoti vėsinimo įrenginiai; 2 – pastato viduje sumontuotas šilumos siurblys oras – vanduo; 3 – grindinis šildymo įrengimas darbų vykdymo eigoje (nuotr. autoriaus)

„A“ pastato vėdinimo sistema (19 pav.) ir sąnaudos. Kiekviename pastato aukšte vėdinimui įrengtas rotacinis vėdinimo įrenginys *Komfovent Verso CF 2300 (A energinio naudingumo klasės)*. Tiekiamo L=1647 m^3/h našumo, 310 Pa statiniu slėgiu. Šalinamo L=1427 m^3/h našumo, 200 Pa statiniu slėgiu, su rotaciniu šilumokaičiu. Ventiliatoriaus pavaros elektrinė įėjimo galia esant didžiausias srautui 660 W, elektrinio oro šildytuvo galia 7,5 kW.

19 pav. Vėdinimo įrenginys (nuotr. autoriaus)

Sandara: elektrinis oro šildytuvas; reversinis šilumokaitis; tiekiamo, šalinamo oro filtrai M5; šalčio mašina; freoninis aušintuvas, vandeninis aušintuvas. Šis vėsinimo įrenginys turi galimybe pašildyti arba pašaldyti orą, šilumogrąžio efektyvumas 0,8.

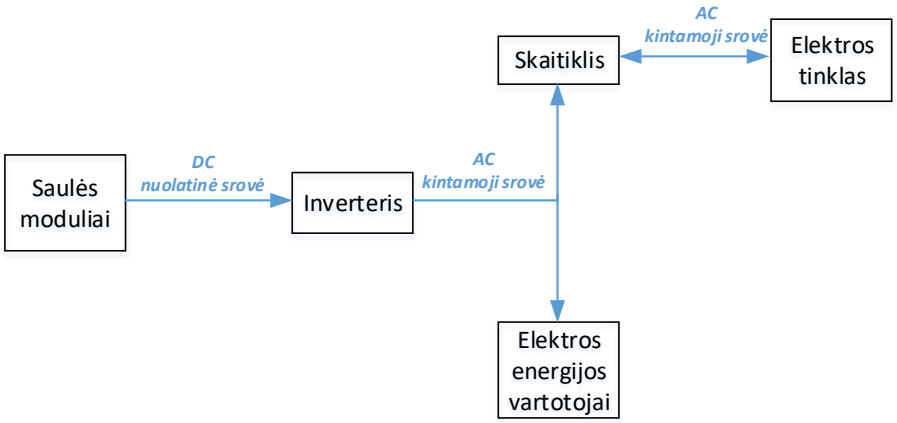
Faktiniai duomenys apie 2020 m. „A“ pastato šildymo, vėsinimo ir vėdinimo elektros energijos sąnaudos pateikiami 20 pav.



20 pav. „A“ pastato metinės elektros energijos sąnaudos šildymui, vėsinimui ir vėdinimui (2020 m. duomenys)

„A“ pastato elektros sistema ir bendros elektros sąnaudos. Pastato elektros sistemą sudaro įvadiniai skydai ir apskaitos prietaisai. Elektros poreikiai patenkinami iš saulės elektrinės prijungto prie tinklo, dar kitaip vadinama integruota saulės elektrinė.

Saulės elektrinės (SE) veikimo principas pavaizduotas 21 pav.



21 pav. Saulės elektrinė prijungta prie tinklo (sudaryta aut.)

Integruotosios saulės elektrinės energiją tiekia į elektros energetikos tinklą, kuris perduoda ją vartotojams ir sudaro sąlygas saulės elektrinėje apsieiti be elektros energijos kaupiklio. Tuomet, kai

elektros energijos neužtenka generavimo iš saulės modulių energija grįžtamuoju būdu diegiama vartotojui, dar kitaip vadinamas dvipusės apskaitos veikimo principas.

Dvipusės apskaitos sistemos veikimo principas paremtas sukauptos elektros energijos kiekiu iš saulės elektrinės generuojamos pavasario – vasaros laikotarpiu, kuomet saulės apšvietos kiekis yra didžiausias, tam, kad rudens – žiemos laikotarpiu pakaktų reikalingos elektros energijos poreikiams patenkinti. Būtina preliminari sąnaudų analizė, pagal kurią būtų parenkamas saulės elektrinės galingumas (ESO duomenimis, 2019).

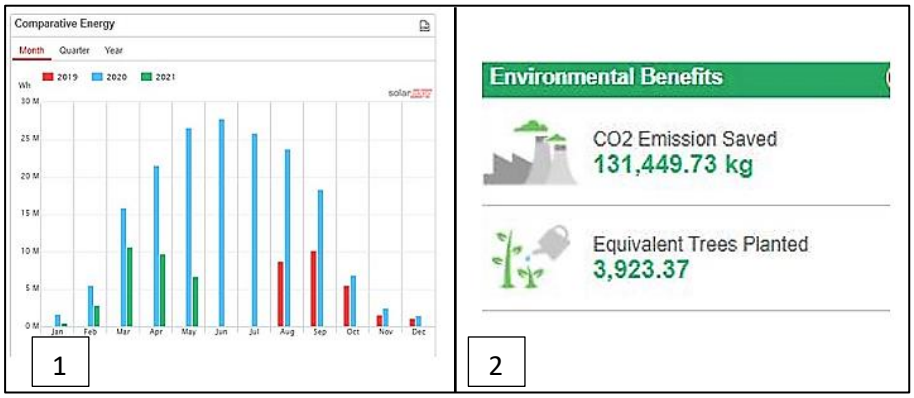
Įranga sumontuota saulės elektrinės įrengimui pavaizduota 22 pav.:

22 pav. Įrenginiai sumontuoti ant pastato stogo:

1 - Polikritaliniai saulės moduliai (Suntech); 2 – du inverteriai (SolarEdge) (nuotr.autoriaus)

Ant analizuojamo pastato po renovacijos sumontuoti 105 vnt. saulės moduliai, kurio vieno modulio galia 330W ir efektyvumas siekia 17%, o elektrinės galia 34,65 kW.

Elektrinės gamybos nustatymui įdiegta saulės inverterių gamintojo *SolarEdge* programa (23 pav.).

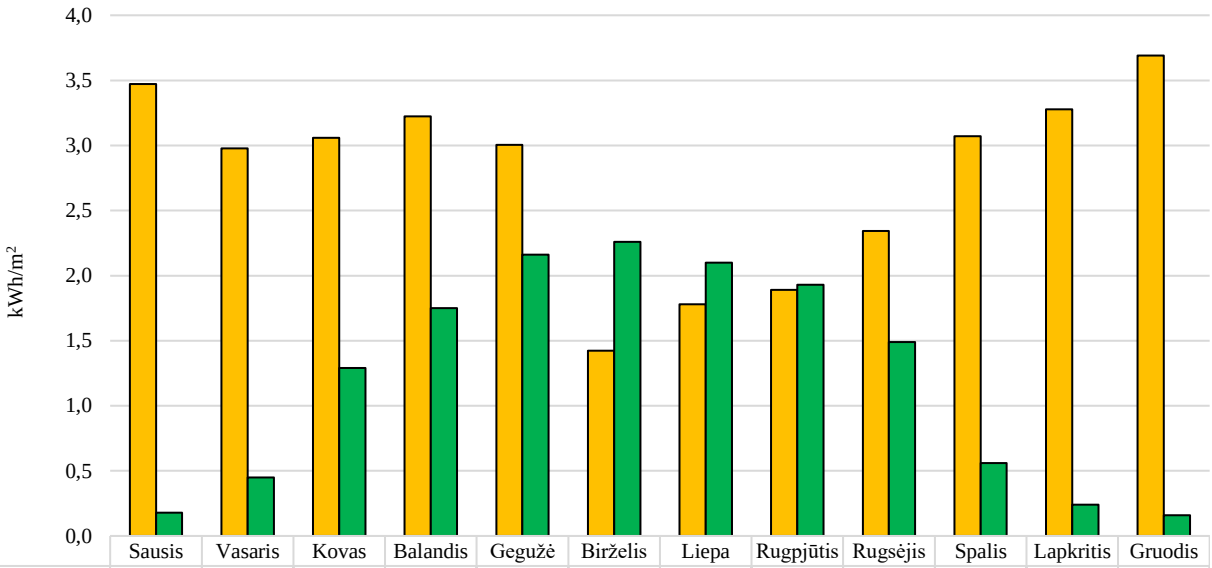


23 pav. Ištrauka iš *SolarEdge* gamintojo programos (ištrauka iš *SolarEdge* programos):

1 – elektrinės gamyba; 2 – CO_2 kiekis

Iš 23 paveiksle pavaizduotos programinės įrangos ištraukos matoma, kad *SolarEgde* įdiegta programinė įranga, parodo elektrinės gamybą bei elektros suvartojimas per tam tikrą laikotarpį bei CO_2 kiekio sutaupymus.

Pateikiamas 2020 metų saulės elektrinės gamyba, bei elektros energijos suvartojimas apšvietimui bei kitiems energiją vartojančiai įrangai vaizduojamas 24 paveiksle. Kiekvieną mėnesį elektros suvartojimo rodikliai buvo kaupiami „Microsoft Exel“ programinėje įrangoje.



	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis
Apšvietimui ir kt. įr.	3,47	2,98	3,06	3,22	3,00	1,42	1,78	1,89	2,34	3,07	3,28	3,69
SE Gamyba	0,18	0,45	1,29	1,75	2,16	2,26	2,10	1,93	1,49	0,56	0,24	0,16

24 pav. Elektros energijos poreikiai po renovacijos (2020 m. duomenys)

Iš 24-ojo paveikslo matoma, kad birželio, liepos ir rugpjūčio mėnesiais saulės elektrinė patenkina visus elektros energijos poreikius apšvietimui ir kitiems elektros įrenginiams.

Apžvelgus energines pastatų sistemas ir surinkus duomenis apie energijos sąnaudas pastato poreikiams tenkinti, atliekami vidaus ir lauko temperatūros, šilumos srauto per išorines atitvaras bei santykinio drėgnio natūriniai matavimai

2.4. Natūriniai „A“ pastato matavimai

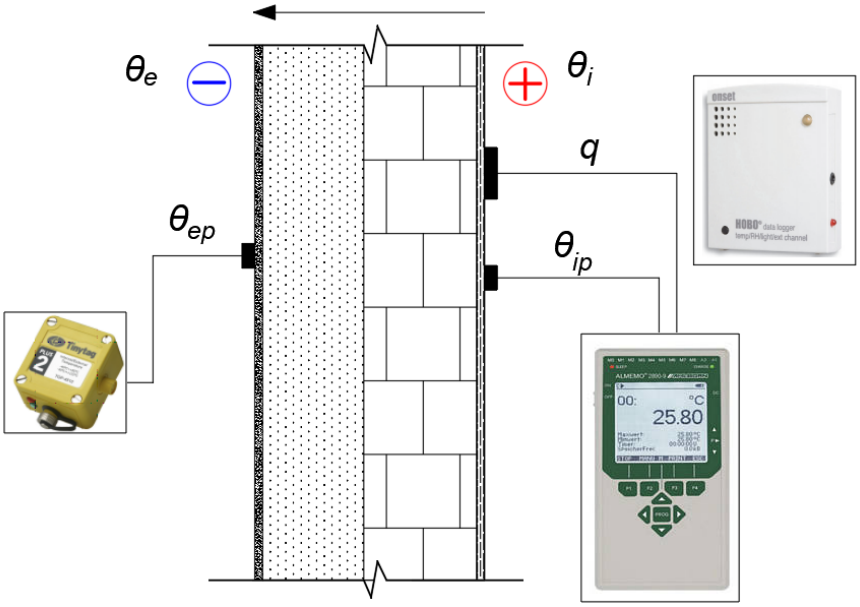
Tyrimo metodikos eigoje atliekami natūriniai „A“ pastato matavimai, kuriais remiantis nustatomas šilumos perdavimo koeficientas, matuojamos vidaus ir lauko temperatūros bei šilumos srautas per išorines atitvaras. Modernizavimo vertinimas natūriniais matavimais atlikti pagal pirmajame skyriuje minėtą Vokietijos mokslininko Messbar. De sukurtą ir Dr. R. Volvačiovo bei M. Kračkos moksliniame darbe panaudotą metodiką.

2.4.1. Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento ir mikroklimato parametrų nustatymas

Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientas nustatomas teoriškai įvertinus sudedamąsias medžiagas bei sudedamųjų dalių storius. Tuomet, kai nėra duomenų apie tai iš kokių medžiagų sudaryta atitvara, bet norima įvertinti realią konstrukcijos padėtį, atliekami matavimai naudojant šilumos srauto ir temperatūros matavimo prietaisus.

Eksperimentas buvo atliekamas vienu metu matuojant keturių atitvarų taškus: sienos, lango rėmo, įstiklinimo bei stogo. Prieš atliekant matavimus, sudarytas pastato atitvarų šiluminės varžos nustatymo eksperimento modelis.

Pastato išorinių atitvarų šiluminės varžos nustatymo eksperimento būdu modelis pateikiamas 22 paveiksle.



25 pav. Pastato mikroklimato parametrų ir šiluminių charakteristikų nustatymo, eksperimento būdu natūrinis modelis

25 paveiksle pliuso ženklu žymimi vidaus patalpos parametrai, o minuso ženklu žymimi lauko išorės parametrai. Vidaus temperatūra θ_i , lauko temperatūra θ_e, šilumos srauto tankį q fiksuojanti plokštelė ir vidaus paviršiaus temperatūrą θ_{ip} matuojanti termopora. Išorinėje atitvaros dalyje pritaisytas θ_{ep} atitvaros paviršiaus dalyje matuojanti termopora. Faktinį šilumos perdavimo koeficientą parodo eksperimento metu nustatytas šilumos srauto santykis su atitvaros elemento paviršių temperatūros skirtumu.

Šilumos srautas matavimui nustatyti, kad matavimai būtų tikslesni pasirinktas ne mažesnis nei 20 laipsnių temperatūros skirtumas tarp pastato vidaus ir išorės temperatūros rodiklių skirtumas. Atliekant matavimus, išorėje (lauke) turi būti stabili temperatūra, didelio poveikio negali daryti saulės

spinduliuotė ir vėjo greitis, todėl buvo pasirenkama šildoma patalpa šiaurinėje pastato dalyje, čia mažiausias pritekėjimas iš saulės ir mažiau veikiamos išorės paviršiaus bei vidaus temperatūros.

Sujungus laboratorinius prietaisus, duomenų kaupiklis suprogramuojamas taip, kad skirtingų jutiklių matavimų duomenys būtų kaupiami kas 5 min. Matavimai atlikti įvertinant keturiolikos dienų laikotarpio duomenis, t. y. nuo 2021 m. sausio 27 iki vasario 10 dienos. Gauti matavimo duomenys vaizduojami grafiškai, šilumos perdavimo koeficientas skaičiuojamas, išskiriant nakties didžiausio patikimumo matavimų intervalą, kuriame matomi mažiausi fiksuotų reikšmių pokyčiai. Visi matavimo jutikliai matavimo rezultatus pateikia iš karto. Norint nustatyti išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientą, šilumos srauto matavimo plokštelių (jutiklių) duomenis reikia papildomai apdoroti.

Faktinis atitvaros šilumos perdavimo koeficientas parodo šilumos srauto tankio ir atitvaros vidaus ir lauko išorės paviršiaus temperatūros skirtumo santykį. Vidaus ir išorės paviršių varžos reikšmės nurodomos 4-oje lentelėje STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ Skaičiuojant reikia įsivertinti išorės ir vidaus paviršių šilumines varžas R_{si} *ir* R_{se} (LR aplinkos ministro įsakymas, 2016):

4 lentelė Vidaus ir išorės šiluminės varžos R_{si} *ir* R_{se} , $m^2 \cdot K/W$

Vidinio paviršiaus varža $R_{si}, m^2 \cdot K/W$			**Išorinio paviršiaus varža** $R_{se}, m^2 \cdot K/W$
Šilumos srauto kryptys			
horizontali	aukštyn	žemyn	Visomis kryptimis
0,13	0,1	0,17	0,04

Vidaus paviršiaus varža R_{si} ir lauko paviršiaus varža R_{se} priklauso nuo atitvarą veikiančių aplinkos veiksnių (drėgnumo, temperatūros, vėjo greičio ir kt.), kurie matavimo metu gali kisti (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas, 2016).

Nustatomas faktinis šilumos perdavimo koeficientas U_f, $(W/m^2 \cdot K)$:

$$U_f = \frac{1}{R_{si}} + \frac{q}{(\theta_{ip} - \theta_{ep})} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{q}{(\theta_i - \theta_e)} \quad (1)$$

Čia: θ_{ip} – nagrinėjamo laiko intervalo vidutinė vidinio atitvaros paviršiaus temperatūra, *°C; :* θ_{ep} – vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra, *°C;* θ_i – pasirinkto laiko intervalo vidutinė vidaus oro temperatūra *,°C;* θ_e – pasirinkto laiko intervalo vidutinė lauko oro temperatūra, *°C;* q – pasirinkto laiko intervalo vidutinis šilumos srauto tankis, W/m^2; R_{si} – vidaus paviršiaus varža, $m^2 \cdot K/W$; R_{se} – išorės paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$.

Apskaičiuojama faktinė atitvaros šiluminė varža R_s, $(m^2 \cdot K/W)$:

$$R_s = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{q}; \quad (2)$$

Čia: θ_{si} – vidutinė vidinio paviršiaus temperatūra, per laiko tarpą, *ºC;* θ_{se} – vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra, per laiko tarpą, *ºC;* q – vidutinis šilumos tankis, per laiko tarpą, W/m^2.

2.4.2. Norminės patalpų mikroklimato ir šilumos perdavimo koeficiento reglamentuotos vertės

Šiame skyriuje pateikiamos gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimato parametrų ribinės vertės (Lietuvos respublikos aplinkos ministerija, 2009). Oro temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu, t.y. šildymo sezonu, turi būti nuo 18 ºC iki 22 ºC, o santykinė oro drėgmė nuo 35 % iki 65 %. Šiltuoju metų laikotarpiu oro temperatūra reglamente nurodyta nuo 18 ºC iki 28 ºC, santykinė oro drėgmė nuo 35 % iki 65 % (HN 42:2009).

Matuojant mikroklimato parametrus patalpos oro temperatūros matavimo paklaida negali būti daugiau kaip ± 0,2 ºC, o santykinės oro drėgnės matavimo paklaida ne daugiau kaip ± 0,5 ºC.

Remiantis Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimo ir sertifikavimo“ patvirtintais administracinės paskirties pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientai pateikti 5-oje lentelėje:

5 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientai (STR 2.01.02:2016)

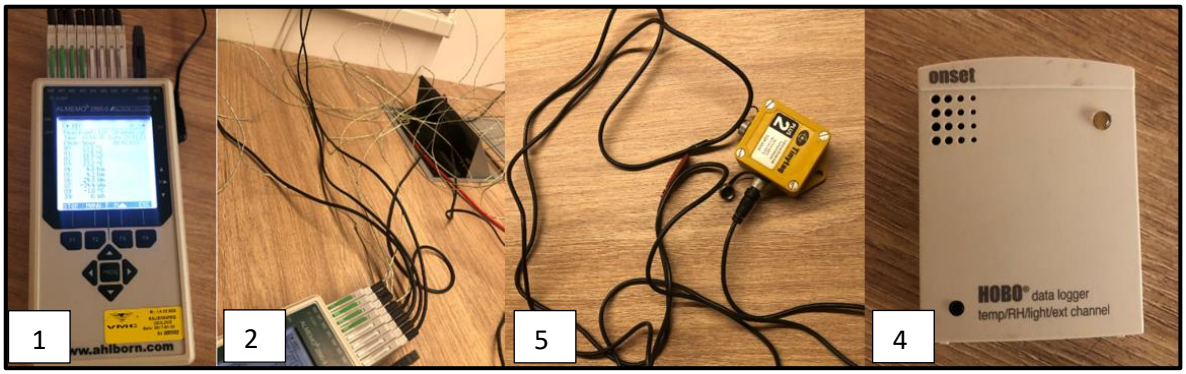
Pastato atitvara	***D energinės klasės U, W/m^2 ·K***	***A energinės klasės U, W/m^2 ·K***	***A+ energinės klasės U, W/m^2 ·K***
Sienos	0,60	0,15	0,13
Stogas	0,44	0,11	0,10
Langai	2,17	1,30	1,00

Atlikus reglamentuose nurodytų mikroklimato normų ir šilumos perdavimo koeficientų analizę, pateikiama tyrimui naudojama įranga.

2.4.3. Matavimo prietaisai

Patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimas atliekamas naudojant matavimo prietaisus, kurie turi būti sujungti į tam tikrą schemą.

23 paveiksle pateikiame matavimo tyrimo schemos sudarymui naudoti matavimo prietaisai. Tyrimo atlikimui naudojama matavimo įranga pavaizduota pav.



26 pav. Pastato mikroklimato parametrų ir šiluminių charakteristikų nustatymo, eksperimentui naudota įranga

Pateikiamas matavimų prietaisų pažymėtų paveiksle sąrašas (skaičius pav. nurodo prietaisą aprašytą apačioje).

1. Duomenų kaupiklis „AHLBORN“ (modelis *Almemo 2890-9*) vokiečių kompanijos matavimo įranga su matavimo atmintimi. Vienu metu prie šio duomenų kaupiklio galima prijungti 9 matavimo prietaisus. Duomenys suprogramuoti taip, kad būtų įrašomi kas 5 min, visą parą. Įrenginys tiksliausiai matuoja tada, kai aplinkos oro temperatūros ribos yra nuo -10 ºC iki +50 ºC, o santykinė oro drėgmė – nuo 10 iki 90 %. Duomenų kaupiklis jungiamas į 220 V įtampos elektros tinklą (Ahlborn *Almemo*, 2015).
2. Prie duomenų kaupiklio prijungiamos keturios šilumos srauto plokštelės „FQA019C“, kad galima būtų išmatuoti kiekvienos atitvaros šilumos srautą. Šilumos srauto plokštelių matavimo intervalas nuo 0 iki 5200 W/m^2 (Ahlborn *Almemo*, 2015).
3. Taip pat prie duomenų kaupiklio prijungiamo keturi jutikliai (termoporos) vidaus paviršiaus temperatūrai matuoti, jutiklio tikslumas ±2,5 ºC.
4. Patalpų oro temperatūros ir drėgmės matavimas atliekamas JAV gamintojų „Onset Computer Corporation“ duomenų kaupikliais „Hobo U12-012“. Šiuo prietaisu kaupiama vidaus patalpos oro temperatūra ir santykinis drėgnis. Temperatūros reikšmės fiksuojamos nuo -20 ºC iki 60 ºC, tikslumas yra ±0,35 ºC , santykinė drėgmė – 5-95 %., tikslumas ±2,5 % (Onset Computer Corporation, 2016).
5. Lauko oro temperatūra išmatuota Didžiosios Britanijos gamintojų „Tinytag“ duomenų kaupikliu TPG-4510. Prie duomenų kaupiklio prijungtas jutiklis, matuoja išorės atitvaros paviršiaus temperatūrą (Tinytag, 2019).

Atlikus natūrinių matavimų tyrimo eigos struktūra, pereinama prie kitos metodikoje nurodytos dalies kompiuterinio modeliavimo parinkimo programos aprašymo.

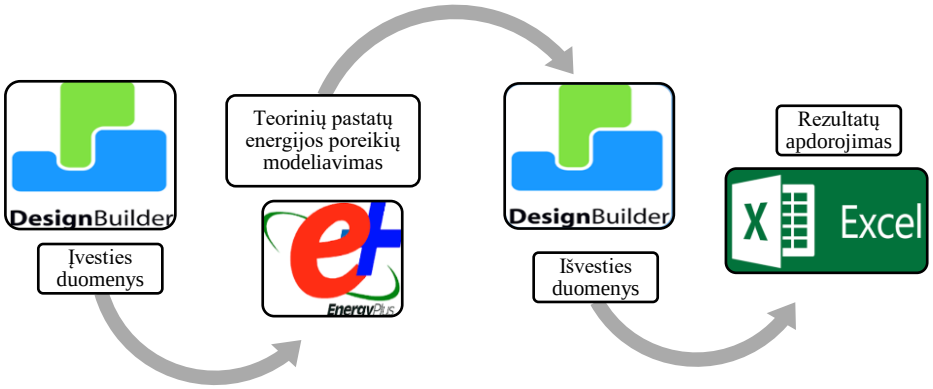
2.5. Programinės įrangos „*Designbuilder*“ apžvalga

Remiantis gautais natūrinių tyrimų rezultatais ir turimais pastato duomenimis, parenkama kompiuterinio modeliavimo programa ir sudaromi dviejų „D“ ir „A“ pastatų teoriniai modeliai. Remiantis kompiuteriniu modeliavimo programa turimi pasato realūs duomenys t. y. energijos sąnaudos, validuojami sukurtuose imitaciniuose „D“ ir „A“ pastatų modeliuose.

Tyrimo objektų teoriniam modeliavimui pasirenkama, kompiuterinę modeliavimo priemonė – *„DesignBuilder“* simuliacijos programa *„EnergyPlus“,* tai kompiuterinio modeliavimo priemonė naudojama energijos poreikiu, anglies dvideginio išskyrimui, apšvietimo ir komforto matavimui bei valdymui (T. Hong et al., 2016). *„EnergyPlus“* sukurta siekiant palengvinti pastato modeliavimo procesą. Programa lygina alternatyvius pastatų projektus naudodamas funkcijos ir rezultatais pagrįstą rezultatų palyginimo metodą, atlikdamas įvairias analizes. *„EnergyPlus“* JAV energetikos departamento sukurta pastatų energijos modeliavimo programa, skirta modeliuoti pastato šildymą, vėsinimą, apšvietimą, vėdinimą ir kitą energijos srautą (D.B. Crawley et al., 2001). Ji sukurtas remianti populiariausiomis *BLAST* ir *DOE-2* funkcijomis ir galimybėmis, tokių kaip mažiau nei valandos modeliavimo laikas, šilumos perdavimo balanso zonų modeliavimas, kelių zonų oro kondicionavimo sistema, šiluminis komfortas fotoelektrinėmis sistemos.

„*DesignBuilder*“ yra bene išsamiausia „*EnergyPlus*“ dinaminio šiluminio modeliavimo variklio vartotojo sąsaja. „*DesignBuilder Software Ltd.*“ (DBS) yra komercinės programinės įrangos kūrimo ir tyrimų įmonė, įkurta 1999 m. „*DesignBuilder*“, pirmą kartą išleista 2005 m. Gruodžio mėn. „*DesignBuilder*“ žinių bazė yra suskirstyta į skirtingas kategorijas: modelio importavimas CAD; šablonų komponentai; medžiagų duomenų bazė; natūralaus vėdinimo modelis ir kt. Skaičiavimo modeliavimo kodas yra pagrįstas programine įranga „*EnergyPlus*“ (T. Hong et al., 2016).

Programinės įrangos pakete galimas platus įvesties duomenų parinkimas - klimatinių duomenų įvestis, energinių sistemų įrenginių komponentų parinkimas kiekvienai pastato zonai ar visam pastatui, naudojamų medžiagų pastato statyboms duomenys ir kiti. Programoje galimi architektūrinių pastato planų importavimą į programą, palaikoma 3D modeliu skurtus tokiomis išorės programomis, kaip *„AutoCAD*“, „*Revit*“, *BIM*. Pastatui atliekamas imitavimas, tai išsamiausias modeliavimo metodas su dinaminiais parametrais ir apima visą energijos tiekimą ir energijos sklaidą. „*DesignBuilder*“ sujungia programinės įrangos „*Energyplus*“ skaičiavimo modelį (27 pav.) ir EPBD Europos standartus.



27 pav. Skaičiavimo eigos sekos modelis (sudaryta aut.)

„*EnergyPlus*“ programa atlieka integravimo modeliavimą, t. y. pastato elementai, pastatas ir jo sistemos yra spendžiamos vienu metu. Taikant tokį metodą, galima įvertinti, kaip vieno parametro pasikeitimas daro įtaką kitam. Tam, kad modelis būtų gautas kuo tikslesnis, integruojami elementai turi būti vienas su kiti tarpusavyje sąveikaujantys.

2.6. Antrojo skyriaus išvados

Tyrimo metu naudojami natūrinių bandymų metodologija paremta mokslininkų. Šiame skyriuje aprašyti surinkti pagrindiniai duomenys apie pastato energines sistemas naudotas „D“ ir „A“ pastatuose, surinkta informacija apie „D“ pastato šilumos energijos ir elektros energijos sąnaudas, „A“ pastatuose išanalizuotos ŠVOK sistemos bei taip pat gautos elektros energijos sąnaudos pastate po modernizacijos.

Remiantis mokslininkų paremtais natūrinių bandymais aprašomas, šilumos perdavimo koeficientų bei oro parametrų matavimų metodika. Darbe apžvelgiamos norminės mikroklimatų parametrų vertės bei šilumos perdavimo koeficientų reglamentuoti rodikliai D, A ir A+ klasės pastatams. Aprašomos tyrimui naudotos priemonės, sudaryta eksperimento atlikimo schema. Bandymas atliekamas vienu metu matuojant keturių atitvarų taškus: sienos, lango rėmo, įstiklinimo bei stogo. Matavimų duomenys kaupiami kas 5 min. Matavimai atlikti įvertinant keturiolikos dienų laikotarpio duomenis, t. y. nuo 2021 m. sausio 27 iki vasario 10 dienos.

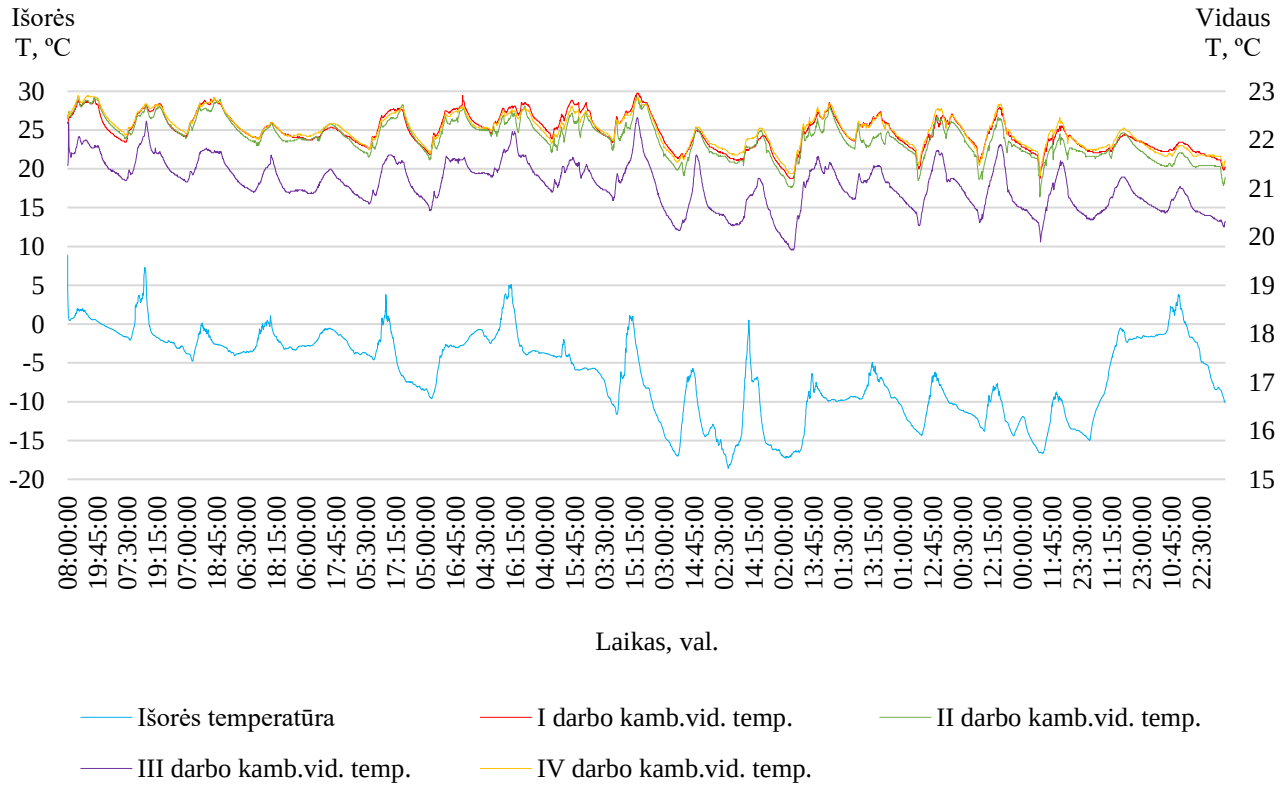
Vėliau aprašoma tolimesnė tyrimo eiga naudojant kompiuterinę modeliavimo priemonę „*DesignBuilder*“ „D“ ir „A“ pastatų teorinių modelių kūrimui, kuriais remiantis atliekamas validavimas. „*DesignBuilder*“ programinėje įrangoje įdiegtos simuliacijos „*EnergyPlus*“ galimybės leidžia atlikti pastato šildymo, vėsinimo, apšvietimo, vėdinimo ir kitų energijos srautų optimalų veikimą įvedant atitinkamus pastato parametrus.

3. NATŪRINIAI TYRIMŲ REZULTATAI, „D“ IR „A“ PASTATŲ TEORINIŲ MODELIŲ KŪRIMAS

Šiame skyriuje pateikiami ir aptariami natūrinių matavimų rezultatai, kuriais remiantis nustatomi „A“ pastato išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai. Atliktais „A“ pastato natūriniais matavimais ir turimais „D“ pastato projektiniais sprendiniais, kuriami teoriniai pastato modeliai.

3.1. Natūrinių „A“ pastato matavimų rezultatai

Natūriniai tyrimai „A“ pastate vykdyti vertinant keturiolikos dienų laikotarpį, t. y. nuo 2021 metų sausio 27 iki vasario 10 dienos. Tyrimų metu duomenys buvo kaupiamo kas 5 min. Matavimo objektai: tiriamo pastato išorės sienos, langų rėmai, stiklo paketai, bei stogas. Matuojami parametrai: šilumos srautas per atitvarus, vidaus patalpų ir lauko oro temperatūra. Vidaus patalpų oro temperatūros matavimai buvo atliekami skirtinguose keturiuose darbo kabinetuose.



28 pav. Vidaus ir išorės oro temperatūros rodiklių dinamika visą matavimo laikotarpį

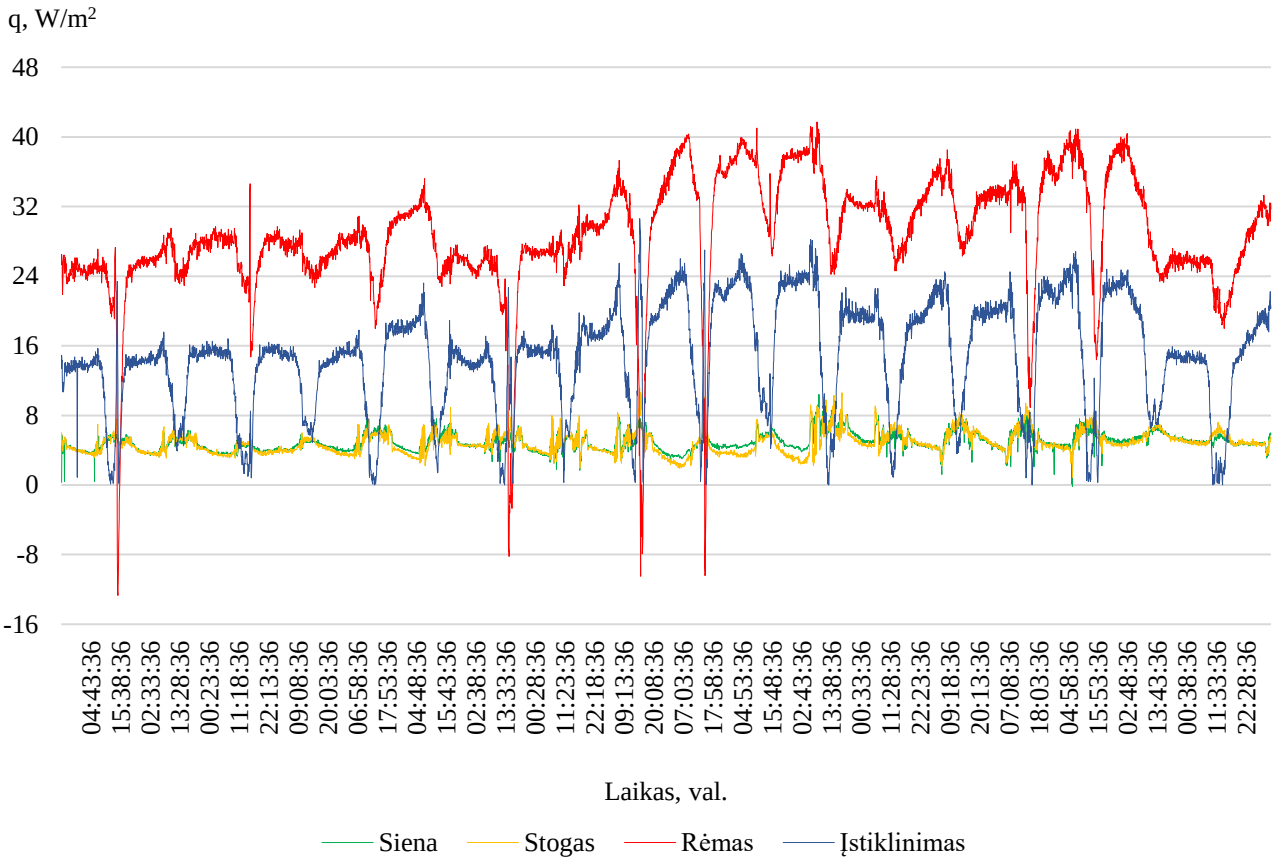
Iš 28 paveiksle pateikto temperatūros kitimo grafiko laiko atžvilgiu matoma, kad žemiausia išmatuota vidaus temperatūra 19,7 ºC, kai kuriomis dienomis temperatūra siekia iki 23 ºC. Apskaičiuota vidutinė faktinė darbo kabinetuose matuota vidaus oro temperatūra : I-ame 22,16 ºC, II-ame 22,04 ºC, III-čiame 21,08 ºC, IV-ame 22,18 ºC. Iš matavimo rezultatų matyti, kad beveik viso

tyrimo metu patalpose buvo tenkinamos norminės temperatūros sąlygos. Remiantis matavimo rezultatais, gauta, kad III-čiame darbo kabinete, vidaus patalpų temperatūra labiausiai atitinka norminę vertę.

Iš vidaus temperatūros matavimų duomenų analizės galima teigti, kad kuo aukštesnė temperatūra patalpose tuo didesnės bus faktinės šildymo sąnaudos. Temperatūros svyravimus patalpose lemia vidiniai ir išoriniai pritekiai (žmonių ir apšvietimo įrangos išskiriamos šilumos) į pastato patalpas, šie parametrai bus modeliuojami *„DesignBuilder“* dinaminio modeliavimo *„EnergyPlus“* programoje.

Iš 28 paveiksle pavaizduoto lauko temperatūros, matuotos visą laikotarpį, grafiko matoma, kad rodikliai svyruoja nuo -19 iki +8 ºC. Temperatūros matavimai buvo atliekami keturiuose matavimo taškuose. Apskaičiuota, kad visą tyrimo laikotarpį vidutinė lauko temperatūra buvo -6,28 ºC.

Norint nustatyti pastato išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientą, tyrimo metu buvo gautas šilumos srauto pasiskirstymas atitvaruose. Gauti matavimų rezultatai pateikiami 29 pav.

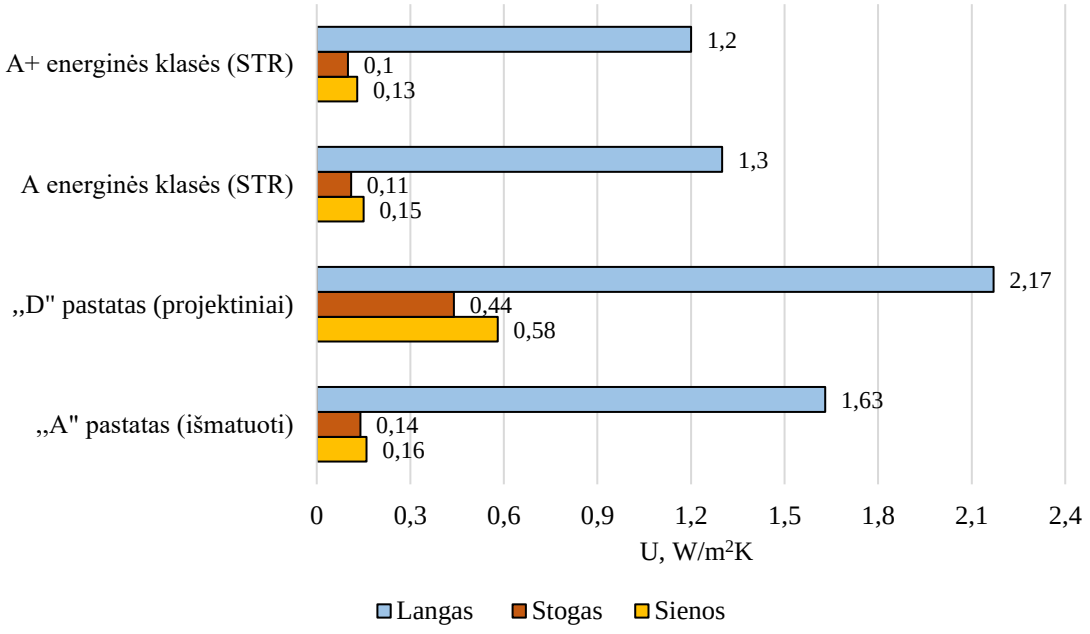


29 pav. Šilumos srauto matavimai visą tyrimo laikotarpį

Iš 29 paveiksle pateikto grafiko ir gautų duomenų apskaičiuoti vidutiniai išorinių atitvarų šilumos srauto *q* rodikliai visą matavimo laikotarpį: *sienos q=4,9 W/m^2, stogo q=4,0 W/m^2, rėmo q= 28,8 W/m^2, įstiklinimo q=14,2 W/m^2*.

Tyrimo metu, remiantis matavimo duomenis buvo vertinamas išorinių sienų, stogo, įstiklinimo ir lango rėmo šilumos perdavimo koeficientai, gauti rezultatai lyginami su prieš modernizavimą buvusiai rodikliais. Primama prielaida, kad analizuojamojo pastato energinė naudingumo klasė buvo vertinta prieš atsinaujinančių energijos išteklių diegimą, todėl matavimo rezultatai bus lyginami su A ir A+ klasės pastatų šilumos perdavimo koeficiento reklamentuotais norminiais rodikliais.

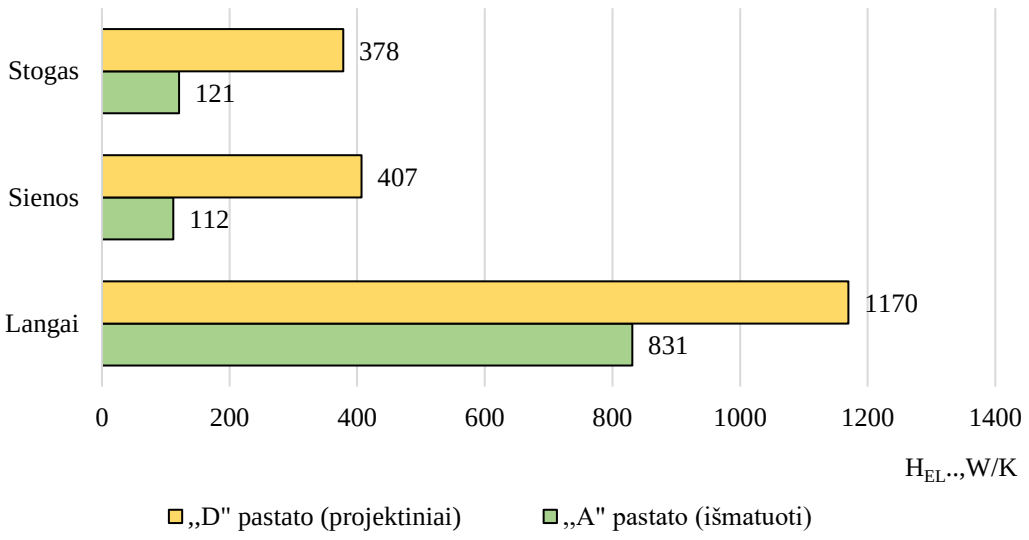
30 paveiksle pateikiami gauti rezultatai:



30 pav. Pastato išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų palyginimas

Skaičiavimams buvo naudojamas nakties režimo didžiausią patikimimo intervalą nuo 00:00 iki 03:00 valandos, turintis laiko tarpas. Pagal formule (2) apskaičiuta, kad išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas $U_f = 0{,}16\ W/m^2{\cdot}K$, stogo $U_f = 0{,}14\ W/m^2{\cdot}K$, įstiklinimo $U_f = 0{,}54\ W/m2 \cdot K$ ir rėmo $U_f = 1{,}09\ W/m^2 \cdot K$. Iš gautų rezultatų (30 pav.) galima teigti, kad iš dalies buvo pasiekti A, A+ klasės pastato išorinių ativarų perdavimo koeficientai, aukščiau minėtame poskyryje rodikliai. Lango rėmo ir įstiklinimo gauti šilumos perdavimo koeficientai, yra maži, todėl daroma prielaida, kad tokie rezultatai mažina sunaudojamos šilumos energijos kiekį. Lyginant faktinius t.y. esamus, išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientus su buvusiais prieš modernizavimą, sienos koeficientas sumažėjo apie 71,85 %, stogo apie 68,06 %, bendri lango rodikliai sumažėjo 24,77 %.

Remiantis gautais šilumos perdavimo koeficientais, 31 paveiksle pateikti apskaičiuojami ir palyginami pastato faktiniai savitieji šilumos nuostoliai per atitvaras prieš ir po renovacijos. Savitieji pastato atitvarų šilumos nuostoliai - šilumos srautas, pereinatis per visas pastato atitvaras iš vidaus į išorę.



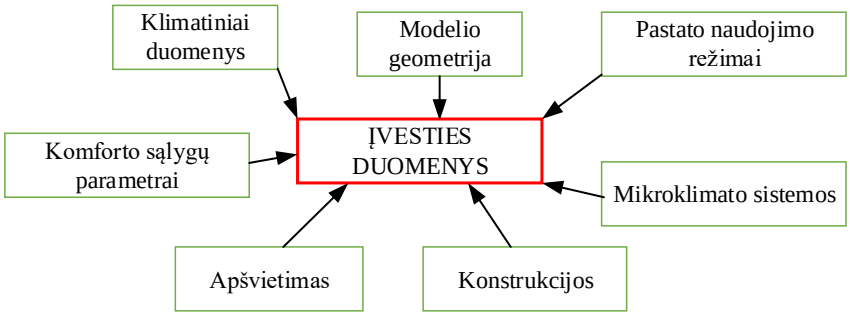
31 pav. Faktiniai savitieji šilumos nuostoliai per pastato išorines atitvaras

Remiantis 31 paveikslu, įvertinus faktinių savitųjų šilumos nuostolių sumažėjimus gauta, kad per langus šilumos energijos nuostoliai sumažėjo 29,03 %, per išorines sienas 72,41 %, per stogą 68,81 %. Po renovacijos didžiausi faktiniai savitieji šilumos nuostoliai gauti per langus 830,57 W/K, mažiausi per sienas 112,17 W/K.

Atlikus natūrinių matavimų rezultatus, kuriamas „D“ ir „A“ pastato teoriniai modeliai kompiuterine modeliavimo priemone.

3.2. Pirminiai skaitmeninio pastato modelio įvesties duomenys

Modelio kūrimas pradedamas nuo vietovės, kurioje yra nagrinėjamas administracinės paskirties pastatas, parinkus vietovę priskiriami klimatiniai duomenys. Modelio įvesties duomenų sekos grupės pavaizduotos 32 pav.



32 pav. Modelio įvesties duomenys **„***DesignBuilder“* modeliavimo programoje

Kitas modelio etapas pastato geometrijos kūrimas, konstrukcijų parinkimas, aprašomi pastato naudojimo rėžimai: žmonių skaičius, jų buvimo patalpoje režimai, biuro technikos veikimo režimas

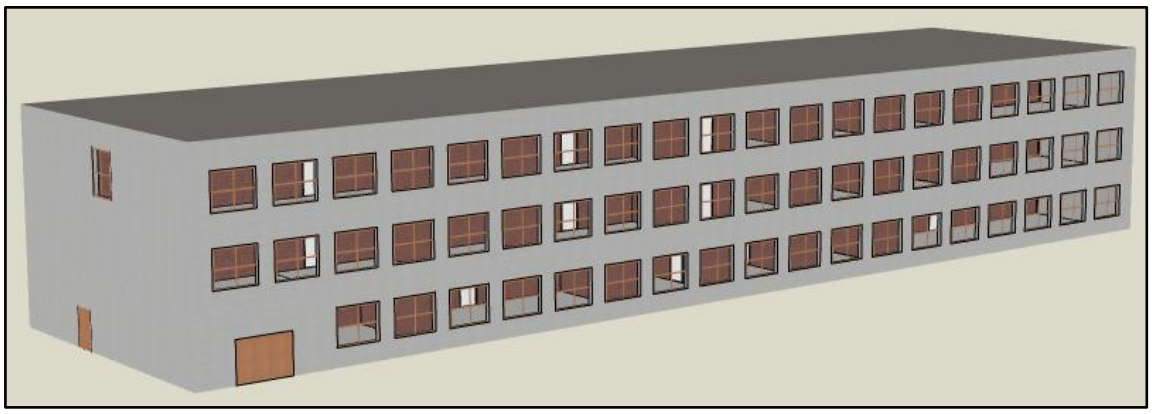
bei vidiniai šilumos pritekėjimai. Aprašomos norimos komfortinės sąlygos patalpose. Parenkama apšvietimo bei mikroklimato sistemos bei nustatomi jų parametrai.

Modelio įvesties duomenys įvesdami programos vartotojo pasirinkta eigos seka, jie gali būti keičiami, bet kuriuose modelio kūrimo etapuose.

3.2.1. Geometrija ir zonavimas

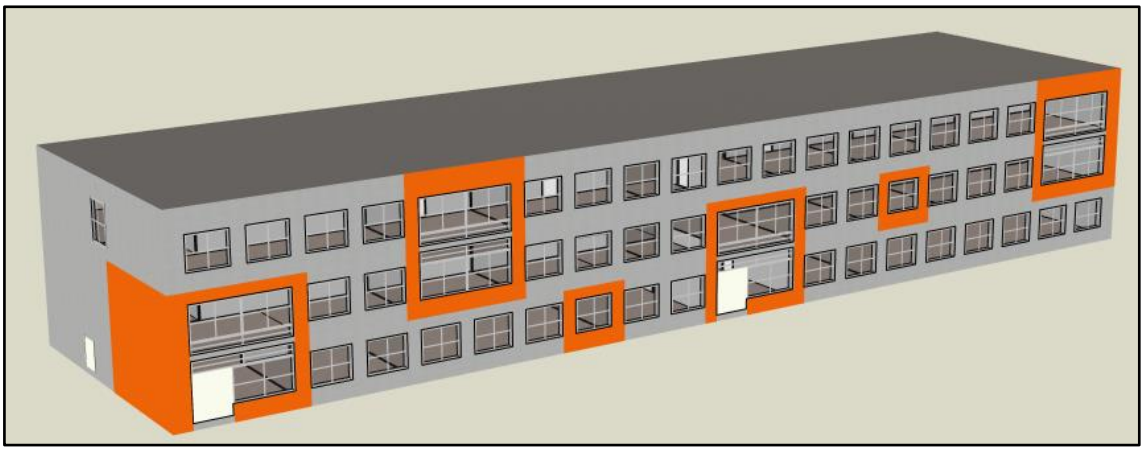
Pastatas yra trijų aukštų, bendras šildomas plotas yra *2587,81* m^2, vieno aukšto aukštis 3,3 metrai, viso pastato – apie 10 metrų, plotis apie 16,2 m. pagrindinis pastato fasadas orientuotas į pietų pusę. Pastate esančios patalpos: buitinės paskirties patalpos, darbo kabinetai, pasitarimų kabinetai, tualetai, koridoriai, laiptinės, buitinės patalpos. Pagal turimus projektinius ir išmatuotus „D“ ir „A“ pastatų duomenis, kuriami pastatų teoriniai modeliai dinaminio modeliavimo programa.

Sukurta „D“ modelio vizualizacija pateikiama 33 pav.



33 pav. „D“ pastato vizualizacija (ištrauka iš *DesignBuilder)*

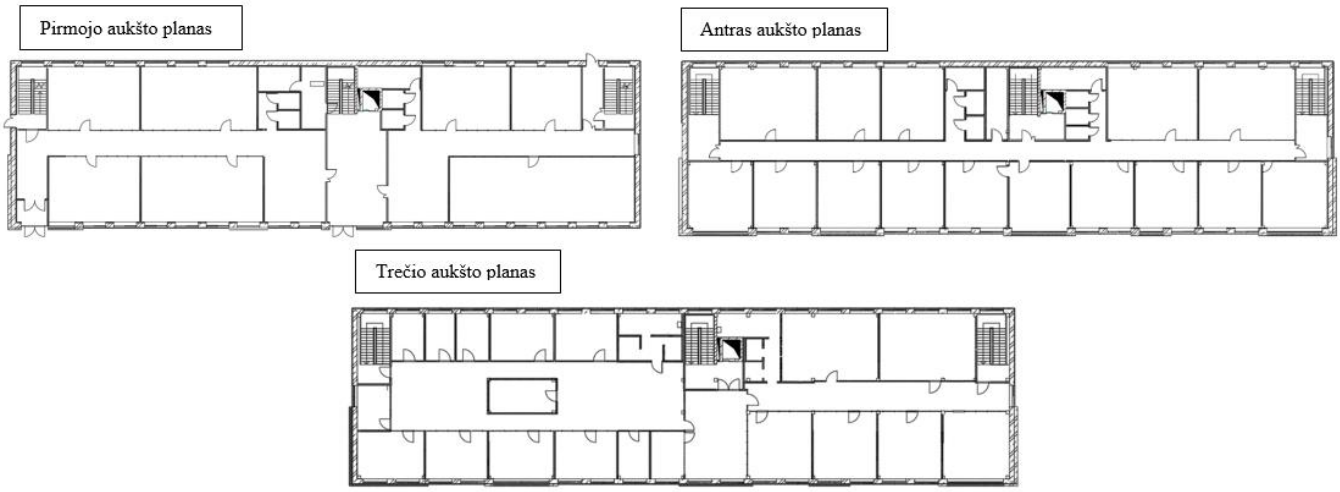
Sukurta „A“ modelio vizualizacija pateikiama 34 pav.



34 pav. „A“ pastato vizualizacija (ištrauka iš *DesignBuilder*)

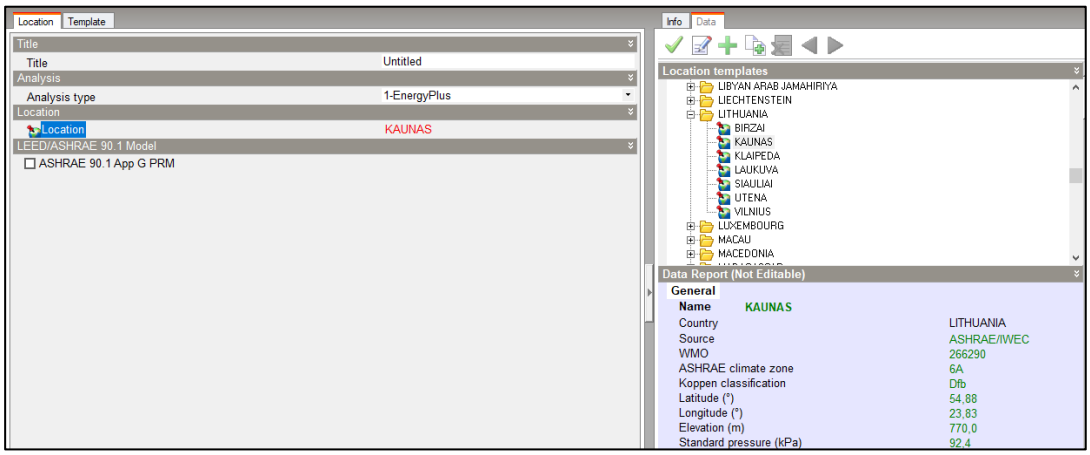
Iš pateiktų „D“ ir „A“ pastatų vizualizacijų matomi akivaizdūs pastatų pasikeitimai langų išdėstymo bei įstiklinimo kiekis.

Geometrija ir zonavimas. Tam, kad modelis atitiktų tikrąjį pastatą, geometrija buvo tiksliai apibrėžta pagal grafinės automatizuotos projektavimo sistemos programos *AutoCAD* sukurtu 2D pastato architektūros modeliu. Pagrindinės pastate esančios patalpos: darbo kabinetai, pasitarimų kabinetai, tualetai, koridoriai, laiptinės. 35-ame paveiksle pavaizduotas pastato trijų aukštų išdėstymas[1].



35 pav. Pastato aukštų išplanavimas

Vietovė ir klimatiniai duomenys. Prieš atliekant energinį modeliavimą nustatoma pastato vietovė. Pastato modeliavimui atlikti buvo panaudoti Kauno tipinių meteorologinių metų klimatiniai duomenys pasirinkti kompiuterinėje modeliavimo programoje (36 pav.).



36 pav. *DesignBuilder* programoje nustatoma vietovė (ištrauka iš *DesignBuilder*)

[1] Pagal priimtą prielaidą pastato modelyje visų patalpų išplanavimas prieš ir po modernizavimo modelyje nesikeičia.

Pastato energiniam modeliavimui atlikti buvo panaudoti Kauno tipinių meteorologinių metų klimatiniai duomenys, įvesti į tarptautinio meteorologijos duomenų tinklo IWEC (angl. *International Weather for Energy Calculations*) ir duomenų bazę (IWEX 2009). Taikant STR metodiką naudojami Kauno miesto klimato duomenys, kurie pateikti RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“, o saulės spinduliuotės duomenys imami iš STR 2.09.04:2008. Lauko oro temperatūra šildymui ir vėdinimui projektuoti nustatyta -19,9 ºC, kuri yra pateikta Kauno miesto tipinių meteorologinių metų klimato duomenyse.

Architektūriniai ir konstrukciniai sprendiniai. Tyrimo metu analizuojamam administracinės paskirties pastatui buvo priimti šilumos perdavimo koeficientai, *U* vertės pažymėtos 6-oje lentelėje:

6 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientai

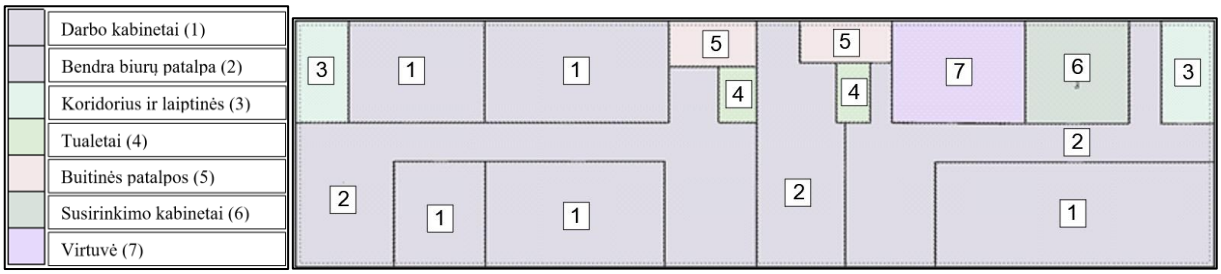
Pastato atitvara	*„D“ pastato (W/m²K)*	*„A“ pastato (W/m²K)*[2]
Sienos	0,58	0,16
Stogas	0,44	0,14
Perdangos	0,38	0,15
Grindys ant grunto	0,57	0,18
Durys	1,84	1,8
Langai	2,17	1,6

Vidinės „D“ pastato pertvaros tarp patalpų „aklinos“ t. y. sudarytos iš plytinių sienų, o „A“ pastate visos vidaus sienų pertvaros stiklinės.

Prieš pastato renovaciją oro infiltracija buvo nežinoma, atsižvelgiant į tai, kad pastato langai nuo statybos buvo nekeisti, priimama, kad infiltracija lygi 0,5. Pastatui po modernizacijos buvo atliekamas sandarumo bandymas, kurio metu buvo užsandarintos visos ventiliacijos ir kt. angos ant stogo. Užsandarinti rekuperacinės vėdinimo sistemos oro padavimo ir ištraukimo ortakiai. Pučiančios durys sumontuotos pirmame aukšte pietrytinėje pastato dalyje. Atlikus sandarumo bandymą, nustatytas pastato sandarumo koef. n_{50} – 0,8 karto/h. Pagal STR 2.01.02:2016 A energinio naudingumo klasės pastatams sandarumo koef. negali viršyti 1,0 karto/h.

Pastato zonų išdėstymas. Analizuojamas pastato fasadas yra orientuotas į Pietų pusę. Modelių šiluminės zonos buvo apibrėžtos atsižvelgiant į skirtingų vidaus erdvių naudojimą ir paskirtį. Pastate išskiriamos 7 zonos: darbo kambariai, bendras biuro patalpos (angl. *Generic Office Area*); tualetas (angl. *toilet*); virtuvė (angl. *eating/drinking area*), koridoriai ir laiptinės, buitinės patalpos, susirinkimų kabinetai. Zonų išskirstymas pateiktas 37-ame paveiksle.

[2] „A” pastato stogo, sienos, lango šilumos perdavimo koeficientai gauti remiantis natūriniai bandymais



37 pav. *DesignBuilder* zonų išdėstymas (ištrauka iš *DesignBuilder*)

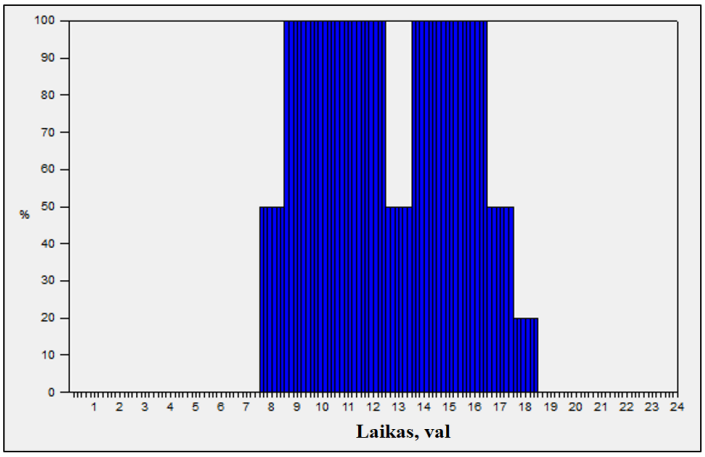
Patalpų zonų išdėstymai kiekviename aukšte atitinkamai pagal zonos paskirtį parametrai nustatyti vienodi. Atlikus pastato zonų išdėstymas, kitu modeliavimo žingsniu apibendrinami pastato naudojimo rėžimai.

3.2.2. Pastato naudojimo režimai

Nagrinėjamame administraciniame pastate dirba 105 darbuotojai. Sudarytame namo modelyje buvo panaudotas *DesignBuilder* programoje įvestas būdingas darbuotojų darbo grafikas darbo dienomis ir savaitgaliais. Būdingas žmonių lankymasis skirtingose pastato zonose darbo dienomis grafikas.

Remiantis žmonių užimtumo grafiku, buvo nustatytas šilumos, pritekančios nuo žmonių, elektrą vartojančių įrenginių kiekis.

Darbo kambariai. Visuose darbo kambariuose sudaryti grafikai kiekvienai patalpai, pagal atliekamą darbą „spausdinimas“. Žmonių užimtumo grafikas darbo dienomis[3] pateiktas 38 pav.



38 pav. Žmonių užimtumo grafikas darbo kambariuose (ištrauka iš *DesignBuilder*)

Iš 33 pav. pateikto grafiko matoma, kad ofisas dirba nuo pirmadienio iki penktadienio, nuo 6:30h ryto iki 18:00h vakaro. 6:30-7:00h ryto darbo kambariuose susirenka apie 50% darbuotojų, nuo 8:00h

[3] Priimama prielaida, kad savaitgaliais darbuotojų patalpose nebus.

iki 11:30h darbo kambariai užpildyti 100%. Nuo 11:30h iki 12:30 vyksta pietų pertrauka, bet priima prielaida, kad 50% darbuotojų lieka savo darbo vietose. Nuo 12:30h iki 16:00h darbo kambariai vėl užsipildyti 100%. Nuo 16:00h 50% darbuotojų baigia darbą, ir nuo 17:00h iki 18:00h dirba 20% darbuotojų, priimama, kad savaitgaliais žmonių patalpose nebus. Pagal šį grafiką *„dirba/nedirba“* mechaninė vėdinimo sistema tik „A“ pastate[4], kai darbuotojų nebus, bus žeminama temperatūra pastate 2 ^{o}C. Nustatyti darbo kambarių parametrų nustatymai pateikti 8-oje lentelėje.

7 lentelė. Darbo kabinetų parametrai ir jų nustatymai

Parametras	***Nustatymai***
Elektros prietaisų energijos suvartojimas	15 W/m^2
Apšvietimas	400 lux
Patalpos užimtumas	0,111 ž/m^2 (10 l/ž)
Darbuotojų aktyvumo lygis	0,9 MET
Šildymo sezono temperatūra	Dieną - 23 ^{o}C; naktį - 20 ^{o}C
Vėsos sezono temperatūra	Dieną - 24 ^{o}C; naktį - 22 ^{o}C
Oro apytaka	3h^{-1}

Bendros biurų patalpos naudojimo tvarkaraštis buvo parenkamas iš *DesignBuilder* sistemos, pagal atliekamą darbą „stovėjimas/vaikščiojimas“. Kaip ir darbo kambariuose vėdinimo sistema „A“ pastate kaip ir darbo kambariuose veikia tokiu pat režimu, o kai darbuotojų ofise nebus temperatūra bus žeminama 2 ^{o}C. Nustatyti bendrųjų biurų patalpų parametrų nustatymai pateikti 9-oje lentelėje.

8 lentelė. Bendros biurų patalpos parametrai ir jų nustatymai

Parametras	***Nustatymai***
Elektros prietaisų energijos suvartojimas	10 W/m^2
Apšvietimas	400 lux
Patalpos užimtumas	0,111 ž/m^2 (10 l/ž)
Darbuotojų aktyvumo lygis	0,9 MET
Šildymo sezono temperatūra	Dieną - 22 ^{o}C; naktį - 20 ^{o}C
Vėsos sezono temperatūra	Dieną - 24 ^{o}C; naktį - 22 ^{o}C
Oro apytaka	3h^{-1}

Susirinkimų kabinetų naudojimo tvarkaraštis buvo parenkamas iš *DesignBuilder* sistemos, pagal atliekamą darbą „stovėjimas/vaikščiojimas“. Kaip ir darbo kambariuose vėdinimo sistema

[4] „D“ pastate mechaninės vėdinimo sistemos nėra, tik natūralus vėdinimas, per langus.

„dirba/nedirba“, o kai darbuotojų ofise nebus temperatūra bus žeminama 2 ^{o}C. Nustatyti susirinkimų kambarių parametrų nustatyti pagal darbo kambarius.

Buitinių patalpų naudojimo tvarkaraštis buvo parenkamas iš *DesignBuilder* sistemos, pagal atliekamą darbą „stovėjimas/vaikščiojimas“. Buitinių patalpų parametrų nustatymai pateikti 10-oje lentelė.

9 lentelė. Buitinių patalpų parametrai ir jų nustatymai

Parametras	***Nustatymai***
Elektros prietaisų energijos suvartojimas	5 W/m^2
Apšvietimas	50 lux
Patalpos užimtumas	0,025 ž/m^2 (10 l/ž)
Darbuotojų aktyvumo lygis	0,90 MET
Šildymo sezono temperatūra	Dieną - 23 ^{o}C; naktį - 21 ^{o}C
Vėsos sezono temperatūra	Dieną - 24 ^{o}C; naktį - 22 ^{o}C
Oro apytaka	3h^{-1}

Koridoriaus ir laiptinių *naudojimo* tvarkaraštis buvo parenkamas iš *DesignBuilder* sistemos, pagal atliekamą darbą „stovėjimas/vaikščiojimas“. Kaip ir darbo kambariuose vėdinimo sistema „dirba/nedirba“, o kai darbuotojų ofise nebus temperatūra bus žeminama 2 ^{o}C.

Koridoriaus ir laiptinių patalpų parametrų nustatymai pateikti 11-oje lentelė.

10 lentelė. Koridoriaus ir laiptinių parametrai ir jų nustatymai

Parametras	***Nustatymai***
Elektros prietaisų energijos suvartojimas	5 W/m^2
Apšvietimas	100 lux
Patalpos užimtumas	0,1173 ž/m^2 (10 l/ž)
Darbuotojų aktyvumo lygis	0,90 MET
Šildymo sezono temperatūra	Dieną - 23 ^{o}C; naktį - 21 ^{o}C
Vėsos sezono temperatūra	Dieną - 24 ^{o}C; naktį - 22 ^{o}C
Oro apytaka	Koridoriuje 3h^{-1}, laiptinėse 1,3h^{-1}

Virtuvės *naudojimo* tvarkaraštis buvo parenkamas iš *DesignBuilder* sistemos pagal atliekamą darbą „stovėjimas/vaikščiojimas“. Virtuvės patalpų parametrų nustatymai pateikti 12-oje lentelė.

11 lentelė. Virtuvės parametrai ir jų nustatymai

Parametras	***Nustatymai***
Elektros prietaisų energijos suvartojimas	5 W/m^2
Apšvietimas	100 lux
Patalpos užimtumas	0,1173 ž/m^2 (10 l/ž)
Darbuotojų aktyvumo lygis	0,90 MET
Šildymo sezono temperatūra	Dieną - 23 ^{o}C; naktį - 21 ^{o}C
Vėsos sezono temperatūra	Dieną - 24 ^{o}C; naktį - 22 ^{o}C
Oro apytaka	3h^{-1}

Temperatūra bus žeminama 2 ^{o}C, kai ofise nebus darbuotojų. Zonos tipas parinktas standartinis, žmonių tankis kiekvienam darbo kambariui vienodas t.y. 10 l/žmogui.

Tualeto (WC) *naudojimo* tvarkaraštis buvo parenkamas iš *DesignBuilder* sistemos, pagal atliekamą darbą „stovėjimas/vaikščiojimas“. Temperatūra bus žeminama 2 ^{o}C, kai ofise nebus darbuotojų. WC patalpų parametrų nustatymai pateikti 13-oje lentelė.

12 lentelė. WC parametrai ir jų nustatymai

Parametras	***Nustatymai***
Elektros prietaisų energijos suvartojimas	5 W/m^2
Apšvietimas	200 lux
Patalpos užimtumas	0,1173 ž/m^2 (10 l/ž)
Darbuotojų aktyvumo lygis	0,90 MET
Šildymo sezono temperatūra	Dieną - 17 ^{o}C; naktį - 15 ^{o}C
Vėsos sezono temperatūra	Dieną - 20 ^{o}C; naktį - 18 ^{o}C
Oro apytaka	3h^{-1}

Atlikus patalpų naudojimo rėžimų nustatymo parametrus, sekantis žingsnis nustatyti pastato mikroklimato sistemų darbo režimus.

3.2.3. Pastato mikroklimato sistemų darbo režimai

Vėdinimo sistema. „D“ pastate nebuvo integruotas mechaninis vėdinimas (pastate nebuvo mechaninio vėdinimo iki modernizavimo) ir buvo laikoma, kad tik natūrali ventiliacija imituoja vartotojo elgesį, kai jie atidaro langus. Šis vėdinimas yra užprogramuotas darant prielaidą, kad jis vyksta, kai patalpų temperatūra yra aukštesnė nei 24 ^{o}C. Tais atvejais įjungiama mechaninis vėdinimas ***„A“ pastate***, kaip ir minėta antrame skyriuje, diegiama mechaninė vėdinimas.

„*DesignBuilder*“ programos sistemos skiltyje *HVAC* kiekvienai zonai nustatomas vėdinimo grafikas. Vėdinimo sistema veiks 24 valandas per parą, pagal pildymo ir vėsinimo grafikus. Oro kiekiai yra skaičiuojami pagal žmonių skaičių konkrečiose patalpose.

Šildymo sistema. *„D“ pastato* modelyje tyrimo metu priimama, kad šilumos poreikiai užtikrinami centralizuotomis šildymo sistemomis. *„A“ pastate* buvo integruoti jau minėti šilumos siurbliai oras – vanduo, kurie užtikrina šilumos poreikį, pastate kiekvienoje patalpoje nustatytas grindinis šildymas. Šilumos siurblių sezoninis šildymo naudingumo koeficientas *SCOP= 4,20,* remiantis bendrosiomis techninėmis specifikacijomis, kurias nurodo gamintojas. „*DesignBuilder*“ programos sistemos skiltyje „*HVAC*“ (ŠVOK), kiekvienai zonai nustatomas šildymo grafikas pateikiamas 14 lentelėje.

13 lentelė Šildymo sezono grafikas

Mėsnesis	*Pirmadienis*	*Antradienis*	*Trečiadienis*	*Ketvirtadienis*	*Penktadienis*	*Šeštadienis*	*Sekmadienis*
Sausis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta
Vasaris	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta
Kovas	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta
Balandis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta
Gegužė	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Birželis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Liepa	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Rugpjūtis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Rugsėjis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Spalis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta
Lapkritis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta
Gruodis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta

Iš 14-oje lentelėje pateikto grafiko matoma, kad šildymas bus įjungtas nuo sausio iki balandžio mėnesio, prasidėjus vasarai nuo gegužės ir iki rugsėjo mėnesio pastate bus išjungtas.

Vėsinimo sistema[5]

DesignBuilder programos sistemos skiltyje *HVAC* kiekvienai zonai nustatomas vėsinimo grafikas, kuris yra atvirkščias šildymo grafikui. Vėsinimo įrenginio sezoninis naudingumo koeficientas nustatytas *SEER= 2,23*.

[5] Vėsinimo sistema įdiegta tik „A“ pastate.

Vėsinimo įrenginio veikimo grafikas pateikiamas 15-oje lentelėje.

14 lentelė Vėsinimo sezono grafikas

Mėnesis	Pirmadienis	Antradienis	Trečiadienis	Ketvirtadienis	Penktadienis	Šeštadienis	Sekmadienis
Sausis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Vasaris	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Kovas	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Balandis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Gegužė	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Išjungta	Išjungta
Birželis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Išjungta	Išjungta
Liepa	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Išjungta	Išjungta
Rugpjūtis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Išjungta	Išjungta
Rugsėjis	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Įjungta	Išjungta	Išjungta
Spalis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Lapkritis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta
Gruodis	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta	Išjungta

Iš 15-oje lentelėje pateikto grafiko matoma, kad vėsinimas bus išjungtas nuo sausio iki balandžio mėnesio, prasidėjus vasarai nuo gegužės ir iki rugsėjo mėnesio pastate bus įjungtas vėsinimas, o nuo spalio iki gruodžio vėsinimas vėl bus išjungtas[6]. Vėsinimo darbo rėžimas tik darbo valandomis, kuomet pastate bus žmonės, pagal nustatytus grafikus *„DesignBuilder“* programoje.

3.3. Trečiojo skyriaus išvados

Šiame skyriuje numatyti pagrindiniai modelio įvesties duomenys apie „D“ ir „A“ pastatus, pagal galiojančius pastatų reglamentus, keliančius reikalavimus energiniu požiūriu pastatams D energinės klasės bei A energinės klasės pastatams. Analizuojamiems pastatams sudaromas 3D modelis, parenkamos architektūrinės konstrukcijos, bei remiantis architektūriniais brėžiniais, nustatomos patalpų išdėstymas, bei jų plotai. Tam, kad modelis atitiktų realius duomenis nustatomi patalpų naudojimo režimai, patalpų komforto parametrai, apšvietimo ir mikroklimato sistemų parametrai, remiantis reglamentuotais ir išmatuotais duomenimis. Modeliavimo programoje parenkami klimatiniai duomenys, įvesti į tarptautinio meteorologijos duomenų tinklo IWEC (angl. *International Weather for Energy Calculations*) ir duomenų bazę (IWEX 2009).

[6] Priimama prielaida, savaitgaliais „A“ pastate vėsinimas bus išjungiamas, palikta tik mechaninė vėdinimo sistema.

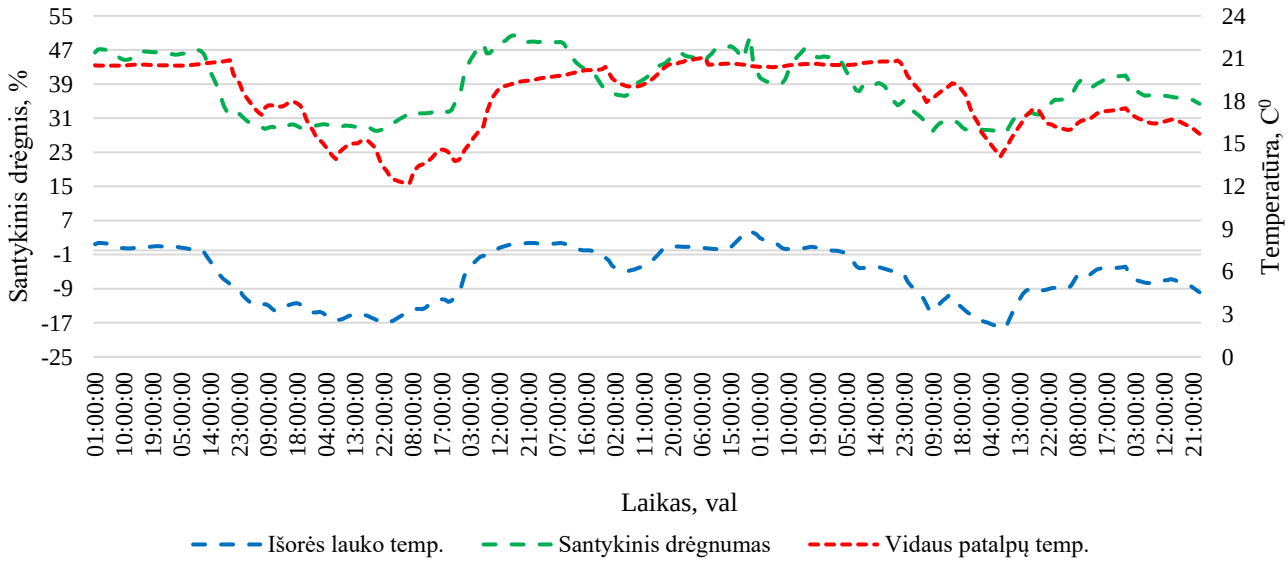
4. „D“ IR „A“ PASTATŲ ENERGININIO EFEKTYVUMO GALIMYBIŲ IR MODERNIZAVIMO VERTINIMO REZULTATAI

Atlikus administracinės paskirties pastatų modeliavimą, pagal nustatytus tyrimo analizės etapus, rezultatai importuoti į Microsoft Excel programą, kur buvo atliekamas gautų rezultatų apdorojimas.

Šiame skyriuje pateikiami rezultatai validuojant „D“ ir „A“ pastatų gautus rezultatus modeliuojant atlikus simuliacijas bei juos palyginant su realiais išmatuotais duomenis. Analizuojamos energinio efektyvumo galimybių priemonės įdiegtos „A“ pastate. Rezultatų analizėje pateikiama komforto sąlygų laikymas tuo pačiu laiko tarpu, kaip ir buvo atlikti natūriniai bandymai, taip pat pateikiami šilumos pritekėjimai dėl saulės spinduliuotės, todėl, nes „D“ ir „A“ skyrėsi pastato įstiklinimo plotas, pakeisti langai, bei atsiradusios saulės apsaugos priemonės. Pagrindinis rezultatų analizės tikslas įrodyti, kad atliktas modelis tinkamas pastato energijos poreikių analizei. Taigi pateikiami šilumos energijos, vėsinimo energijos bei vėdinimui reikalingos energijos kiekiai gauti modeliavimo programoje, šie lyginami su išmatuotomis „D“ pastato sąnaudomis 2017 m duomenimis, „A“ pastato su 2019 m. duomenimis.

4.1. Komforto sąlygų palaikymo analizė

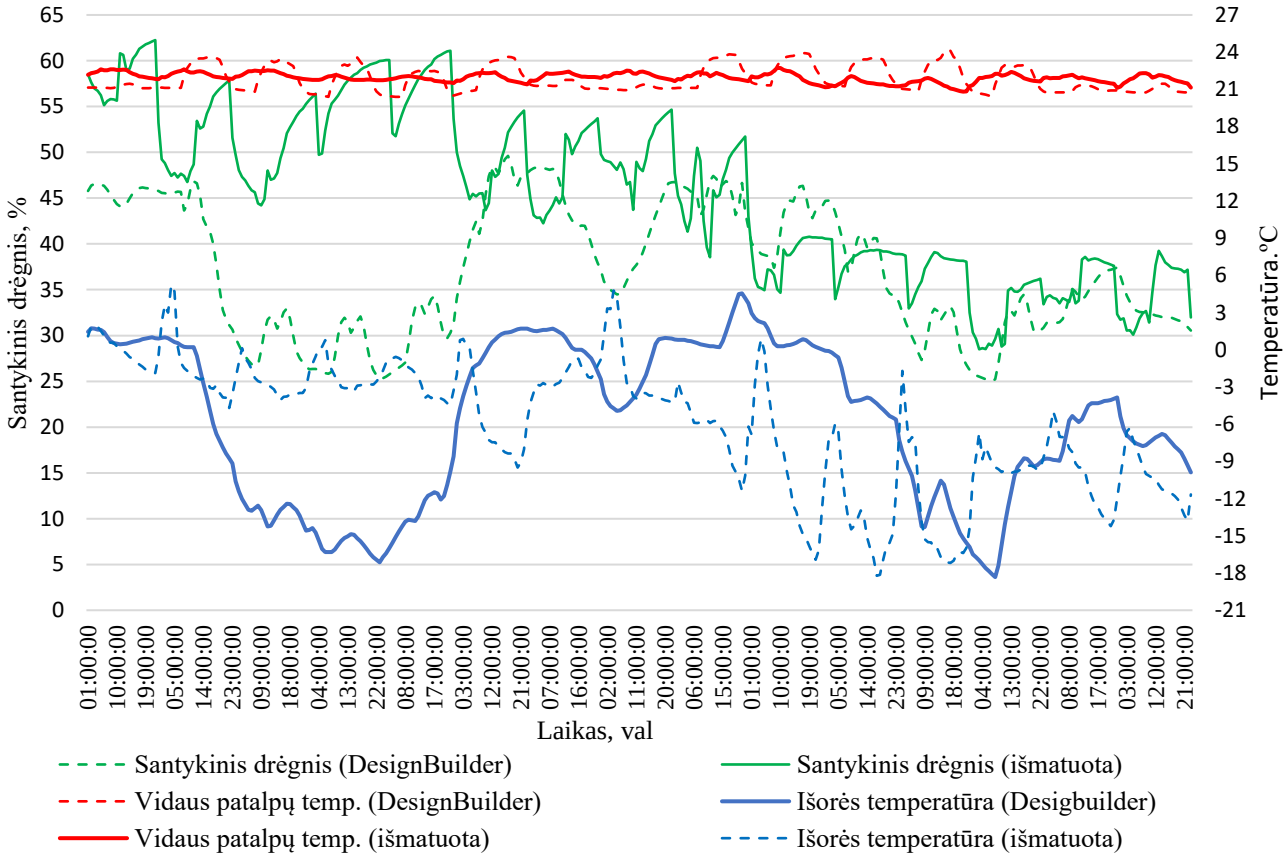
Šiame etape analizuojami pastate esančių komforto sąlygų palaikymas (39 pav.). Pasirinktas nagrinėjamas laiko tarpas, žiemos laikotarpis nuo sausio 27 iki vasario 10 diena, tomis pačiomis dienomis, kaip ir buvo atliekami mikroklimato parametrų eksperimentai esamo pastato vertinimu darbo kambariuose (aprašymas 2-ame skyriuje).



39 pav. Komforto sąlygų „D“ pastato parametrai

Temperatūros ir santykinės drėgmės parametrais remiantis, gauta, kad vidutinė patalpų temperatūra analizuojamojo laiko tarpu modeliavimo programoje darbo kambariuose 17,64 °C, remiantis RSN 156-94 nuostatomis, ši temperatūra neatitinka anksčiau aprašytas komforto sąlygas. Vidutinis santykinis drėgnumas patalpose apskaičiuotas 38,35 %, šaltuoju sezono metu santykinis drėgnis patalpose RSN 156-94 nurodytas 35-65 %, todėl galima teigti, kad santykinis drėgnis patalpose buvo tinkamas.

Apžvelgiami gauti rezultatai „A“ pastato modeliavimo programoje, jie lyginami su išmatuotais temperatūros ir drėgmės parametrais analizuojamąjį laikotarpį. Minėtų duomenų rezultatai validuojami 40 pav. Temperatūros ir santykinės drėgmės parametrais remiantis, gauta, kad vidutinė patalpų temperatūra analizuojamojo laiko tarpu modeliavimo programoje darbo kambariuose 17,28 °C, pagal išmatuotus rezultatus vidutinė patalpų temperatūra gauta 21,87 °C, remiantis RSN 156-94 nuostatomis, ši temperatūra atitinka anksčiau aprašytas komforto sąlygas. Gautų rezultatų duomenys parodė, kad programoje nustatyti temperatūros parametrai skiriasi 2,79 %, tai reiškia, kad nustatyti vidaus patalpų temperatūros parametrai programoje teisingi.



40 pav. Komforto sąlygų parametrai pastato po renovacijos (modeliavimas)

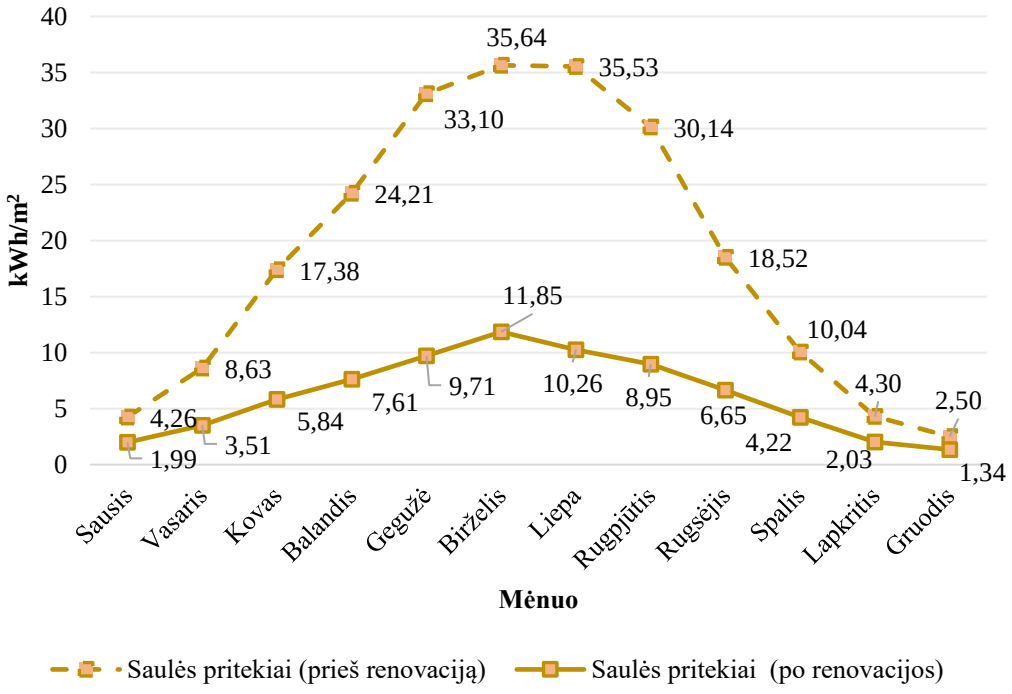
Vidutinis santykinis drėgnumas patalpose „*EnergyPlus*“ programos gautais simuliacijos rezultatais, apskaičiuotas 36,95 %, pagal matavimus santykinis drėgnis gautas 44,05 %. Tarp rezultatų

neatitikimas gautas 19,23%, viena iš priežasčių klimatinės sąlygos analizuojamu laikotarpiu, patalpų užimtumas, bei nustatyti parametrai „*Desinbuilder*“ modeliavimo programoje.

4.2. Šilumos pritekėjimai dėl saulės spinduliuotės

Langai yra tiesioginės saulės spinduliuotės į patalpas šaltinis. Per langus patekusi spinduliuotė sudaro didžiąją dalį bisų patalpos šilumos pritekėjimų. Šilumos pritekėjimai sumažina energijos poreikį šildymui žiemą, tačiau vasarą, tai yra pagrindinė didelių energijos poreikių vėsinimui administraciniuose pastatuose priežastis (V. Motuzienė, 2010).

41-ame paveiksle pavaizduoti rezultatai gauti modeliavimo programose dėl saulės spinduliavimo per išorines atitvaras t. y. per langus. Prieš renovaciją langų plotas sudarė: į pietų pusę orientuoti 229,68 m^2; į šiaurės pusę orientuoti 194,04 m^2; į vakarus orientuoti 3,96 m^2; į rytų pusę orientuoti 11,07 m^2. Po renovacijos langų plotai pasikeitė tik pietų pusėje, kur sudarė 266,63 m^2. Pagal turimus modeliavimo duomenis pateikiami šilumos pritekėjimai dėl saulės pateikti 41 paveiksle.



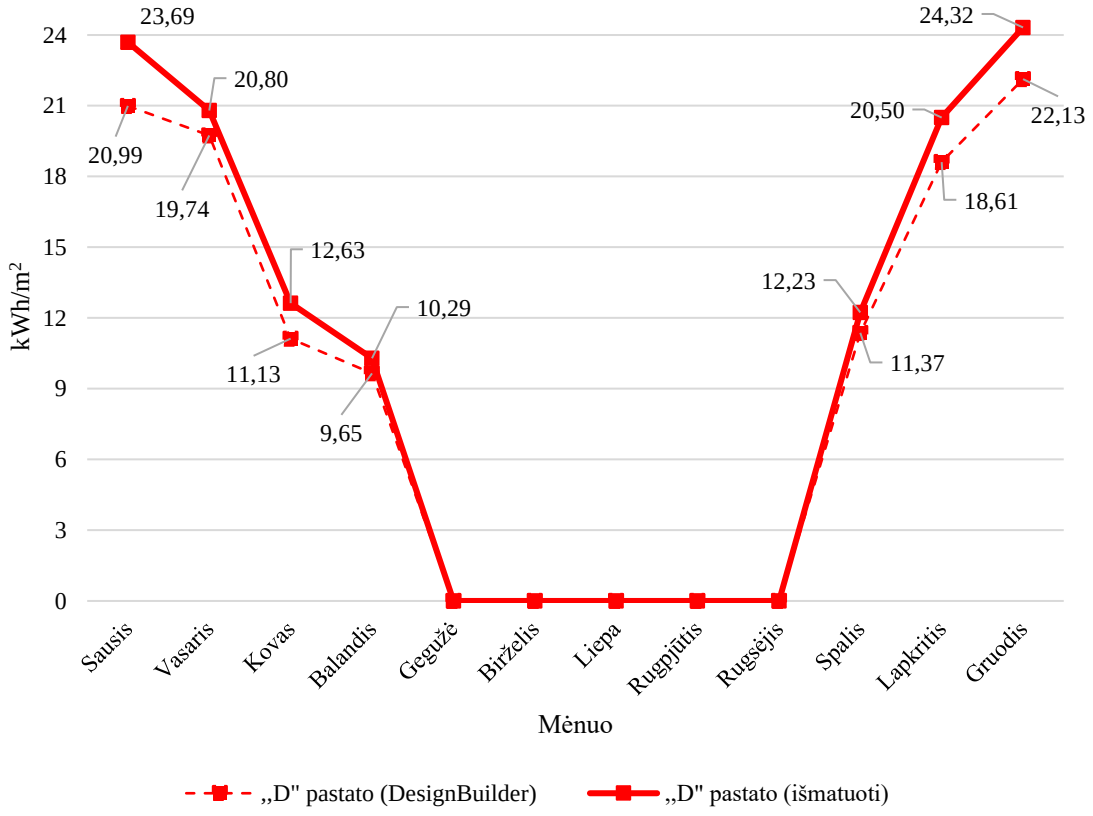
41 pav. Saulės pritekėjimai po ir prieš renovaciją

Prieš renovaciją pastato langai buvo susidėvėję, seni mediniais rėmais, su vieno stiklo paketu, todėl iš paveiksle pateikto grafiko matoma, kad prieš renovaciją saulės pritekėjimai yra ženkliai didesni, apskaičiuoti vidutiniai pritekiai iš saulės prieš renovaciją gauta 224,25 kWh/m^2/metus. Po renovacijos langai buvo atnaujinti į trijų stiklo paketų langus su plastikiniais rėmais. Saulės pritekiai po pakeistų langų pastate gauti 73,96 kWh/m^2/metus. Apskaičiavus saulės pritekus gauta, kad saulės pritekiai per langus sumažėjo 150,29 kWh/m^2/metus ir sumažino šildymo sąnaudas.

4.3. Pastatų šilumos energijos poreikių analizė

Pirmiausia, analizuojamos pastato modelių šiluminės energijos sąnaudos šildymui. Kadangi „A“ pastate sumontuotas šilumos siurblys oras - vanduo naudoja elektros energiją, todėl šilumos sąnaudos šildymui perskaičiuojamos nustatant šilumos siurblio efektyvumą programoje validuojant modelius, priimant prielaidą, kad „nustatytas“ SCOP kompiuterinėje modeliavimo programoje yra tinkamas, remiantis juo bus perskaičiuojamos „A“ pastato šiluminės energijos poreikiai ir sąnaudos.

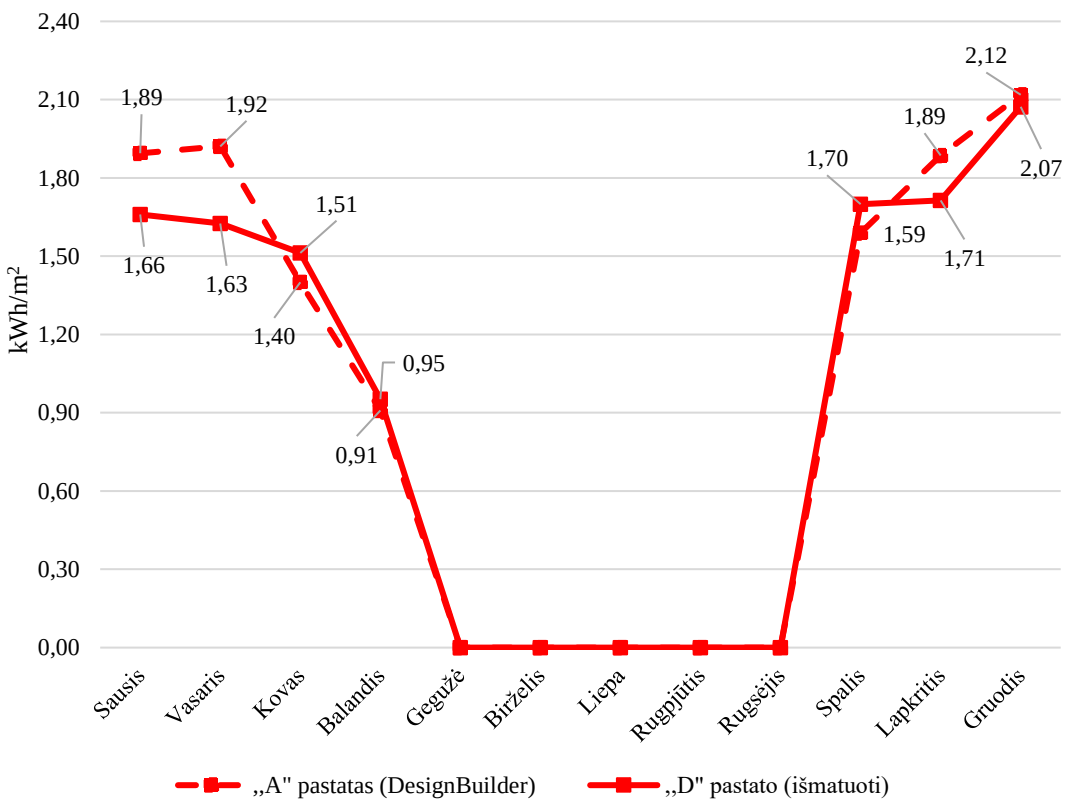
Iš 42-ame paveiksle pateikti mėnesiniai šilumos energijos suvartojimai, gautos metinės šilumos energijos sąnaudos „D“ pastato (išmatuoti) 113,78 kWh/m^2; „D“ pastato (*DesignBuilder*) 114,17 kWh/m^2. Gautas rezultatų neatitikimas apie 9,8 %, todėl galima teigti, kad modelis atliktas teisingai ir juo remiantis galima analizuoti kitus pastato rodiklius prieš renovaciją ir įvertinti buvusią pastato būklę.



42 pav. „D“ pastato faktinės šiluminių sąnaudos ir sumodeliuoti poreikiai *DesignBuilder* programoje

Iš 42-ame paveiksle pateikto grafiko šiluminės energijos nesutapimai gauti sausio bei gruodžio mėnesį, to priežastis galėjo būti klimatinės oro sąlygos, bei žmogaus užimtumo rodikliai pastate. „D“ pastato modelis buvo reikalingas nustatyti šilumines energijos sąnaudas, įrodžius, kad modelis sumodeliuotas teisingai, juo remiantis atliekami kiti darbe pasirinkti analizuojamieji parametrai.

Remiantis „A“ turimomis 2019 m. duomenimis faktines elektros sąnaudas šildymui ir vėdinimui, bei gautais rezultatais *DesignBuilder* programoje pateikiamas palyginimas 43 pav.

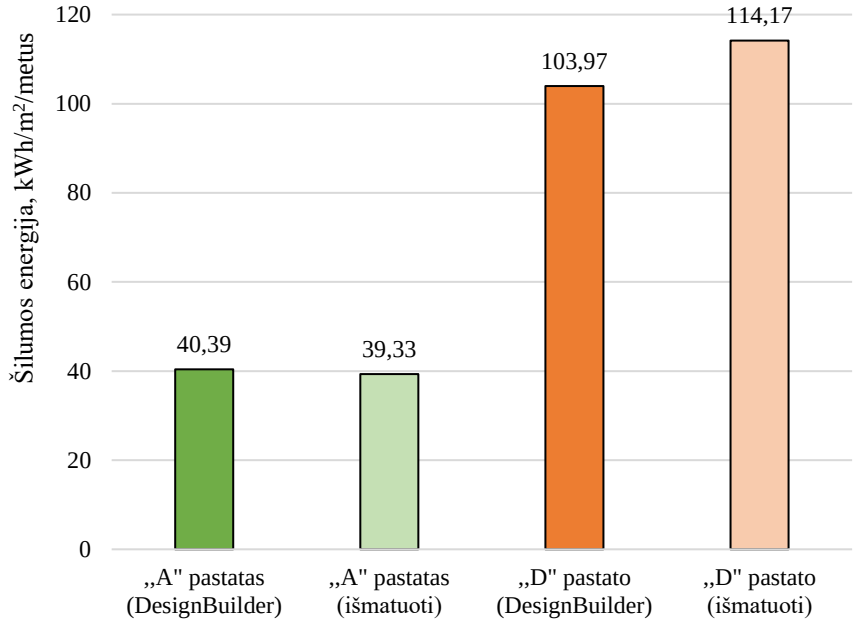


43 pav. Elektros energijos sąnaudos šildymui

Pagal pateiktą grafike pateiktus duomenis apskaičiuota, kad rezultatų nesutapimas tarp „A“ pastato gauti išmatuotų duomenų bei „A“ pastato „sukalibruoto“ modelio duomenų yra 4,3 %. Taigi galime teigi, kad modelis „sukalibruotas“ teisingai, remiantis LST EN 15265:2007 nurodytomis leistinų paklaidų ribomis iki 15%.

Perskaičiuojant elektros sąnaudas į šilumos energijos sąnaudas reikalingas sezoninis šildymo naudingumo koeficientas (SCOP). *DesinBuilder* programoje šilumos siurblio kiekvieno šildymo sezono menesio sumodeliuotas sezoninis šildymo naudingumo koeficientas svyravo nuo 2,8 - 4,1, šilumos sąnaudoms skaičiuoti paimtas vidutinis SCOP gautas 3,5[7]. Taigi remiantis nustatyto SCOP perskaičiuojamos šilumos energija ir gaunami metiniai šilumos poreikiai „D“ pastate ir „A“ pastate. Šiluminės energijos metiniai palyginimai pateikti 44 pav.

[7] Priimama prielaida, kad programoje gautas SCOP yra tinkamas ir juo remiantis perskaičiuojamos „A“ pastato šiluminės energijos mėtinės sąnaudos nei poreikiai.

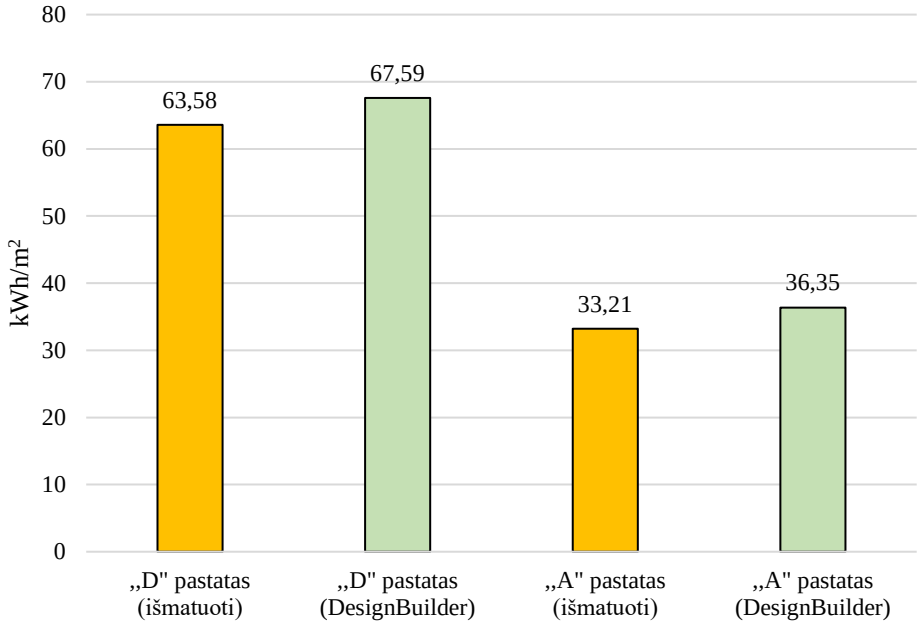


44 pav. Metinės šilumos energijos sąnaudos „D“ ir „A“ pastatuose

Iš 44-ame paveiksle pateiktų mėnesiniai šilumos energijos suvartojimai „D“ ir „A“ pastatuose, gauti metiniai šilumos energijos poreikiai pagal „D“ pastato išmatuotus duomenis 114,17 kWh/m^2/metus pagal atliktą modeliavimą *„Desinbuilder“* programoje 103,97 kWh/m^2/metus. Pagal modeliavimo programoje gautus duomenis „A“ pastato šilumos energijos poreikiai šildymui ir vėdinimui gauta 48,47 kWh/m^2/metus, o „A“ pastate pagal turimas faktines energijos sąnaudas 47,19 kWh/m^2/metus. Susisteminus duomenis apskaičiuota, kad po įdiegtos energinės sistemos sutaupoma 55,50 kWh/m^2/metus naudojant *„DesinBuilder“* modelio rezultatus, o pagal faktines sąnaudas 66,94 kWh/m^2/metus Norit gauti tikslų sezoninį šilumos naudingumo koeficientą reikalinga atlikti realiai veikiančio šilumos siurblio natūrinius bandymus ir eksperimentus.

4.4. Elektros energijos sąnaudos apšvietimui ir kitiems elektros įrenginiams

Šiame etape analizuojami pastate esančio apšvietimo ir kitiems elektros įrenginiams reikalingos elektros energijos sąnaudas. Iš 45 pav. pateiktų rezultatų matoma, kad „D“ pastate realiais duomenis suvartojama 63,58 kWh/m^2/metus, o modeliavimo programoje 67,59 kWh/m^2/metus. Nagrinėjant „A“ pastatą gauta 19,20 kWh/m^2/metus, o modeliavimo programoje 17,73 kWh/m^2/metus. Gauti rezultatų nesutapimai prieš modernizavimą modeliuoto pastato elektros energijos poreikių 6,29 %, po modernizavimo modeliuoto „A“ pastato 9,46 %



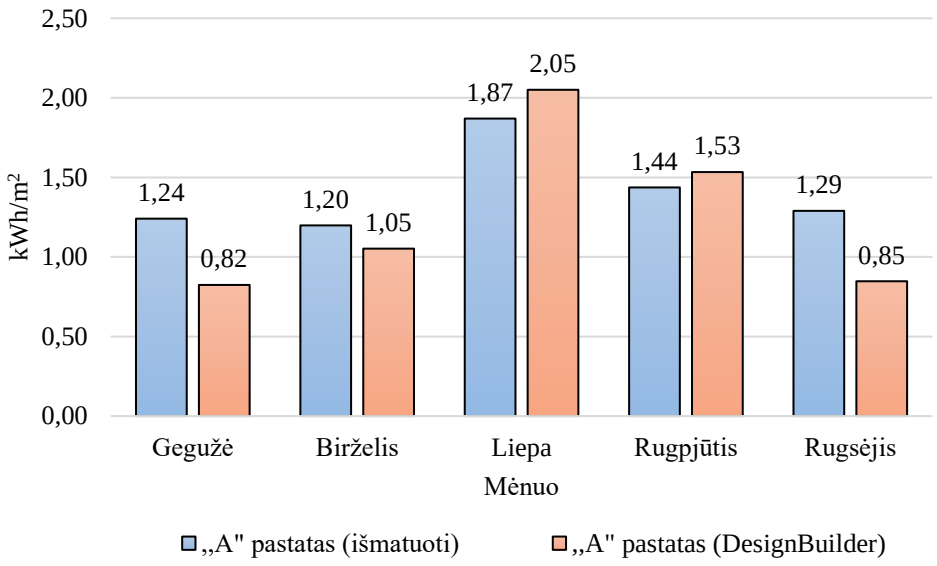
45 pav. Elektros energijos apšvietimui ir kitiems elektrą vartojantiems įrenginiams sąnaudų ir poreikių validavimo palyginimas

Remiantis 45 paveiksle pateiktu grafiku, bei apskaičiuotais duomenis, priimama, kad rezultatų nesutapimo skirtumo priežastis gali būti netinkamas apšvietimo parinkimas patalpose elektros prietaisų suvartojimo rodikliai. Norit tiksliai nustatyti elektros prietaisų ir apšvietimo suvartojimus, reikia atlikti natūriniai bandymais paremtas metodikas, tiksliems parametras nustatyti dinaminio modeliavimo programoje.

4.5. Vėsinimo elektros sąnaudos

Kadangi vėsinimo įranga buvo įrengta tik antrame modelyje t. y. „A“ pastate, todėl šiame etape bus vertinami tik minėto modelio rodikliai. 46 paveiksle pateikti vėsos poreikio po renovacijos mėnesinės sąnaudos po renovacijos sumontuoto šaldymo įrenginio.

Paveiksle paveiktos elektros sąnaudos vėsinimui, tuomet, kai jis reikalingas t. y. vasaros sezono metu. Pagal gautus duomenis lyginami gauti rodikliai su jau turimais faktiniai vėsinimui reikalingos elektros energijos sąnaudų. Gauta, kad per metus atlikus simuliaciją programoje visą vėsinimo sezoną sunaudojama 6,31 kWh/m^2/metus, o turimais faktiniai duomenimis 7,04 kWh/m^2/metus, apskaičiavus gauta, kad nesutapimas yra 11,53 %, tam turėjo įtakos programoje suvesti klimatinių duomenų (saulės spinduliuotės, oro temperatūros, debesuotumo) bei netinkamas žmonių patalpose kiekio vertinimas.

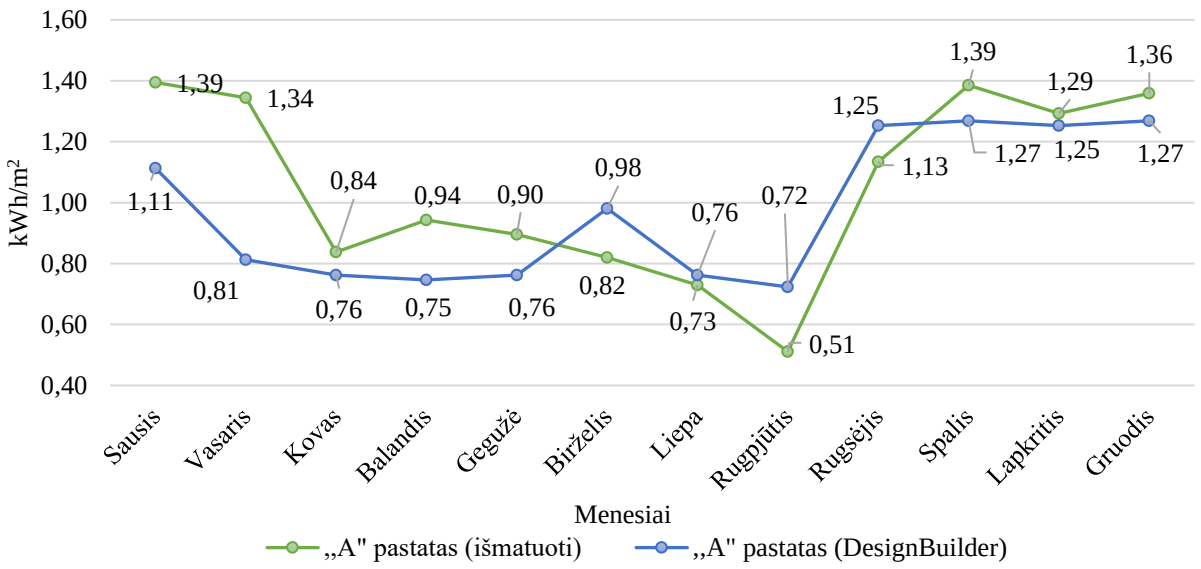


46 pav. Elektros energijos vėsinimui sąnaudų ir poreikių validavimo palyginimas

Pagal pateiktą 46 pav. matoma, kad daugiausiai energijos reikalingos vėsinimui sunaudojama liepos mėnesį, mažiausiai birželio mėn. Norint gauti vėsos sąnaudas reikalingas apskaičiuoti SEER, t. y. sezoninį vėsinimo naudingumo koeficientą. „*DesinBuilder*“ programoje nustatytas vėsinimo naudingumo koeficientas 2,3.

4.6. Vėdinimo sąnaudos „A“ pastate

Kadangi vėdinimo įranga buvo įrengta tik antrame modelyje, po renovacijos, todėl šiame etape bus vertinami tik šio modelio rodikliai. 47-ame paveiksle pateikti vėdinimo poreikio po renovacijos gautos atlikus simuliaciją programoje, gauti duomenys lyginami su turimais faktiniais rodikliais.



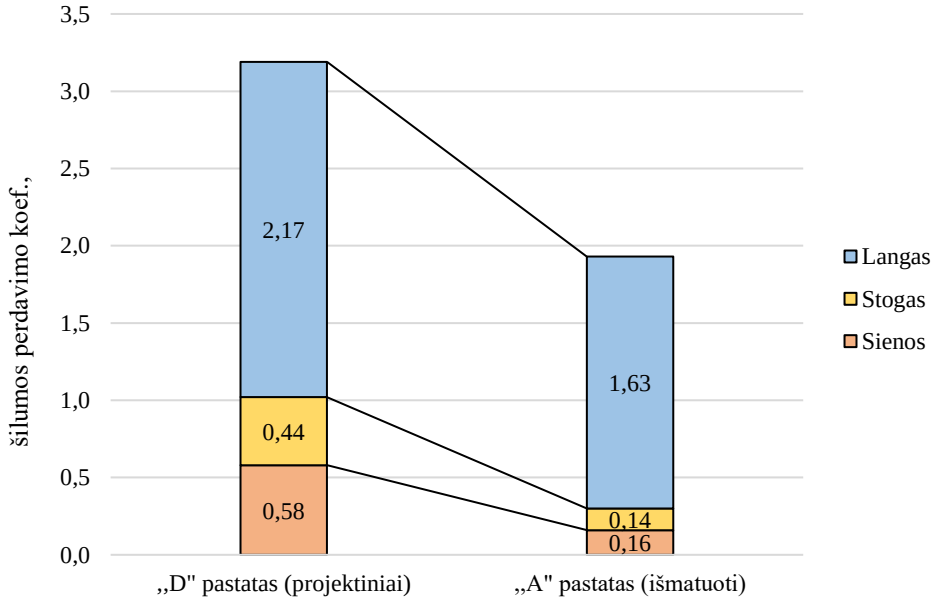
47 pav. Elektros energijos vėdinimui sąnaudų ir poreikių validavimas (palyginimas)

47-ame paveiksle pateiktos kiekvieno mėnesio elektros sąnaudos vėdinimui. Pagal gauti rodikliai lyginami su jau turimais faktiniai vėdinimui reikalingomis elektros energijos sąnaudomis. Gauta, kad per metus atlikus simuliaciją programoje visą vėsinimo sezoną sunaudojama 11,71 kWh/m^2/metus, o turimais faktiniai duomenimis 12,65 kWh/m^2/metus, apskaičiavus gauta, kad nesutapimas yra 8,04 %, tam turėjo įtakos programoje suvesti klimatiniai duomenys bei netinkamas žmonių patalpose kiekio vertinimas.

4.7. Pastatų nuo „D“ iki „A“ modernizavimo priemonių energinis efektyvumo vertinimas ir analizė

Šiame poskyryje aprašomas kokios energinio efektyvumo vertinimo priemonės įdiegtos pastate nuo D energinio naudingumo klasės iki A energinio naudingumo klasės. Aptariamos energinio efektyvumo galimybės modernizuojant pastatą ateityje.

Šilumos perdavimo koeficientai per išorines atitvaras (48 pav.). Remiantis natūriniais bandymais pastebėta, kad pastato išorinių atitvarų: sienos, lango rėmo, įstiklinimo, stogo atnaujinimas, t. y. apšiltintos išorinės sienos, stogas, seni langų pakeitimas naujais padarė didelę įtaką pastato energinio efektyvumo užtikrinimui.



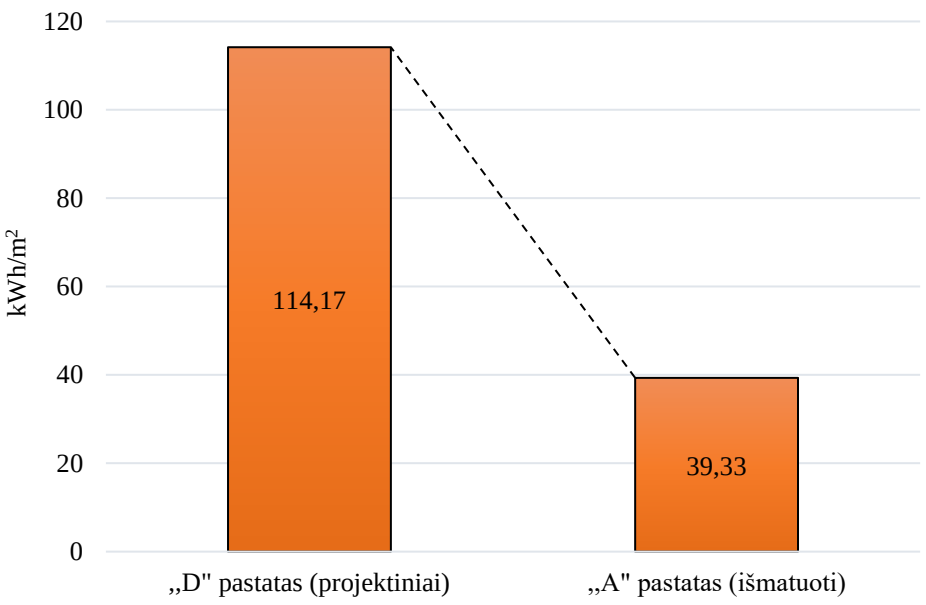
48 pav. Šilumos perdavimo koeficientai (palyginimas)

Gautais rezultatais remiantis apskaičiuotas šilumos perdavimo koeficientas atitvarose. Iš 48 paveikslo gautais rezultatais remiantis sienos šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo apie 72,41 %, stogo apie 68,06 %, bendri lango rodikliai sumažėjo 24,77 %. Šie sumažėjimai lėmė šilumos energijos sutaupymus pastate po modernizavimo.

Komforto sąlygos palaikymas pastatuose. Analizuojant komfortą pastatuose pastebėta, kad atnaujinus pastatą ženkliai pasikeitė vidaus patalpų temperatūra. Prieš modernizavimą vidaus patalpų temperatūra nesiekė reglamentuose nurodytos normos. Apskaičiuota, kad „D“ pastate patalpų tempertūra siekė 17 °C šaltuoju sezonu, o „A“ pastate, remiantis natūriniais tyrimais temperatūra svyravo nuo 20 °C iki 23 °C. Todėl galima teigti, kad tam turėjo įtakos pastate įdiegtos naujos mikroklimatą palaikančios sistemos.

Šilumos pritėkiai dėl saulės spinduliuotės. Darbe buvo vertinama saulės spinduliuotės įtaka pastato modernizavimo procese „D“ pastate t. y. D klasės energinės klasės pastate langai buvo susidėvėję saulės pralaidumas buvo nepakankamas, ant langų nebuvo sumontuota jokia apsaugos priemonė sumažinti pritekėjimus nuo saulės spinduliuotės. Viena iš modernizavimo priemonių buvo pakeisti langai į trijų sluoksnio stiklo paketu su vidaus apsaugos priemone nuo saulės pritekėjimų į patalpas. Šis sprendimas turėjo didelę įtaką šilumos energijos sutaupymams.

Šilumos energija. Modeliuojant „D“ ir „A“ pastato šilumos energijos poreikius gauta, kad prieš modernizavimą šilumos energija buvo tiekiama iš centralizuotų šilumos tinklų.

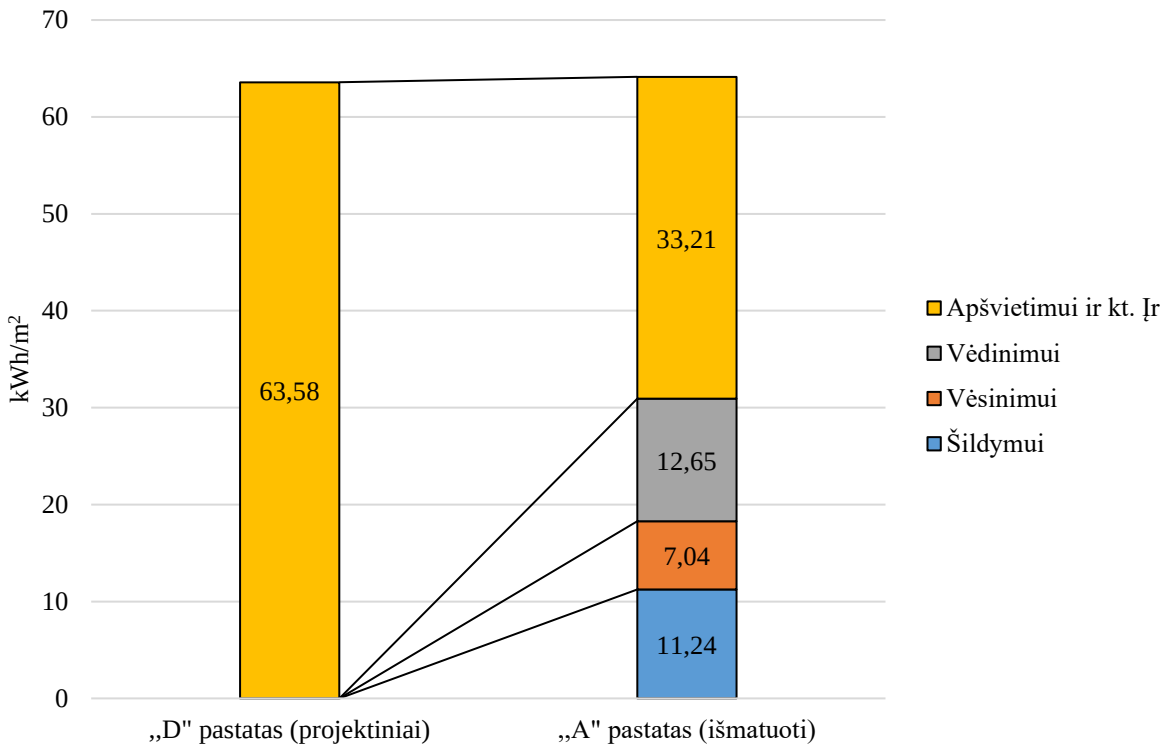


49 pav. Šilumos energijos sąnaudos (palyginimas)

Iš 49 pav. apskaičiuota, kad įdiegtas energinės sistemos t. y. atsinaujinančios energijos technologinis sprendimas šilumos siurblio oras – vanduo pasiteisino ir taip buvo sutaupoma apie 65,55% šilumos energijos.

Elektros energija. Elektros energijos prietaisai naudoti D energinės klasės pastate buvo neefektyvūs, sunaudodavo daug elektros energijos ir taip didindavo elektros sąnaudas bei išlaidas. A energinio efektyvumo klasės pastate modernizuojant pakeisti energijos efektyvumą didinantys

apšvietimo sprendiniai į naujas efektyvesnes technologijas kaip LED apšvietimas, visa buitinė technika pakeista į tuo metu reglamentus atitinkančius įrenginius, sumažinant elektros energijos išlaidas. Naudojant atsinaujinančią energijos išteklių gamybos sistemas, ant pastato stogo sumontuoti 105 vnt. saulės modulių, elektrinė per metus pagamina apie 36 tūkst. kWh/metus taip patenkindama dalį elektros energijos sąnaudų ir sumažina CO_2 išmetimo kiekį.



50 pav. Elektros energijos sąnaudos

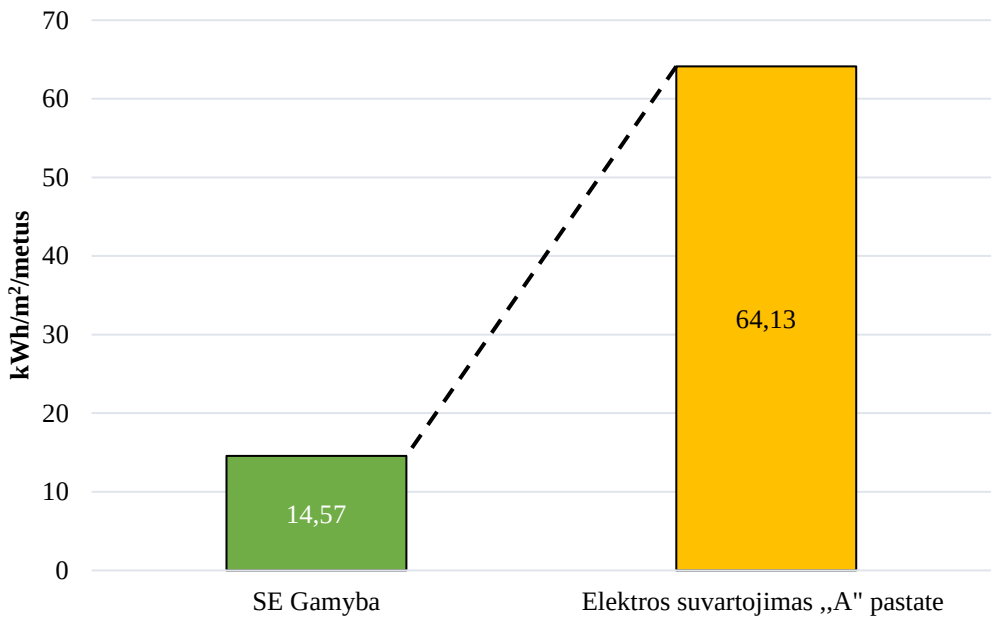
Iš 50 pav. matoma, kad nors ir pastatas buvo renovuotas, elektros energijos sąnaudos minimaliai padidėjo, tai lėmė naudos energinės sistemos šildymui, vėsinimui ir vėdinimui įdiegimas pastate. Taip pat tam turėjo įtakos kompiuterinės įrangos bei pastate galingų serverių naudojimas, užtikrinant greitą informacijos sklaidą.

Vėsinimo energija. Prieš modernizavimą analizuojamame pastate nebuvo vėsinimo poreikius tenkinančios įrangos, kuri gerintų žmonių komforto sąlygų patikimumą. Po modernizavimo įdiegta vėsinimo sistema, kuri turi didelė įtaką oro temperatūros ir drėgnės kontrolei, taip organizuojant komforto sąlygų palaikymą vartotojo atžvilgiu. Vienas iš šios sistemos minusų papildomas elektros energijos vartojimas.

Vėdinimo sąnaudos. Prieš modernizavimą pastate nebuvo įdiegta vėdinimo sistema, buvo tenkinamasi natūralia ventiliacija per langus, kuomet pašalinamas šiltas vidinis oras ir pakeičiamas į vėsesnį išoriniu oru. Po modernizavimo įdiegta mechaninė vėdinimo sistema, kuri cirkuliuoja grynu

oru naudodama ortakius ir ventiliatorius, automatiškai valdydama šalto ir šilto oro patekimą į patalpas užtikrinant tinkamą oro kokybe patalpose. Be mechaninės vėdinimo sistemos užtikrinančios gryną orą, patalpose gali kauptis drėgmė, nemalonūs kvapai ir kiti teršalai. Viena iš šios sistemos minusų papildomos elektros energijos sąnaudos.

Ateities modernizavimo galimybės ir energinio efektyvumo didinimo priemonės. Apžvelgus visą modernizavimo procesą pastebėta, kad įdiegtos papildomos elektros energijos sistemos didina elektros energijos sąnaudas. Norint užtikrinti elektros energijos gamyba tik iš atsinaujinančių energijos išteklių viena iš rekomendacijų elektros energijos poreikių užtikrinimui įdiegti nuotolinę saulės elektrinę.



51 pav. Saulės elektrinės gamyba ir bendras elektros suvartojimas (remiantis 2019 m duomenimis)

Pagal turimas bendras elektros energijos sąnaudas ir bendrą įdiegtos elektrinės gamybą (51 pav.) per metus, apskaičiuota, kad sumontuota elektrinė patenkina apie 22% visų elektros energijos poreikių. Tam, kad pastatas energinių požiūriu būtų efektyvesnis, apskaičiuota, kad papildomai reikalinga patenkinti apie 49,16 kWh/m^2/metus. Reikalinga papildoma saulės elektrinės turėtų galia apie 127 kW., tokiu principu pastatas taptų nulinės energijos.

IŠVADOS

1. Baigiamojo darbo tema atlikta literatūros apžvalga parodė, kad užsienyje ir Lietuvoje pastatų modernizavimo procesas tolygiai kyla. Tyrėjai, bei pastatų energetikos specialistai tyria kaip pagerinti energinį efektyvumą pastatuose naudojant natūrinių bandymų t. y. pastato išorinių atitvarų šilumos perdavimo matavimų metodikas bei įtraukiant kompiuterines modeliavimo programas. Tokiu būdu bandoma optimizuoti pastatų energinių sistemų valdymo procesų sklandų veikimą, taip sumažinant energijos sąnaudas ir gerinant įrenginių potencialo sklandų veikimą. Darbe išanalizuotos pagrindinės pastatų energinio efektyvumo galimybės: ŠVOK sistema, didelio efektyvumo apšvietimo sistemos, dienos apšvietimas, atsinaujinančių išteklių naudojimas.
2. Parinkta tyrimo metodika, kuria siekiamas išanalizuoti pastatų prieš ir po renovacijos įdiegtų modernizavimo priemonių vertinimą. Metodai, kurie taikomi baigiamajame darbe: realių pastatų prieš modernizavimą bei po jo modernizavimo surinkti duomenys apie pastatų energijos sąnaudas šildymui (prieš modernizavimą ir po modernizavimo), vėsinimui bei vėdinimui (po modernizavimo) bei elektros sąnaudos (prieš modernizavimą ir po modernizavimo), šilumos perdavimo koeficiento bei oro parametrų natūriniai bandymai; remiantis analitiniu metodu naudojant kompiuterinio modeliavimo priemonę „*DesignBuilder*“ sukurti du pastato prieš modernizavimą ir po modernizavimo modeliai.
3. Darbe atlikti šilumos perdavimo koeficiento nustatymo natūriniai bandymai išorinėms pastato atitvarams: išorinei sienai, rėmui, įstiklinimui bei stogui. Bandymai žiemos sezonu nuo 2021 metų sausio 27 iki vasario 10 dienos. Remiantis natūriniais bandymais, pagal gautus šilumos srauto, vidaus ir lauko temperatūros parametrus apskaičiuota, kad po modernizavimo sienos šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo apie 71,85 %, stogo apie 68,06 %, bendri lango rodikliai sumažėjo 24,77 %. Šie sumažėjimai taip pat lėmė šilumos energijos sutaupymus pastate po modernizavimo. „A“ pastate, remiantis natūriniais tyrimais temperatūra svyravo nuo 20 °C iki 23 °C.
4. Naudojant *„DesignBulder“* modeliavimo programą sukurti du skaitmeniniai pastato modeliai prieš modernizavimą ir po modernizavimo. Modeliai darbe buvo validuojami, nesutapimai su realiais duomenimis atitiko leistinų paklaidų iki 15% dydį, nurodytose LST EN 15265:2007, todėl buvo teigiama, kad modeliavimas atliktas teisingai. „D“ modeliuojamo pastato buvo vertintos komforto sąlygos pastate, šilumos energija, bei šilumos pritekėjimai dėl saulės spinduliuotės. „A“ pastato analizuojami parametrai ŠVOK sistema, modeliuojamos komforto sąlygos pastate lyginamos su išmatuotais rodikliais, taip pat vertinti šilumos pritekėjimai dėl saulės spinduliuotės pro langus.

5. Atlikus „D“ ir „A“ šiluminės energijos efektyvumo galimybių priemonių, įdiegtų po modernizavimo analizę gauta, kad po pastato renovacijos sutaupoma apie 66% šilumos energijos. Apskaičiuota, kad „D“ ir „A“ pastate bendros elektros sąnaudos yra panašios, todėl, kad po modernizavimo įdiegta papildoma elektros energiją naudojanti įranga, t. y. šilumos siurbliai, skirti vėsinti bei šildyti ir vėdinimo įrenginys. Įvertinus elektros sąnaudas ir saulės elektrinės gamybą, apskaičiuota, kad saulės elektrinė sumontuota ant pastato stogo, patenkina 22% proc. elektros energijos sąnaudų pastate. Remiantis gautais rezultatais siūloma alternatyva – nuotolinė saulės elektrinė, kurios trūkstama galia viso pastato elektros energijai tenkinti turėtų būti apie 127 kW.

Rekomendacijos. Kalbant apie tolimesnes modernizavimo galimybes ir rekomendacijas, vienas iš pasiūlymų – fotovoltinės saulės modulių naudojimas integruojant į fasado konstrukcijas. Šio sprendimo panaudojamas analizuojamam pastatui galėtų būti energinio efektyvumo galimybė. Antroji energinio efektyvumo galimybė – racionalus energinių sistemų valdymo mechanizmų optimizavimas sumažinant elektros energijos sąnaudas pastate. Šios priemonės ir jų taikymo galimybės galėtų būti kito mokslinio darbo tęstinumas, analizuojant minėtas modernizavimo galimybes bei sprendinius.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Ahlborn ALMEMO 2890-9 *operating instructions. Logger, D.* (2015). *Almemo ® 2890-9* https://www.ahlborn.com/en_UK/products/precision-measuring-instrument-and-data-logger-almemo-2890-9#downloa ds

Andaloro, A. P. F., Salomone, R., Ioppolo, G., & Andaloro, L. (2010). Energy certification of buildings: A comparative analysis of progress towards implementation in European countries. Energy Policy, 38(10), 5840–5866. https://doi.org/10.1016/j.enpol. 010.05.039

Bio Intelligence Service, R. Lyons, and IEEP, "Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries," no. April, p. 151 (11), 2013.

BOMA International, "Office Building Classification Guide," pp. 4–8, 2012.pp. 4–8, 2012. https://docplayer.net/148456633-Boma-2017-for-office-buildings-standard-methods-of-measurement-ansi-boma-z.html

BPIE, *Europe ' s buildings under the microscope, Buildings Performance Institute Europe*. 2011. http://www.bpie.eu/publication/europes-buildings-under-the-microscope/

Burek, S. A. M., & Habeb, A. (2007). Airflow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls. Energy and Buildings, 39(2), 128–135. : https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.015

C. B. De Souza, "Automation in Construction Studies into the use of building thermal physics to inform design decision making," *Autom. Constr.*, vol. 30, pp. 81–93, 2013. https://doi.org/10.1016/j. autcon.2012.11.026;

C. Filippín and S. F. Larsen, "Energy efficiency in buildings," *Energy Effic. Res.*, no. February, pp. 153–166, 2009. https://www.researchgate.net/publication/287370115_Energy_efficiency_in_buildings

C. Outline, *Energy efficiency in building renovation*. 2018.

Chel, A., & Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. Alexandria Engineering Journal, 57(2), 655–669. https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.02.027

Cho, K., Kim, J., and Kim, T. (2019). "Decision support method for estimating monetary value of post-renovation office building." Canadian Journal of Civil Engineering, 46(12), 1103- 1113. https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/cjce-2017-0692

Cornaro, Cristina; Puggioni, Valerio Adoo; Strollo, Rodolfo Maria (2016). "Dynamic simulation and on-site measurements for energy retrofit of complex historic buildings: Villa Mondragone case study". Journal of Building Engineering: *17–28*. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.02.001

D. B. Crawley *et al.*, "EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program," *Energy Build.*, vol. 33, no. 4, pp. 319–331, 2001. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6

E. Pikas, M. Thalfeldt, and J. Kurnitski, "Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings," *Energy Build.*, vol. 74, pp. 30–42, 2014.: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.039

EPBD. 2002. Directive 2002/91/EC of the European parliament and the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities. 2003. 4.1.2003, 65–71.

Epec, "Guidance on Energy Efficiency in Public Buildings," *Guid. Energy Effic. Public Build.*, 2010. https://www.eib.org/en/publications/epec-guidance-on-energy-efficiency-in-public-buildings

Fesanghary, M.; Asadi, S.; Geem, Zong Woo, 2012. Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.030

Haase, M.; Andresen, I.; Time, B.; Kvande, T.; Hestnes, A. G. 2008. Energy – efficient office building in Noeway – from low energy standard to passive house standard. Passivhous Norden. 12: 328 – 335;

Higienos norm HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas". Valstybės žinios Nr. 159-7219, 2009.

House of Commons Business Energy and Industrial Strategy Committee, "Energy efficiency: building towards net zero. Twenty-First Report of Session 2017–19," *Twenty-First Rep. Sess. 2017–19*, no. July, 2019.

International Code Council, *2018 International Building Code*. 2018. https://up.codes/code/international -building-code-ibc-2018

IPEEC. (2017). Existing Building Energy Efficiency Renovation. *Building Energy Efficiency Taskgroup*, 38. https://ipeec.org/upload/publication_related_language/pdf/651.pdf

J. Anika, F. Massa, and T. Auer, "Energy & Buildings Assessment of the impact of HVAC system configuration and control zoning on thermal comfort and energy efficiency in flexible office spaces," vol. 212, 2020. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109785

J. Kurnitski *et al.*, "How to define nearly net zero energy buildings nZEB," *REHVA J.*, no. May 2011, pp. 6–12, 2012. https://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/03-2011/How_to_define__nearly_net_zero_energy_buildings_nZEB.pdf

J. R. Krentowski, P. Knyziak, and M. Mackiewicz, "Durability of interlayer connections in external walls in precast residential buildings," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 121, no. October 2020, p. 105059, 2021. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105059

J. Terés-Zubiaga, K. Martin, A. Erkoreka, X. Aparicio, and L. A. del Portillo, *Cost-Effective Energy Retrofitting of Buildings in Spain: An Office Building of the University of the Basque Country*. Elsevier Ltd, 2017.

Jensen, P. A., Maslesa, E., Berg, J. B., & Thuesen, C. (2018). 10 questions concerning sustainable building renovation. *Building and Environment*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.051

Journal, I., & Scientific, O. F. (2013). Energy Heat Balance For Buildings, A Review Analysis. *International Journal of Scientific & Technology Research*, *2*(8), 142–148. http://www.ijstr.org/final-print/aug2013/Energy-Heat-Balance-For-Buildings-A-Review-Analysis.pdf

K. Rijal, M. Noor, and M. Yusri, "A new metric for optimal visual comfort and energy efficiency of building lighting system considering daylight using multi-objective particle swarm optimization," *J. Build. Eng.*, vol. 43, no. April, p. 102525, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102525

K. Valančius and R. Mikučionienė, "Solar energy as a tool of renovating soviet-type multi apartment buildings," *Sol. Energy*, vol. 198, no. June 2019, pp. 93–100, 2020. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.046

Kijevičius, M.; Valančius, K. 2014 Pastato išorinių atitvarų apšiltinimo tikslingumas 2E rodiklių požiūriu. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, Vilnius, Technika ISSN 2029–2341. T. 6, nr. 4 p. 407–413. http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/view/mla.2014.56

L. Ustinovičius, G. Ambrasas, J. Alchimovienė, V. Ignatavičius, and T. Vilutienė, *Statinių eksploatavimas ir atnaujinimas*. 2012. http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1509/3/1415 _Statiniu _maketas_WEB.pdf

L. Užšilaitytė, *Viešojo naudojimo pastatų energetinio modernizavimo modelis*. 2010. http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1863065/datastreams/MAIN/content

L. Zhang, Y. Li, R. Stephenson, and B. Ashuri, "Valuation of energy efficient certificates in buildings," *Energy Build.*, vol. 158, no. 2018, pp. 1226–1240, 2018. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.014

L. Zhang, Y. Li, R. Stephenson, and B. Ashuri, "Valuation of energy efficient certificates in buildings," *Energy Build.*, vol. 158, no. 2018, pp. 1226–1240, 2018. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.014

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2016). Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas (STR 2.01.02:2016. Lietuvos statybos techninis reglamentas. https://www.e-tar.lt/portal/lt/legal Act/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr

Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2009). Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas (NH 42:2009. : https://e-seimas. lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.362676

LR Statybos ir urbanistikos ministerija,RSN 156-94 „Statybinė klimatologija". 1994. Nr. 24-294.;

Lund, H., Marszal, A., & Heiselberg, P. (2011). Zero energy buildings and mismatch compensation factors. Energy and Buildings, 43(7), 1646–1654. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.006

M. Fesanghary, S. Asadi, and Z. W. Geem, "Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm," *Build. Environ.*, 2012. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114212

M. Kračka, *Pastatų atnaujinimo daugiatikslis vertinimas*. 2018.

M. Lu and J. H. K. Lai, "Building energy: A review on consumptions, policies, rating schemes and standards," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 3633–3638, 2019. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.899

M. Sicola, "Commercial Real Estate Terms and Definitions," *NAIOP Res. Found. Fr. Calif.*, , 2017.

Ministry of economic affairs and communications, "National strategy for the reconstruction of buildings to improve energy efficiency," 2017. https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/ee_building_renov_2017_en.pdf

N. T. Mbungu, R. M. Naidoo, R. C. Bansal, M. W. Siti, and D. H. Tungadio, "An overview of renewable energy resources and grid integration for commercial building applications," *J. Energy Storage*, vol. 29, no. April, p. 101385, 2020. https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101385

Onset Computer Corporation, (2016). HOBO-U12 *Temp/RH/Light/ External Data Logger* https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13128-C%20U12-012%20Manual.pdf

P. Fleckinger, M. Glachant, and P. H. Tamokoué Kamga, "Energy Performance Certificates and investments in building energy efficiency: A theoretical analysis," *Energy Econ.*, vol. 84, p. 104604, 2019. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104604

P. Moseley and A. Bruhin, "High energy performing buildings : Support for innovation and market uptake under Horizon 2010 Enery Efficiency," *Publ. Eur. Union*, pp. 1–16, 2019.

Paulauskaitė, S.; Valančius, K., 2012. *Statybinė šiluminė fizika. Mokomoji knyga.* Vilnius. VGTU. 109 p.;

R. M. Reffat and R. M. Ahmad, "Determination of optimal energy-efficient integrated daylighting systems into building windows," *Sol. Energy*, vol. 209, no. July, pp. 258–277, 2020. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.086

R. Volvačiovas, *Visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo efektyvumo tyrimas ir daugiatikslis vertinimas*. 2018.

S. Lechtenböhmer, A. Schüring.. „The potential of large-scale savings from insulating residential buildings in the EU". Energy efficiency 4: 257-270, 2010;

S. Trachte and F. Salvesen, "Sustainable renovation of non residential buildings, a response to lowering the environmental impact of the building sector in Europe," *Energy Procedia*, vol. 48, pp. 1512–1518, 2014.

Statybos techninis reglamentas *STR 2.05.01:20013 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“* 2016 m. ;

Statybos techninis reglamentas *STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“, 2*005 m. ;

T. Hong, K. Sun, R. Zhang, R. Hinokuma, S. Kasahara, and Y. Yura, “Development and validation of a new variable refrigerant flow system model in EnergyPlus,” *Energy Build.*, vol. 117, pp. 399–411, 2016. https://www.researchgate.net/publication/277130989_Development___and_Validation_o f_A_New_VRF_Model_in_EnergyPlus

Taryba, Europos parlamentas ir Europos sąjunga (2010). EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo, 13–35. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj

Tinytag, (2019) *Tinytag Plus 2 Temperature Logger with Integral Sensor and for Thermistor Probe (-40 to +85°C/-40 to +125°C).* http://gemini2.assets. d3r.com/pdfs/original/3754-tgp-4510.pdf

UNIDO, “Sustainable Energy Regulation and Policy-Making for Africa,” *Management*, 2011.

V. Martinaitis, A. Rogoža, and G. Šiupšinskas, *Energijos vartojimo pastatuose auditas*. 2012. https://www.ena.lt/uploads/PDF-EVE/Energijos-vartojimo-pastatuose-auditas-VGTU.pdf

V. Motuzienė , *Įstiklinimo įtakos viešųjų pastatų energijos poreikiams kompleksinė analizė*. 2010

Z. Tian, S. Wei, and X. Shi, “Journal of Building Engineering Developing data - driven models for energy - efficient heating design in office buildings,” *J. Build. Eng.*, vol. 32, no. August, p. 101778, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101778

Zavadskas E.K., Kaklauskas A., Kriukelis V., Nakas H., Sakauskas R., Šimkus J.R. „Pastatų statybos technologija“ Vilnius, Alma litera, 2000. p.262;

P. Summary and S. Features, “Administration building Bruck / Mur – District Court and Fiscal Office,” pp. 1–8, 2006. https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Adminbuilding_Bruck_.pdf

Solar Heating & Cooling Programme, “Report T.41.A.2: Solar energy systems in architecture,” p. 228, 2012. https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March20131.pdf

“EXTENSIVE ENERGY RENOVATION OF OFFICE BUILDING EXTENSIVE ENERGY RENOVATION OF OFFICE BUILDING,” no. September 2013, pp. 3–4, 2015.

P. Summary and S. Features, “Rockwool International Office Building ‘ Center 2 ’ Representative picture of the project ; e . g main facade,” pp. 1–8, 2013. http://task47.iea-shc.org/data/sites/1/publications/rockwool-office-building.pdf

T. Bednar, “energy innovation austria Office High-Rise Building Innovations for buildings in practice,” no. January 2017, 2016. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24594.45760

PRIEDAI