VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Gediminas Tauras

ARCHITEKTŪROS PAMINKLŲ MODERNIZAVIMAS IR SPRENDINIAI
MODERNIZATION OF ARCHITECTURAL MONUMENTS AND SOLUTIONS

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymas, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybų technologijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS TECHNOLOGIJŲ IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
_____
(Parašas)
E. K. Zavadskas
(Vardas, pavardė)
_____
(Data)

Gediminas Tauras

ARCHITEKTŪROS PAMINKLŲ MODERNIZAVIMAS IR SPRENDINIAI
MODERNIZATION OF ARCHITECTURAL MONUMENTS AND SOLUTIONS

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003
Statybos technologijos ir valdymo specializacija
Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas habil. dr. prof. Leonas Ustinovičius _____ 2015-05-18
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantė lekt. Lina Rutkienė _____ 2015-05-18
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJŲ IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU

(Parašas)

Prof. E. K. Zavadskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Statybų technologijos studijų kryptis

Statybos technologijos ir valdymo studijų programa,

valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

…….....Nr. .....

Vilnius

Studentui Gediminui Taurui.....

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Architektūros paminklų modernizavimas ir sprendiniai

patvirtinta 2013 m. spalio 16 d. dekano įsakymu Nr. 503 st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. birželio 20 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Išanalizuoti literatūrą, kurioje aprašomi kultūros paveldo objektai;
2. Sukurti kultūros paveldo pastato atnaujinimui sprendimų modelį, pagal pasirinktus kriterijus;
3. Išanalizuoti kultūros paveldo pastato energinį naudingumą prieš ir po modernizacijos.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantė: lekt. Lina Rutkienė.....

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ....habil. dr. prof. Leonas Ustinovičius.....

(Paraša s) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……

(Parašas)

Gediminas Tauras

(Vardas, pavardė)

….....….2014-10-01.....……...

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos technologijos ir vadybos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas	**Architektūros paminklų modernizavimas ir sprendiniai**
Autorius	**Gediminas Tauras**
Vadovas	**prof. habil. dr. Leonas Ustinovičius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe nagrinėjami kultūros paveldo pastatai, kurie nebeatitinka šiuolaikinių energinio naudingumo reikalavimų. Darbe atlikta literatūros, kurioje nagrinėjamos su kultūros paveldo objektais susijusios problemos, analizė. Sukurtas kultūros paveldo atnaujinimo sprendimų modelis. Pateikti konstrukcijų apšiltinimo variantai. Nustatyti pagrindiniai vertinimo rodikliai, jų reikšmės, atliktas ekspertų vertinimas ir ekspertų vertinimo suderinamumo skaičiavimas rodiklių svoriams nustatyti. Surinkti ir išanalizuoti penkių apšiltinimo medžiagų ir trijų pastato konstruktyvų variantai. Atliktas surinktų duomenų daugiakriteris vertinimas TOPSIS, SAW, COPRAS, VIDURKIŲ, BORDA ir COPELAND metodais. Pateiktos darbo išvados.

Darbą sudaro 3 dalys: įvadas, literatūros analizė, tyrimo objektas ir problematika, pastato modernizacija, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Prasminiai žodžiai: Kultūros paveldo pastatai, šiltinimas iš vidaus, modernizavimo variantų parinkimas

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Construction Technology and Management

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

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master Graduation Thesis

Title	**Modernization of architectural monuments and solutions**
Author	**Gediminas Tauras**
Academic supervisor	**Prof Dr Habil Leonas Ustinovičius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Cultural heritage buildings that do not meet modern energy performance requirements are being addressed in this final thesis. The work presents the analysis of the literature on cultural heritage issues. Cultural heritage renewal decision model was created and building warming options was listed. Key evaluation indicators and their meanings identified. Expert evaluation and expert evaluation of indicators to determine the weight compatibility calculation. Options for five warming materials and three building constructive were collected and analyzed. Data evaluation were carried out by the following methods: TOPSIS, SAW, COPRAS, VIDURKIŲ, BORDA, COPELAND. Conclusions presented.

The work consists of 3 parts: introduction, literature analysis, the object and its issues, building modernization, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist 84 p. text without appendixes, 41 pictures., 42 tables., 34 references.

Appendixes included separately.

Keywords: Cultural heritage buildings, insulation of internal modernization options for selection

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.
1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

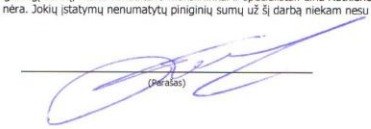
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Gediminas Tauras, 20060070
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Statybos fakultetas
(Fakultetas)
Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-13
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. gegužės 13 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Architektūros paminklų modernizavimas ir sprendiniai" patvirtintas 2014 m. spalio 16 d. dekano potvarkiu Nr. 503st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.
Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Lina Rutkienė. Mano darbo vadovas prof. habil. dr. Leonas Ustinovičius.
Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Gediminas Tauras
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS....9
LENTELIŲ SĄRAŠAS....11
ĮVADAS....13
1. KULTŪROS PAVELDO STATYNIŲ MODERNIZACIJOS PROBLEMOS IR APŽVALGA....14
1.1. Kultūros paveldo apsaugą Lietuvoje reglamentuojantys įstatymai....14
1.2. Architektūrinių paminklų modernizavimo problemos....15
1.2.1. Architektūrinių paminklų sienų rekonstrukcija....16
1.2.2. Istorinių pastatų energinis efektyvumas....19
1.2.3. Apšiltinimas ir drėgmė kultūros paveldo pastatuose....20
1.2.4. Šiluminis atnaujinimas ir atsinaujinanti energetika....23
1.2.5. Architektūrinių paminklų šiluminė modernizacija, šildymo mazgų rekonstrukcija....27
2. BUVUSIOS LIGONINĖS KOMPLEKSO BOKŠTO G. 6, VILNIUJE MODERNIZAVIMO PROBLEMATIKA....31
2.1. Pastatų komplekso istoriniai duomenys ir architektūrinė raida....31
2.2. Pastatų komplekso aprašymas....32
2.3. Nagrinėjamo pastato 2D/2p aprašymas....33
3. 2D/2p PASTATO ŠILUMINĖ MODERNIZACIJA....35
3.1. 2D/2p Pastato sienų, stogo konstrukcijų tyrimas....35
3.1.1. Sienos sluoksnių tyrimas....35
3.1.2. Rūsio sienos modeliavimas....46
3.1.3 Stogo konstrukcijos modeliavimas....48
3.2. Eksperimentiniai tiriamieji skaičiavimai....51
3.2.1. Sprendimo modelio sudarymas....51
3.2.2. Pasirinktų alternatyvų aprašymas....54
3.2.3. Rodiklių parinkimas....55
3.2.3.1. Parinktų termoizoliacinių medžiagų rodikliai....55
3.2.3.2. Parinktų konstrukcijų rodikliai....56
3.2.4. Rodiklių reikšmingumų nustatymas porinio lyginimo metodu....57
3.2.5. Pradinių duomenų lentelių sudarymas....63
3.2.6 Rodiklių integruoto, subjektyvaus ir objektyvaus reikšmingumo nustatymas....64
3.2.7 Integruotų efektyvumo rodiklių reikšmingumų nustatymo metodika....66

3.3. Daugiatiksliai metodai 67
3.3.1 Racionalaus sprendimo nustatymas artumo idealiam taškui (TOPSIS) metodu 67
3.3.2 Racionalaus sprendimo nustatymas paprastuoju sudedamuoju svėrimo (SAW) metodu 71
3.3.3. Racionalaus sprendimo nustatymas kompleksiniu proporcingu įvertinimo (COPRAS) metodu 73
3.3.4. Daugiakriteris vertinimas Borda, Copeland ir vidurkio metodais 76
3.4 Pastato energinio naudingumo skaičiavimai 78
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI 81
LITERATŪRA 82
PRIEDAI 85

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Rekonstruota bažnyčia ir pietvakarinės atraminės sienos 1967 metais (Malesza 2014).....17
1.2 pav. Kalno pjūvis ir požeminė struktūra: a) terasa; b) originali požeminė struktūra (Malesza 2014) 17
1.3 pav. Sienų įtrūkiai (Malesza 2014).....18
1.4 pav. Rytinė atraminė siena ir lietaus vandens padaryta žala (Malesza 2014).....18
1.5 pav. Skirtumo tarp naujų ir istorinių pastatų energinio efektyvumo didėjimas (Plaque 2004)...20
1.6 pav. Pastato netenkamos šilumos pasiskirstymas procentais (Harrestrup 2014).....21
1.7 pav. Medinių sijų termoizoliacija (Harrestrup 2014).....21
1.8 pav. Rūmų fasadas (Milone 2014).....23
1.8 pav. Kultūros paveldo sublokuotų namų modernizacija Bath mieste, Anglijoje (Moran 2013).23
1.9 pav. Saulės kolektorių įrengimas (Moran 2013).....24
1.10 pav. Sublokuotų pastatų Nr.1 atnaujinimo variantų rezultatai (Moran 2013).....26
1.11 pav. Sublokuotų pastatų Nr.2 atnaujinimo variantų rezultatai (Moran 2013).....26
1.12 pav. Sublokuotų pastatų Nr.2 atnaujinimo variantų rezultatai (Moran 2013).....27
2.1 pav. Sklypo planas (Buv. ligoninės... 2013).....32
2.2 pav. 2D/2p pastato vakarinis fasadas (Buv. ligoninės... 2013).....33
3.1 pav. 2D/2p pastato esamų sienų įmirkimo grafikas 35
3.2 pav. 2D/2p pastato siena šiltinta Styrodur apšiltinimo medžiaga 36
3.3 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas.....37
3.4 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas.....37
3.5 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas Neoporo apšiltinimo medžiaga.....38
3.6 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas.....39
3.7 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas 39
3.8 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas stiklo vata Knauf 40
3.9 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas 41
3.10 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas 41
3.11 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas akmens vata PAROC Extra 42
3.12 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas 43
3. 13 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas 43
3. 14 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas Poliuretano putomis 44
3.15 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas 45
3.16 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas.....45
3.17 pav. 2D/2p pastato rūsio sienos įmirkimo grafikas.....46

3.18 pav. 2D/2p pastato rūsio esama ir koreguota siena.....47
3.19 pav. 2D/2p pastato rūsio sienos įmirkimo grafikas.....48
3.20 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcijos įmirkimo grafikas.....49
3.21 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcija su 300 mm mineralinės vatos sluoksniu ir įmirkimo grafiku.....50
3.22 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcija su 310 mm mineralinės vatos sluoksniu ir įmirkimo grafiku 50
3.23 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcija su 320 mm mineralinės vatos sluoksniu ir įmirkimo grafiku.....51
3.24 pav. Sprendimo modelis 52
3.25 pav. Pastato energinio naudingumo klasė pagal techninio projekto duomenis.....79
3.26 pav. Pastato energinio naudingumo klasė po papildomo apšiltinimo.....79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Siūlomi pastatų modernizavimo variantai (Moran 2013).....24
1.2 lentelė. Bažnyčių techniniai duomenys ir suvartojamas metinis šilumos kiekis (Woroniak 2013).....28
1.3 lentelė. Bažnyčių šilumos laidumo koeficientas prieš atnaujinimą (Woroniak 2013).....29
1.4 lentelė. GJ kaina prieš modernizaciją ir po (Woroniak 2013).....30
3.1 lentelė. Esama pastato siena 35
3.2 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus BASF Styrodur 3035 CN 36
3.3 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus Neopor 50 mm 38
3.4 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus stiklo vata Knauf 50 mm.....40
3.5 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus akmens vata PAROC 50 mm 42
3.6 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus purškiant poliuretano putas 50 mm 44
3.7 lentelė. Esamo pastato rūsio siena.....46
3.8 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus mineraline vata 47
3.9 lentelė. 2D/2p pastato stogo konstrukcija techninis projektas.....49
3.10 lentelė. Reikalavimai D, C, B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatams (STR 2.01.09:2012).....53
3.11 lentelė. Rodiklio vertinimas balais.....56
3.12 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai.....57
3.13 lentelė. Ekspertų apklausos apie termoizoliacines medžiagas rezultatai 58
3.14 lentelė. Ekspertų apklausos apie apšiltinimo medžiagos sluoksnio konstrukcijoje rezultatai ..59
3.15 lentelė. Ekspertų nuomonės vieningumo dėl tinkamiausios apšiltinimo medžiagos skaičiavimas 61
3.16 lentelė. Ekspertų nuomonės vieningumo dėl apšiltinimo medžiagos sluoksnio konstrukcijoje skaičiavimas 62
3.17 lentelė. Pradinių reikšmių matrica termoizoliacinės medžiagos parinkimui.....63
3.18 lentelė. Pradinių reikšmių matrica stogo konstrukcinės detalės parinkimui.....64
3.19 lentelė. Pradinių reikšmių matrica sienos konstrukcinės detalės parinkimui.....64
3.20 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų priėmimo matrica 68
3.21 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo normalizuota matrica P 69
3.22 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo svertinė normalizuota matrica P* 69
3.23 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo idealaus geriausia ir blogiausia alternatyva...70
3.24 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo santykiniai atstumai.....70

3.25 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų priėmimo matrica 71
3.26 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų normalizuota matrica 72
3.27 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų reikšmių matrica 72
3.28 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų priėmimo matrica 73
3.29 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo normalizuota sprendimų priėmimo matrica..74
3.30 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos 74
3.31 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis.....75
3.32 lentelė. Sienos apšiltinimo sluoksnio apskaičiavimas SAW, COPRAS, TOPSIS metodais rezultatai.....75
3.33 lentelė. Stogo apšiltinimo sluoksnio apskaičiavimas SAW, COPRAS, TOPSIS metodais rezultatai.....75
3.34 lentelė. Matrica A.....76
3.35 lentelė. Matrica B 77
3.36 lentelė. Sienos apšiltinimo matrica A.....77
3.37 lentelė. Sienos apšiltinimo matrica B.....77
3.38 lentelė. Racionaliausios alternatyvos.....78

ĮVADAS

Kiekviena šalis turi savo kultūrą, tam tikrą pavaldą. Kalbant apie paveldo pastatus, dažniausiai nagrinėjami du svarbiausi klausimai: kaip apsaugoti ir kaip pasinaudoti. Būtina taikyti šiuolaikinius reikalavimus architektūrinių paminklų modernizavimui ir perduoti šį požiūrį ateities kartoms. Laikui bėgant, pastato funkcijos gali keistis, bet seni pastatai turi likti. Ši situacija reikalauja, kad architektūriniai paminklai būtų atviri modernizacijai (Mine 2013).

Istoriniai pastatai sudaro apie 25 % Europos užstatytos aplinkos ir jie atlieka svarbų vaidmenį išmetamam CO_2 kiekiui ir energijos sunaudojimui. Kultūros paveldo pastatuose sudėtinga pritaikyti šiuolaikinius pastato apšiltinimo metodus dėl paminklosaugos vertybių ir jas saugančių įstatymų. Anot G. Woroniak, pastatų energetinis atnaujinimas reikalauja ne tik susipažinti su esama pastato būkle, bet ir turėti daug architektūrinių žinių bei atsižvelgti į vertybių išsaugojimą.

Problematika – seni kultūros paveldo objektai neatitinka šiuolaikinių standartų ir sunaudoja dideli kiekį energijos.

Darbo objektas – architektūrinių paminklų modernizavimas ir jų sprendimai.

Darbo tikslas – konkrečiam kultūros paveldo pastatui parinkti tinkamiausią modernizavimo variantą ir jį papildyti projektiniais sprendimais, kad būtų galima gauti geresnes pastato šilumines savybes.

Darbo uždaviniai:

1. Išnagrinėti moklinę literatūrą, kurioje aprašoma kultūros paveldo objektų problematika;
2. Išanalizuoti sunkumus bei problemas įgyvendinant architektūros paveldo modernizavimo projektus;
3. Sukurti teorinį modelį kultūros paveldo pastato atnaujinimui pagal pasirinktus kriterijus;
4. Praktiškai patikrinti teorinį modelį kultūros paveldo pastato atnaujinimui, norint pasiekti didesnį šilumos energijos naudingumą.

Darbo priemonės:

1. Atliekama Lietuvos ir užsienio literatūros apžvalga apie kultūros paveldo objektus;
2. Sukuriamas modelis, kaip iš skirtingų modernizacijos variantų parinkti patį tinkamiausią;
3. Naudojama ,,ERG3‘‘ programa, norint įvertinti pastato energetinį efektyvumą.

1. KULTŪROS PAVELDO STATYNIŲ MODERNIZACIJOS PROBLEMOS IR APŽVALGA

1.1. Kultūros paveldo apsaugą Lietuvoje reglamentuojantys įstatymai

Domėjimasis Lietuvos kultūros paveldu gimsta XVIII a. pabaigoje – XIX a. (Glemža 2002).

Nepriklausomoje Lietuvoje (1918–1940 m.) kultūros paveldo priežiūros ir apsaugos klausimai buvo keliami, tačiau šioje srityje daug nenuveikta.

Pirmieji specialūs kultūros paveldo apsaugos įstatymų projektai Lietuvoje buvo parengti trečiojo dešimtmečio pabaigoje – tai 1933 m. Tai buvo senovės bei praeities liekanų apsaugos įstatymo projektas, 1938–1939 m. Pirmasis Lietuvos kultūros paminklų įstatymas priimtas tik 1940 m. liepos 20 d., t. y. likus vienai dienai iki Lietuvos paskelbimo LTSR (Markevičienė 1998).

Šiame įstatyme išskiriamos tokios kultūros paminklų grupės:

- senovinės vietos ir buities daiktai;
- mūro ir medžio pastatai;
- senovinio, bažnytinio ir pasaulietinio meno kūriniai;
- senovinio, bažnytinio ir pasaulietinio taikomojo meno daiktai;
- istoriniai kultūros daiktai;
- gamtos paminklai (Zabiela 1995).

Šis įstatymas apėmė visą kultūros paveldą: istorijos paminklus, archeologijos objektus, architektūros ir gamtinį paveldą bei dailės kūrinius. Čia nebuvo atskiriamos nekilnojamosios kultūros vertybės nuo kilnojamųjų. O kalbant apie architektūros paveldą, dėmesys buvo sutelktas tik į atskirų vertingų pastatų išsaugojimą.

Vokiečių okupacijos metais 1942 m. birželio 17 d. švietimo generalinis tarėjas patvirtino Kultūros paminklų inventorizacijos taisykles. Jose bene išsamiausiai apibrėžiama kultūros paminklo tuometinė samprata ir pateikiamas aiškesnis paminklinių objektų rūšiavimas. Šios Taisyklės buvo vienintelis toks detalus paminklosaugos dokumentas per visą Lietuvos kultūros paveldo teisinės apsaugos laikotarpį (Markevičienė 1998).

Lietuvoje 1967 m. balandžio 15 d. aukščiausioji Taryba priėmė Kultūros paminklų apsaugos įstatymą. Įstatymas ne vien deklaravo paminklų apsaugą, bet ir išsamiai, nuosekliai bei konkrečiai reglamentavo šios apsaugos įgyvendinimą: įstatymų subjektų veiklą, jų teises, pareigas ir atsakomybę (Dijokienė 2009).

1977 m. gruodžio 22 d. LTSR aukščiausioji Taryba patvirtino TSRS 1976 m. priimtą Istorijos ir kultūros paminklų apsaugos ir naudojimo įstatymą. Daugelis šio įstatymo straipsnių buvo

deklaratyvūs – nurodė tik bendriausius reikalavimus, neapibrėžė jų įgyvendinimo procedūros, konkrečių nevykdymo pasekmių.

1986 m. gegužės 13 d. buvo priimtas antrasis poįstatyminis aktas – TSRS kultūros ministerijos įsakymas – „Dėl nekilnojamųjų istorijos ir kultūros paminklų apskaitos, saugojimo, priežiūros, naudojimo ir restauravimo tvarkos instrukcijos patvirtinimo“. Lietuvoje ši instrukcija nebuvo įteisinta (Dijokienė 2009).

Dabartinę paveldosaugą Lietuvoje reglamentuoja šie įstatymai: Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų įstatymo pakeitimo įstatymas (2001 m. gruodžio 4 d. Nr. IX-628, pakeitęs 1993 m. lapkričio 9 d. Nr. I-301 įstatymo versiją), Lietuvos Respublikos nekilnojamųjų kultūros vertybių apsaugos įstatymo pakeitimo įstatymas (2004 m. rugsėjo 28 d. Nr. IX-2452, pakeitęs 1994 m. gruodžio 22 d. Nr. I-733 įstatymo versiją ir dabar jis vadinamas Lietuvos Respublikos nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos įstatymu), Lietuvos Respublikos kilnojamųjų kultūros vertybių apsaugos įstatymo pakeitimo įstatymas (2008 m. liepos 3 d. Nr. X-1682, pakeitęs 1996 m. sausio 23 d. Nr. I-1179 įstatymo versiją). Dabartinis Lietuvos kultūros paveldas jau suskirstytas į kilnojamąsias kultūros vertybes, nekilnojamąsias kultūros vertybes ir saugomas teritorijas. Nors visi trys dokumentai buvo ne kartą keisti ir galiausiai priimtos naujos jų redakcijos, visgi juose galima pasigesti aiškaus saugomo objekto apibrėžimo (Dijokienė 2009).

Paveldo apsaugos įstatymų pagrindą sudaro paveldo objektų apibrėžimas. Lietuvoje šiuo metu yra dvi skirtingos paveldo objekto sampratos. Pirmoji, susiformavusi Vakarų Europoje dar XIX a., yra orientuota į pavienių unikalių istorijos ir meno objektų-paminklų apsaugą. Šie objektai sudaro labai mažą kultūros paveldo dalį, bet yra ryškiausi, todėl saugomi pagal itin griežtą, muziejinių eksponatų apsaugos režimą. Dauguma iš jų, o kai kur ir visi, yra valstybės nuosavybė, kitų priežiūrai valstybė skiria dotacijų. Likęs paveldas arba neįvardijamas kaip saugotinas, arba valstybė jo apsauga rūpinasi daug mažiau (Markevičienė 1998).

Anot D. Dijokienės, kol kas Lietuvoje nėra specialių kultūros paveldo apsaugą reglamentuojančių teisės aktų, jungiančių visas saugomo kultūros paveldo objekto sampratas. Analizuoti XX–XXI a. Lietuvos ir charakteringiausi tarptautiniai kultūros paveldo apsaugą reglamentuojantys dokumentai (Dijokienė 2009).

1.2. Architektūrinių paminklų modernizavimo problemos

Kultūrinį ir architektūrinį paveldą turi būti leidžiama naudoti pagal šiandieninius poreikius ir paskirtį. Jei paminklas negali būti naudojamas tam tikriems tikslams ir negali būti pritaikytas prie šiuolaikinio gyvenimo, tai jis negali būti išsaugotas ir bus paliktas bei pamiršti visiems laikams (Mine 2013).

Atnaujinimas gali būti įvairus, pradedant nuo paprasto remonto ir pereinant į kapitalinio modernizavimo ar rekonstrukcijos. Kartais pastatai yra geros būklės, tačiau jų paskirtis ir technologijos jame pasenusios, todėl gali būti imamasi modernizavimo proceso. Jei pastato pirminė funkcija nebeaktuali, pastato paskirtis gali būti keičiama. Tuomet pastatas pritaikomas pakartotiniam naudojimui (Mine 2013).

Istoriniai pastatai pasižymi tam tikru charakteriu, ir tai gali labai prisidėti prie visuomenės kultūros. Išsaugojimas šių pastatų yra svarbi paveldo ir kultūros vertybė.

Laikui bėgant pastatas nebegali atlikti savo pirminių funkcijų, nes jį veikia vienas ar keletas iš šių veiksnių:

• fizinis senėjimas;

• ekonominis nusidėvėjimas;

• funkcinis nusidėvėjimas;

• technologijų senėjimas;

• socialinis senėjimas (Mine 2013).

Dėl šių priežasčių, pastatai gali pasenti anksčiau, nei baigsis jų fizinis gyvavimas. Tad galima teigti, kad istorinių pastatų modernizavimas turi tam tikros naudos, kurią galima suskirstyti taip:

• ekonominė nauda; modernizuoti erdvę galima greičiau nei sukurti naują. Ekonominė nauda pasireiškia tuo, kad modernizacija trunka perpus trumpiau;

• nauda aplinkai; architektūrinių paminklų modernizacija naudinga aplinkai, nes medžiagos naudojamos pakartotinai. Paprastai architektūrinių paminklų naudingo eksploatavimo laikas ilgesnis už modernių pastatų dėl kokybiškų ir patvarių medžiagų bei konstrukcijų (pvz., akmeninių sienų, marmuro grindų dangos, storų sienų);

• socialinė nauda; istoriniai pastatai teikia socialinę naudą. Jie gali išlaikyti tam tikrų vietų ir gatvių patrauklumą (Mine 2013).

1.2.1. Architektūrinių paminklų sienų rekonstrukcija

Pastatų restauravimas ir atnaujinimas reikalauja, kad inžinierius turėtų ne tik žinių apie atitinkamą istorinį laikotarpį, bet ir supratimą apie statybos teoriją ir praktiką tame laikotarpyje. Pastatų modernizavimas apima naujas metodikas, inžinerinius sprendimus, mokslinius tyrimus, modeliavimą ir įgyvendinimo metodus.

Kultūros pastatų modernizavimas ne visada galimas be kompromiso (Lopez 2014).

Žala mūrinėms konstrukcijoms pirmiausia pasireiškia įtrūkiais, pamatų įgriuvomis, statybiniu medžiagų eksploatavimo laikotarpio pabaiga ir konstrukcinių elementų poslinkiu. Įtrūkiai

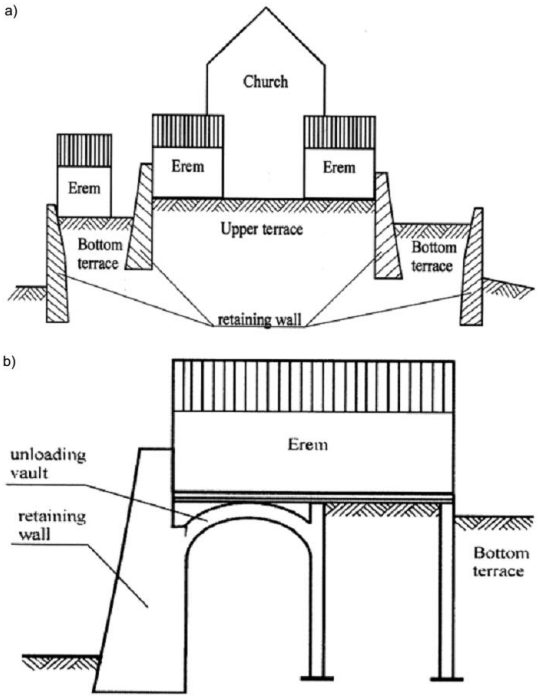
ir plyšiai dažniausiai dalina struktūrą į makroblokus. Patvarumas istorinių struktūrų taip pat gali būti vertinamas akustiniais metodais, kuriais atsižvelgiama į bendrą padarytą žalą pastato struktūrai.

J. Malesza, analizavo vienuolyno pastatų rekonstrukciją. Pirmieji vienuolyno pastatai buvo pastatyti iš medienos ir buvo visiškai sunaikinti gaisro 1671 metais. Wigrių vienuolyno rekonstrukcija prasidėjo po atrojo pasaulinio karo (Malesza 2014).

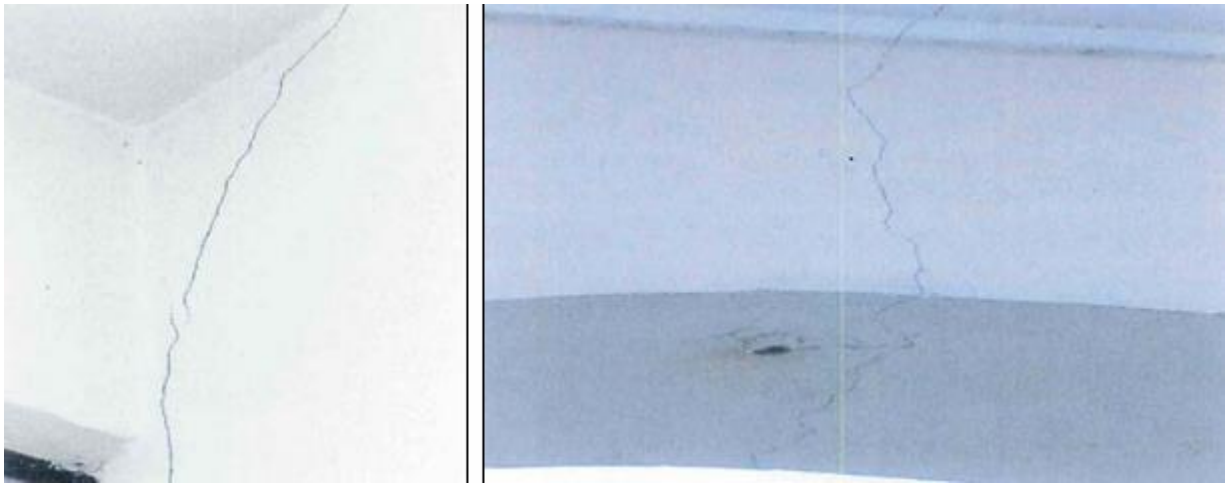


1.1 pav. Rekonstruota bažnyčia ir pietvakarinės atraminės sienos 1967 metais (Malesza 2014)

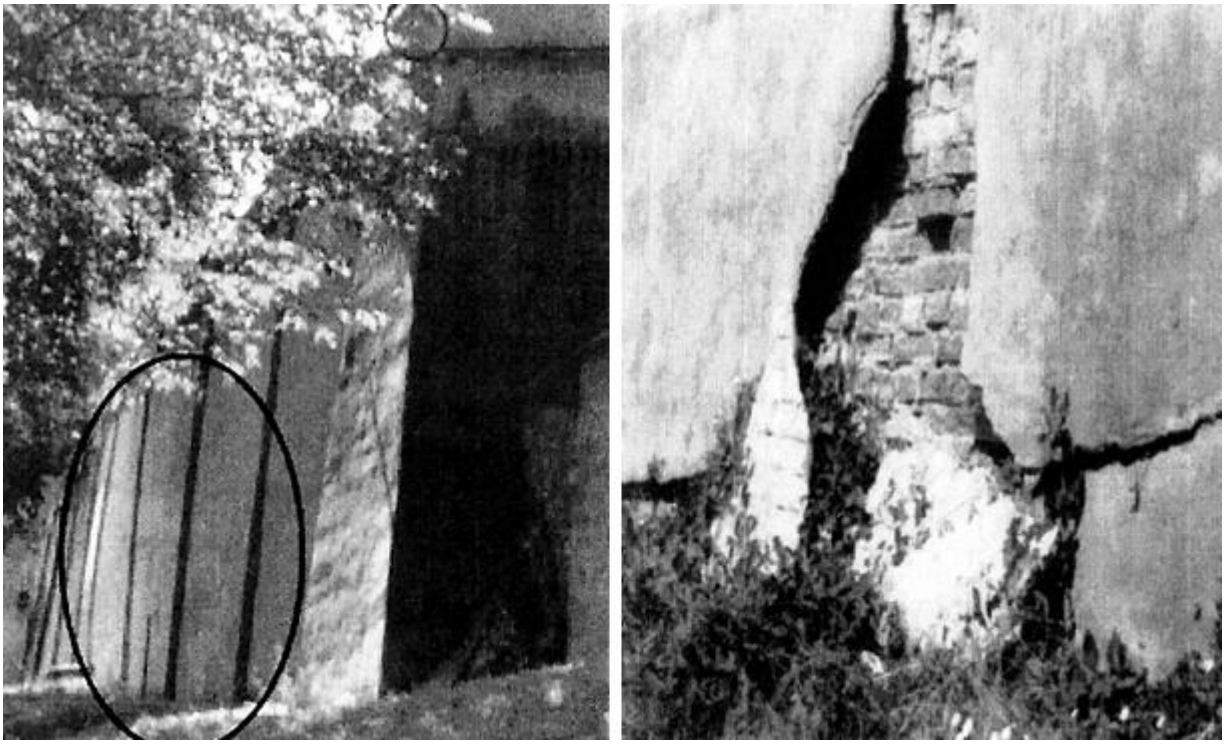
Geologiniai tyrimai buvo atlikti sistemingai gręžiant ir analizuojant daugiasluoksnę kalno žemę. Viršutinius kalno sluoksnius sudaro supiltinis ir mažai tankintas gruntas.



1.2 pav. Kalno pjūvis ir požeminė struktūra: a) terasa; b) originali požeminė struktūra (Malesza 2014)



1.3 pav. Sienų įtrūkiai (Malesza 2014)



1.4 pav. Rytinė atraminė siena ir lietaus vandens padaryta žala (Malesza 2014)

Visi vienuolių pastatai, išskyrus keletą nedidelių pastatų, buvo rekonstruoti. Tuo pačiu metu buvo pastebėtas laipsniškas pastatų blogėjimas ir žalos procesas. Nuotekos, iš netinkamos vandens tiekimo ir nuotekų sistemos, padarė didelę žalą konstrukcijoms. Kiti pastatai ir struktūros taip pat buvo pažeistos įtrūkimų, plyšių (žr. 1.4 pav.), ypač šalia langų sąramų ir vietose kur pastatai

jungiasi vienas su kitu. Šie pastebėjimai leidžia teigti, kad remontai ir rekonstrukcijos turi būti atliekamos laikantis koncepcijos ir strategijos, siekiant atkurti vienuolyną (Malesza 2014).

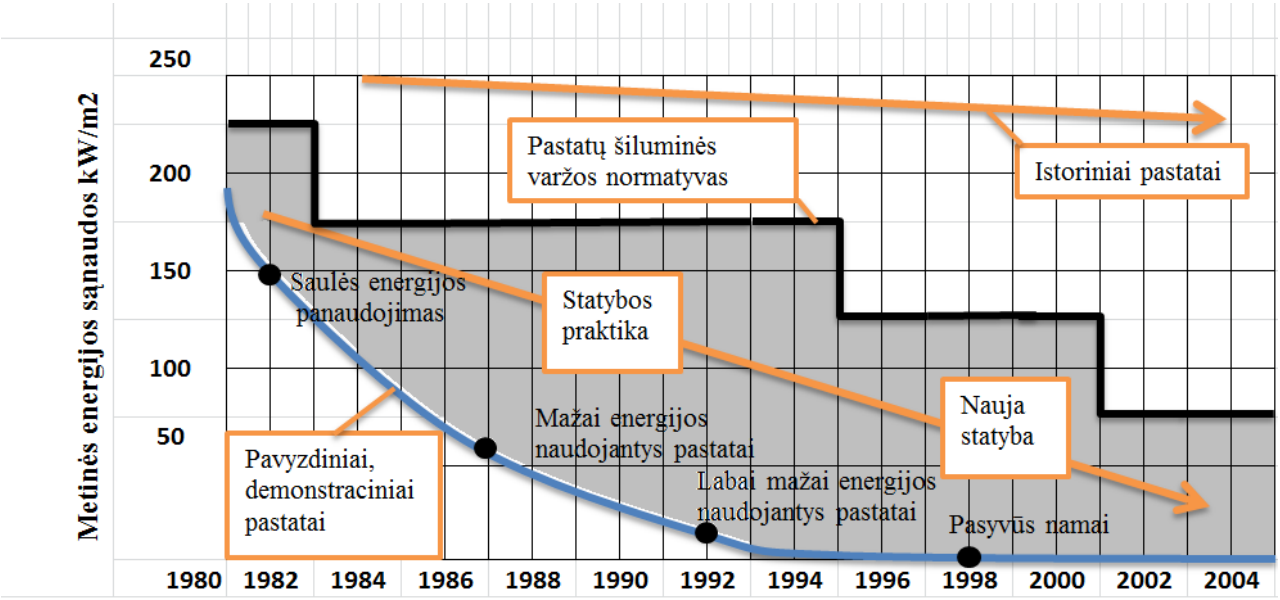
1.2.2. Istorinių pastatų energinis efektyvumas

Lietuvoje, kaip ir didžiojoje dalyje Baltijos jūros regiono šalių, pastatų ploto, tenkančio vienam gyventojui, nuolat daugėja. Energija brangsta, tai kelia didelį visuomenės susirūpinimą pastatų išlaikymo sąnaudomis. Seniau ir pagal žemesnius standartus statyti pastatai vis dažniau renovuojami. Nors LR statistikos departamentas nepateikia duomenų apie tai, kokią statybos darbų apimtį sudaro renovacijos, palyginti su naujų pastatų statyba, šis santykis greitai keičiasi. Vokietijoje dar 2008 m. jis sudarė 30 %. bendrų statybos darbų apimties, o 2011 m. – jau 60 %. Normatyvai, brangstant energijai ir augant komforto lygiui, pastaruoju metu taip pat buvo keičiami gana intensyviai. Per kelis paskutinius dešimtmečius visose ES šalyse reikalavimai naujai statomų pastatų energiniam efektyvumui buvo padidinti du ir daugiau kartų. Seniau statyti pastatai, žinoma, liko tokio paties energinio efektyvumo lygio. Per pastaruosius dešimtmečius atsirado daug naujų energijos taupymo pastatuose pakraipų – tai ir saulės energiją naudojantys pastatai, pastatai su labai gerai apšiltintomis sienomis, aukštos klasės langais, rekuperacinėmis sistemomis, šilumos siurbliais. Išpopuliarėjo tokios idėjos, kaip pasyvūs namai, kuriuose iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių pagaminama daugiau energijos negu sunaudojama. Buvo sukurti ir pradėti taikyti pastatams energijos efektyvumo sertifikatai. Skirtumas energijos efektyvumo tarp šiuolaikinių pastatų ir istorinių pastatų tapo didesnis nei buvo bet kada anksčiau (žr. 1.5 pav.) (Lietuvos urbanistinis forumas 2012).

Anot Milone D., Europos sąjungos šalyse kultūros paveldo objektų energijos suvartojimas didesnis nei 200 kWh/m^2. Siekiant taupyti energija tokių bustų savininkų galimybės yra ribojamos tik dėl kultūrinės pastato vertės. Ši problema yra ypač aktuali savininkams gyvenantiems kultūros paveldo daugiabučiuose pastatuose (Milone 2014).

Šis problema kultūros paveldo pastatus padaro nepelningais, juos tenka atnaujinti arba kraštutiniu atveju, dažniau pasitaikančiu Vakarų Europos šalių praktikoje, griauti. Sprendžiant pastato galimybes išlikti ateities kartoms motyvai gali būti įvairūs:

- bendra pastato vertė;
- kultūrinė vertė;
- kokio lygio energinį efektyvumą įmanoma pasiekti konkrečiame pastate;
- kokį komforto lygį galima pasiekti;
- ar tai apsimokės ekonomiškai.



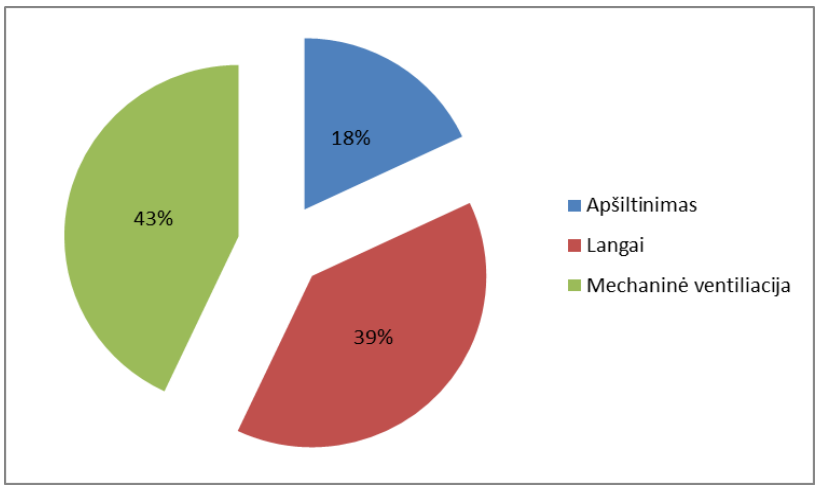
1.5 pav. Skirtumo tarp naujų ir istorinių pastatų energinio efektyvumo didėjimas (Lietuvos urbanistinis forumas 2012)

1.2.3. Apšiltinimas ir drėgmė kultūros paveldo pastatuose

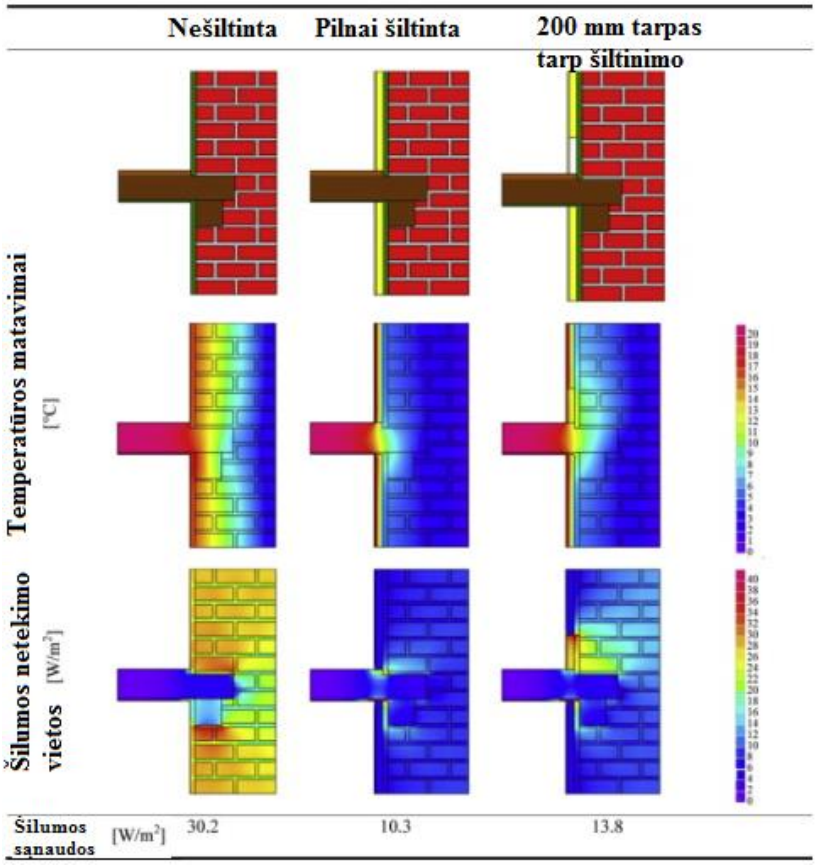
Modernizuojant senus kultūros paveldo objektus pirmiausia atkreipiamas dėmesys į energijos taupymą, nes seni kultūros paveldo objektai neatitinka šiuolaikinių standartų ir sunaudoja didelį kiekį šilumos energijos. Siekiant padidinti pastato energinį efektyvumą reikia nepamiršti pastato architektūrinės vertės. Kultūros paveldo objektuose ne visada galime pritaikyti šiuolaikines medžiagas ar sprendimus.

Buvo atlikti išsamūs energijos vartojimo matavimai prieš atnaujinimą ir po. Skaitmeninis modeliavimas buvo patvirtintas matavimais, siekiant paaiškinti sutaupymą. Buvo nustatyta kur daugiausiai pastatas praranda šilumos. Kai vidaus šiluminė izoliacija buvo įrengta, buvo išmatuota temperatūra ir santykinė drėgmė. Atliktas medinių sijų galų mūro sienose apšiltinimas ir izoliacija nuo drėgmės. Apšiltinimo izoliacija buvo įrengta 200 mm virš grindų (Morelli 2012). Tai sumažino šilumos srautus per sieną. Skaičiavimai parodė, kad energijos suvartojimas pastatui šildyti buvo 83 kWh/m^2 per metus. Matavimai parodė, kad siūlomas sprendimas pašalina drėgmės problemų riziką. Pastato energijos suvartojimas buvo sumažintas 47 %, o teoriškai sumažėjimas galėtų būti 39-61 %, priklausomai nuo kambario temperatūros (20-24 °C) (Harrestrup 2014).

Didžiausias vėjo ir lietaus poveikis pastatams yra prie pastato kampų (Attia 2012).



1.6 pav. Pastato netenkamos šilumos pasiskirstymas procentais (Harrestrup 2014)



1.7 pav. Medinių sijų termoizoliacija (Harrestrup 2014)

Gali susidaryti kondensatas tarp plytų sienos ir šiluminės izoliacijos iš vidaus, todėl yra tikimybė, kad atsiras pastate pelėsis (Kolaitis 2013).

Apskaičiuojamas metinis suvartojamos energijos kiekis renovuotame pastate svyravo 61-96 kWh/m^2, priklausomai nuo kambario nustatytos temperatūros, kuri atitinka energijos naudojimo 39-

61% sumažinimą. Jeigu pastato gyventojai sumažintu nustatytąją temperatūrą iki 20°C, pastatas suvartotų 61 kWh /m^2 /m. (61% sutaupymas) (Harrestrup 2014).

Techniškai gerai atlikta renovacija gali sumažinti energijos sąnaudas iki numatomų sutaupyti 50 %, bet iš tikrųjų suvartojimas yra didesnis. Langų keitimas ir izoliacija lėmė didžiausių energijos taupymą, bet pastebima, kad gyventojų elgesys taip pat turi didelę įtaką energijos suvartojimui.

Milone D., analizuoja XVIII amžiaus kultūros paveldo pastatą Sicilijoje, Ragusa mieste. Pastatas pastatytas 502 metrų aukštyje virš jūros lygio, lauko vidutinė temperatūra 0°C. Rūmai yra trijų aukštų, du aukštai plius vienas pusiau rūsyje. Pastato fasadai yra baroko stiliaus (žr. 1.8 pav.) (Milone 2014). Sienos iš tufo akmens blokų ir tinkuotos iš išorės ir vidaus kalkiniu tinku, šilumos laidumo koeficientas yra 0,78 W/m2K. Langai vieno su vienu stiklu 5 mm storio, kurių šilumos laidumo koeficientas yra 5,13 W/m2K (Milone 2014).

.



1.8 pav. Rūmų fasadas (Milone 2014)

Šio pastato šiluminę modernizaciją pasirinkta analizuoti dviem variantais:

1. Fasadas paliekamas tinkuotas kalkiniu skiediniu, sienos iš tufo akmens blokų. Iš vidaus kultūros paveldo pastato sienos apšildomos putų polistirolo plokštėmis 40 mm ir tinkuojamos. Langai su dvigubais stiklo paketais, aliuminio rėmais, kurių šilumos laidumo koeficientas 0,94 W/m^2K.
2. Fasadas paliekamas tinkuotas kalkiniu skiediniu, sienos iš tufo akmens blokų. Sienos iš vidaus tinkuojamos 35 mm storio sluoksniu su specialiu kalkiniu tinku maišytu su koalinu, šio tinko šilumos laidumas 0,035 W/mk. Langai su dvigubais stiklo paketais, mediniais rėmais, kurių šilumos laidumo koeficientas 1,263 W/m^2K (Milone 2014).

Jei kultūros paveldo pastate nebūtų atliekami papildomi šiltinimo darbai pastatas vasaros metu sunaudotu 59 339 MJ, žiemą – 72297 MJ energijos. Pagal pirmąjį modernizavimo variantą pastatas vasaros metu sunaudotu 53 314 MJ, žiemą – 29233 MJ energijos. Antruoju modernizavimo

būdu pastatas vasaros metu sunaudotu 48 789 MJ, žiemą – 44957 MJ energijos. Anot Milone D., geriausias atnaujinimo variantas pagal atlikta tyrimą yra pirmas, tačiau antruoju variantas yra artimesnis autentikai (Milone 2014).

1.2.4. Šiluminis atnaujinimas ir atsinaujinanti energetika

Istoriniai pastatai sudaro apie 25 % Europos užstatytos aplinkos, taigi jie yra labai svarbūs norint sumažinti CO_2 emisija į aplinką. Tačiau istoriniai pastatai turi didelę kultūrinę vertę. Jie buvo pastatyti remiantis senomis technologijomis ir medžiagomis, kurios nebeatitinka šiuolaikinių šilumos reikalavimų. Tokia situacija reikalauja sprendimų, kurie skatins energijos naudojimo efektyvumą ir išmetamų teršalų mažinimą.

Prieš pradedant plataus masto modernizavimą, būtina įvertinti priemonių ir tikslų, skatinančių išmetamų CO_2 dujų mažinimo svarbą. Kai kurios priemonės turės įtakos pastato architektūrai ir estetikai. Todėl būtina užtikrinti, kad CO_2 emisijų kiekio sumažinimas ir siūlomų pakeitimų rinkinys būtų daug svarbesnis nei faktiniai arba numanomi nuostoliai pastato paveldui (Moran 2013).

Anot F. Moran, kultūros paveldo objektuose galima įdiegti pasyviojo namo programą (passive house planning package, PHPP) norint įvertinti, imituoti reikiamas priemones. Analizuojami trijų dalių sublokuoti namai Bath mieste, Anglijoje, kurie statyti 1810 metais (žr. 1.9 pav.). Analizuojami sublokuoti namai prieš modernizaciją ir po.



1.9 pav. Kultūros paveldo sublokuotų namų modernizacija Bath mieste, Anglijoje (Moran 2013)

Šių pastatų sienos iš kalkakmenio, stogas dvišlaitis, langai įvairūs: mediniai su viengubu ir dvigubu įstiklinimu. Pirmo aukšto dalis grindų medinės, o kita dalis – akmenų grindinys ir betoninė plokštė.

Buvo nuspręsta ant stogo tose vietose, kur nesimato nuo žemės įrengti saulės energijos kolektorius, fotovoltines plokštes, kurios namui suteiks 2,03 kWp energijos (žr. 1.10 pav.).



1.10 pav. Saulės kolektorių įrengimas (Moran 2013)

Saulės kolektorių pritaikymas nebūtinai sumažina energijos sąnaudas, tačiau sumažinamas CO_2 dujų išmetimas.

Buvo siūlomi trys modernizacijos variantai.

1.1 lentelė. Siūlomi pastatų modernizavimo variantai (Moran 2013)

Eil Nr.	Patobulinimas	Specifikacijos	Savybės	EnerPHit Standartas
Analizuojamas variantas Nr.1				
1	Stogo šiltinimas	Minimum 270 mm stiklo vata	U=0.14 W/m^{2}K	0.12 W/m^{2}K
2	Grindų šiltinimas	100 mm aukščiau izoliacija su folija poliizocianurato lenta ir kvėpuojančia garų membrana	U=0.27 W/m^{2}K	0.15 W/m^{2}K
3	Langai	Vieno stiklo langai pakeičiami dvigubo stiklo	U=2.23 W/m^{2}K	0.85 W/m^{2}K
4	Centrinis šildymas	Kondensacinis katilas su termoreguliatoriais radiatoriuose	Sezoninis efektyvumas 90 %	
5	Centrinis šildymas	Žemos įtampos ir aukšto efektyvumo pompa	Elektros sąnaudas sumažina nuo 100W iki 25W	
6	Vamzdynų apšiltinimas	40 mm putplastis, šiltose patalpose		

1.1 lentelės pabaiga

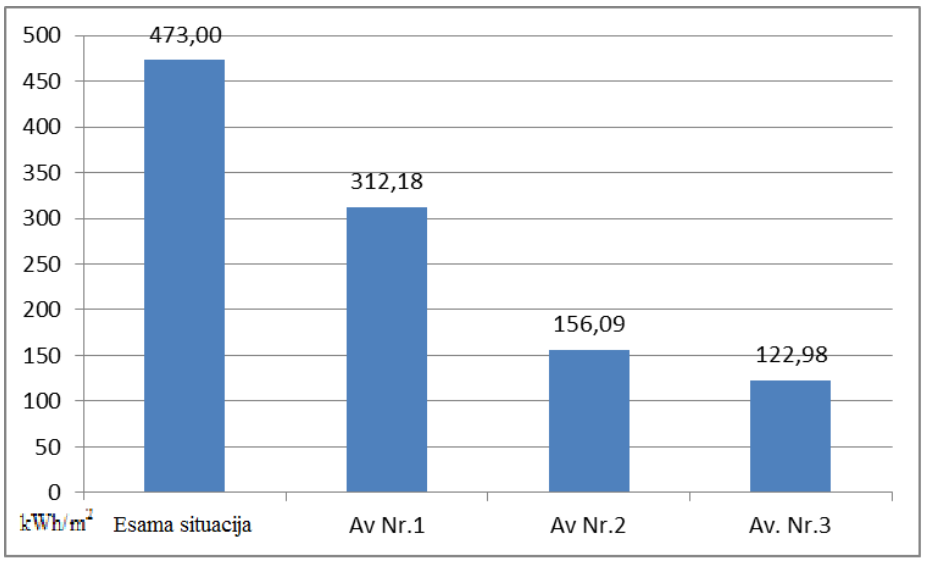
7	Skalbyklė			
8	Indaplovė			
9	Lygintuvas			
10	Apšvietimas	LED	100 %	
Analizuojamas variantas Nr.2				
1	Vidinių sienų šildymas	Medinis karkasas su 100 mm avių vilnos arba kanapių pluošto apšiltinimo medžiaga su 40 mm medienos plaušo plokšte ir 12 mm kalkiniu tinku	U=0,24 W/m^{2}K	0.3 W/m^{2}K
Analizuojamas variantas Nr.3				
1	Saulės energijos panaudojimas šilto vandens ruošimui	Bevamzdė	60 % karšto vandens ruošimui	
2	Saulės baterijos	2,05 kWp	850 kWh/kWp/pa 40-90 proc. naudojama gyventojų	

Pirmasis atnaujinimo variantas yra gana pigus. Į šį variantą įtrauktas grindų šiltinimas, kuris, nors ir yra vienas iš sudėtingesnių darbų, tačiau būtinas norint pasiekti minimalius reikalavimus. Šiame pakete buvo įvertinta 12 priemonių.

Kaip antrasis atnaujinimo variantas pasirinktas vidinių sienų šiltinimas. Išorinių sienų nebuvo galimybės šiltinti, nes kultūros paveldo objektuose negalima keisti fasado dalies. Vienas svarstytinas klausimas yra sumažėjęs patalpų plotas, nes sienos apšiltinimo konstrukcija sudaro 150 mm ir tai sumažina patalpas 4-6 %.

Terčiasis variantas apima atsinaujinančių energinių šaltinių panaudojimą karšto vandens ruošimui ir elektros gamybai.

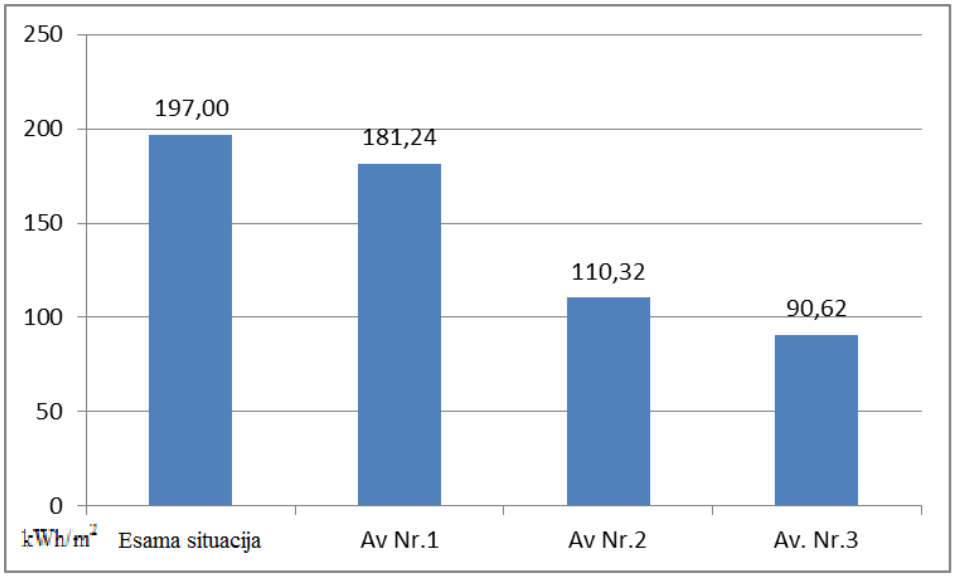
Atliktas mokslinis tyrimas parodė, kad įdiegus pirmajame iš trijų sublokuotų pastatų atnaujinimo priemones buvo gauti teigiami rezultatai, jie pavaizduoti 1.10 paveiksle.



1.11 pav. Sublokuotų pastatų Nr.1 atnaujinimo variantų rezultatai (Moran 2013)

Energijos suvartojimas sumažėja 74 % nuo 473 iki 122,98 kWh/m^2.

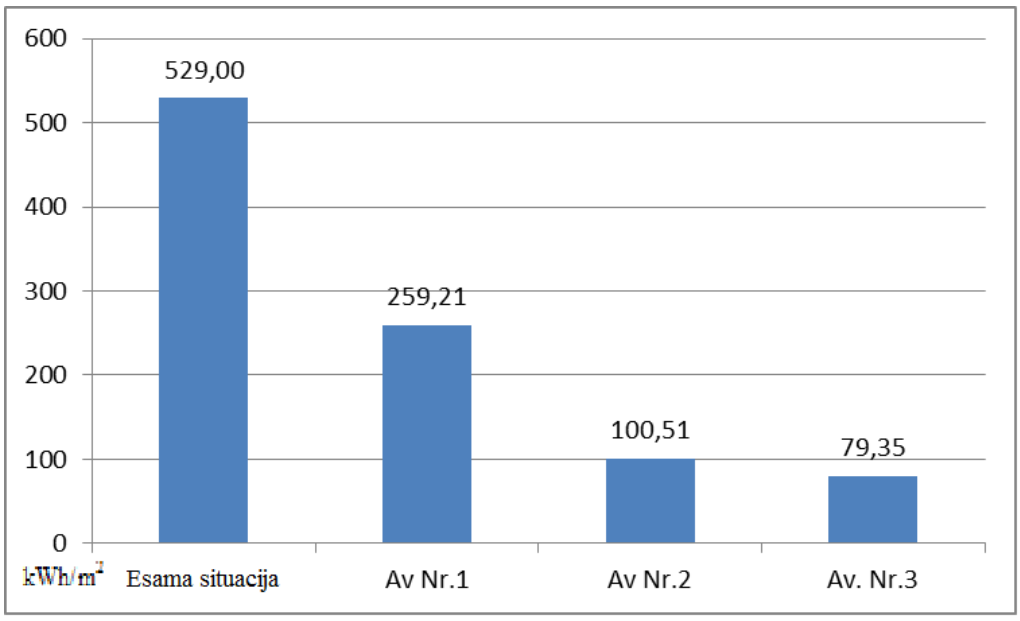
Įdiegus atnaujinimo priemones antrajame iš sublokuotų pastatų gauti taip pat teigiami rezultatai, kurie pavaizduoti 1.11 paveiksle.



1.12 pav. Sublokuotų pastatų Nr.2 atnaujinimo variantų rezultatai (Moran 2013)

Po modernizacijos priemonių šilumos energijos sunaudojimas sumažėja 54 % nuo 197 iki 90,62 kWh/m^2.

Atliktas mokslinis tyrimas trečiajame pastate gauti rezultatai teigiami, kurie pavaizduoti 1.12 paveiksle.



1.13 pav. Sublokuotų pastatų Nr.2 atnaujinimo variantų rezultatai (Moran 2013)

Šilumos energijos sunaudojimas sumažėja 85 % nuo 529 iki 79,35 kWh/m^2.

Energijos sutaupymas 54-85 % yra įmanomas, tačiau tik tada, kai pastato šiluminės savybės yra žymiai pagerintos, ši galimybė gali būti ne visada įmanoma arba pageidautina.

1.2.5. Architektūrinių paminklų šiluminė modernizacija, šildymo mazgų rekonstrukcija

Daugelis istorinių paminklų yra dideli šilumos energijos naudotojai ir didžiąją dalį jų išlaidų sudaro mokesčiai už šildymą. Ypač tuo pasižymi sakraliniai pastatai, kuriuose yra didelės erdvės, aukštos lubos ir kiti didelį šilumos suvartojimą lemiantys veiksniai.

Istoriniuose pastatuose sudėtinga pritaikyti šiuolaikinius pastato apšiltinimo metodus dėl paminklosaugos vertybių ir jas saugančių įstatymų. Anot G. Woroniak, sakralinių pastatų šiluminė modernizacija reikalauja ne tik susipažinti su esama pastato būkle, bet ir plačių architektūrinių žinių bei atsižvelgti į vertybių išsaugojimą. Tokie objektai reikalauja atitinkamos dokumentacijos, įrodančios, kad restauruotojas atliko planuotą ir pagrįstą darbų kiekį objekto modernizavimui. Šiuose pastatuose būtina naudoti tinkamas statybines medžiagas, kad būtų tiksliai atgamintos architektūrinės detalės, ir užtikrinti, kad pastate nepasikeistų mikroklimatas, tad svarbiausia yra apsauga nuo drėgmės. Ieškant tinkamiausio pastato šildymo tipo, reikia atsižvelgti į tam tikras technines problemas. Šildymo dalys turėtų būti integruotos tinkamai ir nesugadinant pastato dizaino. Buvo atliktas penkių Lenkijos bažnyčių: Chlopkow, Serpelenice, Czerwonka, Grochowska

ir Wyszki tyrimas. Minėtų bažnyčių techniniai duomenys ir metinės energijos sąnaudos prieš šiluminį atnaujinimą ir po pateikiami 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Bažnyčių techniniai duomenys ir suvartojamas metinis šilumos kiekis (Woroniak 2013)

Pastatas	Pastatymo metai	Pastato kubatūra [m3]	naudingas plotas [m2]	Technologijos	Metinis šilumos poreikis kWh/m2a
Chlopkow bažnyčia	1890	1804	191	Tradicinė	402,08
Serpelenice bažnyčia	1900	270	50	Medinė	548,13
Kozuchowko bažnyčia	1960	6294	710	Tradicinė	281,26
Czerwonka bažnyčia	1952	6436	630	Tradicinė	257,17
Wyszki bažnyčia	1902	2846	357	Tradicinė	246,71

Chlopkowo bažnyčia buvo pastatyta 1890 metais iš tradicinių plytų. Pamatinės sienos pastatytos iš keraminių 74 cm plytų storio ir tinkuotos iš abiejų pusių. Pirmame aukšte marmuro plytelių grindys ant betono sluoksnio ir smėlio. Stogas – medinis, dengtas cinkuota skarda. Langai – mediniai, su vieno stiklo įstiklinimu. Pagrindinės durys – medinės, senos. Bažnyčioje įrengta oro šildymo sistema su tepaliniu katilu. Šis katilas neturėjo jokio automatinio valdymo. Bažnyčioje nebuvo įrengti oro paskirstymo kanalai. Nebuvo galimybės prie esamo katilo sumontuoti automatinės sisemos. Sistema buvo blogos būklės ir nebuvo galimybės užtikrinti vienodos temperatūros visame pastate. Šildymo sistemą reikėjo nedelsiant pakeisti į biomasę naudojantį katilą (Woroniak 2013).

Serpelencijos bažnyčia, pastatyta 1900 metais, yra medinė. Sienos sumontuotos iš 14 cm storio ąžuolo rąstų ir apšiltintos 1 cm storio nendrių dembliais. Tiek vidinės, tiek išorinės sienos apkaltos dailylentėmis. Grindys – iš pušinių lentų, su oro tarpu. Perdanga – iš medinių sijų, apkaltų mažomis lentomis. Lubos apšiltintos 2 cm nendrių plokštėmis. Stogas dengtas keraminėmis plokštelėmis. Langai yra mediniai, su vieno stiklo įstiklinimu. Pagrindinės durys – senos, medines. Šildymo sistema sudaryta iš dviejų vamzdžių su radiatoriais be termostatų. Šiluma tiekiama iš šalia esančios katilinės, kurioje pastatytas anglies kurą naudojantis katilas. Ji turi rankinį valdymą, kuriuo reguliuojama vandens temperatūra. Vamzdynų izoliacija geros būklės (Woroniak 2013).

Kozuchowko bažnyčia iš plytų statyta tarp 1953-1960 metų. Sienos – iš keraminių plytų, 63 cm storio, tinkuotos iš abiejų pusių. Grindys – iš marmuro plytelių ant betono sluoksnio ir smėlio. Medinis stogas dengtas skarda. Langai – mediniai, su vieno stiklo įstiklinimu. Pagrindinės durys – senos, medinės. Įrengta mišri šildymo sistema: elektrinis ir dujinis šildymas. Sistemos neturi jokio automatinio valdymo. Nėra galimybės įdiegti automatines sistemas (Woroniak 2013).

Czerwonkos bažnyčia iš plytų statyta 1952-1958 metais. Išorinės ir vidinės sienos – iš keraminių plytų. Stogas dengtas skarda. Langai pagaminti iš metalo ir tamsinto stiklo. Buvo naudojamas katilas, kuris degina mazutą. Katilas neturėjo automatinio valdymo, todėl buvo neįmanoma užtikrinti pastovios temperatūros. Katilo būklė prasta. Bažnyčia šildoma lokaliai ir

laikinai su oro šilumos tiekimo sistema. Oro srautas patenka per vieną oro kanalą, todėl bažnyčioje nėra galimybės palaikyti pastovios, vienodos temperatūros (Woroniak 2013).

Wyski bažnyčios sienos yra 75 cm storio. Pamatai yra iš akmenų. Stogas uždengtas cinkuota skarda. Grindys dengtos akmens masės plytelėmis. Langai metaliniai, su stiklo vitražais. Durys – medinės. Bažnyčioje naudojamas elektrinis šildymas. Šildoma tik masinių susirinkimu metu.

Atlikti pastatų šilumos laidumo koeficiento skaičiavimai prieš atnaujinimą pateikiami 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Bažnyčių šilumos laidumo koeficientas prieš atnaujinimą (Woroniak 2013)

	Apskaičiuoti šilumo laidumo koeficientai W/m2K				
Pastatas	**Išorės sienos**	**Stogas**	**Grindys**	**Langai**	**Durys**
Chlopkow bažnyčia	0,85	1,56	0,54	5,1	4
Serpelenice bažnyčia	0,93	1,82	0,45	5,1	4
Kozuchowko bažnyčia	0,96	1,56	0,47	3	4
Czerwonka bažnyčia	0,9	1,83	0,5	3,5	3,5
Wyszki bažnyčia	0,9	1,83	0,5	3,5	3,5

Anot G. Woroniako, buvo užsibrėžtas tikslas pasiekti šilumos laidumo koeficientą bent jau:

- išorės sienos = 0.25 W/m^{2}K;
- stogo = 0.22 W/m^{2}K;
- grindų = 0.50 W/m^{2}K.

Chlopkowo bažnyčioje nuspręsta pastogės grindis apšiltinti 16 cm mineraline vata, kurios šiluminis laidumas λ=0,038 W/mK. 16 cm storis užtikrina minimalią šiluminę varžą ir buvo pasiektas 4,5 W/m^{2}K šilumos laidumo koeficientas. Pirmo aukšto grindis buvo patariama šiltinti 12 cm polistireno plokštėmis, kurių šiluminis laidumas λ=0,04 W/mK. Senus langus pakeisti naujais pagal esamą analogą su šiluminio laidumo koeficientu U=1,3 W/m^{2}K. Išorines duris pakeisti naujomis, kurių šiluminis laidumo koeficientas U=2,6 W/m^{2}K. Buvo pasiūlyta šildymo sistemos modernizacija: biokurą naudojantis katilas, grindų šildymo sistema su temperatūros reguliavimu ir maišymo vožtuvu, naujo tipo medienos dujofikavimo katilas, kurio efektyvumas yra tris kartus didesnis už paprastus.

Pastačius ši katilą bendrasis efektyvumas šildymo sistemos bus pasiektas nuo η= 71,4 % prieš iki η = 88,2 % po modernizacijos.

Serpelencijos bažnyčioje nuspręsta pastogės grindis apšiltinti 16 cm mineraline vata, kuri sudaro šiluminį laidumą λ=0,038 W/mK. Senus langus pakeisti naujais, kurių šiluminio laidumo koeficientas U=1,3 W/m^{2}K. Išorines duris pakeisti naujomis, kurių šiluminio laidumo koeficientas U=2,6 W/m^{2}K. Išorines sienas apšiltinti lengvaisiais sausaisiais metodais, naudojant mineralinę vatą 12 cm storio, kurios šiluminis laidumas λ=0,038 W/mK. Šildymo sistemos modernizavimui buvo rekomenduojama, įskaitant plėtros projektinę dokumentaciją, įrengti ortakių šildytuvus su

platforma, termostatiniais ventiliais ir hidrauliniu šildymo sistemos reguliavimu. Pastačius šį katilą bendrasis šildymo sistemos efektyvumas bus pasiektas nuo η = 59 % prieš iki η = 68,6 % po atnaujinimo (Woroniak 2013).

Kozuchowko bažnyčioje nuspręsta pastogės grindis apšiltinti 16 cm mineraline vata, kurios šiluminis laidumas λ = 0,038 W/mK. Pirmo aukšto grindis buvo patariama šiltinti 12 cm polistireno plokštėmis, kurių šiluminis laidumas λ = 0,04 W/mK. Senus langus pakeisti naujais, kurių šiluminis laidumo koeficientas U=1,3 W/m^{2}K. Išorines duris pakeisti naujomis, kurių šiluminis laidumo koeficientas U = 2,6 W/m^{2}K. Išorines sienas apšiltinti 13 cm storio mineraline vata, kurios šiluminis laidumas λ = 0,04 W/mK. Seną centrinio šildymo sistemą pakeisti į kondensacinį lengvosios alyvos degimo katilą. Grindų šildymo sistema su temperatūros valdymu ir maišymo vožtuvu. Įrengus ši katilą bendrasis šildymo sistemos efektyvumas bus pasiektas nuo η = 79,6 % prieš iki η = 96 % po atnaujinimo (Woroniak 2013).

Czerwonka bažnyčioje nuspręsta pastogę apšiltinti 16 cm mineraline vata, kurios šiluminis laidumas λ = 0,038 W/mK. Pirmo aukšto grindis buvo patariama šiltinti 8 cm polistireno plokštėmis, kurių šiluminis laidumas λ = 0,04 W/mK. Senus langus pakeisti naujais, kurių šiluminis laidumo koeficientas U = 1,3 W/m^{2}K. Išorines duris pakeisti naujomis, kurių šiluminis laidumo koeficientas U = 2,0 W/m^{2}K. Modernizavimas centrinės šildymo sistemos apėmė senų oro šildymo vamzdynų pakeitimą ir seno katilo keitimą. Katilas pakeičiamas į galingesnį biokurą naudojantį katilą. Pastačius ši katilą bendrasis šildymo sistemos efektyvumas bus pasiektas nuo η = 50,4 % prieš iki η = 64,5 % po atnaujinimo (Woroniak 2013).

Wyski bažnyčioje modernizacijos darbai buvo atlikti tokie patys kaip ir Czerwonka.

Kaina 1 GJ šildymo prieš modernizaciją ir po, pateikta 1.4 lentelėje:

1.4 lentelė. GJ kaina prieš modernizaciją ir po (Woroniak 2013)

	Šildymo būdas		1 GJ šildymo kaina	
Pastatas	**Prieš**	**Po**	**Prieš**	**Po**
Chlopkow bažnyčia	Kuras	Biomasė	75,64	21,37
Serpelenice bažnyčia	Anglis	Anglis	37,74	37,74
Kozuchowko bažnyčia	Elektra ir dujos	Lengvasis kuras	117,66	92,56
Czerwonka bažnyčia	Mazutas	Biomasė	75,64	21,37
Wyszki bažnyčia	Eletra	Biomasė	182,79	21,37

Buvo rekomenduojami biomasės katilai pakeičiant esamus šilumos šaltinius. Biomasės kuras yra pranašesnis už tradicinį kurą, ypač anglį. Tai atsinaujinanti kuro rūšis ir išskirianti mažiau CO_2 nei tradicinės kuro rūšys. Kozuchowko bažnyčia buvo šildoma tepaliniu katilu ir jį rekomenduojama pakeisti į biomasę naudojantį, o Serpelenice dėl geros būklės esamo anglies kuro katilo siūloma jį palikti.

2. BUVUSIOS LIGONINĖS KOMPLEKSO BOKŠTO G. 6, VILNIUJE MODERNIZAVIMO PROBLEMATIKA

2.1. Pastatų komplekso istoriniai duomenys ir architektūrinė raida

Šiuo metu statinių kompleksas Bokšto g. 6 (unikalus kodas Kultūros vertybių registre 1033) yra viešajam pažinimui ir naudojimui valstybės saugoma kultūros vertybė. Ji užima Vilniaus posesijų 94 ir 93 istorinius sklypus. Iki 1999 m. nagrinėjamo komplekso teritorijoje veikė seniausia Vilniaus ligoninė, istoriografijoje vadinama Savičiaus ligoninės vardu. Savičiaus ligoninės pastatų kompleksas susiformavo iš kelių valdų, kuriose mūriniai statiniai minimi jau 15 – 16 amžiais istoriniuose šaltiniuose. Ligoninė buvo įkurta 1744 m., po vyskupo Gonsievskio fundacijos (Buv. ligoninės... 2013).

20 amžiaus antrojoje pusėje nagrinėjamame komplekse plėtra sustojo, o kai kuriose jo dalyse įvyko atvirkštinis procesas – kai kurie netinkamai prižiūrimi ir eksploatuojami pastatai sunyko arba buvo nugriauti. Visų pastatų būklė yra prasta, vidinė apdaila, durys, langai, kitos medinės dalys tiesiog susidėvėję. Dėl nekokybiškai periodiškai atliekamų remontų, per daugelį metų, senosios interjero detalės buvo sunaikintos, arba beveik negrąžinamai sugadintos. Ligoninės statiniai buvo transformuojami, statomi, griaunami ar pritaikomi laikmečio poreikiams (Buv. ligoninės... 2013).

Nagrinėjamos teritorijos vertingosios savybės:

- tūrinę erdvinę struktūrą, kurios pastatai su vidinėmis erdvėmis, puikiai pritaikyti prie gamtinio reljefo;
- planinę struktūrą – ligoninės teritorijoje buvusius uždarus kiemus, kurių dalis dėl netinkamos eksploatacijos jau yra sunykusi;
- gamtinį reljefą, kuris kaip vertinga istorinio kraštovaizdžio vertybė natūraliu pavidalu beveik neišliko;
- Bokšto ir Išganytojo gatvių išklotines, kaip atspindinčias senamiesčio kvartalų formavimo ir užstatymo principus su istoriniais architektūros bruožais;
- komplekso statinius ar jų dalis, geriausiai išlaikiusius savo pirminę, istoriškai susiklosčiusią išraišką, medžiagą, konstrukcijas, suplanavimą bei atlikimo technologiją (Buv. ligoninės... 2013).

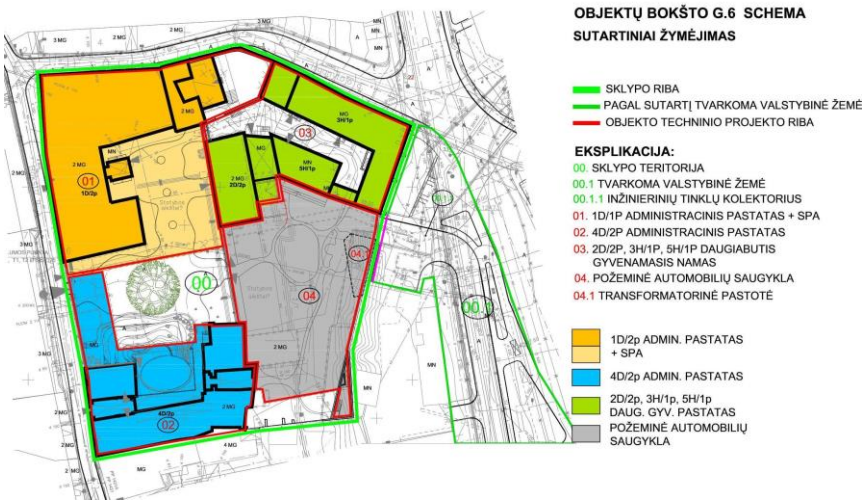
Architektūriniu požiūriu reikėtų restauruoti sunykusias barokinio laikotarpio plastikos bei dekoro detales.

2.2. Pastatų komplekso aprašymas

Projekto pavadinimas: Buv. ligoninės pastatų komplekso (1033) Bokšto g. 6, Vilniuje tvarkomieji statybos darbai (pritaikymas). Buv. ligoninės pastatų komplekso (1033) Bokšto g. 6, Vilniuje tvarkomieji statybos darbai (pritaikymas) buv. ligoninės pastatų 1d/2p (un. nr. 1094-0043-0011) 4d/2p (un . nr. 1094-0043-0011) rekonstravimo į administracinius (8.2) pastatus, buv. ligoninės pastato 2d/2p (un. nr. 1094-0043-022); ūkio pastato 3h/1p (un. nr. 1094-0043-0033); skalbyklos pastato 5h/1p (un. nr. 1094-0043-0055) rekonstrukcija į daugiabutį gyv. namą (7.3), garažo paskirties pastato 6g/1p (un. nr. 1094-0043-0066) griovimo ir požeminės automobilių saugyklos (8.7) statybos Bokšto g. 6, Vilniuje projektas (Buv. ligoninės... 2013).

Bendras sklypo plotas (Bokšto g 6.-žymėjimas plane - ***00***) **-7534.04 m²** sklypas (I); **307.0 m²** sklypas (II).

Tvarkoma valstybinė žemė už sklypo ribų (žymėjimas plane ***00.1***) - **2276.0 m².**



2.1 pav. Sklypo planas (Buv. ligoninės... 2013)

Po tvarkomųjų statybos darbų komplekso pastatai pagal funkcijas šiuo projektu suskirstomi į keturis objektus:

- pastatas 1D/2p pritaikomas administracinei funkcijai su SPA rūsio dalyje ir po dalimi kiemo;
- pastatas 4D2/p pritaikomas administracinei funkcijai, studijoms bei restoranu rūsio dalyje bei po dalimi kiemo;
- pastatai 2D/2p;3H/1p;5H/1p šiuo projektu apjungiami ir pritaikomi daugiabučio gyvenamojo namo funkcijai;

2.3. Nagrinėjamo pastato 2D/2p aprašymas

Patekimas į 2D/2p butą yra per kelias vietas per požeminę automobilių stovėjimo aikštelę, kuriame yra numatytos šio buto automobilių parkavimo vietos, ir iš vidinės vakarų kiemo pusės. 5H/lp pastato dalis patalpų yra naudojama 2D/2p buto patalpoms.



2.2 pav. 2D/2p pastato vakarinis fasadas (Buv. ligoninės... 2013)

2D/2p buto rūsys yra dviejų lygių. Patekimas į pirmą pastato aukštą yra iš vidinio kiemelio vakarinės pusės, čia projektuojamas pagrindinis pastato holas. Pietinėje pirmo aukšto dalyje yra įrengiama svetainė iš kurios per buvusias atidengiamas angas yra patenkama į valgomojo zona, o iš jos į virtuvės zoną. Iš valgomojo yra išėjimas į lauko terasą. Naujai projektuojama lauko terasa į vidinį kiemelį nuo kurio atsiveria gražūs senamiesčio vaizdai. Taip pat iš terasos yra galimybė patekti į 2D/2p pastato įrengiamą studiją. Į pastato antrąjį aukštą yra patenkama per šiaurinėje pastato dalyje projektuojamą laiptinę, čia projektuojami du miegamieji kambariai, viena didelė drabužinė, svetainė, du vonios kambariai ir darbo kambarys. Svetainės dalyje yra projektuojami nauji laiptai kuriais yra patenkama į pastoginį aukštą. Pastoginiame 2D/2p pastato aukšte yra įrengiami trys miegamieji, du sanitariniai mazgai ir vienas didelis bendras kambarys.

2D/2p pastato grindys visose pagrindinėse patalpose: svetainėse, valgomuosiuose, miegamuosiuose, darbo, poilsio kambariuose ir t.t. yra projektuojamos medinių grindų dangos. Pagalbinėse patalpose numatoma keraminių plytelių dangos.

2D/2p pastato sienos visose pagrindinėse patalpose: svetainėse, valgomuosiuose, miegamuosiuose, darbo, poilsio kambariuose ir t.t. esamos mūrinės sienos yra restauruojamos, kur

sienų mūras yra nevertingas yra tinkuojamas. Pirmo ir antro aukšto bei pastogės patalpų sienos yra tinkuojamos, glaistomos ir dažomos. Pagalbinėse patalpose numatoma keraminių plytelių danga.

2D/2p pastate lubos – kabamosios, jos yra glaistomos bei dažomos silikoniniais dažais.

2D/2p pastato statybinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai:

- naujos išorinės sienos =0,2 W/m²·K;
- seno pastato išorinių sienų (kultūros paveldo objektas) =0,84 W/m²·K;
- langų, stoglangių, durų =< 1,6 W/m²·K;
- stogo =0,178 W/m²·K;
- grindų =< 0,25 W/m²·K.

3. 2D/2p PASTATO ŠILUMINĖ MODERNIZACIJA

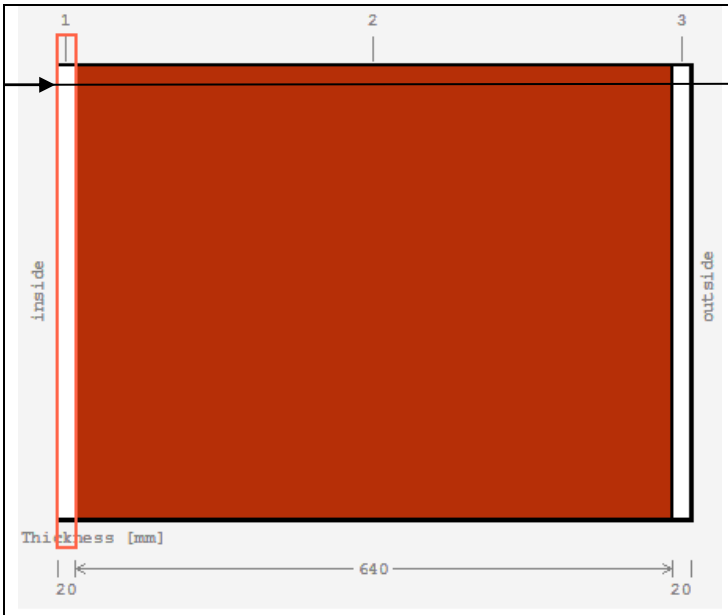
3.1. 2D/2p Pastato sienų, stogo konstrukcijų tyrimas

3.1.1. Sienos sluoksnių tyrimas

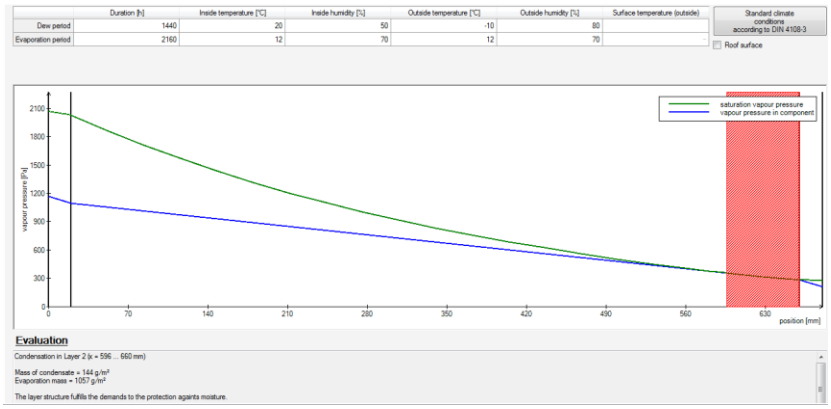
Naudojant Construction Assistent – energy saving programą suvedamos techninio projekto išorinės pastato sienos medžiagos. Sumodeliuojami atitvarų sluoksnių storiai, kad sienos konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientas būtų mažesnis už techninio projekto sprendinius.

Pastato išorinės sienos detalė pateikta 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Esama pastato siena

	• Kalkinis tinkas ~20 mm • Pilnavidurės molio plytos 640 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm

Techninio projekto duomenimis priimama, kad sienos šilumos perdavimo koeficientas yra 0,84 W/m^{2}K.



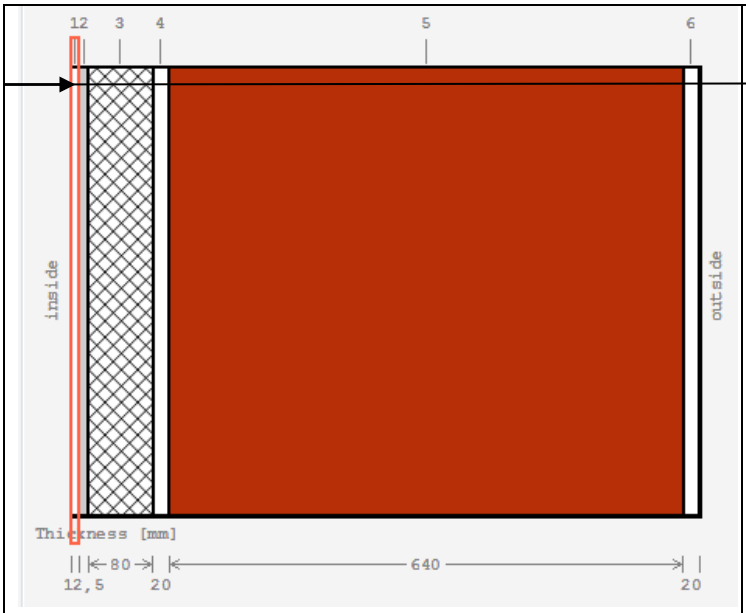
3.1 pav. 2D/2p pastato esamų sienų įmirkimo grafikas

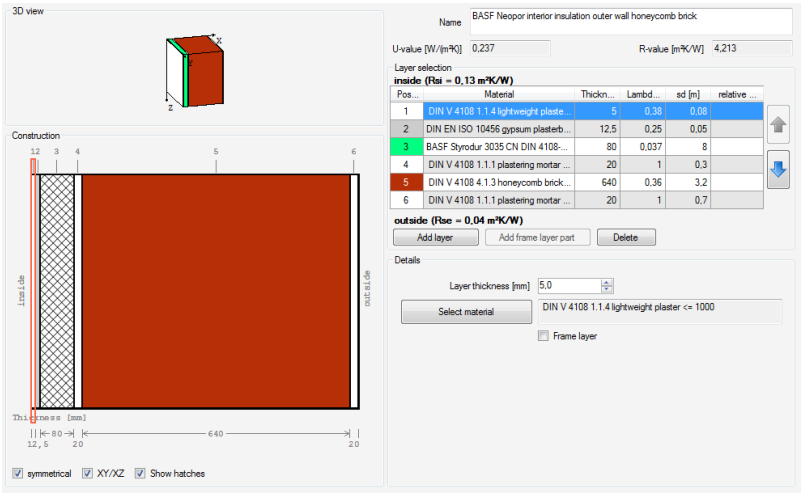
Pagal esamos sienos situaciją programa pateikia drėgmės kondensato susidarymo grafiką (žr. 3.1 pav.). Pagal ši grafiką matome, kad:

- kondensatas susidaro 596-660 mm sienos sluoksnyje;
- kondensato kiekio susidarymas 144 g/m^2;
- drėgmės garavimo kiekis 1057 g/m^2.

Koreguojame sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės dedame BASF Styrodur 3035 CN ant esamo autentiško tinko, taip nepažeidžiant kultūros paveldo sluoksnio. Vidaus apdaila suformuojama ant gipso kartono plokščių (žr. 3.2 lentelėje).

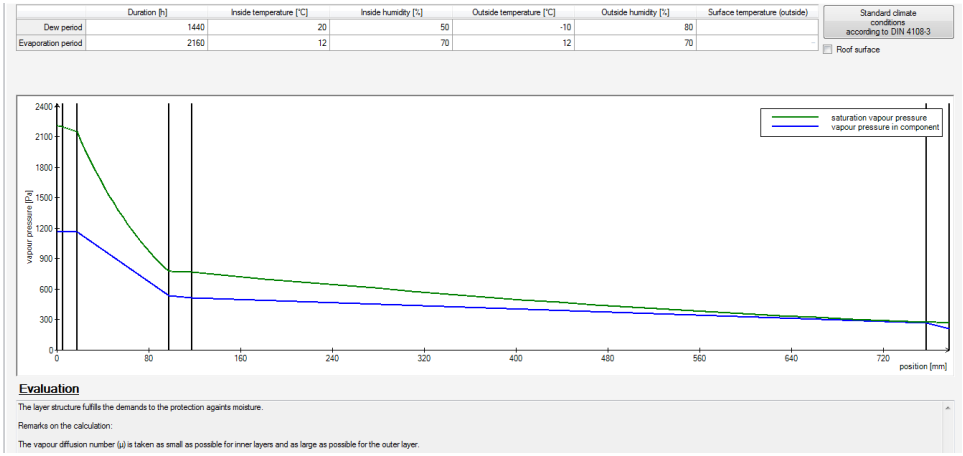
3.2 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus BASF Styrodur 3035 CN

	• Glaistas 5 mm • Gipso kartono plokštė 12,5 mm • BASF Styrodur 3035 CN 80mm • Kalkinis tinkas ~20 mm • Pilnavidurės molio plytos 640 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm



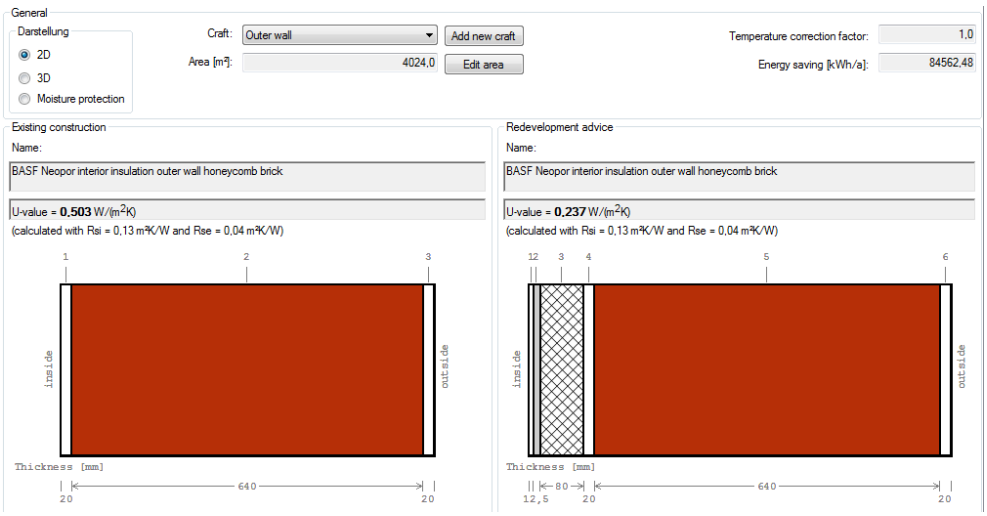
3.2 pav. 2D/2p pastato siena šiltinta Styrodur apšiltinimo medžiaga

Atlikus išorinės sienos koregavimą gaunamas sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,237 W/m^{2}K, o sienos be koregavimo šilumos perdavimo koeficientas 0,84 W/m^{2}K.



3.3 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas

Pagal pateiktą grafiką (žr. 3.3 pav.) matome, kad koreguotos sienos grafike nėra linijų žyminčių drėgmės susidarymą. Sienos sluoksnis yra visiškai apsaugotas nuo drėgmės susidarymo sienos viduje.

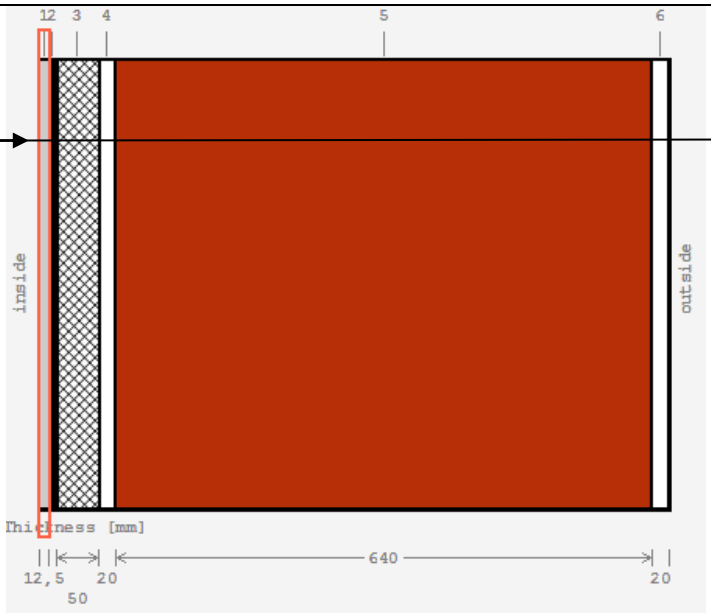


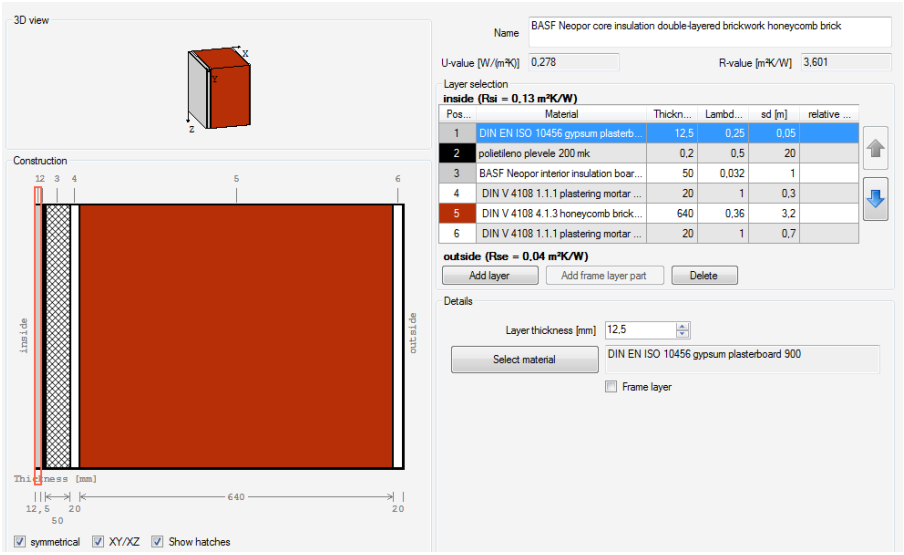
3.4 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas

Sienos šilumos perdavimo koeficientas pagerėjo 3,54 karto lyginant su techniniu projektu.

Koreguojame sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės dedame BASF Neopor ant esamo autentiško tinko, taip nepažeidžiant kultūros paveldo sluoksnio. Vidaus apdaila, suformuojama ant gipso kartono plokščių, pateikiama 3.3 lentelėje.

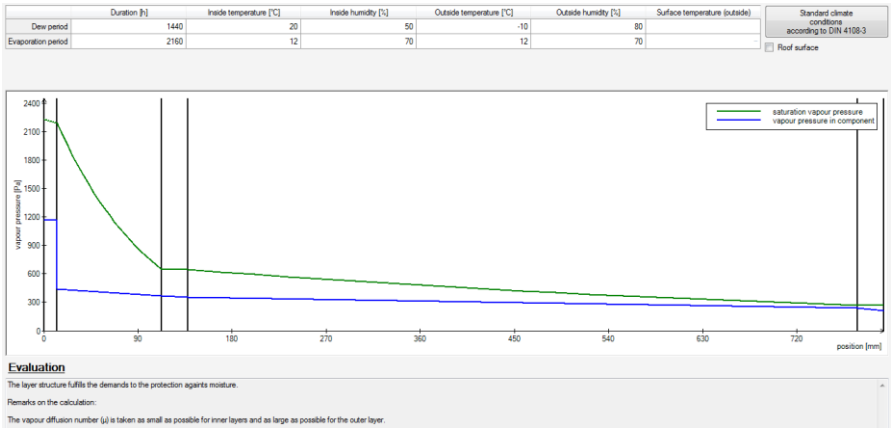
3.3 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus Neopor 50 mm

	• Glaistas 5 mm • Gipso kartono plokštė 12,5 mm • Garo izoliacija (polietileno plėvelė 200mk) • BASF Neopor 50 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm • Pilnavidurės molio plytos 640 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm



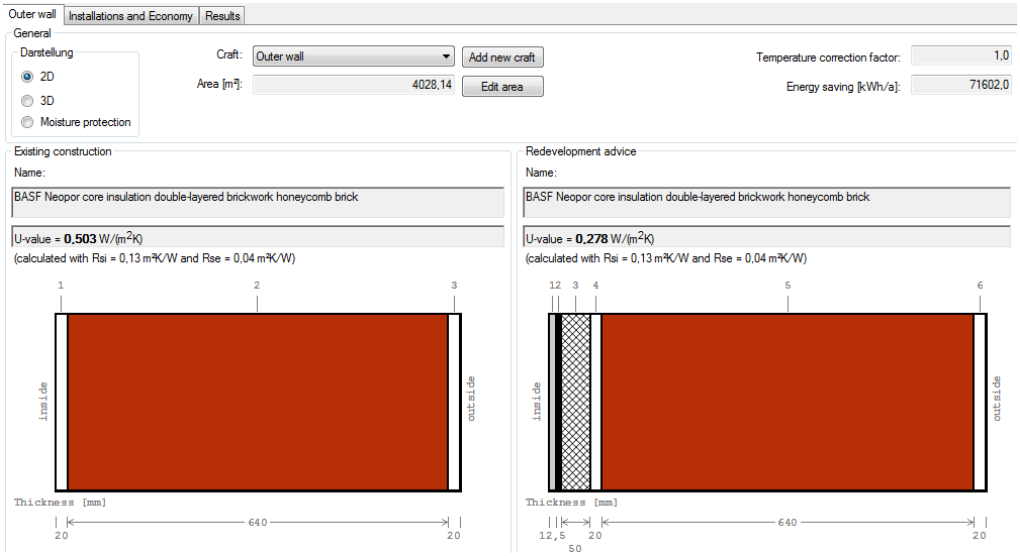
3.5 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas Neoporo apšiltinimo medžiaga

Atlikus išorinės sienos koregavimą gaunamas šilumos perdavimo koeficientas 0,278 W/m^{2}K, o nekoreguotos sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,84 W/m^{2}K.



3.6 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas

Pagal pateiktą grafiką matome, kad koreguotos sienos grafike nėra linijų žyminčių drėgmės susidarymą. Sienos sluoksnis yra visiškai apsaugotas nuo drėgmės susidarymo sienos viduje.

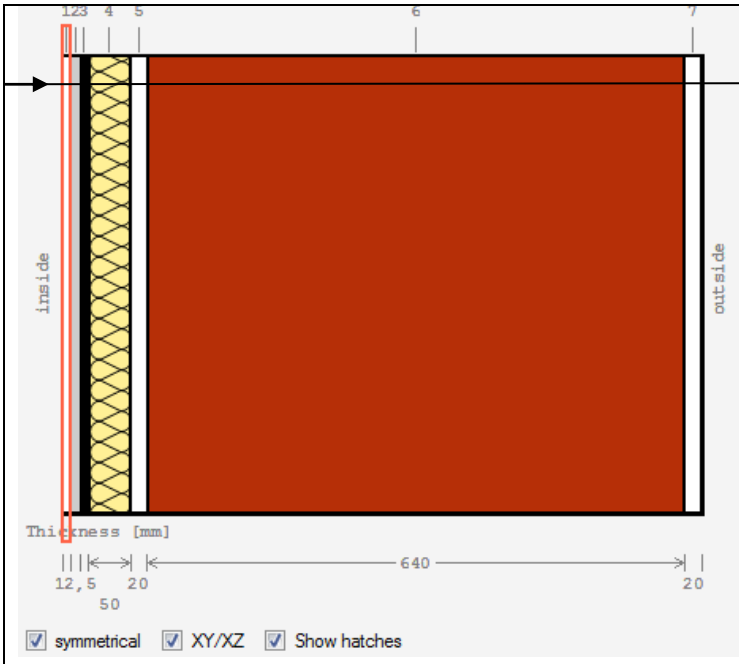


3.7 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas

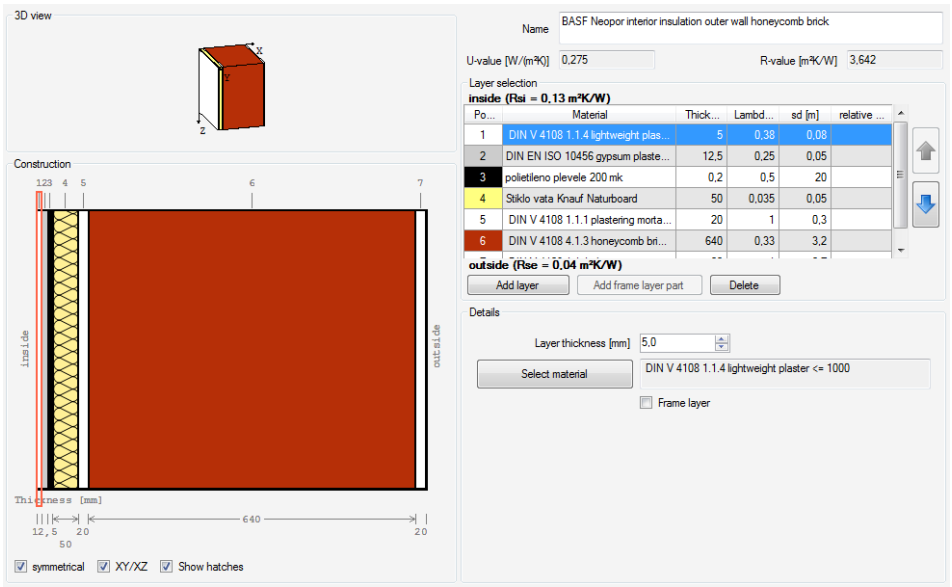
Sienos šilumos perdavimo koeficientas pagerėjo 3,03 karto lyginant su techniniame projekte pateiktu šiluminio laidumo koeficientu.

Koreguojame sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės dedame stiklo vatą Knauf ant esamo autentiško tinko, taip nepažeidžiant kultūros paveldo sluoksnio. Vidaus apdaila, suformuojama ant gipso kartono plokščių, pateikiama 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus stiklo vata Knauf 50 mm

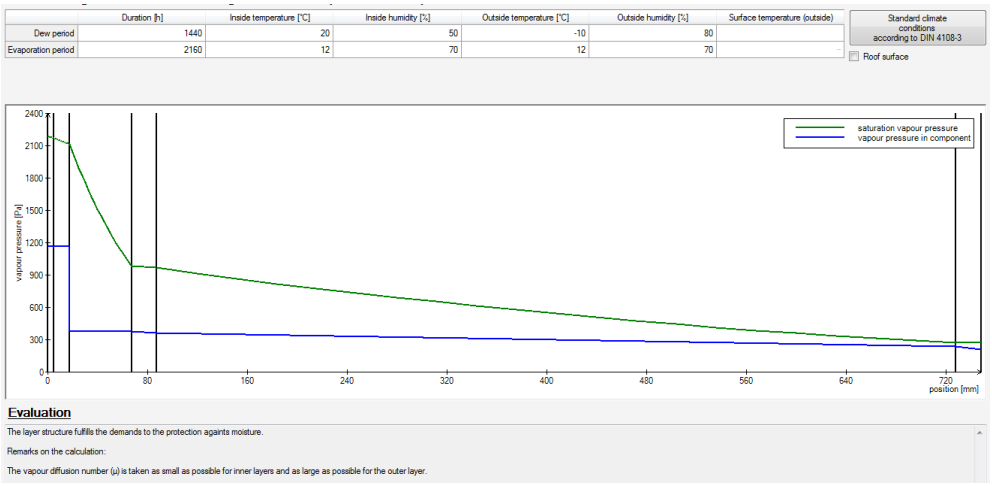


- Glaistas 5 mm
- Gipso kartono plokštė 12,5 mm
- Garo izoliacija (polietileno plėvelė 200mk)
- Stiklo vata Knauf 50 mm
- Kalkinis tinkas ~20 mm
- Pilnavidurės molio plytos 640 mm
- Kalkinis tinkas ~20 mm



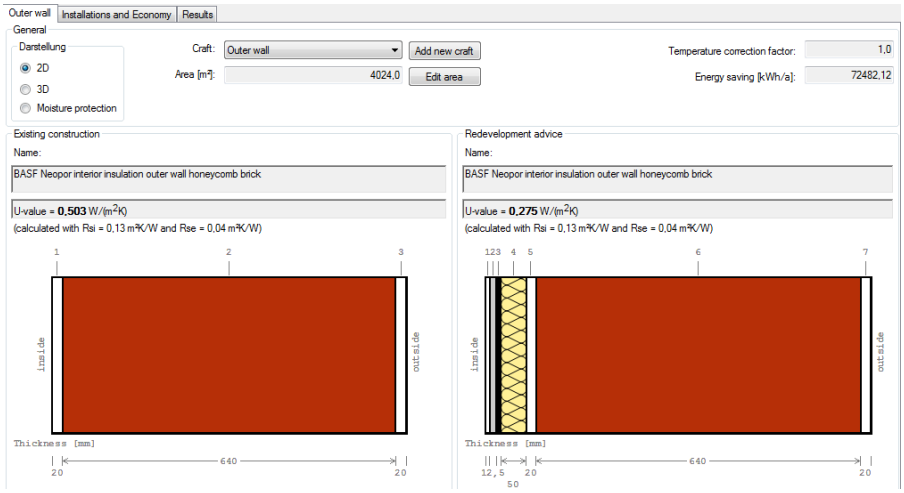
3.8 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas stiklo vata Knauf

Atlikus išorinės sienos koregavimą gaunamas sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,275 W/m^{2}K, o nekoreguotos sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,84 W/m^{2}K.



3.9 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas

Pagal pateiktą grafiką matome, kad koreguotos sienos grafike nėra linijų žyminčių drėgmės susidarymą. Sienos sluoksnis yra visiškai apsaugotas nuo drėgmės susidarymo sienos viduje.



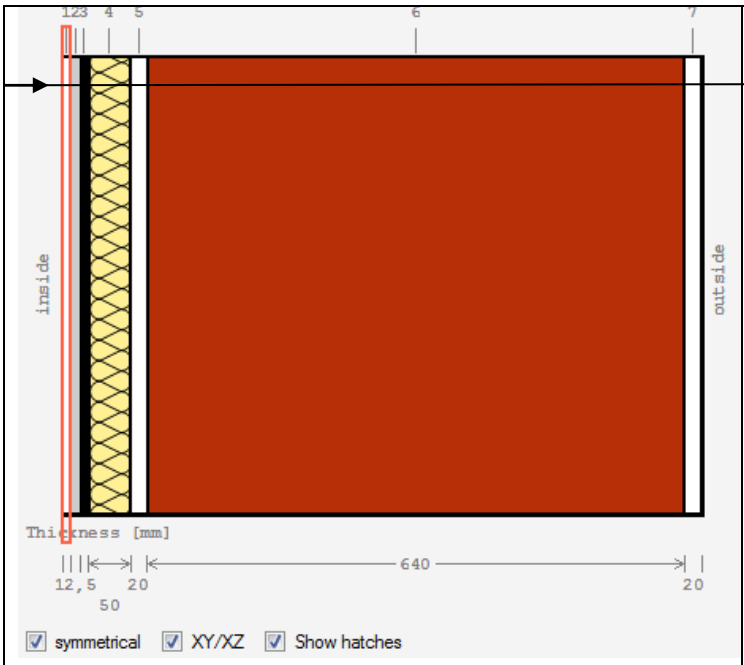
3.10 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas

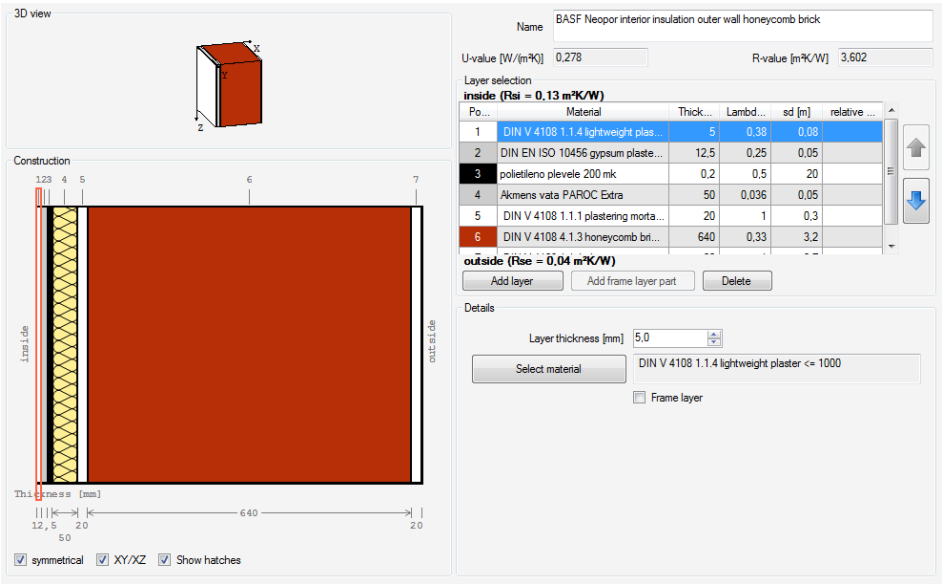
Sienos šilumos perdavimo koeficientas pagerėjo 3,06 karto lyginant programos skaičiavimus su techniniame projekte pateiktu šiluminio laidumo koeficientu.

Koreguojame sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės dedant stiklo vatos Knauf 100 mm šilumos laidumo koeficientas 0,197 W/m^{2}K. Sienos konstrukcija apsaugota nuo įmirkimo ir kondensato.

Koreguojame sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės dedame akmens vatą PAROC ant esamo autentiško tinko, taip nepažeidžiant kultūros paveldo sluoksnio. Vidaus apdaila, suformuojama ant gipso kartono plokščių, pateikiama 3.5 lentelėje.

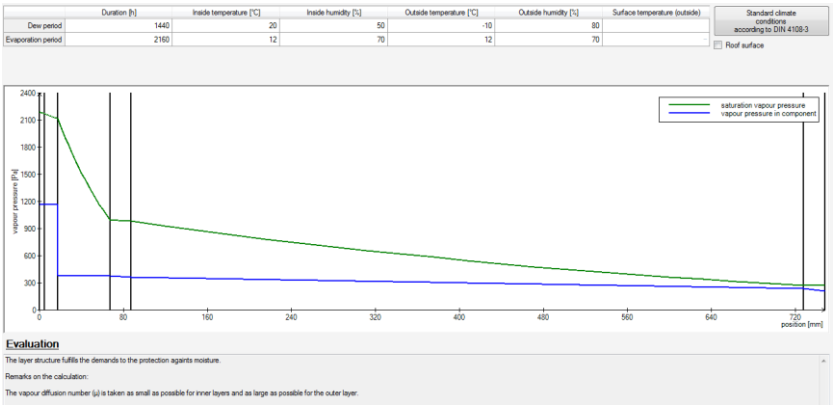
3.5 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus akmens vata PAROC 50 mm

	• Glaistas 5 mm • Gipso kartono plokštė 12,5 mm • Garo izoliacija (polietileno plėvelė 200mk) • Akmens vata PAROC 50 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm • Pilnavidurės molio plytos 640 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm



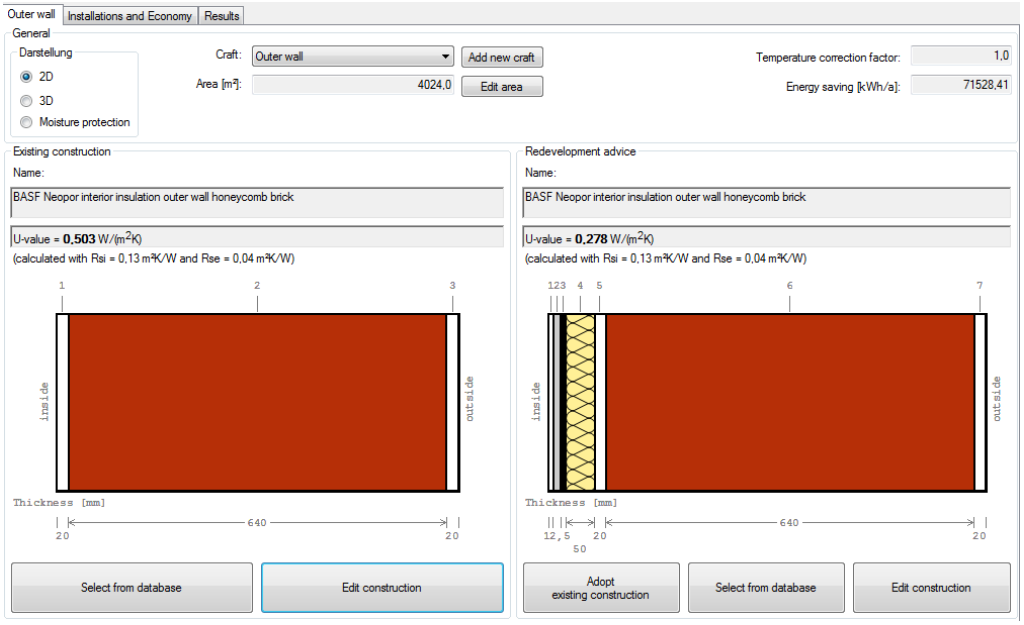
3.11 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas akmens vata PAROC Extra

Atlikus išorinės sienos koregavimą gaunamas sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,278 W/m^{2}K, o nekoreguotos sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,84 W/m^{2}K.



3.12 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas

Pagal pateiktą grafiką matome, kad koreguotos sienos grafike nėra linijų žyminčių drėgmės susidarymą. Sienos sluoksnis yra visiškai apsaugotas nuo drėgmės susidarymo sienos viduje.

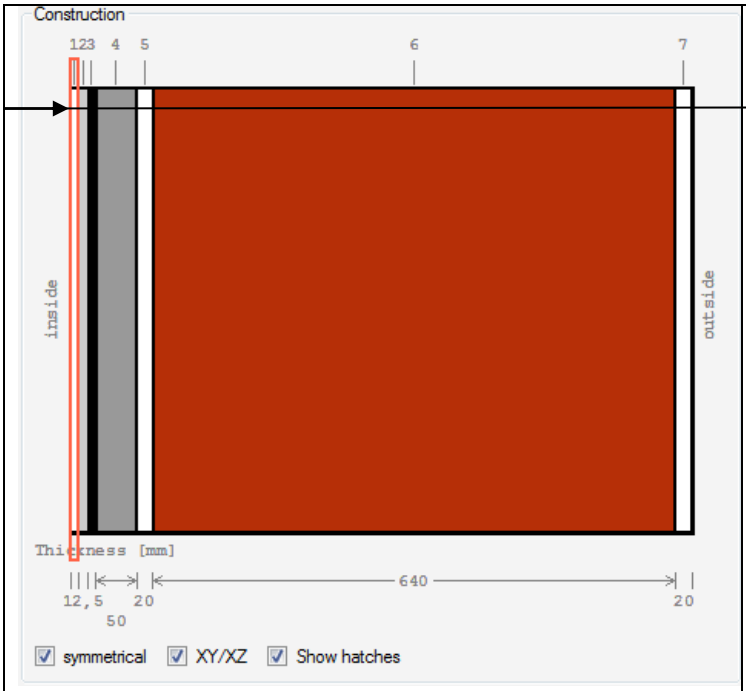


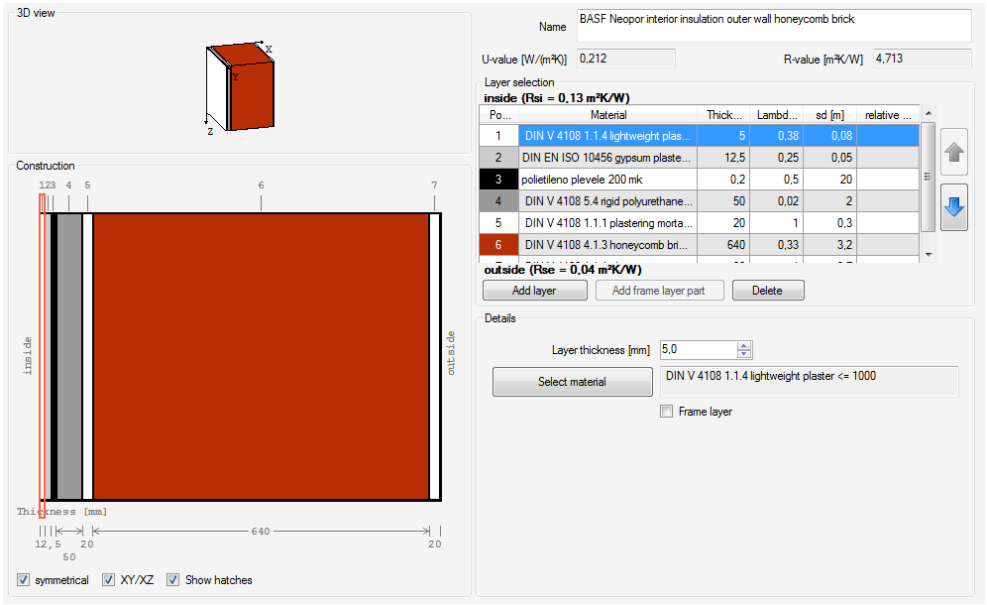
3. 13 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas

Sienos šilumos perdavimo koeficientas pagerėjo 3,02 karto lyginant programos skaičiavimus su techniniame projekte pateiktu šiluminio laidumo koeficientu.

Koreguojame sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės purškiame poliuretano putas ant esamo autentiško tinko, taip nepažeidžiant kultūros paveldo sluoksnio. Vidaus apdaila, suformuojama ant gipso kartono plokščių, pateikiama 3.6 lentelėje.

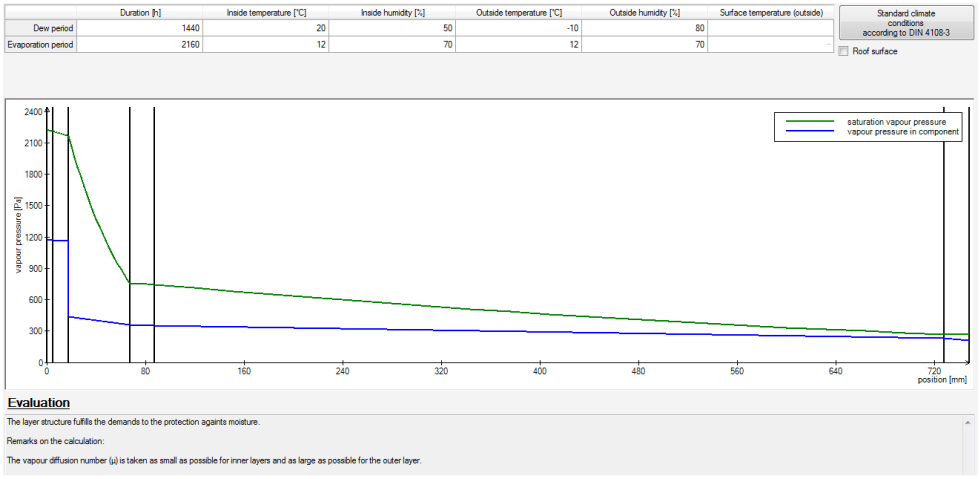
3.6 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus purškiant poliuretano putas 50 mm

	• Glaistas 5 mm • Gipso kartono plokštė 12,5 mm • Garo izoliacija (polietileno plėvelė 200mk) • Poliuretano putos 50 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm • Pilnavidurės molio plytos 640 mm • Kalkinis tinkas ~20 mm



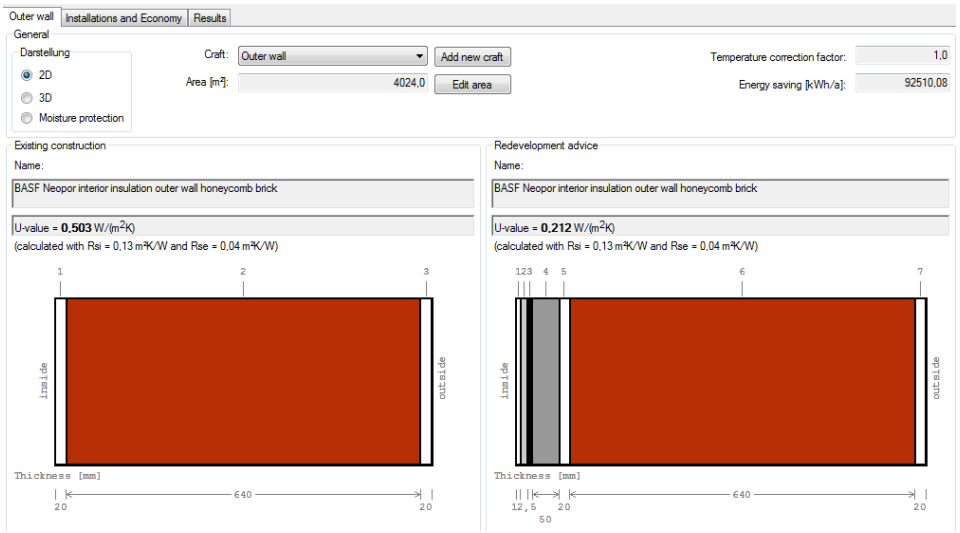
3. 14 pav. 2D/2p pastato išorinių sienų šiltinimas Poliuretano putomis

Atlikus išorinės sienos koregavimą gaunamas sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,212 W/m^{2}K, o nekoreguotos sienos šilumos perdavimo koeficientas 0,84 W/m^{2}K.



3.15 pav. 2D/2p pastato modifikuotos sienos įmirkimo grafikas

Pagal pateiktą grafiką matome, kad koreguotos sienos grafike nėra linijų žyminčių drėgmės susidarymą. Sienos sluoksnis yra visiškai apsaugotas nuo drėgmės susidarymo sienos viduje.



3.16 pav. 2D/2p pastato sienų palyginimas

Sienos šilumos perdavimo koeficientas pagerėjo 3,96 karto lyginant programos skaičiavimus su techniniame projekte pateiktu šiluminio laidumo koeficientu.

Modeliuojami apšiltinimo sluoksniais su skirtingomis termoizoliacinėmis medžiagomis pastebėjome, kad techninio projekto sprendinys nešiltinant pastato sienų yra negeras sprendinys. Neapšiltinus pastato sienų ne tik, kad prarandamas didelis kiekis šilumos energijos, bet ir pačioje sienos konstrukcijoje susidaro kondensatas 596-660 mm, 144 g/m^2 ir fiksuojamas drėgmės garavimo kiekis 1057 g/m^2. Neatliekant jokiu papildomų darbų šie procesai laikui bėgant darys neigiamą poveikį sienos konstrukcijai. Modeliuojant sienas su skirtingomis apšiltinimo medžiagomis (Styrodur, Neopor, stiklo vata, akmens vata, poliuretano putomis), buvo išvengta

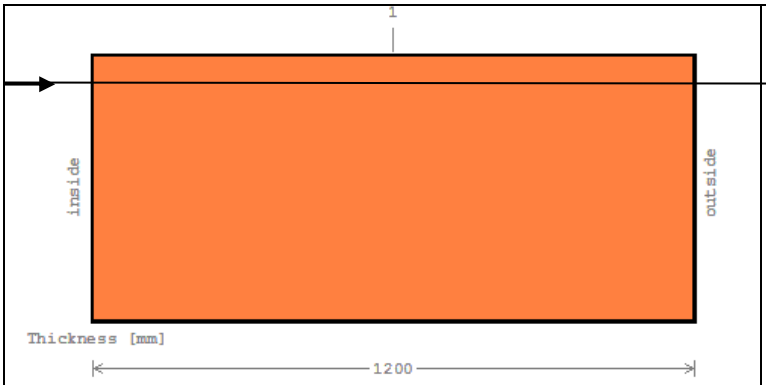
drėgmės ir kondensato susidarymo. Sienos konstrukcijos šilumos laidumo koeficientas pagerėjo nuo 3,02 iki 3,96 karto lyginat su techninio projekto sprendiniais.

3.1.2. Rūsio sienos modeliavimas

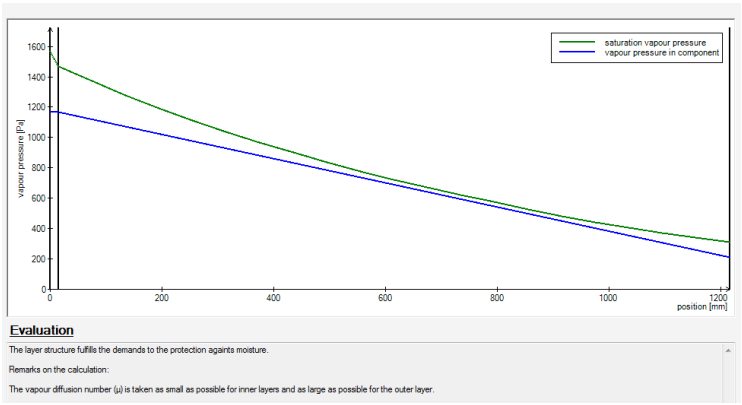
Naudojant Construction Assistent – energy saving programą suvedamos išorinės rūsio pastato sienos medžiagos. Sumodeliuojami atitvoros sluoksnių storiai ir apdailino sluoksnio medžiagos taip, kad sienos konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientas būtų mažesnis už pradinį.

Pastato išorinės rūsio sienos detalė pateikta 3.6 lentelėje.

3.7 lentelė. Esamo pastato rūsio siena

	• Lauko akmenų (granito) mūras ~1200 mm.

Suvedus pastato rūsio sienos medžiagas ir matmenis gauname, kad sienos šilumos perdavimo koeficientas yra 1,671 W/m^{2}K.

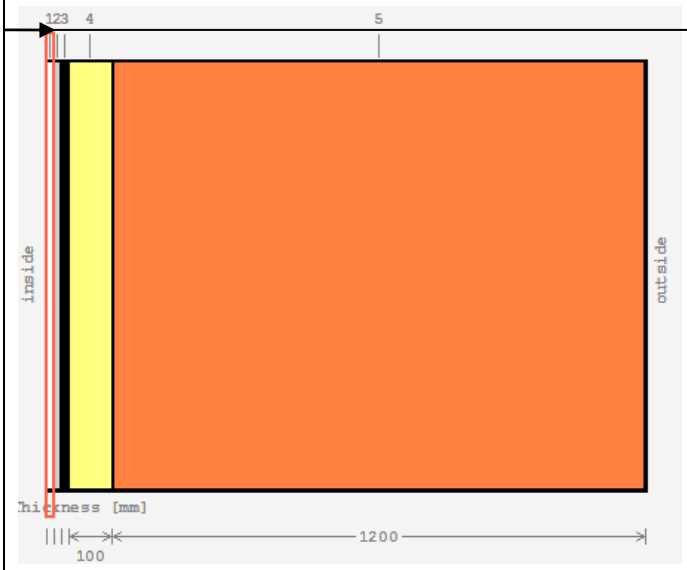


3.17 pav. 2D/2p pastato rūsio sienos įmirkimo grafikas

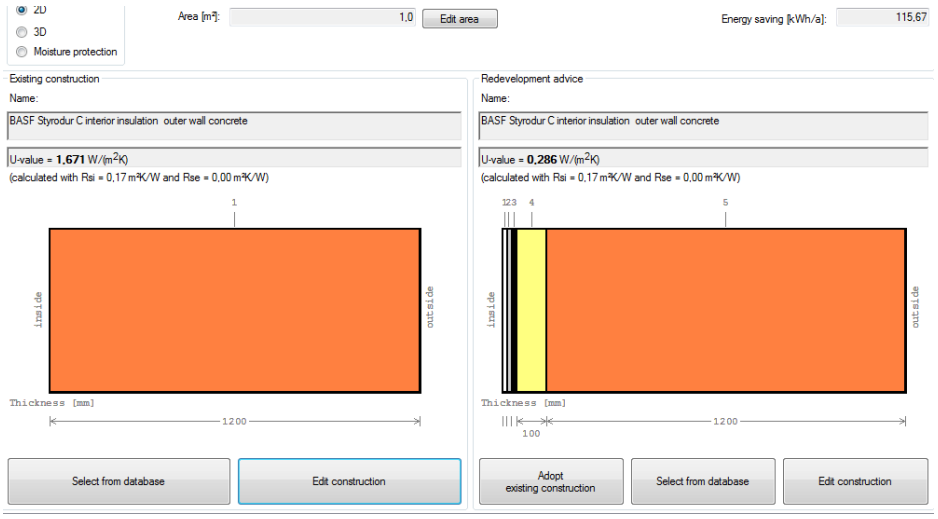
Pagal esamus duomenis drėgmės kondensato susidarymas nenustatytas. Siena yra visiškai apsaugota nuo drėgmės susidarymo, nors šilumos laidumo koeficientas yra didelis lyginant su šiuolaikiniais standartais.

Koreguojame rūsio sienos sluoksnius. Papildomai iš vidinės sienos pusės dedame mineralinę vatą ant esamo autentiško tinko, taip nepažeidžiant kultūros paveldo sluoksnio. Vidaus apdaila suformuojama ant gipso kartono plokščių, pateikiami 3.7 lentelėje.

3.8 lentelė. Išorinių sienų šiltinimas iš vidaus mineraline vata

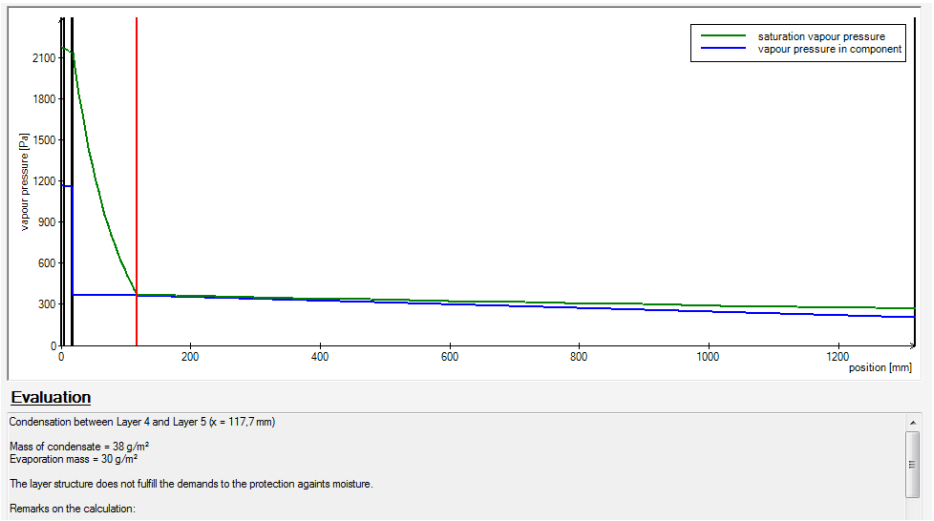
	• Glaistas 5 mm • Gipso kartono plokštė 12,5 mm • Garo izoliacija 0,2 mm • Mineralinė vata 100 mm • Lauko akmenų (granito) mūras ~1200 mm

Atlikus koregavimą, apšildžius rūsio sieną iš vidaus mineraline vata 100 mm storiu šilumos laidumo koeficientas gaunamas 0,286 W/m^{2}K ir lyginant su esama situacija sienos šilumos laidumo koeficientas pagerėja 5,84 karto (žr. 3.18 pav.).



3.18 pav. 2D/2p pastato rūsio esama ir koreguota siena

Atliekama sienos įmirkimo analizė.



3.19 pav. 2D/2p pastato rūsio sienos įmirkimo grafikas

Atlikus sienos koregavimą, nors ir žymiai pagerėja sienos šilumos laidumo koeficientas, tačiau dedant 50 mm ar 100 mm sienos įmirkimo nepavyksta išvengti. Pagal esamos sienos situacija programą pateikia drėgmės kondensato susidarymo grafiką sienoje (žr. 3.19 pav.). Pagal ši grafiką matome, kad:

- kondensatas susidaro 117,7 mm sienos sluoksnyje;
- kondensato kiekio susidarymas 38 g/m^2;
- drėgmės garavimo kiekis 30 g/m^2.

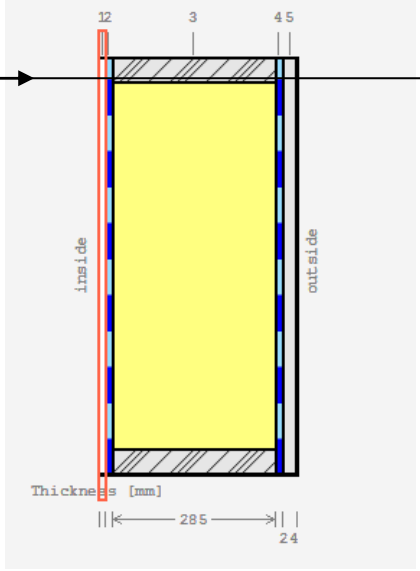
Rūsio sienos apšiltinimas iš vidinės pusės negalimas dėl įmirkimo, todėl liekama prie techninio projekto sprendinių.

3.1.3. Stogo konstrukcijos modeliavimas

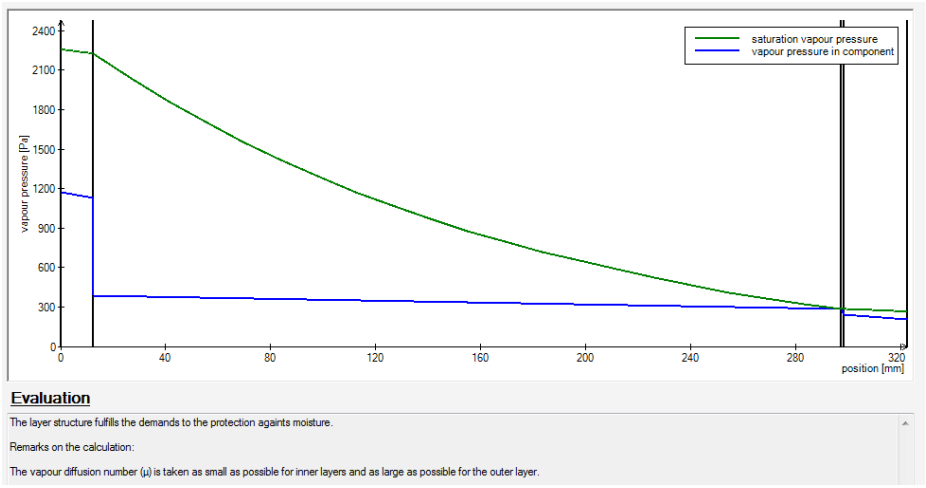
Naudojant Construction Assistent – energy saving programą suvedamos pastato stogo konstrukcijos medžiagos. Modeliuojami konstrukcijų sluoksnių storiai ir apdailino sluoksnio medžiagos taip, kad sienos konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientas būtų mažesnis už techninio projekto sprendinius 0,178 W/m²·K.

Pastato stogo detalė pateikta 3.8 lentelėje.

3.9 lentelė. 2D/2p pastato stogo konstrukcija techninis projektas

	• Glaistas 5 mm • Gipso kartono plokštė 12,5 mm • Garo izoliacija 0,2 mm • Mineralinė vata 285 mm • Vandens izoliacija 0,2 mm • Oro tarpas ~24 mm

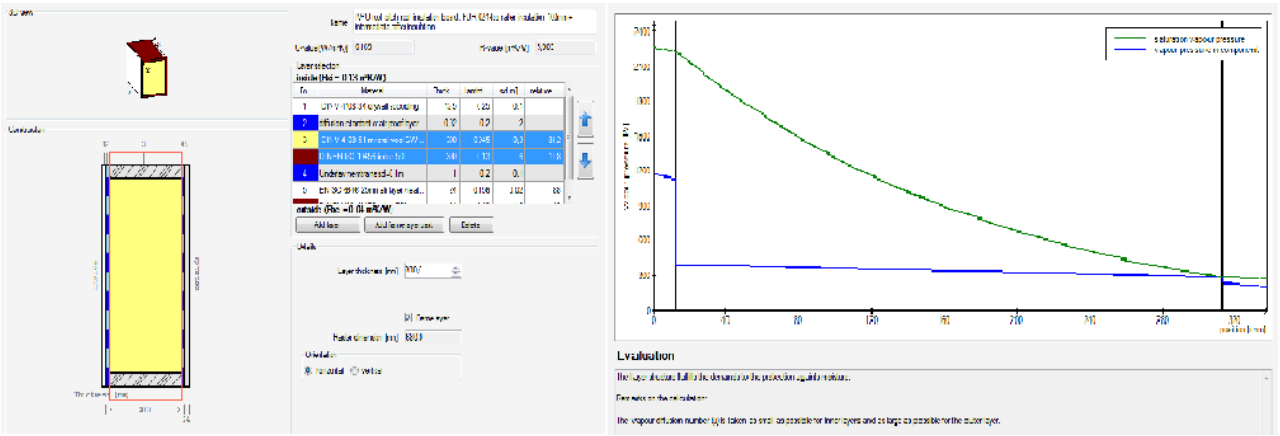
Suvedus pastato stogo konstrukcijos medžiagas ir matmenis gauname, kad šilumos perdavimo koeficientas yra 0,178 W/m^{2}K.



3.20 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcijos įmirkimo grafikas

Pagal esamo stogo situaciją programa pateikia drėgmės kondensato susidarymo grafiką. Pagal ši grafiką matome, kad stogo konstrukcija yra pilnai apsaugota nuo įmirkimo ir drėgmės kondensato susidarymo.

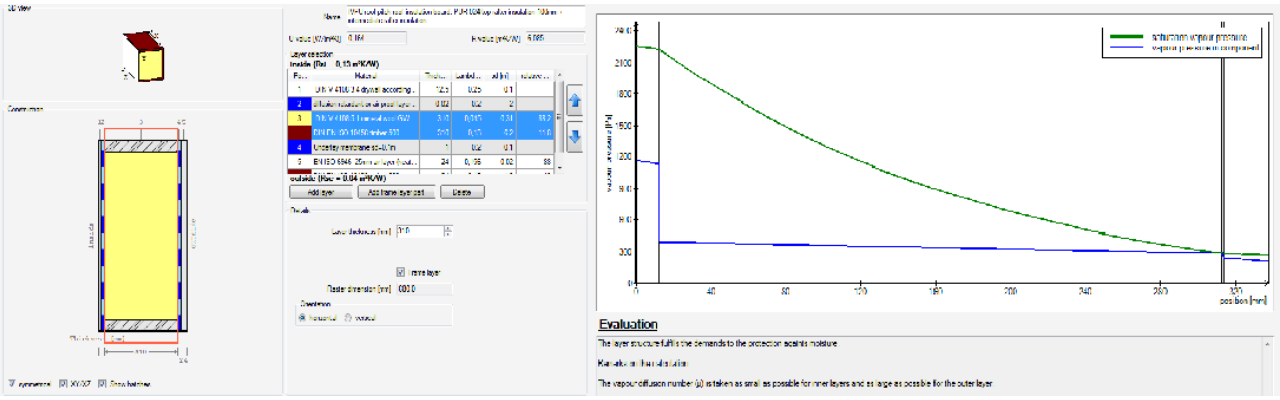
Koreguojame stogo konstrukcijos sluoksnius. Dedame 300 mm mineralinės vatos. Vidaus apdaila suformuojama ant gipso kartono plokščių (žr. 3.21 pav.).



3.21 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcija su 300 mm mineralinės vatos sluoksniu ir įmirkimo grafiku

Atlikus stogo konstrukcijos korekcijas gautas šilumos laidumo koeficientas 0,169 W/m^{2}K ir įmirkimo grafikas rodo, kad konstrukcija yra apsaugota nuo įmirkimo ir kondensato susidarymo.

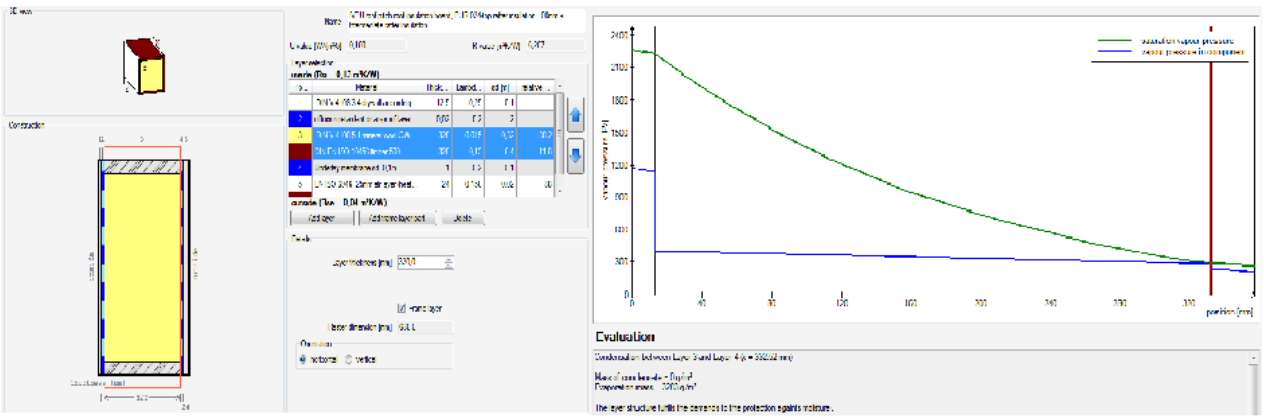
Koreguojame stogo konstrukcijos sluoksnius. Dedame 310 mm mineralinės vatos. Vidaus apdaila suformuojama ant gipso kartono plokščių (žiūrėti pav. 3.22).



3.22 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcija su 310 mm mineralinės vatos sluoksniu ir įmirkimo grafiku

Atlikus stogo konstrukcijos korekcijas gautas šilumos laidumo koeficientas 0,166 W/(m2K) ir įmirkimo grafikas rodo, kad konstrukcija yra apsaugota nuo įmirkimo ir kondensato susidarymo.

Koreguojame stogo konstrukcijos sluoksnius. Dedame 320 mm mineralinės vatos. Vidaus apdaila suformuojama ant gipso karto plokščių (žr. 3.23 pav.).



3.23 pav. 2D/2p pastato stogo konstrukcija su 320 mm mineralinės vatos sluoksniu ir įmirkimo grafiku

Atlikus stogo konstrukcijos korekcijas gautas šilumos laidumo koeficientas 0,160 W/m^{2}K. Įmirkimo grafikas rodo, kad konstrukcija yra neapsaugota nuo įmirkimo ir kondensato susidarymo. Pagal ši grafiką matome, kad:

- kondensatas susidaro 332,52 mm konstrukcijos sluoksnyje;
- kondensato kiekio susidarymas 0 g/m^2;
- drėgmės garavimo kiekis 3283 g/m^2.

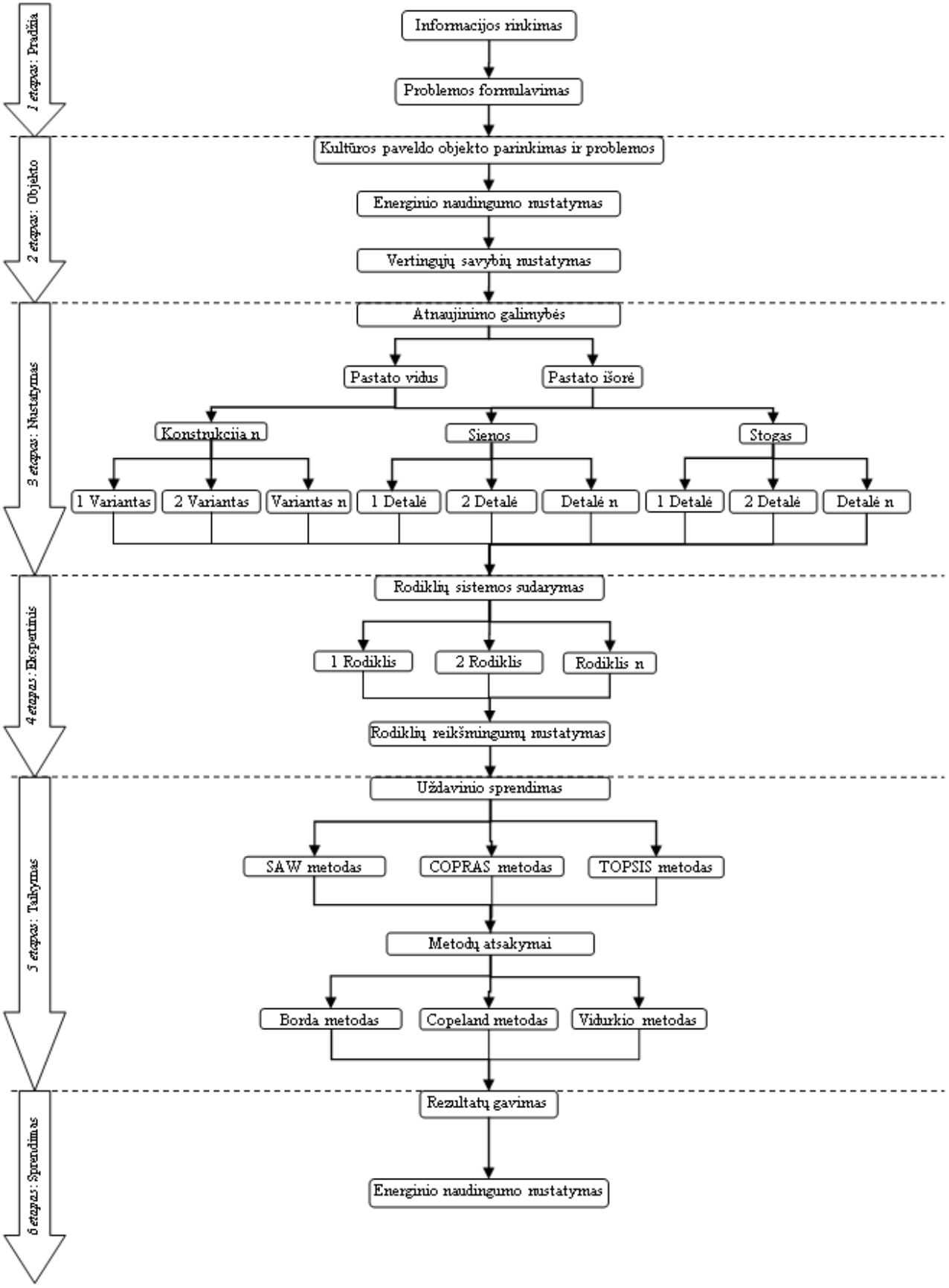
Stogo konstrukcija su 320 mm storio mineralinės vatos apšiltinimu neužtikrina konstrukcijos apsaugos nuo įmirkimo ir kondensato, todėl analizuojamos stogo konstrukcijos su 285, 300, 310 mm mineralinės vatos sluoksniais.

3.2. Eksperimentiniai tiriamieji skaičiavimai

3.2.1. Sprendimo modelio sudarymas

Kad būtų racionaliai suformuluotas ir išspręstas namo modernizacijos naudos klausimas, priimti geriausi sprendimai, turi būti taikomi tam tikri metodai ir sudaromas pagrindinis sprendimo modelis (žr. 3.24 pav.).

Modelis sudarytas iš šešių etapų. Pirmajame etape renkama informacija apie kultūros paveldo pastatus, formuluojamos problemos. Antrajame etape nagrinėjamos pasirinkto kultūros paveldo objekto problemos, vertingosios savybės ir pastato energinis naudingumo nustatymas. Trečiajame etape nagrinėjamos pastato atnaujinimo (modernizavimo) galimybės. Ketvirtajame etape sudaroma rodiklių sistema, atliekami rodiklių reikšmingumų skaičiavimai. Penktajame etape sprendžiamas uždavinys, pagal pasirinktus daugiatikslius metodus. Šeštajame etape gaunami rezultatai, pastato energinio naudingumo nustatymas ir priimamas sprendimas.



3.24 pav. Sprendimo modelis

D, C, B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatams priskiriamos tais atvejais, jei šie pastatai tenkina visus 3.9 lentelėje išvardintus reikalavimus.

3.10 lentelė. Reikalavimai D, C, B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatams (STR 2.01.09:2012)

Pastatų energinio naudingumo klasė	Reikalavimai atitinkamos energinio naudingumo klasės pastatams
D klasės pastatai	1. Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio C1 vertė turi tenkinti šio Reglamento priedo 83 punkto reikalavimus
	2. Pastato atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai, apskaičiuoti pagal formulę, turi būti ne didesni už atskaitinių pastatų atitvarų savituosius šilumos nuostolius, apskaičiuotus pagal formulę: Henv ≤ Henv.R
C ir B klasės pastatai	1. Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C1 ir C2 vertės turi tenkinti šio Reglamento priedo 83 punkto reikalavimus
	2. Pastato atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai, apskaičiuoti pagal formulę, turi būti ne didesni už norminius savituosius šilumos nuostolius, apskaičiuotus pagal formulę: Henv ≤ Henv.N
A klasės pastatai	1. Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C1 ir C2 vertės turi tenkinti šio Reglamento priedo 83 punkto reikalavimus
	2. Pastato atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai, apskaičiuoti pagal formulę, turi būti ne didesni už norminius savituosius šilumos nuostolius, apskaičiuotus pagal formulę: Henv ≤ Henv.(A)
	3. Pastato sandarumas turi atitikti priedo XXVII skyriaus reikalavimus
	4. Jei pastate įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,65, o rekuperatoriaus ventiliatoriaus naudojamas elektros energijos kiekis turi būti ne didesnis už 0,75 Wh/m³
A+ klasės pastatai	1. Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C1 ir C2 vertės turi tenkinti šio Reglamento priedo 83 punkto reikalavimus
	2. Pastato atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai, apskaičiuoti pagal formulę, turi būti ne didesni už norminius savituosius šilumos nuostolius, apskaičiuotus pagal formulę: Henv ≤ Henv.(A+)

	3.9 lentelės pabaiga
	3. Pastato sandarumas turi atitikti priedo XXVII skyriaus reikalavimus
	4. Jei pastate įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,80, o rekuperatoriaus ventiliatoriaus naudojamas elektros energijos kiekis turi būti ne didesnis už 0,55 Wh/m³
A++ klasės pastatai	1. Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C1 ir C2 vertės turi tenkinti šio Reglamento priedo 83 punkto reikalavimus
	2. Pastato atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai, apskaičiuoti pagal formulę, turi būti ne didesni už norminius savituosius šilumos nuostolius, apskaičiuotus pagal formulę: Henv ≤ Henv.(A++)
	3. Pastato sandarumas turi atitikti priedo XXVII skyriaus reikalavimus
	4. Jei pastate įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,90, o rekuperatoriaus ventiliatoriaus naudojamas elektros energijos kiekis turi būti ne didesnis už 0,45 Wh/m³
	5. Pastate sunaudota energijos dalis iš atsinaujinančių išteklių turi tenkinti 90 punkto reikalavimus

Atitinkamos energinio naudingumo klasės pastatų energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C1 ir C2 vertės turi tenkinti šiuos reikalavimus:

- A++ klasės: C1 < 0,25 ir C2 ≤ 0,70;
- A+ klasės: 0,25 ≤ C1 < 0,375 ir C2 ≤ 0,80;
- A klasės: 0,375 ≤ C1 < 0,5 ir ir C2 ≤ 0,85;
- B klasės: 0,5 ≤ C1 < 1 ir C2 ≤ 0,99;
- C klasės: 1 ≤ C1< 1,5 ir C2 ≤ 0,99;
- D klasės: 1,5 ≤ C1< 2;
- E klasės: 2 ≤ C1< 2,5;
- F klasės: 2,5 ≤ C1< 3;
- G klasės: C1≥ 3 (STR 2.01.09:2012).

3.2.2. Pasirinktų alternatyvų aprašymas

Prieš pradedant spręsti namo modernizacijos uždavinį, pirmiausiai parenkama tinkamiausia modernizavimo alternatyva. Todėl nagrinėjamos tokios pastato dalys: cokolinė dalis, išorinės

sienos, stogas. Keliami aukštesni konstrukcijos šilumos laidumo U reikalavimai už techninio projekto reikalavimus:

- **sienoms** *> U = 0,84 W/(m²K);*
- **stogui** *> U = 0,178 W/(m²K);*
- **cokoliui** *> U = 1,671 W/(m²K);*
- **langams** *> U = 1,78 W/(m²K).*

Šiame darbe nagrinėjamos penkios termoizoliacinės medžiagos ir trys sienų bei trys stogo modernizavimo alternatyvos.

3.2.3. Rodiklių parinkimas

3.2.3.1. Parinktų termoizoliacinių medžiagų rodikliai

Nagrinėjant termoizoliacines medžiagas parenkami tokie rodikliai:

- kaina m^3/ euro;
- įrengimo kaina m^2/euro;
- vandens įgeriamumas %;
- šilumos perdavimo koeficientas U, W/m^2K;
- ugnies atsparumas.

Kainos rodiklis – tai kiekybinis rodiklis nustatomas, pagal rinkos kainą. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

Įrengimo kaina – tai kiekybinis rodiklis nustatomas, kaip ir kainos rodiklis, remiantis rinkos kaina. Šio rodiklio reikšmė parenkama remiantis SISTELA sąmatų sudarymo programa. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

Vandens įgeriamumas – tai kiekybinis rodiklis, kuris nustatomas, pagal atskiros medžiagos gamintojų pateiktus duomenis. Apšiltinimas vykdomas iš vidinės sienos pusės, todėl kuo mažesnis medžiagos vandens įgeriamumas tuo geriau. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

Šilumos perdavimo koeficientas – tai kiekybinis rodiklis, kuris nustatomas, pagal atskiros medžiagos gamintojų pateiktus duomenis. Rodiklis yra aktualus tuo, kad vykdant sienos apšiltinimą iš vidinės sienos pusės svarbu kuo plonesniu apšiltinimo sluoksniu pasiekti kuo aukštesnį sienos šilumos laidumo koeficientą ir taip sutaupant vidaus erdvę. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

Ugnies atsparumas – tai kokybinis rodiklis. Nagrinėjama sudarytų sienos, stogo detalių apšiltinimo medžiagos atsparumas ugniai. Svarbus tuo, kad įvykus nelaimei galima turėti didesnius ar mažesnius nuostolius. Rodiklis skaičiuojamas įvertinant balais: 10 balas – medžiaga atitinka E, F

, 20 balai – medžiaga atitinka B, C, D, 30 balai – medžiaga atitinka A1, A2. Šis rodiklis maksimizuojantis.

3.11 lentelė. Rodiklio vertinimas balais

Ugnies atsparumas	**E, F**	**B, C, D**	**A1, A2**
Balai	10	20	30

3.2.3.2. Parinktų konstrukcijų rodikliai

Nagrinėjant termoizoliacines medžiagas parenkami tokie rodikliai:

- metinis sutaupymas kWh/m^2/m.;
- įrengimo kaina m^2/euro;
- atsiperkamumas;
- šilumos perdavimo koeficientas U, W/m^2K.

Metinio sutaupymo rodiklis – tai kiekybinis rodiklis, nustatomas palyginant techninio projekto konstrukcinės detalės šilumos laidumo koeficientą su patobulintos detalės šilumos laidumo koeficientu. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

Įrengimo kaina – tai kiekybinis rodiklis nustatomas, kaip ir kainos rodiklis, remiantis rinkos kaina. Šio rodiklio reikšmė parenkama remiantis SISTELA sąmatų sudarymo programa. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

Atsiperkamumas – tai kiekybinis rodiklis. Pateikiamos energijos taupymo ir modernizacijos priemonės, galimų energijos sutaupymų bei reikalingų investicijų įvertinimas. Siekiant įvertinti energijos taupymo priemonių ekonominį efektyvumą skaičiuojamas paprastas atsipirkimo laikas bei sutaupytos energijos kaina.

Planuojamų investicijų energijos taupymo priemonėms įdiegti paprastasis atsipirkimo laikas (***PAL***) nustatomas pagal šią formulę:

$$PAL \cdot I / S, \qquad (3.1)$$

PAL – metai;

I – planuojamos investicijos energijos taupymo priemonėms įdiegti, Lt;

S – planuojami metiniai sutaupymai įdiegus numatytas energijos taupymo priemones, Lt/metus.

Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patrauklesnė investuotojui. Rodiklis

minimizuojamas.

Šilumos perdavimo koeficientas – tai kiekybinis rodiklis, nustatomas pagal atskirą konstrukcinę detalę. Rodiklis yra aktualus tuo, kad vykdant sienos apšiltinimą iš vidinės sienos pusės svarbu kuo plonesniu apšiltinimo sluoksniu pasiekti kuo aukštesnį sienos šilumos laidumo koeficientą ir taip sutaupyti vidaus erdvę. Kuo šio rodiklio reikšmė mažesnė, tuo patraukliau investuotojui. Rodiklis minimizuojamas.

3.2.4. Rodiklių reikšmingumų nustatymas porinio lyginimo metodu

Investicijų efektyvumo rodiklių santykiniai reikšmingumai nustatomi ekspertinių įverčių metodu, tai specifinės rūšies apklausa, kurios metu savo srities žinovai, ekspertai, pasiremdami profesine patirtimi ir žiniomis vertina alternatyvų rodiklius. Ekspertų nuomonės ir požiūris į vertinamus kriterijus gali skirtis, ar būti prieštaringi. Šio metodo grupinis vertinimas laikomas patikimu tik tuomet, kai apklaustų ekspertų nuomonės yra suderintos, t.y. konkordancijos reikšmė yra arti vieneto. Konkordancijos koeficientas nustatomas rangavimo pagrindu. Rangavimo etapo metu svarbiausiam rodikliui suteikiamas rangas, lygus vienetui, antrajam pagal svarbumą - du ir t.t. Ekspertų nuomonės bus absoliučiai suderintos, kuomet visų ekspertų vertinimai yra vienodi, ir atvirkščiai, ekspertų nuomonės bus nesuderintos, kai vertinimai yra absoliučiai prieštaringi.

Pagal kiekvieną anketą nustatomi kriterijų rangai. Gaunami tik reikšmių rinkiniai, pateikiami 3.11 lentelėje.

3.12 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai

Ekspertas	Efektyvumo rodiklis			
E_1	t_{11}	t_{21}	...	t_{n1}
E_2	t_{12}	t_{22}	...	t_{n2}
...	...	...	...	...
E_k	t_{1r}	t_{2r}	...	t_{nr}
Rangų suma	$\sum_{i=1}^{k} t_{1k}$	$\sum_{i=1}^{k} t_{2k}$	…	$\sum_{i=1}^{k} t_{nk}$
Vidutinis rangas	$\overline{t_1}$	$\overline{t_2}$	⋯	$\overline{t_n}$

3.13 lentelė. Ekspertų apklausos apie termoizoliacines medžiagas rezultatai

Ekspertai r=19	Rodikliai n-5				
	Apšiltinimo medžiagos kana	Įrengimo kaina	Vandens įgeriamumo	Šiluminė varža	Ugnies atsparumas
1	3	4	1	5	2
2	2	4	1	5	3
3	3	5	2	4	1
4	3	4	1	5	2
5	4	5	2	3	1
6	4	3	2	5	1
7	3	4	1	5	2
8	3	4	2	5	1
9	3	4	2	5	1
10	5	1	2	4	3
11	3	4	1	5	2
12	2	4	1	5	3
13	3	4	1	4	2
14	4	3	1	5	2
15	5	4	2	3	1
16	5	3	1	4	2
17	5	4	2	5	1
18	4	3	1	5	2
19	4	3	2	5	1

3.14 lentelė. Ekspertų apklausos apie apšiltinimo medžiagos sluoksnio konstrukcijoje rezultatai

Ekspertai **r=19**	**Metinis sutaupymas kWh/m^2/m.**	**Įrengimo kaina m^2/euro**	**Atsiperkamumas**	**Šilumos laidumo koeficientas W/m^{2}K**
1	2	4	1	3
2	4	3	1	2
3	2	3	1	4
4	3	2	1	4
5	1	4	2	3
6	1	3	2	4
7	2	4	1	3
8	3	4	1	2
9	1	3	2	4
10	2	3	1	4
11	1	4	2	3
12	1	3	2	4
13	2	3	1	4
14	1	3	2	4
15	1	2	3	4
16	2	3	1	4
17	1	4	2	3
18	2	4	1	3
19	1	2	3	4

Vidutinis rangas nustatomas pagal formulę:

$$\overline{t_j} = \left(\sum_{k=1}^{r} t_{jk} \right) : r \quad , \tag{3.2}$$

čia t_{jk} – k eksperto j-ojo rodiklio įvertinimas; r – ekspertų skaičius.

Ekspertų apklausos patikimumas gali būti išreikštas konkordacijos koeficientu, nusakančiu atskirų nuomonių panašumo laipsnį, kuris išreiškiamas tokia formule:

$$\overline{W} = \frac{12S}{r^2 \left(n^3 - n \right) - r \sum_{k=1}^{r} T_k}, \tag{3.3}$$

čia S – kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų suma:

$$S = \sum_{j=1}^{n} \left[\sum_{k=1}^{r} t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{r} t_{jk} \right]^2 , \tag{3.4}$$

$$T_k = \sum_{l=1}^{H_l} \left(h_l^3 - h_l \right), \tag{3.5}$$

čia $\boldsymbol{T_k}$ – susijusių rangų *k* rangavimo rodiklis; $\boldsymbol{H_l}$ – lygių rangų grupių skaičius ranguojant ***k*;** $\boldsymbol{h_l}$ **–** ***k*** eksperto nustatytų lygių rangų skaičius ***l***-ojoje grupėje; $\boldsymbol{t_{jk}}$ – ***k*** eksperto ***j***-ajam rodikliui priskiriamas rangas; ***r*** – ekspertų skaičius; ***n*** – efektyvumo rodiklių skaičius.

Jeigu susijusių rangų nėra, konkordancijos koeficientas randamas pagal formulę:

$$\overline{W} = \frac{12S}{r^2 (n^3 - n)}. \tag{3.6}$$

Konkordancijos koeficientas lygus 1, jeigu visos ekspertų rangavimo eilutės vienodos, ir lygus 0, jeigu visos jos skirtingos, t. y. visiškai nesutampa.

Koeficientas, randamas pagal (3.5) ir (3.6) formules, yra atsitiktinis dydis. Anot L.G. Evlanovo (Евланов 1982), konkordancijos koeficiento reikšmei nustatyti reikia žinoti ***r*** ekspertų skaičiaus ***n*** lyginamų objektų skirtingų reikšmių pasiskirstymo dažnį. Konkordancijos koeficiento reikšmė nustatoma pagal formulę:

$$\chi^2 = \frac{12S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{r} T_k}. \tag{3.7}$$

Jeigu pagal (3.7) formulę gauta χ^2 reikšmė didesnė negu norminė χ^2_{lent} reikšmė, priklausanti nuo laisvumo laipsnio ir reikšmingumo lygio, teigiama, kad ekspertų nuomonės suderintos. Priešingu atveju, kai $\chi^2 < \chi^2_{lent}$, teigiama, kad ekspertų nuomonės nesuderintos ir stipriai skiriasi.

Porinio lyginimo metodas taikomas lyginant didelį rodiklių skaičių, siekiant nustatyti rodiklių reikšmingumus. L. Ustinovičius ir K. Jakučionis (1998) šį metodą yra taikę statybos rangos pasiūlymų atrankos kriterijų reikšmingumams nustatyti, senamiesčio pastatų renovacijos variantų efektyvumo rodiklių reikšmingumams nustatyti (Ustinovičius, Jakučionis 2000).

Taigi naudojant porinio palyginimo matricas surinkta informacija buvo susisteminta ir, atlikus skaičiavimus, buvo gauti tokie rezultatai, kurie pateikti 3.14 ir 3.15 lentelėse:

3.15 lentelė. Ekspertų nuomonės vieningumo dėl tinkamiausios apšiltinimo medžiagos skaičiavimas

Ekspertai r=19	**Rodikliai n=5**				
	Apšiltinimo medžiagos kana	**Įrengimo kaina**	**Vandens įgeriamumas**	**Šilumos laidumo koeficientas**	**Ugnies atsparumas**
Įvertinimų suma $t_j = \sum_{k=1}^{r=5} t_{jk}$	68	70	28	87	33
Vidutinės kriterijų reikšmės	3,58	3,68	1,47	4,58	1,74
Kriterijų aranžiruotė	3	2	5	1	4
Kriterijų reikšmingumas	0,24	0,24	0,10	0,30	0,12
$\sum_{k=1}^{r=5} \left(t_{jk} - t_j\right)^2$	16,63	14,11	4,74	8,63	9,68
Ekspertinių įvertinimų dispersija	0,924	0,784	0,263	0,480	0,538
Variacija	0,2685	0,1204	0,3489	0,1513	0,4215
Rangų sumos vidurkis V	$V = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n=5} \sum_{k=1}^{r=19} t_{jk} = 57{,}2$				
Įvertinimo rezultatų nuokrypių kvadratų suma	$S = \sum_{j=1}^{n=5} \left(\sum_{k=1}^{r=19} t_{jk} - V \right)^2 = 2607$				
Konkordancijos koeficientas	$W = \frac{12S}{r^2\left(n^3 - n\right)} = 0{,}72$				
Konkordancijos koeficiento reikšmingumas	$x^2_{\alpha,v} = \frac{12S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{r} T_k} = \frac{12*2607}{19*5(5+1)-0} = 54{,}88$				
Norminis konkordancijos koef. reikšmingumas	v=n-1=4; $x^2_{tbl} = 13.28$ $x^2_{\alpha,v} = 54{,}88 \geq x^2_{tbl} = 13.28$ ekspertų nuomonė vieninga.				

Apskaičiuota konkordancijos koeficiento reikšmė yra arti vieneto, tai rodo, kad ekspertų

vertinimai neprieštaringi. Apskaičiavus kriterijų svorius ekspertinių įverčių metodu gauta, kad $x^2_{\alpha,v} = 54{,}88 \geq x^2_{tbl} = 13.28$. Tai reiškia, kad norminis konkordancijos koeficiento reikšmingumas, kai laisvės laipsnių skaičius lygus keturiems, o reikšmingumo lygmuo – 0,01 %, yra mažesnis už apskaičiuotąjį konkordancijos koeficiento reikšmingumą. Todėl, pasikliovus skaičiavimo rezultatais, galima teigti, kad ekspertų nuomonė yra vieninga ir rodiklių reikšmingumas apskaičiuotas teisingai.

Suderinamumas buvo nustatytas – pakankamas, todėl galima atlikti tolesnius skaičiavimus.

3.16 lentelė. Ekspertų nuomonės vieningumo dėl apšiltinimo medžiagos sluoksnio konstrukcijoje skaičiavimas

Ekspertai r=19	**Rodikliai n=4**			
	Metinis sutaupymas kWh/m2/m.	**Įrengimo kaina m2/euro**	**Atsiperkamumas**	**Šilumos laidumo koeficientas W/m2K**
Įvertinimų suma $t_j = \sum_{k=1}^{r=5} t_{jk}$	33	61	30	66
Vidutinės kriterijų reikšmės	1,74	3,21	1,58	3,47
Kriterijų aranžiruotė	3	2	4	1
Kriterijų reikšmingumas	0,17	0,32	0,16	0,35
$\sum_{k=1}^{r=5} \left(t_{jk} - t_j\right)^2$	13,68	9,16	8,63	8,74
Ekspertinių įvertinimų dispersija	0,760	0,509	0,480	0,485
Variacija	0,501	0,222	0,4385	0,201
Rangų sumos vidurkis V	$V = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n=5}\sum_{k=1}^{r=19} t_{jk} = 47{,}5$			
Įvertinimo rezultatų nuokrypių kvadratų suma	$S = \sum_{j=1}^{n=5}\left(\sum_{k=1}^{r=19} t_{jk} - V\right)^2 = 1041$			
Konkordancijos koeficientas	$W = \frac{12S}{r^2\left(n^3 - n\right)} = 0{,}58$			

Konkordancijos koeficiento reikšmingumas	**3.15 lentelės** pabaiga $x^2_{\alpha,v} = \frac{12S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{r} T_k} = \frac{12*1041}{19*4(4+1)-0} = 32{,}87$
Norminis konkordancijos koef. reikšmingumas	v=n-1=3; $x^2_{tbl} = 11{,}35$ $x^2_{\alpha,v} = 32{,}87 \geq x^2_{tbl} = 11{,}35$ ekspertų nuomonė vieninga.

Apskaičiuota konkordancijos koeficiento reikšmė yra arti vieneto, tai rodo, kad ekspertų vertinimai neprieštaringi. Apskaičiavus kriterijų svorius ekspertinių įverčių metodu gauta, kad $x^2_{\alpha,v} = 32{,}87 \geq x^2_{tbl} = 11{,}35$. Tai reiškia, kad norminis konkordancijos koeficiento reikšmingumas, kai laisvės laipsnių skaičius lygus keturiems, o reikšmingumo lygmuo – 0,01 %, yra mažesnis už apskaičiuotąjį konkordancijos koeficiento reikšmingumą. Todėl, pasikliovus skaičiavimo rezultatais, galima teigti, kad ekspertų nuomonė yra vieninga ir rodiklių reikšmingumas apskaičiuotas teisingai.

Suderinamumas buvo nustatytas – pakankamas, todėl galima atlikti tolesnius skaičiavimus.

3.2.5. Pradinių duomenų lentelių sudarymas

Taigi parinkus modernizavimo rodiklius ir alternatyvas sudaromos pradinių duomenų lentelės kiekvienai pastato konstrukcinei daliai. Visa tai pavaizduota lentelėse.

3.17 lentelė. Pradinių reikšmių matrica termoizoliacinės medžiagos parinkimui

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/ euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	146,490	26,000	0,200	0,036	10,000
Neopor	55,610	21,380	3,000	0,033	10,000
Stiklo vata	22,100	18,200	30,000	0,035	30,000
Akmens vata	23,120	19,400	30,000	0,036	30,000
Poliuretano putos	68,320	26,940	2,000	0,025	20,000
Rodiklių suma	315,640	111,920	65,200	0,165	100,000

3.18 lentelė. Pradinių reikšmių matrica stogo konstrukcinės detalės parinkimui

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Metinis sutaupymas kWh/m^2/m	Įrengimo kaina m^2/euro	Atsiperkamumas	Šilumos laidumo koeficientas W/m^{2}K
TP	0	49,97	10	0,179
300 mm	0,97	52,21	180,7	0,169
310 mm	1,67	53,78	108,59	0,164

3.19 lentelė. Pradinių reikšmių matrica sienos konstrukcinės detalės parinkimui

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Metinis sutaupymas kWh/m^2/m	Įrengimo kaina m^2/euro	Atsiperkamumas	Šilumos laidumo koeficientas W/m^{2}K
TP	0	14,1	10	0,503
50 mm	18,1	45,84	8,53	0,275
100 mm	24,17	52,86	7,38	0,197

Pagal pradinių duomenų lenteles toliau atliekami skaičiavimai geriausiai modernizavimo alternatyvai nustatyti.

3.2.6. Rodiklių integruoto, subjektyvaus ir objektyvaus reikšmingumo nustatymas

Taikant daugiatikslį sprendimų priėmimo metodą (*Multiple Attribute Decision-Making MADM*), kyla alternatyvų pasirinkimo problema, kuri susijusi su įvairiais ir prieštaringais rodikliais.

Subjektyvi ir objektyvi analizė turi daugelį privalumų ir trūkumų. Reikšmingumai, nustatyti subjektyviu požiūriu, nurodo subjektyvius asmens sprendimus, kurių rezultatas yra problemos alternatyvų rangavimas. Šios vėliau įgauna gerokai laisvesnių reikšmių. Objektyvūs sprendimų reikšmingumai nustatomi matematiniais metodais, pagrįstais subjektyvia informacija.

Objektyvų rodiklių reikšmingumą nustatyti geriausia entropijos metodu. Tarkim, kad $S=\{S_1, S_2, \ldots, S_m\}$ – diskretus variantų rinkinys, $R=\{R_1, R_2, \ldots, R_n\}$ – rodiklių rinkinys ir $X=(x_{ij})_{m\times n}$ – sprendimų matrica, čia x_{ij} – varianto S_i rodiklio R_j reikšmė (i=1, 2, ..., m.; j =1, 2, ..., n). Norint turėti vienodą matavimų diapazoną, teigiama, kad visi pradinės matricos reikšmingumai svyruoja nuo 0 iki 1. Tai gaunama, normalizuojant bet kurį matricos $\boldsymbol{X}=(x_{ij})_{m\times n}$ elementą į matricos $\overline{P}=(b_{ij})_{m\times n}$ elementus pagal tokią formulę:

$$p_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}, \qquad i=\overline{1,m}; \qquad j=\overline{1,n} \tag{3.8}$$

.

Gaunama matrica $\overline{P}$: x_1 x_2 x_n

$$\overline{P} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{matrix} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix}. \tag{3.9}$$

Tada nustatomas kiekvieno rodiklio efektyvumo entropijos lygis E_j:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (i = \overline{1,m};\ j = \overline{1,n}). \tag{3.10}$$

Kaip žinoma, entropijos reikšmė kinta intervalu (0,1), todėl:

$$0 \le E_j \le 1, \qquad \left(i = \overline{1,m}; \quad j = \overline{1,n}\right), \tag{3.11}$$

j-ojo rodiklio kitimo lygis sprendžiant uždavinį, t. y. daugelyje analizuojamų technologinių sprendimų (statybos srities), nustatomas rodikliais:

$$d_j = 1 - E_j, \qquad \left(j = \overline{1,n}\right). \tag{3.12}$$

Jeigu visi efektyvumo rodikliai vienodai svarbūs, kitaip sakant, nėra subjektyvių arba ekspertinių jų svarbos įvertinimų, tai rodiklių objektyvusis reikšmingumas nustatomas remiantis šiomis formulėmis:

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}, \qquad \left(j = \overline{1,n}\right), \tag{3.13}$$

arba

$$d_j = q_j \sum_{j=1}^{n} d_j. \tag{3.14}$$

Jeigu žinomi subjektyvūs reikšmingumai, nustatyti specialistų sprendimu arba paremti ekspertų vertinimo principu, tai objektyvių kompleksinių rodiklių reikšmingumai nustatomi taip:

$$q_j^0 = \frac{\overline{q_j} d_j}{\sum_{j=1}^{n} \overline{q_j} d_j}, \qquad \left(j = \overline{1,n}\right). \tag{3.15}$$

Iš formulės (3.15) gaunama:

$$q_j^0 = \frac{\overline{q_j} q_j \sum_{j=1}^{n} d_j}{\sum_{j=1}^{n} \overline{q_j} q_j \sum_{j=1}^{n} d_j}, \qquad \left(j = \overline{1,n}\right), \tag{3.16}$$

arba

$$q_j^0 = \frac{\overline{q_j} q_j}{\sum_{j=1}^{n} \overline{q_j} q_j}, \qquad \left(j = \overline{1,n}\right). \tag{3.17}$$

Toliau skaičiuojant šie rodikliai naudojami TOPSIS, SAW, COPRAS sprendimų priėmimo metoduose.

Porinio lyginimo metoduose remiamasi ekspertų nuomonėmis subjektyvių efektyvumo rodiklių reikšmingumams nustatyti. Svarbiausia informacija gaunama lyginant rodiklius poromis ir nustatant jų svarbą viena kitos atžvilgiu.

3.2.7. Integruotų efektyvumo rodiklių reikšmingumų nustatymo metodika

Rodiklių objektyvios reikšmingumo reikšmės nusako nagrinėjamo varianto rodiklių dominavimo lygius. Subjektyvios reikšmingumo reikšmės parodo, kiek rodikliai svarbūs nagrinėjant variantus. Kai kuriais atvejais $\overline{q_j}$ ir q_j^0 iš principo skiriasi, o dėl to mažėja varianto nustatytas racionalumo tikslumas. Tai vyksta todėl, kad mažareikšmiai rodikliai gali labai smarkiai paveikti varianto prioritetiškumo nustatymą, ir atvirkščiai.

$$\overline{q_j} = \frac{q_j^* q_j}{\sum_{j=1}^{n} q_j^* q_j}, \qquad (j = \overline{1,n}). \tag{3.18}$$

Uždavinio esmė – nustatyti reikšmingumą q_j^* (integruotas rodiklio reikšmingumas) turint žinomus reikšmingumus $\overline{q_j}$ (subjektyvus rodiklių reikšmingumas nustatytas remiantis porinio lyginimo metodu) ir q_j.

Formulė pertvarkoma:

$$\overline{q_j} \sum_{j=1}^{n} q_j^* q_j - q_j^* q_j = 0, \qquad (j = \overline{1,n}). \tag{3.19}$$

Norint nustatyti q_j^* reikšmingumą, būtina išspręsti šią sistemą:

$$\begin{cases} \overline{q_1}q_1^*q_1 + \overline{q_1}q_2^*q_2 + \overline{q_1}q_3^*q_3 + \ldots + \overline{q_1}q_n^*q_n - q_1^*q_1 = 0 \\ \overline{q_2}q_1^*q_1 + \overline{q_2}q_2^*q_2 + \overline{q_2}q_3^*q_3 + \ldots + \overline{q_2}q_n^*q_n - q_2^*q_2 = 0 \\ \overline{q_3}q_1^*q_1 + \overline{q_3}q_2^*q_2 + \overline{q_3}q_3^*q_3 + \ldots + \overline{q_3}q_n^*q_n - q_3^*q_3 = 0 \\ \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \\ \overline{q_n}q_1^*q_1 + \overline{q_n}q_2^*q_2 + \overline{q_n}q_3^*q_3 + \ldots + \overline{q_n}q_n^*q_n - q_n^*q_n = 0 \end{cases}, \tag{3.20}$$

arba

$$\begin{cases} q_1^*(\overline{q_1}q_1 - q_1) + q_2^*\overline{q_1}q_2 + q_3^*\overline{q_1}q_3 + \ldots + q_n^*\overline{q_1}q_n = 0 \\ q_1^*\overline{q_2}q_1 + q_2^*(\overline{q_2}q_2 - q_2) + q_3^*\overline{q_2}q_3 + \ldots + q_n^*\overline{q_2}q_n = 0 \\ q_1^*\overline{q_3}q_1 + q_2^*\overline{q_3}q_2 + q_3^*(\overline{q_3}q_3 - q_3) + \ldots + q_n^*\overline{q_3}q_n = 0 \\ \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \\ q_1^*\overline{q_n}q_1 + q_2^*\overline{q_n}q_2 + q_3^*\overline{q_n}q_3 + \ldots + q_n^*(\overline{q_n}q_n - q_n) = 0 \end{cases}. \tag{3.21}$$

Skaičiuojant bus gauta tam tikrų paklaidų, tad gali būti, kad (3.20) lygčių sistema neturės sprendimo. Todėl į lygčių sistemą įtraukiamas paklaidos koeficientas *f*. Įvertinant, kad $\sum_{j=1}^{n} q_j^* = 1$, lygčių sistema įgauna tokį pavidalą:

$$\begin{cases} q_1^*(\overline{q_1}q_1 - q_1) + q_2^*\overline{q_1}q_2 + q_3^*\overline{q_1}q_3 + \ldots + q_n^*\overline{q_1}q_n + f = 0 \\ q_1^*\overline{q_2}q_1 + q_2^*(\overline{q_2}q_2 - q_2) + q_3^*\overline{q_2}q_3 + \ldots + q_n^*\overline{q_2}q_n + f = 0 \\ q_1^*\overline{q_3}q_1 + q_2^*\overline{q_3}q_2 + q_3^*(\overline{q_3}q_3 - q_3) + \ldots + q_n^*\overline{q_3}q_n + f = 0 \\ \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \\ q_1^*\overline{q_n}q_1 + q_2^*\overline{q_n}q_2 + q_3^*\overline{q_n}q_3 + \ldots + q_n^*(\overline{q_n}q_n - q_n) + f = 0 \\ q_1^* + q_2^* + q_3^* + \ldots + q_n^* = 1 \end{cases}. \tag{3.22}$$

Vėliau reikšmingumas q_j^* naudojamas TOPSIS, SAW, COPRAS sprendimų priėmimo metoduose.

3.3. Daugiatiksliai metodai

3.3.1. Racionalaus sprendimo nustatymas artumo idealiam taškui (TOPSIS) metodu

Variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija: tinkamiausia alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo idealiai blogiausio sprendimo. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymu artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Taikant šį metodą, reikia atsižvelgti į tai, kad kiekvieno sprendimų varianto kriterijaus naudingumo funkcija monotoniškai didėja arba monotoniškai mažėja, t.y. didesnė bet kurio rodiklio reikšmė visada geresnė arba blogesnė už mažesnę to paties rodiklio reikšmę. Tai priklauso nuo to, ar naudingumo funkcija didėja ar mažėja.

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių.

Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą ***P***.

$$P = \left[x_{ij} \right] = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \tag{3.23}$$

a_1–a_m – lyginamieji variantai (i=1, m);

X_1–X_n – efektyvumo rodikliai (j=1, n);

x_{11}–x_{mn} – efektyvumo rodiklių reikšmės.

3.20 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų priėmimo matrica

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	146,490	26,000	0,200	0,036	10,000
Neopor	55,610	21,380	3,000	0,033	10,000
Stiklo vata	22,100	18,200	30,000	0,035	30,000
Akmens vata	23,120	19,400	30,000	0,036	30,000
Poliuretano putos	68,320	26,940	2,000	0,025	20,000
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.

Matricą P reikia normalizuoti į matricą $\overline{P}$. Matricos P normalizavimas atliekamas pagal formulę:

$$\overline{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}; \quad i = \overline{1,n}\,; \; j = \overline{1,m}, \tag{3.24}$$

ir gaunama normalizuotoji matrica $\overline{\boldsymbol{P}}$, kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiai dydžiai:

$$\overline{P} = \left[\overline{x}_{ij}\right] = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \overline{x}_{11} & \overline{x}_{12} & \dots & \overline{x}_{1n} \\ \overline{x}_{21} & \overline{x}_{22} & \dots & \overline{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overline{x}_{m1} & \overline{x}_{m2} & \dots & \overline{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3.25)$$

Kadangi žinomi reikšmingumo kriterijai, randama svertinė normalizuota matrica $\overline{P}^*$ pagal formulę:

$$\overline{P}^* = \left[\overline{P}\right] \cdot \left[\overline{q_j}\right]. \quad (3.26)$$

Jei svoriai nežinomi, tada $\overline{P}^* = P$.

$\overline{q_j}$ - reikšmingumo kriterijai.

3.21 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo normalizuota matrica P

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	0,842	0,513	0,005	0,484	0,204
Neopor	0,320	0,422	0,070	0,444	0,204
Stiklo vata	0,127	0,359	0,705	0,471	0,612
Akmens vata	0,133	0,383	0,705	0,484	0,612
Poliuretano putos	0,393	0,532	0,047	0,336	0,408
Rodiklių reikšmingumai, q	0,240	0,240	0,100	0,300	0,120

3.22 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo svertinė normalizuota matrica P*

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	0,202	0,123	0,000	0,145	0,024
Neopor	0,077	0,101	0,007	0,133	0,024
Stiklo vata	0,030	0,086	0,070	0,141	0,073
Akmens vata	0,032	0,092	0,070	0,145	0,073
Poliuretano putos	0,094	0,128	0,005	0,101	0,049

Idealiai geriausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^{+} = \{[(\max_{i} \overline{x}_{ij} \,\big|\, j \in J), (\min_{i} \overline{x}_{ij} \,\big|\, j \in J')] / i = \overline{1,m}\} = \{a_1^{+}, a_2^{+}, \ ..., a_n^{+}\}, \quad (3.27)$$

J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

Neigiamai idealus variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^{-} = \{[(\min_{i} \overline{x}_{ij} \,\big|\, j \in J), (\max_{i} \overline{x}_{ij} \,\big|\, j \in J')] / i = \overline{1,m}\} = \{a_1, a_2, \ ..., a_n\}. \quad (3.28)$$

3.23 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo idealaus geriausia ir blogiausia alternatyva

Idealus variantas	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
a^+	0,030	0,086	0,000	0,101	0,073
a^-	0,202	0,128	0,070	0,145	0,024

Atstumas tarp lyginamojo *i*-tojo ir idealiai geriausio L_i^+ varianto nustatomas pagal formulę:

$$L_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(\overline{x}_{ij} - a_j^{+}\right)^2}; i = \overline{1,m}, \quad (3.29)$$

,

o tarp *i*-tojo ir neigiamai idealaus L_i^- – pagal formulę:

$$L_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(\overline{x}_{ij} - a_j\right)^2}; i = \overline{1,m} \ . \quad (3.30)$$

.

Nustatomas kiekvieno *i*-ojo varianto santykinis atstumas iki idealaus:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1,m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (3.31)$$

Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo *i*-tasis variantas artimesnis $\boldsymbol{a}^+$, t. y. racionalus variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia.

3.24 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo santykiniai atstumai

		Prioritetų eilutė
K_1=	0,272	5
K_2=	0,652	3
K_3=	0,694	1
K_4=	0,685	2
K_5=	0,630	4

Atlikus skaičiavimus TOPSIS metodu gautas rezultatas, kad geriausias variantas pagal mūsų rangus yra stiklo vata > akmens vata > Neopor putplastis > poliuretano putos > Styrodur. Sienos konstrukcijos apšiltinimo iš vidaus sluoksnis – 100 mm. Stogo konstrukcijos apšiltinimo sluoksnis – 310 mm.

Atliekami skaičiavimai SAW metodu, kad patvirtintume gautą atsakymą.

3.3.2. Racionalaus sprendimo nustatymas paprastuoju sudedamuoju svėrimo (SAW) metodu

Paprastasis sudedamasis svėrimo metodas (SAW – *Simple Additive Weighting*) žinomas geriausiai, yra vienas iš paprastesnių ir plačiausiai taikomas. Išeities duomenys – sprendimų matrica ir reikšmingumų dydžiai. Sprendimų matrica negali turėti neskaitinių reikšmių. Sprendžiama taip:

1) matrica normalizuojama;

2) normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais. Gauta suma dalijama iš svorių (reikšmingumų) sumos.

3.25 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų priėmimo matrica

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	146,49	26	0,2	0,036	10
Neopor	55,61	21,38	3	0,033	10
Stiklo vata	22,1	18,2	30	0,035	30
Akmens vata	23,12	19,4	30	0,036	30
Poliuretano putos	68,32	26,94	2	0,025	20
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.
Rodiklio geriausia reikšmė	22,10	18,20	0,2	0,025	30

Pradiniai duomenys, sprendžiant šiuo metodu, yra sprendimo matrica *P* ir kiekvieno efektyvumo rodiklio reikšmingumai $\overline{q} = \{\overline{q}_1,\ \overline{q}_2,\ ...,\ \overline{q}_n\}$, kurie gali tenkinti sąlygą:

$$\sum_{j=1}^{n} \overline{q}_j = 1. \tag{3.32}$$

Visi sprendimo matricos ***P*** nariai normalizuojami pagal formulę:

$$\overline{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}. \tag{3.33}$$

jei jie maksimizuojami, o jei minimizuojami – pagal formulę:

$$\overline{x}_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}. \qquad (3.34)$$

3.26 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų normalizuota matrica

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	0,151	0,700	1,000	0,694	0,333
Neopor	0,397	0,851	0,067	0,758	0,333
Stiklo vata	1,000	1,000	0,007	0,714	1,000
Akmens vata	0,956	0,938	0,007	0,694	1,000
Poliuretano putos	0,323	0,676	0,100	1,000	0,667
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.
Rodiklių reikšmingumai, q_j	0,240	0,240	0,100	0,300	0,120

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotosios matricos nariai dauginami iš reikšmingumų ir sumuojami. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali:

$$A = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_{j=1}^{n} \overline{q}_j \overline{x}_{ij} / \sum_{j=1}^{n} \overline{q}_j \right. \right\}. \qquad (3.35)$$

.

3.27 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų reikšmių matrica

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai					Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas		
Styrodur	0,036	0,168	0,100	0,208	0,040	0,553	5
Neopor	0,095	0,204	0,007	0,227	0,040	0,574	4
Stiklo vata	0,240	0,240	0,001	0,214	0,120	0,815	1
Akmens vata	0,229	0,225	0,001	0,208	0,120	0,784	2
Poliuretano putos	0,078	0,162	0,010	0,300	0,080	0,630	3
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.		

Atlikus skaičiavimus SAW metodu gauti rezultatai: stiklo vata > akmens vata > poliuretano putos > Neopor putplastis > Styrodur. Sienos konstrukcijos apšiltinimo iš vidaus sluoksnis – 100 mm. Stogo konstrukcijos apšiltinimo sluoksnis – 310 mm

Atliekami skaičiavimai COPRAS metodu, kad patvirtintume gautą atsakymą.

3.3.3. Racionalaus sprendimo nustatymas kompleksiniu proporcingu įvertinimo (COPRAS) metodu

Skaičiuojant COPRAS metodu nagrinėjamų variantų prioritetiškumas ir jų naudingumo laipsnis tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo alternatyvas adekvačiai apibūdinančių rodiklių sistemos, reikšmių ir reikšmingumų dydžių. Šis metodas sukurtas Lietuvos mokslininkų E. K. Zavadsko ir A. Kaklausko (1996).

1 etapas. Sudaroma normalizuota sprendimų priėmimo matrica. Šio etapo tikslas – iš lyginamųjų rodiklių gauti bedimensius (normalizuotus) dydžius. Tam naudojama formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}} \; ; \; i = \overline{1,m} \; ; \; j = \overline{1,n} \; , \tag{3.36}$$

x_{ij} – j sprendimo varianto i rodiklio reikšmė; m – rodiklių skaičius; n – lyginamųjų variantų (rangovų) skaičius; q_i – i rodiklio reikšmingumas.

Kiekvieno rodiklio x_i gautų bedimensių reikšmių d_{ij} suma visada lygi šio rodiklio reikšmingumui q_i:

$$q_i = \sum_{j=1}^{n} d_{ij} \; ; \; i = \overline{1,m} \; ; \; j = \overline{1,n} \; . \tag{3.37}$$

Nagrinėjamo rodiklio reikšmingumo q_i reikšmė proporcingai paskirstoma visiems alternatyviems variantams a_j, atsižvelgiant į jų reikšmes x_{ij}.

3.28 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo sprendimų priėmimo matrica

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kaina m^3/euro	Įrengimo kaina m^2/euro	Vandens įgeriamumas %	Šilumos laidumo koeficientas W/m^2K	Ugnies atsparumas
Styrodur	146,490	26,000	0,200	0,036	10,000
Neopor	55,610	21,380	3,000	0,033	10,000
Stiklo vata	22,100	18,200	30,000	0,035	30,000
Akmens vata	23,120	19,400	30,000	0,036	30,000
Poliuretano putos	68,320	26,940	2,000	0,025	20,000
Rodiklių suma	315,640	111,920	65,200	0,165	100,000
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.
Rodiklių reikšmingumai, q_j	0,240	0,240	0,100	0,300	0,120

3.29 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo normalizuota sprendimų priėmimo matrica

Termoizoliacinės medžiagos alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Buto kaina	Buto bendrasis plotas	Pastato amžius	Pastato amžius	Pastato amžius
Styrodur	0,111	0,056	0,0003	0,065	0,012
Neopor	0,042	0,046	0,005	0,060	0,012
Stiklo vata	0,017	0,039	0,046	0,064	0,036
Akmens vata	0,018	0,042	0,046	0,065	0,036
Poliuretano putos	0,052	0,058	0,003	0,045	0,024
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.

2 etapas. Apskaičiuojamos *j* variantą apibūdinančių minimizuojančių $S\text{-}_j$ ir maksimizuojančių S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formules:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^{m} d_{+ij} \; ; \; S_{-j} = \sum_{i=1}^{m} d_{-ij} \; ; \; i = \overline{1,m} \; ; \; j = \overline{1,n} \; . \tag{3.38}$$

3.30 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos

S_{+1}= 0,012	S_{-1}= 0,233
S_{+2}= 0,012	S_{-2}= 0,153
S_{+3}= 0,036	S_{-3}= 0,165
S_{+4}= 0,036	S_{-4}= 0,171
S_{+5}= 0,024	S_{-5}= 0,158

3 etapas. Lyginamų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+j} ir neigiamomis S_{-j} savybėmis. Kiekvieno varianto a_j santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{j=1}^{n} S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^{n} \frac{S_{-\min}}{S_{-j}}}, \quad j = \overline{1,n} \; . \tag{3.39}$$

4 etapas. Nustatomas variantų prioritetiškumas. Kuo didesnis Q_j, tuo labiau varianto efektyvumas (prioritetiškumas) yra didesnis.

3.31 lentelė. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis

			Prioritetų eilutė
Q_1= 0,142	N_1= 64,851	%	5
Q_2= 0,210	N_2= 96,014	%	4
Q_3= 0,219	N_3= 100,000	%	1
Q_4= 0,213	N_4= 97,470	%	3
Q_5= 0,215	N_5= 98,343	%	2

Atlikus skaičiavimus COPRAS metodu gauti rezultatai: stiklo vata > poliuretano putos > akmens vata > Neopor putplastis > Styrodur. Sienos konstrukcijos apšiltinimo iš vidaus sluoksnis – 100 mm. Stogo konstrukcijos apšiltinimo sluoksnis – 310 mm.

Pagal gautus atsakymus atlikus skaičiavimus SAW, COPRAS, TOPSIS metodais galima teigti, kad geriausias pasirinkimas apšiltinti pastatą yra stiklo vata, nes tai patvirtino vieningi atsakymai atlikus skaičiavimus trimis metodais.

Analogiškai atliekami skaičiavimai su vidinių sienų ir stogo apšiltinimo. Atlikus skaičiavimus SAW, COPRAS, TOPSIS metodais gauti rezultatai:

3.32 lentelė. Sienos apšiltinimo sluoksnio apskaičiavimas SAW, COPRAS, TOPSIS metodais rezultatai

Sienos apšiltinimo alternatyvos	Metodai		
	SAW	COPRAS	TOPSIS
TP 0 mm	3	3	3
50 mm	2	2	2
100 mm	1	1	1

Apskaičiavus trimis skirtingais metodais gauti vienodi rezultatai, kad sienas apšiltinti iš vidaus labiausiai apsimoka 100 mm storio, o mažiausiai palankus rezultatas yra techninio projekto sprendinys paliekant sienas visiškai neapšiltintas.

3.33 lentelė. Stogo apšiltinimo sluoksnio apskaičiavimas SAW, COPRAS, TOPSIS metodais rezultatai

Stogo konstrukcijos alternatyvos	Metodai		
	SAW	COPRAS	TOPSIS
TP 280 mm	2	2	2
300 mm	3	3	3
310 mm	1	1	1

Stogo konstrukcijos apšiltinimo sluoksnio storio skaičiavimas SAW, COPRAS, TOPSIS metodais parodė, kad labiausiai apsimoka apšiltinti stogą 310 mm sluoksniu arba likti prie techninio projekto sprendinio.

3.3.4. Daugiakriteris vertinimas Borda, Copeland ir vidurkio metodais

Kelių tyrimų metodų buvimas kelia klausimą, kuris iš šių metodų turi būti taikomas. Klausimas „Kuris metodas geriausiai tinka uždaviniui?“ yra pats svarbiausias, bet taip pat ir sunkiausiai atsakomas. Selektonovacijos metodų, nagrinėjančių ribotą diskretiškai matematiškai aprašytų variantų skaičių, kokybę daug sunkiau įvertinti negu baigtinės matematikos metodų. Kadangi kiekvienas iš selektonovacijos metodų turi trūkumų ir privalumų, tai vienareikšmiškai atsakyti į šį klausimą neįmanoma.

Bendru atveju to ar kito metodo pasirinkimą lemia:

1) fizinė rodiklių prasmė;

2) matematinės ir programinės įrangos lygis;

3) įvairios subjektyvios aplinkybės.

Be to, skaičiuojant įvairiais metodais egzistuoja tikimybė, kad skaičiavimo rezultatai (prioriteto eilutė) bus skirtingi. Daugiakriterio metodo įvertinimo modelis grindžiamas vidurkio, Borda ir Copeland metodais (Hwang, Yoon, 1981; Borda, 1781; McLean, 1990; Fishburn, 1971; Erlandson, 1978).

Sudaromoji sprendimų matrica susideda iš įvardytais metodais suskaičiuotų prioritetų eilučių, surašytų stulpeliais. Pavyzdžiui, turime 4 variantų prioritetų eilutes, nustatytas keturiais selektonovacijos metodais. Sudarome matricą A (žiūrėti lentelę Nr. 3.33):

3.34 lentelė. Matrica *A*

	Metodai				
	M_1	M_2	M_3	M_4	Vidurkiai
a_1	1	2	1	4	2
a_2	2	1	2	1	1,5
a_3	3	3	4	2	3
a_4	4	4	3	3	3,5

Visi matricos A stulpeliai sudaryti iš variantų prioritetų eilutės, skaičiuotos atitinkamu metodu, o papildomas stulpelis sudarytas iš narių, gautų sudėjus variantų racionalumo skaitines reikšmes ir padalijus jas iš taikytų metodų skaičiaus.

Naudodami matricos A duomenis, galime teigti, kad pirmasis variantas yra efektyvesnis negu trečiasis, nes pirmasis variantas yra efektyvesnis skaičiuojant trimis metodais ir tik vienu atveju, kai skaičiuojama ketvirtuoju metodu, ne toks efektyvus. Lyginant variantų racionalumų poras, sudaroma matrica B. Čia 1 reiškia, kad variantas, kurio eilutėje jis stovi, yra racionalesnis negu variantas, kurio stulpelyje jis yra, kai lyginama tuo pačiu metodu (lyginami to paties stulpelio nariai); 0 reiškia, kad variantas nėra racionalesnis arba jų racionalumas vienodas.

Paskutinis matricos stulpelis gaunamas sumuojant kiekvieno varianto santykinio racionalumo reikšmes. Analogiškai gaunama ir paskutinė matricos B eilutė, tik vertikaliai sumuojant gaunama varianto „nuostolių“ (žiūrėti Nr. 3.34).

3.35 lentelė. Matrica *B*

Variantai	Variantai				
	a_1	a_2	a_3	a_4	$\sum P$
a_1	-	0	1	1	2
a_2	0	-	1	1	2
a_3	0	0	-	1	1
a_4	0	0	0	-	0
$\sum N$	0	0	2	3	

Racionalus variantas gaunamas:

- taikant vidurkio metodą (Hwang, Yoon, 1981) – matricos A paskutinio stulpelio mažiausią narį atitinkantis variantas;
- taikant Borda metodą (Borda, 1781; McLean, 1990) – matricos B paskutinio stulpelio didžiausią narį atitinkantis variantas;
- taikant Copeland metodą (Fishburn, 1971; Erlandson, 1978) – variantas, iš kurio racionalumų sumos (skaičius paskutiniame B matricos stulpelyje) atėmus „nuostolius“ (atitinkamas skaičius paskutinėje eilutėje) gaunama didžiausia reikšmė.

Atliekame skaičiavimus sienos apšiltinimo konstrukcijos storio variantus:

3.36 lentelė. Sienos apšiltinimo matrica *A*

Sienos apšiltinimo alternatyvos	Metodai			Vidurkiai
	SAW	COPRAS	TOPSIS	
TP	3	3	3	3,0
50 mm	2	2	2	2,0
100 mm	1	1	1	1,0

3.37 lentelė. Sienos apšiltinimo matrica *B*

Alternatyvos	Alternatyvos			BORDA ∑P
	TP	50 mmm	100 mm	
TP	—	0	0	0,0
50 mm	1	—	0	1,0
100 mm	1	1	—	2,0
∑N	2,00	1,00	0,00	

COPELAND ∑P-∑S=	-2,00	0,00	2,00

3.38 lentelė. Racionaliausios alternatyvos

Metodai	Alternatyvos		
	TP 0 mm	50 mm	100 mm
VIDURKIAI	3	2	1
BORDA	3	2	1
COPELAND	3	2	1

Patikrinus metodų skaičiavimus VIDURKIŲ, BORDA ir COPELAND metodais, alternatyvų prioritetų eilutė išliko nepakitusi: geriausias yra 100 mm apšiltinimas iš vidaus, o prasčiausias techninio projekto sprendinys nešiltinant pastato sienų.

3.4. Pastato energinio naudingumo skaičiavimai

Pastato (jo dalies) energinis naudingumas – pagal Reglamento reikalavimus apskaičiuotas energijos kiekis, išreikštas pastato (jo dalies) energinio naudingumo klase, reikalingas naudojant pastatą pagal paskirtį (STR 2.01.09:2012).

Pastatai pagal statybos techninį reglamentą (STR 2.01.09:2012) Lietuvoje skirstomi į mažai energijos naudojančius, kurie priskiriami prie B, A, A+ klasės ir energijos beveik nevartojančius pastatus A++.

Siekiant išsiaiškinti, kokio energinio efektyvumo nagrinėjamas pastatas yra atliekami skaičiavimai su programa NRG3 pagal techninio projekto duomenis (žr. 3.26 pav.) ir po parinktų medžiagų bei konstrukcinių detalių parinktų remiantis daugiakriterio vertinimo TOPSIS, SAW, COPRAS, VIDURKIŲ, BORDA ir COPELAND metodais (žr. 3.27 pav.).

Pastato energinio naudingumo sertifikatas

Nr. GV-0000-00000

Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris:
...

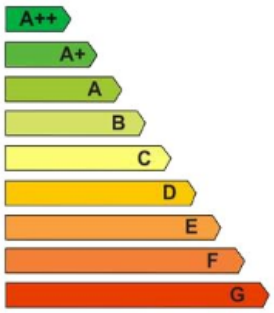
Adresas:
, Vilnius, Vilniaus m. sav.

Pastato (jo dalies) paskirtis: Gyvenamosios paskirties 1 ir 2 butų pastatai (namai)

Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m²): 567,00

Viso pastato šildomas plotas (m²): 567,00

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasifikavimas į klases*:	Nustatyta pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:
	E



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

Skaičiuojamosios metinės rodiklių vertės vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto:

Neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m²×metai)):	234,60
Atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m²×metai)):	34,19
Metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):	0,21
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(m²×metai)):	105,53
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti (kWh/(m²×metai)):	0,00
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh/(m²×metai)):	25,95
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh/(m²×metai)):	22,74
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m²×metai)):	9,00
Pastato į aplinką išmetamas CO_2 kiekis (kgCO_2/(m²×metai)):	51,77

Sertifikavimo eksperto pastabos:

3.25 pav. Pastato energinio naudingumo klasė pagal techninio projekto duomenis

Pastato energinio naudingumo sertifikatas

Nr. GV-0000-00000

Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris:
...

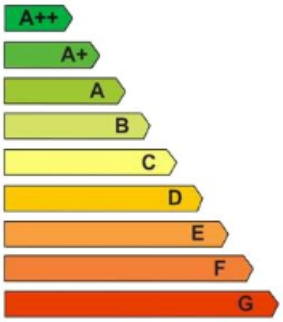
Adresas:
, Vilnius, Vilniaus m. sav.

Pastato (jo dalies) paskirtis: Gyvenamosios paskirties 1 ir 2 butų pastatai (namai)

Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m²): 567,00

Viso pastato šildomas plotas (m²): 567,00

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasifikavimas į klases*:	Nustatyta pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:
	B



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

Skaičiuojamosios metinės rodiklių vertės vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto:

Neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m²×metai)):	137,06
Atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m²×metai)):	19,17
Metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):	0,23
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(m²×metai)):	47,79
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti (kWh/(m²×metai)):	0,62
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh/(m²×metai)):	25,95
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh/(m²×metai)):	14,71
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m²×metai)):	0,90
Pastato į aplinką išmetamas CO_2 kiekis (kgCO_2/(m²×metai)):	30,21

3.26 pav. Pastato energinio naudingumo klasė po papildomo apšiltinimo

Atlikus skaičiavimus su programa NRG3 gauti duomenys rodo, kad bendras neatsinaujinančios energijos metinis sutaupymas tarp techninio projekto ir pritaikius parinktas detales bei apšiltinimo sluoksnius pagal daugiakriterius metodus skirtumas yra 2,2 karto. Paliekant techninio projekto sprendinius tikėtina, kad pastatas sunaudos 105,53 kWh/m^2m., o pritaikius parinktas detales 47,79 kWh/m^2m. vienam šildomo ploto kvadratui. Pritaikius termoizoliacines priemones pastato energinio naudingumo reikšmė pasikeičia nuo E klasės į B klasę mažai energijos vartojantį pastatą.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Išanalizavus mokslinę literatūrą buvo nustatyta, kad dabartinę paveldosaugą Lietuvoje reglamentuoja šie įstatymai: Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų įstatymo pakeitimo įstatymas (2001 m. gruodžio 4 d. Nr. IX-628, pakeitęs 1993 m. lapkričio 9 d. Nr. I-301 įstatymo versiją), Lietuvos Respublikos nekilnojamųjų kultūros vertybių apsaugos įstatymo pakeitimo įstatymas (2004 m. rugsėjo 28 d. Nr. IX-2452, pakeitęs 1994 m. gruodžio 22 d. Nr. I-733 įstatymo versiją ir dabar jis vadinamas Lietuvos Respublikos nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos įstatymu).

Išanalizavus Lietuvos kultūros paveldo įstatymus ir Paveldo tvarkybos reglamentą nustatyta, kad šiluminė modernizacija, pastatų energinis naudingumas bei jų įtaka aplinkai visiškai neapibrėžiama. Neatsižvelgiama, kad pastatai nebeatitinka šiuolaikinių energijos suvartojimo standartų. Energijos efektyvumo skirtumas, tarp šiuolaikinių pastatų ir istorinių pastatų yra didžiulis.

Išanalizavus užsienio mokslinę literatūrą nustatyta, kad techniškai gerai atlikta modernizacija pastatuose gali sumažinti energijos sąnaudas, tačiau gyventojų elgesys taip pat turi didelę įtaką energijos suvartojimui. Šiluminė izoliacija, langų bei durų keitimas lemia didžiausius energijos sutaupymus.

Sukurtas kultūros paveldo pastatų modernizavimo modelis.

Atlikus kultūros paveldo objekto, buvusios ligoninės pastatų komplekso Bokšto g. 6, (Vilniuje) pastato 2D/2p energinio naudingumo analizę, gauta, kad pritaikius techninio projekto sprendinius ir nešiltinant pastato sienų iš vidaus, pastato energinis naudingumas atitinka E klasę, vadinasi, tai yra labai daug energijos suvartojantis pastatas.

Atlikus daugiakriterį vertinimą: TOPSIS, SAW, COPRAS, VIDURKIŲ, BORDA ir COPELAND metodais. Siekiant parinkti apšiltinimo medžiagas bei konstrukcines detales, gauta, kad:

- geriausia stogo ir vidinių sienų apšiltinimo medžiaga yra stiklo vata;
- sienų iš vidaus apšiltinimo sluoksnis – 100 mm;
- stogo apšiltinimo sluoksnis – 310 mm.

Išanalizavus gautus duomenis ir suvedus į energinio naudingumo skaičiavimo programą ERG3 gauta, kad pastatas atitinka B klasės reikalavimus ir yra mažai energijos vartojantis pastatas. Metinis energijos suvartojimo kiekis sumažėja 2,2 karto nuo 105,53 kWh/m^2/m. iki 47,79 kWh/$m^{2/}$m. Pastatas yra 567 m^2, tai metinis sutaupymas būtų 32738,58 kWh. Pagal 2015 metų Vilniaus energijos pateiktas šildymo kainas 1 kWh = 0.2965 euro. Vadinasi, per metus būtų sutaupoma 9706.99 euro, o papildomos išlaidos sudarytų apie 14941 eurą. Pastato papildomas apšiltinimas atsipirktų po 1,54 metų.

LITERATŪRA

Bučas, J. 1993. *Lietuvos kraštovaizdžio saugotinų kultūros vertybių sistemos formavimo ir apsaugos metodologiniai pagrindai*. Kaunas: Architektūros ir statybos institutas, 209 p.

Čepaitienė, R. 2005. *Laikas ir akmenys. Kultūros paveldo sampratos moderniojoje Lietuvoje*. Vilnius: LII leidykla, 468 p.

Glemža, J. R. 2002. *Nekilnojamojo kultūros paveldo apsauga ir tvarkymas*. Vilnius: Vilniaus dailės akademijos leidykla, 252 p.

Gvildys, A. 2013. *Buv. Ligoninės pastatų komplekso (1033) Bokšto g. 6, Vilniuje tvarkomieji statybos darbai (pritaikymas).*UAB „Archinova“

Markevičienė, J. 1998. *Kultūros paveldo apsauga, iš Kultūros paminklų enciklopedija. Rytų Lietuva II.* Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla, 5–11.

Dijotienė, D. 2009. *Urbanistinis istorinių priemiesčių paveldas.* Vilnius: Technika, 218 p.

Zabiela, G. 1995. *Pirmojo Lietuvos kultūros paminklų apsaugos įstatymo projektas, iš Kultūros paminklai 2.* Vilnius 149–157.

Miškinis, A. 2005. *Lietuvos urbanistikos paveldas: vertybių įteisinimas, apsauga, tvarkymas (1967–1993)*. Vilnius 13-99.

Turskis, Z.; Zavadskas, E. K; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management. *Inžinerinė ekonomika [ISSN 1392-2785 ENGINEERING ECONOMICS]*. 2009. No 1 (61).

Ustinovičius, L.; Jakučionis, S. 2000. Application of multicriteria decision methods in restoration of buildings in the Old Town. *[Taylor & Francis Group]*: 227-236.

Zavadskas, E. K.; Karablikovas, A.; Malinauskas, P.; Mikšta, P.; Nakas, H.; Sakalauskas, R. 2008. *Statybos procesų technologija (Construction process technology)*. Vilnius: Technika.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. *Pastatu sistemotechninis įvertinimas (Multi standards appraisal of constructions).* Vilnius: Technika.

Alev, U; Eskola, L.; Arumagi, E. 2014. Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 02 11]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814002692>

Attia, S., Evrard, A., Gratia, E. 2012. Development of benchmark models for the Egyptian residential buildings sector [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 02 11]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000712>

Bernardi, A. 2013. Evaluation of the effect of phase change materials technology on the thermal stability of Cultural Heritage objects [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 01 21]. Prieiga per internetą:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207413002112>.

Harrestrup, M.; Sevendsen S. 2014. Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 02 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314004168>.

Firlag, S., Zawada, B. 2013. Impacts of airflows, internal heat and moisture gains on accuracy of modeling energy consumption and indoor parameters in passive building [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 05 10]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813002776>

Junghans, L. 2013. Sequential equi-marginal optimization method for ranking strategies for thermal building renovation [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 06 11]. Prieiga per internetą: <http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84879477826&origin=inward&txGid=EF829850D9560783959240D9CE9FDDE2.kqQeWtawXauCyC8ghhRGJg%3a2>

Kolaitis, D. I., Malliotakis, E., Kontogeorgos, D. A. 2013. Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 05 10]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813002272>

Li, Q. 2012. Characterizing the household energy consumption in heritage Nanjing Tulou buildings, China: A comparative field survey study [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 01 20]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812001004>.

Lolli, N; Hestnes, A. G. 2014. The influence of different electricity-to-emissions conversion factors on the choice of insulation materials [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 04 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814007798>

Lopez, P., Frontini F. 2014. Energy Efficiency and Renewable Solar Energy Integration in Heritage Historic Buildings [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 05 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214004317>

Milone, D.; Peri, G. 2014. Are the Best Available Technologies the only viable for energy interventions in historical buildings? [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 05 04]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814009293>.

Moran, F. 2012. Developing a database of energy use for historic dwellings in Bath, UK [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 02 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812004665>.

Malesza J.; Miedziałowski C.; Malesza M. 2014 Technical aspects of reconstruction and preservation of the former Camaldolese monastery in Wigry [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 01 20]. Prieiga per internetą: <https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i4/i0/i2/i5/i3/r40253/WiadomosciKonserwatorskie_nr36-2014.pdf >.

Mine, T. Z. 2012. Adaptive re-use of monuments "restoring religious buildings with different uses [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 10 21]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207413000356>

Moran, F.; Blight T. 2013. The use of Passive House Planning Package to reduce energy use and CO2 emissions in historic dwellings [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 02 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813008608>.

Morelli, M., Ronby, L., Mikkeisen, S. E. 2012. Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a "nearly-zero" energy building based on experiences from a test apartment [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 05 10]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812004021>

Polo, L. 2014. Energy Efficiency and Renewable Solar Energy Integration in Heritage Historic Buildings [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 03 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214004317>

Stazi. F.; Veglio. A. 2013. Experimental comparison between 3 different traditional wall constructions and dynamic simulations to identify optimal thermal insulation strategies [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 03 22]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813000637>

Woroniak G. 2013. Effects of pollution reduction and energy consumption reduction in small churches in Drohiczyn community [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 04 01]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813008657 >.

VĮ Lietuvos urbanistinis forumas [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 04 20]. Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/VI/files/File/Urbanistinis%20forumas%20tinklalapiui%20WEB.pdf>.

HN 42:2012 Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas (HN 42:2012).

STR 2.01.09:2012 Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas (STR 2.01.09:2012).

PRIEDAI