

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Modestas KRAČKA

PASTATŲ ATNAUJINIMO DAUGIATIKSLIS VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2013

Disertacija rengta 2009–2013 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

<http://leidykla.vgtu.lt>

VG TU leidyklos TECHNIKA 2195-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-609-457-583-9

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2013

© Modestas, Kračka, 2013

el. paštas: modestas.kracka@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Modestas KRAČKA

BUILDINGS RENOVATION MULTICRITERIA ASSESSMENT

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2013

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2009–2013.

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Reziumė

Disertacijoje tiriami gyvenamieji ir visuomeninės paskirties pastatai, vertinant pastatų modernizavimą daugiakriteriniais metodais.

Pagrindinis darbo tikslas – praplėsti pastato atnaujinimo vertinimo metodus, pasiūlant intervalų sistemos teoriją daugiatislio vertinimo metodui. Sukurtas modelis gali būti panaudotas vertinant pastatų modernizavimą, investicijų atsi-perkamumą, bei nustatant modernizuojamų pastatų energinio naudingumo reika-lavimus.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros sąrašas, autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas ir trys priedai.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašomas mokslinis darbo naujumas, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomi autoriaus pranešimai konferencijose ir publikacijos, pateikiama disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje pateikiama literatūros apžvalga ir pastatų modernizavimo statistika, atnaujinimo sistemos, daugiatislių metodų apžvalga ir taikymas nagrinėjama tema. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikti daugiatisliai metodai, kurių pagalba yra vertinamas pastatų atnaujinimas, taip pat pristatomas sukurto metodo su intervalų sistema algoritmas.

Trečiajame skyriuje daugiatislis su intervalų sistema metodas pritaikomas pastatų modernizavimo vertinimui atlikti ir pateikiamas rezultatų vertinimas.

Disertacijos tema paskelbti septyni moksliniai straipsniai, iš kurių trys referuojami duomenų bazės Thomson ISI Web of Science cituojamuose žurnaluose, bei keturi straipsniai pristatyti tarptautinėse ir respublikinėse konferencijose.

Abstract

The thesis investigates residential and public buildings assessing the modernization of buildings in multicriteria methods.

The main aim of this work is to extend the evaluation methods of renovation of the building, offering multipurpose approach to the range evaluation system. The developed model can be used for assessing the modernization of buildings, modernization of payback, and setting modernized energy performance of buildings.

The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusions, references, author's publications on the topic and a list of three annexes.

The introductory chapter discusses the research problem, the relevance, described the object of research, formulates the aim of work and objectives, describes the scientific novelty and defended statements. At the end, the author delivers presentations, which were presented at the conferences and publications, the structure of the dissertation.

The first chapter provides a literature review and modernization of buildings problems and peculiarities. The chapter ends with conclusions and revised dissertation tasks.

The second chapter contains the traditional methods of multicriteria overview, also created the method algorithm with the interval system.

The third section describes the building modernization with multi timing system and method of the analysis of the results.

In this dissertation topic were published seven research papers, of which three are assessed by the database Thomson ISI Web of Science journal, and four articles presented at international and national conferences.

Žymėjimai

Simboliai

Q – šilumos sąnaudos;

U – šilumos perdavimo koeficientas;

p_{sat} – vandens garų slėgis;

DL – dienolaipsniai;

λ – šilumos laidumo koeficientas;

$\otimes x$ – rodiklio reikšmė apibrėžta intervalu (Deng 1982).

Santrumpos

MADM – *angl. Multiple Attribute Decision Making* – Daugiatikslis sprendimo priėmimo metodas;

MOORA – *angl. Multi-Objective Optimization by Ratio analysis* – daugiaktikslio optimizavimo santykių dydžių analizės pagrindu metodas;

MULTIMOORA – *angl. MOORA plus a Full Multiplicative Form Multi-Objective Optimization by Ratio analysis* – neraiškiosios santykių sistemos, neraiškiojo atskaitos taško, neraiškiosios pilnosios sandaugos formos metodas;

MOORA-G – *Multi-Objective Optimization by Ratio analysis with attributes values determined at intervals* – daugiaktikslio optimizavimo santykių dydžių analizės pagrindu metodas su rodiklių reikšmėmis, apibrėžtomis intervalu;

MULTIMOORA-G – *angl. MOORA plus a Full Multiplicative Form Multi-Objective Optimization by Ratio analysis with attributes values determined at intervals* – neraiškiosios santykių sistemos, neraiškiojo atskaitos taško, neraiškiosios pilnosios sandaugos formos metodas su rodiklių reikšmėmis, apibrėžtomis intervalu.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	5
1. PASTATŲ ATNAUJINIMO SPRENDIMAI IR JŲ REIKŠMĖ	7
1.1. Energiniai poreikiai pastatams pagal naudojimo paskirtį ir reikalavimai jiems ..	7
1.1.1. Tvarių pastatų vertinimo sistemos	12
1.1.2. Mažai energijos naudojantys pastatai	13
1.2. Pastato atnaujinimo sistemos ir konstrukciniai sprendimai.....	15
1.3. Šiluminiai srautai pastatuose	18
1.4. Pagrindiniai mikroklimato parametrai lemiantys šiluminį komfortą pastatuose.....	20

1.5. Komforto vertinimas pastatuose.....	22
1.6. Statybinių medžiagų senėjimo ir irimo priežastys.....	25
1.7. Daugiatikslių sprendimo metodų taikymas	28
1.7.1. Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai statyboje	28
1.7.2. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikavimas	32
1.8. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	37
 2. DAUGIATIKSLIAI VERTINIMO METODAI PASTATO ENERGIJOS	
POREIKIAMS ĮVERTINTI.....	39
2.1. Energijos sąnaudų skaičiavimas pastatuose	39
2.2. Pastato šilumos galios nustatymas.....	41
2.3. Daugiatikslinio vertinimo metodo parinkimas	43
2.4. Daugiatiksliai MOORA ir MULTIMOORA vertinimo metodai.....	47
2.4.1. Racionalaus varianto parinkimas MOORA metodu	47
2.4.2. Racionalaus varianto parinkimas MULTIMOORA metodu.....	50
2.4.3. Intervalų sistemos teorijos taikymas.....	52
2.4.4. Varianto parinkimas taikant rodiklius su apibrėžtais skaičių intervalais....	52
2.5. Antrojo skyriaus išvados	56
 3. PASTATŲ ENERGETINIO MODERNIZAVIMO VERTINIMAS NAUDOJANT	
DAUGIATIKSLIUS METODUS	57
3.1. Pastato šilumos nuostolių vertinimas	58
3.2. Pastato atitvarų šiluminės varžos nustatymas šilumos srauto prietaisu	62
3.3. Atitvaros tarpsluoksnių ir vidinio paviršiaus prognozavimas siekiant	
išvengti kritinio paviršiaus drėgnumo	66
3.4. Pastato išorinių atitvarų, inžinerinių sistemų matavimai termovizoriumi	71
3.5. Pastato fasado įstiklinimo ploto vertinimas MOORA metodu	76
3.6. Mūrinio pastato išorinių atitvarų įtaka energijos poreikio vertinimui	80
3.7. Pastato energinio modernizavimo vertinimas daugiatiksliau	
sprendimo priėmimo metodu, kai rodikliai apibrėžti intervalais.....	85
3.7.1. Pastato išorinių atitvarų techniniai duomenys	89
3.7.2. Pastato išorinių atitvarų racionalaus varianto parinkimas	92
3.8. Trečiojo skyriaus išvados	100
 BENDROSIOS IŠVADOS	103
 LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	105
 AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS ..	118
 PRIEDAI.....	120
A priedas. Pastatų energinio naudingumo skaičiavimo bendrieji principai.....	121
B priedas. Vertinamo pastato atitvarų techniniai duomenys	122
C priedas. Šilumos komforto vertinimo bendrieji principai	123

Contents

INTRODUCTION	1
Formulation of the problem.....	1
Research relevance	2
The object of the research.....	2
The aim of the work	2
The goals of the research	3
Methodology of the research	3
Scientific novelty of the research	3
Practical value of the research	4
Defined propositions	4
Research results approbation.....	5
Structure of dissertation.....	5
 1. BUILDING REFURBISHMENT SOLUTIONS AND THEIR IMPORTANCE	7
1.1. The energy consumptions of buildings by use and demands of them	7
1.1.1. Sustainable buildings assessment systems.....	12
1.1.2. Low energy buildings	13
1.2. Building upgrade systems and structural solutions	15
1.3. Heat flow in buildings	18
1.4. The main climatic parameters influencing thermal comfort in buildings.....	20
1.5. Assessment of comfort in buildings	22

1.6. Building materials aging and degradation causes.....	25
1.7. Application of multicriteria solution methods.....	28
1.7.1. Multicriteria decision making techniques in construction	28
1.7.2. Classification of the multipurpose decision-making methods	32
1.8. The conclusions of the first chapter and the tasks for dissertation	37
 2. MULTICRITERIA ASSESSMENT METHODS TO ASSESS BUILDING	
ENERGY NEEDS	39
2.1. Energy consuption calculation in buildings.....	39
2.2. Building thermal power setting	41
2.3. The assessment of multicriteria model selection	43
2.4. Multicriteria MOORA and MULTIMOORA evaluation methods.....	47
2.4.1. Rational variant selecting in MOORA method.....	47
2.4.2. Rational Option Selection in MULTIMOORA method	50
2.4.3. Interval system theory application	52
2.4.4. Variant selection based on indicators defined by the number of intervals .	52
2.5. The conclusions of second chapter.....	56
 3. BUILDING ENERGY MODERNIZATION ASSESSMENT USING	
MULTICRITERIA METHODS	57
3.1. Building heat loss assessment	58
3.2. Building envelope thermal resistance assessment using heat-flow device	62
3.3. Prognostication of interlayer and the inner surface of the prediction in order	
avoid critical surface humidity	66
3.4. Exterior building envelope, engineering systems exploring using	
thermovision.....	71
3.5. Building facade glazing area assessment using MOORA method	76
3.6. Mansory building envelope influence on energy demand assessment	80
3.7. The building energy modernization assessment using Multicriteria decision	
support method when attribute defined in intervals	85
3.7.1. Exterior building envelope technical data	89
3.7.2. Building exterior envelope rational option selection	92
3.8. The conclusions of the third chapter	100
 GENENERAL CONCLUSIONS.....	103
 LITERATURE.....	105
 THE LIST OF AUTHER PUBLICATIONS ON TOPIC OF DISSERTATION.....	118
 ANNEXES.....	120
Annex A. Building energy performance of the general principles	121
Annex B. Assessed building envelope specifications.....	122
Annex C. Thermal comfort assessment of the general principles	123

Ivadas

Problemos formulavimas

Dauguma pastatų Lietuvoje buvo pastatyti 1960–1989 metais. Statinių statymo laikotarpiu buvo mažai galvojama apie pasaulyje esančius išteklius, jų poreikius ateityje eksploatuojant neefektyvius pastatus. Kiekviename dešimtmetyje ekonomikai įgaunant vis didesnę pagreitį, žemės išteklių vartojimas, esamas jų kiekis, neaplenkiant ir užterštumo, tapo opi problema būsimoms kartoms.

Cituojant ES strategiją (Europos Parlamentas ir Taryba 2009): „Tvarios plėtros strategijoje (TPS), reiškia, kad dabarties kartos poreikiai turėtų būti tenkinami nekeliant pavojaus ateities kartų galimybei patenkinti savuosius. Tai yra visiems svarbus Europos Sąjungos tikslas, suformuluotas sutartyje ir nulemiantis visas Sąjungos politikos kryptis ir veiklą. Juo skatinama dinamiška ekonomika, užimtumas ir aukštas švietimo, sveikatos apsaugos, socialinės bei teritorinės sanglaudos ir aplinkosaugos lygis taikiamame ir saugiamame pasaulyje, kuriame gerbiama kultūrų įvairovė. Pagrindinis mūsų visų iššūkis šiame kontekste – palaipsniui keisti mūsų dabartinius netvarius vartojimo ir gamybos modelius bei neintegruotą politikos formavimo tvarką.“

Matematinių modelių sukūrimas ir jų praktinis pritaikymas siekiant išgauti geriausius ekonominius rodiklius, tampa racionalios statybos pagrindu. Kiekviena nauja statyba ar pastatų modernizacija, unikali dėl statybos procesų ir sąlygų

unikalumo, o modeliavimas padeda šiuos procesus numatyti ir suvaldyti. Darbe pateikiamas teorinis modelis praktiškai pritaikytas pastatų atnaujinimo sprendimams vertinti. Pateiktas teorinis modelis taip pat gali būti praktiškai pritaikytas sprendimams vertinti naujos statybos planavimo etape ir kituose pastato gyvavimo proceso etapuose.

Darbo aktualumas

Didėjant žmonių skaičiui ir vartojimui, kuro kainos didėjo geometrine progresija, išteklių kaina šiandieną svarbus kriterijus valstybinių, savivaldybių ir galutinio vartotojo lygmeniu, ateityje bus dar aktualesnis. Statyba yra viena iš pagrindinių pramonės šakų, kurioje darnioji plėtra yra įgyvendinama sparčiausiai. Šiuo metu ypač daug dėmesio yra skiriama gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo procesui, kuris, tikėtina, dar sparčiau tęsis iki 2020 metų, kuomet visi nauji, modernizuoti pastatai turės būti nulinės energijos vartojimo (Europos Parlamentas ir Taryba (2010)). Pastato projektavimo metu aplinkosauginius, architektūrinius, konstrukcinius ir inžinerinius veiksnius reikės vertinti kompleksiškai. Kompleksiškai vertinami uždaviniai neapsiriboja keletu kriterijų, o vertinamos alternatyvos dažnai parenkamos ne racionalios. Todėl pastatų modernizavimo uždaviniui spręsti būtina ieškoti naujų sprendimo būdų ir sprendimo metodų variacijų, kurie ateityje garantuotų optimalų atnaujinimo investicijų atsipirkimo laiką.

Tyrimų objektas

Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimas, taikant daugiatislius vertinimo metodus MOORA-G ir MULTIMOORA-G, kai rodiklių reikšmės yra apibrėžtos intervalų sistema.

Darbo tikslas

Patobulinti pastato atnaujinimo vertinimo metodus, pasiūlant daugiatislio intervalų sistemos vertinimo metodą, kuris leistų pastato atnaujinimo metu racionaliai parinkti pastato atitvaras, atnaujinti inžinerines sistemas ir nustatyti tikslų pastato atnaujinimo poreikį joms. Šis modelis leis naudotojams atlikti pastato konstrukcijų šilumos nuostolių būklės vertinimą ir sudaryti įvairias pastato atitvarų atnaujinimo alternatyvas, jas palyginti bei atrinkti racionaliausią.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti, keliama sekantys uždaviniai:

1. Išanalizuoti pastatų modernizavimo vertinimo metodus, praktiškai įvertinti išorinių atitvarų techninių savybių priklausomybę nuo kritinių atmosferinių, nusidėvėjimo ir kitų poveikių.
2. Sudaryti modelius svarbiausiems atnaujinamų pastatų procesų uždaviniams sprendžiamiems projektavimo ir planavimo etape.
3. Patobulinti daugiatislio vertinimo metodą, kurio pagalba būtų greičiau ir racionaliau įvertinamas pastato efektyvus atnaujinimo variantas ir investicijų atsiperkamumas.
4. Praktiškai patikrinti naujo daugiatislio vertinimo metodo, veiksmingumą pastato modernizavimo projektavimo, planavimo etape, prieš pastato atnaujinimą ir po jo.

Tyrimų metodika

Atliekant pastato ir jį įtakančios aplinkos tarpusavio ryšių vertinimą, nustatomi objektyviam pastato modernizavimui vertinti priimtini kriterijai ir rodikliai. Atsižvelgiant į techniškai sudėtingą pastato ir aplinkos tarpusavio ryšį, taip pat didelį duomenų kiekį, disertacijoje taikomas naujai sukurtas daugiatislio vertinimo metodo, kai reikšmės apibrėžtos intervalu, algoritmas. Algoritmas įgalina daugiatisliais metodais vertinti rodiklius ir kriterijus apibrėžtus intervalais. Darbo rengimo metu remtasi užsienio ir Lietuvos mokslininkų publikacijomis, tyrimais, įvairių institucijų statistiniais duomenimis ir ataskaitomis.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Atlikta kompleksinė išorinių atitvarų ir inžinerinių sistemų analizė. Daugiatislių metodų taikymas parodė, kad projektavimo metu pateikiami pastato atitvarų atnaujinimo pasiūlymai yra gana menkai pagrįsti ir sprendžia siaurą problemą. Darbe pateiktas naujas teorinis daugiatislis modelis, kuris leidžia parinkti racionalias išorinių atitvarų ir inžinerinių sistemų atnaujinimo variacijas kiekvienam pastatui ar jų grupei pagal technines savybes.

2. Disertacijoje pateiktas gyvenamojo pastato modernizavimo periodinis grafinis atvaizdavimas.
3. Pasiūlytas naujas daugiatakslio metodo algoritmas padedantis nustatyti nagrinėjamo pastato išorinių atitvarų ir inžinerinių dalių modernizavimo būtinumą. Metodus įgalina parinkti atnaujinimo alternatyvas, jas palyginti bei parinkti tinkamiausia.
4. Pastatų modernizavimo uždaviniais spręsti, pritaikyti daugiatakslio vertinimo metodai MOORA ir MULTIMOORA, kai reikšmės apibrėžtos intervalais.
5. Nustatyti eksperimentiniai ir teoriniai pastatų išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai, pastatų suminis šilumos suvartojimas, patalpų vidaus mikroklimatas, rasti dydžiai palyginti su reglamentuotais dydžiais Lietuvos higienos normose ir statybos reglamentuose.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Tyrimų rezultatai gali būti naudojami pastatų modernizavimo eigoje, vertinant būtinų konstrukcijų ar inžinerinių sistemų atnaujinimą. Sukurtas daugiatakslio vertinimo metodo algoritmas, įvertinantis informacijos neapibrėžtumą taikant intervalų sistemos teorijas gali būti pritaikytas ir kitų uždavinių sprendimui, ne tik statybos srityje.

Ginamieji teiginiai

1. Pastatų modernizavimas turėtų būti vykdomas kiekvienam pastatui individualiai, vertinant pastato padėtį pasaulio šalių atžvilgiu, atmosferinių kritulių įtaką, pastato atitvarų medžiagas, vidinius šilumos išsiskyrimus pastate ir individualius vartotojų šilumos poreikius.
2. Energijos vartojimo efektyvumo didinimas pastatuose turi remtis ekonominiu, aplinkosauginiu, technologiniu, socialiniu taip pat ir teisiniu aspektais.
3. Vertinant pastatų modernizavimo efektyvumą ar spendžiant kitokį uždavinį, turintį didelį kiekį duomenų, yra tikslinga naudoti daugiatakslius metodus, kai rodiklių ir kriterijų reikšmės yra apibrėžtos intervalais.

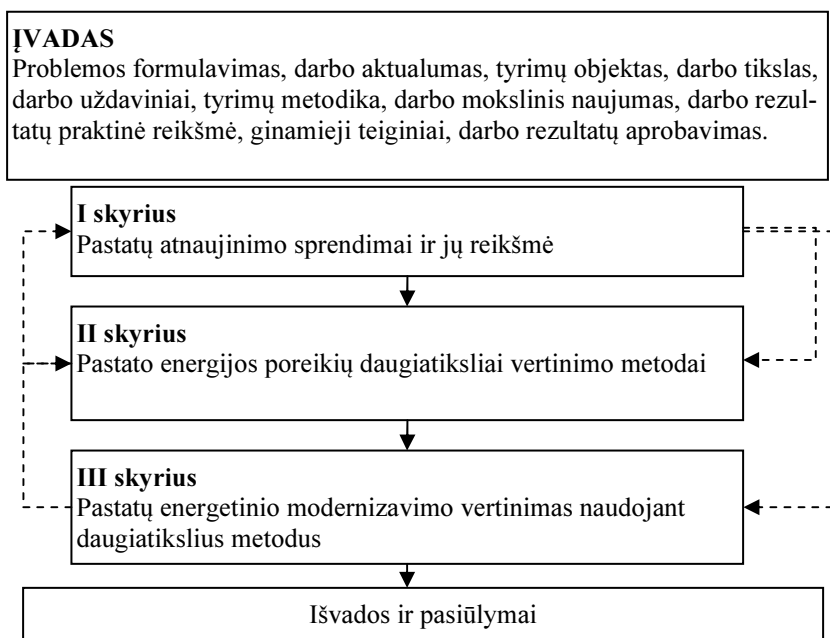
Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 7 moksliniai straipsniai: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson Reuters ISI Web of Science sąrašą – Kracka *et al.* (2010a); Brauers *et al.* (2012); Kracka, Zavadskas (2013); trys – recenzuojamoje tarptautinės konferencijos medžiagoje Kracka *et al.* (2010b); Kracka *et al.* (2011); Tamosaitienė *et al.* (2013), vienas – kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų medžiagoje Medineckiene, Kracka (2011).

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, rezultatų apibendrinimas ir trys priedai, disertacijos struktūra pateikta 1 paveiksle.

Darbo apimtis yra 119 puslapių, neskaitant priedų, tekste panaudotos 47 numeruotos lygtys, 49 iliustracijos, 36 lentelės. Rašant disertaciją buvo naudota si 191 literatūros šaltinių.



1 pav. Disertacijos struktūra
Fig. 1. Structure of the dissertation

Pastatų atnaujinimo sprendimai ir jų reikšmė

Gyvenamosios ir darbo aplinkos gerinimas yra vienas iš svarbiausių prioritetų modernizuojant pastatus. Lietuvoje yra dar daug būstų pastatytų sovietmečiu ir neatitinkančių šių dienų statybos techninių reglamentų, higienos normų reikalavimų. Kylant energinių išteklių kainoms vis daugiau gyventojų susirūpina rytdienos būsto šildymo kainomis. Tačiau tik nedaugelis ryžtasi atnaujinti savo būstus, ypačiai daugiabučių pastatų gyventojai. Priežasčių lemiančių tokį faktą gali būti įvairių: politinių, socialinių, finansinių ir t. t. – darbo tikslas nėra šias priežastis nagrinėti. Mokslinio darbo tikslas apžvelgti esamą gyvenamųjų pastatų padėtį Lietuvoje, modernizavimo atlikimo galimybes ir reglamentuojančius teisės aktus, atlikti senos statybos daugiabučių ir visuomeninės paskirties pastatų efektyvaus atnaujinimo daugiatislę analizę, taip pat įvertinanti modernizavimo darbų atsipirkimo laiką.

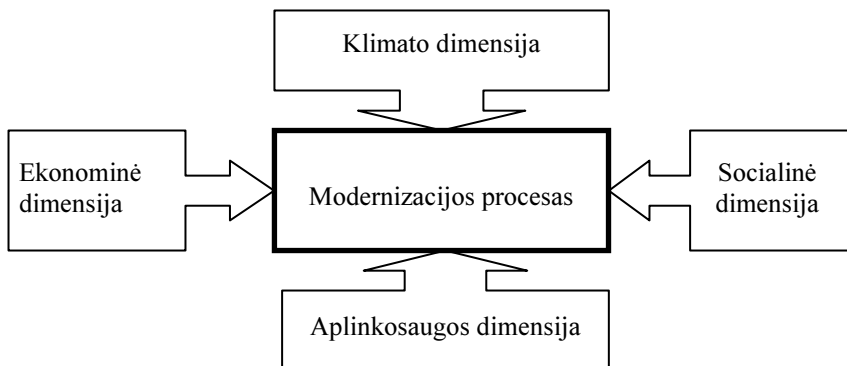
1.1. Energiniai poreikiai pastatams pagal naudojimo paskirtį ir reikalavimai jiems

Pastatai pagal naudojimo paskirtis yra apibrėžiami statybos techniniame reglamente (STR 1.01.09:2003) ir skirstomi į dvi pagrindines gyvenamųjų ir

negyvenamųjų pastatų grupės. Minėtos grupės yra skirstomos pogrupius, kai gyvenamųjų pastatų grupė turi keturis pogrupius, negyvenamųjų pastatų grupė turi dvidešimt du pogrupius. Pastatas priskiriamas vienai ar kitai paskirties grupei (pogrūpiui), jeigu jo visas bendrasis plotas arba didžiausioji jo dalis yra naudojama tai paskirčiai. Pastato paskirtis leidžia pastatui taikyti techninius standartus, reikalavimus, tokius kaip šiluminės energijos norminis suvartojimas ploto vienetai per laiko tarpą, pastato atitvaroms norminiai reikalavimai ir t.t. Atliekant pastato atnaujinimo darbus yra teikiamos rekomendacijos pastato išorinėms atitvaroms šiluminiu požiūriu, tačiau nėra sistemos, kuri leistų patvirtinti ar reglamentuoti nurodyta norminė reikšmė yra tinkamiausia nagrinėjamu atveju.

Energinių sąnaudų mažinimas pastatų eksploatavimo metu svarbus ne tik ekonominiu, tačiau ir ekologiniu požiūriu, kiekviena nesunaudota energijos kilovatvalandė yra švaresnė mus supanti aplinka. Pastatų statybos principus skirtingais masteliais, savo darbuose nagrinėjo nemažai mokslininkų: miestų gyvenamųjų rajonų ir būstų darnos daugiataikslį vertinimą atliko Viteikienė (2008); darnaus miesto vystymosi daugiataikslę selektonovaciją tyrė Šaparauskas (2004); visuomeninių pastatų atnaujinimą pagal darnos principus nagrinėjo Mickaitytė (2008), Zheng *et al.* (2011a); daugiataiksliais vertinimo metodais darniam pastatų gyvavimo ciklui modelius tyrė Turskis (2009), Pons, Aguado (2012), nekilnojamąjį turtą daugiataikslių metodų pagalba vertino Kanapeckienė *et al.* (2011), tačiau jų tikslas išliko toks pat, mažinti suvartojamus resursus ateityje ir gerinti aplinkosaugą.

Remdamasis mokslinių tyrimų ir šaltinių apžvalga, 1.1 paveiksle pateikta pastato modernizavimo proceso priklausomybė nuo įtakojančių veiksnių schema.



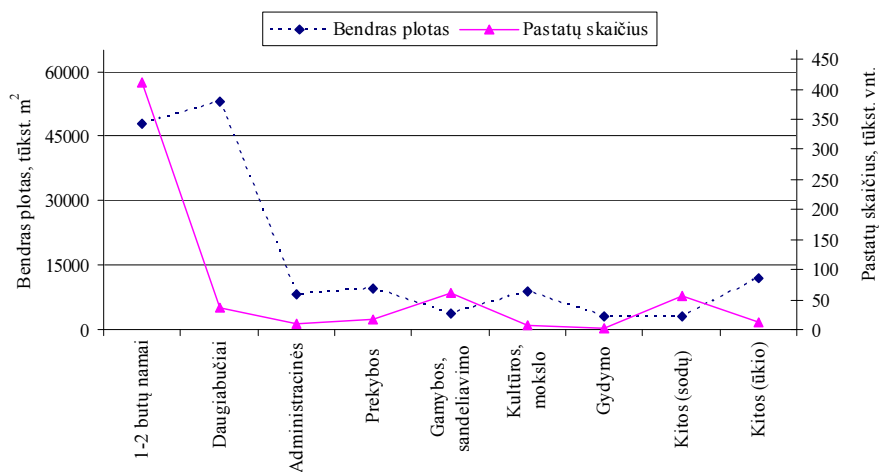
1.1 pav. Pastato modernizacijos proceso eigą įtakojantys veiksniai

Fig. 1.1. Building modernization process influencing factors

Pastatų atnaujinimo vertinimą pagal pirminę suvartotą energiją, poveikį aplinkai ir ekonominę naudą atliko Anastaselos (*et. al.* 2011), Martinaitis (1999),

Uzsilaityte, Martinaitis (2012), socialinius aspektus ir įtaką pastatų atnaujinimui tyrė Haapio, Viitaniemi (2008).

Lietuvoje esančių pastatų didelė dalis yra privatūs pastatai. Jie sudaro apie 97 % ir tik 3 % pastatų priklauso savivaldybių nuomos fondui. Remiantis Lietuvos būsto strategija (Lietuvos Respublikos Vyriausybė 2013) iki 2020 metų siekiamybė yra sumažinti šilumos energijos santykinės sąnaudos iki 30 %. Per laikotarpį nuo 2004 iki 2020 metų turėtų būti modernizuoti 70 % daugiabučių pastatų. Jeigu šis tikslas būtų pasiektas sumažėtų kuro sąnaudos apie 30 %, toks kiekis įtakotų nustatant šilumos kainą, taip pat sumažėtų valstybės skiriamos kompensacijų sumos gyventojams už brangų šildymą. Tačiau tokie skaičiai gali likti tik tuščia statistika, pagal Lietuvos būsto strategiją turėtų būti atnaujinami 1857 daugiabučiai pastatai kasmet. Siekiant įgyvendinti užsibrėžtus tikslus, per likusius metus reikėtų atnaujinti po 2513 neatitinkančius statybos techninių reikalavimų ir higienos normų daugiabučių namų kasmet. Lietuvoje yra apie 511321 gyvenamų pastatų, daugiabučių gyvenamųjų namų 35500 iš jų 34246 daugiabučiai pastatyti iki 1993 metų, tai sudaro 96 % daugiabučių namų Lietuvoje (1.2 pav). Vienam gyventojui vidutiniškai tenka 23,80 m² naudingojo ploto.



1.2 pav. Lietuvoje esančių pastatų bendras skaičius ir plotas (statistikos departamentas 2012)

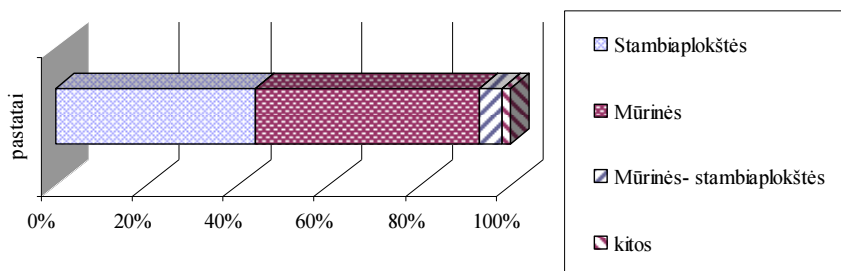
Fig. 1.2. The total number of buildings and the area in Lithuania (Department of Statistics 2012)

Gyvenamieji namai apima per 55 % visų pastatų bendrojo ploto ir viršija 100 mln. m². Daugiabučiai kartu su vieno ir dviejų butų namais užima didesnę šio ploto dalį, kas sudaro 449,15 tūkst. Daugibutis namas pagal STR 1.01.09:2003 „Statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį“ yra trijų ir daugiau butų gyvenamasis namas, apie 21 tūkst. daugiabučių yra vieno ir dvie-

jų aukštų pastatuose, nors jie tesudaro 15 % bendrojo visų daugiabučių ploto. Tokiuose namuose vidutiniškai yra po 6 butus. Apie 65 % daugiabučių ploto užima trijų – penkių aukštų namai, kuriuose yra vidutiniškai po 40 butų, tokių pastatų yra apie 14,4 tūkst. Aukštesnių nei penki aukštai daugiabučių yra apie 2,5 tūkstančio, šiuose daugiabučiuose yra po 72 butus.

2008 metais Lietuvos miestuose gyvenamojo fondo metinis prieaugis buvo 2 %, kai vidutiniškai paskutinį dešimtmetį pasipildydavo po 0,5 %.

Didesnė dalis Lietuvoje esančių daugiabučių gyvenamųjų pastatų sienos konstruktyvas yra stambiaplotės ir mūrinės (1.3 pav.).



1.3 pav. Lietuvoje esančių daugiabučių pastatų sienų konstruktyvų tipai (Statistikos departamentas 2012)

Fig. 1.3. The apartment building walls constructive types in Lithuania (Department of Statistics 2012)

Kitų sienų tipų namams priklauso pastatai su monolitinėmis, medinėmis ar keramzitbetonio išorės sienomis.

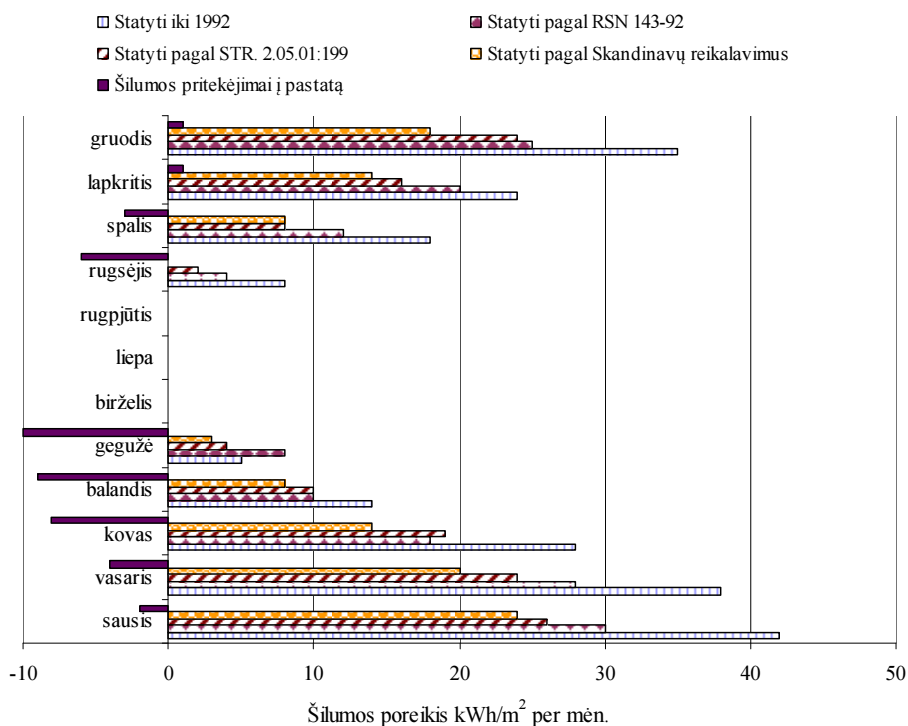
Lietuvoje vyrauja septynių tipų stambiaplotščiai, keturių tipų monolitiniai ir šešių tipų mūriniai pastatai, pastatų techniniai duomenys pateikti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Stambiaplotščių daugiabučių tipai Lietuvoje (Ignatavičius, Skrodenis (2011))

Table 1.1. Types of multi-panel buildings in Lithuania (Ignatavicius, Skrodenis (2011))

Pastato serija	Aukštų skaičius, vnt	Butų skaičius pastate, vnt	Bendras plotas, m ²
I-464LI-18/1	5	30	1725
120V-06/1	5	20	1069
1605A	5	60	2876
1-464A-14LT	5	120	5803
120V-027/1	9	36	2212
I-464LI-53/1	9	72	3783
1/3905	12	60	2890

2009 m. kovo pradžioje Vyriausybė patvirtino daugiabučių namų modernizavimo programos ir valstybės paramos daugiabučiams namams modernizuoti teikimo ir investicijų projektų energinio efektyvumo nustatymo taisyklių pakeitimus. Pakeitimų tikslas – nustatyti didžiausią valstybės paramos dydį vienam daugiabučio namo naudingo ploto kvadratiniam metrui. Peržiūrėjus anksčiau atliktus investicinius projektus, daugiabučiam modernizuoti, galima teigti, kad, įgyvendinant tas pačias energiją taupančias priemones, investicijų dydis, tenkantis gyvenamojo namo naudingo ploto kvadratiniam metrui, priklausys nuo modernizuojamo namo dydžio. Gyvenamųjų namų vidutinis šilumos energijos suvartojimas priklausomai nuo statybos laikotarpio, techninių parametrų, pastato statybos metu galiojusių statybos normų yra skirtingas (1.4 pav.).



1.4 pav. Energijos sąnaudos būste (KTU Architektūros ir statybos instituto duomenys 2007)

Fig. 1.4. Energy consumption in a building (The data of KTU Institute of Architecture and Construction, 2007)

Apie 66 % šalies gyventojų gyvena daugiabučiuose pastatuose, pastatytuose iki 1992 metų. Vienam tūkstančiui gyventojų tenka 382 senos statybos butai.

1.1.1. Tvarių pastatų vertinimo sistemos

Pagrindinis aspektas tvarios statybos idėjoje, jog dabarties kartos poreikiai turėtų būti tenkinami nekeliant pavojaus ateities kartų galimybei patenkinti savuosius.

Vertinimo sistemos pasaulyje: HQE® (Haute Qualité Environnementale 2009) – Prancūzijos tvaraus pastato sertifikatas biurams ir komerciniams pastatams, turintis įvertinimus: PAKANKAMAI GERAS, GERAS, LABAI GERAS ir PUIKUS. Vertinimo sistemą sudaro 4 sričių rodikliai: energetikos, aplinkos apsaugos, sveikatos apsaugos ir komforto.

NF HQE® biurams ir komerciniams pastatams – Prancūzijos tvaraus pastato sertifikatas biurams ir komerciniams pastatams. Vertinimo sistemą sudaro 4 sritys: ekologinis projektavimas / vandens, energetikos ir atliekų aplinkosauginis tvarkymas ir šių paslaugų tiekimas / sveikatos apsauga / komfortas, padalintos į 14 rodiklių. Siekiant sertifikuoti pastatą, jo kriterijai turi pasiekti bazinį lygį pagal bent 7 rodiklius – minimalūs reikalavimai pagal 4 rodiklius ir aukšti reikalavimai pagal 3 rodiklius. Sertifikuotas pastatas gauna aukštos kokybės ženklą (HPE) ir HQE® pasą Maissa, Vinot (2009).

NF HQE® gyvenamiesiems pastatams – Prancūzijos tvaraus pastato sertifikatas biurams ir komerciniams pastatams. Vertinimo sistemą sudaro 4 sritys (ekologinis projektavimas / vandens, energetikos ir atliekų aplinkosauginis tvarkymas ir šių paslaugų tiekimas / sveikatos apsauga / komfortas), padalintos į 14 rodiklių. Siekiant sertifikuoti pastatą, jo kriterijai turi pasiekti bazinį lygį pagal bent 7 rodiklius – minimalūs reikalavimai pagal 4 rodiklius ir aukšti reikalavimai pagal 3 rodiklius. Sertifikuojamas pastatas gali gauti aukšto (HPE) arba labai aukšto (THPE) įvertinimo energetinio naudingumo sertifikatą arba THPE EnR (Jei buvo panaudoti atsinaujinantys energijos ištekliai).

H&E – Gyvenamojo būsto ir gyvenamosios aplinkos Prancūzijos HQE® pasą sudaro 7 aplinkosauginės temos: ekologinis pastatas, švarios statybos procesas, energetika ir anglies dvideginis, vanduo, sveikatos apsauga ir komfortas, „žalieji“ akcentai.

BBC – Prancūzijos energetinio naudingumo sertifikatas, kurio pagrindinis reikalavimas - energijos sunaudojimas. Gyvenamosios paskirties pastatams – 50 kWh/m² (reikalavimai gali šiek tiek skirtis priklausomai nuo regiono ir vietos).

BREEAM – Anglijos tvaraus pastato sertifikatas: pastatai gali būti skirstomi į PAKANKAMAI GERAS, GERAS, LABAI GERAS, PUIKUS ir PUIKUS-IŠSISKIRIANTIS IŠ KITŲ. Sistemą sudaro vertinimas pagal 8 sritis (valdymas, sveikatos apsauga ir gerbūvis, energetika, transportas, vandens, žemės panaudojimas ir vietovės ekologinis sutvarkymas, medžiagų panaudojimas, atliekų tvarkymas, tarša) gali būti pritaikytas specialiems pastatų tipams Schweber (2013).

Modernizuotą ir pritaikytą Lietuvai BREEAM sistemą taiko Alchimoviene, Raslanas (2011).

DGNB – Vokietijos tvaraus pastato sertifikatas: pastatai gali gauti BRONZINĮ, SIDABRINĮ ir AUKSINĮ sertifikatus. Sistemą sudaro vertinimas pagal 6 sritis, laikantis prie vietinių kriterijų Eberl (2010).

PassiveHaus – Vokietijos Passivehaus mažo energijos suvartojimo ir anglies išskyrimo standartas, kuriam pasiekti svarbiausi kriterijai yra geras pastato šiluminis izoliavimas ir atitvarų sandarumas. Kartu su energetinio efektyvumo reikalavimais svarbus dėmesys skiriamas yra ir kitiems aplinkosauginiams rodikliams.

MINERGIE – Šveicarijos aukštos kokybės sertifikatas garantuojantis komfortą ir mažą energijos suvartojimą pastatuose. Pagrindiniai reikalavimai naujiems vienbučiams ir daugiabučiams gyvenamiesiems pastatams yra 38 kWh/m²/metai, o modernizuojamiems 60 kWh/m²/metai, priimant dėmesį apie investicijų kiekį. Pritaikant MINERGIE - ECO sistema Ruhle, Lenel (2010) vertino gyvenimo kokybę numatytame pastate.

LEED – JAV Žaliųjų pastatų tarybos sertifikavimo sistema visiems naujai statomiems ir atnaujinamų pastatų tipams. Pastatai gali gauti PAPRASTĄ SERTIKATĄ, SIDABRINĮ, AUKSINĮ ir PLATININĮ. Vertinimo sistemą sudaro 6 sričių rodikliai: tvari vietovė, vandens suvartojimo efektyvumas, energetika ir atmosfera, medžiagos ir ištekliai, pastato vidaus aplinkosauginė aplinka, projekto inovacijos ir regiono prioritetai Baumann *et al.* (2009).

ITACA įvertinimas – ITACA pastato aplinkos kokybės vertinimo sistemą sudaro 12 rodiklių ir 8 subrodikliai padalinti į 2 vertinimo laukus. Yra 7 skirtingi efektyvumo lygiai nuo -1 iki 5. (-1) įvertinimas atitinka standartinį energijos efektyvumą ir standartinę statybos praktiką.

VERDE – GBCe's aplinkosauginį sertifikatą gali gauti pastatai sunaudojantys mažiau energijos negu įprasti pastatai su standartiniais reikalavimais apibrėžtais įstatymais ir galiojančiais normatyviniais teisės aktais. VERDE yra nepriklausoma organizacija vertinanti skalėje nuo 0 iki 6.

PENS – Pastatų energinio naudingumo sertifikavimas yra vykdomas Lietuvoje. Sertifikatas įvertina pastatus pagal naudingumo klases į devynis lygius, žymimomis raidėmis nuo G iki A++.

1.1.2. Mažai energijos naudojantys pastatai

Mažai energijos vartojantys pastatai kurie nuo projektavimo, technologinių įrenginių ir medžiagų panaudojimo pasižymi mažesniu energijos kiekio suvartojimu nei vidutiniškai naudojantis pastatas. Apibrėžimai pagal suvartotos energijos kiekį valstybėse skiriasi, kadangi nacionaliniai teisės aktai ir reglamentai, kaip ir vidutinės šalių temperatūros varijuoja pasaulyje. Tad ir apibrėžimai bei

energijos poreikiai yra skirtingi. Europos sąjungoje mažai vartojantis pastatas turi septyniolika skirtingų apibrėžimų Erhorn *et al.* (2008). Tarkime, Europoje pastatas priskiriamas mažai vartojančių klasei, kai suvartoja 30 kWh/m² ir iki 20 kWh/m² (Vokietija, Šveicarija). Dar mažiau energijos suvartojantys pastatai iki 15 kWh/m² yra vadinami pasyvūs namai (Passivhaus). Pasyvaus namo suvartojamos energijos (šildymui, ventiliacijai ir karštam vandeniui ruošti) monitoringą Londone esančiame name tyrė Ridley *et al.* (2013). Pasyvaus namo išorinių sienų konstruktyvinius skirtumus ventiliuojamo ir tinkuotų fasadų, jų įtaką pastato atitvaros temperatūrai ir drėgmei nagrinėjo Mlakar, Strancar (2013). Pasyvaus namo atitvarų ir inžinerinių sistemų techninius parametrus, kurie lemia namo suvartojamos energijos kiekį eksploatacijos metu ir atsparumą perkaitinimui šiltu periodu tyrė Persson, Westermarck (2012). Kaklauskas *et al.* (2012) pristatė pasyvių namų kokybinį ir kiekybinį vertinimo modelį. Modelio pagalba galima vertinti šilumos energijos poreikius, mikroklimatą, estetinę vertę, komfortą, ekonomiką, gyvenimo kokybę ir kitus rodiklius.

Pastatai, kurie per metus suvartoja vidutiniškai nulį energijos yra vadinami nulinės energijos pastatais (Zero – energy – houses). Tokiems pastatams būdinga energiją gauti iš atsinaujinančių energijos šaltinių saulės kolektorių, geoterminio šildymo. Pastatai, kurie suvartoja mažiau energijos eksploataavimo metu, nei jos perduoda į vartotojų energijos (elektros) tinklų sistemas yra vadinami energiją pridedančiais pastatais (energy – plus – houses).

Pasyvių namų apibrėžimas kildinamas nuo 1988 m. Švedų profesoriaus Bo Adamson ir Vokiečių profesoriaus Wolfgang Feist. Pasyvieji namai – tai pastatai kuriuose užtikrinamas patogus mikroklimatas vasarą ir žiemą be papildomų šildymo sistemų. Pasyviųjų namų standartas centrinėje Europoje reikalauja, kad pastatas atitiktų pagrindinius reikalavimus:

- metinė pastato suvartojamos energijos dalis turi būti iki 15 kWh/m² šildymui ir iki 15 kWh/m² per metus vėsinimui arba didžiausia šilumos apkrova iki 10 W/m²;
- pirminės energijos sąnaudos (karštam vandeniui, elektrai) turėtų būti ne didesnės nei 120 kWh/m² per metus;
- pastate neturėtų būti oro eksfiltracijos daugiau 0,6 karto nei esamas namo tūris per valandą ($n_{50} \leq 0,6/\text{val.}$) prie slėgio 50 Pa.

Mažai energijos vartojantys pastatai paprastai neturi griežtos architektūros ar specialaus užstatymo tipo Kaklauskas *et al.* (2011). Architektūrą diktuoja noras ir viltis suprojektuoti, pastatyti ir įrengti mažai energijos vartojantį pastatą. Pastatas turi būti suprojektuotas ir pastatytas ar modernizuotas taip, kad paminėti jutimai nekeltų grėsmės sveikatai ir atitiktų darbui, poilsiui bei miegui būtinas komfortines aplinkos sąlygas Hamdy *et al.* (2011b).

1.2. Pastato atnaujinimo sistemos ir konstrukciniai sprendimai

Statybos sektorius, sudaro apie 40 % bendro energijos suvartojimo Europoje. Kadangi 20 % bendro energijos suvartojimo šiame sektoriuje naudojama vandens šildymui, darytina išvada, kad 8 % visos energijos Europoje suvartojama vandens šildymo tikslais, kuris suteikia puikias galimybes taupyti energiją Golic *et al.* (2011) siūlo įvairias galimybes pasiekti didesnę energijos efektyvumą įdiegiant saulės energiją į vandens pašildymo sistemą (SWHS – *Solar water heating systems*). Tinkama technologija atsinaujinančių energijos šaltinių (RES – *renewable energy source*) naudojimo, būtų taikoma gyvenamųjų pastatų atnaujinimui, tokiu būdu generuojant tiek iškastinio kuro taupymą, tiek mažesnę CO₂ kiekį. Dėl savo sudėtingumo, SWHS sistemos integracijai, reikalingas visapusiškas požiūris: yra svarstoma funkcinė ir estetinė, energijos veiksmingumo reikalavimų ir ekonominių, ekologinių aspektų nuo konceptualaus projekto iki projektavimo įgyvendinimo.

Miesto rajonams pastatų centralizuotos šiluminės energijos sistemos vertinimą, parenkant šiluminės energijos šaltinius: gamtines dujas, biomasę (medienos granulės), atliekas ir geoterminį šildymą, taikant PROMETHE daugiatislį metodą atliko Ghafghazi *et al.* (2010). Vertinimas buvo atliekamas Vankuverio miesto (Kanada) pavyzdžiu. Du skirtingi scenarijai buvo sukurti siekiant nustatyti kaip tarp dviejų suinteresuotų šalių bendravimas paveikia kriterijų svorius ir alternatyvų reitingavimą. Rezultatai parodė, kad be abiejų šalių komunikacijos geriausias energijos šaltinis yra kiekvienai suinteresuotai šaliai skirtingas. Tačiau, kai problema sprendžiama per dalykinį bendravimą, rezultatas buvo priimtas bendras. Tiriamu atveju medienos granulės buvo priimtose, kaip geriausia energijos alternatyva visoms suinteresuotosioms šalims.

Autoriai Zavadskas *et al.* (2008a), Ginevicius *et al.* (2008) pastato konstrukcijų vertinimui taiko daugiatislius metodus. Pastato inžinerinių sistemų: šildymo, vėdinimo oro kondicionavimo suderinamumą naujuose ir jau pastatytuose daugiabučiuose pastatuose daugiatislių metodų pagalba vertina Avgelis, Papadopoulos (2009), Mroz (2010), visuomeniniuose pastatuose inžinerinių sistemų vertinimą atlieka Kusiak *et al.* (2011b), Neube, Riffat (2012), Lee, Lin (2011), administracinės paskirties pastatams (Kusiak *et al.* (2011a) viešbučių paskirties pastatams Chan (2012), gamybos paskirties pastatams Chinese *et al.* (2011), komerciniams pastatams Kanagaraj, Mahalingam (2011), Liu *et al.* (2010).

Siekiant sukurti dinamišką vertinimo priemonę Pons, Aguado (2012) naudojo darnaus vertinimo metodą MIVES (MIVES – *Modelo Integrado de Valor para una Evaluacion Sostenible*), kurio dėka vertino mokslo paskirties pastatų architektūrą, kuri turėtų mažiausią įtaką aplinkai, socialiniam poveikiui,

ekonominiam kaštam, tačiau būtų galimybė atlikti greitą statybą, Katalonijos regione Ispanijoje.

Ochoa *et al.* (2012) daugiatislių metodų pagalba vertino langų parinkimo galimybes, priklausančias nuo šilumos nuostolių, šviesos patekimo į patalpą, langų techninių charakteristikų, pastato fasadų orientacijos pagal pasaulio šalis ir pastato suminės energijos sąnaudų.

Energiškai efektyvaus namo reikšmės lemiančios pastato energinį efektyvumą nustatytos apžvelgiant literatūros šaltinius ir pateiktos grafiniu atvaizdavimu (1.5 pav.).



1.5 pav. Pagrindiniai energetiškai efektyvaus pastato principai
Fig. 1.5. Basic principles of energy efficient building

Pastato energinis efektyvumas priklauso nuo architektūrinės, konstruktyvinės, inžinerinės ir eksploatacijos įtakos. Pastato projektavimo metu efektyvumą įtakančius veiksnius galima numatyti ir sukontroliuoti. Tačiau modernizavimo metu, esamo pastato orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu ar pastato užstatymo tūrio, be pastato kapitalinio remonto pakeisti nebus įmanoma. Modernizavimo etape, dėmesys tenka išorinių atitvarų, inžinerinių sistemų atnaujinimui ir aplinkos sutvarkymui.

Darbe minima atitvara yra pastato elementas skiriantis patalpas nuo lauko ar pastato patalpų, kurių oro temperatūra skiriasi daugiau nei $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pastate esančiomis atitvaromis yra vadinami šie elementai: Stogas – sutapdintas stogas, šlaitinis stogas, perdanga į nešildomą palėpę, ertmę; Perdanga – perdanga skirianti patalpas nuo lauko, ar nuo patalpos kurios oro temperatūra yra žemesnė nei $4\text{ }^{\circ}\text{C}$; Grindys – grindys ant grunto; Sienos – išorinės sienos, pertvaros skiriančios patalpas kurių temperatūrų skirtumas yra didesnis nei $4\text{ }^{\circ}\text{C}$; Langai – langai, stiklo sienos, vitrinos ir t. t.; Duryš – išorinės duryš, vartai.

Pastato sienų atitvaros susideda iš skirtingų tarpsluoksnių, kuriuos galima būtų suskirstyti į termiškai vienalyčius arba nevienalyčius. Termiškai vienalyčio sluoksnio šiluminiai parametrai, bet kuria kryptimi yra vienodi (plytos, monolito sluoksnis, akmens vata, polistireninis putplastis ir t.t.) Termiškai nevienalyčiai sluoksniai susideda iš kelių įvairiai sukomponuotų medžiagų (kiaurymėtos gelžbetonio plokštės, blokeliai su oro ar užpildais kitos medžiagos tarpais ir t.t.), todėl reikia sluoksnį dalinti į būdingas dalis šilumos sklaidimo kryptimi, taip apskaičiuojant suminę šiluminę varžos vertę. Pastato atitvarų selektonovaciją pritaikant daugiatikslius metodus nagrinėjo Zavadskas *et al.* (2008d).

Pastato išorinių atitvarų konstrukcijas, pagal tarpsluoksnių išdėstymą viena kitos atžvilgiu, galima būtų suskirstyti į vėdinamas ir nevėdinamas konstrukcijas. Pastato išorinių atitvarų skirtingas konstrukcijas, jų laidumą vandens garams tyrė Vėjelis (2003). Siekiant tikslingai parinkti išorinės atitvaros atnaujinimo technologiją būtina atlikti esamos konstrukcijos techninį vertinimą: nustatyti medžiagą, vandens garų laidumo koeficientą ($mg/(m \cdot h \cdot Pa)$), šilumos perdavimo koeficientą ($W/m \cdot K$), tankį (kg/m^3), storį (m). Šaltuoju periodu per išorines atitvaras vyksta šilumos mainai, kurių metu vandens garų slėgis esantis patalpų viduje, juda link mažesnio garų slėgio esančio atitvaros išorėje, taip kirsdamas išorinę atitvarą. Proceso metu suminis garų kiekis praeinantis pro atitvarą yra ne mažas. Dėl skirtingų atitvaroje esančių medžiagų charakteristikų, ir jų skirtingos vandens garų ir šilumos srauto praleisties gali atsirasti kondensato tikimybė. Savalaikis kondensato nepašalinimas gali įtakoti technines atitvaros charakteristikas (stiprumą, šiluminę varžą, vizualinį grožį, higienos reikalavimus ir t.t.). Siekiant išvengti minėtos problemos, būtina numatyti drėgmės perteklinės drėgmės panaikinimą ar pašalinimą.

Vėdinamose konstrukcijose kondensato priežasčiai pašalinti yra įrengiami oro tarpai, pagerinantys atitvaros drėgninę būseną. Įrengtuose konstrukcijos tarpsluoksniuose susidariusi drėgmė yra pašalinama pro drenažines ar ventiliacines angas. Nuo vidinio laikančiojo sluoksnio susidariusi drėgmė yra lengvai praleidžiama pro termoizoliacinį (akmens, mineralinės vatos) sluoksnį, taip patekdama į vėdinamą oro sluoksnį. Endriukaitytė (2003) savo darbe teigia, kad vėdinamame oro tarpe judantis oras, pro termoizoliacinius medžiagų sluoksnius skverbiasi į paviršinius sluoksnius ir padidina sluoksniuose esančius konvekcinis šilumos mainus. Būtina pažymėti, kad esant medinei laikančiajai konstrukcijai, vėdinamas oro tarpsluoksnis konstrukcijoje yra būtinas. Medienos vandens garų laidumo koeficientas yra mažas, nepašalinus konstrukcijoje susidariusios drėgmės pertekliaus atsiranda tikimybė medinei konstrukcijai supūti. Konstrukcijos su vėdinamais oro tarpsluoksniais šiltuoju metų periodu padeda konstrukcijoms neperkaisti ir dažniausiai įrenginėjamos atvirose vietovėse, ten kur didesnė įstrižo lietaus tikimybė ir didesnis lietaus greitis.

Nevėdinamos išorinių atitvarų konstrukcijos yra įrenginėjamos didelių užstatymų zonose, kur mažesnė įstrižo lietaus tikimybė ir mažesnis šoninis vėjas. Atitvaros išorinis laikantysis sluoksnis yra mažai laidus vandens garams, todėl susidariusi drėgmė yra pašalinama pro išorinį atitvaros sluoksnį, kuris pasižymi didesniu vandens garų laidumu. Būtina pažymėti, kad priešingai nei vėdinamose atitvarose, nevėdinamų atitvarų termoizoliaciniuose sluoksniuose yra didesnė vandens garų kondensato kaupimosi tikimybė. Nevėdinamos atitvaros tarpsluoksniai gali sudrėkti tiek nuo vidinės, tiek nuo išorinės (lietaus vanduo) pusės.

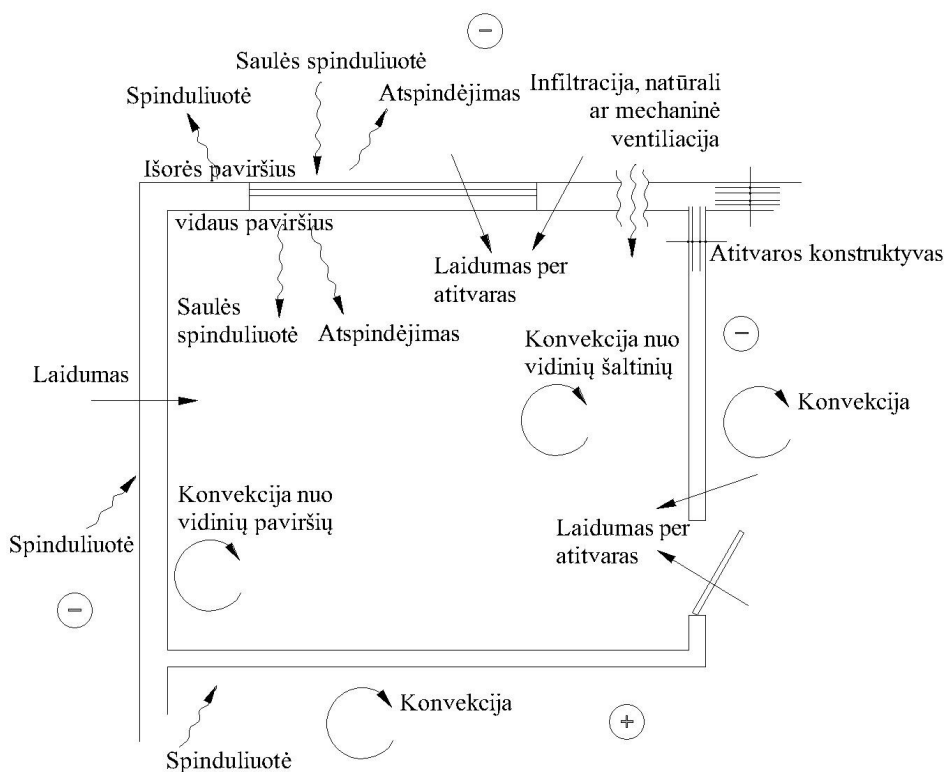
Išorinės atitvaros konstrukcijas galima skirstyti pagal termoizoliacinio sluoksnio pritvirtinimo būdus:

- termoizoliacinis sluoksnis yra priklijuojamas prie laikančiojo sluoksnio;
- termoizoliacinis sluoksnis mechaniškai pritvirtinamas prie laikančiojo sluoksnio;
- termoizoliacinis sluoksnis yra prispaudžiamas prie laikančiojo sluoksnio.

Priklausomai nuo termoizoliacinio sluoksnio pritvirtinimo būdo priklauso šilumos konvekcijos poveikis šilumos perdavimui konstrukcijoje.

1.3. Šiluminiai srautai pastatuose

Pastatas yra sudėtinga sistema su daugybe jame vykstančių fizikinių reiškinių. Pastato šiluminius srautus įtakoja pastato esamas konstruktyvas, inžinerinės sistemos, pastate esantys žmonės, prietaisai ir klimatinės sąlygos. Autoriaus Clarke (2001) sukurtoje scheme (1.6 pav.) pateikti pagrindiniai oro parametrus veikiantys procesai.



1.6 pav. Patalpose oro parametrus veikiantys procesai (Clarke, 2001)

Fig. 1.6. Indoor air parameters affecting processes (Clarke, 2001)

Priklausomai nuo išorinių (klimatinės sąlygos) ir vidinių (elektros prietaisai, žmonių srautas) šilumos pritekėjimų, atitvarose yra akumuliuojamas šilumos kiekis. Žmogus gali reguliuoti vidinius šilumos srautus, inžinerinių sistemų darbą, žmonių srautą, priešingai nei išorines klimatinės sąlygas. Išorinės atitvaros medžiagos techninės charakteristikos ir spalva, drėgmė lemia spinduliavimo, konvekcijos ir laidumo šiluminių dydžių vertes Tabares-Velasco, Srebric (2012), Gossard, Lartigue (2013). Spinduliavimo būdu sklindanti šiluma yra absorbuojama atitvaros, kita dalis šilumos yra atspindima. Atitvaros paviršiaus fizikinės charakteristikos lemia absorbuotos ir atspindimos spinduliuotės kieki išorinėje atitvaroje.

Medžiagos termoizoliacinė savybė praleisti šilumą yra apibūdinama šilumos laidumo koeficientu λ , vertė išreiškiama $W/(m \cdot K)$ matavimo vienetu. Šilumos laidumo koeficientas nusako koks šilumos srautas (W) prateka pro 1 m^2 ploto medžiagos sluoksnį, krįtant temperatūrai vienu laipsniu vieno metro atstumu. Šilumos laidumas yra molekulinis reiškinys, kūną sudarančios molekulės viena

kitai perduoda energiją. Molekulių energija priklauso nuo esančios temperatūros, todėl didėjant aplinkos temperatūrai šilumos laidumas taip pat didėja. Kuo mažesnė λ vertė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga.

Pastato viduje maišantis skirtingų temperatūrų skysčiams ar dujoms šiluma sklinda konvekcijos būdu. Konvekcija perduodamos šilumos srautas turi įveikti šaltojo ir šiltojo paviršių šiluminės varžas. Mineralinėje vatoje vykstančius konvekcijos procesus ir įtaką pastato atitvarai nagrinėjo Stankevičius *et al.* (2013). Šilumos perneša konvekcijos būdu yra neatskiriama susijusi su jos perneša laidumo būdu, nes visi skysčiai ir dujos daugiau ar mažiau yra laidūs šilumai. Konvekcijos būdu perduodamas šilumos kiekis priklauso nuo dujų ar skysčių judėjimo parametrų: temperatūros, klampumo, tankio. Mokslininkai Barkauskas, Stankevičius (2000) teigia, kad tai yra esminės šilumos sklaidimo ypatybės.

Pastate šiluminiai procesai yra labai sudėtingi ir priklauso nuo daugelio įvairių veiksnių. Vykstantiems procesams aprašyti naudojami matematiniai modeliai ir masės bei šilumos mainų lygtys. Autoriai P. Vaitiekūnas, V. Špakauskas (2003) sudėtingus oro judėjimus procesus aprašė, naudodant skaitinius lygčių sprendimo metodus, kai sprendžiamos tolydumo, judėjimo, energijos tvermės ir difuzijos lygtys (Priedas C).

Šilumos procesus aprašantys fizikiniai dydžiai įtakoja šilumos sąnaudas patalpose ir pastatuose. Dydžių pagalba galima nustatyti normines mikroklimato vertes, kurių pagalba galima apibrėžti komfortą patalpose.

1.4. Pagrindiniai mikroklimato parametrai lemiantys šiluminį komfortą pastatuose

Patalpų vidaus šiluminį komfortą lemia daugelis faktorių, pagrindiniai yra: oro temperatūra ($^{\circ}\text{C}$), santykinė oro drėgmė (%), oro judėjimo greitis (m/s), oro kaita (m^3/h). Šių faktorių reikšmės yra reglamentuojamos norminiuose dokumentuose priklausomai nuo pastato paskirties. Zavadskas *et al.* (2009) vertino penkių pastatų atnaujinimo efektyvumą Naujosios Vilnios mieste, Vilniaus rajone. Tyrimo metu nustatė pastatų atnaujinimo efektyvumą, mikroklimato parametrus ir jų atitikimą galiojančioms normoms ir reglamentams, surangavo prioritetine tvarka pastatus. Gyvenamosiose patalpose mikroklimato įtaką gyvenimo kokybei taip pat nagrinėjo Kalibatas *et al.* (2011), Yang *et al.* (2013), Schuchardt, Strube (2013). Viešųjų pastatų mikroklimatą Dhaka *et al.* (2013), Kalibatas, Zavadskas (2008), Samuel *et al.* (2013).

Techniniai veiksniai darantys įtaką mikroklimatui pastatuose, pasak Isaksson, Karlsson (2006), Kalibatas (2009) priklauso nuo patalpos tūrio, patalpą ribojančių atitvarų (sienų, durų, langų, perdangų ir t.t) ir inžinerinių įrenginių (vėdinimo, oro kondicionavimo) sistemų techninių charakteristikų.

Šiluminės ir šiluminio komforto aplinkos parametrų normuojamos vertės pateiktos Lietuvos higienos normos HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir viešojo naudojimo pastatų mikroklimatas“ gyvenamųjų patalpų ir lankytojams skirtų visuomeninių patalpų mikroklimato parametrai pateikti Priede C. Pažymima, kad normuojant visuomeninių ir gyvenamųjų pastatų patalpų šiluminio komforto parametrus būtina atsižvelgti į metų laikus. O projektuojant pastato atitvarų konstrukcijas, priklausomai nuo projektuojamo pastato paskirties, atitvaros šiluminė varža turi tenkinti statybos reglamentą STR 2.01.09:2005 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ ir higienos normos HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir viešojo naudojimo pastatų mikroklimatas“ reikalavimą, kad konstrukcijų vidinio paviršiaus ir patalpos oro temperatūrų skirtumas atitiktų šios higienos normos 1.2 lentelėje nustatytus dydžius.

1.2 lentelė. Gyvenamųjų patalpų ir lankytojams skirtų visuomeninių patalpų mikroklimato parametrų ribinės vertės

Table 1.2. Residential premises and visitors to public indoor climate parameters limits

Mikroklimato parametrai	Ribinės vertės	
	Šaltuoju metų laikotarpiu	Šiltuoju metų laikotarpiu
Oro temperatūra, °C	18–22	18–28
Temperatūrų skirtumas 0,1 m ir 1,1 m aukštyje nuo grindų, ne daugiau kaip °C	3	3
Santykinė oro drėgmė, %	35–60	35–65
Oro judėjimo greitis, m/s	0,05–0,15	0,15–0,25

Oro temperatūra, santykinė oro drėgmė ir oro judėjimo greitis matuojami metrologiškai patikrintais termometrais, psichrometrais, anemometrais, katatermometrais ir kitais matavimo prietaisais. Patalpų atitvarų paviršių temperatūra matuojama termoelektrinio efekto principu veikiančiais prietaisais. Oro temperatūra, oro judėjimo greitis ir santykinė oro drėgmės matavimai yra atliekami patalpos viduryje 0.5 metro atstumu nuo artimiausios patalpos išorinės atitvaros, skirtinguose aukščio lygiuose 0,1 m, 1,1 m ir 1,7 m. Atlikti matavimai numatytuose taškuose turi atitikti žemiau pateiktus dydžius ir leistinas matavimo paklaidas (HN 42:2009):

- patalpos oro temperatūros matavimo paklaida ne daugiau kaip $\pm 0,2$ °C;
- santykinės oro drėgmės matavimo paklaida ne daugiau kaip $\pm 0,5$ %;
- oro judėjimo greičio matavimo paklaida ne daugiau kaip $\pm 0,1$ m/s;
- atitvarų paviršių temperatūros matavimo paklaida $\pm 0,5$ %.

Valstybinės visuomeninės sveikatos priežiūros tarnybai prie Sveikatos apsaugos ministerijos 2011 metais, atlikus aplinkos vertinimo ir būsto kokybės tyrimus, kurio metu buvo apklausta 2900 būstų savininkų, iš kurių gyveno: senos statybos namuose 1117, modernizuotuose 938 ir naujos statybos būstuose

845. Tyrimo metu paaiškėjo, kad problemų dėl drėgmės ir kondensato nuolat turi tik 4,64 %. apklaustųjų. 9,91 %. su šiomis problemomis susiduria retai, 15,79 %. – kartais, o 13,2 %. – dažnai. Esant kondensatui ir tinkamai temperatūrai ant išorinės atitvaros yra didelė tikimybė pelėsio atsiradimui. Dažniausiai su pelėsių problema susiduria senos statybos namų gyventojai 17,07 %, naujai pastatytuose namuose 12,02 %, o modernizuotuose 7,09 %. Subalansuotas vėdinimas ir tinkamų konstrukcijų parinkimas pelėsio atsiradimo tikimybę sumažina arti nulio. Pelėsio atsiradimo tikimybė pastato atitvaroje priklauso nuo vidinio paviršiaus temperatūros faktoriaus f_{Rsi} ir vidaus oro dalinio vandens garų slėgio.

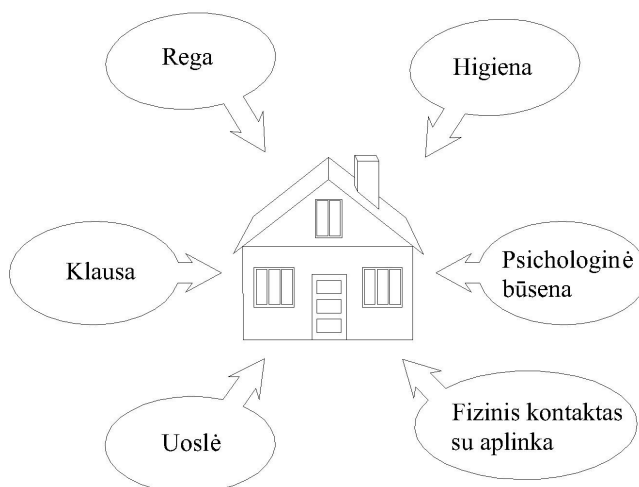
Idealiausios sąlygos pelėsiui įsiveisti: 20 laipsnių aukščiau nulio temperatūra ir daugiau nei 95 % santykinė oro drėgmė, tačiau kai kurios rūšys gyvuoja ir šaltyje: šaldytuvuose, šaldikliuose, rūsiuose. Zahradnik *et al.* (2013), Gutarowska *et al.* (2010), Singh, Chittenden (2010) tyrė pelėsio dauginimosi ypatybes gyvenamosiose aplinkose, natūralios šviesos stoka ir nepakankamas oro judėjimas patalpų viduje skatina pelėsio atsiradimą. Netrukdomai besidauginantis pelėsis ne tiktai dako namų vaizdą, mažina pastato statybinių konstrukcijų atsparumą, bet ir kenkia žmogaus sveikatai. Pelėsis yra stiprus alergenai, kaip radiacija ar sunkieji metalai kurie daro nematomą poveikį žmogaus sveikatai. Vien alerginėmis savybėmis pasižyminčių pelėsių yra apie 300 rūšių. Pelėsis yra gyvas organizmas, užimantis vietą tarp augalų ir gyvūnų ir priskiriamas grybų rūšiai, kitaip dar vadinamas mikromicetais. Iš didelės pelėsių įvairovės - pasaulyje yra tūkstančiai jų rūšių - Lietuvoje dažniausiai sutinkami 6 - 7 pavadinimų mikromicetai. Plika akimi nematomos sporos ir konidijos skraido ore, kol patenka ant įvairių drėgnų paviršių, taip pradėdamos augimo procesą - skverbiantis plonyčiais siūlais į konstrukcijos gylį ir plotį Jones, Anderson (2013). Daugialąsčiai nejudrūs mikroorganizmai gali augti ant įvairių statyboje pasitaikančių medžiagų: sienų apmušalų, tinko, dažų, plastiko, kartono, tinko, stiklo, monolito ar mūro.

Todėl labai svarbu parenkant būsimą konstrukciją ir vertinant būsimą mikroaplinką projektavimo metu tinkamai įvertinti pelėsio atsiradimo priežastis.

1.5. Komforto vertinimas pastatuose

Žmogaus buvimo pastate komfortas priklauso nuo regos, klausos, uoslės, fizinio kontakto su aplinka (temperatūra, drėgmė) ir daiktais (vibracijomis), psichologinės būsenos (saugos jausmas) (1.7 pav.). Komfortą pastatuose nagrinėjo Hamdy *et al.* (2011a), mechaninio vėdinimo įtaką komfortui tyrė Neube, Riffat (2012), Liu *et al.* (2010), pastatų atnaujinimą, kurio metu pagerinamos pastato komforto sąlygos pastate nagrinėjo Zhao *et al.* (2009), Zavadskas *et al.* (2005), Asadi *et al.* (2012). Pastatas turi būti suprojektuotas ir pastatytas ar at-

naujintas taip, kad paminėti jutimai nekeltų grėsmės sveikatai ir atitiktų darbui, poilsiui bei miegui būtinąs komfortines aplinkos sąlygas.



1.7 pav. Pastato komfortą įvertinantys veiksniai
Fig. 1.7. Assessing factors of the building comfort

Pasaulyje, Europoje taip pat ir Lietuvoje ribines jutimų vertes pastatuose reglamentuoja, dažniausiai atskiri teisės aktai: įstatymai, reglamentai, normos, standartai, rekomendacijos. Projektuojant, rekonstruojant ar statant pastatus privalu laikytis įstatymų, reglamentų, normų, kitų patariamąjį pobūdžio (standartai, rekomendacijos) dokumentų.

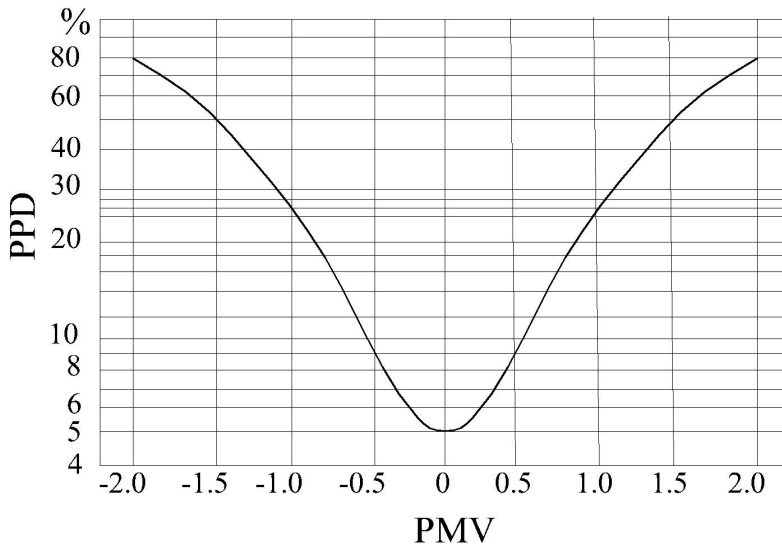
Žmogaus šilumos pojūtis susijęs su viso organizmo šilumos pusiausvyra. Viso organizmo šilumos pusiausvyra priklauso nuo fizinio aktyvumo, aprangos ir šiluminės aplinkos parametrų. Žmogus yra šiluminėje pusiausvyroje, kai organizme susidaranti vidinė šiluma lygi iš organizmo į aplinką išsiskiriančiai šilumai.

Šiluminio komforto nustatymo kriterijus nusako standartas LST EN ISO 7730 „Šiluminės aplinkos ergonomika“ ir higienos normos HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose“.

Higienos normose šilumos komfortas yra nustatomas remiantis vidutinio vertinimo rodikliu, kuris eksperimentiškai nustatomas pagal šilumos pojūčių skalę (1.8 pav.) ir numato žmonių šiluminės aplinkos įvertinimo dydį ŠAV. Šis rodiklis apibūdina žmogaus kūno šilumą reguliuojančių sistemų reakciją, kuri statistiškai susieta su daugumos žmonių šilumos pojūčiu. Rodiklis ŠAV vertinamas absoliučiais skaičiais intervale, nuo $[-2;2]$ ir gali būti randamas eksperimentiniu būdu.

Kai aplinkos temperatūra būna artima komforto temperatūrai, drėgnumo įtaka ŠAV dydžiui yra maža ir galima neatsižvelgti į oro santykinę drėgnumo reikšmę.

Galime teigti, kad šilumos komforto įvertinime veikia demokratijos principas, norint nustatyti šilumos atžvilgiu komfortišką aplinką žmonių aplinkoje, naudojamas nepatenkintų šilumine aplinka žmonių kiekybinės prognozės rodiklis (PPD rodiklis), kuris išreiškiamas procentais. Ir randamas pagal žemiau pateiktą schemą.



1.8 pav. ŠAV (PMV) rodiklio funkcija įvertinanti nepatenkintųjų procentą (PPD) šiluminiu komfortu pastate (HN 69:2003)

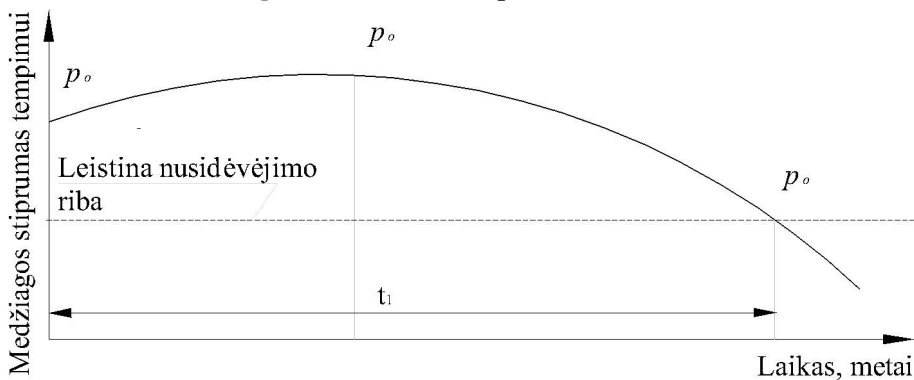
Fig. 1.8. SEA (PMV) indicator function evaluating the percentage of dissatisfied (PPD) thermal comfort in the building (HN 69:2003)

ŠAV – žmonių šiluminės aplinkos įvertinimo dydis intervale $[-2;2]$, PPD – kiekybinės prognozės rodiklis (%).

Šiluminio komforto pojūtis apibūdinamas būseną, kai žmogus patenkintas šilumine aplinka. Dėl žmonių asmeninių šilumos pojūčio skirtumo, sudėtinga nurodyti šilumos aplinką kuri tenkintų kiekvieną būnantį patalpoje, tačiau galima išreikšti procentine išraiška, kuri tenkins ne mažiau 80 % žmonių. Hong *et al.* (2009) atliko Londone esančių gyvenamųjų pastatų (2500 butų) temperatūros komforto vertinimą prieš modernizavimą ir po modernizavimo. Dauguma gyventojų komforto temperatūrą apibūdino, kai temperatūra yra skalėje tarp 17,1 °C iki 19,1 °C aukščiau nulio.

1.6. Statybinių medžiagų senėjimo ir irimo priežastys

Statybines medžiagas veikiantys veiksniai įtakoja medžiagų irimą ir senėjimą. Aplinkoje esantys veiksniai skirtingai įtakoja medžiagas. Drėgmė ir šaltis ardo silikatinės, keraminės plytas, betoną, saulės ultravioletiniai spinduliai mažina stiprumą plastmasės, blukina apdailos medžiagas. Dėl atitinkamos drėgmės ir temperatūros įvyksta cheminė reakcija kristalizacija, kurios metu išauga mechaninė tempimo jėga. tempimo jėga mažina medžiagos patvarumą ir stiprumą. Barkauskas, Stankevičius (2000) savo darbuose sudarė medžiagos irimo modelį, kurio vaizdinė išraiška pateikta darbe (1. 9 pav.).



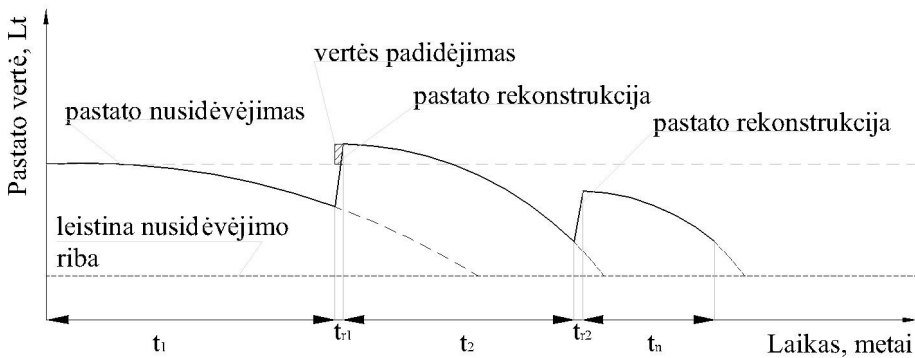
1. 9 pav. Leistina medžiagos nusidėvėjimo kreivė

Fig. 1.9. Permissible materials depreciation curve

p_o – pirmapradės medžiagos stipris, N/m^2 ; p_t – stipris laiko t momentu, N/m^2 ; t – laikas, metai.

Kapitalinio remonto metu yra iš dalies arba visiškai grąžinama nusidėvėjusi pastato vertės dalis, tačiau šiluminio atnaujinimo metu tinkamai parinkus modernizavimo priemones, pastato vertė gali tapti didesnė nei buvo eksploatacijos pradžioje Uzsilaityte, Martinaitis (2012), Roussat *et al.* (2009) Tačiau investicijos tiek pastato remontui tiek ir šiluminiam modernizavimui turi būti ekonomiškai efektyvios ir pagrįstos (Zavadskas *et al.* 2008c).

Statybos ar pastato rekonstrukcijos metu sukurta vertė, eksploatacijos metu mažėja. Vertės mažėjimo intensyvumas priklauso nuo panaudotų medžiagų techninių charakteristikų jų ilgaamžiškumo, konstrukcijų techninių sprendimų, pastato priežiūros ir naudojimo intensyvumo eksploatacijos metu (1.10 pav.). Rekonstrukcijos metu pastate nusidėvėjusios konstrukcijos yra keičiamos naujomis, tačiau laikui bėgant atsiranda riba nuo kurios pastato vertės atkūrimas yra ekonomiškai netikslingas Bliūdžius (2006).



1.10 pav. Pastato nusidėvėjimo grafikas (Bliūdžius, 2006)

Fig. 1.10. Building depreciation Schedule (Bliūdžius, 2006)

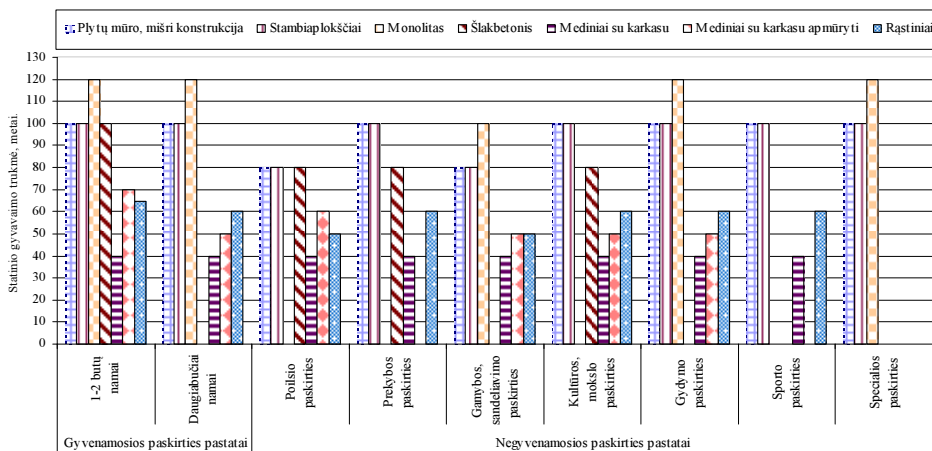
1.10 paveiksle pateiktas teorinis pastato gyvavimo ciklas prieš modernizavimą ir po jo. Nevertinant pastato alokacijos ir kai pastatas nėra įtrauktas į kultūros vertybių sąrašą. Po pridavimo pastatas pasiekia didžiausią vertę gyvavimo ciklo laikotarpiui $t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$. Tačiau laikui bėgant pastato vertė mažėja t_1 , jei neatliekami modernizavimo darbai yra pasiekama leistina nusidėvėjimo riba, kurią peržengus yra pradedamas vykdyti pastato likvidacijos etapas. Tačiau laiku atliekant pastato modernizavimą t_{r1} , pastato vertė gali pasiekti anksčiau buvusią ribą, o įdiegus naujas modernizavimo metu taikomas technologijas (atsinaujinantys šaltiniai), teoriškai gali pakilti aukščiau buvusios vertės. Po modernizavimo pastatas praktiškai įgauna naują gyvavimo ciklą t_2 , kurio metu galioja tie patys pastato nusidėvėjimo dėsniai. Tačiau atliekant tolimesnius pastato modernizavimo etapus t_{r2} , vertės padidėjimas lyginant su prieš tai buvusią verte, pareikalautų vis didesnių investicijų pastato modernizavimo etape. Šiuo metu dauguma Lietuvoje esančių pastatų yra t_1 laikotarpyje, tačiau remiantis Europos sąjungos direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo įgyvendinimo skatinant pastatų modernizavimo eigą, per artimiausiu keturis metus pastatai bus pasiekia t_2 laikotarpį. Visi statiniai prieš pradedant juos eksploatuoti turi reglamentuotą gyvavimo laiką, statinių gyvavimo laikas priklauso nuo naudojimo paskirties ir panaudotų medžiagų charakteristikų statant pastatą

Barkauskas, Stankevičius (2000) teigia, kad konstrukcijų ilgaamžiškumo laikotarpį lemia, konstrukcijų savybės priešintis ardantiems išorės veiksniams, kaip temperatūrų svyravimai, agresyvios aplinkos poveikiai, drėgmė, eksploatacinės apkrovos. Konstrukcijos vadinamos ilgaamžėmis, kol išsaugo svarbias fizikines, technines savybes (šilumos nepralaidumą, stiprumą, patvarumą) ir šios savybės yra ne blogesnės, nei buvo numatyta projektavimo metu (1.3 lentelė).

1.3 lentelė. Pastatų klasifikacija pagal numatomą eksploataavimo laiką
Table 1.3. Classification of buildings according to the assumed life

Pastato kategorija	Pastatai	Numatoma naudojimo trukmė, m	Pavyzdžiai
1	Laikinieji pastatai	< 10	Pagalbiniai statybos aikštelių pastatai, vienkartiniai parodų paviljonai
2	Neilgaamžiai pastatai	>10	Laikini sandėlio, parduotuvės
3	Vidutinio ilgaamžiškumo pastatai	> 30	Dauguma pramonės pastatų
4	Normalaus ilgaamžiškumo pastatai	> 70	Nauji gyvenamieji ir visuomeniniai pastatai
5	Ilgaamžiai pastatai	> 120	Ypač vertingi visuomeniai ir gyvenamieji pastatai, inžineriniai tinklai

Pastato konstrukciniai elementai, kaip atitvarinės konstrukcijos, termoizoliacija, langai, grindys, stogas gali būti mažesnio patvarumo nei 1.3 lentelėje 4-5 kategorijos pastatų elementai. Pastato rekonstravimo metu šie elementai gali būti pakeičiami naujais.



1.11 pav. Statinio gyvavimo trukmė pagal pastato sudedamąsias medžiagas

Fig. 1.11. The static lifetime by building ingredients

1.11 paveiksle pateikiami pastatai pagal paskirtis, kurie yra šildomi ir jiems galioja statybos techninio reglamento STR 2.01.09.2005 keliama reikalavimai, vertinant šilumos suvartojimą pastate.

Įprastas gyvenamojo ir visuomeninio pastato atitvarų vertinamas eksploatacijos laikas yra penkiasdešimt metų, inžinerinių sistemų trisdešimt metų. Atliekant pastato ilgaamžiškumo būklės vertinimą reikia įvertinti pastato laikančiųjų, atitvarų ir apdailos konstrukcijų būklę. Suirus laikančioms konstrukcijoms, pastatų eksploatuoti negalima.

1.7. Daugiatikslių sprendimo metodų taikymas

Pastatų atnaujinimui atlikti būtina pastatą ir jį įtakančius aplinkos veiksnius vertinti kompleksiskai. Atskirų rodiklių vertinimas pastato modernizavimo procese neduos bendro vaizdo. Nesuderintas pastato modernizavimo procesas neužtikrins realios įdėtų investicijų atsipirkimo gražos ir atnaujinimo naudos.

Kai kurie autoriai panašiam kompleksiniam vertinimui, statybos ar kitose srityse, situacijoms nagrinėti ir problemoms vertinti naudoja daugiatikslius metodus. Daugiatikslių metodų dėka galima greičiau ir racionaliau rasti problemos sprendimą, tuo pačiu metu vertinant keliolika skirtingų alternatyvų, charakterizuojamų keletu ar keliolika rodiklių. Todėl toliau darbe bus nagrinėjamas pastatų modernizavimo vertinimas taikant daugiatikslius metodus.

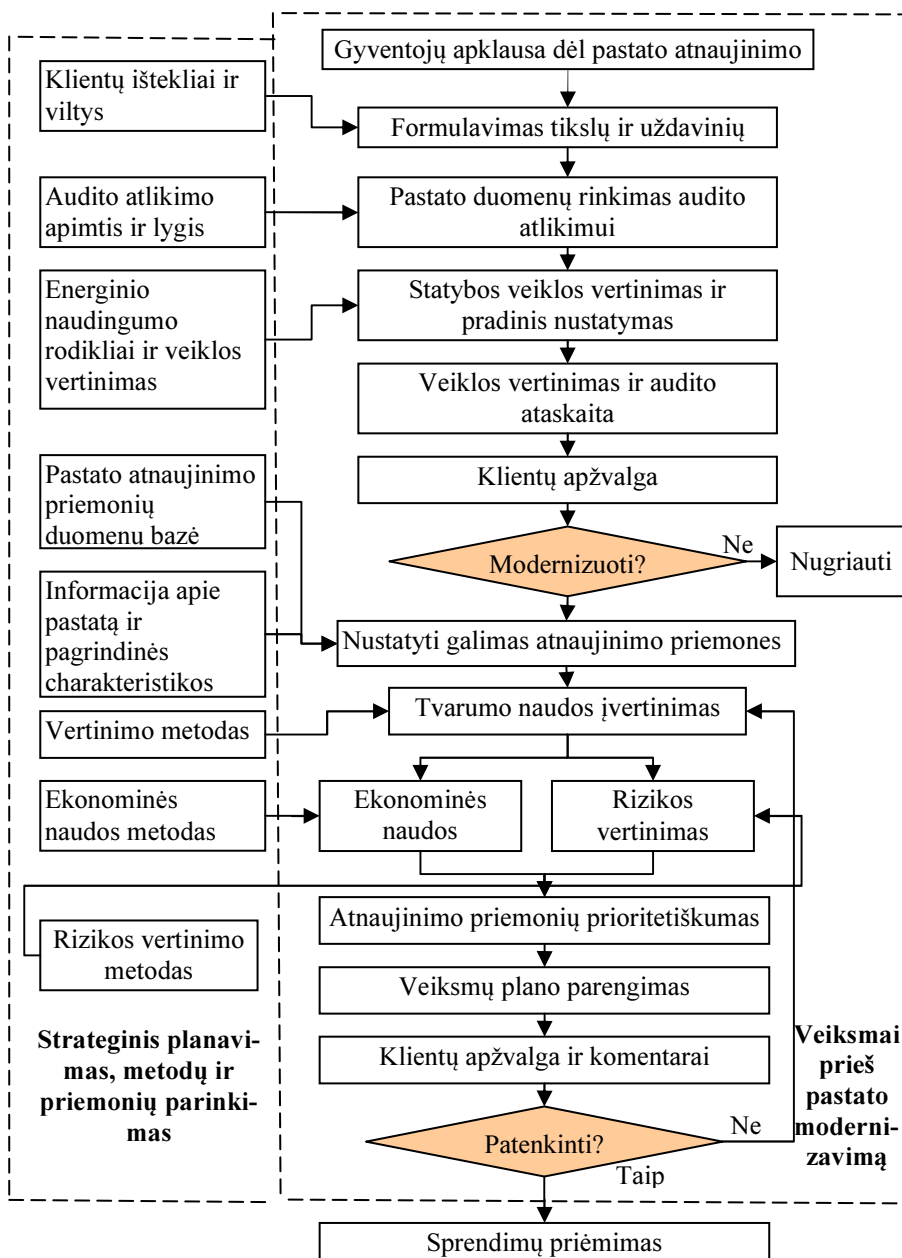
1.7.1. Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai statyboje

Daugiatikslių metodų taikymas įvairiose srityse padeda greičiau ir racionaliau išspręsti aktualias problemas, statybos sritis ne išimtis.

Mickaitytė *et al.* (2008) darbe nagrinėja darnaus pastatų modernizavimo modeliavimą, remiantis daugiatiksliais metodais. Darbe nurodo rodiklius kuriais remiantis rekomenduoja vertinti pastatus modernizavimo eigoje.

Esamų pastatų modernizavimas siūlo dideles galimybes mažinti pasaulinį energijos suvartojimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Ma *et al.* (2012) teigia, kad tai yra viena iš pagrindinių pažiūrų užtikrinanti tvarumą urbanistinėse aplinkose palyginti mažomis sąnaudomis ir aukšta įsisavinimo norma. Darbe autoriai pateikia modernizavimo pavyzdžius, energijos auditus, ekonominę analizę, rizikos vertinimo, matavimo ir tikrinimo būdus, kurie yra būtini pastato modernizavimo procese.

Zavadskas *et al.* (2008a) ir kiti autoriai taiko daugiatikslius metodus, nustatant investicijų pelningumą būsto modernizavimo eigoje. Metodo pagalba autoriai siūlo modernizavimo scenarijus daugiabučių pastatų esančių Vilniaus mieste, pagal pateiktą prioritetinę pastatų modernizavimo tvarką.



1.12 pav. Pastatų atnaujinimo pagal darnos principus sprendimų priėmimo etapai (Ferreira *et al.* (2013))

Fig. 1.12. Renovation of buildings decision-making steps according to sustainability principles (Ferreira *et al.* (2013))

Ferreira *et al.* (2013) pateikė pastatų atnaujinimo programos, pagal darnos principus, penkis etapus:

- projekto įdiegimo ir atnaujinimo apklausa – apima tikslų ir kriterijų nustatymą, kurie vertins pagal ekonominius, aplinkos apsaugos ir socialinius aspektus;
- energijos vartojimo audito ir veiklos vertinimas – šiame etape vertinamas realus pastato energijos suvartojimas;
- atnaujinimo variantų identifikavimas – identifikuojami atnaujinimo galimi scenarijai;
- įgyvendinimas ir eksploatacija – vertinimo etapas (1.12 pav.) kuriame atliekama sąnaudų, naudos taip pat vertinama rizika;
- patvirtinimo ir patikrinimo principas – optimizavimo etapas, kurio metu yra parenkamas racionalus pastato atnaujinimo variantas.

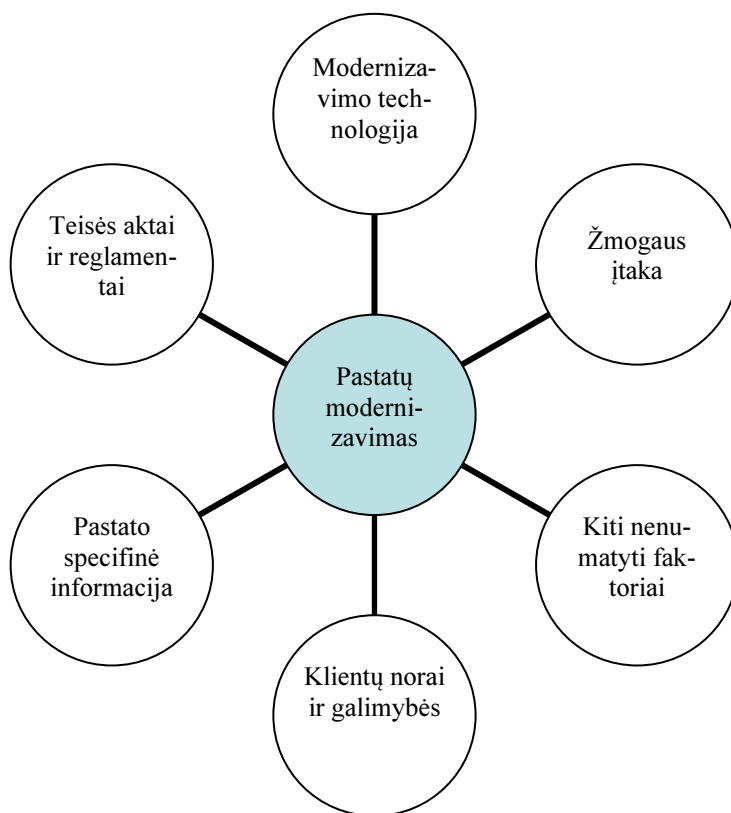
Kaklauskas *et al.* (2006) atlikę pastatų modernizavimo efektyvumo skaičiavimus teigia, kad originalių langų pakeitimas naujais yra ne visada veiksminga, priemonė, kalbant apie šilumos energijos taupymą, kaip yra su kitomis namo išorinėmis atitvaromis (stogas, sienos ir k. t.) keičiant ar papildant termoizoliaciją. Kadangi investicijos yra didelės ir atsipirkimo laikas per ilgas, kad būtų grąžinta investuota suma. Tačiau langų pakeitimas, be energijos taupymo, pagerina patalpų mikroklimatą pastate, pakeičia vidaus ir lauko architektūros išvaizdą, pakelia rinkos vertę. Atlikę mokslo paskirties (VG TU centrinių rūmų) pastato Vilniaus mieste, vertinimą, autoriai pasiūlė langų parinkimui naudoti daugiatislį metodą COPRAS. Atliekant sprendimus daugiatisliais metodais galima racionaliau ir realistiškiau išspręsti iškeltas problemas.

Mitkus, Sostak (2009) vertina teismų praktiką, daugiatislių metodų pagalba, kai dėl vykdomų statybų darbų, trečiosios šalys patiria nuostolių dėl aplinkosauginių pažeidimų.

Tupenaite *et al* (2010) nagrinėjo gyvenamosios aplinkos priklausančios, kultūros paveldui, atnaujinimo efektyvumo didinimą, taikant daugiakriterinius sprendimų paramos metodus ir informacines technologijas.

Daugiatikslį šilumos sistemų vertinimą priklausančią nuo ekonominių veiksnių, šilumos charakteristikų, aplinkos įtakos tyrė Catalina *et al* (2011)

Pastato modernizavimo programos sėkmę įtakoja daugelis veiksnių. Ma *et al.* (2012) pateikė pagrindinius veiksnius, nuo ko priklauso ir kas įtakoja pastato modernizavimą (1.13 pav.).



1.13 pav. Pagrindiniai elementai įtakoiantys pastato modernizavimą
Fig. 1.13. Key elements influencing building upgrades

Pastatų fasadus ekspertiniu vertinimu, kai fasadai yra padengiami akmens masės ar keraminėmis plytelėmis vertino Silvestre, de Brito (2011).

Sliogeriene *et al.* (2009) vertina energetikos įmonės objektyvumą, analizuojant išorinius makro, mezo ir mikroaplinkos komponentus.

Daugiatikslių metodų pritaikymas pastatų modernizavimui vertinti nagrinėjamas ir kituose straipsniuose Das *et al.* (2013), Becirovic, Vasic (2013), Brauers *et al.* (2012), Kanapeckiene *et al.* (2011), Raslanas *et al.* (2011), Tupenaite *et al.* (2010), Huang, Hsueh (2010), Zavadskas *et al.* (2008d), Zavadskas *et al.* (2006), Zavadskas *et al.* (2004), Jones *et al.* (2001), Ebbert (2013), Medineckiene, Bjork (2011), Caterino *et al.* (2009), Zheng *et al.* (2011b), Roussat *et al.* (2009), Ren *et al.* (2009), Wong *et al.* (2007).

1.7.2. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikavimas

Norint surasti racionalų sprendinį, kuris būtų atrinktas atsižvelgiant į daugelį tikslų ir kuris tenkintų suinteresuotą asmenį, dažniausiai naudojami daugiakriteriniai sprendimo priėmimo MCDM metodai (angl. Multi-Criteria Decision Making). Daugelis mokslininkų Zimmermann (1996), Triantaphyllou (2000) daugiakriterinis sprendimo priėmimo metodus skirsto į:

- o daugiatikslis sprendimo priėmimo metodus (MADM – Multiple Attribute Decision Making);
- o daugiaobjekčius sprendimo priėmimo metodus (MODM – Multiple Objective Decision Making).

Daugiatiksliai (MADM) metodai pasižymi problemų sprendimui nagrinėti diskrečioje sprendimų erdvėje, čia optimali alternatyva pasirenkama iš anksčiau sudaryto alternatyvų rinkinio. Šioje srityje nagrinėjamos alternatyvos priklausančios baigtinei sprendinių aibei.

Daugiaobjekčiai (MODM) metodai nagrinėja vektorinio maksimumo problemas tolydžioje sprendimų erdvėje. Šioje srityje nagrinėjamos alternatyvos priklausančios begalinei sprendinių aibei.

Triantaphyllou (2000) teigia, kad praktikoje terminai daugiatikslis ir daugiakriterinis yra tapę sinonimais, mokslininkai atlikdami daugiakriterinį alternatyvų sprendimų vertinimą ir daugiakriterinę analizę naudoja daugiatikslis sprendimo metodus. Disertacijoje vartojamos sąvokos daugiatikslis ir daugiakriterinis bus priimtos kaip sinonimai ir apibūdins daugiatikslių sprendimų priėmimo metodus.

Daugiatiksliai vertinimo metodai pagal pradinių duomenų tipą Hwang, Yoon (1981), Triantaphyllou (2000) skirstomi į:

- o deterministinius;
- o stochastinius;
- o neapibrėžtuosius – neraiškių aibių teorijos metodus.

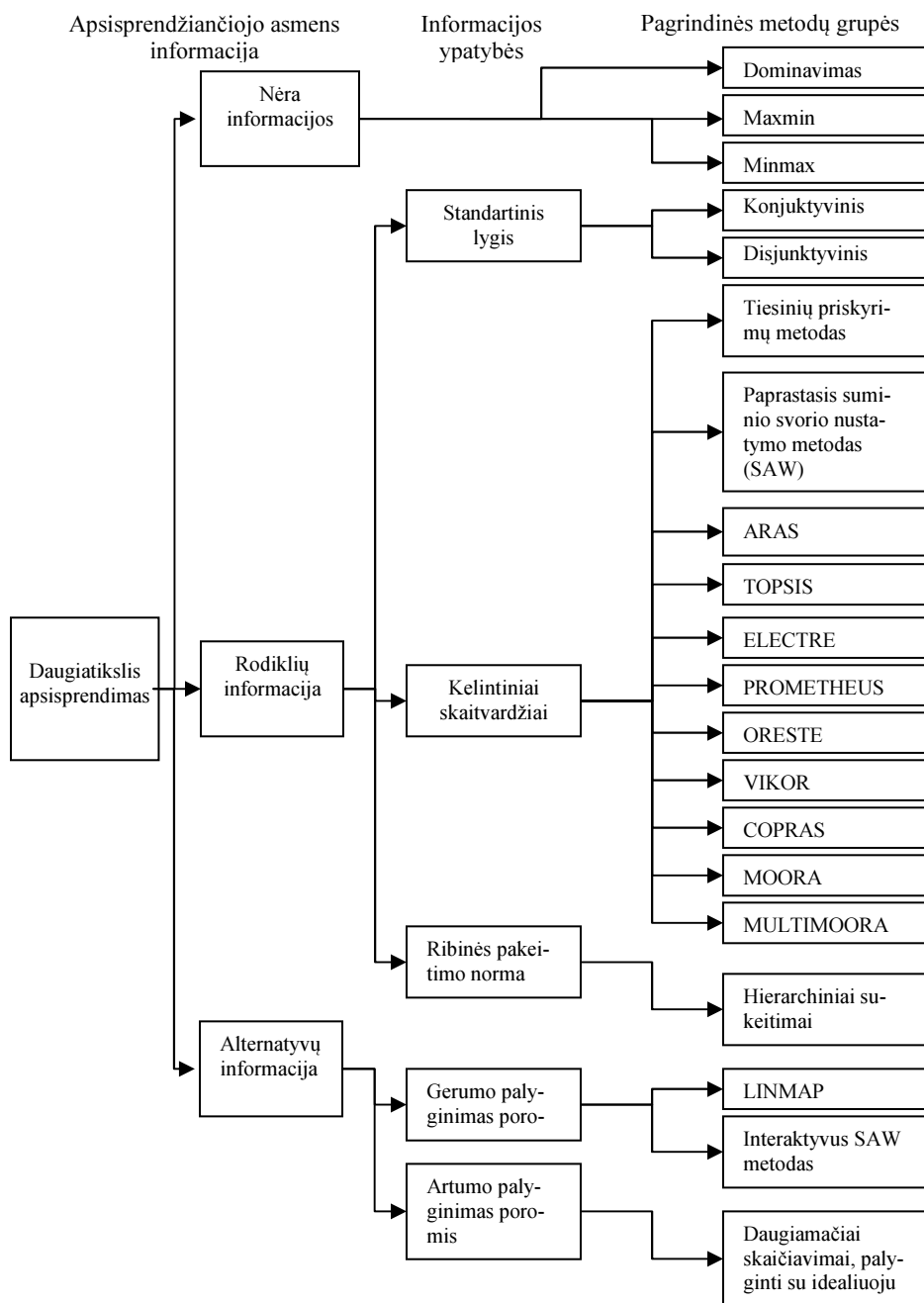
Daugiatikslis apsisprendimo metodus galima derinti su įvairių tipų duomenimis, kaip stochastinio ir neapibrėžtų aibių deriniais ir t.t

Pagal priimančių asmenų kiekį, dalyvaujančių sprendimo priėmimo procese metodai (Triantaphyllou (2000)) skirstomi į:

- o vieno sprendimų priėmėjo;
- o grupinio sprendimo priėmėjo.

Autoriaus tikslas darbe susiaurinti tolimesnę metodų analizę bei sumažinti nagrinėjamų metodų skaičių, toliau aptariant tik pagrindines metodų klasifikacijas.

1.14 paveiksle pateikiama daugiatikslių sprendimo nustatymo metodų klasifikacija.



1.14 pav. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija (Turskis, 2009)
 Fig. 1.14. Decision support methods classification (Turskis, 2009)

Daugiatikslius metodus Zimmermann, Gutsche (1991) skirsto į metodų grupes klasikinius ir technologinius. Klasikinių metodų grupė yra klasifikuojama Завадскас (1987) į du pogrupius kompensacinius ir nekompensacinius metodus. Kompensaciniuose metoduose pablogėjus vienam rodikliui kompensuoti galima gerinant kitą metodo rodiklį. Nekompensaciniuose metoduose nepageidaujamas rezultatas nėra kompensuojamas kito tikslo funkcijos rodikliu.

Daugiatikslio optimizavimo uždaviniuose vienu metu yra kelios skirtingos optimizavimo funkcijos (1.15 pav.). Taikomuose daugiatiksliuose modeliuose dažniausiai nėra bendro taško kur tikslo funkcijos būtų racionalios. Taikant metodus dažniausiai gaunami du skirtingi, tarpusavyje nesuderinami taškai, kurie tarpusavyje skiriasi tikslo funkcijos reikšmėmis ir vadinami optimaliais Pareto sprendiniais. Įprastai daugiatiksliai uždaviniai modeliuose yra pergrupuojami į vientikslius ar vientikslių uždavinių aibę.

Optimizavimo uždaviniuose tikslo funkcijos yra skirstomos į:

tiesinė funkcija – $f(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i + c_o$;

netiesinė funkcija – $f(X)$;

Daugiatiksliu uždavinys – $f(X) = (f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X))$.

Netiesiniams optimizavimo uždaviniams spręsti yra sukurti sprendimo algoritmai: kaip vieno ekstremumo funkcija, kelių ekstremumų funkcija, iškilioji funkcija, neiškilioji funkcija, kvadratinė funkcija ir t.t.

Tikslo funkcija		Argumentai			
		Tipas	Apibrėžimas	Argumentų koeficientai (svoriai)	Rodiklių reikšmių apribojimai
Žinoma	Suma	Tolydieji	Tikslus	Apibrėžti tikslai	Apibrėžti tikslai
			Neraiškus		dėsniais
Nežinoma	Sandauga	Diskretieji	Intervaluose	Apibrėžti intervaluose	Apibrėžti intervaluose
	Logaritminė		Tikimybėmis	Neraiškiai apibrėžti dėsniais	Neraiškiai apibrėžti
	Eksponentinė		Paskirstymo		
	Kitokia				

1.15 pav. Daugiatikslio uždavinio pagrindinės dalys (Banaitienė, Turskis (2004))

Fig. 1.15. The main parts of multipurpose task (Banaitiene, Turskis (2004))

Kiekybinių metodų grupei priklauso metodai pagrįsti daugiatislia naudingumo teorija. Kiekybiniai metodai kiekybiškai įvertina kiekvieną alternatyvą ir nustato gautų dydžių skirtumus tarp vertinamų alternatyvų. LINMAP (Lineear Programming Techniques for Multidimensional Anglysis of Preferences) Srinivasan, Shocker (1973) – tiesinio programavimo technikos tinkamumas daugiadimensiam analizavimui; TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Hwang, Yoon (1981); Arditi, Gunaydin (1998) – alternatyvų racionalumo prilyginimas idealiam taškui; SAW (Simple Additive Weighting) MacCrimmon (1968) – suminio svorio metodas; COPRAS (Complex Proportional Assessment of alternatives) Zavadskas, Kaklauskas (1996) – kompleksinis proporcingumo įvertinimas; MOORA (Multi-Objective Optimization by Ratio analysis) Brauers, Zavadskas (2006) – daugiaobjektė optimizavimo santykių sistema; MULTIMOORA (MOORA plus a Full Multiplicative Form) Brauers, Zavadskas (2010) – pilnosios sandaugos formos metodas. Taikant šiuos metodus kiekviena alternatyva įgauna kiekybinio pavidalo naudingumo reikšmę. Gautus skaičius visada galima palyginti. Šie metodai leidžia daryti netiesioginę prielaidą, kad kuris nors kiekybinis parametras matuojamas žmogaus vieną kartą ir gauta reikšmė yra vienintelė, kuri sudaro pirmenybę. Kiekybinių rodiklių reikšmingumas visada nustatomas su klaidomis Borchering *et al.* (1995). Žinoma teorema apie tai, kad naudingumo funkcija yra adityvioji, esant leistinuoju nuokrypiu nuo vieneto įvertinimu Larichev (2002). Kiekybiniai metodai yra jautrūs žmonių klaidoms esant kiekybiniams matavimams, tai įrodė Larichev *et al.* (1995) metais eksperimentas.

Kokybinių metodų grupei priskiriami metodai, kurių rezultatai iš karto įgauna kiekybinį pavidalą. Plačiausiai žinomi dvi kokybinių metodų grupės: analitinės hierarchijos metodas AHP (The Analytic Hierarchy Process) Saaty (1980) ir neapibrėžtos aibės metodas Zadeh (1965). Analitinės hierarchijos metodų pagrindas hierarchinės schemos porinis parametų palyginimas: tikslai, rodikliai, objektai. Lyginama kiekybiniu pavidalu, nustatant devynių įvertinimų skalę (didelis pranašumas, esminis pranašumas, lygybė ir t.t.). Šie įvertinimai verčiami kiekybiniais rodikliais. Porinių lyginimų rodikliai naudojami matricioje, pagal juos skaičiuojama kiekybinė alternatyvų efektyvumo reikšmė. Atsirandant naujai alternatyvai, visi skaičiavimai kartojami. Šiai grupei priklausantys metodai pasižymi tokiais charakteristikomis: užtikrina palyginimų išsamumą, yra jautrūs žmonių matavimo klaidoms, parametų variacijų atveju gali sudaryti ciklinius santykius alternatyvų aibėje.

Lyginamosios preferencijos metodai yra pagrįsti kiekybinių matavimų pagrindu, tačiau naudojant kelis indikatorius alternatyvoms lyginti. ELECTRE (ELimination and Choice TRanslating Reality) Roy (1968) – eliminavimo ir alternatyvų parinkimo metodas, PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) Brans (1982) prioritetiškumo funkci-

jos pritaikymas alternatyvų rangavimui. MELCHIOR Leclercq (1984) metodo pagrindas yra porinis alternatyvų lyginimas, atliekamas specialiais sutikimo ar nesutikimo indeksais. Tikrinama vienos alternatyvos pranašumo kitos atžvilgiu hipotezė. Sutikimo indeksas randamas nustatant rodiklių reikšmingumo koeficientus. Nesutikimo indeksas nustatomas pagal kriterinius alternatyvų įvertinimus. Sutikimo ir nesutikimo indeksai nesiejami, o naudojami atskirai. Kiekvienam analizės etapui nustatoma žemiausia sutikimo indekso reikšmė ir aukščiausia nesutikimo indekso reikšmė, kurioms esant vienos alternatyvos pranašumas realizuojamas kitos atžvilgiu. Kaip ir analitinės hierarchijos metoduose, vertinamos ir lyginamos tik nustatytos alternatyvos. Šios metodų grupės skirtumas alternatyvų ne palyginamumo santykis, esant tam tikroms indeksų reikšmėms. Taikant preferencijos lyginimo metodus vienos alternatyvos pranašumų lygiai įvedami kitos atžvilgiu palaipsniui (porinių lyginimų atveju). Šios grupės metodai yra ne tokie jautrūs žmonių klaidoms, atliekant matavimus. Pirma vienos alternatyvos pranašumo kitos atžvilgiu sąlyga gali būti vykdoma, keičiantis alternatyvų įvertinimams gana dideliais diapazonais. Antra rodiklių reikšmingumai gali keistis esant toms pačioms sutikimo indekso reikšmėms, jei reikšmingumų suma, skaičiuojant sutikimo indeksą, lieka nekintama Larichev (2002). Verbalinės analizės sprendimų metodai yra pagrįsti kokybiniais matavimais, tačiau nenaudojantys perėjimo prie kiekybinių kintamųjų. ZAPROS I Larichev *et al.* (1978) ZAPROS II Larichev, Moshkovich (1995) ZAPROS III Larichev (2001) Verbalinės analizės sprendimų metodai įvertina kognityvinius ir elgsenos aspektus. Kokybiniai matavimai leidžia gauti nestruktūrizuotų problemų apibūdinimus, artimus realiems ir sprendimo priėmimo taisyklių atitinkančių žmoniškosios informacijos sistemas. Racionalių sprendimų variantų metodų klasifikacija pateikta 1.4 lentelėje.

1.4 lentelė Racionalių sprendimų variantų metodai (Banaitienė, Turskis (2004))

Table 1.4. The methods of rational decision options (Banaitiene, Turskis (2004))

Uždavino funkcija	Sprendimo tipas	
	Daugiau akcentuojama	
	Variantų formavimas	Įvertinimas
Apibrėžta	Klasikiniai optimizavimo metodai	Patikimumo analizė
	Tiesinis programavimas	Kryptingas modeliavimas
	Sveikas ir mišriai sveikas programavimas	Ekonometrinis modeliavimas
	Netiesinis programavimas	Reikšmingumo metodai (MacCrimon)
	Kontrolės teorija	Daugelio kriterijų naudingumo teorija (Keeney, Raiffa)

1.4 lentelės tęsinys
Table 1.4 continuation

Apibrėžta	Kontrolės teorija	Nustatomos vertės teorija (Dyer, Sarin)
		Analitinis hierarchinis metodas (Saaty)
		Alternatyvų lyginimas poromis pagal įprastus kriterijus (Kirwood, Sarin)
		Supaprastintas daugelio kriterijų naudojimo metodas (Einhorn, McCoach)
		ELECTRE I, II, III, IV metodai (Roy, Vincke, Duckstein)
Neapibrėžta	Sprendimo analizė	Monte Carlo modeliavimas
	Dinaminis programavimas	Papildomo reikšmingumo įvertinimo funkcija su daline informacija
	Neapibrėžtas netiesinis programavimas	Daugelio kriterijų metodas, kai neišsami informacija
	Stochastinė kontrolė teorija	

Daugiatikslio metodo klasifikacijos pagalba galima greičiau ir paprasčiau parinkti tinkamiausia metodą nagrinėjamai problemai išspręsti. Atlikus daugiatislių metodų analizę galima teigti, kad nėra universalaus metodo visiems uždaviniam spręsti. Kiekvienas metodas turi savo patikimumą, tikslumą, taikymo galimybes, gebėjimą apdoroti reikiamą informaciją (alternatyvas, rodiklius, kokybinius ar kiekybinius duomenis, reikšmingumo koeficientus).

1.8. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Literatūros apžvalga nagrinėjama tema patvirtino pastatų modernizavimo svarbą ir aktualumą šiuo laikotarpiu. Didelis mokslininkų dėmesys yra skiriamas gyvenamosios ir darbo aplinkos gerinimui.

2. Išnagrinėjus autorių siūlomus modelius pastatų atnaujinimui įvertinti, pastebėta, kad dauguma autorių naudoja daugiatislius vertinimo metodus. Tačiau vertina atskiras pastato atitvaras, neatlikdami kompleksinio pastato elementų, inžinerinių dalių, mikroklimato įvertinimo.

3. Išnagrinėjus daugiatislių metodų klasifikaciją ir atlikus daugiatislių metodų analizę, galima teigti, kad nėra universalaus metodo visiems uždaviniam spręsti. Kiekvienas metodas turi savo patikimumą, tikslumą, taikymo galimybes, gebėjimą apdoroti reikiamą informacijos kiekį. Todėl tikslinga išsamiau panag-

rinėti daugiatislius sprendimo priėmimo metodus ir jų taikymą pastatų atnaujimui įvertinti.

Atsižvelgiant į apibendrinimus, suformuluoti pagrindiniai šio darbo uždaviniai:

1. Sudaryti kompleksinį vertinimo modelį, kurio pagalba būtų galima atlikti platesnį, įvairiapusiškiasnį vertinimą, vertinant kiekybines tiek kokybines reikšmes pastato modernizavimo etape.
2. Suformuluoti pastato modernizavimo problemas ir problemų sprendimui pasitelkti daugiatislius vertinimo metodus.
3. Naudojant sukurta modelį, atlikti pasirinktų pastatų modernizavimo analizę, tokiu būdu priartinant konstrukcijų atnaujinimą realistiškesniam atsipirkimo laikui.

Daugiatiksliai vertinimo metodai pastato energijos poreikiams įvertinti

Antrame skyriuje pateikiami pastato energinio poreikio skaičiavimo algoritmai, vėliau išeities duomenys taikomi daugiatiksliam pastato energinio modernizavimo vertinimui atlikti. Skyriuje pateikiama daugiatikslių sprendimo metodų klasifikacija, jų raida. Nagrinėjami daugiatiksliai sprendimo metodai: MOORA (*Multi – Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*) ir MULTIMOORA (*MOORA plus a Full Multiplicative Form*), pateikiami metodų sprendimo algoritmai, matematiniai aprašai. Taip pat pateikiamas autoriaus kartu su bendraautoriumi sukurto (Kracka, Zavadskas 2013) naujo daugiatikslio metodo MOORA-G ir MULTIMOORA-G su intervalų sistemos teorija algoritmas. Minėtas daugiatiksliis vertinimo metodas pateiktas remiantis intervalų sistemos teorija, kai rodikliai apibūrinėti intervalais.

2.1. Energijos sąnaudų skaičiavimas pastatuose

Pastato atitvarų konstrukcijoms įvertinti šiluminiu požiūriu, būtina nagrinėjamą pastato atitvarą suskaidyti pagal medžiagas iš kurių susideda atitvara. Fizikinės medžiagų charakteristikos, lemia atitvarų skirtingus parametrus: patva-

rumą, atsparumą, šilumos pralaidumą, ilgaamžiškumą t.t. Vienas iš svarbiausių šiluminiu požiūriu veiksnių atitvaroje yra šilumos laidumo koeficientas.

Medžiagos termoizoliacinė savybė praleisti šilumą yra apibūdinama šilumos laidumo koeficientu λ , vertė išreiškiama $W/(m \cdot K)$ matavimo vienetu. ir apibūdinama formule:

$$\lambda = -\frac{q}{\frac{\partial T}{\partial n}}, \frac{\frac{W}{m^2}}{\frac{K}{m}} = \frac{W}{m \cdot K}. \quad (2.1)$$

Šilumos laidumo koeficientas nusako koks šilumos srautas (W) prateka per 1 m^2 ploto medžiagos sluoksnį, krintant temperatūrai vienu laipsniu vieno metro atstumu. Šilumos laidumas yra molekulinis reiškinys, kūną sudarančios molekulės viena kitai perduoda energiją. Molekulių energija priklauso nuo esančios temperatūros, todėl didėjant aplinkos temperatūrai šilumos laidumas taip pat didėja. Kuo mažesnė λ vertė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga.

Šilumos laidumo koeficientas, kai vertinami konvekcijos, spinduliuotės ir šiluminis laidumas, galima rasti pagal sekančią formulę

$$\lambda_{sum} = \lambda_s + \lambda_k + \lambda_l; \quad (2.2)$$

čia λ_{sum} – šilumos kiekis perduodamas spinduliavimu, $W/(m \cdot K)$; λ_s – šilumos kiekis perduodamas spinduliavimo būdu, $W/(m \cdot K)$; λ_k – šilumos kiekis perduodamas konvekcija, $W/(m \cdot K)$; λ_l – šilumos kiekis, perduodamas šiluminiu laidumu, $W/(m \cdot K)$.

Pastato viduje maišantis skirtingų temperatūrų skysčiai ar dujos šiluma sklinda konvekcijos būdu. Konvekcija perduodamos šilumos srautas turi įveikti šaltojo ir šiltojo paviršių šilumines varžas. Šilumos perneša konvekcijos būdu yra neatskiriama susijusi su jos perneša laidumo būdu, nes visi skysčiai ir dujos daugiau ar mažiau yra laidūs šilumai. Konvekcijos būdu perduodamas šilumos kiekis priklauso nuo dujų ar skysčių judėjimo parametrų: temperatūros, klampumo, tankio. Tai yra esminės šilumos sklaidimo ypatybės. Visais trimis būdais perduodamos šilumos srauto tankį ρ_l galima apskaičiuoti, pagal sekančią formulę Barkauskas, Stankevičius (2000):

$$\left(\frac{\lambda_a}{d_a} + \frac{1}{2} h_{cv} + h_r \right) \Delta T; \quad (2.3)$$

čia λ_a – oro sluoksnio šilumos laidumo koeficientas $W/(m \cdot K)$, d_a – oro sluoksnio plotis, m , h_{cv} – paviršiaus konvecinės šilumos perdavimo koeficien-

tas, $W/(m^2 \cdot K)$, h_r – paviršiaus spinduliuojamos šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$, ΔT – temperatūrų skirtumas, K .

Pritaikius pagrindinius šilumos srautus – laidumą, spinduliuavimą, konvekcią ji tampa dar sudėtingesnė ir reikalauja ne mažai žinių šiluminiams procesams įvertinti.

Pastatuose faktinės šilumos sąnaudos gali būti aprašomos:

$$Q_{sum} = Q_{ss} + Q_{kvv} + Q_{pr} - Q_{at} - Q_{vėd}; \quad (2.4)$$

čia Q_{ss} – šildymo sistemos šilumos sąnaudos, kWh ; Q_{kvv} – karšto vandens paruošimui šilumos sąnaudos, kWh ; Q_{pr} – šilumos pritekėjimas į pastatą per išorines atitvaras ir vidinius šiluminius išskyrimus, kWh ; Q_{at} – šilumos nuostoliai per pastato atitvaras, kWh ; $Q_{vėd}$ – šilumos poreikis oro pašildymui iki norminės patalpos temperatūros, kWh . Šilumos nuostoliai yra tiesiogiai proporcingi temperatūrų skirtumui tarp išorės ir vidaus patalpų temperatūrų. Temperatūrų skirtumui aprašyti yra naudojamas dienolaipsnis. Dienolaipsnis yra tam tikro periodo ilgumo ir šaltumo matas, kuris naudojamas techniniuose skaičiavimuose lyginant skirtingų periodų energijos suvartojimą šildymui.

Dienolaipsniai apskaičiuojami pagal sekančią formulę:

$$DL = z \cdot (t_v - t_{is}); \quad (2.5)$$

čia z – periodo trukmė, *paros*, t_v – vidutinė skaičiuojamoji oro temperatūra pastate, $^{\circ}C$, t_{is} – lauko oro temperatūros vidurkis per skaičiuojamą periodą, $^{\circ}C$.

Nors šilumos nuostolių charakteristika yra pastovus dydis, tačiau žinant nagrinėjamo laikotarpio faktines šilumos sąnaudas ir faktinę dienolaipsnių vertę, taip pat norminių dienolaipsnių skaičių, galima nustatyti šilumos poreikius nagrinėjamo pastato šildymui esant norminėms sąlygom.

Metinės šilumos poreikis pastato šildymui ir vėdinimui $Q_{vėd}$ esant norminėms sąlygoms įvertinus šildymo sezono trukmę, bei vidutinę patalpų vidaus ir išorės oro temperatūrų randamas pagal (2.6) formulę

$$Q_{met.sum} = (Q_{at} + Q_{vėd} - k_{pr} \cdot Q_{pro} - k_{kvv} \cdot Q_{kvv}) = Q_{kvv} \cdot DL_{norm}; \quad (2.6)$$

čia k_{pr} – naudingai panaudota šilumos pritekio dalis dėl vidinių šilumos išskyrimų ir šilumos pritekėjimų, k_{kvv} – naudingai panaudota šilumos dalis nuo karšto vandens paruošimo per armatūrą; DL_{norm} – šildymo sezono dienolaipsnių skaičius esant norminiams metams.

2.2. Pastato šilumos galios nustatymas

Šildymo sistemų galia turėtų būti kuo mažesnė tačiau pakankama, kad palaikytų šiluminio komforto lygį pastate. Pastato šilumos galia nustatoma pagal

patalpų šilumos poreikį esant projekcinėms lauko ir oro temperatūroms. Projektinę šiluminę galią pastate lemia: šilumos nuotoliai per atitvaras, šilumos nuostoliai per ilginčius šiluminius tiltelius, vėdinimo šilumos nuostoliai.

Pastatui reikalingos galios nustatymas gali būti randamas pagal teorinį skaičiavimą ir faktinį šiluminės energijos suvartojimą.

Teoriniam šilumos galios poreikio nustatymui yra apskaičiuojami šilumos nuostoliai prarandami pro išorines atitvaras taip pat įvertinami nuostoliai vėdinimui, oro infiltracijai ir apskaičiuojami šilumos pritekėjimai į pastatą pro skaidrias atitvaras, visi šilumos srauto mainai yra aprašomi žemiau pateikta formule:

$$Q_{met.sum} = (Q_{at} + Q_{vėd} - k_{pr} \cdot Q_{pro} - k_{kvv} \cdot Q_{kvv}) \cdot \lambda; \quad (2.7)$$

čia λ – koeficientas įvertinantis šilumos nuostolius pro neizoliuotas armatūras.

Faktiniam šilumos galios nustatymui yra išmatuojama, nagrinėjamu laikotarpiu, vidutinė patalpų vidaus ir lauko temperatūros, įvertinamas dienolaipsnių skaičius.

$$Q_{s.s} = Q_{sv} \cdot \frac{t_n - t_{i\check{s}}}{t_p - t_{i\check{s}.vid}} \cdot \frac{1}{24 \cdot d}; \quad (2.8)$$

čia $Q_{s.s}$ – šilumos sąnaudos šildymui, kWh ; t_n – norminė patalpų vidaus temperatūra, $^{\circ}C$; $t_{i\check{s}.vid}$ – vidutinė išorės temperatūra, $^{\circ}C$; t_p – projekcinė temperatūra, $^{\circ}C$; $t_{i\check{s}}$ – išorės temperatūra, $^{\circ}C$.

Pastato šilumos galios nustatymas pagal faktines šilumos sąnaudas nėra labai patikimas. Norint nustatyti šilumos pritekėjimus vidinius šilumos išsiskyrimus pastato viduje, lauko išorės temperatūrius svyravimus reikia atlikti daugiau ir įvairesnių laikotarpių duomenų.

Darbe siūlomas patikimesnis būdas nustatant šilumos poreikį pastatui. Apjungus aukščiau paminėtas formules, galima būtų įvertinti teorinius skaičiavimus vertinant pastato galią pagal išorinių konstrukcijų technines savybes ir šilumos nuostolius palyginus su norminėmis ir subalansavus pagal faktines šilumos sąnaudas apskaičiuotas vertinant faktinį šilumos poreikį pastate:

$$Q_{met.sum} = (Q_{at} + Q_{vėd} - k_{pr} \cdot Q_{pro} - k_{kvv} \cdot Q_{kvv}) \cdot \lambda = Q_{sv} \cdot \frac{t_n - t_{i\check{s}}}{t_p - t_{i\check{s}.vid}} \cdot \frac{1}{24 \cdot d}. \quad (2.9)$$

Pastato šilumos galios balansavimas atliekamas gerinant pastato išorinių atitvarų konstruktyvo šiluminę varžą, mažinant infiltraciją pastate, vėdinimo sistemą ir t.t.

2.3. Daugiatikslio vertinimo metodo parinkimas

Daugiatikslio metodo parinkimas uždaviniui spręsti, priklauso nuo nagrinėjamos problemos pobūdžio, turimos informacijos, rezultatų gavimo tipo. Atlikus mokslinės literatūros analizę, galima teigti, kad nėra vienintelio metodo visiems probleminiams sprendimams atlikti. Pasaulyje sukurta ne mažai sprendimų priėmimo metodų taikomų įvairiose srityse. E. K. Zavadskas statyboje pritaikė lošimų teorijos kriterijus (Valdo, Sevidžo, Gurvico, Maksimakso), apibendrintus kriterijus (adityviniai, vidutiniškai svertinės priimamo sprendimo sėkmės, multiplikatyviniai, kombinuotieji, naudingumo funkcijos, artumo idealiam taškui) nuoseklaus optimizavimo (sprendimų suderinamumo, konkordatiškumo), sintezės metodus Šarka *et al.* (2008).

Darnaus vystymo uždaviniams spręsti pritaikant daugiatikslius uždavinius nagrinėjo Zavadskas, Antuchevičienė (2004), Kracka *et al.* (2013), Brauers *et al.* (2013), darnų miesto modeliavimą pritaikant daugiatikslius metodus tyrė Šaparauskas (2003), Zavadskas, Viteikienė (2006), visuomeninių pastatų pagal darnos principus Mickaitytė (2008), statybų plėtros planavimą įvertinant trečiųjų asmenų interesus Šostak (2011), eksploatuojant elektronines statybos sistemas Naimavičienė *et al.* (2007), Kaklauskas *et al.* (2003).

Prieštarigus tikslus daugiatikslio vertinimo sprendimų priėmimo metoduose nagrinėjo įvairių šalių mokslininkai, daugiatikslių naudingumo teoriją nagrinėjo Keeney, Raiffa (1976), nustatomos vertės teoriją Butler, Dyer (1997), analitinės hierarchijos proceso metodus sukūrė Saaty (1980), alternatyvų lyginimą poromis remiantis įprastiniais kriterijais. Verbalinių metodų pagalba vertinant investicinių projektų efektyvumą, buvo sukurtas verbalinių metodų kompleksas SNOD, skirtas pastatų rekonstrukcijos ir naujos statybos problemoms spręsti Ustinovičius, Zavadskas (2004).

Daugiatikslių analizės metodai taikomi daugelyje sričių ir įvairiems uždaviniams spręsti. Darbe pateiktas naujas algoritmas daugiatikslio metodo besiremiančio intervalų sistemos teorija.

Chakraborty (2011) atliko kelių daugiatikslių metodų analizę vertindamas metodus tarpusavyje (2.1 lentelė), parinkdamas vertinimo kriterijus pagal metodo sprendimo sudėtingumą, sprendimo greitį, rezultatų patikimumą ir t. t.

Atlikus daugiatikslių metodų vertinimą, buvo prieita išvada, kad MOORA (*Multi – Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*) lentelėje pateiktų vertinamų rodiklių atžvilgiu metodas yra pranašesnis už kitus metodus, pateiktus 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Daugiatikslių metodų vertinimas.

Table 2.1. Multipurpose method evaluation.

MODM metodai	Skaičiavimo laikas	Aiškumas	Matematinų formulių	Patikimumas	Informacijos tipas
MOORA	Labai mažas	Labai paprastas	Minimaliai	Geras	Kiekybinis
AHP	Labai didelis	Labai sudėtingas	Maksimaliai	Mažas	Maišytas
TOPSIS	Vidutinis	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutiniškai	Vidutinis	Kiekybinis
VIKOR	Mažas	Paprastas	Vidutiniškai	Vidutinis	Kiekybinis
ELECTRE	Aukštas	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutiniškai	Vidutinis	Maišytas
PROMETHEE	Aukštas	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutiniškai	Vidutinis	Maišytas

Daugiatiksliai metodai sudaromi priklausomai nuo pasirinkto ir ieškomo tikslo. Tikslui pasiekti priskiriamos dimensijos, jas atitinka rodikliai ir rodiklių sistemos. Remiantis rodiklių sistema sudaroma matrica (2.2 lentelė). Aprašoma sprendimų matrica X susideda iš eilučių m ir stulpelių n , o matricoje esantys elementai atitinka i -tąją alternatyvą, kai $i = 1, 2, \dots, n$, pagal j -ąjį kriterijų, kai $j = 1, 2, \dots, m$.

2.2 lentelė. Sprendimų matrica

Table 2.2. The decision matrix

Alternatyvos	Rodikliai			
	C_1	C_2	...	C_m
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A_n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nn}
Reikšmingumai	q_1	q_2	...	q_m

Būtina pažymėti, kad matricoje normalizuojami atitinkami rodikliai, tuomet horizontaliai įvertinama kiekviena alternatyva. Alternatyvos – tai galimi skirtingi ir tikslingi sprendimai, apibūdinami tam tikrais rodikliais. Kriterijai atspindi

tam tikrus alternatyvų nagrinėjimo aspektus ir kiekvienas iš jų apibūdina vieną alternatyvos savybę. Lyginant alternatyvas tarpusavyje, patartina įvertinti kuo daugiau rodiklių Zavadskas, Vaigauskas (1985). Nuo vertinamų rodiklių priklauso alternatyvų prioritetiškumas.

Alternatyvos gali būti vertinamos visais objektyviai ar subjektyviai įtakančiais rodikliais. Objektyvūs rodikliai paprastai išreiškiami kiekiniais (kardinaliais) dydžiais: kvadratiniais metrais, pinigais, šilumos nuostoliais ir t.t. Subjektyvūs rodikliai dažniausiai yra kokybiniai (ordinalūs) ir išreiškiami jausmais, komfortu, pojūčiu.

Ordinalūs – dažniausiai vertinami žodžiais („puikiai“, „gerai“, „patenkinamai“, „nepatenkinamai“), tokio tipo rodikliai dažniausiai yra vertinami pasirinktos skalės balais ir paprastai neturi matavimo vienetų.

Kardinalūs – dažnai turi skirtingus matavimo vienetus (metrai, laipsniais, litais, vatais, procentai ir t.t.), kuriuos vėliau būtina transformuoti į bematį pavidalą.

Norint palyginti alternatyvas, būtina mums įtaką darančius veiksnus išreikšti tarpusavyje lyginamaisiais dydžiais Zavadskas (1987), Zavadskas (1991), Zavadskas *et al.* (2004) t.y. rodiklius paversti į bedimensius dydžius, kad galima būtų tarpusavyje vertinti. Rodiklių matavimo vienetų pavertimo į bedimensius dydžius procesas, skaičiuojamoje matricoje yra vadinamas normalizavimu. Nuo sprendžiamo uždavinio tipo dažniausiai priklauso normalizuojančio uždavinio pasirinkimas Zavadskas *et al.* (2001). Normalizavimas sprendimų priėmimo matricoje gali būti atliekamas pagal vektorių normalizavimo metodą, skalių transformavimo metodą, logaritminį, Weitendorf'o tiesinį ar santykio su suma metodus (2.3. lentelė).

2.3 lentelė. Normalizavimo metodai

Table 2.3. Normalization methods

Metodas	Optimumas $\max_i x_{ij}$	Optimumas $\min_i x_{ij}$	Pastabos
Vektorinis (Van Delfas ir Nijkampas)	$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$,	$\bar{x}_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$,	Normalizuotos reikšmės yra intervale [0;1]
Weitendorf o tiesinis (1976)	$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$,	$\bar{x}_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$,	Normalizuotos reikšmės yra intervale $[\max_i x_{ij}; \min_i x_{ij}]$

2.3 lentelės tęsinys
Table 2.3. continuation

Netiesinis (Pelds- chaus ir kt. (1983))	$\overline{x_{ij}} = \left(\frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \right)^2$	$\overline{x_{ij}} = \left(\frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \right)^3$	Normalizuotos reikšmės išskai- domos ir yra mažesnės nei taikant kitus ki- tus normalizavi- mo metodus
Jüttlerio ir Körtho	$\overline{x_{ij}} = 1 - \left \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \right $	$\overline{x_{ij}} = 1 - \left \frac{\min_i x_{ij} - x_{ij}}{\min_i x_{ij}} \right $	Normalizuotos reikšmės yra apribotos inter- vale [0;1]
Logaritmi- nis (Za- vadskas ir Turskis (2008))	$\overline{x_{ij}} = \frac{\ln(x_{ij})}{\ln(\prod_{j=1}^n x_{ij})}$	$\overline{x_{ij}} = \frac{1 - \frac{\ln(x_{ij})}{n}}{\ln(\prod_{j=1}^n x_{ij})}$	Normalizuotų rodiklių suma lygi 1.

Dažniausiai normalizavimui atlikti yra naudojami vektorinis ir skalių transformavimo metodai.

Vektorių normalizavimo būdu atliekamas normalizavimas kai rodiklių reikšmės yra geriausios ir jos didžiausios (šilumos varža, stiprumas ir t. t.) atliekamas pagal sekančią formulę.

$$\overline{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad (2.10)$$

čia $\overline{x_{ij}}$ – normalizuotos vertės x_{ij} – pradinės rodiklių vertės, m – alternatyvų skaičius, i – alternatyvos numeris.

Kai rodiklio reikšmės yra geriausios, kai jos yra mažiausios (šilumos perdavimo koeficientas, nuostoliai ir t. t.) normalizavimas atliekamas pagal sekančią formulę.

$$\overline{x_{ij}} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}. \quad (2.11)$$

Šiuo normalizavimo būdu performuotos rodiklių reikšmės neredukuoja vienodo ilgio skalėse.

Sprendžiant kai kuriais MCDM metodais yra būtina nustatyti rodiklių reikšmingumus q_j , kai $j=1, 2, \dots, m$, šis dydis nusako kiek yra svarbus rodiklis

lyginant su kitais rodikliais aprašytame metode. Tačiau naudojant rodiklių reikšmingumus dažnai gautos reikšmės yra subjektyvios.

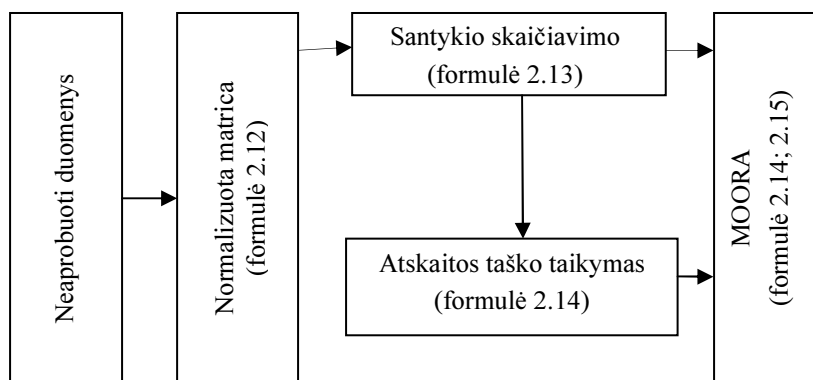
2.4. Daugiatiksliai MOORA ir MULTIMOORA vertinimo metodai

Daugiatiksliai metodai padeda apdoroti didelio kiekio duomenis, juos susisteminti matematiškai ir pateikti prioritetų išdėstymo seką, pagal alternatyvų pranašumą kito atžvilgiu. Daugiatiksliai vertinimo metodai nepriima galutinio sprendimo, tai atlieka ekspertas ar jų grupė.

Pastatų modernizavimo vertinimui ir alternatyvos parinkimui lyginant nagrinėjamų variantų rodiklius, analizuojant jų koncepcinę informaciją buvo pasirinktas MOORA ir MULTIMOORA metodai.

2.4.1. Racionalaus varianto parinkimas MOORA metodu

MOORA metodas (*Multi – Objective Optimization On the basis of Ratio Analysis*) pirma kartą buvo pasiūlytas 2006 mokslininkų W.K.M Brauers ir E.K Zavadskas (2006). MOORA metodas leidžia išvengti subjektyvumo, kadangi nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumo koeficientų. Metodo uždavinių sprendimo algoritmo blokinėje schemoje (2.1 pav.) pateiktos sunumeruotos formulių naudojimo sekos.



2.1 pav. MOORA metodo sprendimo algoritmo schema (Balezantis *et. al.*, 2010)

Fig. 2.1. MOORA method diagram of solution algorithm (Balezantis *et. al.*, 2010)

MOORA metodas susideda iš dviejų dalių:

- santykio skaičiavimo;
- atskaitos taško teorijos taikymo.

Pradiniai duomenys yra surašomi į skaičiuojamąją matricą.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (2.12)$$

čia x_{ij} – j -osios alternatyvos i -asis rodiklis; $j = 1, 2, \dots, m$ alternatyvų skaičius; $i = 1, 2, \dots, n$ rodiklių skaičius.

Išeities duomenys turintys skirtingus matavimo vienetus yra normalizuojami į bedimensius dydžius, naudojant sekančią formulę:

$$\overline{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}; \quad (2.13)$$

čia $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$ Normalizuotos reikšmės priklauso intervalui $[0;1]$. Rodikliai yra sudedami – jei reikšmė yra maksimizuojama arba atimami – jei reikšmė yra minimizuojama:

$$S_i^* = \sum_{j=1}^g \overline{x_{ij}} - \sum_{j=g+1}^m \overline{x_{ij}}; \quad (2.14)$$

čia g – maksimizuoti siekiamų rodiklių skaičius. Geriausią alternatyvą, kurios y reikšmė yra maksimali, o blogiausią, kurios y reikšmė yra minimali.

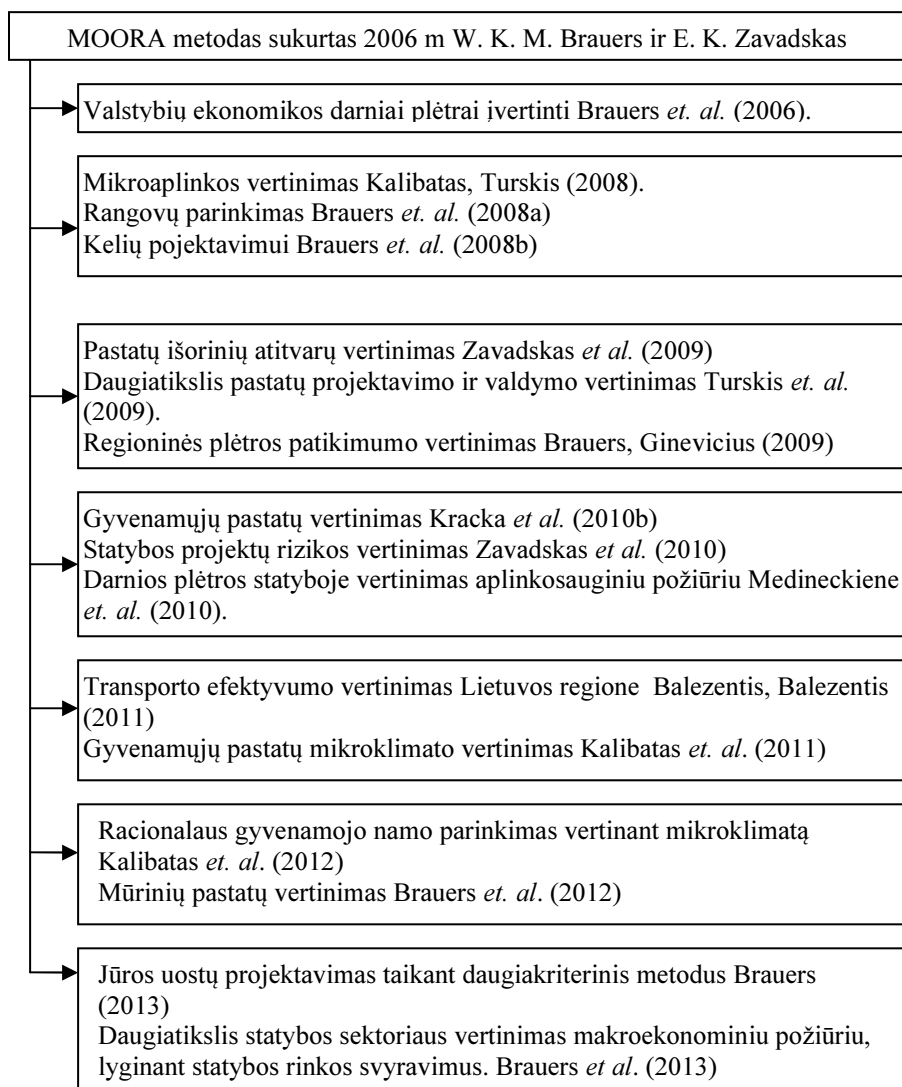
Pagal normalizuotų rodiklių reikšmes yra randamas maksimalus tikslinis taškas $r_j = \max_j x_{ij}$. Iš maksimalios reikšmės rodiklių yra sudaroma maksimumo alternatyva, kuri vėliau yra lygina su kiekviena rodiklio alternatyva.

$$(r_j - \overline{x_{ij}}). \quad (2.15)$$

Sekančiame etape yra sudaroma alternatyvų palyginimo su maksimumo (geriausia) alternatyva matrica. Galutinis alternatyvos rangas yra nustatomas remiantis Tchebycheff metrika ir Min-Max metodu Karlin, Studden (1966).

$$\min_i (\max_j |r_j - \overline{x_{ij}}|). \quad (2.16)$$

2.2 paveiksle pateikta daugiatikslio MOORA metodo trumpa apžvalga, metodo pritaikymas, įvairaus profilio problemoms vertinti nuo metodo sukūrimo dienos.



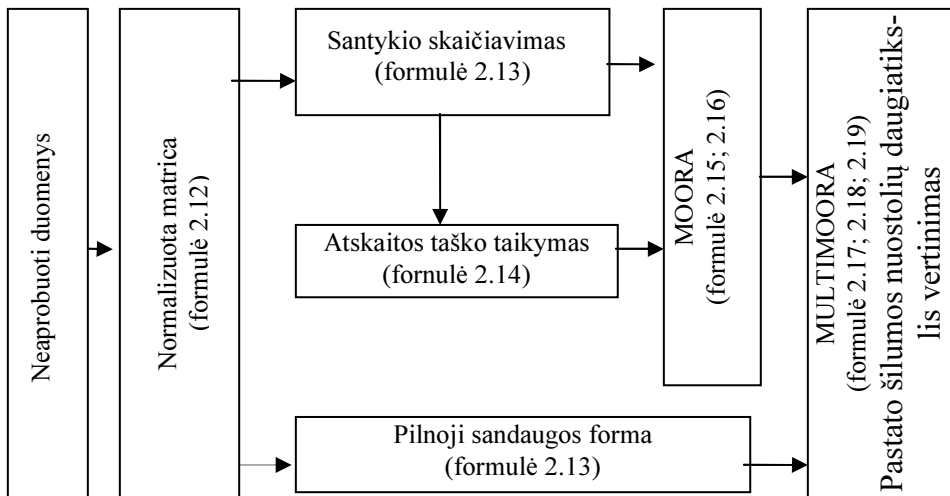
2.2 pav. MOORA metodo taikymas 2006–2013 m.

Fig. 2.2. Application of MOORA method in 2006–2013

Daugiatikslis MOORA metodo taikymas apima plačią problemų vertinimo ir sprendimo priėmimo skalę įvairiose ekonomikos, aplinkos, socialinėse, fizikos srityse.

2.4.2. Racionalaus varianto parinkimas MULTIMOORA metodu

MOORA metodas mokslininkų W. K. Brauers ir E. K. Zavadskas 2010 metais buvo patobulintas, pridėdant papildomą sandaugos formą (2.3 pav.), kurio pagalba metodui buvo suteiktas MULTIMOORA (*MOORA plus the full Multiply Form*) pavadinimas (Brauers, Zavadskas 2010). MULTIMOORA taip pat leidžia išvengti subjektyvumo, kadangi nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumų koeficientų.



2.3 pav. MULTIMOORA sprendimo algoritmo schema

Fig. 2.3. MULTIMOORA decision algorithm diagram

MULTIMOORA metodas Brauers, Zavadskas (2010) yra MOORA papildymas pilnoji sandaugos forma, kuri apima naudingumo funkcijos minimizavimą ir maksimizavimą.

$$U_i^* = \frac{A_i}{B_i}; \quad (2.17)$$

čia A_i yra maksimizuotų rodiklių sandauga

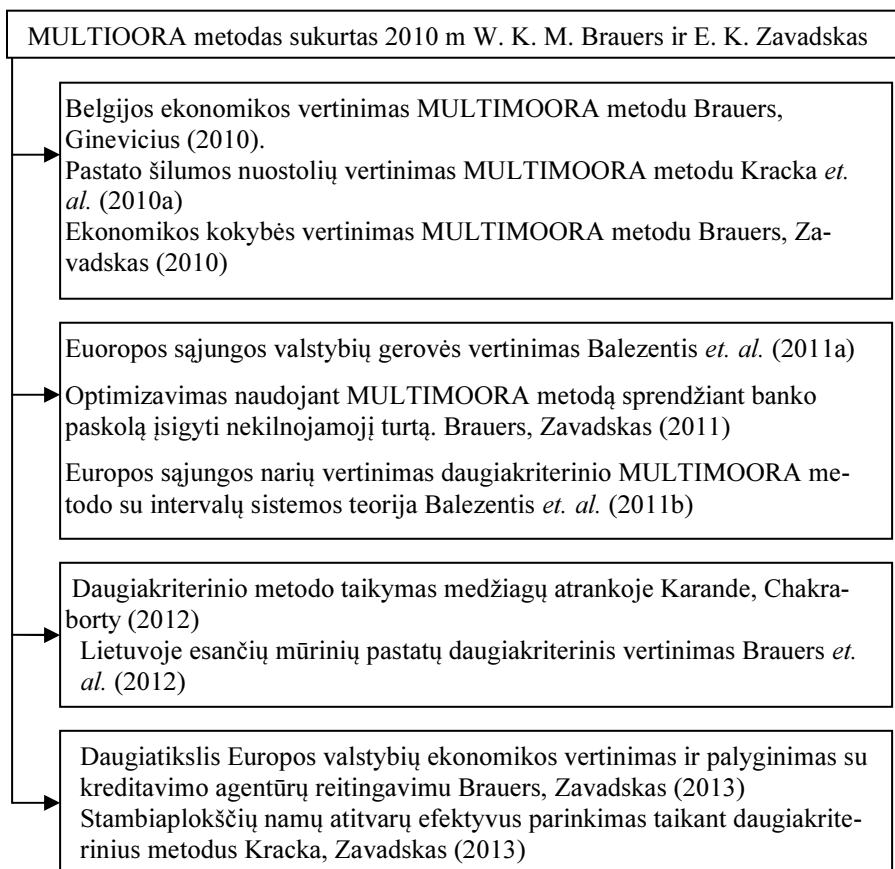
$$A_i^* = \prod_{j=1}^g x_{ij}; \quad (2.18)$$

čia $i=1, 2, \dots, m$ yra i -tosios alternatyvos maksimizuotų rodiklių sandauga

$$B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij}, \quad (2.19)$$

čia B_i yra minimizuojamų rodiklių sandauga. $g-1, 2, \dots, n$ yra rodiklių skaičius.

Daugiatikslio MULTIMOORA vertinimo metodo praktinis pritaikymas įvairaus profilio problemoms vertinti (2.4 pav.).



2.4 pav. MULTIMOORA metodo taikymas 2010–2013 m
Fig. 2.4. Application of MULTIMOORA method in 2010–2013

Apibendrinus MOORA (santykių sistemos ir atskaitos taško) be pilnosios sandaugos formos metodais gautus rangus, sprendimo alternatyvoms suteikiami galutinei MULTIMOORA metodo rangai Balezentis *et. al.* (2010).

2.4.3. Intervalų sistemos teorijos taikymas

Esant dideliame kiekiui išėjimo duomenų atsiranda tikimybė neįtraukti ieškamų reikšmių į skaičiuojamąją matricą. Nors racionalus rezultatas ir bus gautas iš pateiktų reikšmių matricoje, tačiau jis nebūtinai bus racionalus, apskritai, sprendžiamoje problemoje. Tokiai situacijai suvaldyti reikėtų naudoti reikšmes apibrėžtas intervalu (2.4. lentelė). Intervalų sistemos pagrindas yra rodiklio reikšmės apibrėžtos intervalu Deng (1988).

2.4. lentelė. Informacijos aprašymo būdai intervalų sistemoje (Liu, Lin 2006)

Table 2.4. Information description ways in interval system (Liu, Lin 2006)

Informacija	Išreiškia tikslią informaciją	Rodiklių reikšmės intervale	Neišreiškia jokios informacijos
Matematinė reikšmių išraiška	$\underline{x} = \bar{x}$	$[\underline{x}, \bar{x}]$	$\underline{x} \rightarrow \infty, \bar{x} \rightarrow \infty$

Intervalų sistemos teoriją pirmas pradėjo plėtoti Deng (1982), vėliau ir kiti mokslininkai sprenddami įvairaus profilio uždavinius. Zolfani *et al.* (2012) personalo atranką įmonėse pritaikant intervalų teoriją, Aghdaie *et al.* (2012) vertino projektų atranką ir eiliškumą pagal prioritetus, kaip pavyzdį nagrinėjo pėsčiųjų tilto įrengimo svarbą Sari mieste Irane, Aghdaie *et al.* (2013) atliko bendrovių rinkos segmentų vertinimą ir atranką, Yue (2013) prioritetine tvarka rinko tiekėjus. Pritaikant intervalų sistemą daugiatislių metodų tolimesnės vystimosi galimybes nagrinėjo Gong *et al.* (2013), Liu *et al.* (2013), Wang *et al.* (2013). Haggiagha *et al.* (2013).

2.4.4. Varianto parinkimas taikant rodiklius su apibrėžtais skaičių intervalais

Testuojant daugiatislią alternatyvų analizę ir gautus rezultatus, buvo priimtas sprendimas, anksčiau priimtus rodiklius apibrėžti intervalu. Tokiu žingsniu galima tiksliau ir daugiau patikrinti rodiklių ir alternatyvų reikšmių. Pritaikius daugiatislius MOORA ir MULTIMOORA metodus randamas racionalus intervalas, su jame apibrėžtomis reikšmėmis. Sekančiame algoritmo žingsnyje pritaikius pakartotiną algoritminį veiksmą ir naudojant tuos pačius daugiatislius metodus yra perskaiciuojamos racionaliame intervale esančios reikšmės. Gautos reikšmės suranguojamos prioritetine seka.

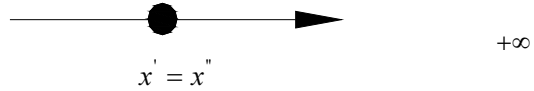
Remiantis Deng (1988) pateikta sprendimų priėmimo sistemų intervalų teorija, reikšmės intervalais galima apibrėžti:

1. sveikuju skaičiumi (2.5 pav.) – skaičius išreiškia tikslią informaciją $x' = x''$;

2. neapibrėžtuoju skaičiumi (2.6 pav.) – neišreiškia jokios informacijos $x' \rightarrow \infty$ ir $x'' \rightarrow \infty$;

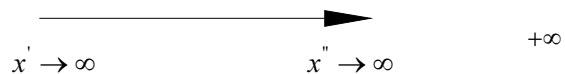
3. skaičiumi intervale $[x'; x'']$ – rodiklių reikšmės intervale (2.7 pav.).

Sveikos rodiklių reikšmės



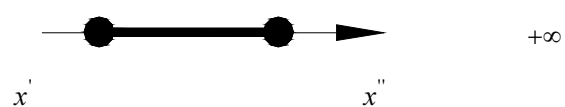
2.5 pav. Sveiku skaičiumi išreikšta informacija
Fig. 2.5 Information expressed in integer number

Neapibrėžtos rodiklių reikšmės



2.6 pav. Neapibrėžtuoju skaičiumi išreikšta informacija
Fig. 2.6 Information expressed in intangible number

Rodiklių reikšmės intervale

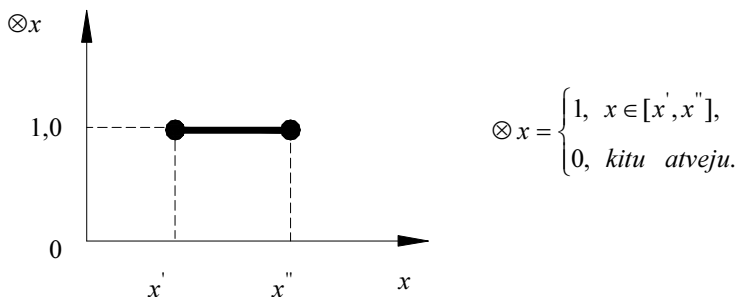


2.7 pav. Rodikliai išreikšti intervalu
Fig. 2.7 Indicators expressed by the interval

Didesnė reikšmė x'' ir mažesnė x' reikšmė yra apibrėžta su tarp jų esančiais nežinomaisiais x , kitaip dar vadinamais pilkaisiais skaičiais.

$$\otimes x = [x', x''] = [x' \in x | x' \leq x \leq x''] \quad (2.20)$$

Intervalas yra nusakomas reikšmėmis x' ir x'' . Kai mažesnė reikšmė yra x' , o didesnė x'' . ($x', x'' \in \mathfrak{R}; x' < x''$). Intervalo $\overline{A}$ grafinis vaizdas yra nurodytas 2.8 paveiksle



2.8 pav. Grafinis reikšmių vaizdavimas
Fig. 2.8 Graphical representation of the values

Kuomet didesnė reikšmė x'' ir mažesnė x' reikšmė yra lygi viena kitai $x' = x''$, intervale esantys pilkieji skaičiai vadinami baltaisiais skaičiais.

Aritmetiniai skaičiavimai intervale esančių reikšmių yra atliekami remiantis Moore (1966):

Sudėtis:

$$\overline{A} \oplus \overline{B} = [a_1, a_2] \oplus [b_1, b_2] = (a_1 + b_1, a_2 + b_2); \quad (2.21)$$

Skirtumas:

$$\overline{A} - \overline{B} = [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = (a_1 - b_1, a_2 - b_2); \quad (2.22)$$

Sandauga:

$$\overline{A} \otimes \overline{B} = [a_1, a_2] \otimes [b_1, b_2] = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2); \quad (2.23)$$

Dalyba:

$$\overline{A} / \overline{B} = [a_1, a_2] / [b_1, b_2] = (a_1 / b_1, a_2 / b_2); \quad (2.24)$$

Sandauga su sveiku skaičiumi k :

$$k \otimes \overline{A} = k \otimes [a_1, a_2] = [k \times a_1, k \times a_2]. \quad (2.25)$$

Tuomet atstumas tarp dviejų intervalų $\overline{A} = [a_1, a_2]$ ir $\overline{B} = [b_1, b_2]$ centru bus randamas pagal sekančią formulę:

$$d(\overline{A}, \overline{B}) = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{1}{2}[(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)]. \quad (2.26)$$

Daugiatikslio vertinimo metodo sujungimas su intervalų sistema padeda aporuoti didesnę kiekį informacijos. Kadangi nėra žinomos naudingosios vertės, užsiduodama minimali x' reikšmė ir maksimali x'' reikšmė, abi šios reikšmės yra intervalo ribos ir aprašomos žemiau pateiktoje matricioje.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} [x'_{11}, x''_{11}] & [x'_{12}, x''_{12}] & \cdots & [x'_{1n}, x''_{1n}] \\ [x'_{21}, x''_{21}] & [x'_{22}, x''_{22}] & \cdots & [x'_{2n}, x''_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [x'_{m1}, x''_{m1}] & [x'_{m2}, x''_{m2}] & \cdots & [x'_{mn}, x''_{mn}] \end{bmatrix} \end{matrix}; \quad (2.27)$$

čia intervale $x \in [x', x'']$.

Pritaikius santykio skaičiavimo formulę, reikšmės yra normalizuojamos į bedimensius dydžius, naudojantis Jahanshahloo *et al.* (2006) pasiūlyta formule.

$$\overline{x'_{ij}} = \frac{x'_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x'_{ij})^2 + \sum_{j=1}^m (x''_{ij})^2}}; \quad (2.28)$$

čia normalizuota reikšmė $\overline{x'_{ij}}$ yra intervale minimali ir $\overline{x''_{ij}}$ intervale maksimali.

$$\overline{x''_{ij}} = \frac{x''_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x'_{ij})^2 + \sum_{j=1}^m (x''_{ij})^2}}; \quad (2.29)$$

čia $x_{ij} - i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$. Normalizuotos reikšmės priklauso intervalui $[0; 1]$.

Rodikliai yra sudedami – jei reikšmė yra maksimizuojama arba atimami – jei reikšmė yra minimizuojama.

Jei metode būtų naudojami rodiklių reikšmingumai, jų pritaikymas būtų atliekamas po rodiklių normalizavimo.

$$s_i^{+x'} = \sum_{j=1}^n \overline{x'_{ij}} \Big| j \in J^{\max}; \quad (2.30)$$

$$s_i^{+x''} = \sum_{j=1}^n \overline{x''_{ij}} \Big| j \in J^{\max}; \quad (2.31)$$

čia $S_i^{+x'}$ ir $S_i^{+x''}$ yra maksimizuojančių rodiklių minimalios ir maksimalios intervalo ribos.

$$s_i^{-x'} = \sum_{j=1}^n \overline{x'_{ij}} \Big| j \in J^{\max}; \quad (2.32)$$

$$s_i^{-x''} = \sum_{j=1}^n \overline{x''_{ij}} \Big| j \in J^{\max}; \quad (2.33)$$

čia $S_i^{-x'}$ ir $S_i^{-x''}$ yra minimizuojančių rodiklių minimalios ir maksimalios intervalo ribos.

$$S_i(S_i^+, S_i^-) = \frac{1}{2}[(s_i^{+x'} - s_i^{-x'}) + (s_i^{+x''} - s_i^{-x''})]. \quad (2.34)$$

Iš gautų maksimizuojančių intervalų ir minimizuojančių intervalų reikšmių, aritmetiniu vidurkiu yra suskaičiuojama efektyviausia alternatyva. Sekos principu alternatyvos yra išdėstomos mažėjančia tvarka, atitinkančias gautus skaičiavimo rezultatus. Efektyviausia alternatyva bus ta kurios reikšmė didžiausia.

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Išnagrinėti daugiatislių sprendimo priėmimo metodų kvalifikaciniai požymiai, leidžia teigti, kad daugiatisliai kiekybiniai sprendimo priėmimo metodai geriausiai tinka pastatų konstrukcijų atnaujinimo sprendimui įvertinti kompleksškai.

2. Atliekant pastatų energinį įvertinimą yra keliama daug tikslų ir dažnai turint skirtingus rodiklius. Daugiatislių sprendimo priėmimo metodų apžvalga, leidžia teigti, kad tinkamiausi energiniam įvertinimui atlikti yra MOORA ir MULTIMOORA metodai. Šie metodai leidžia išvengti subjektyvumo, kadangi nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumų koeficientų.

3. Literatūros šaltiniuose aptinkamas įvairus intervalų sistemos teorijos taikymas, tačiau pastatų modernizavimui nebuvo taikyta. Šiam tikslui buvo pritaikytas daugiatislio vertinimo metodas, kai reikšmės apibrėžtos intervalu.

4. Skyriuje pateiktas autoriaus siūlomas naujas MOORA-G ir MULTIMOORA-G su intervalų sistemos teorija algoritmas, kurio pagalba galima paprasčiau rasti norimo tikslumo racionalią reikšmę. Naujas algoritmas pritaikytas techniniams statybos darbų uždaviniams spręsti.

5. Pastatų modernizavimo uždaviniams spręsti būtina ieškoti naujų sprendimo būdų ir sprendimo metodų variacijų. Kompleksiniam vertinimui atlikti darbe naudojami daugiatisliai vertinimo metodai su intervalų sistemos teorija. Racionalaus sprendimo priėmimui atlikti vertinami intervalai, o atlikus papildomą aritmetinį veiksmą, rasto racionalaus intervalo režiuose yra randama racionalio reikšmė. Tokios eigos pagalba galima greičiau rasti, norimo tikslumo racionalio reikšmę, turint didelį kiekį kriterijų ir alternatyvų reikšmių.

Pastatų energetinio modernizavimo vertinimas naudojant daugiatislius metodus

Šiame skyriuje aprašomi praktiškai pritaikyti daugiatisliai modeliai vertinant gyvenamuosius, visuomeninius pastatus energijos suvartojimo ir priemonių energiniams nuostoliams sumažinti nustatymas. Eksperimentiškai nustatyti atitvarų šilumos perdavimo koeficientai, nubraižytos atitvarų sorbcijos izotermės ir atlikti termografijos tyrimai atitvarų daugiatisliam vertinimui. Suskaičiuoti teoriniai pastato šilumos nuostoliai per išorines atitvaras, gauti duomenys palyginti su eksperimentiniais tyrimais.

Skyriuje yra pateikti trys skirtingi pastato modernizavimo uždaviniai. Pirmame uždavinyje daugiatislių metodų pagalba vertinamas langų parinkimas priklausomai nuo fasado orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu.

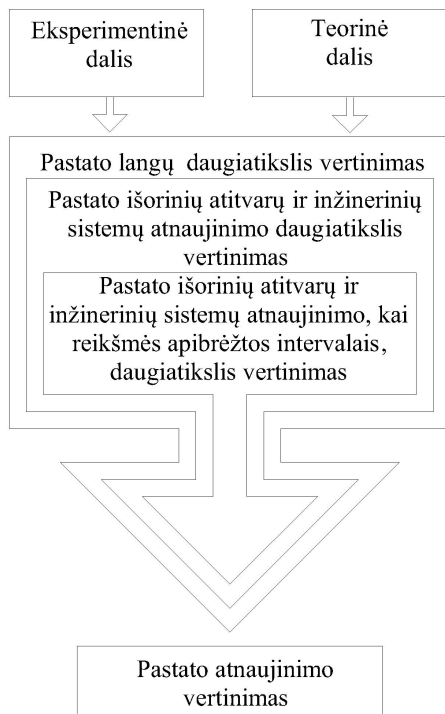
Antrame uždavinyje pateiktas pastato išorinių atitvarų ir inžinerinių sistemų daugiatislis vertinimas pastato modernizavimo stadijoje, kai šilumos nuostoliai pastate vertinami kompleksškai.

Trečiame uždavinyje kompleksiniam pastato šilumos nuostolių vertinimui per atitvaras ir racionaliam pastato atnaujinimo variantui parinkti, naudojamas daugiatislis vertinimo metodas, kai reikšmės apibrėžtos intervalu. Skyriuje nagrinėjama tema autorius kartu su bendraautoriais paskelbęs septynias publikaci-

jas: tris straipsnius recenzuojamuose žurnaluose Kracka *et al.* (2010a), Brauers *et al.* (2012), Kracka, Zavadskas, (2013) ir keturias publikacijas recenzuojamų konferencijų straipsnių rinkiniuose Kracka *et al.* (2010b), Medineckiene, Kracka (2011), Kracka *et al.* (2011), Tamosaitiene *et al.* (2013).

3.1. Pastato šilumos nuostolių vertinimas

Pastato atnaujinimas daugiatisiais metodais atliekamas 3.1 paveiksle pateikta seka. Darbų eiga prasideda nuo atskirų pastato atitvarų vertinimo eksperimentiniu ir teoriniu būdu, vėliau įtraukiant visas pastato atitvaras ir inžinerines sistemas. Trečiame uždavinyje pritaikant naują daugiatislio vertinimo metodo, kai reikšmės apibrėžtos intervalu, algoritmą yra randama racionali pastato atnaujinimo alternatyva.

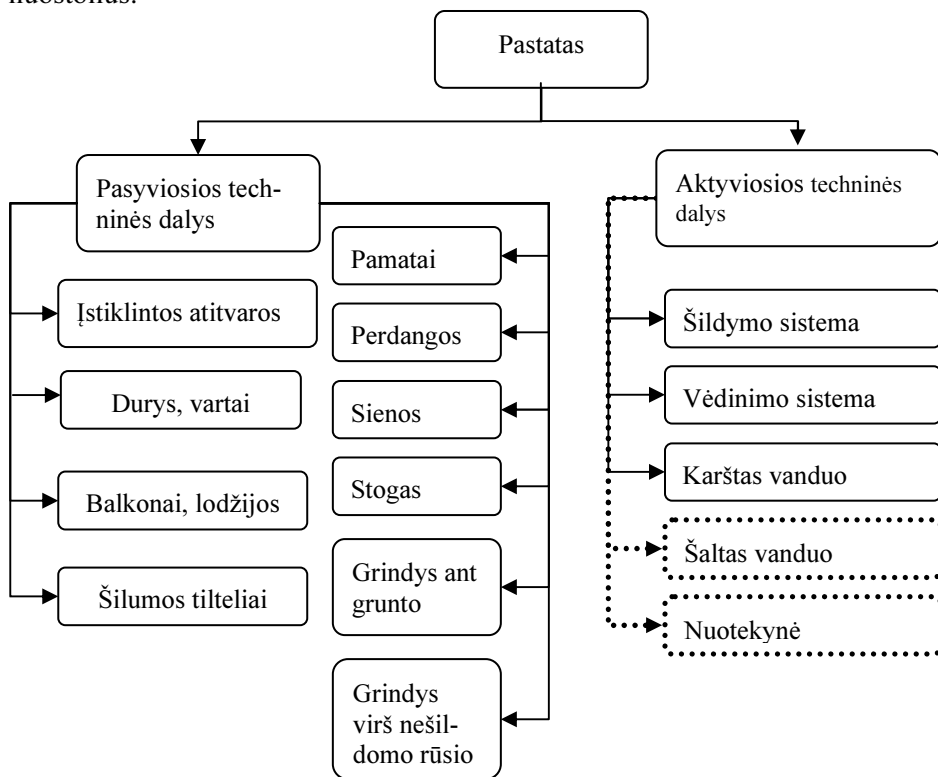


3.1 pav. Pastatų atnaujinimo daugiatislio vertinimo eiga
Fig. 3.1. Building renovation multicriteria assessment process

Lietuvoje pastatus šildyti pradedama, kai lauko oro vidutinė temperatūra nusistovi ne mažiau trijų parų 10 °C aukščiau nulio, o baigiama kai oro temperatūra paros metu viršija 8 (10 °C) aukščiau nulio. Lietuvoje: šildymo sezono

trukmė priklausomai nuo rajono gali svyruoti nuo 192 paros (Kaune) iki 205 paros (Telšiuose). Lauke oro temperatūra šildymo sezono metu nuolat kinta, skirtumas tarp vidaus ir išorės patalpų temperatūrų turi didelius perkritimus. Todėl šildymo sistema turi būti lanksti ir sudaryti komfortą patalpoje esant dideliems temperatūrų skirtumams.

Pastatą galima suskirstyti į atskiras struktūrines dalis: aktyviasias technines dalis ir pasyviasias technines dalis (3.2 pav.). Aktyviosios techninės dalys nuolat kinta (elektra, šildymo sistema) pastato eksploataavimo metu, šių dalių šilumos nuostoliai vertinami reglamentuose nurodytais metodais, priklausomai nuo pastato paskirties. Pasyviųjų pastatų dalių šilumos nuostoliai gali būti randami eksperimentiniu arba teoriniu būdu, skaičiuojant atskirų išorinių atitvarų šilumos nuostolius.



3.2 pav. Pagrindinės pastato atitvaros ir inžinerinės dalys

Fig. 3.2. Basic building partition and engineering parts

Pastato šilumos nuostoliai priklauso nuo daugelio parametų: šilumos laidumo koeficiento, atitvaros storio, atitvarų plotų, ilginių šilumos tiltelių perdavimo koeficientų ir jų ilgių, į patalpas infiltruojamo oro kiekio, šildymo sistemos tipo.

Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientą galima sužinoti teoriškai žinant konstrukcijos technines charakteristikas (sudedamąsias medžiagas, sudedamųjų dalių storį). Tais atvejais, kai nėra tiksliai žinomas atitvaros medžiaga, sudedamųjų dalių storis ar norint įvertinti realią konstrukcijos padėtį, yra atliekami matavimai naudojant paviršiaus temperatūros matavimo ir šilumos srauto prietaisus.

Atitvaros visuminė šiluminė varža R_s , $m^2 \cdot K / W$ apskaičiuojama:

$$R_s = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{q}; \quad (3.1)$$

čia θ_{si} – vidutinė vidinio paviršiaus temperatūra, per laiko tarpą, °C; θ_{se} – vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra, per laiko tarpą, °C; q – vidutinis šilumos srauto tankis, per laiko tarpą, W / m^2 .

Faktinis atitvaros šilumos perdavimo koeficientas parodo šilumos srauto tankio ir atitvaros vidaus ir lauko išorės paviršių temperatūrų skirtumo santykį. Faktinis šilumos perdavimo koeficientas U , $(W / m^2 \cdot K)$ nustatomas:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_{se}}; \quad (3.2)$$

čia R_{si} – vidaus paviršiaus varža, $m^2 \cdot K / W$, R_s – sluoksnių suminė šiluminė varža, $m^2 \cdot K / W$, R_{se} – išorės paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K / W$.

Atitvaroje esančių sluoksnių suminė šiluminė varža R_s priklauso nuo konstrukcijoje esančių sluoksnių fizikinių-šiluminių charakteristikų. Tuo tarpu atitvaros R_{si} vidaus ir R_{se} lauko paviršių varžos priklauso nuo atitvarų veikiančių aplinkos faktorių (drėgnumo, temperatūros, vėjo greičio ir t. t.), kurie matavimo metu gali kisti. Vidaus ir lauko paviršių varžos reikšmės yra nurodytos statybos techniniame reglamente STR 2.01.09:2005 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“, o darbe pateiktos 3.1 lentelėje.

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

Table 3.1. Internal and external surfaces of the thermal resistance R_{si} and R_{se} , $m^2 \cdot K / W$

Vidinio paviršiaus šiluminė varža, R_{si} , m ² ·K/W		Išorinio paviršiaus šiluminė varža, R_{se} , m ² ·K/W	
Šilumos srauto kryptis			
horizontali →	aukštyn ↑	žemyn ↓	Visomis kryptimis
0,13	0,10	0,17	0,04

Horizontaliuoju vadinamas srautas, kurio kryptis vertikališiosios plokštumos atžvilgiu nesiskiria daugiau kaip $\pm 30^\circ$. Pertvarų, skiriančių dvi patalpas su

skirtingomis oro temperatūromis, suminė abiejų paviršių šiluminė varža ($R_{si} + R_{se} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Paviršiaus šiluminės varžos priklausomybė nuo vėjo greičio pateikta 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Paviršiaus šiluminė vertė esant įvairiems vėjo greičiams R_{se} , $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

Table 3.2. Surface heating value for different wind speeds R_{se} , $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

Vėjo greitis, m/s	1	2	3	5	7	10
R_{se} , $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02

Pastato išorinių atitvarų norminiai reikalavimai priklauso nuo konstrukcijos tipo ir pastato paskirties. Gyvenamųjų pastatų atitvarų norminės šilumos perdavimo koeficiento U_N , $(\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vertės yra pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė Gyvenamųjų pastatų atitvarų norminės šilumos perdavimo U_N koeficientų vertės

Table 3.3. Residential building envelope heat transfer coefficients of the normative values

Atitvara	U_N norminė vertė neįvertinus temperatūros pataisos ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	U_N norminė vertė įverti- nus tempera- tūros pataisą ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Stogų, $U_{N,r}$	$0,16 \cdot \text{K}$	0,16
Perdangų kurios ribojasi su išore, $U_{N,ce}$	$0,16 \cdot \text{K}$	0,16
Atitvarų, kurios ribojasi su gruntu, $U_{N,fg}$	$0,25 \cdot \text{K}$	0,25
Perdangų virš nešildomų rūšių ir pogrindžių, $U_{N,cc}$	$0,25 \cdot \text{K}$	0,25
Sienų, $U_{N,w}$	$0,20 \cdot \text{K}$	0,20
Durų, $U_{N,d}$	$0,16 \cdot \text{K}$	1,60
Langų $U_{N,wd}$	$1,60 \cdot \text{K}$	1,60
Ilginių šiluminių tiltelių, ψ_N	$0,18 \cdot \text{K}$	0,18

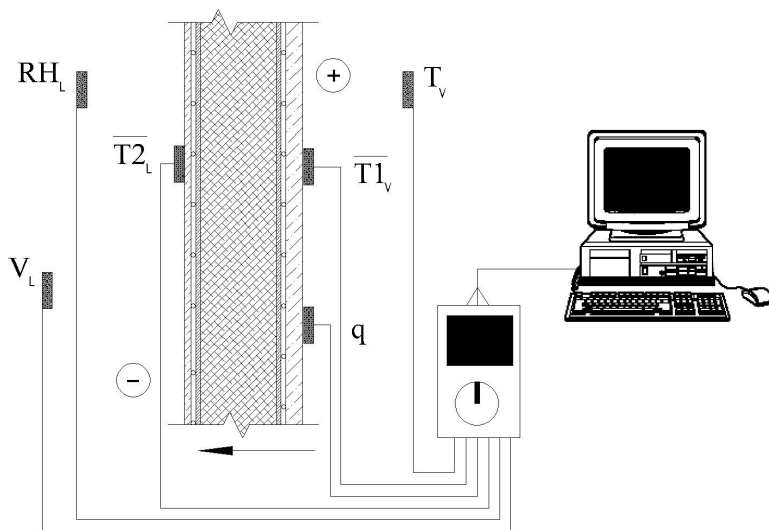
čia K – temperatūros pataisa

$$K = \frac{20}{\theta_i - \theta_e}; \quad (3.3)$$

čia θ_i – vidaus oro temperatūra gyvenamosiose patalpose, šildymo sezono metu
 $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, θ_e – vidutinė lauko temperatūra, šildymo sezono metu. Vilniuje
 $\theta_e = 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.2. Pastato atitvarų šiluminės varžos nustatymas šilumos srauto prietaisu

Šilumos srauto prietaisas susideda iš atitvaros paviršiaus temperatūros (T) ir šilumos srauto tankio (q) matavimo sondų (3.3 pav.), taip pat matavimo metu buvo atliekami papildomi santykinio drėgnumo (RH_L) ir vėjo greičio (v) lauke ir santykinio drėgnumo viduje (RH_V) matavimai.



3.3 pav. Šilumos srauto matavimo prietaiso schema

Fig. 3.3. Diagram of heat flow meter

Siekiant išsiaiškinti šilumos srautą per atitvarą, būtina žinoti atitvaros išorinį paviršių veikiančius aplinkos faktorius.

Atitvaros visuminė šiluminė varža R_s , $m^2 \cdot K / W$ apskaičiuojama (STR 2.01.09:2005).

$$R_s = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{q}; \quad (3.4)$$

čia θ_{si} – vidutinė vidinio paviršiaus temperatūra, per laiko tarpą, °C; θ_{se} – vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra, per laiko tarpą, °C; q – vidutinis šilumos srauto tankis, per laiko tarpą, W/m^2 .

Vėjo greičio ir santykinio drėgnumo lauke tyrimai buvo atlikti siekiant išsiaiškinti išorinės vertikalios atitvaros įdrėkimo laipsnį. Per sudrėkusias konstrukcijas yra patiriami didesni šiluminiai nuostoliai. Vertikali pastato konstrukcija

drėksta lietaus vandeniui tais atvejais, kai lietaus lašelių kritimo trajektorija nėra vertikali. Grafike pateikta lietaus kiekio į vertikalų paviršių santykio su lietaus kiekiu į horizontalų paviršių h_p/H_p priklausomybė nuo vėjo greičio.

Kai oro judėjimo greitis yra mažiau kaip 0,20 m/s ir kai skirtumas tarp šiluminio spinduliavimo vidutinės temperatūros ir oro temperatūros yra mažiau kaip 4 °C. Tai atstojamąją galima surasti iš šių dviejų temperatūrų vidurkio.

$$t_a = A \cdot t_{or} + (1 - A) \cdot \overline{t_s}. \quad (3.5)$$

Atstojamoji temperatūra (t_a) yra uždaros juodos patalpos (bandomojo kambario) tolygi temperatūra, kai šioje patalpoje esančio žmogaus šilumos nuostoliai spinduliavimu (t_s) ir konvekcija (t_{or}) yra lygūs jo šilumos nuostoliams tikroje netolygioje aplinkoje.

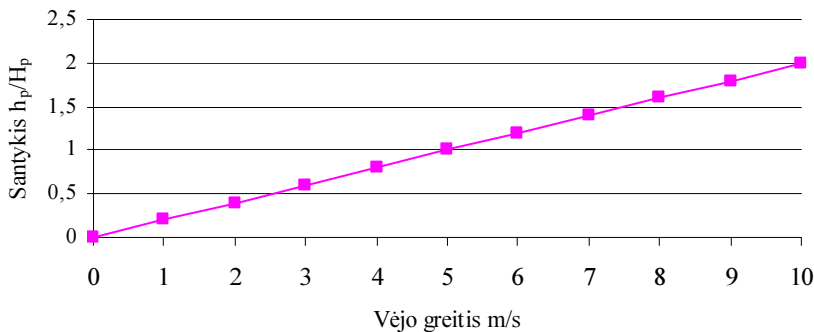
Dydis A randamas pagal žemiau pateiktą 3.4 lentelę ir jo reikšmė priklauso nuo oro judėjimo greičio, m/s.

3.4 lentelė. Dydžio A vertės priklausomybė nuo oro judėjimo greičio v_{or} , m/s

Table 3.4. Value A dependence on air speed v_{or} , m/s

(v_{or}) , m/s	< 0,2	$0,2 \leq v_{or} < 0,6$	$0,6 \geq v_{or} > 1,0$
A	0,5	0,6	0,7

Iš pateikto 3.4 grafiko matyti, kad esant vėjo greičiui apie 5 m/s lietaus metu iškrentančio kritulių kiekio pateikimas ant horizontalaus ir vertikalus paviršiaus išlieka vienodas.

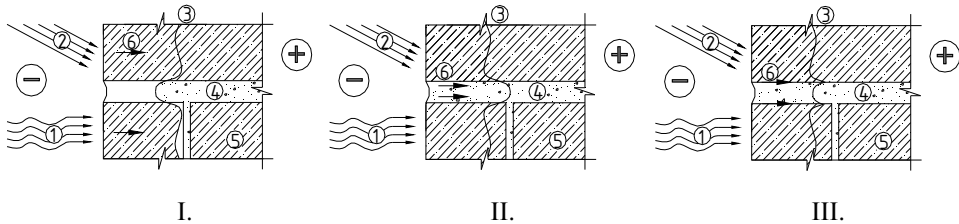


3.4 pav. Vertikalių ir horizontalių paviršių drėgnumo priklausomybė nuo vėjo greičio

Fig. 3.4. Vertical and horizontal surfaces humidity dependence on wind speed

Išorinės atitvaros vandens įgeriamumas priklauso nuo kapiliarinių medžiagos savybių, paviršiaus įtrūkimų, lietaus intensyvumo ir trukmės, vėjo greičio ir krypties. Susidarius išsisiniai vandens plėvelei ant fasado ir veikiant dideliame

vėjo slėgiui, vanduo yra stumiamas į konstrukcijoje esančius plyšius ir siūles (3.5 pav.).



3.5 pav. Mūrinės išorinės atitvaros perdrėkimo priežastys. Kur 1 – konstrukciją veikiantis vėjas, 2 – konstrukciją veikiantis lietus, 3 – drėgmės judėjimo kreivė, 4 – mūro skiedinys, 5 – mūrinė konstrukcija, 6 – drėgmės judėjimo kreivė

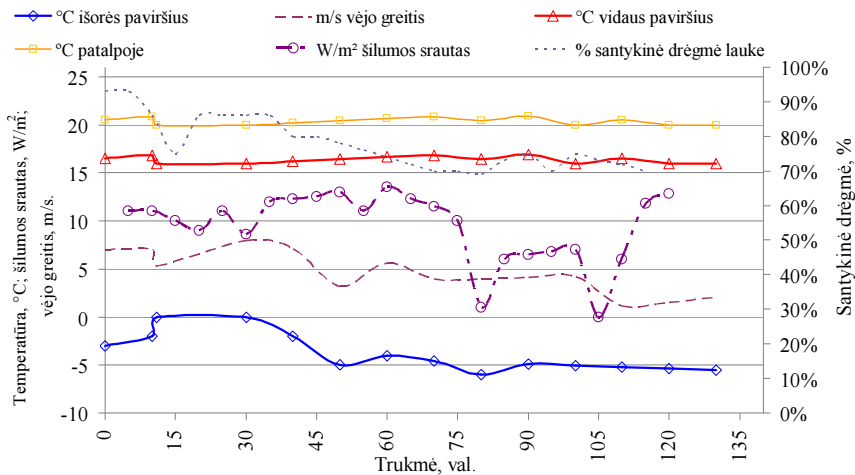
Fig. 3.5. Brick outer envelope humidity causes. Where 1 – construction of wind acting, 2 – acting design of rain, 3 – moisture movement curve, 4 – brick wall solution, 5 – abrick constructure, 6 – moisture movement curve

Išorinės vertikalios pastato mūrinės konstrukcijos veikiamos lietaus ir vėjo gali perdrėkti trimis skirtingais būdais:

I – išorinė vertikali konstrukcija veikiamą lietaus ir vėjo slėgio perdrėksta, dėl didelio plytų mūro kapiliarinio įgeriamumo;

II – išorinė vertikali konstrukcija veikiamą lietaus ir vėjo slėgio perdrėksta, dėl didelio mūro skiedinio kapiliarinio įgeriamumo;

III – išorinė vertikali konstrukcija veikiamą lietaus ir vėjo slėgio perdrėksta, dėl mažo prikibimo tarp mūro skiedinio ir plytų mūro.

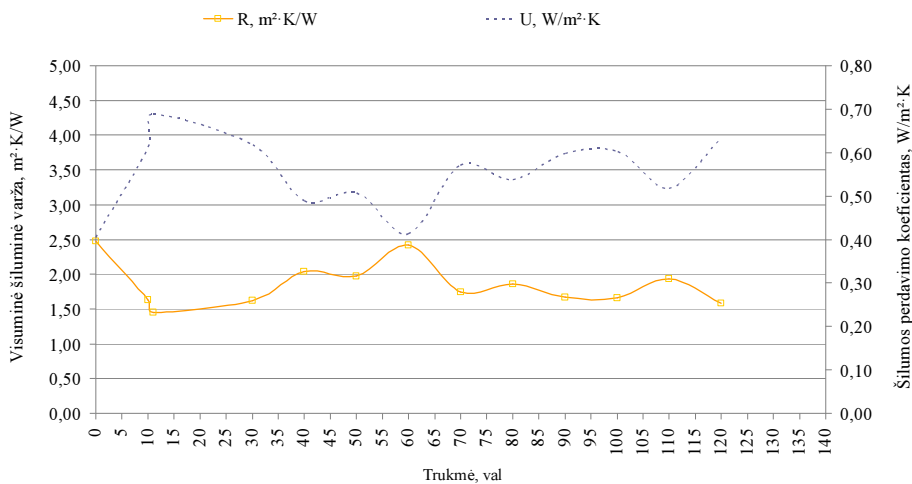


3.6 pav. Šilumos srauto per atitvarą priklausomybė nuo klimatinės sąlygų
Fig. 3.6. Heat flow through the walls dependence on climatic conditions

Šiluminių charakteristikų matavimai buvo atliekami 2010 sausio mėnesį 6 dienų laikotarpyje, 10 minučių kaupimo intervalu. Žemiau pateiktame 3.6 paveiksle pateikti šiluminių charakteristikų matavimai, išvedus aritmetinį vidurkį ir pateikus duomenis 5 valandų laikotarpyje.

Atitvaros šilumos srauto reikšmės kai kuriuose taškuose svyruoja, teoriškai tokio svyravimo neturėtų būti. Tokį svyravimą sukelia išorinių šilumos šaltinių pritekėjimai į fiksuojamus zondus.

Pagal išmatuotus klimatinių faktorių duomenis ir šilumos srautą per atitvarą kiekvienam matavimo taškui paskaičiuojama konstrukcijos visuminė šiluminė varža R_t , duomenys pateikiami 3.7 paveiksle



3.7 pav. Išorinės sienos visuminės šiluminės varžos, R ir šilumos perdavimo koeficientas U matavimo metu

Fig. 3.7. The outer walls of the overall thermal resistance, R and the heat transfer coefficient, U during the measurement

Konstrukcijos visuminei šiluminei varžai R nustatyti reikia pasirinkti patikimumo intervalą, kurio metu atitvara buvo mažiausiai veikiama išorinių šilumos faktorių ir jų įtaka buvo minimali. Faktinė vidutinė didžiausio patikimumo intervalo visuminė šiluminė varža įvertinus vidaus ir lauko paviršiaus normines šilumines varžas lygi $R = 1,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$.

3.3. Atitvaros tarpsluoksnių ir vidinio paviršiaus prognozavimas siekiant išvengti kritinio paviršiaus drėgnumo

Priimant sprendimus apšiltinti išorines atitvaras, reikalinga prognozuoti termoizoliacinio sluoksnio poveikį konstrukcijų šiluminiam ir drėgniniam būviui. Neteisingai parinkus izoliacinių sluoksnių storius, tipus, eiliškumą, gali sumažėti atitvaros paviršiaus šiluminės savybės, kaupsis drėgmė konstrukcijos išoriniame, vidiniame paviršiuose ar tarpsluoksniuose. Drėgmės kaupimosi (kondensavimosi) atitvarose laikotarpiu susikaupiantis atitvarų viduje drėgmės kiekis šiltuoju metų laiku turi būti išgarinamas.

Išorinių atitvarų apšiltinimas ir drėgmės kaupimasis atitvaroje yra galimas trimis būdais:

1. kai atitvara apšiltinama iš vidinės pusės, drėgmės kaupimasis ant vidinio atitvaros paviršiaus;
2. kai atitvaroje buvęs oro tarpas užpildomas termoizoliacinėmis medžiagomis, drėgmės kaupimasis atitvaros viduje;
3. išnagrinėti kai atitvara apšiltinama iš išorinės pusės, drėgmės kaupimasis išoriniame atitvaros sluoksnyje.

Atitvaros turi būti suprojektuotos taip, kad drėgmės kaupimosi laikotarpiu drėgmės prieaugis bet kuriame atitvaros sluoksnyje neviršytų statybos techniniame reglamente STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“ nurodytų dydžių. Atitvarų drėgninei būsenai nustatyti yra naudojamos sorbcijos izotermės. Sorbcijos izotermės padeda analiziniams šilumos ir masės pernašos tyrimams atlikti ir nustatyti drėgmės kritinius taškus atitvaroje, tarpsluoksniuose esant stacionarioms vandens garų difuzijos sąlygoms. Šiluminės izoliacijos poveikį pastatų atitvarų šiluminiam drėgniniam būviui tyrė Bliūdžius *et. al.* (1999).

Subalansuotas vėdinimas ir tinkamų konstrukcijų parinkimas drėgmės atsiradimo tikimybę sumažina arti nulio.

Todėl labai svarbu parenkant būsimą konstrukciją ir vertinant būsimą mikroaplinką projektavimo metu tinkamai įvertinti drėgmės kaupimosi priežastis, taip sumažinant pelėsio atsiradimo tikimybę.

Pelėsio atsiradimo tikimybė pastato atitvaroje priklauso nuo vidinio paviršiaus temperatūros faktoriaus f_{Rsi} ir vidaus oro dalinio vandens garų slėgio, šiuos dydžius galima rasti pagal žemiau pateiktas formules (STR 2.05.01:2005).

Maksimalus vandens garų slėgis esant normaliam barometriniam slėgiui ir temperatūrai yra vadinamas vandens garų soties slėgiui ir apskaičiuojamas pagal žemiau pateiktą formulę:

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} ; \quad (3.6)$$

čia temperatūra $\theta \geq 0$ °C.

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} ; \quad (3.7)$$

čia temperatūra $\theta < 0$ °C.

Minimali priimtina paviršiaus temperatūra $\theta_{si, \min}$ randama apskaičiuojant minimalų priimtina vandens garų soties slėgį. Sočiųjų vandens garų temperatūra esant normaliam barometriniai slėgiui apskaičiuojama.

$$\theta_{sat} = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} ; \quad (3.8)$$

čia slėgis $p_{sat} \geq 610,5, Pa$.

$$\theta_{sat} = \frac{265,5 \cdot \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{21,875 - \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} ; \quad (3.9)$$

čia slėgis $p_{sat} < 610,5, Pa$.

Projekcinis atitvaros vidaus paviršiaus temperatūrinis faktorius $f_{Rsi, \min}$ randamas

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{R_{si}}{R_t} \cdot (\theta_i - \theta_e) . \quad (3.10)$$

Vidaus atitvaros vidaus paviršiaus temperatūrinis faktorius f_{Rsi}

$$f_{Rsi, \min} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} ; \quad (3.11)$$

čia θ_{si} – vidinio paviršiaus temperatūra, θ_i – vidaus patalpos temperatūra, θ_e – išorės lauko temperatūra.

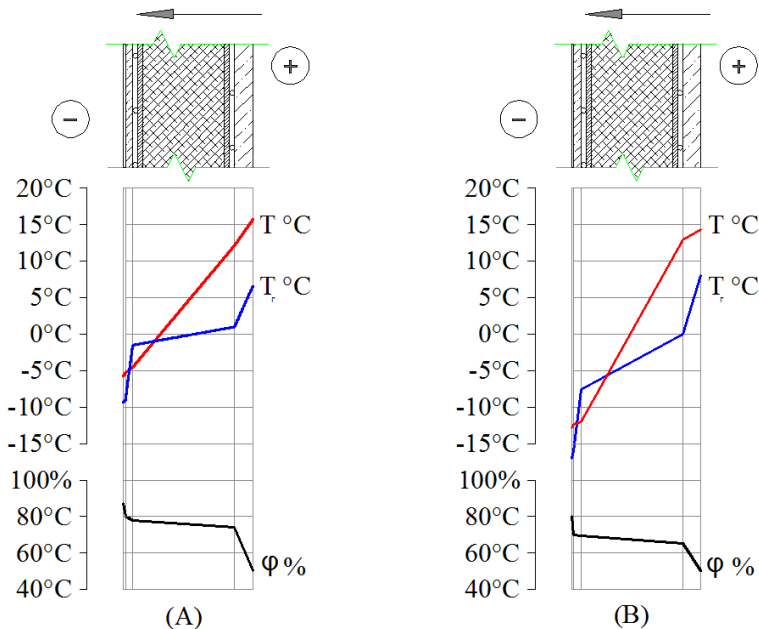
Jei nagrinėjama atitvara tenkina sąlygą $f_{Rsi} > f_{Rsi, \max}$, tuomet atsiranda pelėsio atsiradimo tikimybė.

$$M_a = g_{cev} \cdot t ; \quad (3.12)$$

čia g_{cev} – drėgmės srauto tankis, $kg/m^2 \cdot s$. t – skaičiuojamojo laikotarpio trukmė, s.

Sekantis tyrimas buvo atliktas norint išsiaiškinti nagrinėjamos atitvaros drėgnos būsenos padėtį. Tolimesniems tyrimams buvo pasirinktas taškinis konstrukcijos drėgnos būsenos matavimas (3.8 pav.) su dažniausiai pasitaikančiomis klimatinėmis sąlygomis.

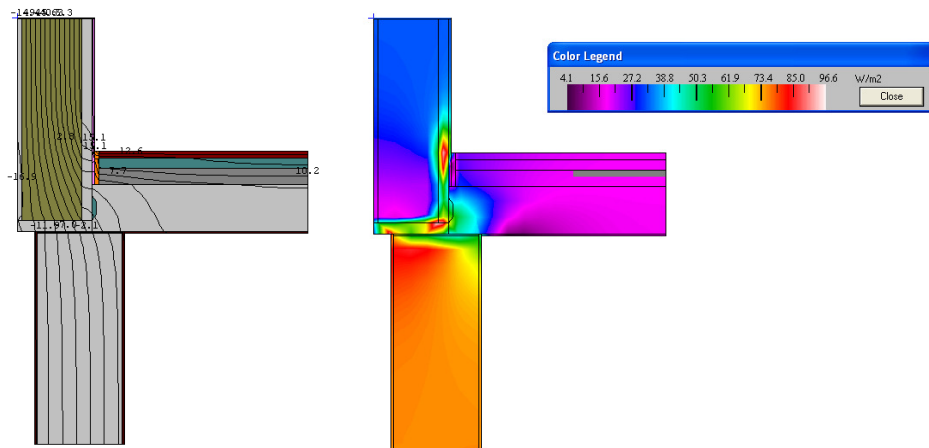
3.8 paveikslo dalyje A pateiktas drėgnos būsenos atitvaroje, kai vidutinė sausio mėnesio išorės oro temperatūra Vilniaus mieste $-6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, santykinis drėgnis 87 % (STR 2.05.01:2009), patalpos temperatūra $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, atitvaros techninis mazgas yra pateiktas paveiksle (šiluminė varža $R_t = 1,1\text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$). Grafiniame atvaizdavime (3.8 pav.) dalyje A matome, kad sluoksnių sandūroje dalinio vandens garų temperatūra T_r yra didesnė už vandens garų soties temperatūrą T , todėl galima teigti, kad konstrukcijoje sluoksnių sandūroje galima vandens garų kondensacija. Kondensato kiekis (kg / m^2) nustatomas kaip vandens garų kiekio, patenkančio į kondensavimosi zoną ir išgaruojančio iš jos skirtumas, ir randamas pagal sekančią formulę (STR 2.05.01:2005).



3.8 pav. Sienos konstrukcijos drėgmės būsenos schema. Kur santykinis oro drėgnis, %, T – vandens garų soties temperatūros vertė, $^{\circ}\text{C}$, sočiųjų vandens garų temperatūra, $^{\circ}\text{C}$
Fig. 3.8. The wall construction dampness condition chart. Where comparative wand humidity, %, T – water steam saturation temperature value, $^{\circ}\text{C}$, substantial water steam temperature, $^{\circ}\text{C}$

3.8 paveikslo dalyje B pateikta konstrukcijos drėgnos temperatūros grafikas, kai priimtos kintančios klimatinės sąlygos: išorės oro temperatūra 14°C žemiau nulio, santykinis drėgnis 80 %. Dalinio vandens garų temperatūra T_v konstrukcijos sluoksniuose 1 - 2 ir 3 - 4 yra didesnė nei vandens garų soties temperatūrą T_s , tuose pat atitvaros taškuose. Esant tokiai situacijai konstrukcijų sluoksnių sandūroje galima vandens garų kondensacija.

Programos Transys pagalba, nagrinėjamam pastatui, nubraižytos ilginių šilumos tiltelių temperatūros izotermės (3.9 pav.).



3.9 pav. Ilginiai šiluminiai tilteliai tarp pastato pamatų ir išorinės sienos. Grafinis vaizdavimas atliktas naudojantis TRANSYS programa

Fig. 3.9. Stringer linear bridges through the foundation and outer wall of the building. Graphical representation performed using TRANSYS program

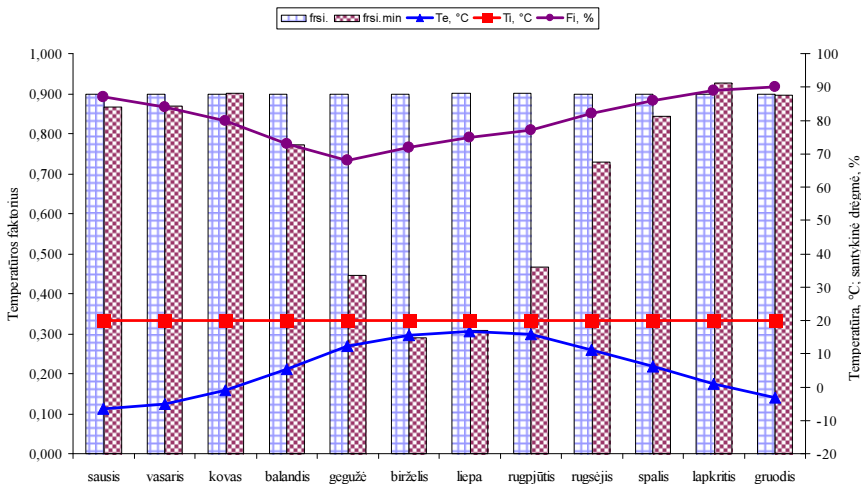
Konstrukcijos drėgninės būsenos vertinimas yra pradedamas nuo šalčiausio metų mėnesio, kurio metu tikrinama konstrukcijos viduje susidariusios drėgmės kiekis Bliūdžius *et al.* (1999). Jei atlikus skaičiavimus, įvertinama, kad sausio mėnesį galima vandens garų kondensacija atitvaroje, tuomet nustatomas susidaręs garų kiekis (g). Vėliau atliekami skaičiavimai kiekvienam metų mėnesiui ir vertinamas likutinis drėgmės kiekis susidaręs šaltuoju metu (3.5 lentelė). Jei šaltuoju periodu susikaupęs drėgmės kiekis šiltuoju periodu neišdžiūis ir atitvaros tarp sluoksnyje vyks pastovus drėgmės kaupimasis, tokia konstrukcija nebus tinkama tolimesniam eksploatavimui. Svarbu įvertinus šaltuoju metu atitvaros drėgmės kaupimosi tikimybę nustatyti kokią įtaką gali padaryti laikinas drėgmės poveikis atitvaros tarp sluoksniui ir pačiai atitvarai.

Esant nepakankamai išorinės atitvaros šiluminei varžai, dėl kritinio paviršiaus drėgnumo susidaro sąlygos pelėsio atsiradimui Tischer, Heinrich (2013), Evola *et al.* (2013).

3.5 lentelė. Atitvaros vidinio paviršiaus besikaupiančios drėgmės rezultatai**Table 3.5.** Envelope inner surface accumulation of moisture results

Mėnuo	T_e , °C	T_i , °C	φ_i , %	R , m^2K/W	P_e , Pa	P_{sat} , Pa	$f_{Rsi.min}$	f_{Rsi}
sausis	-6,4	20	87	2,5	1497,415	1871,77	0,866	0,900
vasaris	-5,2	20	84	2,5	1519,268	1899,09	0,869	0,900
kovas	-0,9	20	80	2,5	1641,38	2051,72	0,900	0,900
balandis	5,5	20	73	2,5	1520,319	1900,40	0,773	0,900
gegužė	12,3	20	68	2,5	1429,63	1787,04	0,446	0,900
birželis	15,6	20	72	2,5	1536,745	1920,93	0,289	0,900
liepa	16,7	20	75	2,5	1621,123	2026,40	0,308	0,900
rugpjūtis	16	20	77	2,5	1636,905	2046,13	0,468	0,900
rugsėjis	11,3	20	82	2,5	1614,271	2017,84	0,730	0,900
spalis	6,3	20	86	2,5	1634,406	2043,01	0,843	0,900
lapkritis	0,9	20	89	2,5	1714,519	2143,15	0,927	0,900
gruodis	-3,2	20	90	2,5	1608,754	2010,94	0,896	0,900

Pelėsio atsiradimo tikimybė kiekvienam metų mėnesiui yra vertinama apskaičiuojant išorės oro vandens garų soties slėgį p_{sat} , Pa, išorės dalinį vandens garų slėgį p_e , Pa, konstrukcijos šiluminę varžą R , m^2K/W , taip pat įvertinant vidaus ir lauko temperatūras T , °C, santykinę drėgmumą φ_i , % ir temperatūrinį faktorių f_{Rsi} . (Galvin (2010)).

**3.10 pav.** Atitvaros vidinio paviršiaus temperatūrinio faktoriaus vertinimas**Fig. 3.10.** Envelope inner surface temperature factor assessment

Atitvara turi būti suprojektuota taip, kad bet kurį metų mėnesį vidaus paviršiaus temperatūrinis faktorius f_{Rsi} būtų didesnis už temperatūrinį faktorių $f_{Rsi,min}$, kitu atveju atsiranda atitvaros paviršiaus drėkimo ir pelėsio atsiradimo tikimybė. Atitvaros grafinis vertinimas dėl paviršiaus drėkimo tikimybės yra pateiktas žemiau esančiame 3.10 paveiksle.

Ištisinėmis linijomis 3.10 paveiksle pateiktos vidutinės mėnesinės išorės oro temperatūros per atitinkamą mėnesį, vidutiniai mėnesiniai išorės oro drėgniai Vilniaus mieste ir vidutinė vidaus patalpos temperatūra. Temperatūriniai faktoriai priklausantys nuo anksčiau paminėtų verčių yra pateikti stulpeliais. Kovo ir lapkričio mėnesį $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$ sąlyga nėra tenkinama, todėl susidaro sąlygos paviršiaus drėkimui ir pelėsio atsiradimui. Norint to išvengti būtina gerinti atitvaros šiluminę varžą arba didinti vidaus oro temperatūrą, cheminių medžiagų naudojimas pelėsio panaikinimui darbe nėra vertinamas. Daugiabučiuose didinti vidaus temperatūrą praktiškai neįmanoma ir būtų neefektyvu, todėl racionaliausias sprendimas būtų atnaujinti esamas išorines atitvaras kurios netenkina keliamų reikalavimų.

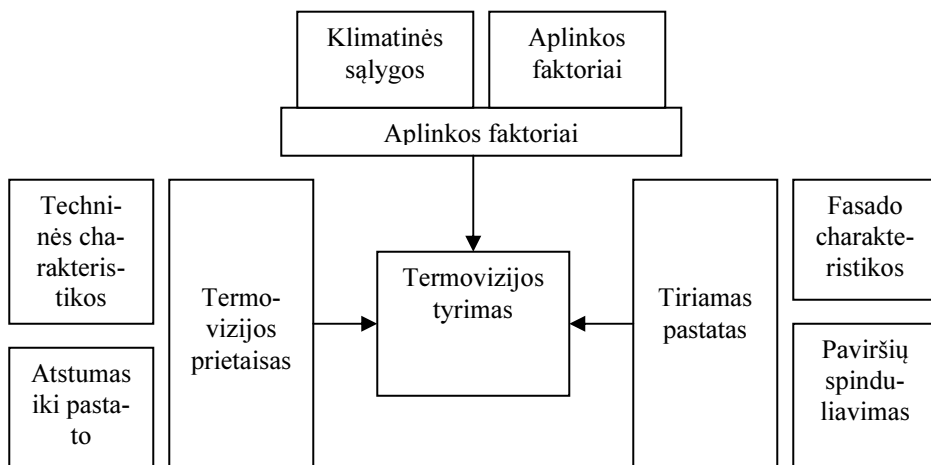
3.4. Pastato išorinių atitvarų, inžinerinių sistemų matavimai termovizoriumi

Termovizoriaus paskirtis yra išmatuoti paviršiaus temperatūrą. Termovizorius fiksuoja infraraudonųjų spindulių intensyvumą, jį performuoja į elektroninius signalus ir lygina jį su temperatūrų etalonu. Matavimo metu tiksliai nustatoma atitvaros paviršiaus temperatūra daugelyje taškų ir apskaičiuojama atitvaros pasirinkto ploto temperatūra. Todėl naudojant šį prietaisą galima įvertinti atitvaros termoizoliacinių sluoksnių defektus, šiluminius tiltelius, atitvaros nesandarumą ir šiluminę varžą R_s .

$$R_s = \frac{\theta_e - \theta_i}{\theta_i - \theta_{se}} \cdot R_{se}; \quad (3.13)$$

čia θ_e – išorės oro temperatūra, °C, θ_i – vidaus oro temperatūra, °C, θ_{se} – išorinio paviršiaus temperatūra, °C, R_{se} – išorinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 K / W$.

Termovizijos prietaisu matavimus galima atlikti neardant atitvaros konstrukcijos, nepadarant įtakos nagrinėjamam objektui. Termografijos metu galima atlikti taškinį ar plotinį atitvaros vertinimą. Termovizijos matavimus įtakoiantys veiksniai pateikti žemiau esančioje schemoje (3.11 pav.).



3.11 pav. Termografiją įtakojančys veiksniai

Fig. 3.11. Factors influencing thermography

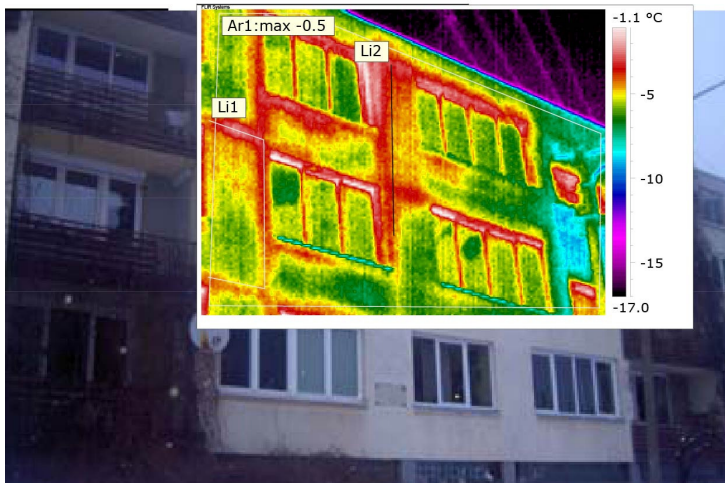
Termografiniai tyrimai dažniausiai yra atliekami šaltuoju metų laiku, kai vidaus ir išorės oro temperatūrų skirtumas yra ne mažesnis nei 10 °C. Prieš atliekant matavimus svarbu, kad saulės spinduliai tiesiogiai nešviestų į tiriamą fasadą. Tyrimo metu galima nustatyti ne tik šilumos nuostolius prarandančius per atitvaras, tačiau ir vandens pratekėjimus konstrukcijose ar gedimus elektrotechnikoje dėl aukštos įtampos, ar mechanikoje dėl trinties. Termovizoriaus prietaisą naudojant elektrotechnikos ar mechanikos srityje, svarbus temperatūrų skirtumas tarp paviršiaus temperatūros ir aplinkos oro.

Termografijos matavimai buvo atlikti 2011 vasario 23 dieną, kai lauko temperatūra $\theta_e = 8$ °C žemiau nulio, santykinė drėgmė 78 %, vidaus patalpų temperatūra gyvenamosiose patalpose kito nuo 18 °C iki 21 °C, santykinė drėgmė 55 %. Atitvaros paviršiaus temperatūrai nustatyti buvo panaudotas kalibravimo sertifikata turintis termovizorius FLIR Systems Thermovision® Model 661.

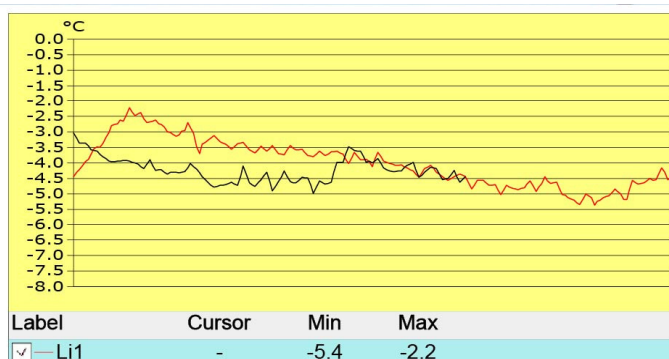
Termovizinėse nuotraukose šviesesnė spalva atitinka aukštesnes paviršių temperatūras. Dešinėje termografinių nuotraukų pusėje pateikiama spalvų atitikimo skalė. Termografijose pažymėtų taškų (Sp), linijų (Li) ir plotų (Ar) temperatūros pateikiamos po termonuotrauka esančiose lentelėse, o linijų (Li) ir diagramose.

Termografinė nuotrauka (3.12a pav. ir 3.12b. pav.) parodo pastato šilumos nuostolius per deformacines siūles, langų angokraščius ar nesandarius langus. Esant lauko temperatūrai -8 °C, pastate esančių deformacinių siūlių temperatūra

svyruoja nuo $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ žemiau nulio (linija Li1), o langų angokraščių temperatūros diapazonas svyruoja nuo $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (linija Li2).

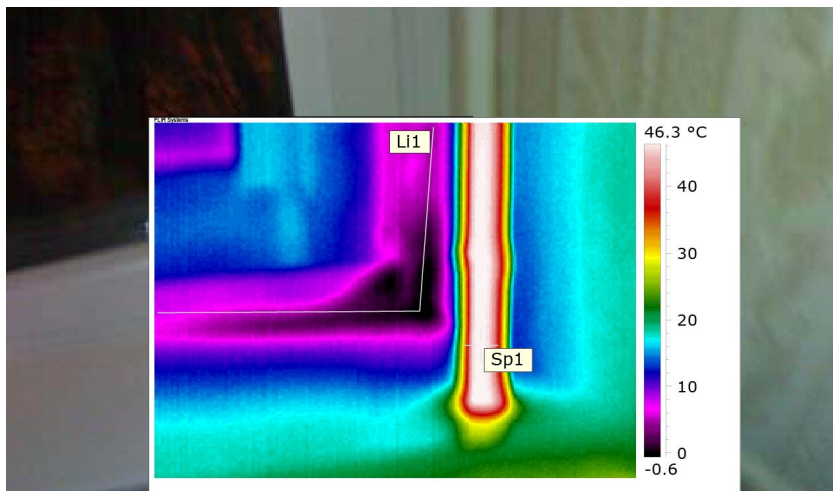


3.12a pav. Stambiaplokščio pastato fasado termovizinė nuotrauka iš lauko
Fig. 3.12a. Large-panel building facade thermovisual photo from the outside

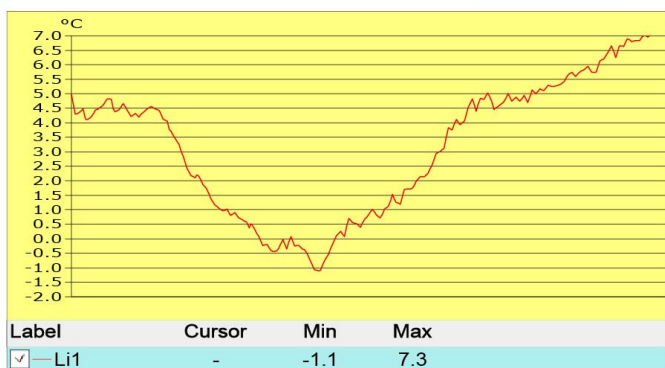


3.12b pav. Stambiaplokščio pastato fasado termovizinė nuotrauka iš lauko
Fig. 3.12b. Large-panel building facade thermovisual photo from the outside

Temperatūros skirtumas lango angokraštyje (3.13a pav. ir 3.13b pav.) matuojamoje linijoje Li1, svyruoja nuo $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, kai patalpos oro temperatūra yra $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatūrų skirtumas sudaro apie $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnį, vizualiai lango angokraštyje galima matyti šerkšną ir susidariusę perteklinę drėgmę. Tokia konstrukcija netenkina minimalių Lietuvos higienos reikalavimų (HN42:2004) ir statybos techninių reglamentų (STR 2.05.01:2005).

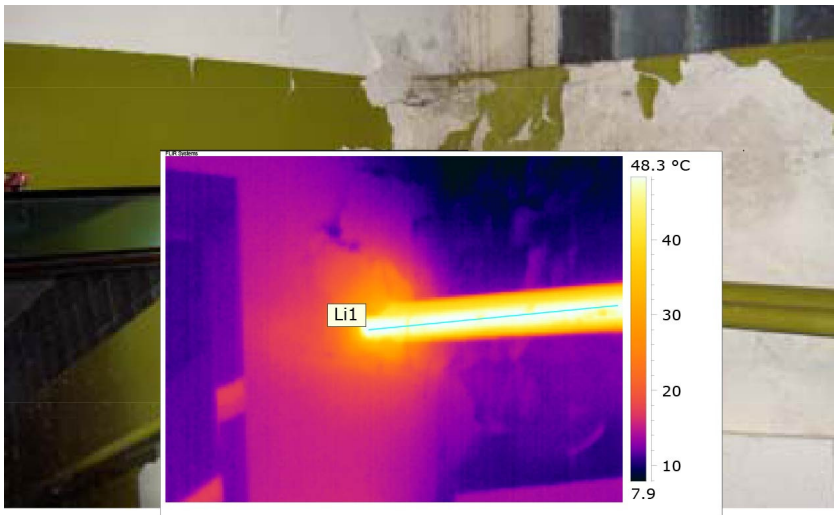


3.13a pav. Stambiaplokščio namo angokraščio termovizinė nuotrauka iš vidaus
Fig. 3.13a. Large-panel house reveal thermovisual photo from the inside



3.13b pav. Stambiaplokščio namo angokraščio termovizinė nuotrauka iš vidaus
Fig. 3.13b. Large-panel house reveal thermovisual photo from the inside

Name esantys vamzdynai nėra apgaubti šilumą izoliuojančiais kevalais (3.14a pav. ir 3.14b pav.). Taip yra šildomos nereikalingos patalpos ir patiriami dideli šiluminiai nuostoliai name. Iš pateiktos linijos Li1, diagramoje matyti, kad rūsyje esantis vamzdynas atiduoda į patalpą vidutiniškai 47 °C aukščiau nulio temperatūrą. Namas suvartoja didesnę šilumos kiekį šildydamas nereikalingas patalpas.



3.14a pav. Šilumos vamzdyno termovizinė nuotrauka pastato rūsyje
Fig. 3.14a. Heat tubing thermovisual photo of the building in the basement



3.14b pav. Šilumos vamzdyno termovizinė nuotrauka pastato rūsyje
Fig. 3.14 b. Heat tubing thermovisual photo of the building in the basement

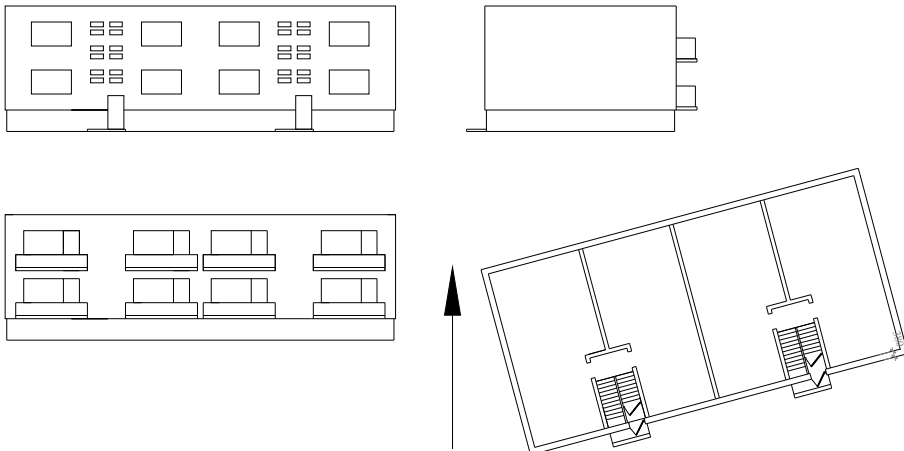
Pastato šilumos tinklų armatūra nėra izoliuota tinkamai, o vietomis termozoliacinio sluoksnio nėra visai. Armatūros paviršiaus temperatūra matavimo metu svyravo nuo 46.5 °C iki 48.5 °C aukščiau nulio, kai patalpos oro temperatūra buvo arti nulio.

Iš atliktų termovizinių nuotraukų galime teigti, kad pastato atitvaros ir inžineriniai tinklai neatitinka šiuo metu keliamų statybos ir higienos normų reikalavimų.

3.5. Pastato fasado įstiklinimo ploto vertinimas MOORA metodu

Lietuvos klimatinėmis sąlygomis yra žinoma, kad modernizavus įstiklinimo išorines atitvaras (pakeitus jas naujomis, padidinus ar sumažinus plotus) pastato fasaduose pagal pasaulio šalių orientaciją: šiaurinėje, rytinėje ar vakarinėje dalyje bus sumažinami šilumos nuostoliai, ar kompensuojami nuostoliai didesniu įstiklinimo plotu pietinėje pastato dalyje. Tačiau šis sprendimo variantas yra ne visada teisingas ir yra būtinas patikrinimas.

Pateiktas mūrinio daugiabučio pastato esančio Nepriklausomybės g. Vilkaiviškyje vertinimas. Pagrindinė namo fasado dalis yra orientuota į šiaurės šalis (3.15 pav.), name esantys langai mediniai (seni) arba plastikiniai su paprastais stiklais.



3.15 pav. Daugiabučio gyvenamojo pastato fasadai ir planas

Fig. 3.15. Apartment building front and scheme

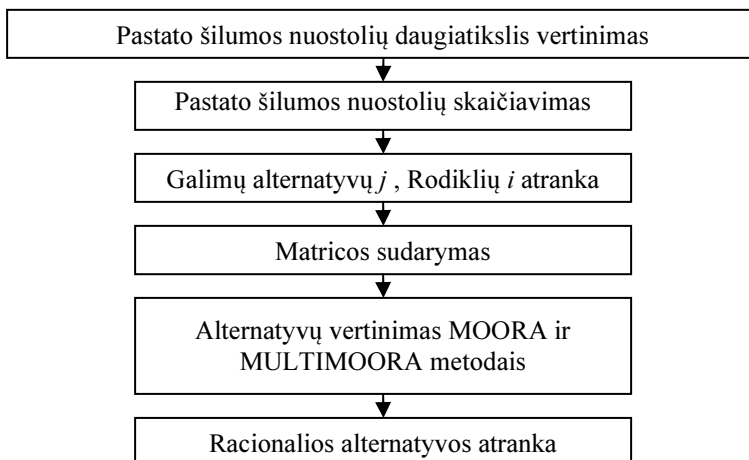
Skaičiavimu siekiama išsiaiškinti, ar yra būtinybė modernizavimo metu keisti langus visose pastato fasado pusėse ir kokia ekonominė nauda būtų įdiegus planuojamus pastato pagerinimus.

Uždavinijje vertinami įstiklinimo plotai fasaduose, pagal pasaulio šalis. Langų ir sienų techniniai parametrai (šilumos perdavimo koeficientas, infiltracija ir kt.) alternatyvose nėra keičiami. Duomenys pastato įstiklinimui vertinti, pateikti 3.6 lentelėje

3.6. lentelė. Pastato išorinių atitvarų (langu, sienų) duomenys
Table 3.6. Exterior building envelope (windows, walls) data

		Pietūs	Vakarai	Šiaurė	Rytai	Viso.:
		Atitvaros plotas, m ²				
A_1	Sienos	119,36	54,88	82,01	52,40	Σ308,65
	Langai	31,35	6,72	6,00	10,68	Σ54,75
A_2	Sienos	149,51	58,60	86,21	59,48	Σ353,80
	Langai	1,20	3,00	1,80	3,60	Σ9,60
A_3	Sienos	144,11	57,88	83,21	56,66	Σ341,86
	Langai	6,60	3,72	4,80	6,42	Σ21,54
A_4	Sienos	106,31	50,63	74,76	45,15	Σ276,85
	Langai	44,40	10,97	13,25	17,93	Σ86,55
A_5	Sienos	136,46	54,88	82,01	56,00	Σ 329,35
	Langai	14,25	6,72	6,00	7,08	Σ 34,05
A_6	Sienos	145,31	55,60	83,81	59,00	Σ 343,72
	Langai	5,40	6,00	4,20	4,08	Σ 19,68

Pastato šilumos nuostolių vertinimas (3.16 pav.) yra randamas antrame skyriuje pateiktų formulių pagalba.



3.16 pav. Pastato atitvarų daigiatikslio vertinimo eigos schema
Fig. 3.16. Building envelope multipurpose rating process scheme

Pirmiausiai yra suskaičiuojamos kiekvienos atitvaros šiluminės energijos sąnaudos atskirai, sekančiame etape yra skaičiuojamos suminės energijos sąnaudos pastate. Turint išeities duomenis yra sudaroma sprendimo matrica (3.7 lentelė). Panaudojus antrame skyriuje pateiktas formules (2.10) matricos reikšmės yra normalizuojamos, t.y paverčiamos į bedimensius dydžius (3.8 lentelė). Toliau naudojant MOORA metodo formules yra gaunamos prioritetine tvarka suranguotos reikšmės (3.9 lentelė).

Pastato įstiklinimo plotui fasaduose vertinti yra sudaromi sekantys rodikliai:
 x_1 – Šilumos nuostoliai per sienas, $kWh/m^2 \cdot per metus$. Įvertinami pastato šilumos nuostoliai pro išorines sienas;

x_2 – Šilumos nuostoliai per langus, $kWh/m^2 \cdot per metus$. Įvertinami pastato šilumos nuostoliai pro langus;

x_3 – Šilumos nuostoliai per langų ilginius šilumos tiltelius, $kWh/m^2 \cdot per metus$. Įvertinami pastato šilumos nuostoliai per ilginius šilumos tiltelius;

x_4 – Šilumos nuostoliai dėl išorinės oro infiltracijos, $kWh/m^2 \cdot per metus$;

x_5 – Šilumos pritekėjimai į pastatą, $kWh/m^2 \cdot per metus$;

x_6 – Pastato suminės energijos sąnaudos (neskaitant šildymo sistemos), $kWh/m^2 \cdot per metus$;

x_7 – Išorinių sienų ir langų kainos santykis, $10^3 LT$.

3.7 lentelė. Pradinių duomenų matrica pastato įstiklinimo plotui vertinti

Table 3.7. The initial data array for the assessment of building glazing area

Alternatyvos	Šilumos nuostoliai per sienas	Šilumos nuostoliai per langus	Šilumos nuostoliai per langų ilginius šilumos tiltelius	Šilumos nuostoliai dėl išorinės oro infiltracijos	Šilumos pritekėjimai į pastatą	Pastato suminės energijos sąnaudos (neskaitant šildymo sistemos)	Išorinių sienų ir langų kainos santykis
	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$10^3 LT$
Optimizavimo kryptis	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
	min	min	min	min	max	min	max
A_1	33,95	23,78	11,45	39,97	29,44	167,1	3,852
A_2	38,9	4,17	6,32	0,01	4,29	132,52	25,184
A_3	37,59	9,36	8,23	4,35	10,22	136,71	10,845
A_4	30,44	37,59	13,91	74,08	45,1	198,34	2,186
A_5	36,21	14,79	9,17	17,77	17,06	148,3	6,61
A_6	37,8	8,55	7,97	2,35	9,25	134,83	11,935

3.8 lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami MOORA metodu

Table 3.8. The normalized decision-making matrix data assessed in MOORA method

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
A_1	0,3858	0,4879	0,4755	0,4638	0,5049	0,4408	0,1245
A_2	0,4420	0,0856	0,2625	0,0000	0,0736	0,3496	0,8138
A_3	0,4271	0,1920	0,3418	0,0505	0,1753	0,3607	0,3505
A_4	0,3459	0,7713	0,5776	0,8597	0,7734	0,5232	0,0706
A_5	0,4114	0,3035	0,3808	0,2062	0,2926	0,3912	0,2136
A_6	0,4295	0,1754	0,3310	0,0273	0,1586	0,3557	0,3857

Uždavinys rodikliai yra optimizuojami pagal sekančias optimizavimo kryptis:

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_6 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \min; \quad x_5, x_7 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \max;$$

Normalizuoti ir pasverti sprendimų priėmimo duomenys yra perskaičiuojami, taikant darbo antrame skyriuje pateiktas MOORA metodo formules. Gauti rezultatai yra suranguojami prioritetine tvarka, pagal rangus (R_j) (3.9 lentelė).

3.9 lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami MOORA ir MULTIMOORA metodais

Table 3.9. The normalized decision-making matrix data assessed in MOORA and MULTIMOORA methods

Alternatyvos	Alternatyvų reikšmingumai	Alternatyvų reikšmės, %	Rangai, R_j
A_1	0,6893	86,78	4
A_2	0,6999	83,26	5
A_3	0,5982	100,00	1
A_4	0,8597	69,58	6
A_5	0,6002	99,66	2
A_6	0,6148	97,30	3

Galutinis pastato įstiklinimo ploto parinkimas galimas taikant MOORA metodą, tai įrodo pateikti duomenys lentelėje (3.9). Pastato įstiklinimas parenkamas pagal geriausią rangą R_j , vertinant kiekvieną alternatyvą. Pagal optimalumo rodiklio eilutę, alternatyvų rangai išsidėsto sekančiai: $A_3 \succ A_5 \succ A_6 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_4$.

Trečioji alternatyva vertinama geriausiai, kai namo fasado sienų ir langų plotai, pagal pasaulio šalis yra: pietūs (sienos – 144,11 m²; langai – 6,60 m²),

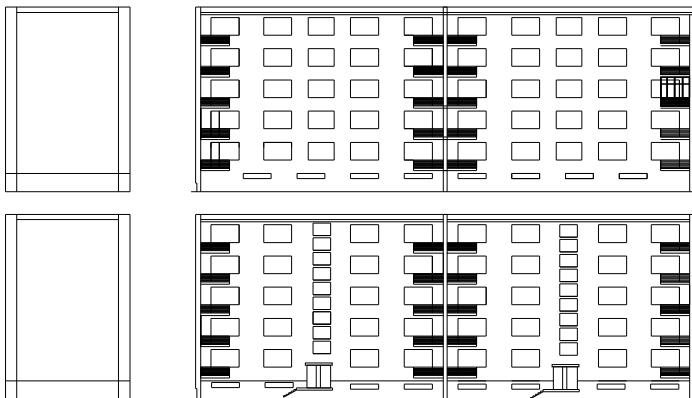
vakarai (sienos – 57,80 m²; langai – 3,72 m²), šiaurė (sienos – 83,21 m²; langai – 4,80 m²), rytai (sienos – 56,66 m²; langai – 6,42 m²).

Naudojant sprendimo priėmimo modelį, galima vertinti ir kitas pastato technines charakteristikas, vertinimo rezultatai parenka naudingiausius sprendimo variantus.

3.6. Mūrinio pastato išorinių atitvarų įtaka energijos poreikio vertinimui

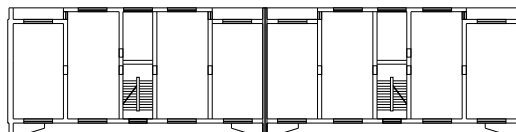
Pastato modernizavimo eigoje, dažnai išorinės konstrukcijos atnaujinamos individualiai, nevertinant kompleksiskai visų konstrukcijų kartu, tačiau toks sprendimo variantas nėra teisingas. Optimalus suderinamumas, pastato išorinių atitvarų ir inžinerinių sistemų eksploatavimo procese yra svarbus kriterijus, kuris įtakoja gyvenimo kokybę, nekilnojamo turto rinkos vertę. Tinkamas pastato išorinių atitvarų ir inžinerinių sistemų parinkimas ir suderinamumas tarpusavyje yra svarbus pastato modernizavimo etape.

Pastato konstrukcijų suderinimo vertinimui atlikti yra parenkamas mūrinis penkiaaukštis pastatas (3.17 pav. ir 3.18 pav.), kurio techniniai atitvarų duomenys pateikti lentelėje (3.10).



3.17 pav. Daugiabučio mūrinio pastato fasadai

Fig. 3.17. Tenement brick building facades



3.18 pav. Daugiabučio mūrinio pastato planas

Fig. 3.18. Tenement brick building scheme

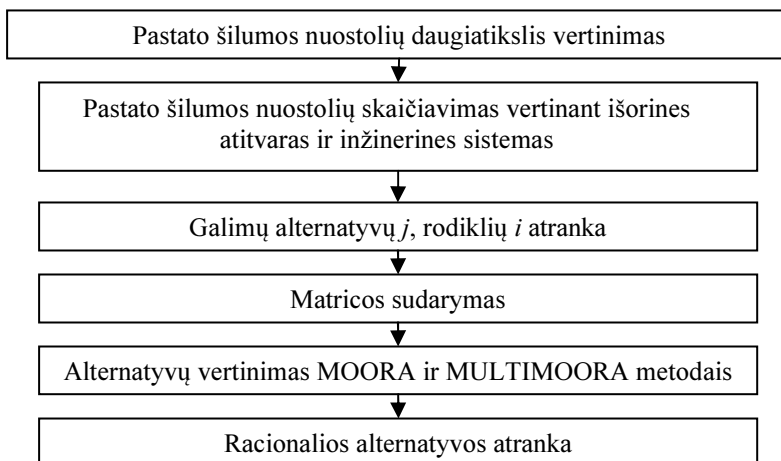
Pastate yra natūralus vėdinimas, šiluma tiekama iš centrinio šilumos tinklo, šilumos reguliavimas yra automatinis, karštas vanduo ruošiamas namo šilumokaityje, tiekiamo iš centrinio šilumos punkto.

3.10 lentelė. Pastato atitvarų techniniai duomenys

Table 3.10. Building envelope specifications

Atitvaros pavadinimas	Plotas, m ²	Šiluminė varža, m ² ·K/W
Sienos	1260	2,10
Stogas	516,55	1,73
Perdangos virš nešildomų patalpų	516,55	1,95
Langai	507,42	0,588
Durys	6,51	0,625

Pastato atnaujinimo vertinimui atlikti, yra parenkamos, penkios techniniais parametrais skirtingos, kiekvienai atitvarai atskiros alternatyvos (3.11 lentelė). Alternatyvos išdėstytos sekančiai: A_{sl} – išorinės sienos, A_{stl} – pastato stogas, A_{pl} – perdanga virš nešildomų patalpų ar lauko, A_{ll} – langai. Naudojantis antrame skyriuje pateiktomis formulėmis (2.6), (2.9) yra suskaičiuojamos kiekvienos atitvaros šiluminės energijos sąnaudos atskirai, sekančiame etape skaičiuojamos suminės energijos sąnaudos pastate. Turint išeities duomenis yra sudaroma sprendimo matrica (3.11 lentelė), matricoje esantys skirtingų dimensijų dydžiai yra paverčiami į bedimensius (3.12 lentelė). Toliau, remiantis uždaviniui sudaryta blokine schema (3.19 pav.) yra pritaikomas MOORA metodas.



3.19 pav. Pastato atitvarų daigiatikslinio vertinimo eigos schema

Fig. 3.19. Building envelope multipurpose rating process scheme

3.11 lentelė. Pradinių duomenų matrica, mūrinio pastato išorinių atitvarų įtakos, energijos poreikio vertinimui atlikti

Table 3.11. The initial data matrix, brick exterior building envelope impact for energy demand assessment

Alternatyvos	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Optimizavimo kryptis	$m^2 \cdot K/W$	Lt/m^2	Lt	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$kWh/m^2 \cdot per metus$	$Lt/metai$	$metai$
	max	min	min	min	max	max	min
1	A_{s1}	2,101	145	182700	32,56	57,650	17294,42
	A_{s2}	3,448	150	189000	19,67	70,540	21161,29
	A_{s3}	4,762	160	201600	14,24	75,970	22790,24
	A_{s4}	5,000	180	226800	13,57	76,640	22991,23
	A_{s5}	5,988	190	239400	11,53	78,680	23603,21
2	A_{st1}	1,727	144,51	74646,64	16,13	57,560	17267,42
	A_{st2}	3,077	150,29	77632,30	9,18	64,510	19352,35
	A_{st3}	5,780	158,96	82110,79	4,73	68,960	20687,31
	A_{st4}	6,250	170,52	88082,11	4,45	69,240	20771,31
	A_{st5}	7,143	179,19	92560,59	3,89	69,800	20939,30
3	A_{p1}	1,953	57,8	29 856,59	8,13	6,710	2 012,93
	A_{p2}	3,344	66,47	34 335,08	5,49	9,350	2 804,91
	A_{p3}	4,000	72,25	37 320,74	4,73	10,110	3 032,90
	A_{p4}	4,695	89,6	46 282,88	4,08	10,760	3 227,89
	A_{p5}	6,061	104,05	53 747,03	3,39	11,450	3 434,89
4	A_{l1}	0,588	202,31	102656,14	46,44	69,140	20741,31
	A_{l2}	0,625	216,76	55989,11	55,77	59,810	17942,40
	A_{l3}	0,625	216,76	109988,36	43,71	71,870	21560,28
	A_{l4}	0,833	245,66	6353,98	50,21	65,370	19610,35
	A_{l5}	0,833	245,66	124652,80	32,78	82,800	24839,17

Pastato konstrukcijų rodiklių sistemą sudaro sekantys rodikliai:

x_1 – Šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$. Šilumos varža vertina konstrukcijos savybę praleisti šilumos kiekį per ploto vienetą;

x_2 – Atitvaros vieno m^2 kaina, Lt/m^2 . Įvertinama atitvaros modernizavimo kaina vienam ploto vienetui;

x_3 – Atitvaros kaina Lt . Įvertinama atitvaros modernizavimo šiam plotui pas-tate;

x_4 – Šilumos nuostoliai per atitvaras, kWh/m²·per metus. Šilumos nuostoliai, kurių netenka pastatas pro atitvarą;

x_5 – Sutaupomos šilumos energijos kiekis, įdiegus priemonę, kWh/m²·per metus.

x_6 – Šilumos energijos sutaupymai per metus, kWh/m²·per metus;

x_7 – Atsipirkimo laikas, metai. Atitvaros atsipirkimo laikas įdiegus priemonę.

Uždavinyje rodikliai yra optimizuojami pagal sekančias optimizavimo kryptis:

$$x_2, x_3, x_4, x_7 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \min; \quad x_1, x_5, x_6 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \max;$$

Normalizuoti ir pasverti sprendimų priėmimo duomenys yra pateikti lentelėje (3.12). Taikant darbo antrame skyriuje pateiktas MOORA metodo formules yra gaunamos prioritetine tvarka suranguotos reikšmės (3.13 lentelė). Pilna atitvarų skaičiavimo aritmetika pateikta darbo Priede B.

3.12 lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami MOORA ir MULTIMOORA metodais

Table 3.12. The normalized decision-making array assessed in MOORA and MULTIMOORA methods

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
A_{s1}	0,210	0,391	0,391	0,734	0,357	0,357	0,487
A_{s2}	0,345	0,404	0,404	0,444	0,436	0,436	0,412
A_{s3}	0,477	0,431	0,431	0,321	0,470	0,470	0,408
A_{s4}	0,500	0,485	0,485	0,306	0,474	0,474	0,455
A_{s5}	0,599	0,512	0,512	0,260	0,487	0,487	0,468
A_{st1}	0,148	0,401	0,401	0,805	0,389	0,389	0,461
A_{st2}	0,264	0,417	0,417	0,458	0,436	0,436	0,427
A_{st3}	0,496	0,441	0,441	0,236	0,466	0,466	0,423
A_{st4}	0,536	0,473	0,473	0,222	0,468	0,468	0,452
A_{st5}	0,613	0,497	0,497	0,194	0,472	0,472	0,471
A_{p1}	0,206	0,323	0,323	0,671	0,306	0,306	0,474
A_{p2}	0,353	0,363	0,363	0,453	0,426	0,426	0,383
A_{p3}	0,422	0,418	0,418	0,390	0,461	0,461	0,408
A_{p4}	0,496	0,502	0,502	0,337	0,490	0,490	0,460
A_{p5}	0,640	0,581	0,581	0,280	0,522	0,522	0,500
A_{I1}	0,371	0,400	0,482	0,447	0,440	0,440	0,505
A_{I2}	0,394	0,429	0,263	0,537	0,381	0,381	0,319
A_{I3}	0,394	0,429	0,517	0,421	0,458	0,458	0,521
A_{I4}	0,525	0,486	0,298	0,484	0,416	0,416	0,330
A_{I5}	0,525	0,486	0,585	0,316	0,527	0,527	0,512

3.13 lentelė. Pastato išorinių atitvarų vertinimo rezultatai**Table 3.13.** Exterior building envelope rating results

		MOORA		Pilna sandaugos forma	MULTIMOORA
		Santykio skaičiavimo teorija	Atskaitos taško teorija		Rangai
1	A_{s1}	5	5	5	5
	A_{s2}	4	4	4	4
	A_{s3}	1	3	2	2
	A_{s4}	3	1	3	3
	A_{s5}	2	2	1	1
2	A_{st1}	5	5	5	5
	A_{st2}	4	4	4	4
	A_{st3}	2	3	2	2
	A_{st4}	3	1	3	3
	A_{st5}	1	2	1	1
3	A_{p1}	5	5	5	5
	A_{p2}	4	4	4	4
	A_{p3}	2	2	2	2
	A_{p4}	3	1	3	3
	A_{p5}	1	3	1	1
4	A_{l1}	5	2	5	5
	A_{l2}	3	3	3	3
	A_{l3}	4	4	4	4
	A_{l4}	1	1	1	1
	A_{l5}	2	5	2	2

Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, kad geriausia modernizuojant pastatą parinkti atitvaras, kai atitvarų techniniai duomenys: sienos modernizuojamas plotas 1260 m^2 ir šiluminė varža $R_{ts} = 6,00$, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, stogo modernizuojamas plotas 516.55 m^2 ir šiluminė varža $R_{st} = 7,14$, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, perdangas virš šaltų patalpų modernizuojamas plotas $516,55 \text{ m}^2$ ir šiluminė varža $R_p = 6,06$, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, langai keičiami tik namo šiaurinėje pusėje ir šilumos perdavimo koeficientas $U_l = 1,20$, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$.

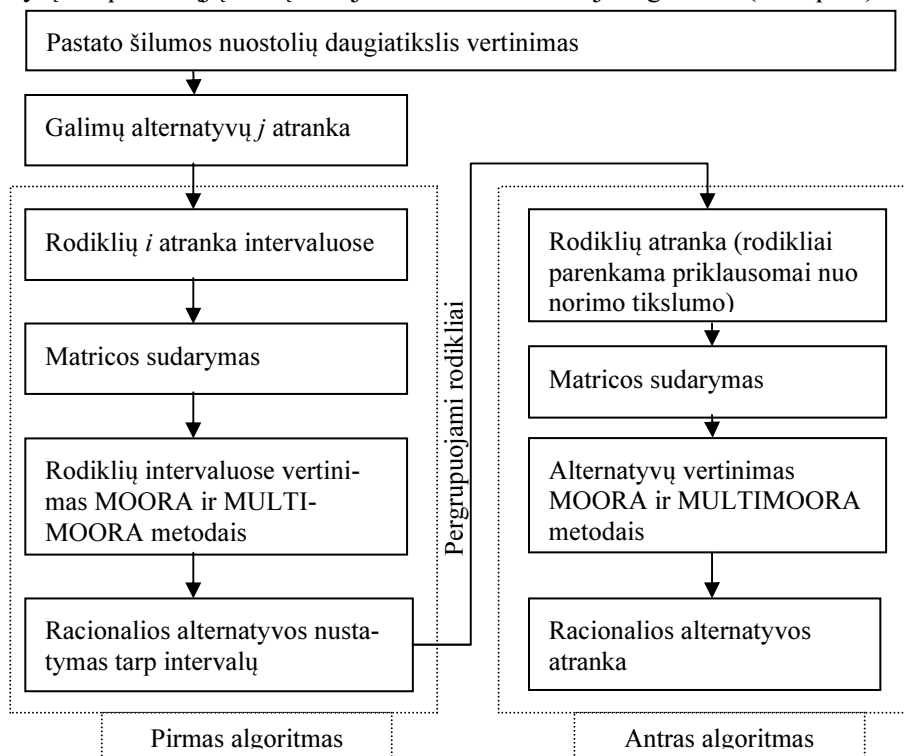
Pagal optimalumo rodiklio eilutę, alternatyvų rangai išsidėsto sekančiai: $(A_{s5}; A_{st5}; A_{p5}; A_{l4}) \succ (A_{s3}; A_{st3}; A_{p3}; A_{l5}) \succ (A_{s4}; A_{st4}; A_{p4}; A_{l2}) \succ (A_{s2}; A_{st2}; A_{p2}; A_{l5}) \succ (A_{s1}; A_{st1}; A_{p1}; A_{l1})$.

Priimant sprendimus pastatų modernizavimo planavimo etape, siūloma taikyti rodiklių reikšmes išreikštas intervalu. Tokiu būdu galima patikrinti didesnio

tikslumo ir didesnį kiekį reikšmių. Sekančiame skyriaus paragrafe yra pateiktas sprendimo priėmimo modelis, vertinantis pastato technines charakteristikas, kai rodiklių reikšmės išreikštos intervalu.

3.7. Pastato energinio modernizavimo vertinimas daigiatiksliu sprendimo priėmimo metodu, kai rodikliai apibrėžti intervalais

Ankstesniuose poskyriuose suformuluoti pastatų konstrukcijų atnaujinimo principai, pagal minėtus principus pasiūlyti galimi atnaujinimo variantai. Variantams aprašyti sudaryta rodiklių sistema, kurios pagalba variantai įvertinami daigiatiksliais sprendimo priėmimo metodais. Šiame skyriuje siūloma pastatų konstrukcijų gerinimui taikyti daigiatikslį sprendimo priėmimo metodiką, papildytą neapibrėžtųjų aibių teorijos elementais ir nauju algoritmu (3.20 pav.).



3.20 pav. Pastato konstrukcijų modernizavimo, vertinant daigiatiksliais metodais, schema

Fig. 3.20. Building structures modernization using multicriteria assessment methods, scheme

Pirmame algoritme (3.20 pav.) rodiklių reikšmės yra vertinamos intervaluose MOORA ir MULTIMOORA metodais Stanujkic *et. al.* (2012). Gautos racionalios reikšmės yra pergrupuojamos ir naujai suformuojama sprendimų matrica, su naujomis reikšmėmis paimtomis iš racionalaus intervalo. Antrame algoritme naujos reikšmės yra dar kartą perskaiciuojamos naudojant MOORA ir MULTIMOORA metodais.

Tokia skaičiavimo seka, padeda greičiau, tiksliau ir paprasčiau atrinkti iškomas alternatyvas. Kadangi pirmame algoritme yra surandamas racionalus alternatyvų intervalas, o antrame – racionali reikšmė iš racionalaus intervalo.

Buvo išanalizuoti šeši skirtingi gyvenamieji pastatai, kurie suskirstyti pagal išorinių sienų konstruktyvą: mūriniai, stambiaplokščiai ir kombinuoti (stambiaplokščiai ir mūriniai).

I pastatas – sienos stambiaplokštės, sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,625$, $W/(m^2 \cdot K)$, stogas plokščias gelžbetoninė plokštė, langai mediniai su dviem stiklais;

II pastatas – sienos stambiaplokštės, sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,625$, $W/(m^2 \cdot K)$, stogas plokščias gelžbetoninė plokštė, langai plastikiniai su vienu stiklo paketu;

III pastatas – sienos kombinuotos (stambiaplokštės ir mūrinės), sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,20$, $W/(m^2 \cdot K)$, stogas plokščias gelžbetoninė plokštė, langai plastikiniai su vienu stiklo paketu;

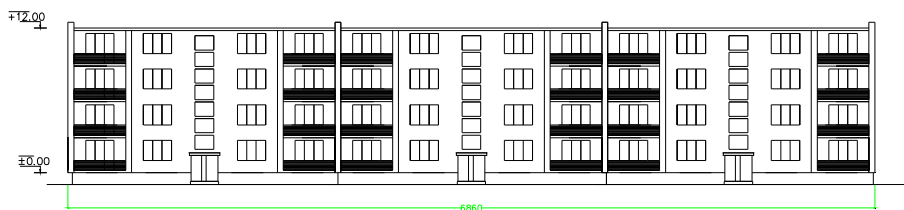
IV pastatas – sienos kombinuotos (stambiaplokštės ir mūrinės), sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,20$, $W/(m^2 \cdot K)$, stogas plokščias gelžbetoninė plokštė, langai mediniai su dviem stiklais;

V pastatas – sienos mūrinės, sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,4$, $W/(m^2 \cdot K)$, stogas plokščias gelžbetoninė plokštė, langai mediniai su dviem stiklais;

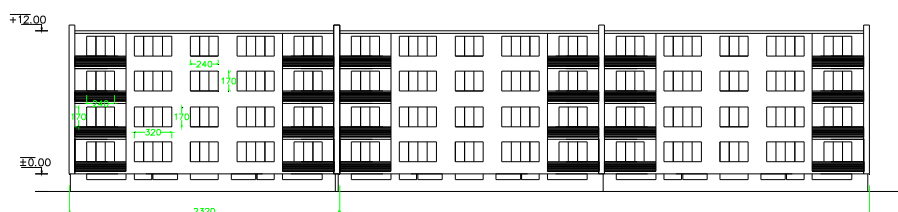
VI pastatas – sienos mūrinės, sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,4$, $W/(m^2 \cdot K)$, stogas plokščias gelžbetoninė plokštė, langai plastikiniai su vienu stiklo paketu.

Toliau darbe pateiktas I stambiaplokščio (3.15 lentelė) daugiabučio esančio M. K. Oginskio g. Vilniaus mieste, skaičiavimas pritaikant daugiataksių sprendimo priėmimo metodus. Pastato techniniai duomenys, plotai, planai yra pateikti lentelėje (3.14) ir 3.24 paveiksle. Namų pagrindinė fasadinė pusė orientuota į šiaurės šalis (3.22 pav.), likusieji fasadai, priklausomai nuo pasaulio šalių krypties, pateikiami paveiksluose (3.21 pav. ir 3.23 pav.). Stogas sutapdintas, dengtas bitumine rulonine danga (3.16 pav.). Namų perdengimas virs rūšio yra gelžbetoninė plokštė su keramzitbetonio termoizoliaciniu sluoksniu (3.17 pav.). Pastate esantys langai yra mediniai arba plastikiniai su paprastais stiklais (3.18 pav.). Lauko durys nesandarios, nėra tambūro tarp laukinių durų ir bendros laiptinės. Šilumos vamzdynai neturi izoliacinių kevalų (3.14a pav.), taip prarandama šilu-

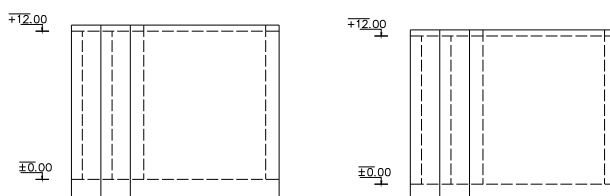
ma šildant negyvenamąsias patalpas. Atlikus vizualinius tyrimus galime teigti kad namas šiuo metu netenkina galiojančių statybos techninių reglamentų (STR 2.01.09:2005) ir Lietuvos higienos normų (HN 42:2004).



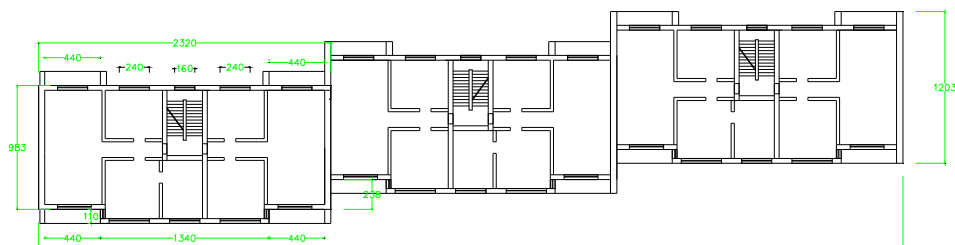
3.21 pav. Pietinis pastato fasadas
Fig. 3.21. Southern building facade



3.22 pav. Šiaurinis pastato fasadas
Fig. 3.22. Northern building facade



3.23 pav. Vakarinis ir Rytinis pastato fasadai
Fig. 3.23. West and East building facade



3.24. pav. Pastato planas
Fig. 3.24. Building scheme

Siekiant išsiaiškinti šilumos kiekius, kuriuos namas praranda per atitvaras ir inžinerines dalis taip pat kokias modernizavimo priemones reikėtų įdiegti name, tam, kad atsiperkamumas ir efektyvumas būtų racionalus, buvo atlikti šilumos nuostolių skaičiavimai ir modernizavimo galimybės naudojant daigiakriterinius sprendimų priėmimo metodus, kai rodikliai yra apibrėžti intervalų sistema.

3.14 lentelė. Pastato atitvarų plotai

Table 3.14. Building envelope areas

Atitvaros pavadinimas	Atitvaros plotas, m ²			
	Šiaurė	Pietūs	Rytai	Vakarai
Sienos	591,36	522,48	161,16	161,16
Stogas	728,40			
Perdangos virš nešildomų patalpų	728,40			
Langai laiptinėse	40,32			
Langai butuose	203,52			
Langai	Σ243,84	277,44	17,64	17,64
Durys	6,6			

Skaičiavimai šilumos nuostolių pastate ir inžinerinių sistemų vertinimas buvo atliktas naudojantis metodika: Statybos techninis reglamentas STR 2.01.09:2005 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ „Statybos techninis reglamentas STR 2.01.03:2009 „Statybinių medžiagų ir gaminių šiluminių techninių dydžių projektinės vertės“ ir pateikti priede A.

Pastato energinio įvertinimo metu apskaičiuojami norminis suminis, atskaitinis suminis ir skaičiuojamasis suminis energijos suvartojimai vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto.

Norminis suminis pastato energijos suvartojimas vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto apskaičiuojamas pagal normines rodiklių vertes pateiktas 3.3 lentelėje.

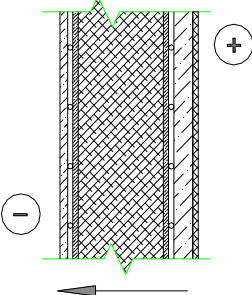
Atskaitinis suminis energijos suvartojimas vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto apskaičiuojamas pagal atskaitines rodiklių vertes tam tikros paskirties pastatuose.

Skaičiuojamasis suminis pastato energijos suvartojimas vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto skaičiuojamas, pagal realų pastato konstruktyvą ir inžinerinių sistemų tipą.

3.7.1. Pastato išorinių atitvarų techniniai duomenys

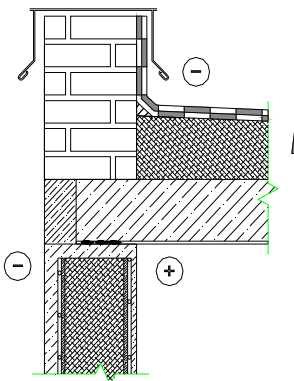
3.15 lentelė. Stambiaplokščio pastato sienos konstruktyvas

Table 3.15. The wall constructive of large-block building

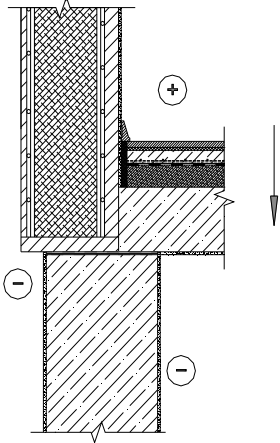
Sienos detalė	Konstrukcijos aprašymas	Šilumos perdavimo koeficientas $U, K/(m^2 \cdot K)$
	Dažai, aliejiniai, 1 mm	0,903
	Tinkas, kalkių-smėlio-cemento, 10 mm, $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$	
	Gelžbetonis, 50 mm, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$	
	Keramzitbetonis, 280 mm, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	
	Gelžbetonis, 20 mm, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$	

3.16 lentelė. Stambiaplokščio pastato stogo konstruktyvas

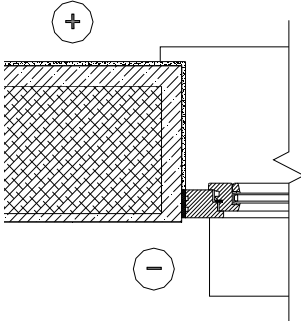
Table 3.16. The roof constructive of large-block building

Stogo detalė	Konstrukcijos aprašymas	Šilumos perdavimo koeficientas, $U ()$
	Dažai, 1 mm	0,451
	Tinkas, kalkių-smėlio cemento, 10 mm, $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$	
	Gelžbetoninė perdanga, 220 mm, $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$	
	Dujų silikato plokštės, 400 mm, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	
	Smėlbetonis, 50 mm, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$	
	Bituminiai lakštai, 10 mm, $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$	

3.17 lentelė. Perdangos virš nešildomo rūšio konstruktyvas**Table 3.17.** Floor above unheated basement constructive

Grindų virš rūšio detalė	Konstrukcijos aprašymas	Šilumos perdavimo koeficientas $U, K/(m^2 \cdot K)$
	Grindų danga, 12 mm	1,467
	Smėlbetonis, 70 mm, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$	
	Dujų silikato plokštės, 50 mm, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	
	Gelžbetoninė perdanga, 220 mm, $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$	
	Tinkas, kalkių-smėlio- cementas, 10 mm, $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$	
	Dažai, 1 mm	

3.18 lentelė. Pastato angokraštis**Table 3.18.** Building reveal

Langų detalė	Konstrukcijos aprašymas	Šilumos perdavimo koeficientas $U, K/(m^2 \cdot K)$
	Langai mediniai su dviem stiklais	2,50

Pastato atitvarų techninių duomenų 3.19 lentelėje, pateikti šilumos nuostoliai pastate ir atskirose atitvarose, didžiausi šilumos nuostoliai yra pro šiluminius tiltelius, tačiau apšiltinus pastato angokraščius, sienas, stogą, perdangą virš rūsių problemos neliktų. Kadangi šiluminiai tilteliai jungia skirtingas išorines atitvaras ir priklauso nuo jų techninių savybių, apšiltinus išorines atitvaras šilumos nuostoliai taip pat būtų apšiltinti.

3.19 lentelė. Pastato atitvarų techniniai duomenys

Table 3.19. Building envelope technical data

Atitvaros pavadinimas	Atitvaros plotas, m ²				Šilumos perdavimo koeficientas U	Šilumos nuostoliai		
	Šiaurė	Pietūs	Rytai	Vakarai	W/m ² ·K	kWh/m ² ·metai	Atitvarose, %	Viso pastate, %
Sienos	591,36	522,48	161,16	161,16	0,903	45,59	24,76%	19,72%
Stogas		728,4			0,451	11,55	6,27%	5,00%
Perdangos virš nešildomų patalpų		728,4			1,47	12,39	6,73%	5,36%
Langai	Σ243,84	277,44	17,64	17,64	2,90	56,74	30,82%	24,54%
Langai butuose	203,52				2,90			
Langai laiptinėse	40,32				2,90			
Durys		6,6			0,7	0,16	0,09%	0,07%
Šiluminiai tilteliai						57,69	31,33%	24,95%
Dėl oro infiltracijos						47,07		20,36%
Viso.:						231,19	100,00%	100,00%

Galime teigti, kad nagrinėjamame pastate didžiausi nuostoliai yra patiriami pro lauko sienas, todėl toliau pateiksime pastato išorinės sienos daugiatislį sprendimą, o kitų išorinių atitvarų pateiksime darbo Priede B.

3.7.2. Pastato išorinių atitvarų racionalaus varianto parinkimas

Pastato energinio vertinimo metodo taikymas prasideda nuo alternatyvų ir kriterijų parinkimo. Kiekvienai išorinei pastato atitvarai (sienoms, stogui, langams, perdangai virš šaltų patalpų, durims, šilumos tilteliams) buvo parinktos šešios skirtingos alternatyvos intervaliniame režyje. Alternatyvoms įvertinti parinkti septyni rodikliai.

Atlikus šilumos nuostolių skiačiavimus pastate per išorines atitvaras, gauti duomenys yra surašomi į sprendimų matricą (3.20 lentelė). Kiekvienai atitvarai suskaičiuojami šeši skirtingi variantai, didinant išorinės atitvaros šiluminę varžą ne mažiau nei statybos reglamento (STR 2.01.09:2005) numatytose normose. Atitvaros alternatyvos yra vertinamos pagal sekančius rodiklius:

⊗ x_1 – Atitvaros šiluminė varža, $m^2 \cdot K / W$;

⊗ x_2 – Konstrukcijos atnaujinimo kaina, Eurai – yra gaunama kiekvienos atitvaros plotą esantį lentelėje 3.29 padauginus iš atitvaros atnaujinimo kainos Eur/m² priklausančios nuo atitvaros šiluminės varžos dydžio;

⊗ x_3 – Viso sutaupoma įdiegus priemonę, kWh/m²-metai – yra skirtumas šilumos kiekio, gauto atėmus įdiegtos priemonės šilumos nuostolius iš esamų atitvaros šilumos nuostolių;

⊗ x_4 – Viso sutaupoma įdiegus priemonę, Eur/metai – sandauga atitvaros ploto su energijos kaina ir šilumos nuostoliais įdiegus atnaujinimo priemonę;

⊗ x_5 – Mokėjimai už atitvaros nuostolius per metus, Eur/metai – yra skirtumas sutaupyto šilumos kiekio įdiegus atnaujinimo priemonę atimto iš esamos atitvaros šilumos nuostolių kiekio išreikšto valiutos matais;

⊗ x_6 – Atsiperkamumas, metai – konstrukcijos atsipirkimo laikas įdiegus atnaujinimo priemones.

Vertinamiems rodikliams yra priskiriama optimizavimo kryptis:

⊗ $x_1, \otimes x_4, \otimes x_5, \otimes x_6 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \max;$

⊗ $x_2, \otimes x_3, \otimes x_7 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \min.$

Turėdami alternatyvas j ir rodiklius i sudarome sprendimo priėmimo matricą. Tolimesnis matricos vertinimas yra atliekamas MOORA (*Multi-Objective Optimization by Ratio analysis*) Brauers, Zavadskas (2006) ir MULTIMOORA (*MOORA plus a Full Multiplicative Form*) Brauers, Zavadskas (2010) metodais.

3.20 lentelė. Pastato išorinės sienos vertinimo rodikliai**Table 3.20.** The outer wall of the building rating indicators

Atitvaros pavadinimas	Šiluminė varža	Konstrukcijos atnaujinimo kaina	Viso sutau- poma įdiegus priemonę	Sutaupoma per metus	Mokėjimai už atitva- ros nuosto- lius per metus	Atsipėka- mumas
	(m ² ·K)/W	Eurai	kWh/m ² ·metai	Eur/metai	Eur/metai	Metai
	max	min	max	max	min	min
	1	2	3	4	5	6
Esamas siena	1,10	0,00	0,00	0,00	5658,31	0,00
Sien.1	2,00	114892,80	20,35	2525,08	3133,23	45,50
Sien.2	3,00	122073,60	28,78	3571,60	2086,71	34,18
Sien.3	4,00	134999,04	32,97	4091,63	1566,68	32,99
Sien.4	5,00	146488,32	35,49	4404,77	1253,54	33,26
Sien.5	6,00	160849,92	37,16	4612,04	1046,27	34,88
Sien.6	6,50	175211,52	37,81	4692,71	965,60	37,34

Toliau pateiktose lentelėse alternatyvos pavadinimas sienos su skaičiaus indeksais, bus žymimas A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 , A_6 alternatyvomis. Kadangi iš anksto nėra žinomas racionalios reikšmės dydis, alternatyvas suskirstome intervalais (3.21 lentelė).

Daugiatikslių MOORA ir MULTIMOORA metodų, aprašytų antrame skyriuje, pagalba yra surandamas racionalus intervalas.

Taikant (2.10) formulę reikšmės yra normalizuojamos. Normalizavimo metu priklausomai nuo reikšmės optimizavimo krypties ji gali būti maksimizuojama arba minimizuojama. Maksimizuojamame intervale didesnė reikšmė yra optimistinė, o mažesnė pesimistinė. Minimizuojamame intervale mažesnė reikšmė yra optimistinė, o didesnė pesimistinė, gauti duomenys yra pateikti 3.22 lentelėje.

Vertinant pastato atitvaras daugiatisliais MOORA ir MULTIMOORA metodais, gaunamos reikšmių prioritetinės eilutės $A_4 > A_3 > A_5 > A_6 > A_2 > A_1$, kurių seka nurodo intervalų prioritetiškumą kitų intervalų atžvilgiu (3.23 lentelė).

3.21 lentelė. Pradinių duomenų matrica optimaliam intervalui parinkti, konstrukcijų esančių pastate
Table 3.21. The initial data matrix for optimal range selection of construction in the building

Siluminė atitvaros varža		Atnaujinimo kaina vi-sam plotui		Viso sutau-poma idie-gus		Sutaupo per me-tus		Mokėjimai per ata-skaitinį laikotarpį už-mumas		Atsiperka-	
max	min	min	max	max	max	max	min	min	min	min	min
$\otimes x_1$	x_1'	$\otimes x_2$	x_2'	$\otimes x_3$	x_3'	$\otimes x_4$	x_4'	$\otimes x_5$	x_5'	$\otimes x_6$	x_6'
x_1''	x_1'''	x_2''	x_2'''	x_3''	x_3'''	x_4''	x_4'''	x_5''	x_5'''	x_6''	x_6'''
A ₁	[1,10;2,00]	[0,00; 114892,80]	[0,00; 20,35]	[0,00; 20,35]	[0,00; 2525,08]	[5658,31; 3133,23]	[0,00;45,50]				
A ₂	[2,00;3,00]	[114892,80; 122073,60]	[20,35; 28,78]	[20,35; 28,78]	[2525,0; 3571,60]	[3133,23; 2086,71]	[45,50;34,18]				
A ₃	[3,00;4,00]	[122073,60; 134999,04]	[28,78; 32,97]	[28,78; 32,97]	[3571,6; 4091,63]	[2086,71; 1566,68]	[34,18;32,99]				
A ₃	[4,00;5,00]	[134999,04; 146488,32]	[32,97; 35,49]	[32,97; 35,49]	[4091,6; 4404,77]	[1566,68; 1253,54]	[32,99;33,26]				
A ₄	[5,00;6,00]	[146488,32; 160849,92]	[35,49; 37,16]	[35,49; 37,16]	[4404,7; 4612,04]	[1253,54; 1046,27]	[33,26;34,88]				
A ₅	[6,00;6,50]	[160849,92; 175211,52]	[37,16; 37,81]	[37,16; 37,81]	[4612,0; 4692,71]	[1046,27; 965,60]	[34,88;37,34]				

Rodiklių optimizavimo kryptis

3.22 Ietelē. Normalizēta sprendimo priēmimo matrica MOORA ir MULTIMOORA metodais su apibēžtais intervalais

Table 3.22. Normalized decision-making matrix in Moore and MULTIMOORA methods with defined intervals

	1		2		3		4		5		6			
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min		
	Pesimistinès	Optimistinès	Pesimistinès	Optimistinès	Pesimistinès	Optimistinès	Pesimistinès	Optimistinès	Pesimistinès	Optimistinès	Pesimistinès	Optimistinès		
A ₁	0,095	0,210	0,000	0,375	0,000	0,289	0,000	0,289	0,000	0,289	0,790	0,437	0,000	0,558
A ₂	0,210	0,315	0,375	0,399	0,289	0,408	0,289	0,408	0,408	0,437	0,291	0,558	0,419	
A ₃	0,315	0,420	0,399	0,441	0,408	0,468	0,408	0,468	0,468	0,291	0,219	0,419	0,405	
A ₃	0,420	0,525	0,441	0,479	0,468	0,503	0,468	0,503	0,503	0,219	0,175	0,405	0,408	
A ₄	0,525	0,630	0,479	0,526	0,503	0,527	0,503	0,527	0,527	0,175	0,146	0,408	0,428	
A ₅	0,630	0,682	0,526	0,573	0,527	0,536	0,527	0,536	0,527	0,146	0,135	0,428	0,458	

3.23 lentelė. Tarpinis pastato išorinės (sienos) atitvaros intervalo parinkimas**Table 3.23.** Transitional building external (wall) partition selection of interval

Rodiklių optimizavimo kryptis	MOORA metodas		Pilnoji sandaugos forma	MULTIMOORA
	Santykio skaičiavimo rezultatai	Atskaitos taško teorijos rezultatai.		
A_1	6	6	6	6
A_2	2	5	5	5
A_3	1	2	4	2 
A_4	3	1	3	1 
A_5	4	3	2	3
A_6	5	4	1	4

Skaičiavimo rezultatai rodo, kad nagrinėjamo pastato sienos racionali reikšmė yra tarp intervalo A_4 ir A_3 reikšmių, kitų atitvarų tarpiniai rezultatai pateikiami 3.24 lentelėje.

3.24 lentelė. Tarpiniai įvertintų išorinių atitvarų rezultatai intervalų matricioje**Table 3.24.** Transitional results of assessed external partition in intervals matrix

Sienos		Stogas		Perdanga virš nešildomų patalpų		Langai		
A ₁	6	6		6		6		
A ₂	5	3		4		5		
A ₃	4,00	2↑	5,0	1↓	3,0	1↓	0,5	1↓
A ₄	5,00	1↑	6,0	2↓	4,0	2↓	3	
A ₅	3		4		3		4	
A ₆	4		5		5		0,588	2↓

Gauti rezultatai parodo, kad racionalios reikšmės kiekvienos išorinės atitvaros yra tarp 3.24 lentelėje pateiktų intervalų ribų. Išorinės sienos [4,00; 5,00], stogo [5,00; 6,00], perdangos virš nešildomų patalpų [3,0; 4,0], langų [0,5; 0,588]. Būtina pabrėžti, kad gauta reikšmė gali ir netenkinti normose pateiktų minimalių reikalavimų, nagrinėjamam pastatui priklausomai nuo jo paskirties. Metodas pateikia racionalias reikšmes individualiam objekto atvejui.

Sekančiame daugiataikslinio vertinimo metodų aritmetikos etape parenkamos reikšmės iš intervalo dviejų šimtųjų tikslumu (3.25 lentelė), kai intervalo režiai sienos atveju yra [A_4 ; A_3], stogo [A_3 ; A_4], perdangos virš nešildomų patalpų

$[A_3; A_4]$, langų $[A_3; A_6]$. Dviejų šimtųjų tikslumas yra pakankamas vertinant šilumos nuostolius pastate, tačiau sprendžiant kitos paskirties uždavinį, ekspertas turėtų įvertinti tikslumą savo nuožiūra.

3.25 lentelė. Pastato išorinės sienos racionalios šiluminės varžos vertinimas

Table 3.25. Building outer wall rational thermal resistance assessment

Rodiklių optimizavimo kryptis	Šiluminė varža	Konstrukcijos atnaujinimo kaina	Viso sutaupo- ma įdiegus priemonę	Sutaupoma per metus	Mokėjimai už atitva- ros nuosto- lius per metus	Atsiperka- mumas
	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	Eurai	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{metai}$	Eur/metai	Eur/metai	Metai
	max	min	max	max	min	min
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
A_1	4,00	134999,04	32,97	4092,00	1566,31	32,991
A_2	4,20	137871,36	33,57	4166,47	1491,84	33,091
A_3	4,40	140743,68	34,13	4235,97	1422,33	33,226
A_4	4,60	143616,00	34,63	4298,03	1360,28	33,414
A_5	4,80	146488,32	35,09	4355,12	1303,19	33,636

Antrame algoritmo etape, dar kartą panaudojus MOORA ir MULTIMOORA metodo formules yra normalizuojamos racionaliame intervale esančios reikšmės. Normalizuotos reikšmių yra pateikiamos 3.26 lentelėje.

3.26 lentelė. Normalizuota sprendimo priėmimo matrica MOORA ir MULTIMOORA metodais

Table 3.26. Normalized decision-making matrix in MOORA and MULTIMOORA methods

	1	2	3	4	5	6
	max	min	max	max	min	min
A_1	0,41	0,43	0,43	0,43	0,49	0,44
A_2	0,43	0,44	0,44	0,44	0,47	0,44
A_3	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,45
A_4	0,47	0,46	0,45	0,45	0,42	0,45
A_5	0,49	0,47	0,46	0,46	0,41	0,45

Įvertinus pastato atitvaras daugiatisiais MOORA ir MULTIMOORA metodais, gaunamos reikšmių prioritetinės eilutės $A_4 \succ A_5 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_1$, kurių seka nurodo reikšmių prioritetiškumą (3.27 lentelė).

3.27 lentelė. Pastato sienos šiluminės varžos vertinimo daugiatisiais metodais rezultatai

Table 3.27. Building wall thermal resistance evaluation of multipurpose methods results

Rodiklių optimizavimo kryptis	MOORA metodas		Pilnoji sandaugos forma	MULTIMOORA
	Santykio skaičiavimo rezultatai	Atskaitos taško teorijos rezultatai.		
A_1	5	5	5	6
A_2	2	4	4	5
A_3	1	3	3	3
A_4	3	1	2	1
A_5	4	2	1	2

Galutiniai pastato duomenys (3.28 lentelė) vertinant daugiabučio stambiaplokščio pastato išorines atitvaras patvirtina daugiatisių metodų, kai reikšmės apibrėžtos intervalu, svarbą ir naudą, turint tikslą greitai ir racionaliai išspręsti modernizavimo problemas.

3.28. lentelė. Galutiniai atitvarų racionalūs variantai

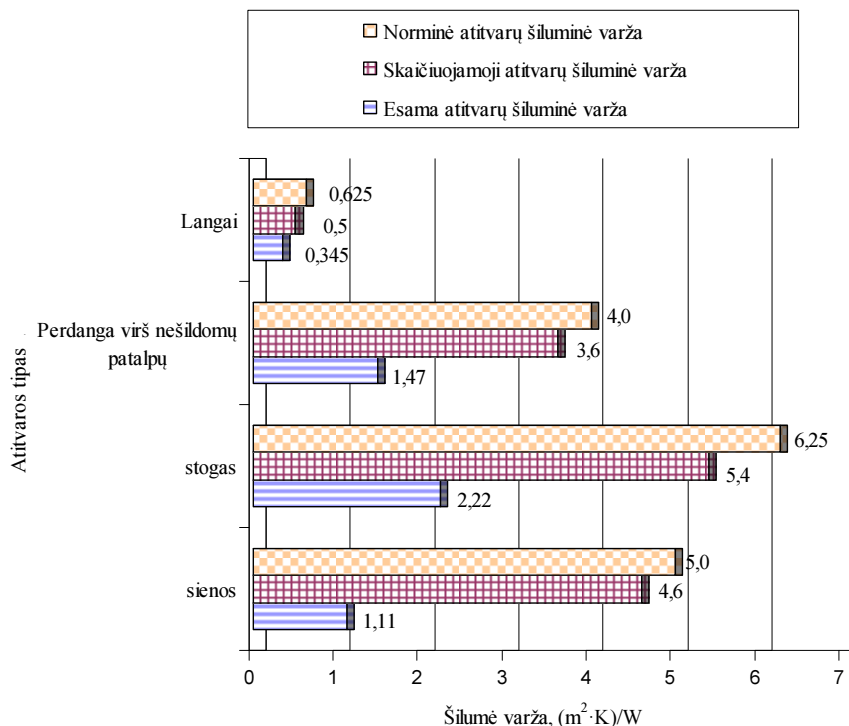
Table 3.28. The final rational options of partition

Alternatyvos	Sienos		Stogas		Perdanga virš rūsio		Langai	
	$m^2 \cdot K/W$	eil. nr	$m^2 \cdot K/W$	eil. nr	$m^2 \cdot K/W$	eil. nr	$m^2 \cdot K/W$	eil. nr
A_1	4,00	6	5,00	6	5,00	5	0,59	2
A_2	4,20	5	5,20	5	5,20	4	0,59	3
A_3	4,40	3	5,40	1	5,40	2	0,50	5
A_4	4,60	1	5,60	2	5,60	1	0,50	4
A_5	4,80	2	5,80	3	5,80	3	0,50	1

Vertinimas buvo atliktas konkrečiam pastatui, išanalizuojant jo padėtį pasaulio šalių atžvilgiu, šilumos pritekėjimus per langus ir k.t. poveikius. Atliekant vertinamo pastato atnaujinimo darbus racionalus variantas pasiekiamas, kai pastato išorinių sienų šiluminė varža $4,60 m^2 \cdot K/W$, stogo $5,40 m^2 \cdot K/W$, perdangos virš rūsio $5,60 m^2 \cdot K/W$, langai $0,50 m^2 \cdot K/W$. Langai taip pat keičiami vi-

suose keturiuose pastato fasaduose. Pastato langų vertinimui buvo pasirinktos variacijos, kai keičiami langai ne tik viso pastato fasaduose, bet ir vertinant pagal pasaulio šalių padėtį. Platesnis langų vertinimas yra pateiktas darbo priede B.

Naudojant daugiatisius metodus gautos racionalios pastato atitvarų šiluminės vertės. Rastų verčių vaizdinis palyginimas su skaičiuojamosiomis ir norminėmis vertėmis pateiktas 3.25 paveiksle.

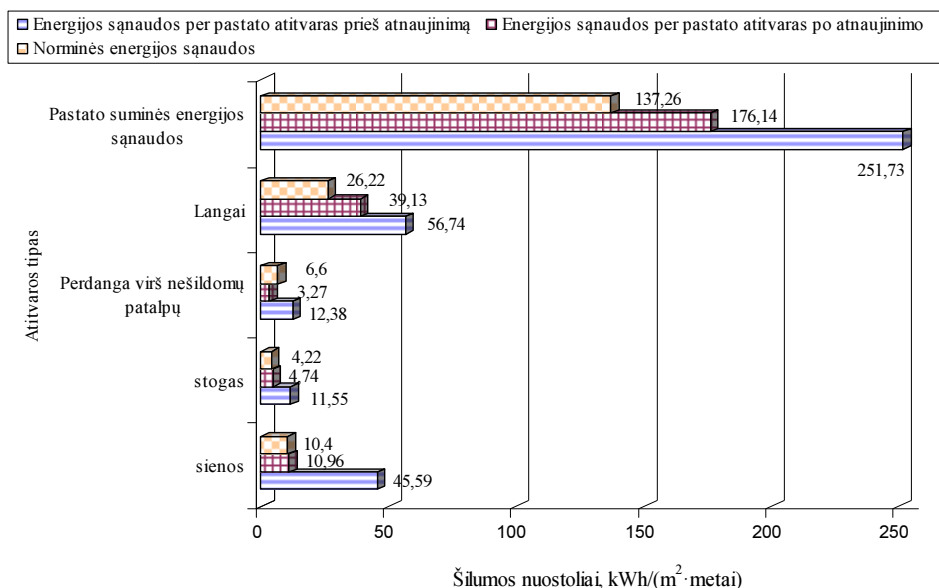


3.25 pav. Pastato išorinių atitvarų šiluminės varžos rodikliai

Fig. 3.25. Indicators of exterior building envelope thermal resistance

3.26 paveiksle pateikti pastato atitvarų ir suminiai šilumos nuostoliai prieš pastato atnaujinimą ir po atnaujinimo įdiegus taupymo priemones. Taip pat pateikiamos norminės pastato energijos sąnaudos, priklausančios nuo pastato paskirties.

Siekiant trumpiausio pastato atnaujinimo atsiperkamumo laiko, kiekvieną pastatą, kaip elementą reikėtų vertinti individualiai



3.26 pav. Pastato atitvarų šilumos nuostoliai

Fig. 3.26. Building envelope heat losses

Gauti rezultatai pateikia išorinių atitvarų vertes pastatui pagal individualų energijos suvartojimą. Vertės gali ir netenkinti normose pateiktų minimalių reikalavimų, tačiau vadovaujantis pateiktais duomenis pastato atnaujinimo atsiperkamumo laikas būtų spartesnis.

3.8. Trečiojo skyriaus išvados

1. Atliktas pastatų atnaujinimo daugiatis vertinimas parodė, kad nėra visais atvejais tikslinga pastato atitvaras atnaujinti naudojant normines vertes. Pastato modernizavimo atsiperkamumas bus spartesnis jei pastato elementai bus vertinami kompleksiskai. Vertinamo pastato atitvarų racionalios reikšmės: sienos, $4,60 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; stogas $5,40 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; perdanga virš rūšio $5,60 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; langai $0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Siekiant trumpiausio pastato atnaujinimo atsiperkamumo laiko, kiekvieną pastatą, kaip elementą reikėtų vertinti individualiai.

2. Įvertinus kondensacinės drėgmės kaupimosi ir pelėsio atsiradimo prognozavimą skirtingais metų mėnesiais, galima teigti, kad pelėsio atsiradimo tikimybė galima visus metus. Todėl tikslinga projektuoti pastato atitvaras taip, kad paviršiaus temperatūrinis faktorius f_{Rsi} būtų didesnis už $f_{Rsi, \min}$ mažiausią paviršiaus temperatūrinį faktorių.

3. Esant mažesniam pastato energiniam naudingumui yra tikslingiau atlikti dažnesnį, eneregiškai mažiau efektyvų, pastato konstrukcijų atnaujinimą. Tačiau didėjant pastato energiniam ir modernizavimo naudingumui, dažnesnis pastato modernizavimas nėra tikslingas.

4. Daugiatikslių metodų pagalba galime atlikti platesnį, įvairiapusiškesnį vertinimą, vertinant kiekybines tiek kokybines reikšmes pastato modernizavimo etape. Tokiu būdu priartinant konstrukcijų atnaujinimą realistiškesniam atsipirkimo laikui.

5. Turint didelį kiekį, taip pat ir tikslumui „jautrių“ duomenų, rastas rezultatas naudojant daugiatikslius metodus, ne visada gali būti racionalus. Taip atsitikti gali dėl netinkamai tiksliai parinkto rodiklio reikšmės. Todėl pastato modernizavimo uždaviniams spręsti autorius siūlo naudoti intervalų sistemos teoriją. Intervalų sistemos pagalba netinkamai parinktų reikšmių tikimybė yra artima nuliui.

Bendrosios išvados

1. Įvertinus gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatų išorinių atitvarų, mikroklimato ir inžinerinių sistemų būklę, galima teigti, kad esama būklė neatitinka keliamų Lietuvos standartų ir normų. Nepriklausomai nuo pastato pastatymo laikotarpio.
2. Pastato modernizavimas ne visada yra energinio efektyvumo pagerinimas, tačiau naudinga atliekant pastato elementų atnaujinimą atsižvelgti į pastato šilumos savybes.
3. Nustatyta, kad pastatų modernizavimui atlikti gali būti taikoma intervalų sistemos teorija. Darbe pristatytas naujas daugiatislių metodų MOORA-G ir MULTIMOORA-G, kai rodikliai apibrėžti intervaluose algoritmas, gali būti taikomas kitoms problemoms vertinti ir nebūtinai statybos srityje.
4. Darbe atlikti individualūs pastatų daugiatisliai vertinimai parodė, kad pastato konstrukcijos gali netenkinti reglamentuotų šiluminės varžos verčių: sienos, $4,60 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; stogas $5,40 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; perdanga virš rūšio $5,60 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; langai $0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Nėra visais atvejais tikslinga, pastato konstrukcijoms, modernizavimo metu, naudoti reglamentuotas šiluminės varžos normines vertes.
5. Siekiant trumpiausio pastato atnaujinimo atsiperkamumo laiko, kiekvieną pastatą, kaip elementą reikėtų vertinti individualiai.

6. Darbe sudarytas pastato modernizavimo vertinimo modelis, leidžiantis parinkti racionalias atitvarų charakteristikas pastato modernizavimo etape. Modelio pagalba galima greičiau nustatyti konstrukcijų technines savybes, atsipirkimo laiką, modernizavimo periodiškumą ar įvertinti papildomus rodiklius. Skaičiavimo rezultatai rodo, kad ne visais pastato atnaujinimo atvejais reikėtų keisti išorines atitvaras ar inžinerines dalis naujomis, kadangi ne visais atvejais įdiegta naujovė gali duoti planuojamą naudą.

Literatūra ir šaltiniai

- Aghdaie, M. H.; Zolfani, S. H.; Zavadskas, E. K. 2013. Market Segment Evaluation and Selection Based on Application of Fuzzy AHP and Kopras-G methods, *Journal of Business Economics and Management* 14(1): 213–233.
- Aghdaie, M. H.; Zolfani, SH.; Zavadskas, E. K. 2012. Prioritizing Constructing Projects of Municipalities Based on AHP and Copras-G a Case Study about Footbridges in Iran, *Baltic Journal of Road and bridge Engineering* 7(2): 145–153.
- Alchimoviene, J.; Raslanas, S. 2011. Sustainable Renovation and Evaluation of Blocks of Multi-apartment Houses, *Environmental Engineering* 1(3): 835–841.
- Anastaselos, D.; Theodoridou, I.; Papadopoulos, A. M.; Hegger, M. 2011. Integrated evaluation of radiative heating systems for residential buildings, *Energy* 36(7): 4207–4215.
- Arditi, D.; Gunaydin, H. M. 1998. Factors that affect process quality in the life cycle of building projects, *Journal of Construction Engineering and Management ASCE* 124(3): 194–203.
- Asadi, E.; da Silva, M. G.; Antunes, C. H.; Dias, L. 2012. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application, *Energy and Buildings* 44:81–87.
- Angelis, A.; Papadopoulos, A M. 2009. Application of multicriteria analysis in designing HVAC systems, *Energy and Buildings* 41(7): 774–780.
- Balezentis, A.; Balezentis, T. 2011. Assessing the efficiency of Lithuanian transport sector by applying the methods of MULTIMOORA and data envelopment analysis, *Transport* 26(3): 263–270.

- Balezentis, A.; Balezentis, T.; Brauers, W. K. M. 2011a. Implementation of the Strategy Europe 2020 by the Multi-objective evaluation method MULTIMOORA. *E & M Ekonomie A Management* 14(2): 6–21.
- Balezentis, A.; Balezentis, T.; Brauers, W. K. M. 2011b. Multi-Objective optimization of well-being in the European union member states. *Ekonomska Istraživanja-Economic Research* 24(4): 1–15.
- Balezentis, A.; Balezentis, T.; Valkauskas R. 2010. Evaluating situation of Lithuania in the European union: Structural indicators and MULTIMOORA method, *Technological and Economic Development of Economy* 16 (4): 578–602.
- Banaitienė, N.; Turskis, Z. 2004. Sprendimų parama vertinant pastato gyvavimo proceso efektyvumą, *Ūkio technologijos ir ekonominis vystymasis* 10(2): 57–66.
- Barkauskas V.; Stankevičius, V. 2000. Pastatų atitvarų šiluminė fizika. Kaunas: Technologija. 286 p.
- Baumann, O.; Reiser, C.; Schafer, J. 2009. LEED-The Green Building Rating System, *Bauphysik* 31(2): 99–105.
- Becirovic, S. P.; Vasic, M. 2013 Methodology and results of Serbian Energy-Efficiency Refurbishment Project, *Building and Environment* 62: 258–267.
- Bliūdžius. R. 2006. Pastatų šiluminė renovacija. Kaunas: Technologija. 68 p.
- Bliūdžius. R.; Endriukaitytė, A.; Meškauskas, J.; Motiejūnas, A. 1999. Šiluminės izoliacijos poveikis pastatų atitvarų šiluminiui-drėgniniam būviui, *Konferencija Statinių renovacija*, 30–37.
- Borcherding, K.; Schmeer, S.; Weber, M. 1995 Biases in multi attribute weight elicitation, *Contributions to Decision Making*, 3(28).
- Brans, J. P. 1982. L'ingénierie de la décision: élaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE.
- Brauers, W. K. M. 2013. Multi-objective seaport planning by MOORA decision making, *Annals of operations research* 205(1):39–58.
- Brauers, W. K. M.; Ginevicius, R. 2009. Robustness in regional development studies the case of Lithuania, *Journal of Business Economics and Management* 10(2): 121–140.
- Brauers, W. K. M.; Ginevicius, R. 2010. The Economy of the Belgiuk Regions tested with MULTIMOORA, *Journal of Business Economics and Management* 11(2): 173–209.
- Brauers, W. K. M.; Kildiene, S.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 2013. The Construction Sector Twenty European Countries During The Recession 2008-2009 Country Ranking by MULTIMOORA, *International Journal of Strategic Property Management* 17(1): 58–78.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35(2): 445–469.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2010. Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy* 16(1): 5–24.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2011. Multimoora Optimization Used to Decide on a Bank Loan to Buy Property, *Technological and Economic Development of Economy* 17(1): 174–188.

- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2013. Multi-Objective Economic Evaluation of The European Union Member States. As opposed to Credit Rating Agencies Opinions? *Transformations in business & Economics* 12(2): 102–124.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Vilutiene, T. 2008a. Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method, *Journal of Business Economics and Management* 9(4): 245–255.
- Brauers, W. K.; Ginevicius, R.; Zavadskas, E. K.; Antucheviciene, J. 2006. The future of sustainable development in some Baltic states by application of the MOORA method, *4th International Conference Citizens and Governance for Sustainable Development*, 156–161 p.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F.; Turskis, Z. 2008b. Multi-objective decision-making for road design, *Transport* 23(3): 183–193.
- Butler, J.; Jis, J. M. 1997. Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models, *European Journal of operational research* 103(3): 531–546.
- Catalina, T.; Virgone, J.; Blanco, E. 2011. Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology, *Renewable Energy* 36(8): 2245–2252.
- Caterino, N.; Iervolino, I.; Manfredi, G.; Cosenza, E. 2009. Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods for Seismic Structural Retrofitting, *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering* 24(6): 432–445.
- Chakraborty, S. 2011. Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54(9-12): 1155–2266.
- Chan, W. 2012. Energy benchmarking in support of low carbon hotels: Developments, challenges, and approaches in China, *International Journal of Hospitality Management* 31(4): 1130–1142.
- Chinese, D.; Nardin, G.; Saro, O. 2011. Multi-criteria analysis for the selection of space heating systems in an industrial building, *Energy* 36(1): 556–565.
- Clarke, J. A. 2001. *Energy Simulation in Building Design*. 2nd Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. 384 pp. ISBN 0750650826.
- Das, P.; Chalabi, Z.; Jones, B.; Milner, J.; Shrubsole, C.; Davies, M.; Hamilton, I.; Ridley, I.; Wilkinson, P. 2013. Multi-objective methods for determining optimal ventilation rates in dwellings. *Building and Environment* 66: 72–81.
- Deng, J. L. (1982). Control problems of grey systems, *Systems and Control Letters* 5(2): 288–294.
- Deng, J. L. 1988. *The basic methods of grey system* Wuhan: Huazhong University of Technology Press (in Chinese).
- Dhaka, S.; Mathur, J.; Wagner, A.; Das Agarwal, G.; Garg, V. 2013. Evaluation of thermal environmental conditions and thermal perception at naturally ventilated hostels of undergraduate students in composite climate, *Energy and Building* 66: 42–53.
- Ebbert, T. 2013. Integrated refurbishment planning for sustainable office buildings, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings* 166(2): 100–107.
- Eberl, S. 2010. CESB 10: DGNB VS. LEED: A Comparative Angllysis. *Central Europe Towards Sustainable Building-From theory to Practice* pp. 543–546.
- Endriukaitytė, A. 2003. *Šilumos ir masės mainų proceso sienų akmens vatos sluoks-*

niuose parametrų tyrimai: daktaro disertacija. Technologijos mokslai. Statybos inžinerija (02T). Vilnius: Technika.

Erhorn H.; Mroz, T.; Morck, O.; Schmidt, F.; Thomsen, K. E. 2008. The Energy Concept Adviser-A tool to improve energy efficiency in educational buildings, *Energy and Buildings* 40(4): 419–428.

Europos Parlamentas ir Taryba 2009. ES tvaraus vystimosi strategijos peržiūra [interaktyvus]. 2p. [žiūrėta 2012 spalio 11 d.]. Prieiga per internetą <<http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/06/st10/st10117.en06.pdf>>

Europos Parlamentas ir Taryba 2010. 2010 m. gegužės 19 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/EB dėl pastatų energinio naudingumo. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L153: 13–35.

Evola, G.; Margani, G.; Marietta, L. 2013. Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate, *Energy and Building* 43(9): 2385–2393.

Ferreira, J.; Duarte Pinheiro, M.; de Brito, J. 2013. Refurbishment decision support tools: A review from a Portuguese user's perspective, *Construction and Building Materials* 49: 425–447.

Galvin, R. 2010. Solving mould and condensation problems: A dehumidifier trial in a suburban house in Britain, *Energy and Building* 42(11): 2118–2123.

Ghaffghazi, S.; Sowlati, T.; Sokhansanj, S.; Melin, S. 2010. A multicriteria approach to evaluate district heating system options, *Applied Energy* 87(4): 1134–1140.

Ginevicius, R.; Podvezko, V.; Raslanas, S. 2008. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(4): 217–226.

Golic, K.; Kosoric, V.; Furundzic, A. K. 2011. General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment-Potential energy savings and environmental impact. *Renewable & Sustainable energy Reviews* 15(3): 1533–1544.

Gong, D. W.; Sun, J.; Ji, X. F. 2013. Evolutionary algorithms with preference polyhedron for interval multi-objective optimization problems, *Information Sciences* 233: 141–161.

Gossard, D.; Lartigue, B. 2013. Three-dimensional conjugate heat transfer in partitioned enclosures: Determination of geometrical and thermal properties by an inverse method, *Applied thermal engineering* 54(2): 549–558.

Gutarowska, B.; Sulyok, M.; Krska, R. 2010. A Study of the Toxicity of Moulds Isolated from Dwellings, *Indoor and Built Environment* 19(6): 668–675.

Haapio, A.; Viitaniemi, P. 2008. A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental impact assessment review* 28 (7): 469–482.

Hajiagha, S. H. R.; Hashemi, S. S.; Zavadskas, E. K.; Akrami, H. 2013. Extensions of LINMAP model For Multi Criteria Decision Making with Grey Nubers, *Technological and Economic Development of Economy* 18(4): 636–650.

Hamdy, M.; Hasan, A.; Siren, K. 2011a. Impact of adaptive thermal comfort criteria on building energy use and cooling equipment size using a multi-objective optimization scheme, *Energy and Buildings* 43(9): 2055–2067.

Hamdy, M.; Hasan, A.; Siren, K. 2011b. Applying a multi-objective optimization approach for Design of low-emission cost-effective dwellings, *Building and Environment* 46(1): 109–123.

- Haute Qualite Environmentale 2009. *Evaluation De La Performance Environnementale Des Batiments* [interaktyvus] [žiūrėta 2012 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://assohqe.org/plugins/fckeditor/userfiles/file/pres%20projet%20PEB%2021012013.pdf>>.
- HN 42:2009 Gyvenamųjų ir viešojo naudojimo pastatų mikroklimatas. Vilnius, 2010. Valstybės žinios Nr. 159-7219: 2–3 p.
- HN 69:2003 Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai. Vilnius, 2004. Valstybės žinios 45-1485: 31 p.
- Hong, S. H.; Gilbertson, J.; Oreszczyń, T.; Green, C.; Ridley, I. 2009. A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment, *Building and Environment* 44(6): 1228–1236.
- Huang, C. F.; Hsueh, S. L. 2010. Customer Behavior and Decision Making in the Refurbishment Industry-A data Mining Approach, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(1): 75–84.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making-Methods and Application. Springer-Verla, Berlin.
- Ignatavičius, C.; Skrodenis, S, V. 2011. *Daugiabučių namų atnaujinimui* (modernizavimui) *skirtų tipinių detalių bei priemonių katalogas*. Vilnius: UAB „Skraida“. 12 p. ISSN 1882-0193.
- Isaksson, Ch.; Karlsson, F. 2006. Indoor climate in low-energy houses-an interdisciplinary investigation. *Building and Environment* 41(12): 1678–1690.
- Yang, L.; Yan, H. Y.; Xu, Y.; Lam, J, C. 2013. Residential thermal environment in cold climates at high altitudes and building energy use implications, *Energy and Buildings* 62: 139–145.
- Yue, Z, L. 2013. Group decision making with multi-attribute interval data, *Information Fusion* 14(4): 551–561.
- Jahanshahloo, G. R.; Lotfi, F. H.; Izadikhah, M. 2006. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with intervals data, *Applied Mathematics and Computation* 175(2): 1375–1384.
- Jones A. T.; Hayes, M. J.; Hamilton. N. R. S. 2001. The effect of provenance on the performance of *Crataegus monogyna* in hedges, *Journal of Applied Ecology* 38(5): 952–962.
- Jones, D. R.; Anderson, K. E. 2013. Housing system and laying hen strain impacts on egg microbiology, *Poultry Science* 92(8): 2221–2225.
- Kaklauskas, A.; Rute, J.; Gudauskas, R.; Banaitis, A. 2011. Inetrated Model and System for Passive Houses Multiple Criteria Analysis. *International Journal of Strategic Property Management* 15(1): 74–90.
- Kaklauskas, A.; Rute, J.; Zavadskas, E, K.; Daniunas, A.; Pruskus, V.; Bivainis, J.; Gudauskas, R.; Plakys, V. 2012. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system, *Energy and Buildings* 50: 7–18.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E, K.; Raslanas, S.; Ginevicius, R.; Komka, A.; Malinauskas, P. 2006. Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A Lithuanian case, *Energy and Buildings* 38(5): 454–462.

- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Gikys, M.; Gulbinas, A. 2003. Multiple criteria property e-business system. *Construction innovation and global competitiveness, vols 1 and 2: The organization and management of construction*. 739–752.
- Kalibatas, D. 2009. *Aplinkos veiksnių įtakos gyvenamosioms patalpoms daugiatis vertinimas: daktaro disertacija*. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T), Vilnius: Technika.
- Kalibatas, D.; Turskis, Z. 2008. Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method, *Information Technology and Control* 37(1): 79–83.
- Kalibatas, D.; Zavadskas, E. K. 2008 Multiple criteria analysis of indoor climate at the workplace. *9th International Conference: Modern Building Materials, Structures and Technologies*. Vol 1-3: 282–286.
- Kalibatas, D.; Zavadskas, E. K.; Kalibatiene, D. 2011. The concept of the ideal indoor environment in multi-attribute assessment of dwelling-houses, *Archives of civil and mechanical engineering* 11(1): 89–101.
- Kalibatas, D.; Zavadskas, E. K.; Kalibatiene, D. 2012. A Method of Multi-attribute assessment using ideal alternative: choosing an apartment with optimal indoor environment, *International Journal of Strategij Property Management* 16(3): 338–353.
- Kanagaraj, G.; Mahalingam, A. 2011. Designing energy efficient commercial buildings-A systems framework, *Energy and Buildings* 43(9): 2329–2343.
- Kanapeckiene, L.; Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Raslanas, S. 2011. Method and system for Multi-Attribute Market Value Assessment in analysis of construction and retrofit projects, *Expert Systems with Applications* 38(11): 14196–14207.
- Karande, P.; Chakraborty, S. 2012. Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection, *Materials & Design* 37: 317–324.
- Karlin, S.; Studden, W. J. 1966. *Tchebycheff Systems: with Applications in Analysis and Statistics*. Interscience Publishers, New York.
- Keeney, R. L.; Raiffa 1976. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley & Sons. New York.
- Kusiak, A.; Tang, F.; Xu, G, L. 2011a. Multi-objective optimization of HVAC system with an evolutionary computation algorithm, *Energy* 36(5): 2440–2440.
- Kusiak, A.; Xu, G, L.; Tang, F. 2011b. Optimization of an HVAC system with a strength multi-objective particle-swarm algorithm, *Energy* 36(10): 5935–5943.
- Larichev, O. I.; Olson, D. L.; Moshkovich, H. M.; Mechitov, A. J. 1995. Numerical VS cardinal measurements in Multiattribute decision-making-how exact is enough, *Organizational Behavior and Human Decision processes* 64(1): 9–21.
- Larichev, O. I. 2001. Ranking multicriteria alternatives: the method ZAPROS III, *European Journal of Operational Research* 131(3): 550–558.
- Larichev, O. I. 2002. Properties of the decision methods in the multicriteria problems of individual choice, *Automation and Remote Control* 63(2): 304–315.
- Larichev, O. I., Yu. A. Zuev, L.S. Gnedenko. 1978. Method ZAPROS (CLOsed Procedures near Referente Situations) for the analysis of variants of complex decisions. In: S.V. Emelyanov (Ed.), *Multicriteria Choice for the Solution of Ill-structured Problems*, Moscow: VNIISI Proceedings, 5: 83–97.
- Larichev, O. I.; Moshkovich, H. M. 1995. ZAPROS-LM-a method and system for

rank-ordering of multi attribute alternatives, *European Journal of Operations Research* 82: 503–521.

Larichev, O. I.; Moskvic, E. 1996. Qualitative method decision making. Fizmatlit (in Russian)

Leclercq, J. P. 1984 Positions d'extension de la notion de dominance en présence de relations d'ordre sur les pseudo-critères: Melchior, *Revue Belge de recherche Opérationnelle de statistique et d'Informatique*, 24: 32–46.

Lee, W. S.; Lin, L. C. 2011. Evaluating and ranking the energy performance of office building using technique for order preference by similarity to ideal solution, *Applied thermal Engineering* 31(16): 3521–3525.

Lietuvos Respublikos Vyriausybė 2013. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2004 m. rugsėjo 23d. nutarimo nr. 2013. Dėl Daugiabučių namų modernizavimo programos ir Valstybinės paramos daugiabučiams namams modernizuoti teikimo ir investicijų projektų energinio efektyvumo nustatymo taisyklių patvirtinimo. *Žin.*, 2009, Nr. 112-4776.

Liu, L.; Chen, J. H.; Wang, G. M.; Lao, D. Z. 2013. Multi-attributed decision making for mining methods based on grey system and interval numbers, *Journal of Central South University* 20(4): 1029–1033.

Liu, P.; Pistikopoulos, E. N.; Li, Z. 2010. An energy systems engineering approach to the optimal design of energy systems in commercial buildings, *Energy Policy* 38(8): 4224–4231.

Liu, S.; Y. Lin. 2006. On measures of information content of grey numbers. *Kybernetes* 35(6): 899–904.

LST EN ISO 7730:2006. Šiluminės aplinkos ergonomika. Šiluminio komforto analitinis nustatymas ir aiškinimas, naudojant numatomojo vidutinio vertinimo ir numatomojo nepatenkintųjų procento rodiklių bei vietinio šiluminio komforto kriterijų skaičiavimą (ISO 7730:2005). Vilnius, 2006. 48 p.

Ma, Z. J.; Cooper, P.; Daly, D.; Ledo, L. 2012. Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art, *Energy and Building* 55: 889–902.

MacCrimon, K. R. 1968. Decision Making Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach, RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.

Maissa, S.; Vinot, B. 2009. On line services to monitor the HQE (R) construction operations, *Ework and Ebusiness in Architecture, Engineering and Construction*. 477–483 p.

Martinaitis V. 1999. Pastatų renovacijos efektyvumas-prielaidos ir realybė, Konferencija, *Statinių renovacija*, 5–11 p.

Medineckiene, M.; Bjork, F. 2011. Owner Preferences Regarding Renovation Measures-the Demonstration of Using Multi-Criteria Decision Making, *Journal of Civil Engineering and Management* 17(2): 284–295.

Medineckiene, M.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2010. Sustainable construction taking into account the building impact on the environment, *Journal of Civil Engineering and Management* 18(2): 118–127.

Mickaitytė, A. 2008. *Visuomeninių pastatų atnaujinimas pagal darnos principus: daktaro disertacija*. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T), Vilnius: Technika.

Mickaityte, A.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Tupenaite, L. 2008. The Concept Model Of Sustainable Buildings Refurbishment, *International Journal of Strategic Pro-*

erty Management 12 (1): 53–68.

Mitkus, S.; Sostak, O., R. 2009. Preservation of healthy and Harmonious Residential and Work Environment During Urban Development, *International Journal of Strategic Property Management* 13(4): 339–357.

Mrakar, J.; Strancar, J. 2013. Temperature and humidity profiles in passive-house building blocks. *Building and Environment* 60: 185–193.

Moore R. E. 1966. Interval Anglysis. Prentice-Hall, New Jersey.

Mroz, T., M. 2010. Multicriteria Aided Design of Integrated Heating-Cooling Energy Systems in Buildings, *Journal of Air & Waste Management Association* 60(8): 949-958.

Naimaviciene, J.; Kaklauskas, A.; Gulbinas, A. 2007. Multi-variant decision support E-syssem for device and knowledge based intelligent residential environment, *Technological and Developmet of Economy* 13(4): 303–313.

Neube, M.; Riffat, S. 2012. Developing an indoor environment quality tool for assessment of mechanically ventilated office buildings in the UK-A preliminary study, *Building and Environment* 53: 26–33.

Ochoa, C. E.; Aries, M. B. C.; van Loenen, E. J.; Hensen, J. L. M. 2012. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort, *Applied Energy* 95: 238–245.

Persson, J.; Westermarck, M. 2012. Phase change material cool storage for a Swedish Passive House, *Energy and Buildings* 54: 490–495.

Pons, O.; Aguado, A. 2012. Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain, *Building and Environment* 53: 49–58.

Porritt, S. M.; Cropper, P. C.; Shao, L.; Goodier, C. I. 2012. Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves, *Energy and Buildings* 55: 16–27.

Raslanas, S.; Alchimoviene, J.; Banaitiene, N. 2011. Residential Areas with Apartment Houses: Anglysis of the Condition of Buildings, Planing Issues, Retrofit Strategies and Scenarios, *International Journal of Strategic Property Management* 15(2): 152–172.

Ren, H. B.; Zhou, W. S.; Nakagami, K.; Gao, W. J.; Wu, Q. O. 2010. Multi-objective optimization for the operation of distributed energy systems considering economic and environmental aspects. *Applied Energy* 87(12): 3642–3651.

Ridley, I.; Clarke, A.; Bere, J.; Altamirano, H.; Lewis, S.; Durdev, M.; Farr, A. 2013. The monitored performance of the first new London dwelling certified to the Passive House Standard, *Energy and Buildings* 63: 67–78.

Roy, B 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationelle (RIRO)* 8: 57–75.

Roussat, N.; Dujet, C.; Mehu, J. 2009. Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision anglysis, *Waste Management* 29(1): 12–20.

Ruhle, T.; Lenel, S. 2010. Improving Indoor Quality with Minergie-Eco, *Central Europe Towards Sustainable Building-From Theory to Practice* 609–612.

Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.

Samuel, D. G. L.; Nagendra, S. M. S.; Maiya, M. P. 2013. Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review, *Building and Environment* 66: 54–64.

- Sarka, V.; Zavadskas, E. K.; Ustinovicius, L.; Sarkiene, E.; Ignatavicius, C. 2008. System of projects Multicriteria decision synthesis in construction, *Technological and Economic development of Economy* 14(4): 546–565.
- Schuchardt, S.; Strube, A. 2013. Microbial volatile organic compounds in moldy interiors: A long-term climate chamber study, *Journal of Basic Microbiology* 53(6): 532–538.
- Schweber, L. 2013. The effect of BREEAM on clients and construction professionals, *Building Research and Informatikon* 41(2): 129–145.
- Silvestre, J. D.; de Brito, J. 2011. Ceramic tiling in building facades: Inspection and pathological characterization using an expert system, *Construction and Building Materials* 25(4): 1560–1571.
- Singh, T.; Chittenden, C. 2010. Efficacy of essential oil extracts in inhibiting mould growth on panel products, *Building and Environment* 45(10): 2336–2342.
- Sliogeriene, J.; Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Bivainis, J.; Seniut, M. 2009. Environment Factors of Energy Companies and Their Effect on Value: Analysis Model and Applied Method, *Technological and Economic Development of Economy* 15 (3): 490–521.
- Srinivasan, V.; Shocker, A. D. 1973. Linear Programming techniques for multidimensional analysis of privileged, *Psychometrica* 38: 337–369.
- Stankevicius, V.; Paukstys, V.; Bliudzius, R.; Sadauskiene, J.; Turskis, Z.; Samajauskas, R. 2013. Convection in mineral wool used as insulation for buildings, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(2): 296–304.
- Stanujkic, D.; Magdalinovic, N.; Stojanovic, S.; Jovanovic, R. 2012. Extension of ratio System of MOORA Method for Solving Decision-Making Problems with Interval Data, *Informatica* 23(1): 141–154.
- STR 1.01.09:2003 Statinių klasifikavimas pagal naudojimo paskirtį. Vilnius 2003. Valstybės žinios Nr. 58-2611: 4 p.
- STR 2.01.09:2005 Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas. Vilnius, 2005. Valstybės žinios 151:25 p.
- STR 2.05.01:2005 Pastatų atitvarų šiluminė technika. Vilnius, 2005. Valstybės žinios 100-3733 p.
- Šaparauskas, J. 2003. Evaluation and comparison of alternative building design schemes by using the Internet's potentialities, *Modelling and Simulation of Business Systems* 319–323.
- Šaparauskas, J. 2004. *Darnaus miesto vystimosi daugiataikslė selektonovacija: daktaro disertacija*. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T). Vilnius: Technika
- Šostak O. R. 2011. Statybų plėtros planavimas įvertinant trečiųjų asmenų interesus. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T). Vilnius: Technika
- Tabares-Velasco, P. C.; Srebric, J. 2012. A heat transfer model for assessment of plant based roofing systems in summer conditions, *Building and Environment* 49: 310–323.
- Tischer, C. G.; Heinrich, J. 2013. Exposure assessment of residential mould, fungi and microbial components in relation to children's health: Achievements and challenges, *Internacional Journal of Hygiene and environmental Health* 216(2): 109–114.
- Triantaphyllou, E. 2000. Multi-criteria decision making methods: A comparative study. Volume 44: 123–126 p.

- Tupenaite, L.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Seniut, M. 2010. Multiple Criteria Assessment of Alternatives For Built and Human Environment Renovation, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(2): 257–266.
- Turskis, Z. 2009. *Daugiatikslio apsisprendimo metodai statinių gyvavimo ciklui modeliuoti: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga*. Technologijos mokslai. Statybos inžinerija (02T). Vilnius: Technika
- Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management, *Inžinerine ekonomika-Engineering Economics* (1) 7–17.
- Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. Statybos investicijų efektyvumo sistemotekininis įvertinimas. Vilnius: Technika. 29–32.
- Uzsilaityte, L.; Martinaitis, V. 2012. Search for Optimal Solution of Public Building Renovation in Terms of Life Cycle, *Journal of environmental engineering and landscape management* 18(2): 102–110.
- Vaitiekūnas P.; Špakauskas, V. 2003. Šilumos ir masės pernašos procesų aplinkoje modeliavimo principai. Vilnius: Technika. 106 p.
- Vėjelis, S. 2003. *Termoizoliacinių medžiagų šiluminių techninių savybių eksperimentinis įvertinimas* daktaro disertacija. Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (08T). Vilnius: Technika.
- Viteikienė, M. 2008. *Miestų gyvenamųjų rajonų ir būstų darnos daugiatakslis vertinimas (Vilniaus miesto pavyzdžiu): daktaro disertacija*. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T). Vilnius: Technika.
- Wang, J. Q.; Nie, R. R.; Zhang, H. Y.; Chen, X. H. 2013. Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision-making method based on evidential reasoning, *Applied Soft Computing* 13(4): 1823–1831.
- Wong, K. C.; So, A.; Leung, A. 2007. A comment on "A multicriteria lifespan energy efficiency approach to intelligent building assessment", *Energy and Buildings* 39(4): 504–505.
- Zadeh, L. 1965. A Fuzzy Sets, *Informatikon and Control* 8: 338–353.
- Zahradnik, E.; Kespohl, S.; Sander, I.; Schies, U.; Khosravie-Hohn, J.; Lorenz, W.; Engelhart, S.; Kolk, A.; Schneider, G.; Bruning, T.; Raulf-Heimsoth, M. 2013. A new immunoassay to quantify fungal antigens from the indoor mould *Aspergillus versicolor*. *Environmental Science- processes & Impacts* 15(6): 1162–1171.
- Zavadskas, E. K.; Antucheviciene, J. 2004. Ranking of buildings redevelopment alternatives from the multiple sustainability approach, *8th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques* 321–325 p.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. Multiple criteria evaluation of buildings, Vilnius: Technika.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Raslanas, S. 2004. Market value criterion to evaluate the refurbishment of multistorey apartment buildings, *8th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques* 309–320.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Raslanas, S. 2004. Renovation of multistorey apartment buildings from the aspect of real estate market value, *6th International Conference on Energy for buildings* 375–382 p.

- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Raslanas, S. 2005. Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments, *Energy and buildings* 37(4): 361–372.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Kalibatas, D. 2008a. Multi attribute assessment of dwelling houses renovation, *7th International Conference Environmental Engineering* 1-3: 902–906.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Kalibatas, D. 2009. An Approach to Multi-Attribute Assessment of Indoor Environment before and after Refurbishment of Dwellings, *Journal of environmental engineering and landscape management* 17(1): 5–11.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J. 2008b. Selection of the Effective Dwelling House Walls by Applying Attributes Values Determined at Intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14 (2): 85–93.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Vainiunas, P.; Dubakiene, R.; Gulbinas, A.; Krutinis, M.; Cyras, P.; Rimkus, L. 2006. A building's refurbishment knowledge and device based decision support system, *Cooperative Design, Visualization and Engineering. Proceedings* 4101: 287–294.
- Zavadskas, E. K.; Mikšta, P.; Sakalauskas, R.; Šimkus, J. R. 2001. Statybos organizavimas. Vilnius: Petro ofsetas. 197 p.
- Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Kaklauskas, A. 2008c. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case, *Energy and Building* 40(4): 573–587.
- Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Kaklauskas, A. 2008d. Evaluation of building retrofit projects, *9th International Conference Modern Building Material, Structures and Techniques* 1-3: 438–441.
- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J. 2010. Risk assessment of construction projects, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(1): 33–46.
- Zavadskas, E. K.; Vaigauskas, E. 1985. Sprendimų priėmimo teorijos metodų taikymas ruošiant statybą. Vilnius.
- Zavadskas, E. K.; Viteikiene, M. 2006. Evaluation of city sustainable residential district, *4-th International conference citizens and Governance for Sustainable* 311–316 p.
- Zhao, J.; Wu, Y.; Zhu, N. 2009. Check and evaluation system on heat metering and energy efficiency retrofit of existing residential buildings in northern heating areas of china based on multi-index comprehensive evaluation method, *Energy Policy* 37(6): 2124–2130.
- Zheng, G. Z.; Jing, Y. Y.; Huang, H. X.; Gao, Y. F. 2011b. Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance, *Applied Energy* 87(2): 710–720.
- Zheng, G. Z.; Jing, Y. Y.; Huang, H. X.; Zhang, X. T. 2011a. Multihierarchical Gray Evaluation Method to Assess Building Energy Conservation, *Journal of Energy Engineering-ASCE* 137(2): 88–98.
- Zimmermann, H. J. 1996. Fuzzy Set Theory and its Applications, third ed., Boston.
- Zimmermann, H. J.; Gutsche, L. 1991. Multi-Criteria Analyse, Berlin, Heidelberg.
- Zolfani, S. H.; Rezaeiniya, N.; Aghdaie, M. H.; Zavadskas, E. K. 2012. Quality Control Manager Selection Based on AHP-Kopras-G methods: A case in Iran, *Ekonomika*

Istrazivanja-Economic Research 25(1): 88–104.

Э. К. Завадскас. 1987. *Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве*. Вильнюс: Мокслас. 209 р.

Э. К. Завадскас. 1991. *Системотехническая оценка технологических решений строительного производства*. Ленинград: Строиздат. 255 р.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Kracka, M.; Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2010. Ranking Heating Losses in a Building by Applying the MULTIMOORA, *Inžinerinė Ekonomika – Engineering Economics* 21(4): 352–359. ISSN 1392-2785 (ISI Web of Science).

Brauers, W. K. M.; Kracka, M.; Zavadskas, E. K. 2012. Lithuanian case study of masonry buildings from the soviet period, *Journal of Civil Engineering and Management* 18(3): 444–459. ISSN 1392-3730. (ISI Web of Science).

Kracka, M.; Zavadskas, E. K. 2013. Panel Building Refurbishment elements effective selection by applying Multiple-Criteria methods, *International Journal of Strategic Property Management* 17(2): 211–220. ISSN 1648-9179 (ISI Web of Science).

Straipsniai konferencijų darbų leidiniuose mokslo konferencijose

Kracka, M.; Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2010. Buildings external walls and Windows effective selection by applying multiple criteria method, *The 10th International Conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”* 436–441. ISBN 978-9955-28-593-9.

Medineckiene, M.; Kracka, M.; 2011. Išorinių pastato atitvarų vertinimas taikant daugiakriterinius metodus, „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“, pranešimų rinkinys. Vilnius: Technika, 3(2): 30–34. ISSN 2029-2341.

Kracka, M.; Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E, K. 2011. Renovated building elements effective selection by applying multiple-criteria methods in Buildings Materials, *XXXV Scientific – Technical Conference Construction Projects Engineering The 13th German – Lithuanian – Polish Colloquium, Structures and technique*.

Tamosaitiene, J.; Gaudutis, E.; Kracka, M.; 2013. Integrated Model for Assessment of High-Rise Building Locations, *11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and techniques* 57: 1151–1155 (Thomson ISI Proceedings).

Priedai

A priedas. Pastatų energinio naudingumo skaičiavimo bendrieji principai.

B priedas. Vertinamo pastato atitvarų techniniai duomenys.

C priedas. Šilumos komforto vertinimo bendrieji principai.

A priedas. Pastatų energinio naudingumo skaičiavimo bendrieji principai

Atitvarų visuminė šiluminė varža $m^2 \cdot K/W$ apskaičiuojama pagal remiantis metodika pateikta STR.2.01.09:2005.

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se};$$

čia R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot (K/W)$, randama reglamento lentelėje Paviršiaus šiluminė vertė esant įvairiems vėjo greičiam R_{se} , $m^2 \cdot (K/W)$.

R_s – atitvaros sluoksnių suminė šiluminė varža, $m^2 \cdot (K/W)$;

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot (K/W)$, randama lentelėje.

Atitvaros suminė šiluminė varža R_s , $m^2 \cdot K/W$ apskaičiuojama pagal sekančią formulę:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n + (R_g + R_q);$$

čia $R_1, R_2, \dots, R_n$, – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos, $m^2 \cdot K/W$;

R_g – nevėdinamo oro tarpo šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_q – plono sluoksnio (plėvelės) šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

Vieno iš sluoksnių šiluminė varža yra randama pagal sekančią formulę:

$$R_t = \frac{d}{\lambda_{ds}};$$

čia d – sluoksnio storis, m; λ_{ds} – sluoksnio projektinis šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$.

Atitvaros pagal savo tipą gali būti skirtomos su vėdinamu oro tarpu ar be vėdinamo oro tarpo, priklausomai nuo atitvaros tipo yra taikoma atitinkama formulė.

Atitvaros su nevėdinamu oro sluoksniu, šilumos perdavimo koeficientas U , $K/(m^2 \cdot K)$ apskaičiuojamas:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{sl} + R_g + R_{s2} + R_{se}}.$$

Atitvaros su vėdinamu oro tarp sluoksniu šilumos perdavimo koeficiento koeficientas U , $K/(m^2 \cdot K)$.

B priedas. Vertinamo pastato atitvarų techniniai duomenys

1B lentelė. Racionalių reikšmių skaičiavimas, atrinkus jas iš racionalaus intervalo
Table 1B. Rational meanings calculation, selecting them from rational interval

Atitvaros pavadinimas	Šiluminė varža	Atnaujinimo kaina visam plotui	Viso sutaupoma Įdiegus priemonę	Sutaupo per metus	Mokejimai už atitvaros nuostolius per metus	Atsiperka- mumas
	m ² ·K/W	eur	kWh/m ² ·metai	Eur/metai	Eur /metai	metai
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
	max	min	max	max	min	min
A1	4,00	134999,04	32,97	4092,00	1566,31	32,991
A2	4,20	137871,36	33,57	4166,47	1491,84	33,091
A3	4,40	140743,68	34,13	4235,97	1422,33	33,226
A4	4,60	143616,00	34,63	4298,03	1360,28	33,414
A5	4,80	146488,32	35,09	4355,12	1303,19	33,636
B1	5,00	50988,00	6,43	404,76	322,30	125,972
B2	5,20	52444,80	6,63	417,35	309,71	125,662
B3	5,40	53901,60	6,81	428,68	298,38	125,739
B4	5,60	55358,40	6,97	438,75	288,30	126,173
B5	5,80	56815,20	7,14	449,45	277,60	126,410
C1	3,00	50988,00	6,89	433,71	346,22	117,561
C2	3,20	52444,80	7,16	450,71	329,22	116,360
C3	3,40	53901,60	7,41	466,45	313,48	115,558
C4	3,60	55358,40	7,63	480,30	299,63	115,259
C5	3,80	56815,20	7,84	493,51	286,41	115,124
D1	0,59	11193,60	12,16	213,87	2515,20	52,338
D2	0,59	12163,80	9,33	178,32	2550,75	68,213
D3	0,50	14246,40	6,44	113,27	2615,81	125,776
D4	0,50	15481,20	6,99	133,60	2595,48	115,879
D5	0,50	43411,68	17,61	847,00	1882,07	51,253

čia A1 – sienos atitvaros, B1–stogo atitvaros, C1 – perdangos virš rūsio atitvaros, D1 – Langų atitvaros.

C priedas. Šilumos komforto vertinimo bendrieji principai

Šiluminio komforto nustatymo kriterijus nusako standartas LST EN ISO 7730 „Šiluminės aplinkos ergonomika“ ir higienos normos HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose“. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“. Standarte pateikti trys vertinimo kriterijai:

Spinduliavimo temperatūros asimetrija nuo šaltų paviršių neturi viršyti 10K, kai tenkinama nelygybė

$$U_w < \frac{80}{\theta_{d,i} - \theta_{d,e}};$$

čia U_w – išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

$\theta_{d,e}$ – projektinė lauko oro temperatūra, °C; $\theta_{d,i}$ – patalpos lauko oro temperatūra, °C.

Oro temperatūrų skirtumas patalpoje neturi viršyti 4K, kai tenkinama nelygybė:

$$U_w < \frac{128}{\theta_{d,i} - \theta_{d,e}};$$

čia U_w – išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

$\theta_{d,e}$ – projektinė lauko oro temperatūra, °C; $\theta_{d,i}$ – patalpos lauko oro temperatūra, °C.

Šaltų srovių atsiradimu nuo šaltų paviršių, kai tenkinamos sąlygos patalpos projektinė temperatūra 20 °C ir oro judėjimo greitis 0.18 m/s.

$$U_w < \frac{150}{h(\theta_{d,i} - \theta_{d,e})};$$

čia U_w – išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

$\theta_{d,e}$ – projektinė lauko oro temperatūra, °C; $\theta_{d,i}$ – patalpos lauko oro temperatūra, °C; h – atitvaros aukštis.

1C lentelė. Buto pagalbinių ir gyvenamųjų pastatų bendrojo naudojimo patalpų temperatūrų ribinės vertės šaltuoju metų laikotarpiu

Table 1C. Apartment auxiliary and residential buildings general use indoor temperature limits during the cold period

Eil.	Patalpos	Temperatūrų ribinės vertės, °C
1.	Buto pagalbinės	
1.1.	Koridoriai ir sandėliukai	18–21
1.2.	Drabužinės	18–20
1.3.	Vonios ir tualetai	20–23
2.	Gyvenamųjų pastatų bendrojo naudojimo	
2.1.	Laiptinės, koridoriai, holai, vestibuliai	14–16
2.2.	Bendros virtuvės	18–22
2.3.	Tualetai, prausyklos, dušai, vonios kambariai	20–23
2.4.	Rūsiai ir sandėliai	4–8
2.5.	Darbo ir poilsio kambariai	18–22
2.6.	Skalbyklos	18–22
2.7.	Džiovyklos	20–23

Judėjimo lygtis:

$$\frac{\partial}{\partial t}(pu_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(pu_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - pg\beta(\theta_\infty - \theta);$$

Energijos lygtis:

$$\frac{\partial}{\partial t}(pH) + \frac{\partial}{\partial x_j}(pu_i H) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial H}{\partial x_i} \right] + S_H;$$

Difuzijos lygtis:

$$\frac{\partial}{\partial t}(pC) + \frac{\partial}{\partial x_j}(pu_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\rho D \frac{\partial C}{\partial x_i} \right] + S_C;$$

čia x_i – koordinačių ašis x , y ir z , t – laikas, s ; ρ – tankis, kg/m^3 ; p – slėgis, N/m^2 ; g – gravitacijos konstanta, m/s^2 ; u_i – greitis atitinkamos koordinačių ašies kryptimi (u, v, w), m/s ; μ – klampis, $kg/m \cdot s$; H – savitoji entalpija, J/kg ; C – medžiagos koncentracija, kg/kg ; λ – laidumas, $W/(m \cdot K)$; D – difuzijos

koeficientas, m^2/s , C_p – specifinė šiluma, $J/(kg \cdot K)$, β – oro šiluminis plėtimosi koeficientas, $1/K$; θ_∞ – projektinė temperatūra, $^{\circ}C$) ir S_C – šaltinio koncentracijos nariai, $kg/(m^3 \cdot s)$; S_H – šaltinio energijos nariai, W/m^3 .

Modestas KRAČKA

PASTATŲ ATNAUJINIMO DAUGIATIKSLIS VERTINIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
statybos technologija (02T)

BUILDINGS REFURBISHMENT MULTICRITERIA ASSESSMENT

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2013 00 00. 10,0 sp. I. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius