VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Robertas VOLVAČIOVAS

VISUOMENINĖS PASKIRTIES PASTATŲ ATNAUJINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS IR DAUGIATIKSLIS VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)

Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2014

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

dr. Zenonas TURSKIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

doc. dr. Algirdas JUOZAPAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Nariai:

prof. dr. Dalė DZEMYDIENĖ (Mykolo Romerio universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

prof. habil. dr. Oleg KAPLINSKI (Poznanės technologijos universitetas, vadyba – 03S),

prof. dr. Egidijus Rytas VAIDOGAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

prof. dr. Juozas VALIVONIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2014 m. gegužės 14 d. 14 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel. (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2014 m. balandžio 11 d.

Disertaciją galima peržiūrėti interneto svetainėje <http://dspace.vgtu.lt/> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTV leidyklos TECHNIKA 2234-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-609-457-653-9

© VGTV leidykla TECHNIKA, 2014

© Robertas Volvačiovas, 2014

robertas.volvaciovas@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Robertas VOLVAČIOVAS

INVESTIGATION AND MULTI-ATTRIBUTE ASSESSMENT INTO EFFICIENCY OF PUBLIC BUILDING RENOVATION

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)

Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2014

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2010–2014.

Supervisor

Dr Zenonas TURSKIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The Dissertation Defense Council of Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Assoc Prof Dr Algirdas JUOZAPAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

Members:

Prof Dr Dalė DZEMYDIENĖ (Mykolas Romeris University, Informatics Engineering – 07T),

Prof Dr Habil Oleg KAPLINSKI (Poznan University of Technology, Management – 03S),

Prof Dr Egidijus Rytas VAIDOGAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Juozas VALIVONIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defense Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **2 p. m. on 14 May 2014**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel. +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 11 April 2014.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Internet website <http://dspace.vgtu.lt/> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Pastatų atnaujinimas (modernizavimas) yra viena iš prioritetinių ES sanglaudos politikos sričių. Augančios energinių išteklių kainos bei higienos normų netenkinanti gyvenamoji, darbo ir poilsio aplinka skatina visuomenę labiau domėtis ir aktyviau dalyvauti pastatų atnaujinimo procese.

Disertacijos tikslas – sukurti teorinį pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo modelį, pagrįstą daugiatiksliais sprendimo priėmimo metodais, bei jį praktiškai pritaikyti naudojant visuomeninės paskirties pastatų tyrimų, atliktų prieš ir po atnaujinimo, rezultatus.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir šaltinių bei autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai, santrauka anglų kalba ir trys priedai.

Įvade formuluojama problema, aprašomas darbo aktualumas, tyrimų objektas, įvardijamas darbo tikslas bei uždaviniai, pateikiama tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei pateikiama disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius yra skirtas literatūros (mokslinių publikacijų ir teisės aktų) analizei. Jame pateiktas statinių klasifikavimas pagal paskirtį ir pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai, atlikta visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo analizė, pateikta daugiatikslinio sprendimo priėmimo sąvoka ir daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija, aprašytas daugiatikslių metodų pritaikymas statybos inžinerijoje.

Antrasis skyrius skirtas pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo modelio kūrimui. Jame pateiktas sukurtas vertinimo modelis, kuris remiasi daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų pritaikymu. Skyriuje išskirti pagrindiniai vertinami rodikliai, pateikti rodiklių svorių nustatymo, daugiatiksliai vertinimo ir rezultatų apibendrinimo metodai, pastatų natūrinių tyrimų metodikos.

Trečiasis skyrius skirtas sukurto pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo modelio pritaikymui. Jame išsamiai aprašyti keturių visuomeninės paskirties pastatų natūriniai tyrimai bei atlikti sukurto modelio etapų skaičiavimai, siekiant nustatyti geriausią alternatyvą. Skyriaus pabaigoje pateikiama atlikto vertinimo rezultatų (alternatyvų rangavimą lėmusių priežasčių) analizė.

Disertacijos tema paskelbti devyni moksliniai straipsniai: du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science)* duomenų bazę, du – mokslo žurnaluose, kitose duomenų bazėse, du – tarptautinės konferencijos medžiagoje *ISI Proceedings*, trys – Lietuvos konferencijų medžiagose. Disertacijos tema perskaityti penki pranešimai keturiuose mokslinėse konferencijose.

Abstract

Renovation (modernisation) of buildings is one of the priority areas of EU cohesion policy. Growing prices for energy resources as well as living, working and leisure environments that do not conform to requirements of hygiene norms encourage the public to take more efforts towards participation in the process of building renovation.

The dissertation aim to create a theoretical model for the assessment of efficiency of building renovation based on multi-attribute decision making methods and use it in practice with results of investigations made on public buildings (kindergartens) before and after renovation.

The dissertation comprises an introduction, three chapters, general conclusions, lists of literature, resources and publications of the author on the topic of the dissertation, abstract in English and three annexes. The introduction specifies the problem, describes the relevance of the paper, the research object, aim and objectives as well as methodology of the research, its novelty, practical significance of results, and defended statements. Finally, it lists publications and conference presentations produced by the author on the topic of the dissertation and presents its structure. Chapter one is dedicated for literature (scientific publications and legislative acts) analysis. It provides classification of structures according to their intended use and lists factors determining renovation of buildings; describes the analysis into renovation of public buildings; presents the concept of multi-attribute decision making and classification of multi-attribute decision making methods; and specifies the adjustment of multi-attribute methods for construction engineering. Chapter two focuses on design of the model for assessment of the efficiency of building renovation. It presents the model based on the use of multi-attribute decision making methods. The chapter underlines the key attributes for assessment and indicates methods used for determining attribute weights as well as those used for multi-attribute assessment and summarising the results; additionally, it presents methodologies for field experiments conducted in researched buildings. Chapter three is dedicated for adjustment of the designed model for assessment of the efficiency of building renovation. It details field experiments delivered in four public buildings as well as calculations for stages of the designed model to identify the best alternative. The end of the chapter provides the analysis of assessment results.

Nine research articles were published on the topic of the dissertation: two in scientific journals included into *Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science)*; two in scientific journals included into other databases; two in *ISI Proceedings*; three in Lithuanian conference proceedings. Five presentations were given on the topic of the dissertation in four scientific conferences.

Žymėjimai

Simboliai

DL_f	– faktinis dienolaipsnių skaičius šildymo sezonu skaičiuojamoje vietovėje;
F_p	– pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, %;
K_i	– alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus (TOPSIS metode);
PB	– paprastas investicijų atsipirkimo laikas, metai;
PO	– tikrasis investicijų atsipirkimo laikas, metai;
Q_i	– alternatyvos indekso vertė (VIKOR metode);
q_j	– rodiklio svoris (reikšmingumas);
U	– atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;
$V(a_i)$	– alternatyvos „santykinė bendra vertė“ (TODIM metode).

Santrumpos

BVP	– bendrasis vidaus produktas;
DB	– duomenų bazė;
ES	– Europos Sąjunga;
g/b	– gelžbetonis;
HN	– higienos norma;
IEMB	– <i>vok.</i> Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (Pastatų atnaujinimo ir modernizavimo institutas);
IR	– infraraudonieji spinduliai;

ISI	– <i>angl.</i> Institute for Scientific Information (Mokslinės informacijos institutas);
JAV	– Jungtinės Amerikos Valstijos;
JTO	– Jungtinių Tautų Organizacija;
LR	– Lietuvos Respublika;
LVPA	– Lietuvos verslo paramos agentūra;
MADM	– <i>angl.</i> Multi-Attribute Decision Making (daugiatikslis diskretusis sprendimo priėmimas);
MCDM	– <i>angl.</i> Multi-Criteria Decision Making (daugiakriteris diskretusis sprendimo priėmimas);
MODM	– <i>angl.</i> Multi-Objective Decision Making (daugiatikslis tolydusis sprendimo priėmimas);
MPP	– medienos plaušų plokštė;
PAEV	– pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimas;
PMV	– <i>angl.</i> Predicted Mean Vote (numatomasis vidutinis vertinimas);
PPD	– <i>angl.</i> Predicted Percentage of Dissatisfied (numatomasis nepatenkintųjų procentas);
RSN	– Respublikinės statybos normos;
STR	– statybos techninis reglamentas;
SWARA	– <i>angl.</i> Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (nuoseklus, laipsniškas porinio rodiklių santykinės svarbos lyginimas);
ŠMM	– švietimo ir mokslo ministerija;
ŠVOK	– šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas;
TODIM	– <i>portug.</i> TOMada de Decisão Interativa e Multicritério (interaktyvus daugiakriteris sprendimo priėmimas);
TOPSIS	– <i>angl.</i> Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (artumo idealiam taškui metodas);
TSRS	– Tarybinių Socialistinių Respublikų Sąjunga;
VIKOR	– <i>serb.</i> Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (daugiakriterė optimizacija ir kompromisinis sprendimas);
VĮ	– valstybės įmonė;
VP	– visuomeninė paskirtis;
ŽNPKM	– žemės naudojimo, paskirties keitimo ir miškininkystės sektorius.

Terminai ir apibrėžimai

Analizė – smulkus, išsamus, atidus ko nors nagrinėjimas, studijavimas.

Anglies dvideginio ekvivalentas – tai metano, azoto suboksido, hidrofluorangliavandenilių, perfluorangliavandenilių ir sieros heksofluorido dujų kiekis, kuris sukelia tokį patį poveikį klimato kaitai kaip viena tona anglies dvideginio.

Atitvaros šilumos perdavimo koeficientas – per atitvarą pereinančio šilumos srauto tankis, kai oro temperatūrų skirtumas abiejose atitvaros pusėse 1 °C.

Defektas – tai objekto (statybinių medžiagų, elementų, konstrukcijų) neatitiktis nustatytiems reikalavimams, t. y. kokybės rodiklių parametrų nuokrypiai nuo normų ar projekto reikalavimų, atsirandantys gamybos, transportavimo ar statybos darbų metu.

Dienolaipsnis – tam tikro periodo ilgumo ir šaltumo matas.

Efektyvumas – rezultato ir sąnaudų, reikalingų jam pasiekti, santykis arba jų atitikimo laipsnis.

Estetika – mokslas, tiriantis grožį ir meną, grožio, meno dėsnius ir harmoniją, sudaro metodologinį pagrindą meno šakoms tirti.

Investicijų atsipirkimo laikas – metais išreikštas laikas, per kurį sugrįžta investuotos lėšos, apskaičiuojamas kaip investuotų lėšų sumos ir metinių piniginių įplaukų (sutaupomų lėšų) santykis.

Jaučiamoji temperatūra – uždaro tamsios patalpos (bandomojo kambario) tolygi temperatūra, kai šioje patalpoje esančio žmogaus šilumos nuostoliai dėl spinduliavimo ir konvekcijos yra lygūs šilumos nuostoliams realioje, netolygioje aplinkoje.

Konvekcija – šilumos perdavimas skysčių ar dujų srovėmis.

Konvergencija – tai ES regionų solidarumas, siekiant sumažinti regioninius skirtumus.

Mikroklimato parametrų ribinės vertės – optimalios mikroklimato parametrų vertės, kurioms esant aplinkoje, nėra neigiamo poveikio sveikatai.

Natūriniai tyrimai – tai tyrimai atliekami natūralioje aplinkoje (eksploatuojamuose pastatuose).

Normatyviniai statinio saugos ir paskirties dokumentai – dokumentai, kurie įstatymų ar teisės aktų pagrindu nustato statinio apsaugos ir saugos, žmonių, kurie juo naudojami, apsaugos ir saugos, statinio aplinkos apsaugos ir saugos reikalavimus, atsižvelgiant į statinio paskirtį (statinio tipą) ir jame planuojamą veiklą. Šie dokumentai taip pat nustato statinio paskirties reikalavimus.

Normatyviniai statybos techniniai dokumentai – dokumentai, kurie nustato statinio projektavimo, statybos, statybos užbaigimo, statinio naudojimo, priežiūros ir nugriovimo reikalavimus, taisykles, bendruosius principus ir charakteristikas.

Optimizacija – projektuojamo, kuriamo objekto (konstrukcijos, plano, proceso) geriausio varianto nustatymas.

Patalpų mikroklimatas – patalpų oro temperatūros, temperatūrų skirtumo, santykinės oro drėgmės ir oro judėjimo greičio derinys.

Pastatas – apdengtas stogu statinys, kurio didžiausią dalį sudaro patalpos.

Pastato atnaujinimas (modernizavimas) – statybos darbai, kuriais atkuriamos ar pagerinamos pastato ir (ar) jo inžinerinių sistemų fizinės ir energinės savybės ir (ar) kuriais užtikrinamas iš atsinaujinančių energijos šaltinių gaunamos energijos naudojimas.

Pastato energinis naudingumas – faktiškai arba pagal apytikrius skaičiavimus sunaudojamos energijos kiekis, išreikštas pastato (jo dalies) energinio naudingumo klase, reikalingas naudojant pastatą pagal paskirtį.

Pažeidimas (pažaida) – tai objekto (statybinių medžiagų, elementų, konstrukcijų) neatitiktis nustatytiems reikalavimams, t. y. kokybės rodiklių parametrų nuokrypiai nuo normų ar projekto reikalavimų, atsirandantys eksploatavimo metu.

Problema – uždavinys, iškylantis tikslingoje žmonių veikloje ir reikalaujantis teorinio ar praktinio sprendimo.

Racionalus – protingas, pagrįstas, apgalvotas, tikslingas, aiškiai suvokiamas, išreiškiamas.

Rinkos vertė – tai kaina, už kurią pirkėjas sutiktų pirkti, o pardavėjas sutiktų parduoti, neveikiant išoriniam spaudimui ar iškreipiančioms aplinkybėms, ir abu tokiu sandoriu liktų patenkinti.

Santykinė oro drėgmė – vandens garų ore dalinio slėgio ir sočiųjų vandens garų slėgio santykis tam tikroje temperatūroje išreikštas procentais.

Sotieji vandens garai – garai, esantys su skysčiu dinaminėje pusiausvyroje, t. y. kai iš skysčio išlėkusių molekulių skaičius yra lygus į skystį sugrįžusių molekulių skaičiui.

Spinduliavimas – šilumos perdavimas ne medžiagomis.

Statinio architektūra – statinio, kaip meno kūrinio, vidaus erdvės ir išorės pavidalas, statinio dalių išdėstymas, jų formų meninė išraiška ir visų statinio elementų tarpusavio santykis.

Statinio fizinis nusidėvėjimas – tai statinio elementų pradinių fizikinių–techninių savybių praradimas.

Statinio gyvavimo trukmė – tai teorinis laikotarpis, per kurį statinys, normaliai jį naudojant (nuo statinio naudojimo pradžios iki jo nugriovimo) ir atsižvelgiant į statybos produktus, iš kurių jis pastatytas, bei vietines klimatinės sąlygas, atitinka esminius statinio reikalavimus.

Statinio naudojimo paskirtis – statinio viešajame registre nurodytas statinio naudojimo tikslas (žmonėms gyventi, ūkinei ar kitai veiklai), kai statinys atitinka saugos ir jame planuojamos (atliekamos) veiklos (technologijos proceso) privalomus reikalavimus, nustatytus normatyviniuose statinio saugos ir paskirties dokumentuose.

Statinys – pastatas arba inžinerinis statinys, turintis laikančiąsias konstrukcijas, kurio visos (ar jų dalis) sumontuotos statybos vietoje atliekant statybos darbus, ir kuris yra nekilnojamas daiktas.

Šaltasis metų laikotarpis – metų laikotarpis, kuriuo lauko oro vidutinė paros temperatūra yra ne aukštesnė kaip 10 °C. Ji nustatoma pagal trijų parų iš eilės lauko oro vidutinę paros temperatūrą.

Šiltasis metų laikotarpis – metų laikotarpis, kuriuo lauko oro vidutinė paros temperatūra yra aukštesnė kaip 10 °C. Ji nustatoma pagal trijų parų iš eilės lauko oro vidutinę paros temperatūrą.

Šiluminis komfortas – šiluminės aplinkos parametrų deriniai, kurie ilgai ir sistemingai veikdami žmogų užtikrina pasitenkinimo šilumine aplinka pojūtį, nesukeldami žmogaus kūno šilumą reguliuojančių sistemų įtampas.

Šilumos energijos sąnaudos – išmatuotas suvartotos šilumos energijos kiekis.

Temperatūra – fizikinis dydis, apibūdinantis objekto šiluminę būseną.

Termovizija – tai skystų ir kietų kūnų spinduliuojamų IR fiksavimas spektre.

Tyrimas – sistemingas ir kryptingas objektų nagrinėjimas, taikant mokslo priemones bei metodus.

Viešojo naudojimo pastatas – viešbutis ar kitas trumpalaikio apgyvendinimo pastatas, įstaigos pastatas, didmeninės ir mažmeninės prekybos pastatas, oro uosto, geležinkelio, autobusų keleivių stoties pastatas, pramoginių renginių pastatas, švietimo ar gydymo ir slaugos įstaigos pastatas, maldos namų ir kitokios religinės veiklos pastatas.

Visuomeninės paskirties pastatas – pastatas, skirtas visuomenės poreikiams tenkinti ir priklausantis viešbučių, administracinės, prekybos, paslaugų, maitinimo, transporto, kultūros, mokslo, gydymo, poilsio, sporto ar religinės paskirties pastatų pogrupiui.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	2
Darbo tikslas	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas	5
Disertacijos struktūra	6
1. PASTATŲ ATNAUJINIMO DAUGIATIKSLIO VERTINIMO PROBLEMATIKA ...	7
1.1. Statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį	7
1.2. Pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai	10
1.2.1. Pastato gyvavimo trukmės užtikrinimas	14
1.2.2. Patalpų mikroklimato parametrų užtikrinimas	17
1.2.3. Pastato energinio naudingumo pagerinimas	22
1.2.4. Pastato poveikio aplinkai sumažinimas	24
1.2.5. Pastato estetinio vaizdo pagerinimas	26
1.2.6. Pastato rinkos vertės padidinimas	28
1.3. Visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo analizė	29
1.4. Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai pastatų atnaujinimo efektyvumui vertinti	32
1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	37
2. PASTATŲ ATNAUJINIMO EFEKTYVUMO VERTINIMO SISTEMA	39
2.1. Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimas	39
2.2. Vertinamų rodiklių nustatymas	42

2.3. Rodiklių svorių nustatymo SWARA metodas.....	45
2.4. Daugiatiksliai vertinimo TODIM, TOPSIS, VIKOR ir rezultatų apibendrinimo Copeland metodai.....	46
2.5. Pastatų natūriniams tyrimams naudota laboratorinė įranga.....	52
2.6. Pastatų natūrinių tyrimų metodikos.....	54
2.6.1. Fizinio nusidėvėjimo įvertinimas	54
2.6.2. Fasadų įgerties tyrimai	57
2.6.3. Termoviziniai tyrimai.....	59
2.6.4. Patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimai	61
2.6.5. Atnaujinimo ekonominiai skaičiavimai.....	64
2.6.6. Estetinio vaizdo vertinimas	66
2.7. Antrojo skyriaus išvados.....	67
3. PASTATŲ NATŪRINIAI TYRIMAI IR ATNAUJINIMO EFEKTYVUMO VERTINIMAS.....	69
3.1. Natūrinių tyrimų objektai.....	69
3.2. Natūrinių tyrimų rezultatai.....	73
3.2.1. Pastatų fizinis nusidėvėjimas.....	73
3.2.2. Pastatų fasadų įgertis.....	86
3.2.3. Pastatų termovizija	92
3.2.4. Pastatų patalpų mikroklimato parametrai ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai.....	98
3.2.5. Pastatų atnaujinimo ekonominiai skaičiavimai	112
3.2.6. Pastatų estetinis vaizdas	117
3.3. Sprendimo priėmimo duomenys daugiataksliam vertinimui	118
3.4. Rodiklių svorių nustatymas SWARA metodu.....	120
3.5. Daugiatiksliis vertinimas TODIM, TOPSIS, VIKOR ir rezultatų apibendrinimas Copeland metodais.....	122
3.6. Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo rezultatų analizė.....	125
3.7. Trečiojo skyriaus išvados	126
BENDROSIOS IŠVADOS	129
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	131
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	143
SUMMARY IN ENGLISH.....	145
PRIEDAI*	157
A priedas. SWARA (rodiklių svorių nustatymo), TODIM, TOPSIS, VIKOR (daugiatikslių sprendimo priėmimo) ir Copeland (rezultatų apibendrinimo) metodų visų etapų skaičiavimai	158
B priedas. Bendra autorių sutikimai teikti publikacijoje skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje.....	163
C priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos	229

* Priedai pateikiami pridėtame kompaktiniame diske

Contents

INTRODUCTION	1
Problem formulation	1
Relevance of the thesis.....	2
Research object	2
Aim of the thesis	3
Tasks of the thesis.....	3
Research methodology	3
Scientific novelty of the thesis	4
Practical value of research findings	4
Defended statements	5
Approval of research findings	5
Structure of the thesis.....	6
1. PROBLEMS IN MULTI-ATTRIBUTE DECISION ANALYSIS OF BUILDING RENOVATION	7
1.1. Classification of structures by intended use	7
1.2. Factors determining the renovation of buildings.....	10
1.2.1. Assuring the lifetime of a building.....	14
1.2.2. Assuring parameters of indoor microclimate	17
1.2.3. Improving the energy performance of a building	22
1.2.4. Reducing the environmental impact.....	24
1.2.5. Improving the aesthetics of a building	26
1.2.6. Increasing the market value of a building	28
1.3. Analysis of the renovation of public buildings	29
1.4. Multi-attribute decision making methods for assessing the efficiency of building renovation	32
1.5. Conclusions of chapter one and tasks formulation of the thesis.....	37
2. SYSTEM ASSESSING THE EFFICIENCY OF BUILDING RENOVATION.....	39
2.1. Assessing the efficiency of building renovation	39

2.2. Defining attributes to be assessed	42
2.3. SWARA method for defining attributes weights	45
2.4. Methods for multi-attribute decision analysis TODIM, TOPSIS and VIKOR, and Copeland method for summarising results	46
2.5. Laboratory equipment used for field experiments in buildings.....	52
2.6. Methodologies for field experiments in buildings.....	54
2.6.1. Assessment of the physical deterioration	54
2.6.2. Façade absorption tests.....	57
2.6.3. Thermovision tests	59
2.6.4. Tests on indoor microclimate parameters and U-values of external walls ...	61
2.6.5. Economic calculations regarding renovation	64
2.6.6. Evaluation of the aesthetics	66
2.7. Conclusions of chapter two	67
3. FIELD EXPERIMENTS ON BUILDINGS AND ASSESSMENT OF THE RENOVATION EFFICIENCY	69
3.1. Objects of field experiments	69
3.2. Results of field experiments.....	73
3.2.1. Physical deterioration of buildings	73
3.2.2. Façade absorption of buildings.....	86
3.2.3. Thermovision of buildings	92
3.2.4. Indoor microclimate parameters and U-values of external walls of buildings.....	98
3.2.5. Economic calculations on renovation of buildings.....	112
3.2.6. Aesthetics of buildings	117
3.3. Decision making data for multi-attribute decision analysis	118
3.4. Defining attributes weights with the help of SWARA method	120
3.5. Multi-attribute decision analysis using TODIM, TOPSIS and VIKOR, and Copeland method for summarising results	122
3.6. Analysis of results from the efficiency assessment of building renovation	125
3.7. Conclusion of chapter three	126
GENERAL CONCLUSIONS	129
REFERENCES	131
LIST OF AUTHOR'S PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE THESIS.....	143
SUMMARY IN ENGLISH.....	145
ANNEXES*	157
Annex A. Calculations using SWARA (determining weights of attributes), TODIM, TOPSIS and VIKOR (multi-attribute decision making) and Copeland (aggregating of solution results) methods in all stages	158
Annex B. Agreements of co-authors to provide published materials in the thesis	163
Annex C. Author's scientific publications on the topic of the thesis	229

* The annexes are supplied in the enclosed compact disk

Įvadas

Problemos formulavimas

Pastatų atnaujinimas (modernizavimas) yra viena iš prioritetinių ES sanglaudos politikos sričių. Pastatų energinis efektyvumas ir patalpų mikroklimato parametrai yra visuomenei svarbiausios pastatų atnaujinimą lemiančios priežastys, tačiau būtina vertinti ir kitas ne mažiau svarbias priežastis: pastato gyvavimo trukmės užtikrinimą, poveikio aplinkai sumažinimą, estetinio vaizdo pagerinimą ir rinkos vertės padidinimą. Atnaujinti pastatai turi atitikti 7 esminius šiuo metu ES galiojančius statinių reikalavimus.

Augančios energinių išteklių kainos (Lietuvoje šilumos energija brangsta apie 4 % per metus) bei HN netenkinanti gyvenamoji, darbo ir poilsio aplinka (žema patalpų oro temperatūra, santykinė oro drėgmė, įsiveisęs pelėsis ir kt.) skatina visuomenę labiau domėtis ir aktyviau dalyvauti pastatų atnaujinimo procese. Kartu tai sukelia daug diskusijų apie pastatų atnaujinimo privalumus ir trūkumus, geriausių atnaujinimo sprendimų priėmimą.

Atnaujinant pastatus keliama daug tikslų, kuriuos apibūdina skirtingi vertinami rodikliai. Siekiant objektyviau įvertinti pastatų atnaujinimo efektyvumą ir tobulinti pastatų atnaujinimo technologijas šalyje, reikia taikyti daugiataksių sprendimo priėmimo metodus, kurie būtų integruoti į pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo (PAEV) modelį. Modelyje taikomi matematiniai optimizavi-

mo metodai padeda sumažinti sprendimų priėmimo subjektyvumą ir priimti racionalesnius sprendimus.

Disertacijoje pateikti atliktų natūrinių tyrimų ir skaičiavimų rezultatai prieš ir po visuomeninės paskirties (VP) pastatų atnaujinimo, siekiant nustatyti realias vertinamų rodiklių reikšmes. Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimui pasiūlytas sukurtas modelis, pagrįstas daugiataksliais vertinimo metodais.

Darbo aktualumas

Pastatų atnaujinimas išsivysčiusiose ES valstybėse prasidėjo daugiau nei prieš 20 metų, tačiau ir šiandien yra daugeliui ES valstybių narių aktualus. Europos Parlamentas ir Taryba formuodama savo politiką skiria didelį dėmesį šiai sričiai: griežtina reikalavimus pastatų energiniam efektyvumui, sveikatos ir aplinkos apsaugai, didina finansavimą energijos vartojimo efektyvumui ir atsinaujinančios energijos skatinimui, iki 2020 m. yra užsibrėžusi pasiekti tam tikrus energinius ir aplinkosaugos tikslus.

Daugiausiai visuomenės diskusijų kelia gyvenamųjų pastatų (daugiabučių) atnaujinimas, tačiau, remiantis ES vykdoma politika, VP pastatai turi tapti energijos taupymo ir aplinkos apsaugos pavyzdžiu, todėl pirmiausia šiuose pastatuose turėtų būti padidintas energijos vartojimo efektyvumas. ES valstybėse narėse nuo 2019 m. naujai statomi VP pastatai, o nuo 2021 m. visi naujai statomi pastatai turi tapti beveik nulinės energijos pastatais.

Disertacijoje kompleksškai ištirti keturi VP pastatai (vaikų lopšeliai-darželiai) Lietuvoje prieš ir po atnaujinimo, siekiant įvertinti ne vieną, o daugelį tikslų, kurie yra keliami atnaujinant pastatus. Tokie išsamūs vaikų lopšelių-darželių pastatų tyrimai anksčiau nebuvo atlikti.

Tyrimų objektas

Disertacijos tyrimų objektas – VP pastatų atnaujinimo efektyvumas. Atliekami natūriniai tyrimai ir daugiatakslis vertinimas, siekiant objektyviau ištirti pastatų atnaujinimo efektyvumą bei tobulinti atnaujinimo technologijas šalyje. Tyrimams pasirinkti 4 skirtingų konstrukcinių schemų, aukštingumo, bendrojo ploto, suplanavimo pastatai, atspindintys LR tipinius vaikų lopšelių-darželių pastatus:

- Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis;
- Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis;
- Semeliškių vaikų darželis;
- Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis.

Darbo tikslas

Disertacijos tikslas – sukurti teorinį PAEV modelį, pagrįstą daugiatisiais sprendimo priėmimo metodais, bei jį praktiškai pritaikyti naudojant VP pastatų (vaikų lopšelių-darželių) tyrimų, atliktų prieš ir po atnaujinimo, rezultatus.

Darbo uždaviniai

Disertacijos tikslui pasiekti keliama šie uždaviniai:

1. Atlikus literatūros analizę, susisteminti pastatų atnaujinimą lemiančius veiksnius ir išskirti svarbiausius rodiklius, turinčius įtakos pastatų atnaujinimui.
2. Išanalizuoti daugiatisius sprendimo priėmimo metodus, geriausiai tinkančius statybos inžinerijos uždaviniams spręsti, bei galimybes juos pritaikyti kuriamame PAEV modelyje.
3. Sukurti PAEV modelį, pagrįstą daugiatisių sprendimo priėmimo metodų taikymu.
4. Išanalizuoti pastatų natūrinių tyrimų metodikas ir energinius bei investicijų atsipirkimo ekonominius skaičiavimus, siekiant nustatyti vertinamų rodiklių realias reikšmes.
5. Nustatyti, taikant ekspertinį vertinimą, svarbiausių rodiklių, turinčių didžiausią įtaką pastatų atnaujinimo efektyvumui, svorius.
6. Pasirinktuose VP pastatuose, atliekant natūrinius tyrimus ir ekonominius skaičiavimus, nustatyti vertinamų rodiklių reikšmes prieš ir po šių pastatų atnaujinimo.
7. Naudojant VP pastatų (vaikų lopšelių-darželių) tyrimų rezultatus, praktiškai pritaikyti sukurtą teorinį PAEV modelį.

Tyrimų metodika

PAEV modelis remiasi šiais matematiniais metodais: SWARA rodiklių svorių nustatymo, TODIM, TOPSIS, VIKOR daugiatisiais sprendimo priėmimo ir Copeland rezultatų apibendrinimo. Rodiklių realių reikšmių nustatymui taikytos šios natūrinių tyrimų ir skaičiavimų metodikos: fizinio nusidėvėjimo įvertinimo, fasadų įgerties tyrimų, termovizinių tyrimų, patalpų mikroklimato parametrų ir šilumos perdavimo koeficientų tyrimų, ekonominių skaičiavimų ir estetinio vaizdo vertinimo.

Darbo mokslinis naujumas

Disertacijos mokslinis naujumas:

1. Sukurtas PAEV modelis, pagrįstas daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų taikymu. Sukurtą modelį sudaro 12 etapų. Jis išsiskiria tuo, kad pastatų atnaujinimą leidžia vertinti 2 būdais: pagal rodiklių pokyčių reikšmes (pastatų būklės prieš ir po atnaujinimo palyginimas) ir rodiklių pasiektas reikšmes (pastatų būklė po atnaujinimo). Modelyje pritaikytas rodiklių svorių nustatymo SWARA, daugiatiksliai sprendimo priėmimo TODIM, TOPSIS, VIKOR ir rezultatų apibendrinimo Copeland metodai. Sukurtas PAEV modelis padeda objektyviau įvertinti tiriamų pastatų atnaujinimo efektyvumą.
2. Pasiūlytas optimizavimo veiksnys rodikliams, kurie neturi vienos optimizavimo krypties (t. y., oro temperatūra, santykinė oro drėgmė ir pirmo aukšto grindų temperatūra). Šie rodikliai nėra nei minimizuojami, nei maksimizuojami, todėl yra taikomas optimizavimo veiksnys, kuris pateikiamas kvadratine funkcija, kurios grafikas yra parabolė. Kvadratinė funkcija yra apskaičiuojama remiantis rodikliui higienos normoje HN 75:2010 nustatytais leidžiamomis ribomis (komforto zona), optimalia verte ir LR taikoma dešimtbale vertinimo sistema. Optimizavimo veiksnys atspindi šių rodiklių reikšmių santykinę vertę daugiatikslyje naudingumo funkcijoje.
3. Siekiant nustatyti realias, o ne teoriškai apskaičiuotas vertinamų rodiklių reikšmes, atlikti natūriniai tyrimai ir ekonominiai skaičiavimai bei atlikta gautų rezultatų analizė 4 Lietuvos vaikų lopšeliuose-darželiuose. Natūriniai tyrimai buvo atlikti prieš ir po pastatų atnaujinimo, siekiant nustatyti pastatų atnaujinimo efektyvumą. Tokie išsamūs vaikų lopšelių-darželių pastatų tyrimai anksčiau nebuvo atlikti.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Sukurtą PAEV modelį gali taikyti projektuotojai, statybos inžinieriai, pastatų eksploatuotojai (administratoriai), statybinių medžiagų, naudojamų atnaujinant pastatus, gamintojai, valstybės institucijos siekdamos nustatyti atnaujintų pastatų efektyvumą, tobulinti pastatų atnaujinimo technologijas.

Atliktų natūrinių tyrimų ir ekonominių skaičiavimų rezultatais turėtų naudotis projektuotojai, rengdami pastatų atnaujinimo projektus, statybos inžinieriai, vykdydami ir kontroliuodami darbus, pastatų eksploatuotojai, prižiūrėdami pastatus, valstybinės institucijos, formuodamos pastatų atnaujinimo politiką.

Ginamieji teiginiai

Disertacijos ginamieji teiginiai:

1. Vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą, svarbiausi rodikliai yra šie: pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, santykinė oro drėgmė, pastato šilumos energijos sąnaudos, estetiškas vaizdas, investicijų atsipirkimo laikas, išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas, fasadų vandens įgertis ir pirmo aukšto grindų temperatūra.
2. Vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą, tikslinga suformuluoti daugiatikslį optimizavimo uždavinį, nes atnaujinant pastatus siekiama įgyvendinti daugelį tikslų, kuriuos apibūdina skirtingi vertinami rodikliai. Siekiant objektyviai įvertinti pastatų atnaujinimo efektyvumą, reikalingas kompleksinis visų rodiklių vertinimas apjungiant juos į vieną sistemą.
3. Atnaujinus pastatus vertinamų rodiklių reikšmės tampa artimesnės norminėms reikšmėms, nurodytoms statybos techniniuose reglamentuose (STR) ir higienos normose (HN).

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra išspausdinti 9 moksliniai straipsniai: du – mokslo žurnaluose, įrašytuose į *Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science)* DB (Zavadskas *et al.* 2013; Ruzgys *et al.* 2014); du – mokslo žurnaluose, kitose DB (Volvačiovas *et al.* 2013b; Ruzgys *et al.* 2013a); du – tarptautinės konferencijos medžiagoje *ISI Proceedings* (Volvačiovas *et al.* 2013a; Aviža *et al.* 2013); trys – Lietuvos konferencijų medžiagose (Ruzgys *et al.* 2013b; Matulis *et al.* 2012; Volvačiovas, Turskis 2011).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti keturiuose mokslinėse konferencijose (vienoje tarptautinėje ir trijose Lietuvos jaunųjų mokslininkų):

- 11-ojoje tarptautinėje konferencijoje *“Modern Building Materials, Structures and Techniques”* 2013 m. Vilniuje;
- 16-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje *„Mokslas – Lietuvos ateitis“* 2013 m. Vilniuje;
- 15-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje *„Mokslas – Lietuvos ateitis“* 2012 m. Vilniuje;
- 14-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje *„Mokslas – Lietuvos ateitis“* 2011 m. Vilniuje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir šaltinių bei autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai, santrauka anglų kalba ir trys priedai. Disertacijos struktūra pateikta 1 paveiksle.

Disertacijos apimtis su santrauka yra 172 puslapiai (neįskaitant priedų), tekste panaudotos 47 numeruotos formulės, 51 paveikslas ir 29 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudoti 138 literatūros šaltiniai.

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

Pastatų atnaujinimo daugiatislio vertinimo problematika

Skyriuje pateikiamas statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį, analizuojami pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai: pastato gyvavimo trukmė, patalpų mikroklimato parametrai, pastato energinis naudingumas, pastato poveikis aplinkai, pastato estetiškas vaizdas ir pastato rinkos vertė. Pateikiama daugiatislio sprendimo priėmimo sąvoka ir daugiatislių vertinimo metodų klasifikavimas. Apžvelgiamas daugiatislių sprendimo priėmimo metodų taikymas statybos inžinerijos moksle.

Skyriaus tematika paskelbti trys autoriaus straipsniai (Volvačiovas, Turskis 2011; Aviža *et al.* 2013; Ruzgys *et al.* 2013a).

1.1. Statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį

2003 m. birželio 11 d. LR aplinkos ministro įsakymu Nr. 289 (Žin., 2003, Nr. 58-2611) buvo patvirtintas statybos techninis reglamentas STR 1.01.09:2003 „Statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį“. Šis STR nustato statinių klasifikavimo pagal paskirtį pagrindines grupes (pogrūpius) ir požymius, kuriais

vadovaujantis nustatoma statinių naudojimo paskirtis ir statiniai priskiriami šioms grupėms (pograpiams) (1.1 lentelė) (Volvačiovas, Turskis 2011).

Statins – pastatas arba inžinerinis statins, turintis laikančiąsias konstrukcijas, kurio visos (ar jų dalis) sumontuotos statybos vietoje atliekant statybos darbus, ir kuris yra nekilnojamas daiktas. Pastatas – apdengtas stogu statins, kurio didžiausią dalį sudaro patalpos. Inžinerinis statins – susisiekimo komunikacijos, inžineriniai tinklai, kanalai, taip pat visi kiti statiniai, kurie nėra pastatai (LR statybos įstatymas 1996).

Statinio naudojimo paskirtis – statinio viešajame registre nurodytas statinio naudojimo tikslas (žmonėms gyventi, ūkinei ar kitai veiklai), kai statins atitinka saugos ir jame planuojamos (atliekamos) veiklos (technologijos proceso) privalomus reikalavimus, nustatytus normatyviniuose statinio saugos ir paskirties dokumentuose. Pastatas priskiriamas vienai ar kitai paskirties grupei (pograpiui), jeigu jo visas bendrasis plotas arba didžiausioji jo dalis yra naudojama tai paskirčiai. Kai pastatą sudaro įvairių paskirčių patalpos, formuojamos kaip atskiri nekilnojamieji daiktai (maitinimo, sporto, mokslo ir t. t.), pastato naudojimo paskirtis nustatoma pagal didžiausio bendrojo ploto patalpos, kaip atskiro nekilnojamojo daikto, paskirtį (STR 1.01.09:2003).

Visuomeninės paskirties (VP) pastatas – pastatas, skirtas visuomenės poreikiams tenkinti ir, atsižvelgiant į STR 1.01.09:2003 nuostatas, priklausantis viešbučių, administracinės, prekybos, paslaugų, maitinimo, transporto, kultūros, mokslo, gydymo, poilsio, sporto ar religinės paskirties pastatų pograpiui (STR 2.02.02:2004). Viešojo naudojimo pastatas – viešbutis ar kitas trumpalaikio apgyvendinimo pastatas, įstaigos pastatas, didmeninės ir mažmeninės prekybos pastatas, oro uosto, geležinkelio, autobusų keleivių stoties pastatas, pramoginių renginių pastatas, švietimo ar gydymo ir slaugos įstaigos pastatas, maldos namų ir kitokios religinės veiklos pastatas (LR statybos įstatymas 1996).

ES statistikos departamentas (Eurostat) 1997 m. spalio 15 d. remdamasis 1991 m. JTO parengtu centriniu produktų klasifikatoriumi parengė statinių naudojimo paskirties klasifikatorių. ES statistikos departamento parengtame statinių naudojimo paskirties klasifikatoriuje naudojama statinių klasifikavimo (kodavimo) sistema, kuri apima:

- 2 statinių rūšis (pirmas skaitmuo);
- 6 statinių grupes (antras skaitmuo);
- 20 statinių pograpių (trečias skaitmuo);
- 46 statinių klases (ketvirtas skaitmuo) (Eurostat 2013a).

Šis klasifikatorius sukurtas siekiant suvienodinti skirtingose ES valstybėse naudojamus statinių naudojimo paskirties klasifikatorius. Suvienodinus klasifikatorius galima pateikti ir tarpusavyje palyginti skirtingų šalių statybos sektoriaus statistinius duomenis.

1.1 lentelė. Statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį (STR 1.01.09:2003)

Table 1.1. Classification of structures according to their intended use (STR 1.01.09:2003)

Statinių rūšys	Statinių grupės	Statinių pogrupiai
<i>Pastatai</i>	Gyvenamieji pastatai (namai)	Gyvenamosios paskirties (vieno buto) pastatai (namai)
		Gyvenamosios paskirties (dviejų butų) pastatai (namai)
		Gyvenamosios paskirties (trijų ir daugiau butų (daugiabučiai)) pastatai (namai)
		Gyvenamosios paskirties (įvairių socialinių grupių asmenims) pastatai (namai)
	<i>Negyvenamieji pastatai</i>	Viešbučių paskirties pastatai
		Administracinės paskirties pastatai
		Prekybos paskirties pastatai
		Paslaugų paskirties pastatai
		Maitinimo paskirties pastatai
		Transporto paskirties pastatai
		Garažų paskirties pastatai
		Gamybos ir pramonės paskirties pastatai
		Sandėliavimo paskirties pastatai
		Kultūros paskirties pastatai
		Mokslų paskirties pastatai
		Gydymo paskirties pastatai
		Poilsio paskirties pastatai
		Sporto paskirties pastatai
		Religinės paskirties pastatai
		Specialiosios paskirties pastatai
		Pagalbinio ūkio paskirties pastatai
		Kitos (fermų) paskirties pastatai
		Kitos (ūkio) paskirties pastatai, skirti žemės ūkiui tvarkyti
		Kitos (šiltnamių) paskirties pastatai
		Kitos (sodų) paskirties pastatai
		Kitos paskirties pastatai
Inžineriniai statiniai	Susisiekimo komunikacijos	Keliai
		Keliai (gatvės)
		Geležinkelio kelias
		Oro uostų (aerodromų) statiniai
		Vandens uostų statiniai
		Kiti transporto statiniai
	Inžineriniai tinklai	Naftos tinklai (naftotiekiai ir (ar) produktotiekiai)
		Dujų tinklai (dujotiekiai)
		Vandentiekio tinklai
		Šilumos tiekimo tinklai
		Nuotekų šalinimo tinklai
		Elektros tinklai
		Elektroninių ryšių infrastruktūra
		Kiti inžineriniai tinklai
	Kiti statiniai	Hidrotechnikos statiniai (užtvankos, dambos ir kt.)
		Sporto paskirties inžineriniai statiniai
		Kitos paskirties statiniai

Disertacijoje yra nagrinėjami vaikų lopšelių-darželių pastatai. Tai statiniai, priskiriami pastatų rūšiai, negyvenamųjų pastatų grupei ir mokslo paskirties pastatų pogrupiui (1.1 lentelė). Taip pat šie pastatai gali būti vadinami visuomeninės paskirties ar viešojo naudojimo pastatais. Pagal ES statistikos departamento statinių naudojimo paskirties klasifikatorių, vaikų lopšeliai-darželiai būtų priskirti 1263 kodui. Tai reiškia, kad statiniai priskiriami pastatų rūšiai (1), negyvenamųjų pastatų grupei (2), visuomeninės paskirties pramogų, švietimo, ligoninių ar globos įstaigų pastatų pogrupiui (6) ir mokyklų, universitetų ar tyrimams skirtų pastatų klasei (3).

Statiniai klasifikuojami pagal jų naudojimo paskirtį, nes skirtingoms statinio naudojimo paskirtims taikomi skirtingi normatyvinių statybos techninių dokumentų (STR, statybos bei statinių naudojimo ir priežiūros taisyklių, standartų, techninių įvertinimų, metodinių nurodymų, rekomendacijų) ir normatyvinių statinio saugos ir paskirties dokumentų (higienos normų (HN), gaisrinės saugos taisyklių, energetikos įrenginių įrengimo taisyklių, želdinių apsaugos taisyklių, nuotekų tvarkymo reglamentų ir kt.) reikalavimai.

1.2. Pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai

STR 1.12.06:2002 „Statinio naudojimo paskirtis ir gyvavimo trukmė“ nurodyta, kad mokslo paskirties pastatų, pastatytų iš plytų mūro ar betono blokų, gyvavimo trukmė yra 100 metų. Ši trukmė yra prognozuojama Lietuvos vidutinėmis klimato ir pastato normalaus naudojimo sąlygomis. Pastatui turi būti taikoma prevencinių ir kitų priemonių visuma. Siekiant užtikrinti pastato naudojimo paskirties reikalavimus, jis turi būti tinkamai eksploatuojamas, atliekamas remontas, atnaujinimas. Pastato savininkas pasirenka realią pastato gyvavimo trukmę, kad ji būtų ekonomiškai pagrįsta ir per visą pastato gyvavimo laikotarpį atitiktų esminius statinio reikalavimus (1.1 pav.).

1.1 pav. Esminiai statinių reikalavimai ((ES) Nr. 305/2011)

Fig. 1.1. Basic requirements for construction works ((ES) Nr. 305/2011)

Mechaninis atsparumas ir pastovumas. Statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad apkrovos, kurios gali veikti statybos metu ir juos naudojant, nesukeltų:

- viso statinio arba jo dalies griūtis;
- didelių deformacijų, viršijančių leistinas ribas;
- žalos kitoms statinio dalims, įrenginiams ar sumontuotai įrangai dėl didelių apkrovų laikančios konstrukcijos deformacijų;
- žalos, atsiradusios per įvykį, kuri būtų neproporcinga ją sukėlusiai pirminei priežasčiai.

Gaisrinė sauga. Statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad kilus gaisrui:

- statinių laikančiosios konstrukcijos tam tikrą laiką išlaikytų apkrovas;
- būtų ribojamas ugnies bei dūmų susidarymas ir plitimas statiniuose;
- būtų ribojamas gaisro plitimas į gretimus statinius;
- juose esantys asmenys galėtų išeiti iš statinių ar būti išgelbėti naudojant kitas priemones;
- būtų atsižvelgta į gelbėtojų komandų saugą.

Higiiena, sveikata, aplinka. Statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad viso jų būvio ciklo metu, juos statant, naudojant ir griauinant nekiltų jokio pavojaus darbuotojų, gyventojų ar kaimynų higienai arba sveikatai ir saugai ir per visą jų būvio ciklą jie neturėtų pernelyg didelio poveikio aplinkos kokybei ar klimatui, ypač dėl toliau išvardintų priežasčių:

- toksiškų dujų išsiskyrimo;
- pavojingų medžiagų, lakiųjų organinių junginių, šiltnamio efektą sukeliančių dujų arba pavojingų dalelių išsiskyrimo į orą statinių viduje ar lauke;
- pavojingos spinduliuotės;
- pavojingų medžiagų išleidimo į gruntinį vandenį, jūrų vandenį, paviršinius vandenius arba dirvožemį;
- pavojingų medžiagų išleidimo į geriamąjį vandenį ar medžiagų, kurios kitaip neigiamai veikia geriamojo vandens kokybę, išleidimo;
- netinkamo nuotekų išleidimo, dūmtraukio dujų išmetimo arba netinkamo kietųjų arba skystųjų atliekų pašalinimo;
- drėgmės statinių dalyse ar statinių vidaus paviršiuose.

Sauga ir galimybė patekti į statinį naudojimo metu. Statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad jais naudojantis arba juos eksploatuojant nekiltų

nepriimtino nelaimingų atsitikimų ar žalos pavojaus, pavyzdžiui, paslydimo, kritimo, susidūrimo, nudegimo, žūties dėl elektros srovės, sužalojimo dėl sprogdimo ar įsilaužimų. Visų pirma, statiniai turi būti projektuojami ir statomi atsižvelgiant į neįgalių asmenų galimybes patekti į statinį ir juo naudotis.

Apsauga nuo triukšmo. Statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad juose arba šalia jų esančių asmenų girdimas triukšmas neviršytų sveikatai pavojingo lygio ir leistų jiems miegoti, ilsėtis ir dirbti patenkinamomis sąlygomis.

Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas. Statiniai ir jų šildymo, vėsinimo, apšvietimo bei vėdinimo įrenginiai turi būti projektuojami bei statomi taip, kad juos naudojant energijos sąnaudos būtų mažos, atsižvelgiant į statinių naudotojus ir vietovės klimato sąlygas. Statiniai taip pat turi efektyviai vartoti energiją, taip, kad juos statant ir griauinant būtų sunaudojama kuo mažiau energijos.

Tvarus gamtos išteklių naudojimas. Statiniai turi būti projektuojami, statomi ir griauunami taip, kad būtų tvariai naudojami gamtiniai ištekliai ir ypač užtikrinamas:

- statinių, jų medžiagų ir dalių pakartotinis naudojimas arba perdirbimas po nugriovimo;
- statinių ilgaamžiškumas;
- statiniams skirtų aplinkai nežalingų žaliavų ir antrinių žaliavų naudojimas ((ES) Nr. 305/2011).

Esminiai statinių reikalavimai privalo būti užtikrinami statant naujus, rekonstruojant ar remontuojant esamus statinius. Griežtėjant esminiams statinių reikalavimams, daugelis anksčiau statytų pastatų nebetenkina keliamų reikalavimų. Atnaujinant pastatus turi būti atsižvelgiama į visus septynis esminius statinių reikalavimus, tačiau dažniausiai akcentuojamas energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas, mažesnę dėmesį skiriant kitiems esminiams statinių reikalavimams. LR statybos įstatyme (1996) nurodyta, kad pastato atnaujinimas (modernizavimas) – tai statybos darbai, kuriais atkuriamos ar pagerinamos pastato ir (ar) jo inžinerinių sistemų fizinės ir energinės savybės ir (ar) kuriais užtikrinamas iš atsinaujinančių energijos šaltinių gaunamos energijos naudojimas.

Panašiai pastatų atnaujinimas apibrėžiamas ir kitose Europos valstybėse. Danijoje pastato atnaujinimas – tai pastato išvaizdos atkūrimas ir jo elementų eksploatacinių savybių atstatymas į pradinę ar geresnę padėtį. Pastatų atnaujinimo poreikis atsiranda dėl natūralaus medžiagų nusidėvėjimo ir kitų išorės veiksnių, pavyzdžiui, oro sąlygų. Išskiriama pastato energinio atnaujinimo sąvoka – tai pastato atnaujinimas, kurio tikslas – pastato energinio naudingumo pagerinimas (Åstmarsson *et al.* 2013). Suomijoje pastato atnaujinimas – tai pastato ar gyvenimo sąlygų jame pagerinimas iki reikalavimų, keliamų naujiems pastatams: patalpų perplanavimas, konstrukcijų remontas, išorinių atitvarų apšiltinimas ir kt. (Statistics Finland 2013). Vokietijoje yra išskiriama šiluminio atnauji-

nimo sąvoka. Šiam tikslui pasiekti Vokietijos vyriausybė priėmė energijos taupymo reglamentus, kuriuose nurodyti reikalavimai pastatų šiluminėms savybėms. Šie energijos taupymo reglamentai privalomi tiek naujai statybai, tiek pastatų atnaujinimui (Galvin 2012).

Socialinės aplinkos pokyčiai keičia pastatų atnaujinimo politiką, nors pagrindinis tikslas – pagerinti pastatų kokybę – išlieka tas pats. Pavyzdžiui, anksčiau pastatų atnaujinimas buvo suprantamas kaip fizinio nusidėvėjimo sumažinimas. Kai kuriose šalyse nuo 1980 m. pastatai pradėti pritaikyti senyvo amžiaus ir neįgaliesiems asmenims, todėl pastatų atnaujinimas buvo suprantamas kaip pastato pritaikymas specialių poreikių asmenims. Miestuose, kurie turėjo didelę socialinę atskirtį, pastatų atnaujinimas buvo naudojamas kaip pagrindinė priemonė siekiant integruoti žmones į visuomenę ir sumažinti miesto socialinę atskirtį. Miestuose, kurie patyrė ekonominę depresiją, pastatų atnaujinimas buvo naudojamas kaip vietovės aktyvinimo priemonė. Pastaruoju metu pastatų atnaujinimas siejamas su klimato kaitos klausimų sprendimu ir didesniu pastatų energiniu efektyvumu (Baek, Park 2012). Vienas iš pagrindinių ES strateginių tikslų, siekiant sustiprinti ekonominę konkurencingumą valstybėse narėse, yra energijos vartojimo efektyvumo didinimas, taip pat svarbus ir aplinkosauginis aspektas (poveikis aplinkai). ES pastatai suvartoja apie 40 % visos Sąjungos suvartojamos energijos ir išskiria apie 25 % anglies dvideginio (šiltnamio efektą sukeliančių dujų) kiekio. Tuo tikslu 2010 m. gegužės 19 d. buvo išleista Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo (Egging 2013; Uihlein, Eder 2010).

Atlikus literatūros (mokslinių publikacijų ir teisės aktų) analizę, išskirti 6 pagrindiniai pastatų atnaujinimą Europoje lemiantys veiksniai (1.2 pav.).

1.2 pav. Pagrindiniai pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai

Fig. 1.2. Main factors determining renovation of buildings

Atnaujinant pastatus turi būti siekiama išspręsti kuo daugiau esamų problemų. Kiekvienu atveju problemos yra individualios, būdingos tik konkrečiam pastatui, tačiau dažniausiai atnaujinant pastatus siekiama išspręsti 1.2 paveiksle nurodytas problemas.

1.2.1. Pastato gyvavimo trukmės užtikrinimas

Statinio gyvavimo trukmė – tai teorinis laikotarpis, per kurį statinys, normaliai jį naudojant (nuo statinio naudojimo pradžios iki jo nugriovimo) ir atsižvelgiant į statybos produktus, iš kurių jis pastatytas, bei vietines klimatinės sąlygas, atitinka esminius statinio reikalavimus (STR 1.12.06:2002).

Kaip matyti iš apibrėžimo, pastato gyvavimo trukmė yra susijusi su esminiais statinių reikalavimais, ypač pirmuoju: mechaniniu atsparumu ir pastovumu. Pastatas ir jo atskiri elementai (dalys) turi būti gana stiprus ir pastovus, t. y., turi būti besąlygiškai garantuota pastato konstrukcijų laikomoji galia. Be to, viso pastato, jo atskirų elementų poslinkiai neturi viršyti ribų, kurios lemia naudojimo galimybes ir patogumą, naudojimo metu neturi atsirasti plyšių bei kitų pažeidimų, trukdančių normalų pastato ar jo elementų naudojimą arba mažinančių ilgaamžiškumą (Ustinovičius *et al.* 2012). Pastato gyvavimo trukmei įvertinti gali būti apskaičiuojamas pastato fizinis nusidėvėjimas. Pastato fizinis nusidėvėjimas parodo fizinius pakitimus per tam tikrą laikotarpį. Pastato nusidėvėjimo laipsnis priklauso nuo pastato naudojimo trukmės ir konstrukcijų faktinės būklės. Jei pastatas nuolat prižiūrimas, periodiškai remontuojamas, atnaujinamas, fizinį nusidėvėjimą galima sulėtinti arba sumažinti (1.3 pav.). Pagrindinės pastato fizinio nusidėvėjimo priežastys yra procesai, vykstantys pastato viduje, ir gamtinės aplinkos poveikis. Svarbi pastato fizinį nusidėvėjimą lemianti priežastis – natūralus statybinių medžiagų senėjimas (Lepkova, Vilitienė 2008).

1.3 pav. Pastato gyvavimo trukmės užtikrinimas atliekant remontus ir atnaujinimus (sukurta remiantis Lepkova, Vilitienė 2008)

Fig. 1.3. Assuring the lifetime of a building with repairs and renovations (created based on Lepkova, Vilitienė 2008)

Pastato fizinis nusidėvėjimas gali būti vertinamas dviem būdais:

- teoriniu (kasmetiniu vertės mažinimu, fizinio nusidėvėjimo procento didinimu);
- ekspertiniu (pagrįstu vizualiniais ir instrumentiniais tyrimais).

Fizinio nusidėvėjimo vertinimui yra sukurta keletas metodikų. Dažniausiai fizinis nusidėvėjimas nustatomas teoriniu būdu, t. y. kasmetiniu vertės mažinimu (taikoma masiniam vertinimui). Tam tikslui Lietuvoje naudojami statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvai. Šiuose normatyvuose statinių vidutinio fizinio nusidėvėjimo bei eksploatavimo trukmės nustatytos atsižvelgiant į atitinkamos paskirties statinių eksploatavimo sąlygas, pagrindinių konstrukcijų ar jų dalių fizinio nusidėvėjimo trukmes ir į statybos produktų, iš kurių statiniai pastatyti, gyvavimo trukmes. Statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvai yra sugrupuoti pagal statinių tikslines naudojimo paskirtis ir pateikiami lentelėse pagal statinių grupes (SVN 2008). Kur kas tikslesnis būdas įvertinti pastato fizinį nusidėvėjimą – naudoti ekspertinius metodus. Remiantis eksperto patirtimi, specialiosiomis žiniomis, normatyvais ir metodais, ištiriamas vertinamas objektas, nustatomas jo elementų senumas, naudojimo intensyvumas, apskaičiuojamas kiekvieno vertinamo objekto elemento ir viso pastato bendras fizinio nusidėvėjimo procentas. Atliekant ekspertinį fizinio nusidėvėjimo vertinimą sugaištama nemažai laiko, nes reikia nagrinėti kiekvieną elementą atskirai, be to, fizinio nusidėvėjimo vertinimas yra subjektyvi kiekvieno eksperto nuomonė, priklausanti nuo jo patirties. Subjektyvumui sumažinti atliekant ekspertinį vertinimą naudojamosi tam tikromis metodikomis:

- civilinės statybos pastatų fizinio nusidėvėjimo nustatymo metodika (1979 m.);
- žinybinėmis statybos normomis BCH 53-86 (p) „Gyvenamųjų pastatų fizinio nusidėvėjimo nustatymo taisyklės“ (Ведомственные строительные нормы BCH 53-86 (p) „Правила оценки физического износа жилых зданий“) (1988 m.);
- statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvais „Pastatų konstrukcijų elementų fizinio nusidėvėjimo nustatymo požymiai“ (2008 m.);
- kitomis metodikomis.

Manoma, kad esant statinio konstrukcijų fiziniam nusidėvėjimui daugiau kaip 40 %, būklė yra nepatenkinama ir konstrukcijos turi avarinės būklės požymių (Jokūbaitis, Šaučiuvėnas 2012).

Kitose Europos valstybėse pastatų fizinis nusidėvėjimas nustatomas taip pat dviem būdais: teoriniu ir ekspertiniu, tačiau naudojamos skirtingos metodikos. Siekdami įvertinti Europos pastatų fizinį nusidėvėjimą ir nustatyti pagrindines priežastis, turinčias įtakos fiziniam nusidėvėjimui, mokslininkai atliko 349 tipi-

nių pastatų Danijoje, Graikijoje, Italijoje, Lenkijoje, Prancūzijoje, Šveicarijoje ir Vokietijoje auditus. Šių auditų metu buvo įvertinta kiekvieno pastato elemento (pamatų, sienų, stogo ir t. t.) fizinė būklė ir, atlikus vizualinę apžiūrą, priskirtas nusidėvėjimo kodas (a, b, c ar d). Šis kodas apibūdina kiekvieno elemento fizinę būklę („a“ kodas – geriausia būklė, jokių darbų atlikti nereikia; „d“ kodas – blogiausia būklė, sugedusius arba pasenusius elementus reikia pakeisti). Nustatyta, kad geriausia pastatų fizinė būklė yra Vokietijoje (46 % pastatų priskiriami „a“ kodui), o blogiausia – Šveicarijoje (21 % pastatų priskiriami „d“ kodui). Nustatytos pagrindinės priežastys, turinčios įtakos pastatų fiziniam nusidėvėjimui: pastato nuosavybės teisė, pastato elementų kokybė, pastato amžius, dažų tipas, atsakomybė už pastato priežiūrą (Balaras *et al.* 2005). Fizinis pastatų vertinimas remiantis kodais yra paplitęs Europoje ir naudojamas sukurtose programinėse įrangose (metoduose), pavyzdžiui, TOBUS, INVESTIMMO. Šie metodai sukurti siekiant pagrįsti pastatų atnaujinimo būtinumą, numatyti ilgalaikes investavimo strategijas ir nustatyti pastato vartojamų išteklių prioritetus (Brandt, Rasmussen 2002; Balaras *et al.* 2005). Portugalijos mokslininkai sukūrė ekspertinį, pagrįstą vizualiniais tyrimais ir pastato naudotojų apklausomis, metodą, įvertinantį išorinių atitvarų fizinio nusidėvėjimo laipsnį. Vizualinių tyrimų metu yra nustatomi defektai ir pažeidimai, įvertinamas jų paplitimas, pavojingumas ir pasiūlomos priemonės jiems ištaisyti. Pastato naudotojų apklausų metu yra nustatomi pastato vidaus defektai ir pažeidimai, apklausos padeda įvertinti vidaus mikroklimato kokybę ir pastato akustines savybes. Fizinio nusidėvėjimo vertinimui naudojama 8 lygių kokybinė ir kiekybinė vertinimo skalė: R^0 , R^+ , Y^- , Y^0 , Y^+ , G^- , G^0 , G^+ . Šioje skaleje blogiausia vertė yra R^0 , o geriausia G^+ . Išorinių atitvarų būklė apibūdinama taip: R – nepalanki, nepriimtina, Y – priimtina su išlygomis, G – palanki, priimtina (Rodrigues *et al.* 2011).

Reikšmingas pastatų nusidėvėjimą lemiantis veiksnys yra išorinių atitvarų (ypač fasadų) erozija dėl lietaus vandens poveikio vėjuotą dieną, kuris būna užterštas teršalais ir rūgštimis (Van den Brande *et al.* 2013). Tam tikslui yra atliekami fasadų įgerties tyrimai, kurių metu tikrinama, ar fasadas neįgeria per daug vandens. Statybinės medžiagos naudojamos išorinėms atitvaroms turi atitikti vandens pralaidumui keliamus reikalavimus. Taip pat svarbu teisingai suprojektuoti ir įrengti išorinių atitvarų mazgus (stogo ir išsikišančių fasado elementų apskardinimą, cokolio profilių ir nulašėjimo profilių virš langų įrengimą, palangių kraštų teisingą įrengimą ir pan.), kad lietaus vanduo nesiskverbtų į išorinių konstrukcijų vidų. Europos šalių mokslininkai atlieka laboratorinius ir natūrinius tyrimus, kurių metu tiria fasadų lietaus vandens įgertį, garavimą, nutekėjimą ir poveikį. Lietaus vandens poveikis priklauso nuo miesto oro užterštumo, pastato architektūros, panaudotų statybinių medžiagų ir meteorologijos sąlygų konkrečioje vietovėje. Lietaus vanduo turi didelės įtakos pastatų ilgaamžiškumui ir šiluminėms savybėms (Blocken *et al.* 2013).

1.2.2. Patalpų mikroklimato parametrų užtikrinimas

Moksliniais tyrimais nustatyta, kad pastatų naudotojams labiausiai rūpi ne pastato defektai ir pažeidimai, o gyvenimo (darbo, poilsio) sąlygos ir komfortas patalpose (Norhidayah *et al.* 2013; Rodrigues *et al.* 2011). Išsivysčiusiose valstybėse apie 80–90 % savo gyvenimo žmogus praleidžia uždaroje patalpose: namuose, transporte, darbe, todėl pastato patalpų mikroklimatas yra labai svarbus žmonių sveikatai, gerai savijautai (komfortui) ir produktyvumui (Sarbu, Sebarchievici 2013). Pastatas, kuris neatitinka mikroklimato parametrų reikalavimų (ribinių verčių), yra laikomas turinčiu „sergančio“ pastato sindromą (Heinzerling *et al.* 2013). Atlikus literatūros (mokslinių publikacijų ir teisės aktų) analizę, išskirti pagrindiniai patalpų mikroklimato parametrai (1.4 pav.).

1.4 pav. Pagrindiniai patalpų mikroklimato parametrai

Fig. 1.4. Main parameters of indoor microclimate

Oro temperatūra, °C. Patalpų oro temperatūra turi būti tokia, kad žmonėms būtų nei per šilta, nei per šalta ir jie jaustųsi komfortabiliai. HN nustatytos patalpų oro temperatūrų ribinės vertės šiltajam ir šaltajam metų laikotarpiui. Šaltasis metų laikotarpis – tai metų laikotarpis, kai lauko oro vidutinė paros temperatūra yra ne aukštesnė kaip 10 °C. Ji nustatoma pagal trijų parų iš eilės lauko oro vidutinę paros temperatūrą (HN 42:2009). Temperatūra turi būti matuojama toje vietoje, kurioje dirba ar ilsisi žmonės (Barbhuiya, Barbhuiya 2013). Kaip ir kiti oro parametrai, temperatūra matuojama ne arčiau kaip 0,5 m atstumu nuo išorinių atitvarų 0,1 m (kojų), 1,1 m (sėdinčio žmogaus galvos) ir 1,7 m (stovinčio žmogaus galvos) aukštyje nuo grindų paviršiaus. Šiltuoju metu laikotarpiu patalpų oro temperatūra turi būti 18–28 °C, o šaltuoju – 18–22 °C. Ikimokyklinio ugdymo įstaigoms keliami griežtesni reikalavimai, todėl šaltuoju metu laikotarpiu patalpų oro temperatūra turi būti 20–23 °C (žaidimų kambaryje). Patalpų oro temperatūra gali būti keičiama šildant, vėsinant arba vėdinant patalpas. Daugelis mokslininkų, nagrinėjančių pastatų mikroklimatą, sutinka, kad patalpų oro temperatūra yra vienas iš pagrindinių parametrų, apibūdinančių šiluminį komfortą (Kavgic *et al.* 2012; Leung, Ge 2013; Langer, Bekö 2013).

Atitvarų paviršių temperatūra, °C. Atitvarų paviršių temperatūra turi būti tokia, kad būtų išvengta pavoingo paviršiaus įdrėkimo, įskaitant pelėsių susidarymo galimybę. Išorinės atitvaros paviršius pradeda drėkti, kai susidaro rasos taškas. Rasos taškas – tai temperatūra, kurioje vandens garai, esantys ore, virsta sočiaisiais (oras daugiau nebegali priimti drėgmės). Santykinė oro drėgmė rasos taške yra lygi 100 %. Sudrėkus sienoms sumažėja sienų šiluminė varža, padidėja pelėsių susidarymo galimybė. Atitvarų paviršių temperatūra taip pat matuojama siekiant patikrinti, ar patalpoje ne per didelis temperatūrų skirtumas, ar tolygiai įšilusi visa patalpa. Temperatūrų skirtumas 0,1 ir 1,1 m aukštyje nuo grindų paviršiaus turi būti ne didesnis nei 3 °C (HN 42:2009). Idealus atvejis, kai patalpos oro temperatūra ir išorinių atitvarų paviršių temperatūra skiriasi ne daugiau kaip 3 °C. Ikimokyklinio ugdymo įstaigose grindų temperatūra šaltuoju metu laikotarpiu turi būti 18–26 °C (HN 75:2010).

Santykinė oro drėgmė, %. Patalpų santykinė oro drėgmė turi būti tokia, kad žmonėms nebūtų per daug sausa ar drėgna. Santykinė oro drėgmė apibūdina vandens garų kiekį ore. Ji apibrėžiama kaip vandens garų ore dalinio slėgio ir sočiųjų vandens garų slėgio tam tikroje temperatūroje santykis, išreikštas procentais. Kuo aukštesnė yra oro temperatūra, tuo daugiau drėgmės oras gali sukaupti. Santykinė oro drėgmė šiltuoju metų laikotarpiu turi būti 35–65 %, o šaltuoju – 35–60 % (HN 42:2009). Ikimokyklinio ugdymo įstaigose ir darbo vietose santykinė oro drėgmė turi būti 40–60 % (HN 69:2003; HN 75:2010). Moksliniais tyrimais nustatyta, kad patalpų santykinė oro drėgmė yra labai susijusi su žmonių sveikata. Esant mažai santykiniai oro drėgmei išsausėja oda ir kvėpavimo takų gleivinės, dirginamos akys. Esant didelei santykiniai oro drėgmei atsiranda kvėpavimo takų diskomfortas, padidėja alerginių reakcijų skaičius, ant atitvarų gali pradėti veisti pelėsiai (Wang *et al.* 2013). Šaltuoju metų laikotarpiu dėl patalpų šildymo santykinė oro drėgmė patalpose labai sumažėja (Gładyszewska-Fiedoruk 2013). Ji gali sumažėti net iki 10–15 %.

Oro judėjimo greitis, m/s. Oro judėjimo greitis patalpose turi būti toks, kad žmonės nejautų nemalonaus skersvėjo. Žmogus junta judantį orą, kai jo greitis viršija 0,15 m/s. Oro judėjimo greitis šiltuoju metų laikotarpiu turi neviršyti 0,25 m/s, o šaltuoju – 0,15 m/s (HN 42:2009). Tokie patys reikalavimai keliami ikimokyklinio ugdymo įstaigoms (HN 75:2010). Kuo didesnis yra oro judėjimo greitis patalpoje, tuo greičiau žmogaus kūno šiluma perduodama aplinkai (Khedary 2000). Didelę įtaką oro judėjimo greičiui turi pastate esanti vėdinimo sistema. Netinkamai suregulavus mechaninę vėdinimo sistemą, oro judėjimo greitis patalpose gali būti per didelis. Pastebėta, kad įrengus šildomas grindis oro judėjimo greitis 0,1 m aukštyje nuo grindų paviršiaus viršija normų reikalavimus (Tomasi *et al.* 2013). Oro judėjimas yra būtinas, norint, kad vyktų oro kaita. Tam, kad žmogus gerai jaustųsi, jam reikia ne mažiau kaip 36 m³/h šviežio oro.

Oras patalpose per valandą turėtų pasikeisti apie 3 kartus. Oro kaita padeda pašalinti iš patalpų įvairius teršalus: dulkes, žiedadulkes, mikroorganizmus ir kt.

Šiluminis spinduliavimas, W/m^2 . Šiluminis spinduliavimas patalpose neturi būti per didelis, kad nesutrikdytų žmogaus organizmo savaiminio termoreguliacijos proceso. Pagrindiniai šiluminio spinduliavimo šaltiniai: techninė įranga, šviestuvai, insoliacija pro langus (saulės energija). Šiluminis spinduliavimas neturėtų viršyti $100 W/m^2$, kai apspinduliuojama ne daugiau kaip 25 % žmogaus kūno paviršiaus ploto, $70 W/m^2$, kai apspinduliuojama nuo 25 iki 50 % žmogaus kūno paviršiaus ploto, ir $35 W/m^2$, kai apspinduliuojama 50 % ir daugiau žmogaus kūno paviršiaus ploto (HN 69:2003). VP pastatuose šiluminio spinduliavimo intensyvumas nėra didelis, jis gali viršyti normas gamybos ir pramonės paskirties pastatuose priklausomai nuo juose vykdomos veiklos. Taip pat šiluminis spinduliavimas dėl insoliacijos yra intensyvus pastatuose, kurių fasadas turi didelį įstiklintų paviršių plotą (Anderson, Luther 2012).

Anglies dvideginio koncentracija, %. Anglies dvideginis (CO_2) yra šalutinis šilumos išsiskyrimo produktas, kurį patalpose skleidžia žmonės ir techninė įranga. Anglies dvideginio koncentracija patalpoje labiausiai priklauso nuo žmonių išskvepiamo oro. Didžiausia koncentracija yra pasiekama, kai santykinai nedidelėje patalpoje būna daug žmonių ir patalpos nėra vėdinamos (Yanes, Yapp 2010). Anglies dvideginio koncentracija turi įtakos žmonių savijautai ir darbingumui. 1.2 lentelėje pateikiamas didelių anglies dvideginio koncentracijų poveikis žmogaus organizmui (Sarbu, Sebachievici 2013). Anglies dvideginio koncentracija patalpose neturėtų viršyti 0,10 %. STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ nurodyta, kad norint užtikrinti vidutinį oro kokybės lygį anglies dvideginio koncentracija patalpose gali būti iki 0,06 % didesnė negu esama anglies dvideginio koncentracija lauke. Vidutinė anglies dvideginio koncentracija lauko ore yra 0,03–0,04 %. Viešojo naudojimo pastatų patalpose, kuriose pagrindinis teršalų šaltinis yra žmonių medžiagų apykaitos produktai, oro kokybės kategorija pasirenkama suinteresuotų projekto dalyvių susitarimu. Nesant aiškių kriterijų, pasirenkama vidutinė patalpų oro kokybės kategorija.

1.2 lentelė. Didelių anglies dvideginio koncentracijų poveikis žmogaus organizmui (Sarbu, Sebachievici 2013)

Table 1.2. The effect of high carbon dioxide concentrations on human body (Sarbu, Sebachievici 2013)

CO ₂ koncentracija, %	Poveikis žmogaus organizmui
3,00	Gilus kvėpavimas, bendras silpnumas
4,00	Galvos svaigimas, pykinimas, pulso padažnėjimas
5,00	Akių aptemimas, po 0,5–1,0 val. gali ištikti mirtis
8,00–10,00	Sąmonės netekimas, staigi mirtis

Mikroklimato parametrų ribinės vertės – tai optimalios mikroklimato parametrų vertės, kurioms esant aplinkoje, nėra neigiamo poveikio sveikatai (HN 42:2009). Lietuvoje mikroklimato parametrai yra nurodyti HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ ir HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“. HN 75:2010 „Įstaiga, vykdanči ikimokyklinio ir (ar) priešmokyklinio ugdymo programą. Bendrieji sveikatos saugos reikalavimai“ papildomai taikoma disertacijoje tiriamiems vaikų lopšelių-darželių pastatams. Kitose Europos šalyse taip pat yra naudojamos vietinės normos, kuriose nurodytos mikroklimato parametrų ribinės vertės. Pavyzdžiui, Suomijoje taikoma „Suomijos patalpų mikroklimato klasifikacija“, kurioje išskiriami reikalavimai patalpoms su natūraliu ir mechaniniu vėdinimu (Hamdy *et al.* 2011). JAV taikomas ANSI/ASHRAE standartas 55-2010 „Darbo vietų šiluminės aplinkos sąlygos“, kuriame išskiriami 6 šiluminės aplinkos parametrai: medžiagų apykaita, aprangos šiluminė varža, oro temperatūra, spinduliavimo temperatūra, oro judėjimo greitis ir santykinė oro drėgmė.

Šiluminis komfortas – tai šiluminės aplinkos parametrų deriniai, kurie ilgai ir sistemingai veikdami darbuotoją užtikrina pasitenkinimo šilumine aplinka pojūtį, nesukeldami darbuotojo kūno šilumą reguliuojančių sistemų įtampas (HN 69:2003). Šiluminis komfortas priklauso nuo žmogaus kūno šilumos balanso, kuriam įtakos turi išorinės aplinkos ir asmeniniai parametrai (1.5 pav.) (Holopainen *et al.* 2014). Šiluminis komfortas vertinamas PMV (numatomojo vidutinio vertinimo) ir PPD (numatomojo nepatenkintųjų procento) rodikliais (LST EN ISO 7730:2006).

1.5 pav. Žmogaus šilumos pojūčio sąlygos (Holopainen *et al.* 2014)

Fig. 1.5. Conditions for human thermal sensation (Holopainen *et al.* 2014)

Pastatuose, kuriuos reiktų atnaujinti, dažniausiai susiduriama su šiomis patalpų mikroklimato problemomis:

- patalpų oro temperatūra yra per žema arba per aukšta;
- patalpų temperatūrų skirtumas 0,10 ir 1,10 m aukštyje yra per didelis;
- patalpų grindų temperatūra yra per žema;
- patalpų santykinė oro drėgmė yra per maža arba per didelė;
- patalpų oro judėjimo greitis yra per didelis;
- anglies dvideginio koncentracija patalpose yra per didelė.

Aukščiau išvardintos problemos atsiranda dėl mažos grindų, sienų, stogo, langų, durų šiluminės varžos, netinkamo vėdinimo, prastos pastatų priežiūros ir kt. priežasčių.

Žmogaus buvimo pastate komfortas priklauso nuo fizinio kontakto su aplinka (oro temperatūra, santykinė oro drėgmė ir kt.) ir daiktais (vibracijos), psichologinės būsenos (saugos jausmas), regos, klausos ir uoslės. Pastatas turi būti suprojektuotas, pastatytas ar atnaujintas taip, kad paminėti jautimai nekeltų grėsmės sveikatai ir atitiktų darbui, poilsiui bei miegui būtinas komfortines aplinkos sąlygas. Lietuvoje, Europoje ir pasaulyje ribines jutimų vertes pastatuose reglamentuoja atskiri teisės aktai: įstatymai, reglamentai, normos, standartai, rekomendacijos (Kračka 2013).

Be patalpų mikroklimato parametrų, svarbūs yra triukšmo, natūralaus ir dirbtinio apšvietimo ir kvapų koncentracijos patalpose parametrai. Nepastovus triukšmas gyvenamuosiuose ir VP pastatuose bei jų aplinkoje vertinamas pagal ekvivalentinį garso slėgio lygį ir maksimalų garso slėgio lygį, o pastovus – pagal ekvivalentinį garso slėgio lygį. VP pastatų patalpose, kuriose vyksta ugdymas, didžiausias leidžiamas triukšmo lygis yra toks: ekvivalentinis garso slėgio lygis 45 dBA, maksimalus garso slėgio lygis 55 dBA. Šios paskirties pastatų aplinkoje, priklausomai nuo paros laiko ir triukšmo šaltinio, leidžiamas didesnis garso slėgio lygis (HN 33:2011). Natūralus ir dirbtinis apšvietimas patalpose vertinamas pagal apšvietos mažiausias ribines vertes. Apšvieta – tai kuriame nors paviršiaus taške į paviršiaus elementą krintantis šviesos srautas, padalintas iš to elemento ploto, matuojamas liuksais (HN 98:2000). Ikimokyklinio ugdymo įstaigose apšvietos mažiausios ribinės vertės žaidimų kambaryje turi būti 300 lx (kai naudojamos liuminescencinės lempos) arba 150 lx (kai naudojamos kaitrinės lempos), miegamajame – 75 lx (kai naudojamos liuminescencinės lempos) arba 30 lx (kai naudojamos kaitrinės lempos) (HN 75:2010). Kvapų koncentracijos ribinės vertės pastatuose bei jų sklypuose įvertinamos matavimo rezultatais, palyginant juos su atitinkamomis kvapo koncentracijos ribinėmis vertėmis. Ribinė vertė gyvenamuosiuose ir VP pastatuose bei jų sklypuose yra 5 europiniai kvapo vienetai (OU_E/m^3) (HN 121:2008).

1.2.3. Pastato energinio naudingumo pagerinimas

Pastatuose ES suvartojama apie 40 % visos suvartojamos energijos (Direktyva 2010/31/ES). Dėl ilgos pastato gyvavimo trukmės daugelis pastatų per savo gyvavimo ciklą tampa energiška neefektyvūs ir techniškai pasenę, todėl yra būtina laiku atlikti pastatų atnaujinimą. Taip pat pastatų atnaujinimas padeda sumažinti energinę priklausomybę. Pastaruoju metu yra didelės galimybės padidinti senų pastatų energijos vartojimo efektyvumą, kuris būtų finansiškai pelningas, atsižvelgiant dar ir į tai, kad energijos išteklių kainos nuolat didėja (Ástmarsson *et al.* 2013).

Didelės šilumos, karšto vandens paruošimo ir elektros energijos sąnaudos, kurios lemia žemą pastato energinį naudingumą, tampa pastatų atnaujinimo priežastimi. Pagal šiuo metu Lietuvoje galiojančius norminius reikalavimus, pastatai klasifikuojami į 9 energinio naudingumo klases: A++, A+, A, B, C, D, E, F ir G. A++ yra aukščiausios energinio naudingumo klasės (energijos beveik nevartojantis) pastatas, o G – žemiausios (Aviža *et al.* 2013). Naujai statomiems ir atnaujinamiems pastatams Lietuvoje keliami vis griežtesni reikalavimai (1.6 pav.).

1.6 pav. Pastato energinio naudingumo klasių reikalavimai (Aviža *et al.* 2013)

Fig. 1.6. Building energy performance requirements for the classes (Aviža *et al.* 2013)

A++ klasės energijos beveik nevartojantis (beveik nulinės energijos) pastatas – tai pastatas, kurio nustatytas energinis naudingumas yra labai aukštas. Reikalingos energijos, kuri beveik lygi nuliui arba kurios suvartojama labai mažai, didžiąją dalį sudaro atsinaujinančių išteklių energija, įskaitant vietoje ar netoliese

se pagamintą atsinaujinančių išteklių energiją. ES nuo 2019 m. naujai statomi VP pastatai, o nuo 2021 m. visi naujai statomi pastatai turi būti beveik nulinės energijos pastatai (Direktyva 2010/31/ES).

Kitose ES valstybėse taip pat naudojama pastatų energinio naudingumo klasifikacija nuo A iki G klasės, tačiau kai kuriose valstybėse klasifikavimas yra detalesnis. Airijoje išskiriamos A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, E1, E2, F ir G energinio naudingumo klasės (ThermWise 2013). Jungtinėje Karalystėje pastato energinio naudingumo sertifikate nurodomas ne tik energijos vartojimo efektyvumas (nuo A iki G klasės), bet ir poveikio aplinkai (CO₂) įvertinimas (nuo A iki G klasės) (Energy 2013). Graikijoje energinio naudingumo klasifikavimas yra panašus kaip Lietuvoje, išskiriamos A+, A, B+, B, C, D, E, F ir G energinio naudingumo klasės (Gelegenis *et al.* 2014).

Pastato energinio naudingumo klasę nustatoma remiantis STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ nurodytais skaičiavimais. Šiame STR pastatų energinio naudingumo skaičiavimams taikoma Europos standartais pagrįsta metodika, kurioje, be faktinės šiluminės pastato charakteristikos, yra numatyti kiti faktoriai, įgaunantys vis daugiau svarbos: šildymo ir oro kondicionavimo įranga, atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas, pasyvaus šildymo ir vėsinimo elementai, apsauga nuo saulės, pastato konstrukcijų šiluminė talpa ir kt. Energinio naudingumo skaičiavimo metodika pagrįsta ne tik tuo laikotarpiu, kai reikalingas šildymas, bet apima metinį pastato energinį naudingumą.

Pastato energinio naudingumo sertifikatas reikalingas parduodant ar nuomojant pastatą, siekiant būsimam pastato ar pastato dalies pirkėjui ar nuomininkui pateikti teisingą informaciją apie pastato energinį naudingumą ir praktinius patarimus apie galimą energinio naudingumo pagerinimą. Pastatų energinio naudingumo sertifikavimą atlieka atestuoti pastatų energinio naudingumo sertifikavimo ekspertai. Energinio naudingumo sertifikavimas neprivalomas kultūros paveldo statiniams, maldos namų (religinės paskirties) pastatams, laikiniems pastatams, nedaug energijos suvartojantiems pastatams, pastatams, kurių naudingasis patalpų plotas ne didesnis kaip 50 m², poilsio bei kitos (sodų) paskirties pastatams, naudojamiems ne ilgiau kaip 4 mėn. per metus, nešildomiems pastatams (LR statybos įstatymas 1996).

Įvairiose šalyse, vertinant pastatų energijos suvartojimą ir energijos sertifikavimą, naudojamų skaičiavimo metodikų gaunami rezultatai nesutampa su realiu pastatų energijos suvartojimu. Taip yra todėl, kad į energijos nuostolių skaičiavimus neįtraukiami neapibrėžti, tačiau energijos suvartojimui didelę įtaką darantys aspektai, kaip darbų kokybė, pastato eksploatacija, pastato naudotojų elgsena. Atnaujinant pastatus ir skaičiuojant investicijų atsipirkimą, remiantis šiomis metodikomis, taip pat gaunami netikslūs rezultatai. Teoriniai ir faktiniai energijos sutaupymo kiekiai gali skirtis net iki 2 kartų (Ruzgys *et al.* 2013a).

1.2.4. Pastato poveikio aplinkai sumažinimas

Poveikio aplinkai sumažinimas yra susijęs su pastato energinio naudingumo pagerinimu. Padidėjus pastato energiniam naudingumui, sumažėja išmetamo anglies dvideginio (šiltnamio efektą sukeliančių dujų) kiekis į aplinką. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos sulaiko saulės infraraudonuosius spindulius atmosferoje. Dėl šio proceso kyla pasaulio atmosferos temperatūra. Remiantis klimato kaitos prognozėmis atmosferos temperatūra iki 2040 m. pakils 1,0–1,5 °C, o iki 2080 m. 1,5–3,5 °C (Valančius 2013). Atmosferos temperatūros didėjimas sukelia ledynų tirpimą ašigaliuose, vandenynų ir jūrų vandens lygio kilimą, susilpnėjusias upių sroves, kai kurių augalų ir gyvūnų rūšių išnykimą, kritulių kiekio kitimą, dažnesnes ir intensyvesnes gamtos stichijas (karščio, šalčio bangas, uraganus) ir kt. Dėl šių veiksnių gausos yra sunku nustatyti konkretų atšilimo poveikį ir vietinių pokyčių mastą (Torgal *et al.* 2013). Tuo tikslu JTO tarpvyriausybinė klimato kaitos komisija siekia sumažinti pasaulyje iki 2050 m. 50–80 % anglies dvideginio emisiją lyginant su 2000 m. lygiu (Ziogou *et al.* 2013).

Pastatų energijos vartojimo mažinimo programos vykdomos europiniu ir pasauliniu mastu. ES Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo išskiriamos šios pagrindinės nuostatos:

- užtikrinti, kad pasaulio atmosferos temperatūra kiltų tik iki 2 °C;
- iki 2020 m. bent 20 % sumažinti ES bendrą šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, palyginus su 1990 m. lygiu (30 %, jei būtų sudarytas tarptautinis susitarimas);
- iki 2020 m. 20 % sumažinti ES suvartojamos energijos kiekį;
- iki 2020 m. 20 % bendro ES suvartojamos energijos kiekio turi sudaryti atsinaujinantys ištekliai;
- pastatų energinio naudingumo gerinimo priemonėse turėtų būti atsižvelgiama į klimato ir vietos sąlygas, taip pat į pastatų vidaus mikroklimatą ir ekonominį efektyvumą;
- VP pastatai turėtų tapti aplinkos apsaugos ir energijos taupymo pavyzdžiu, todėl šiuose pastatuose turėtų būti pirmiausiai padidintas energijos vartojimo efektyvumas;
- nuo 2019 m. nauji VP pastatai, o nuo 2021 m. visi nauji pastatai turi tapti beveik nulinės energijos pastatais;
- pastato energinio naudingumo sertifikatas turi būti parengtas ir išduotas naujai statomiems, parduodamiems ar išnuomojamiems pastatams ar jų dalims;
- pastatų šildymo ir oro kondicionavimo sistemos turi būti periodiškai tikrinamos, nustatomas jų dydžio atitikimas pastato poreikiams.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis išreiškiamas anglies dvideginio ekvivalentu, nes šios dujos sudaro didžiausią dalį iš visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ES apie 82,3 %). Išskiriamos 6 šiltnamio efektą sukeliančios dujos:

- anglies dvideginis (CO_2);
- metanas (CH_4);
- azoto suboksidas (N_2O);
- hidrofluorangliavandeniliai (HFCs);
- perfluorangliavandeniliai (PFCs);
- sieros heksafluoridas (SF_6).

Anglies dvideginio ekvivalentas – tai metano, azoto suboksido, hidrofluorangliavandenilių, perfluorangliavandenilių ir sieros heksafluorido dujų kiekis, kuris sukelia tokį patį poveikį klimato kaitai kaip viena tona anglies dvideginio. Klimato kaita – tai klimato pokyčiai, kurie tiesiogiai ar netiesiogiai atsiranda dėl žmogaus veiklos, keičiančios žemės atmosferos sudėtį, ir kurie netelpa į natūralių klimato svyravimų, stebimų reguliariais laiko tarpais, ribas (LR klimato kaitos... 2009).

ES šalyse anglies dvideginio ekvivalento kiekis nuo 1990 iki 2011 m. sumažėjo 18,4 % (1024,0 mln. t.) ir 2011 m. siekė 4550,0 mln. t. Pagal sektorius anglies dvideginio ekvivalento kiekis ES pasiskirstė taip: energetikoje 79,4 % (3614 mln. t.), žemės ūkyje 10,2 % (461 mln. t.), pramonėje 7,3 % (332 mln. t.), atliekų sektoriuje 2,9 % (133 mln. t.) ir tirpiklių sektoriuje 0,2 % (10 mln. t.). Daugiausiai šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos ES išskiria Vokietija (20,1 %), Jungtinė Karalystė (12,1 %), Prancūzija (10,7 %), Italija (10,7 %) ir Lenkija (8,8 %), tačiau daugiausiai šių dujų emisija pastaraisiais metais sumažėjo taip pat Jungtinėje Karalystėje (41,3 mln. t.), Prancūzijoje (28,7 mln. t.) ir Vokietijoje (27,0 mln. t.). Tai sudarė apie 62,0 % viso ES šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos sumažėjimo. Didžiausią įtaką šiam sumažėjimui turėjo energetikos sektorius, kuriame dėl pastarųjų metų šiltesnių žiemų sumažėjo pastatų šildymo poreikis (EEA 2013).

Lietuvoje šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija sumažėjo daugiausiai iš visų ES valstybių. Lyginant su ataskaitiniais 1990 m., šių dujų emisija sumažėjo 55,7 %, o įvertinant žemės naudojimo, paskirties keitimo ir miškininkystės sektoriaus (ŽNPKM) indėlį – 75,0 % (1.7 pav.). Žemės naudojimo, paskirties keitimo ir miškininkystės sektorius absorbuoja šiltnamio efektą sukeliančias dujas augmenijoje. Daugiausiai šiltnamio dujų emisijos Lietuvoje išskiria energetikos sektorius (54,7 %), kuris yra susijęs su pastatams tiekama energija, tačiau šiame sektoriuje emisijos kiekiai lyginant su ataskaitiniais 1990 m. taip pat sumažėjo daugiausiai – 63,9 %. Bendras Lietuvos išskiriamas anglies dvideginio ekvivalento kiekis 2011 m. buvo 21,6 mln. t. ir sudarė 0,5 % ES kiekio (AAA 2013).

1.7 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos Lietuvoje (AAA 2013)

Fig. 1.7. Greenhouse gas emissions in Lithuania (AAA 2013)

Į atmosferą išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kitimo tendencijos didele dalimi priklauso nuo šalies BVP svyravimų. 1990 m. Lietuva turėjo daug energijos reikalaujančių šalies ūkį. 1991–1993 m. TSRS įvesta energinių resursų blokada sąlygojo didelį ekonominių veiklų sumažėjimą, kuris paveikė BVP sumažėjimą. Vėliau ekonominė situacija Lietuvoje smarkiai keitėsi, o tai turėjo įtakos Lietuvos BVP augimui (AAA 2013).

1.2.5. Pastato estetišio vaizdo pagerinimas

Pastato estetišio vaizdas yra susijęs su pastato architektūra. Atnaujinant pastatą yra keičiamas jo architektūrinis vaizdas, pavyzdžiui, keičiami langai, įstiklinami balkonai (gali skirtis jų sudalinimas), apšiltinamas cokolis ir sienos pasirenkant išorinę tinkuojamą sudėtinę arba išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą, cokolis gali būti apklijuojamas akmens masės ar klinkerio plytelėmis, gali būti įrengiamas šlaitinis stogas vietoje sutapdinto, parenkama nauja stogo danga (čerpių, plieninių lakštų ar kt.), perdaromi balkonai atsižvelgiant į konkretaus pastato konstrukcinę schemą ir t. t. Parenkant statybines medžiagas yra galimybė pasirinkti plačią spalvų gamą (langams, durims, plytelėms, fasadiniams dažams ar plokštėms, stogo dangai). Visos šios priemonės sukuria naują pastato architektūrinį vaizdą, nors pastato proporcijos ir kiti architektūriniai elementai pasikeičia labai nežymiai. Taip pat pastato estetinį vaizdą pagerina tai, kad ant pasta-

to fasado nebelieka biologinių pažeidimų, stipriai nusidėvėję (sutrupėję, supleišęję ir pan.) paviršiai yra suremontuojami ir paslepiami apšiltinant pastatą nauju šilumos izoliacijos sluoksniu (1.8 pav.).

1.8 pav. Pastato estetišio vaizdo pagerinimas
Fig. 1.8. Aesthetic improvement of the building

Daugelis mokslininkų vertindami pastatų atnaujinimą išskiria pastato estetišio vaizdo rodiklį (kriterijų). Pavyzdžiui, serbų mokslininkai Furundzic *et al.* (2012) nagrinėja saulės kolektorių įrengimo galimybę senuose pastatuose. Jie išskiria ekonominius, ekologinius, funkcinius ir estetinius rodiklius. Mokslininkai pažymi, kad estetinės charakteristikos (medžiaga, spalva, paviršiaus tekstūra ir kt.) turi didelę įtaką ekonominiams ir funkciniams rodikliams. Estetinių rodiklių mokslininkai siūlo vertinti atliekant ekspertinį vertinimą ir konkrečiai alternatyvai priskiriant balus nuo 1 iki 5 (didžiausia reikšmė yra geriausia). Suomių mokslininkė Häkkinen (2012) vertindama pastatų atnaujinimą išskiria 15 svarbiausių rodiklių, kurių vienas yra estetinė kokybė. Vokiečių mokslininkai Stieß ir Dunkelberg (2013) teigia, kad individualių namų savininkai pasirinkdami pastato atnaujinimą nemažą dėmesį skiria patalpų komforto, patogumo bei pastato estetišio vaizdo pagerėjimui.

Kai kuriose valstybėse, pavyzdžiui, Airijoje, Danijoje, Vokietijoje ir kt., yra paplitęs atskirų miestų kvartalų ar mikrorajonų pastatų atnaujinimas. Atnaujinant pavienius pastatus, galima sukurti estetiškus atskirus pastatus, tačiau miesto kvartalo ar mikrorajono atžvilgiu toks atnaujinimas yra chaotiškas. Tam tikrame miesto kvartale ar mikrorajone turi vyrauti panašios statybinės medžiagos, spalvos, tekstūros, kurios kurtų konkretaus kvartalo ar mikrorajono bendrą vaizdą. Be to, kompleksiskai atnaujinant pastatus, padidinamas vietovės patrauklumas, pagerinama gyvenamoji aplinka (įrengiamos naujos automobilių stovėjimo aikštelės, pėsčiųjų ir dviračių takai, aplinka pritaikoma žmonėms su negalia).

Pastato estetišio vaizdo vertinimas yra susijęs su subjektyvumu, todėl vertinant pastato estetiką siūloma sukurti vertinimo skalę, pavyzdžiui, nuo 1 iki 10, kurioje kiekvienas balas būtų detalčiai aprašytas. Tokiu būdu atliekant ekspertinį vertinimą yra sumažinamas subjektyvumas.

1.2.6. Pastato rinkos vertės padidėjimas

Kiekvieno pastato vertė priklauso nuo pastato vietos, jo aplinkos, perspektyvių aplinkos vystymo galimybių. Kiti kainai įtakos turintys rodikliai yra pastato aukštingumas, konstrukcijų tipas, naudingasis plotas, statybos metai, pastato ir jo sistemų eksploatacinė būklė. Svarbu nustatyti, kaip pastato atnaujinimas gali pakeisti išvardintų rodiklių poveikį pastato kainai (Bliūdžius 2006). Pastato ar jo dalies rinkos vertės padidėjimas yra labiau aktualus gyvenamiesiems pastatams ir mažiau aktualus savivaldybėms priklausančioms VP pastatams, pavyzdžiui, disertacijoje nagrinėjamiems vaikų lopšeliams-darželiams.

Pastato atnaujinimo ekonominis efektas išryškėja 2 aspektais. Tai tiesioginis investicijų atsipirkimas ir pastato rinkos vertės pokytis. Atnaujinant gyvenamosios paskirties pastatus siekiama, kad būsto rinkos vertės prieaugis būtų didesnis už atnaujinimo išlaidas. Sprendimą atnaujinti ar griauti esamą pastatą lemia jo suderinamumas su aplinka, eksploatacinė būklė, likusi gyvavimo trukmė, pastato nusidėvėjimas ir nusidėvėjimo atkūrimo ekonominis efektyvumas. Netgi įgyvendinus didelių investicijų priemonių paketą, dalis pastato nusidėvėjimo nebus pašalinta, todėl dažniausiai pastato vertė nebus didesnė už tokio pat naujo pastato vertę. Ekonomiškai naudingos atnaujinimo priemonės yra tos, kurios atsiperka per laikotarpį trumpesnį nei šių priemonių ar viso pastato likusią gyvavimo trukmę (Bliūdžius 2006). Lietuvoje kompleksškai atnaujintų pastatų rinkos vertė padidėja apie 15 %, investicijos taip pat sudaro apie 15 % jo esamos vertės. Pastato rinkos vertė padidėja dėl pastato gyvavimo trukmės užtikrinimo, energinio naudingumo pagerinimo, estetinio vaizdo ir patalpų mikroklimato parametrų pagerinimo. Be to, kai kuriuose ES regionuose pastatų atnaujinimui, pagerinančiam pastato energines savybes, yra teikiamos subsidijos. Atnaujintų pastatų rinkos kaina užima tarpinę poziciją tarp senos ir naujos statybos pastatų.

Tam tikrose ES valstybėse (Airijoje, Austrijoje, Belgijoje, Jungtinėje Karalystėje ir Prancūzijoje) buvo atliktas tyrimas, siekiant nustatyti, ar pastato energinio naudingumo klasė turi įtakos jo kainai (pirkimo ir nuomos). Visose tirtose šalyse buvo pastebėta tiesioginė priklausomybė tarp pastato energinio naudingumo pagerėjimo bei pastato ar jo dalies pirkimo ir nuomos kainų padidėjimo. Vienos energinio naudingumo klasės padidėjimas lėmė nekilnojamojo turto pardavimo kainos padidėjimą nuo 1,5 iki 8,0 %, o nuomos – nuo 1,5 iki 4,4 %. Išlyga buvo nustatyta Jungtinės Karalystės Oksfordo mieste. Šiame mieste buvo pastebėta, kad vienos energinio naudingumo klasės padidėjimas sumažina turto vertę 4,0 %. Tokie rezultatai galėjo būti gauti dėl mažos tyrimų imties arba tyrime neįvertinto pastato amžiaus rodiklio. ES valstybėse yra siekiama, kad pastato kaina priklausytų nuo jo energinio naudingumo klasės, pavyzdžiui, kaip buitinių prietaisų. Pastebėta, kad pasiekti šį tikslą trukdo informacijos stoka visuomenėje. Žmonės pastatus vertina ne tik pagal energinio naudingumo klasę, tačiau kartu skiria nemažą dėmesį energijos vartojimo efektyvumui (BIOIS *et al.* 2013).

1.3. Visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo analizė

ES valstybėse, atsižvelgiant į regionų ekonominę padėtį, viešasis sektorius gali didinti pastatų energijos efektyvumą, naudodamasis ES struktūrinės paramos fondų ir Sanglaudos fondo finansinėmis priemonėmis. Struktūrinės paramos fondai yra sudaryti iš Europos regioninės plėtros ir Europos socialinio fondų. Sanglaudos fondas yra skirtas finansuoti transporto, aplinkos infrastruktūros, energetikos ir atsinaujinančios energijos sektorius. 2007–2013 m. finansiniu laikotarpiu iš ES struktūrinių ir Sanglaudos fondų energijos vartojimo efektyvumui ir atsinaujinančios energijos skatinimui buvo skirta $\approx 31,08$ mlrd. Lt (iš jų $\approx 14,85$ mlrd. Lt naujoms ES valstybėms narėms) (ManagEnergy 2013).

Ekonominės, socialinės ir teritorinės sanglaudos stiprinimas mažinant regionų išsivystymo lygio skirtumus yra pagrindinis ES tikslas, įtvirtintas jos sutartyje. 1.9 paveiksle pavaizduoti 2007–2013 m. ES konvergencijos regionai, kuriems buvo skiriama $\approx 82\%$ visų lėšų ir kuriuose gyveno $\approx 36\%$ ES gyventojų. Konvergencija apėmė 86 regionus, kurių BVP vienam gyventojui nesiekė 75% ES vidurkio, ir 16 regionų, kurių BVP vienam gyventojui tik šiek tiek viršijo šią ribą dėl ES plėtros. Konvergencija – tai ES regionų solidarumas, siekiant sumažinti regioninius skirtumus (Laissy 2008).

1.9 pav. 2007–2013 m. ES sanglaudos politikos žemėlapis (EC 2013b)

Fig. 1.9. EU cohesion policy map 2007–2013 (EC 2013b)

ES konvergencijos regionai turi galimybę gauti iki 90 % finansavimą iš ES struktūrinės paramos ir Sanglaudos fondų viešosios paskirties pastatų atnaujinimui. Lietuvoje viešosios paskirties pastatai yra atnaujinami gana sėkmingai, nes valstybės įstaigos turi galimybę gauti iki 100 % finansavimą iš ES struktūrinės paramos ir Sanglaudos fondų bei LR biudžeto bendrojo finansavimo lėšų išorinių atitvarų remontui ir rekonstravimui, pastatų energetikos sistemų modernizavimui. 2007–2013 m. finansiniu laikotarpiu pagal Sanglaudos skatinimo veiksmų programos prioriteto priemones viešosios paskirties pastatų atnaujinimui buvo skirtas 1,10 mlrd. Lt finansavimas. 2007–2013 m. finansinio laikotarpio Sanglaudos skatinimo veiksmų programos prioriteto priemonės, skirtos viešosios paskirties pastatų atnaujinimui, buvo šios:

- viešosios paskirties pastatų renovavimas nacionaliniu lygiu;
- viešosios paskirties pastatų renovavimas regioniniu lygiu;
- viešosios paskirties pastatų renovavimo projektai, atitinkantys 2004–2006 m. bendrojo programavimo dokumento 1.2 priemonės „Energijos tiekimo stabilumo, prieinamumo ir didesnio energetikos efektyvumo užtikrinimas“ naudos ir kokybės vertinimo kriterijus (ES parama 2013).

Ne visi VP pastatai priklauso valstybei ar savivaldybėms, pavyzdžiui, viešbučių, administracinės, prekybos, paslaugų, maitinimo, poilsio, sporto paskirties pastatai. Šie pastatai taip pat yra atnaujinami Lietuvoje, tačiau jau ne ES fondų ir LR biudžeto, o privačiomis lėšomis. Lietuvos statistikos departamentas neturi duomenų, kiek privačių VP pastatų yra atnaujinama ir kiek lėšų yra investuojama į šį atnaujinimą, tačiau pateikiami duomenys, kiek yra atlikta statybos darbų savo jėgomis pagal statinių pogrupius ir statybos darbų rūšis. Pavyzdžiui, 2012 m. VP pastatų rekonstravimo, remonto ir restauravimo darbams (į kuriuos įeina pastatų atnaujinimas) buvo išleista 0,85 mlrd. Lt ES, LR ir privačių lėšų (LSD 2013a). Taigi galima daryti prielaidą, kad privačių lėšų į pastatų atnaujinimą yra investuojama kelis kartus daugiau nei ES fondų ir LR biudžeto lėšų. Lietuvoje yra atliekama santykinai nedaug statybos darbų lyginant su visa ES (apie 0,18 %), todėl galima daryti prielaidą, kad ir VP pastatų atnaujinimui ES išsivysčiusiose valstybėse skiriamas didesnis dėmesys (Eurostat 2013b).

Disertacijoje nagrinėjamos LR savivaldybėms priklausančios ikimokyklinio ugdymo įstaigos. Šiuo metu Lietuvoje yra 660 ikimokyklinio ugdymo įstaigų (1.3 lentelė). 615 ikimokyklinio ugdymo įstaigų priklauso savivaldybėms, likusios 45 – privatiems asmenims. Ikimokyklinio ugdymo įstaigose dirba 12915 pedagogo kvalifikaciją turinčių darbuotojų ir yra ugdoma 104530 auklėtinių (LSD 2013b). Ikimokyklinio ugdymo įstaigos apima vaikų lopšelius-darželius, vaikų darželius ir vaikų mokyklas-darželius. Ikimokyklinis ugdymas pagal ikimokyklinio ugdymo programą teikiamas vaikams nuo gimimo iki 6 metų amžiaus (LR ŠMM 2013).

1.3 lentelė. Ikimokyklinio ugdymo įstaigos Lietuvoje (LSD 2013b)**Table 1.3.** Preschool educational institutions in Lithuania (LSD 2013b)

Apskritis	Ikimokyklinio ugdymo įstaigų skaičius, vnt.	Atnaujintų ikimokyklinio ugdymo įstaigų skaičius, vnt.
Alytaus	23	7
Kauno	148	15
Klaipėdos	81	9
Marijampolės	19	7
Panevėžio	53	12
Šiaulių	65	7
Tauragės	6	1
Telšių	32	4
Utenos	19	7
Vilniaus	214	21
Iš viso:	660	90

Lietuvoje iš viso yra atnaujinta 90 (13,64 %) ikimokyklinio ugdymo įstaigų. Daugiausiai įstaigų yra atnaujinta Marijampolės ir Utenos (po 36,84 %) apskrityse, o mažiausiai Vilniaus (9,81 %) apskrityje. Nedidelė dalis ikimokyklinio ugdymo įstaigų yra geros būklės (nauji ir neseniai pastatyti pastatai), kurių atnaujinti nereikia.

2014–2020 m. finansiniu laikotarpiu vykdant sanglaudos politiką visiems ES regionams numatoma skirti ≈845,94 mlrd. Lt finansinę paramą. ES konvergencijos regionams bus skirta ≈566,26 mlrd. Lt (66,94 %), perėjimo regionams, kur BVP vienam gyventojui sudaro 75–90 % ES vidurkio, ≈110,49 mlrd. Lt (13,06 %) ir išsivysčiusiems regionams ≈169,19 mlrd. Lt (20,00 %). Šio finansinio laikotarpio konvergencijos regionuose gyvena ≈27 %, perėjimo regionuose ≈12 % ir išsivysčiusiuose regionuose ≈61 % ES gyventojų (EC 2013a). 2014–2020 m. finansiniu laikotarpiu iš ES struktūrinių ir Sanglaudos fondų energijos vartojimo efektyvumui ir atsinaujinančios energijos skatinimui bus skirta daugiau nei dvigubai lėšų (≈79,41 mlrd. Lt) lyginant su 2007–2013 m. finansiniu laikotarpiu. ES skiria didelį dėmesį pastatų atnaujinimui, nes tai yra mažai išnaudota sritis (dėl finansavimo trūkumo) ir yra didelės energijos vartojimo taupymo galimybės. Investicijos į pastatų atnaujinimą tam tikrame ES regione viešam ir privačiam sektoriui sukuria įvairią naudą:

- ekonominę;
- socialinę;
- sveikatos apsaugos;
- aplinkos apsaugos;
- politinę (Renovate Europe 2013).

2014–2020 m. finansiniu laikotarpiu LR taip pat gauna ES struktūrinės paramos ir Sanglaudos fondų lėšas, kurias gali naudoti viešosios paskirties pastatų atnaujinimui. 2014–2020 m. ES energinio efektyvumo didinimo programai iš savo fondų Lietuvai numatė skirti daugiau nei dvigubai lėšų ($\approx 2,80$ mlrd. Lt) lyginant su 2007–2013 m. finansiniu laikotarpiu.

ES struktūrinės paramos ir Sanglaudos fondų bei LR biudžeto bendrojo finansavimo lėšas Lietuvoje administruoja VšĮ LVPA. Ši agentūra administruoja lėšas, skirtas verslo, mokslinių tyrimų ir technologinės plėtros, turizmo ir energetikos sektoriams plėtoti (LVPA 2013).

1.4. Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai pastatų atnaujinimo efektyvumui vertinti

Siekiant įvertinti pastatų atnaujinimo efektyvumą, būtina atliktus statybos darbus ir jų kokybę, patalpų mikroklimato parametrus bei kitus pasirinktus rodiklius vertinti kompleksiskai. Pavienių rodiklių vertinimas, atnaujinant pastatus, nesuteikia galutinės informacijos apie viso pastato atnaujinimą. Tokiam kompleksiniam vertinimui yra siūloma taikyti daugiatikslius sprendimo priėmimo metodus, kurie padeda rasti objektyvesnius iškeltos problemos sprendinius.

Daugiatiksliis sprendimo priėmimas – tai vienas iš sprendimo priėmimo būdų, kuris naudojamas norint surasti racionalų sprendinį (alternatyvą). Viena iš svarbiausių tokio uždavinio sprendimo dalių yra tikslo (naudingumo) funkcija. Sprendžiant daugiatikslių optimizacijos uždavinius, įvertinama daug rodiklių. Paprasčiausias ir gerai suprantamas daugelio tikslų jungimo būdas yra skirtingų rodiklių normalizuotų reikšmių, padaugintų iš tų rodiklių svorių, suma (Turskis 2009). Daugiatiksliis sprendimo priėmimas gali būti skirstomas pagal tikslo funkcijos ir argumentų (rodiklių, kriterijų, tikslų) tipą (1.10 pav.). Daugiatiksliis sprendimo priėmimas, kai tikslo funkcija ir argumentai yra diskretieji dydžiai, vadinamas daugiatiksliu diskrečiuoju sprendimo priėmimu (MADM ir MCDM). MADM ir MCDM sąvokos mokslinėje literatūroje yra suprantamos kaip sinonimai. Tai daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai, skirti problemų sprendimui diskrečioje sprendimų erdvėje. Šioje srityje nagrinėjamos alternatyvos, priklausančios baigtinei sprendinių aibei. Racionali alternatyva pasirenkama iš sudaryto alternatyvų rinkinio. Daugiatiksliis sprendimo priėmimas, kai tikslo funkcija ir argumentai yra tolydieji dydžiai, vadinamas daugiatiksliu tolydžiuoju sprendimo priėmimu (MODM). Tai daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai, skirti problemų sprendimui tolydžioje sprendimų erdvėje. Šioje srityje nagrinėjamos alternatyvos, priklausančios begalinei sprendinių aibei. Daugiatikslių tolydžių sprendimo priėmimo metodų tikslas yra sukurti geriausią galimą sprendinį, kuris tenkintų sprendimo priėmėjo iškeltus tikslus ir apribojimus.

1.10 pav. Daugiatikslio sprendimo priemimo skirstymas

Fig. 1.10. Division of multi-purpose decision making

Toliau disertacijoje yra nagrinėjami tik daugiatiksliai diskretieji sprendimo priėmimo metodai. Daugiatikslius vertinimo metodus galima klasifikuoti pagal įvairius požymius: duomenų tipą, sprendimą priimančių asmenų kiekį ir t. t. Turskis (2009) pateikė daugiatikslių vertinimo metodų klasifikavimą pagal sprendimo priėmėjo turimą informaciją ir informacijos ypatybes (1.11 pav.).

1.11 pav. Daugiatikslių vertinimo metodų klasifikavimas (Turskis 2009)

Fig. 1.11. Classification of multi-attribute decision analysis methods (Turskis 2009)

Sprendimo priėmimo procesą sudaro keturi pagrindiniai etapai:

1. Problemų identifikavimas (rodiklių atrinkimas).
2. Rodiklių svorių (reikšmingumų) nustatymas.
3. Alternatyvų (variantų) aprašymas (atrinkimas).
4. Geriausios alternatyvos nustatymas.

Siekiant išspręsti daugiatisles sprendimo priėmimo problemas, iš pradžių reikia išsiaiškinti, kiek rodiklių egzistuoja sprendžiamoje problemoje, ir suvokti problemų sprendimo kelią (1 etapas). Vėliau yra surenkami reikiami duomenys ir informacija apie rodiklių svorius (reikšmingumą, svarbumą), kurie galėtų būti taikomi tolimesniuose skaičiavimuose (2 etapas). Toliau yra nustatomos galimos alternatyvos ar strategijos ir jų reikšmės, kurios užtikrina, kad tikslas bus pasiektas (3 etapas). Galiausiai pasirenkamas tinkamas daugiatislio sprendimo priėmimo metodas, kuris padėtų įvertinti ir išskirti pranašesnes ar tobulintinas alternatyvas ar strategijas (4 etapas) (Tzeng, Huang 2011).

Atsižvelgiant į didelį daugiatislių sprendimo priėmimo metodų skaičių, sprendimo priėmėjas susiduria su sunkia užduotimi pasirinkdamas tinkamą sprendimo priėmimo metodą. Dažniausiai toks sprendimo priėmėjo pasirinkimas būna sunkiai pagrindžiamas. Nei vienas iš daugiatislių sprendimo priėmimo metodų nėra geriausias, kuris galėtų būti taikomas visų problemų sprendimui. Kiekvienas metodas turi savo apribojimų, ypatybių, hipotezių ir perspektyvų. Didelis daugiatislio sprendimo priėmimo metodo skaičiavimo etapų skaičius gali būti vertinamas kaip stiprioji jo pusė, tačiau gali būti vertinamas ir kaip silpnoji jo pusė. Iki šiol nebuvo nustatyta, ar vienas metodas yra pranašesnis už kitą sprendžiant tam tikrą probleminę situaciją. Tam tikslui turėtų būti atlikta sisteminga skirtingų metodų skaičiavimo etapų ir algoritmų aksiominė analizė (Ishizaka, Nemery 2013).

Mokslininkai sprenddami daugiatislio optimizavimo problemas yra pabandę sujungti kelis skirtingus daugiatislius vertinimo metodus. Tinkamas dviejų ar daugiau daugiatislių vertinimo metodų derinys gali būti labai veiksmingas. Tokia integracija gali išnaudoti abiejų metodų privalumus ir panaikinti atskirus tam tikrų metodų apribojimus. Tokių integracijų pavyzdžiai gali būti VIKOR su AHP, PROMETHEE su MAUT ir pan. (Kabir *et al.* 2013). Paskutiniu metu yra kuriamos esamų metodų modifikacijos, pavyzdžiui, metodai yra pritaikomi uždavinių sprendimui, kai rodikliai aprašomi „pilkaisiais“ skaičiais (intervalais).

Yra siūlomi keli būdai norint pasirinkti tinkamą daugiatislį sprendimo priėmimo metodą konkrečioms problemoms spręsti. Guitouni ir Martel pasirenkant metodą pasiūlė kreipti dėmesį tik į svarbiausius daugiatislio sprendimo priėmimo metodo procesus: duomenų įvestį, modeliavimo (sąsajų) ir skaičiavimo sudėtingumą, duomenų išvestį (1.4 lentelė) (Guitouni, Martel 1998; Ishizaka, Nemery 2013).

1.4 lentelė. Daugiatikslių vertinimo metodų įvertinimas (Ishizaka, Nemery 2013)

Table 1.4. Assessment of multi-attribute methods (Ishizaka, Nemery 2013)

Daugiatikslių metodas	Skaičiavimo sudėtingumas	Duomenų įvestis	Duomenų išvestis
MAUT	Sudėtingas	Tikslo (naudingumo) funkcija	Galutiniai rangai (balais)
ANP		Porinis palyginimas santykinėje skalėje	Galutiniai rangai (balais)
MACBETH		Porinis palyginimas intervalų skalėje	Galutiniai rangai (balais)
AHP		Porinis palyginimas santykinėje skalėje	Galutiniai rangai (balais)
ELECTRE		Abejingumo, pranašumo ir veto slenksčiai	Daliniai ir galutiniai rangai (laipsniais)
PROMETHEE		Abejingumo ir pranašumo slenksčiai	Daliniai ir galutiniai rangai (laipsniais ir balais)
TOPSIS		Idealiai geriausias ir blogiausias variantai	Galutiniai rangai (artumo balais)
DEA	Paprastas	Nėra subjektyvių įvesties duomenų	Daliniai rangai (efektyvumo balais)

Chakraborty (2011) atliko kelių daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų vertinimą (1.5 lentelė). Indų mokslininkas siūlo daugiatikslius sprendimo priėmimo metodus vertinti pagal skaičiavimo sudėtingumą, skaičiavimo laiką, matematinių formulių kiekį, patikimumą ir kt.

1.5 lentelė. Daugiatikslių vertinimo metodų įvertinimas (Chakraborty 2011)

Table 1.5. Assessment of multi-attribute decision analysis methods (Chakraborty 2011)

Daugiatikslių metodas	Skaičiavimo sudėtingumas	Skaičiavimo laikas	Formulių kiekis	Patikimumas
AHP	Labai sudėtingas	Labai ilgas	Maksimalus	Blogas
ELECTRE	Vidutiniškai sudėtingas	Ilgas	Vidutinis	Vidutinis
PROMETHEE	Vidutiniškai sudėtingas	Ilgas	Vidutinis	Vidutinis
TOPSIS	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutinis	Vidutinis	Vidutinis
VIKOR	Paprastas	Trumpas	Vidutinis	Vidutinis
MOORA	Labai paprastas	Labai trumpas	Minimalus	Geras

Kai kurių daugiatislių vertinimo metodų algoritmai ir skaičiavimai yra labai sudėtingi, todėl mokslininkai ir programuotojai yra sukūrę įvairių programinės įrangos paketų, kurie padeda atlikti skaičiavimus pasirinktais daugiatisliu vertinimo metodais. Pavyzdžiui, Decision Lab, Smart Picker Pro, Right Choice, Make It Rational, Super Decisions ir kt. (Ishizaka, Nemery 2013).

Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai yra taikomi įvairiose mokslo srityse: socialiniuose, fiziniuose, biomedicinos, technologijos ir kt. moksluose. Ne išimtis ir technologijų mokslo srities statybos inžinerijos mokslo kryptis. 1.6 lentelėje pateikiami kelių daugiatislių sprendimo priėmimo metodų pritaikymas statybos inžinerijos problemoms spręsti.

1.6 lentelė. Daugiatislių sprendimo priėmimo metodų pritaikymas statybos inžinerijoje
Table 1.6. Adjusting multi-attribute decision making methods for civil engineering

Daugiatiksliis metodas	Straipsnio autoriai (metai)	Sprendžiama problema
AHP; Fuzzy AHP	Bitarafan <i>et al.</i> (2012)	Plieninių konstrukcijų rekonstrukcijos metodų vertinimas
	Taylan <i>et al.</i> (2014)	Statybos projektų atrankos ir rizikos vertinimas
ELECTRE	Rogers (2010)	Daugiabučių statybos projektų vertinimas
	Chamzini-Y. (2013)	Rizikų vertinimas kasant tunelius
	Phogat, Singh (2013)	Automechanizmų parinkimas kelių tiesimui
TODIM	Gomes, Rangel (2009)	Pastatų nuomos kainos nustatymas
	Ruzgys <i>et al.</i> (2014)	Esamų ir būsimų (nuo 2021 m.) sienų apšiltinimo reikalavimų palyginimas
TOPSIS	Chiang, Yu (2011)	Nekilnojamojo turto alternatyvų vertinimas
	Pinter, Pšunder (2013)	Statybos projektų sėkmingumo vertinimas
	Sánchez-L. <i>et al.</i> (2013)	Statybos vietos parinkimas saulės jėgainėms
VIKOR	Ginevičius, Podvezko (2006)	Statybos įmonių finansinės būklės vertinimas 7 daugiatisliais sprendimo priėmimo metodais
	Furundzic <i>et al.</i> (2012)	Saulės kolektorių pastatams parinkimas
COPRAS	Kaklauskas <i>et al.</i> (2006)	Langų pasirinkimas atnaujinant pastatus
	Zavadskas <i>et al.</i> (2008)	Pastatų atnaujinimo scenarijų (pagal investicijų dydį) priskyrimas miesto mikrorajonams
MOORA; MULTI-MOORA	Brauers <i>et al.</i> (2008)	Pastatų administratoriaus pasirinkimas
	Kalibatas <i>et al.</i> (2012)	Patalpų mikroklimato vertinimas
	Kračka, Zavadskas (2013)	Sienų apšiltinimo šiluminės varžos parinkimas

1.6 lentelėje pateikta tik nedidelė atliktų mokslinių tyrimų dalis statybos inžinerijos mokslo kryptyje. Kiekvienais metais daugiatisliais sprendimo priėmimo metodais sprendžiamų optimizacijos uždavinių kiekis didėja (Zavadskas, Turskis 2011).

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Atlikus mokslinės ir teisinės literatūros analizę, išskirti šie pagrindiniai pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai: pastato gyvavimo trukmė, patalpų mikroklimato parametrai, pastato energinis naudingumas, poveikis aplinkai, pastato estetiškas vaizdas ir pastato rinkos vertė.
2. ES, įgyvendindama sanglaudos politiką, skatina pastatų atnaujinimą skirdama finansavimą iš struktūrinės paramos ir Sanglaudos fondų energijos vartojimo efektyvumui ir atsinaujinančios energijos skatinimui. Tam tikslui 2014–2020 m. finansiniu laikotarpiu skirta daugiau nei dvigubai lėšų (apie 79,41 mlrd. Lt) lyginant su praėjusiu 2007–2013 m. finansiniu laikotarpiu. Tokiu būdu ES parodo, kad pastatų atnaujinimas yra aktuali problema Europoje.
3. Siekiant įvertinti pastatų atnaujinimo efektyvumą, rekomenduojama atliktus statybos darbus ir jų kokybę, patalpų mikroklimato parametrus bei kitus esminius rodiklius vertinti kompleksiskai, t. y. naudoti daugiatislius sprendimo priėmimo metodus.
4. Atlikus mokslinės literatūros analizę, nustatyta, kad nėra vieno geriausio daugiatislio sprendimo priėmimo metodo visų problemų sprendimui. Kiekvienas metodas turi savo apribojimų, ypatybių, hipotezių ir perspektyvų. Sprendžiant statybos inžinerijos mokslo kryptyje iškilusias problemas, yra taikomi skirtingi daugiatisliai sprendimo priėmimo metodai. Paskutiniu metu yra kuriami skirtingų daugiatislių vertinimo metodų deriniai ir esamų metodų modifikacijos.

Atlikus literatūros analizę, suformuluoti pagrindiniai darbo uždaviniai:

1. Išskirti svarbiausius rodiklius, turinčius įtakos pastatų atnaujinimui.
2. Sukurti pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo (PAEV) modelį, pagrįstą daugiatislių sprendimo priėmimo metodų taikymu.
3. Išanalizuoti pastatų natūrinių tyrimų metodikas ir energinius bei investicijų atsipirkimo ekonominius skaičiavimus, siekiant nustatyti vertinamų rodiklių realias reikšmes.
4. Nustatyti, taikant ekspertinį vertinimą, svarbiausių rodiklių, turinčių didžiausią įtaką pastatų atnaujinimo efektyvumui, svorius.
5. Pasirinktuose VP pastatuose, atliekant natūrinius tyrimus ir ekonominius skaičiavimus, nustatyti vertinamų rodiklių reikšmes prieš ir po šių pastatų atnaujinimo.
6. Naudojant VP pastatų tyrimų rezultatus, pritaikyti PAEV modelį.

Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo sistema

Šiame skyriuje pateikiamas sukurtas pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo (PAEV) modelis, skirtas kuo objektyviau įvertinti pastatų atnaujinimo efektyvumą. Išskiriami vertinami rodikliai, pateikiami rodiklių svorių nustatymo SWARA bei daugiatiksliai TODIM, TOPSIS ir VIKOR vertinimo metodai. Aprašomas Copeland metodas, skirtas įvairiais daugiatiksliais sprendimo priėmimo metodais išspręsto optimizavimo uždavinio rezultatų apibendrinimui. Pateikiama natūriniams tyrimams naudota laboratorinė įranga ir aprašomos naudotos natūrinių tyrimų metodikos.

Skyriaus tematika paskelbti trys autoriaus straipsniai (Ruzgys *et al.* 2013b; Ruzgys *et al.* 2014; Zavadskas *et al.* 2013).

2.1. Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimas

Disertacijoje nagrinėjama VP pastatų atnaujinimo problematika. Siekiant įvertinti ir tobulinti pastatų atnaujinimo technologijas šalyje, yra siūlomas PAEV modelis, kuris pagrįstas daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų taikymu ir natūrinių tyrimų bei ekonominių skaičiavimų atlikimu (2.1 pav.).

2.1 pav. Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo modelis

Fig. 2.1. Model for assessment of the efficiency of building renovation

Tokie sukurti modeliai, naudojant daugiatikslius sprendimo priėmimo metodus ir tyrimus bei skaičiavimus, padeda spręsti įvairias statybos inžinerijos problemas. Pavyzdžiui, esamų ir naujų statybos technologijų įvertinimą šalyje (Zavadskas *et al.* 2013).

PAEV modelį sudaro 12 pagrindinių etapų:

1. Svarbiausių vertinamų rodiklių nustatymas. Norint išspręsti susidariusią problemą, iš pradžių reikia nustatyti rodiklius, kurie apibūdina nagrinėjamą problemą, t. y., sudaryti rodiklių sistemą. Vertinant pastatų atnaujinimą rodiklių sistemą gali sudaryti pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, santykinė oro drėgmė, šilumos energijos sąnaudos, pastato estetiškas vaizdas, paprastasis ir tikrasis atsipirkimo laikas, išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas ir pan. Rekomenduojama pasirinkti matuojamus rodiklius, išreiškiamus skaičiais (kiekybinius rodiklius).
2. Rodiklių svorių nustatymo metodo parinkimas ir skaičiavimų atlikimas. Sprendžiant uždavinius daugiatiksliais vertinimo metodais, dažniausiai reikia nustatyti kiekvieno rodiklio svorį, t. y. jo reikšmingumą, įtaką. Tam tikslui gali būti naudojami SWARA, porinio palyginimo (AHP), ekspertinio vertinimo ar kt. metodai. Pasirinkus metodą, atliekama ekspertų apklausa bei, remiantis pasirinkto metodo algoritmu, atliekami skaičiavimai. Tokiu būdu nustatomas kiekvieno rodiklio svoris. Dažniausiai rodiklių svorių suma yra lygi 1.
3. Vertinamų alternatyvų (objektų) nustatymas. Siekiant įvertinti ir tobulinti pastatų atnaujinimo technologijas šalyje, mokslo tiriamaisiais tikslais yra atrenkamos alternatyvos, kurios bus išsamiai ištirtos. Alternatyvos taip pat gali būti nustatomos pagal gautus privačius užsakymus.
4. Vertinamų alternatyvų rodiklių reikšmių nustatymas. Tai daugiausiai laiko užimantis PAEV etapas. Jo metu nustatytos rodiklių reikšmės turi didžiausią įtaką galutiniam įvertinimui. Vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą, yra atliekami natūriniai tyrimai ir ekonominiai skaičiavimai prieš ir po pastatų atnaujinimo: nustatoma patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, apskaičiuojamas paprastasis ir tikrasis atsipirkimo laikas ir t. t.
5. Sprendimo priėmimo duomenų lentelės sudarymas, įvertinant rodiklių pokyčius. Atliekant natūrinius tyrimus ir skaičiavimus prieš ir po pastatų atnaujinimo, yra gaunamos rodiklių reikšmės. Didesni teigiami rodiklių pokyčiai yra suprantami kaip pastato atnaujinimo metu pasiektas geresnis rezultatas. Pavyzdžiui, kuo didesnis pastato bendro fizinio nusidėvėjimo sumažėjimas, tuo atnaujinimas yra efektyvesnis.
6. Sprendimo priėmimo duomenų lentelės sudarymas, įvertinant rodiklių pasiektas reikšmes. Atliekant natūrinius tyrimus ir skaičiavimus po pastatų atnaujinimo, yra gaunamos svarbiausios rodiklių reikšmės. Šios reikšmės turi tenkinti reglamentų ir normų privalomuosius reikalavimus. Kuo šios reikšmės yra arčiau optimalių reikšmių, tuo yra geriau.

7. Daugiatikslio uždavinio sprendimo metodo parinkimas ir skaičiavimų atlikimas. Nustačius ir apskaičiavus reikiamas rodiklių reikšmes bei jų svorius, yra pasirenkami daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai, pavyzdžiui, TODIM, TOPSIS ir VIKOR, kuriais bus atliekami skaičiavimai. Rekomenduojama pasirinkti kelis daugiatikslius vertinimo metodus, siekiant gauti objektyvesnį galutinį rezultatą. Šiame etape atliekami skaičiavimai įvertinant rodiklių pokyčių reikšmes.
8. Šis etapas yra toks pat kaip 7, tik skaičiavimai yra atliekami įvertinant rodiklių pasiektas reikšmes.
9. Įtakos galutiniam atnaujinimo įvertinimui priskyrimas. Šiame etape yra priskiriama, kokią įtaką vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą turi rodiklių pokyčiai.
10. Šis etapas yra toks pat kaip 9, tik įtaka priskiriama rodiklių pasiektoms reikšmėms. Pastatų atnaujinimą apibūdina jų būklė po atnaujinimo, tačiau atnaujinimo efektyvumą apibūdina būklės prieš ir po atnaujinimo palyginimas, todėl disertacijoje rodiklių pasiektoms reikšmėms priskiriama 60 %, o rodiklių pokyčiams 40 % įtaka.
11. Abiejų skaičiavimų (įvertinant rodiklių pokyčius ir rodiklių pasiektas reikšmes) apibendrinimas. Skaičiavimams skirtingais daugiatiksliais sprendimo priėmimo metodais apibendrinti gali būti naudojami vidurkio, Borda, Copeland, pakartotinės selektonovacijos ar kt. metodai. Šiame etape skirtingais daugiatiksliais sprendimo priėmimo metodais suskačiuoti rezultatai suvedami į galutinę alternatyvų prioritetų eilę.
12. Rezultatų analizė ir išvadų parengimas. Atlikus PAEV mokslo tiriamaisiais tikslais, yra analizuojami gauti rezultatai, kodėl alternatyvos yra išdėstytos tam tikra prioriteto eile. Nustatomi rodikliai, kurie lėmė vienos alternatyvos pranašumą prieš kitas, pateikiamos išvados ir rekomendacijos pastatų atnaujinimo technologijoms tobulinti.

PAEV modelis išsiskiria tuo, kad pastatų atnaujinimas vertinamas 2 būdais: įvertinant rodiklių pokyčių reikšmes ir jų pasiektas reikšmes.

2.2. Vertinamų rodiklių nustatymas

Atlikus mokslinės ir teisinės literatūros analizę, išskirti 10 svarbiausių rodiklių, kurie bus tiriami vertinant pastatų atnaujinimą: pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, santykinė oro drėgmė, šilumos energijos sąnaudos, pastato estetiškas vaizdas, paprastasis ir tikrasis atsipirkimo laikas, išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas, fasadų vandens įgertis ir pirmo aukšto grindų temperatūra.

Kai kuriems tiriamiems rodikliams yra sukurtas optimizavimo veiksnys, nes tokie matuojami dydžiai, kaip oro temperatūra, santykinė oro drėgmė ir pirmo aukšto grindų temperatūra, neturi vienos optimizavimo krypties. Šie rodikliai nėra nei minimizuojami, nei maksimizuojami, todėl įvedamas optimizavimo veiksnys, kuris nustatomas pritaikius kvadratinę funkciją, kurios grafikas yra parabolė. Kvadratinė funkcija yra apskaičiuojama remiantis rodikliui HN 75:2010 nustatytomis leidžiamomis ribomis (komforto zona), optimalia verte ir dešimtbale vertinimo sistema. Oro temperatūros patalpose veiksniai nustatyti sudaromos 3 lygtys:

$$\begin{cases} a_2 \cdot 20,0^2 + b_2 \cdot 20,0 + d_2 = 0,9 \\ a_2 \cdot 23,0^2 + b_2 \cdot 23,0 + d_2 = 0,9, \\ a_2 \cdot 21,5^2 + b_2 \cdot 21,5 + d_2 = 1,0 \end{cases} \quad (2.1)$$

čia 20,0 ir 23,0 – leidžiamos temperatūrų ribos, °C (pagal HN 75:2010); 21,5 – optimali patalpų oro temperatūra, °C. Kadangi optimizavimo veiksnio vertė kinta nuo 0,0 iki 1,0, tai optimaliai reikšmei suteikiama 1,0 vertė, o ribinėms temperatūrų vertėms 0,9 vertė (kaip „9“ – labai gera vertė dešimtbaleje vertinimo sistemoje).

Išsprendus tiesinių lygčių sistemą, gaunama kvadratinė funkcija (2.2 pav.):

$$c_2 = -0,044 \cdot \Theta_o^2 + 1,911 \cdot \Theta_o - 19,544, \text{ kai } \Theta_o \leq 16,76 \text{ ir } \Theta_o \geq 26,24, \text{ tai } c_2 = 0, \quad (2.2)$$

čia c_2 – oro temperatūros patalpose veiksnys, Θ_o – patalpose išmatuota oro temperatūra, °C.

2.2 pav. Oro temperatūros patalpose veiksnys

Fig. 2.2. Factor of indoor air temperature

Tokia pačia tvarka yra nustatomi ir kitų dviejų rodiklių veiksniai. Santykinėi oro drėgmei nustatomos 40,0 ir 60,0 % ribinės vertės (pagal HN 75:2010), kurioms priskiriama 0,9 veiksnio vertė ir 50,0 % optimali reikšmė, kuriai priskiriama 1,0 veiksnio vertė:

$$\begin{cases} a_4 \cdot 40,0^2 + b_4 \cdot 40,0 + d_4 = 0,9 \\ a_4 \cdot 60,0^2 + b_4 \cdot 60,0 + d_4 = 0,9 \\ a_4 \cdot 50,0^2 + b_4 \cdot 50,0 + d_4 = 1,0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Išsprendus sudarytą lygčių sistemą, gaunama kvadratinė funkcija santykinės oro drėgmės patalpose veiksniai nustatyti (2.3 pav.):

$$c_4 = -0,001 \cdot \Phi_o^2 + 0,100 \cdot \Phi_o - 1,500, \text{ kai } \Phi_o \leq 18,38 \text{ ir } \Phi_o \geq 81,62, \text{ tai } c_4 = 0, \quad (2.4)$$

čia c_4 – santykinės oro drėgmės patalpose veiksnys, Φ_o – patalpose išmatuota santykinė oro drėgmė, %.

2.3 pav. Santykinės oro drėgmės patalpose veiksnys

Fig. 2.3. Factor of indoor relative humidity

Pirmo aukšto grindų temperatūrai nustatomos 18,0 ir 26,0 °C ribinės vertės (pagal HN 75:2010), kurioms priskiriama 0,9 veiksnio vertė ir 22,0 °C optimali reikšmė, kuriai priskiriama 1,0 veiksnio vertė:

$$\begin{cases} a_{10} \cdot 18,0^2 + b_{10} \cdot 18,0 + d_{10} = 0,9 \\ a_{10} \cdot 26,0^2 + b_{10} \cdot 26,0 + d_{10} = 0,9 \\ a_{10} \cdot 22,0^2 + b_{10} \cdot 22,0 + d_{10} = 1,0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Išsprendus sudarytą lygčių sistemą, gaunama kvadratinė funkcija pirmo aukšto grindų temperatūros veiksniai nustatyti (2.4 pav.):

$$c_{10} = -0,006 \cdot \Theta_g^2 + 0,275 \cdot \Theta_g - 2,025, \text{ kai } \Theta_g \leq 9,35 \text{ ir } \Theta_g \geq 34,65, \text{ tai } c_{10} = 0, \quad (2.6)$$

čia c_{10} – pirmo aukšto grindų temperatūros veiksnys, Θ_g – išmatuota pirmo aukšto grindų temperatūra, °C.

2.4 pav. Grindų temperatūros veiksnys

Fig. 2.4. Factor of floor temperature

2.2, 2.3 ir 2.4 paveiksluose pateikti optimizavimo veiksmų grafikai.

2.3. Rodiklių svorių nustatymo SWARA metodas

Rodiklių svoriai parodo, kiek kartų vieno rodiklio naudingumas (svarbumas) yra didesnis ar mažesnis už kito rodiklio. Disertacijoje rodiklių svoriams nustatyti taikomas nuoseklus, laipsniškas porinio rodiklių santykinės svarbos lyginimo (SWARA) metodas. Šis metodas sukurtas 2008 m. ir buvo taikytas įvairiems uždaviniais spęsti.

Norint atlikti skaičiavimus SWARA metodu, iš pradžių reikia nustatyti svarbiausius vertinamus rodiklius. Vėliau galutiniai rodiklių svoriai nustatomi tokiais etapais (Keršulienė 2008; Keršulienė *et al.* 2010):

1. Ekspertų apklausa. Apklausoje dalyvaujantys ekspertai ($r \geq 7$) bendrai surikiuoja rodiklius pagal svarbą: svarbiausiam rodikliui priskiriamas pirmas rangas, mažiau svarbiam – antras rangas ir t. t.

2. Ekspertų rodiklių vertinimas. Kiekvienas ekspertas vienetiniais dydžiais (nuo 0,00 iki 1,00) nurodo, kiek c_j rodiklis jam yra svarbesnis už c_{j+1} rodiklį. Nustatomos visų ekspertizėje dalyvavusių ekspertų rodiklių santykinės lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės:

$$s_{j \leftrightarrow j+1} = \frac{\sum_{h=1}^r c_{j \leftrightarrow j+1}}{r}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.7)$$

3. Nustatomi rodiklių santykinės lyginamosios svarbos koeficientai k_j :

$$k_j = s_{j \leftrightarrow j+1} + 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.8)$$

pirmo rango rodikliui priskiriama $k_1 = 1$.

4. Nustatomi perskaičiuoti (tarpiniai) rodiklių svoriai:

$$w_j = \frac{w_{j-1}}{k_j}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.9)$$

pirmam rodikliui priskiriama $w_1 = 1$.

5. Nustatomi galutiniai rodiklių svoriai:

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.10)$$

čia c – rodiklis; j – rodiklio numeris, vnt.; n – rodiklių skaičius, vnt.; $s_{j \leftrightarrow j+1}$ – rodiklių lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės, vnt. d.; h – ekspertas; r – ekspertų skaičius, vnt.; k_j – rodiklių lyginamosios svarbos koeficientas; w_j – perskaičiuotas (tarpinis) rodiklio svoris; q_j – galutinis rodiklio svoris, kuris naudojamas tolimesniuose daugiatikslų vertinimo metodų skaičiavimuose.

2.4. Daugiatiksliai vertinimo TODIM, TOPSIS, VIKOR ir rezultatų apibendrinimo Copeland metodai

Disertacijoje yra taikomi 3 daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai: TODIM, TOPSIS ir VIKOR. Skirtingais daugiatiksliais vertinimo metodais gauti rezultatai apibendrinami naudojant Copeland metodą.

Daugelis pasaulio mokslininkų sutinka, kad diskretiems daugiatislės optimizacijos uždaviniams spręsti reikia taikyti kelis skirtingus daugiatislio vertinimo metodus, o gautus sprendinius reikia palyginti. Kiekvieno daugiatislio sprendimo priėmimo metodo pagrindas yra skirtinga tikslo funkcijas grindžianti teorija ir su tuo susietas rodiklių normalizavimo metodas. Visuose disertacijoje pasirinktuose metoduose (TODIM, TOPSIS ir VIKOR) taikoma skirtinga tikslo funkcija ir rodiklių normalizavimo būdas.

TODIM. Tai interaktyvus daugiatislis sprendimo priėmimo metodas, kuris buvo sukurtas 1992 m. ir yra pagrįstas perspektyvų teorija. TODIM metodu daugiatislio optimizavimo uždaviniai yra sprendžiami tokiais etapais (Gomes, Lima 1992; Gomes *et al.* 2009; Moshkovich *et al.* 2011):

1. Visų rodiklių svorių suma turi būti lygi 1:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_j = 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.11)$$

2. Normalizuojamos kiekybinės maksimizuojamų rodiklių reikšmės:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.12)$$

3. Normalizuojamos kiekybinės minimizuojamų rodiklių reikšmės:

$$\bar{p}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.13)$$

$$\bar{p}'_{ij} = \frac{\min_i \bar{p}_{ij}}{\bar{p}_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.14)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\bar{p}'_{ij}}{\sum_{i=1}^m \bar{p}'_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.15)$$

4. Apskaičiuojami individualūs rodiklių svoriai, atsižvelgiant į svarbiausio rodiklio svorį:

$$q_{jc} = \frac{q_j}{q_c}, \quad j = \overline{1, n}, \quad \text{čia } q_c = \max_j q_j. \quad (2.16)$$

5. Apskaičiuojamas kiekvieno rodiklio visų alternatyvų porų a_i ir a_k „vienrodiklis dominavimas“:

$$\Psi_j(a_i, a_k) = \begin{cases} -\sqrt{\frac{|\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{kj}| \cdot \sum_{j=1}^n q_{jc}}{q_{jc}}}, & \text{jei } \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{kj} < 0 \\ 0, & \text{jei } \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{kj} = 0 \\ \sqrt{\frac{|\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{kj}| \cdot q_{jc}}{\sum_{j=1}^n q_{jc}}}, & \text{jei } \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{kj} > 0 \end{cases}, \quad i, k = \overline{1, m}. \quad (2.17)$$

6. Apskaičiuojamas visų alternatyvų porų a_i ir a_k „santykinis dominavimas“:

$$\delta(a_i, a_k) = \sum_{j=1}^n \Psi_j(a_i, a_k). \quad (2.18)$$

7. Apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos a_i „globalus dominavimas“:

$$G(a_i) = \sum_{k=1}^m \delta(a_i, a_k). \quad (2.19)$$

8. Apskaičiuojama kiekvienos alternatyvos a_i „santykinė bendra vertė“:

$$V(a_i) = \frac{G(a_i) - \min_i G(a_i)}{\max_i G(a_i) - \min_i G(a_i)}, \quad (2.20)$$

čia a – alternatyva; c – rodiklis; i, k – alternatyvos numeris, vnt.; j – rodiklio numeris, vnt.; m – alternatyvų skaičius, vnt.; n – rodiklių skaičius, vnt.; x_{ij} – sprendimo priėmimo matricos nariai; $\bar{p}_{ij}; \bar{p}'_{ij}$ – tarpiniai matricos nariai (minimizuojamiems rodikliams); $\bar{x}_{ij}, \bar{x}_{kj}$ – normalizuotos matricos nariai; q_j – rodiklio svoris; q_c – didžiausias rodiklių svoris; q_{jc} – individualus rodiklio svoris; $\Psi_j(a_i, a_k)$ – alternatyvų „vienrodiklis dominavimas“; $\delta(a_i, a_k)$ – alternatyvų „santykinis dominavimas“; $G(a_i)$ – kiekvienos alternatyvos „globalus dominavimas“; $V(a_i)$ – alternatyvos „santykinė bendra vertė“.

Pagal (2.20) formulę apskaičiuota „santykinė bendra vertė“ gaunama nuo 0 iki 1. Remiantis šia verte yra ranguojamos alternatyvos (sudaroma prioritetų eilė). Kuo didesnė „santykinė bendra vertė“, tuo alternatyva yra racionalesnė.

TOPSIS. Tai artumo idealiam taškui sprendimo priėmimo metodas, kuris buvo sukurtas 1981 m. Šis metodas pagrįstas principu, kad pasirinkta geriausia alternatyva turi turėti mažiausią atstumą iki idealiai geriausio sprendimo ir didžiausią atstumą iki idealiai blogiausio sprendimo. TOPSIS metodu daugiatikslio optimizavimo uždaviniai yra sprendžiami tokiais etapais (Hwang, Yoon 1981):

1. Visų rodiklių svorių suma turi būti lygi 1:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_j = 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.21)$$

2. Normalizuojamos kiekybinės rodiklių reikšmės, norint gauti bedimensines tarpusavyje palyginamas vertes:

$$\bar{x}_{ij}' = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.22)$$

3. Apskaičiuojamos svartinės normalizuotos rodiklių reikšmės:

$$\bar{v}_{ij} = \bar{x}_{ij}' \cdot q_j, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.23)$$

4. Nustatoma idealiai geriausia ir idealiai blogiausia alternatyva:

$$a^+ = \left\{ \left(\max_i \bar{v}_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i \bar{v}_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} = \{ \bar{v}_1^+, \bar{v}_2^+, \dots, \bar{v}_n^+ \}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.24)$$

$$a^- = \left\{ \left(\min_i \bar{v}_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i \bar{v}_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} = \{ \bar{v}_1^-, \bar{v}_2^-, \dots, \bar{v}_n^- \}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.25)$$

5. Apskaičiuojami atstumai tarp lyginamųjų ir idealiai geriausios bei idealiai blogiausios alternatyvos:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^+)^2}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.26)$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^-)^2}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.27)$$

6. Apskaičiuojamas alternatyvų santykinis atstumas iki idealaus:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.28)$$

čia i – alternatyvos numeris, vnt.; j – rodiklio numeris, vnt.; m – alternatyvų skaičius, vnt.; n – rodiklių skaičius, vnt.; x_{ij} – sprendimo priėmimo matricos nariai; $\bar{x}_{ij}$ – normalizuotos matricos nariai; $\bar{v}_{ij}$ – svertinės normalizuotos matricos nariai; $\bar{v}_j^+$ – idealiai geriausios alternatyvos svertinės normalizuotos rodiklių reikšmės; $\bar{v}_j^-$ – idealiai blogiausios alternatyvos svertinės normalizuotos rodiklių reikšmės; q_j – rodiklio svoris; a^+ – idealiai geriausia alternatyva; a^- – idealiai blogiausia alternatyva; J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; L_i^+ – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos; L_i^- – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos; K_i – alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus.

Pagal (2.28) formulę apskaičiuota K_i vertė gaunama nuo 0 iki 1. Remiantis šia verte yra ranguojamos alternatyvos (sudaroma prioritetų eilė). Kuo didesnis alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus, tuo alternatyva yra racialesnė.

VIKOR. Tai daugiatiksliis sprendimo priėmimo metodas, kuris buvo sukurtas 1998 m. Šio metodo tikslo funkcija yra panaši į TOPSIS metodo, o artumas idealiam sprendiniui įvertinamas taikant kitokį normalizavimo būdą (tiesinį). VIKOR metodu daugiatikslio optimizavimo uždaviniai yra sprendžiami tokiais etapais (Opricovic 1998; Opricovic, Tzeng 2004):

1. Visų rodiklių svorių suma turi būti lygi 1:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_j = 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.29)$$

2. Nustatomos geriausios ir blogiausios rodiklių reikšmės:

$$v_j^+ = \max_i x_{ij}, \quad v_j^- = \min_i x_{ij} \quad (\text{kai } j \in J), \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.30)$$

$$v_j^+ = \min_i x_{ij}, \quad v_j^- = \max_i x_{ij} \quad (\text{kai } j \in J'), \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.31)$$

3. Apskaičiuojami alternatyvų „grupės naudingumas“ ir „individualus priešiškusmas“:

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_j \cdot \frac{(v_j^+ - x_{ij})}{v_j^+ - v_j^-}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.32)$$

$$R_i = \max_j \left(\frac{q_j (v_j^+ - x_{ij})}{v_j^+ - v_j^-} \right), \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.33)$$

4. Apskaičiuojamos alternatyvų indeksų vertės:

$$Q_i = \frac{v \cdot (S_i - S^+)}{S^- - S^+} + \frac{(1-v) \cdot (R_i - R^+)}{R^- - R^+}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.34)$$

$$S^+ = \min_i S_i, \quad S^- = \max_i S_i, \quad (2.35)$$

$$R^+ = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i, \quad (2.36)$$

čia i – alternatyvos numeris, vnt.; j – rodiklio numeris, vnt.; m – alternatyvų skaičius, vnt.; n – rodiklių skaičius, vnt.; x_{ij} – sprendimo priėmimo matricos nariai; v_j^+ – geriausia rodiklio reikšmė; v_j^- – blogiausia rodiklio reikšmė; J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; q_j – rodiklio svoris; S_i – alternatyvos „grupės naudingumas“; R_i – alternatyvos „individualus priešiškusmas“; v – „rodiklių daugumos“ strategijos reikšmingumas (kompromisiniam sprendimams priimama $v = 0,5$); Q_i – alternatyvos indekso vertė.

Pagal (2.34) formulę apskaičiuota alternatyvos indekso vertė gaunama nuo 0 iki 1. Remiantis šia verte yra ranguojamos alternatyvos (sudaroma prioritetų eilė). Kuo mažesnė alternatyvos indekso vertė, tuo alternatyva yra racionali. Geriausią alternatyvą galima išskirti iš kitų, jei yra tenkinamos 2 sąlygos:

1. „Priimtinas pranašumas“:

$$Q_{A''} - Q_{A'} \geq DQ, \quad (2.37)$$

čia $Q_{A'}$ – geriausios alternatyvos indekso vertė; $Q_{A''}$ – antros pagal gerumą alternatyvos indekso vertė; $DQ = \frac{1}{m-1}$.

2. „Priimtinas stabilumas“. A' alternatyva taip pat turi būti geriausiai ranguojama pagal S ir/ar R , kurių mažesnės reikšmės yra geresnės.

Jei nors viena iš šių dviejų sąlygų netenkinama, tuomet siūlomas kompromisinis sprendimas:

- A' yra labai artima A'' , jei netenkinama tik 2 sąlyga;
- alternatyvos $A', A'', \dots, A^M$ yra labai artimos, jei netenkinama 1 sąlyga, A^M nustatoma pagal lygtį $Q_{A^M} - Q_{A'} < DQ$ galimam maksimaliam alternatyvų skaičiui M .

Copeland. Sprendžiant tą patį uždavinį skirtingais daugiatisiais vertinimo metodais gaunami panašūs, tačiau ne visada vienodi rezultatai. Copeland meto-

das gali būti naudojamas skirtingais daugiatisiais vertinimo metodais gautų rezultatų apibendrinimui (Copeland 1951). Rezultatams palyginti yra sudaroma matrica, kurios visi stulpeliai sudaryti iš skirtingais daugiatisiais metodais gautų prioritetų eilučių. Sudėjus alternatyvų racionalumo skaitines reikšmes ir padalijus jas iš taikytų metodų skaičiaus, gaunamas vidurkis. Vėliau lyginant vidurkių reikšmes sudaroma kvadratinė matrica, kurioje 1 reiškia, kad alternatyva, kurios eilutėje jis yra, yra geresnė už alternatyvą, kurios stulpelyje jis yra. 0 reiškia, kad alternatyva nėra geresnė arba jų racionalumas vienodas. Paskutinis matricos stulpelis gaunamas sumuojant kiekvienos alternatyvos santykinio racionalumo reikšmes („pergales“ $\sum P_i$). Paskutinė matricos eilutė taip pat gaunama sumuojant kiekvienos alternatyvos santykinio racionalumo reikšmes („nuostolius“ $\sum N_i$) (Ustinovičius, Zavadskas 2004). Geriausia alternatyva:

$$\max_i \left(\sum P_i - \sum N_i \right). \quad (2.38)$$

Kuo yra didesnė pagal (2.38) formulę apskaičiuota alternatyvos reikšmė, tuo alternatyva yra racialesnė (geresnė).

2.5. Pastatų natūriniais tyrimams naudota laboratorinė įranga

Atliekant natūrinius tyrimus vaikų lopšelių-darželių pastatuose prieš ir po atnaujinimo buvo naudojami šie prietaisai ir laboratorinė įranga (2.5 pav.):

1. Fotoaparatas „Fujifilm“ (modelis Finepix HS 20 EXR).
2. Karsten cilindras.
3. Termovizorius „FlexCam“ (modelis IR FlexCam Pro®).
4. Duomenų kaupiklis „Ahlborn“.
5. Išorės (lauko) oro temperatūros matavimo jutiklis „Ahlborn“.
6. Vidaus (patalpos) oro temperatūros ir santykinės oro drėgmės matavimo jutiklis „Ahlborn“.
7. Paviršiaus temperatūros matavimo jutiklis „Ahlborn“.
8. Jaučiamosios oro temperatūros matavimo jutiklis „Ahlborn“.
9. Oro judėjimo greičio matavimo jutiklis „Ahlborn“.
10. Anglies dvideginio matavimo jutiklis „Ahlborn“.
11. Šilumos srauto matavimo plokštelė (jutiklis) „Ahlborn“.
12. Nešiojamas kompiuteris su programine įranga.

2.5 pav. Natūriniai tyrimams naudojami prietaisai ir laboratorinė įranga
 Fig. 2.5. Devices and laboratory equipment for field experiments

Natūriniais tyrimams naudojama laboratorinė įranga yra metrologiškai patikrinta ir išbandyta.

2.6. Pastatų natūrinių tyrimų metodikos

Toliau pateikiamos tiriamuose pastatuose naudotos natūrinių tyrimų metodikos: fizinio nusidėvėjimo įvertinimo, fasadų įgerties tyrimų, termovizinių tyrimų, patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimų, atnaujinimo ekonominių skaičiavimų, estetinio vaizdo vertinimo. Be išvardintų tyrimų, vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą galima matuoti patalpų apšviestumą, akustines ir garso izoliacines savybes, kenksmingų medžiagų kiekį.

2.6.1. Fizinio nusidėvėjimo įvertinimas

Defektas – tai objekto (statybinių medžiagų, elementų, konstrukcijų) neatitiktis nustatytiems reikalavimams, t. y. kokybės rodiklių parametrų nuokrypiai nuo normų ar projekto reikalavimų, atsirandantys gamybos, transportavimo ar statybos darbų metu. Pažeidimas (pažaida) – tai objekto (statybinių medžiagų, elementų, konstrukcijų) neatitiktis nustatytiems reikalavimams, t. y. kokybės rodiklių parametrų nuokrypiai nuo normų ar projekto reikalavimų, atsirandantys eksploataavimo metu. Praktikoje svarbu nepainioti sąvokų „defektas“ ir „pažeidimas“. Pavyzdžiui, didelis mūro siūlių storis laikomas defektu, o mūro supleišėjimas – pažeidimu dėl mūro siūlių defekto. Objekto virsmas iš tvarkingos būklės į netvarkingą vyksta dėl defektų ir pažeidimų. Jei objektas patenka į nedarbingą būklę, tai toks įvykis laikomas gedimu. Gedimas – tai tokia objekto būklė, kai jis iš dalies ar visiškai praranda kokybę (Venckevičius, Janickas 1996). Fizinis nusidėvėjimas – tai statinio elementų pradinių fizikinių-techninių savybių praradimas: stiprumo mažėjimas, izoliacinių savybių, išvaizdos blogėjimas ir t. t. Jo priežastis yra natūralus medžiagų senėjimas, įvairių apkrovų ir kitų veiksnių neigiama įtaka statiniams naudojimo metu (Venckevičius, Žilinskas 2002).

Šiuo metu Lietuvoje nėra privalomųjų fizinio nusidėvėjimo vertinimo taisyklių ar normų. Įvertinus tai, kad tiriami pastatai buvo statyti praėjusiame amžiuje, kai Lietuva priklausė TSRS, nustatant tiriamų pastatų fizinį nusidėvėjimą buvo remiamasi BCH 53-86 (p) fizinio nusidėvėjimo įvertinimo metodika. Atsižvelgus į tai, kad ši metodika pritaikyta būtent praėjusio amžiaus pastatų fiziniam nusidėvėjimui vertinti, kai pastatai buvo statomi pagal tuo metu vyravusią statybos technologiją, juose buvo panaudotos to laikmečio statybinės medžiagos (pamatų, sienų, perdangų elementai, stogo danga, langai, durys ir t. t.), galima teigti, kad ji geriausiai tinka Lietuvoje TSRS laikotarpiu pastatytų pastatų fizi-

niam nusidėvėjimui vertinti. Be to, ši metodika yra žymiai detalesnė nei lietuviška, pateikiama statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvuose. Lietuviška metodika yra pagrįsta BCH 53-86 (p) metodikos principais.

Fizinis nusidėvėjimas išreiškiamas reikalingų remonto darbų, pašalinančių elementų, konstrukcijų, inžinerinių sistemų ar viso pastato pažeidimus ir pastato atkuriamosios vertės santykiu. Fizinis atskirų elementų, konstrukcijų, inžinerinių sistemų nusidėvėjimas nustatomas analizuojant fizinio nusidėvėjimo požymius, pastebėtus vizualinio tyrimo metu, ir lyginant juos su BCH 53-86 (p) metodikoje nurodytais požymiais. Elementų, konstrukcijų ar inžinerinių sistemų, turinčių skirtingą atskirų dalių nusidėvėjimo laipsnį, fizinis nusidėvėjimas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$F_{kj} = \sum_{i=1}^n F_i \cdot \frac{M_i}{M_k}, \quad (2.39)$$

čia F_{kj} – atskiro elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos fizinis nusidėvėjimas, %; F_i – elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos dalies fizinis nusidėvėjimas, nustatytas remiantis BCH 53-86 (p) metodika, %; M_i – pažeistos dalies matmenys, m ar m²; M_k – viso elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos matmenys, m ar m²; n – elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos dalių skaičius.

Pastato bendras fizinis nusidėvėjimas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$F_p = \sum_{j=1}^m F_{kj} \cdot l_j, \quad (2.40)$$

čia F_p – pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, %; F_{kj} – elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos fizinis nusidėvėjimas, %; l_j – koeficientas, atitinkantis elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos atkuriamosios vertės dalį visoje pastato atkuriamojoje vertėje (svoris); m – elementų, konstrukcijų ar inžinerinių sistemų pastate skaičius.

Atskiro elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos fizinio nusidėvėjimo reikšmė skaičiuojama 10 %, viso elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos – 5 % ir pastato bendras fizinis nusidėvėjimas – 1 % tikslumu.

Sluoksniuotoms konstrukcijoms reikia taikyti dvigubą fizinio nusidėvėjimo apskaičiavimo sistemą: pagal techninę būklę (taikant (2.39) formulę) ir pagal konstrukcijos tarnavimo laiką (taikant (2.41) formulę). Galutinį fizinio nusidėvėjimo įvertinimą reikia priimti su didesne skaitine reikšme. Pagal tarnavimo laiką sluoksniuotų konstrukcijų fizinis nusidėvėjimas nustatomas pagal formulę:

$$F_s = \sum_{k=1}^l F_k \cdot K_k, \quad (2.41)$$

čia F_s – sluoksniuotos konstrukcijos fizinis nusidėvėjimas, %; F_k – konstrukcijos sluoksnio fizinis nusidėvėjimas, nustatomas pagal grafikus (2.6 pav.), priklausantį nuo sluoksniuotos konstrukcijos eksploatavimo laiko, %; K_k – koeficientas, nusakantis konstrukcijos sluoksnio vertės santykį su visos konstrukcijos verte; l – sluoksnių skaičius sluoksniuotoje konstrukcijoje.

2.6 pav. Sluoksniuotos konstrukcijos fizinis nusidėvėjimas: a) eksploatavimo laikas 10–50 metų; b) eksploatavimo laikas 60–125 metų (Ведомственные... 1988)

Fig. 2.6. Physical deterioration of a layered structure: a) 10–50 years of lifetime; b) 60–125 years of lifetime (Ведомственные... 1988)

Inžinerinių sistemų fizinis nusidėvėjimas nustatomas taikant (2.39) formulę. Jeigu pastato eksploatacijos metu kai kurie inžinerinių sistemų elementai buvo pakeisti naujais, inžinerinių sistemų fizinį nusidėvėjimą būtina patikslinti skaičiavimais, remiantis atskirų inžinerinių sistemų eksploatavimo terminų grafikais, pateiktais BCH 53-86 (p) metodikoje (Ведомственные... 1988).

2.6.2. Fasadų įgerties tyrimai

Karsten cilindras (prietaisas) naudojamas vandens prasiskverbimo statybinėse medžiagose tyrimui. Karsten cilindras imituoja lietaus poveikį fasadinėms medžiagoms. Matuojama, kiek vandens prasiskverbs į fasadines medžiagas per tam tikrą laiką tam tikrame ploto vienetu. Tyrimo metu yra sudaromas stipraus lietaus veikiant vėjo slėgiui (2 kartus viršijančiam uragano slėgį) imitavimas. Karsten cilindrai yra dviejų rūšių: horizontaliems ir vertikaliesiems paviršiams tikrinti, ir gali būti naudojami tiek objekte, tiek laboratorijoje (2.7 pav.).

2.7 pav. Karsten cilindras horizontaliems ir vertikaliesiems paviršiams tikrinti
(Sachverstaendigen-bedarf.de 2013)

Fig. 2.7. Karsten cylinder for testing horizontal and vertical surfaces
(Sachverstaendigen-bedarf.de 2013)

Karsten cilindrą sudaro kalibruotas stiklinis vamzdelis ir 30 mm skersmens stiklinis antgalis, turintis kitą tūrio skalę nei stiklinis vamzdelis (iš viso 10 ml = 10 cm vandens stulpo slėgio). Šio prietaiso pagrindinis privalumas – ypač tikslus vandens įgerties nustatymas per tam tikrą laiko vienetą. Karsten cilindro pritvirtinimui prie fasado naudojamas specialus plastilinas ar kitas plastinis hermetikas. Iš plastilino yra suformuojamas pailgas cilindras, kuris perimetru klijuojamas prie stiklinio antgalio, o vėliau, stipriai spaudžiant, visas Karsten cilindras pritvirtinamas prie pastato fasado. Pritvirtinus Karsten cilindrą prie fasado, jis yra pripildomas vandens iki nulinės padalos (gaunamas 10 cm vandens stulpo slėgis)

naudojant laboratorinį plastikinį įpurškimo butelį. Būtina patikrinti, ar vanduo nesiskverbia per plyšius tarp plastilino ir Karsten cilindro ar fasado. Iš pradžių vanduo greitai įsiskverbs į fasadą, maždaug po minutės, nusistovėjus vandens slėgiui ir sudrėkus paviršiui, vanduo papildomas iki nulinės padalos ir pradeda matavimas. Matuojama, kiek ml vandens įsiskverbs į fasadą per minutę (ml/min.) 3 cm² paviršiaus plote. Paprastai yra atliekama 10 tokių matavimų viso pastato perimetru ir apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis fasado vidutinei įgerčiai nustatyti. 2.1 lentelėje pateiktos ribinės fasadų įgerties vertės siekiant teisingai įvertinti gautų tyrimų rezultatus (Anweisung...).

2.1 lentelė. Fasadų įgerties ribinės vertės (Anweisung...)

Table 2.1. Limit values of façade absorption (Anweisung...)

Statybinė medžiaga	Vandens įgerties vertė, ml/min. 3 cm ² plote
Plytiniai fasadai:	
10 matavimų vidurkis (pusė matavimų atlikti per įtrūkimus)	0,5
Vienartinis matavimas	2,0
Skiedinių jungtys:	
10 matavimų vidurkis	0,5
Vienartinis matavimas	2,0
Tinkuotas paviršius (dekoratyvinis tinkas „lietutis“):	
10 matavimų vidurkis	0,5
Vienartinis matavimas	2,0
Hidrofobinio silikono arba siloksano fasadai (visos siūlės turi būti užtaisytos hermetiku)	0,0
Hidrofobiniai barjerai arba sandarūs betonai:	
Ant išorinių paviršių	0,1
Ant naujai įtrūkusių paviršių	0,1
Hidroizoliaciniai tinkai ir skiediniai	0,1
Hermetiškas betonas:	
Ant išorinių paviršių	0,3
Ant naujai įtrūkusių paviršių	0,5

Fasadų įgerties tyrimai Karsten cilindru buvo sukurti Vokietijoje. Šie tyrimai labai paplitę, nes yra greitai atliekami neardant pastatų elementų ar konstrukcijų (Prüfverfahren... 1995). Pastatų fasadų įgerties tyrimai yra labai svarbūs, nes vandens įgertis dažnai būna pagrindinė fasadų apdailos ar gilesnių pažeidimų priežastis. Vanduo, patekęs į sienas, užsilaiko, kartais dėl blogų projektinių sprendimų ar neteisingai atliktų statybos darbų neturi kur ištekti. Užsilaikiusi drėgmė padidina pelėsių atsiradimo patalpose tikimybę, dėl fasadų sudrėkimo patiriami didesni šilumos nuostoliai per išorines sienas, drėgmė patekusi, į sienų konstrukcijas, sukelia armatūros koroziją.

2.6.3. Termoviziniai tyrimai

Termovizija – tai skystų ir kietų kūnų, spinduliuojamų IR, fiksavimas spektre. Termoviziniai tyrimai parodo, per kurias vietas šaltis skverbiasi į pastatą (atliekant tyrimus iš pastato patalpų) ar per kurias vietas išeina šiluma iš pastato (atliekant tyrimus iš lauko).

Termovizoriaus veikimo principas pagrįstas IR fiksavimu. Termovizorius – prietaisas, kuris fiksuoja IR spinduliavimą, jį performuoja į elektrinius signalus ir lygina su turimu temperatūrų etalonu bei sudaro termovizines nuotraukas (termogramas). Visi kūnai, kurių temperatūra yra aukštesnė už absoliutų nulį, išspinduliuoja įvairaus ilgio IR. Išspinduliuojamos energijos intensyvumas proporcingas kūno temperatūrai ir priklauso nuo medžiagos gebėjimo spinduliuoti (emisijos). Kūnų IR intensyvumas yra proporcingas kūno paviršiaus temperatūrai, todėl kuo paviršiaus temperatūra aukštesnė, tuo spinduliavimas intensyvesnis. IR spinduliavimo intensyvumas transformuojamas į regimuosius spindulius (2.8 pav.). Padarius termovizinę nuotrauką, gaunamas menamųjų temperatūrų pasiskirstymas objekto paviršiuje (Masaitis 2009).

2.8 pav. Elektromagnetinių bangų spektras (9-4 fordham 2013)

Fig. 2.8. Spectrum of electromagnetic waves (9-4 fordham 2013)

IR spinduliuotę 1800 m. tirdamas saulės spektrą atrado anglų astronomas ir kompozitorius Frederikas Viljamas Heršelis (1738–1822 m.). Nuo to laiko daugelyje mokslinių disciplinų IR pradėti naudoti įvairioms problemoms spręsti, ypač po Antrojo pasaulinio karo, kai IR pradėti transponuoti į regimuosius spindulius. IR spinduliuotė pagal bangų ilgį yra skirstoma į 5 grupes: artimieji IR, trumpieji IR, vidutinio ilgumo IR, ilgieji IR ir tolimieji IR (Geert Verhoeven 2008). Statybų pramonėje termovizoriai fiksuoja trupuosius ir ilguosius IR.

Termovizinio tyrimo privalumai:

1. Tyrimai atliekami per atstumą neardant pastato konstrukcijų.
2. Tyrimus galima atlikti sunkiai prieinamose ir pavojingose vietose.
3. Tyrimai nedaro žalos ir neturi pašalinio poveikio pastatui ir aplinkai.
4. Tarpusavyje gali būti lyginamos atskiros termovizinės nuotraukos (jei nustatyta temperatūros skalė yra ta pati).
5. Galima fiksuoti judančių statinio elementų temperatūras.

Termovizinių tyrimų metu galima tikrinti langų ir lauko durų sandarumą, cokolio, sienų, grindų, stogo sandarumą, pastebėti šilumos tiltelius ar susikaupusią drėgmę įvairiose pastato konstrukcijose, tikrinti ŠVOK sistemas. Be statybų pramonės, šiuo metu termovizoriai plačiai naudojami archeologijoje, astronomijoje, energetikoje, karo pramonėje, mechanikoje, medicinoje ir kt.

Atliekant termovizinius tyrimus reikia įvertinti:

1. Įrangos techninius parametrus ir galimybes. Reikia žinoti, kokiame temperatūros intervale galima dirbti su įranga. Atliekant termovizinius tyrimus labai svarbu nustatyti teisingą temperatūros skalę ir gerai optiškai ją sufokusuoti, termovizines nuotraukas fiksuoti stačiu kampų.
2. Pastato fasado charakteristikas. Reikia žinoti pastato išorinių sienų konstrukcijas, sujungimo mazgus su pamatais, perdangomis ir stogu.
3. Šildymo sistemą. Reikia žinoti, kur yra šilumos punktas, šildymo sistemos vamzdžiai, kaip išdėstyti radiatoriai.
4. Paviršių spinduliavimo charakteristikas. Atliekant termovizinius tyrimus reikia įvesti teisingą emisijos koeficientą. Jis priklauso nuo medžiagos rūšies.
5. Klimato veiksnius. Tyrimų metu patalpų ir lauko oro temperatūrų skirtumas turi būti ne mažesnis kaip 20 °C, tačiau esant kelių dienų nusistovėjusiai lauko temperatūrai skirtumas tarp patalpų ir lauko oro temperatūrų gali būti ir mažesnis. Reikia žinoti santykinę oro drėgmę.
6. Aplinkos įtaką. Tyrimo metu ir prieš jį pastato fasado negali veikti tiesioginiai saulės spinduliai. Neturi būti stipraus vėjo ir lietaus. Reikia nustatyti menamą oro temperatūrą.
7. Kitus veiksnius. Reikia pasistengti, kad termovizorių kuo mažiau veiktų atspindžiai (Kalibatas 2009).

Termovizinių tyrimų metodiką Lietuvoje apibrėžia Lietuvos standartas LST EN 13187:2000 „Šiluminės pastatų charakteristikos. Pastatų atitvarų šiluminio nevienalytiškumo aptikimas. Infraraudonosios spinduliuotės metodas (ISO 6781:1983 modifikuotas)“.

2.6.4. Patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimai

Patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimams atlikti galima naudoti vokiečių įmonės „Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH“ duomenų kaupiklį, įvairius matavimo prietaisus ir „Data-Control 4.3.3/V5“ programinę įrangą. Matavimo prietaisus reikia sujungti pagal tam tikrą schemą (2.9 pav.). Šią schemą sudaro:

1. Duomenų kaupiklis „Ahlborn“ (modelis Almemo® 2890-9) su matavimo duomenų atmintimi. Prie šio duomenų kaupiklio vienu metu galima prijungti 9 matavimo prietaisus, jį suprogramuoti reikia taip, kad duomenys būtų įrašomi kas 30 min. visą parą (24 val.). Duomenų kaupiklis jungiamas į 220 V įtampos elektros tinklą.
2. Išorės (lauko) oro temperatūros matavimo jutiklis „Ahlborn“ (modelis FTA05L0050). Tai 50 mm ilgio (neskaitant rankenos) ir 0,5 mm diametro jutiklis, kurio temperatūros matavimo ribos yra nuo -200 iki $+500$ °C, tikslumas $\pm 1,5$ °C.
3. Vidaus (patalpos) oro temperatūros ir santykinės oro drėgmės matavimo jutiklis „Ahlborn“ (modelis FHA646-E1). Tai 155 mm ilgio ir 12 mm diametro jutiklis, kurio temperatūros matavimo ribos yra nuo -20 iki $+60$ °C, tikslumas $\pm 0,1$ °C, santykinės oro drėgmės matavimo ribos yra nuo 5 iki 98 %, tikslumas ± 2 %.
4. Paviršiaus temperatūros matavimo jutiklis „Ahlborn“ (modelis FT9306-BG). Tai 25 mm aukščio, 40 mm ilgio ir 20 mm pločio jutiklis, kurio temperatūros matavimo ribos yra nuo -50 iki $+150$ °C, jutiklio tikslumas $\pm 2,5$ °C.
5. Jaučiamosios oro temperatūros matavimo jutiklis „Ahlborn“ (modelis FPA805GTS). Tai 150 mm diametro juodas matinis varinis rutulys su kabliuku, kurio temperatūros matavimo ribos yra nuo -50 iki $+200$ °C, tikslumas $\pm 1,3$ °C.
6. Oro judėjimo (srauto) matavimo jutiklis „Ahlborn“ (modelis FVA605T-A10). Tai įvairių matmenų jutiklis, kurio galvutės diametras yra 8 mm. Oro judėjimo matavimo ribos yra nuo 0,01 iki 1 m/s, tikslumas $\pm 1,5$ %.
7. Anglies dvideginio matavimo jutiklis „Ahlborn“ (modeliai FYA600CO-2 ir FYA600CO2H). Tai 36 mm aukščio, 96 mm ilgio ir 64 mm pločio jutiklis, kurio anglies dvideginio matavimo ribos yra nuo 0 iki 2,5 %, tikslumas ± 2 % (modelis FYA600CO2) ir 116 mm ilgio (neskaitant rankenos) bei 17 mm diametro jutiklis, kurio anglies dvideginio matavimo ribos yra nuo 0 iki 1 %, tikslumas $\pm 3,01$ % (modelis FYA600CO-2H).

2.9 pav. Laboratorinės įrangos sujungimo schema
Fig. 2.9. Scheme for setting up laboratory equipment

8. Šilumos srauto matavimo plokštelė (jutiklis) „Ahlborn“ (modelis FQA-018CSI). Tai 120 mm aukščio, 120 mm ilgio ir 1,5 mm storio plokštelė, kurios šilumos srauto matavimo ribos yra nuo 0 iki 15 W/m², tikslumas 5 %.
9. Nešiojamas kompiuteris su duomenų perkėlimo laidais ir programine įranga „Data-Control 4.3.3/V5“. Programinė įranga „Data-Control 4.3.3/V5“ skirta surinktų duomenų išsaugojimui, apdorojimui ir pateikimui lentelių ar diagramų pavidalu (Ahlborn 2007).

Pagal 2.9 paveikslą schemą, sujungus laboratorinius prietaisus, duomenų kaupiklis suprogramuojamas taip, kad skirtingų jutiklių matavimų duomenys būtų įrašomi į atmintį kas 30 min. visą parą vienoje tiriamoje vietoje. Kiekviename tiriamame objekte (pastate) reiktų pasirinkti 4 tiriamas vietas (patalpas). Pasirinktos patalpos turi būti orientuotos į skirtingas pasaulio šalis (pagal galimybę geriausia pasirinkti kampines patalpas), būti skirtinguose aukštuose (geriausia pirmame ir paskutiniame) ir turi būti eksploatuojamos.

Visi paminėti jutikliai matavimo rezultatus pateikia iš karto. Šilumos srauto matavimo plokštelių (jutiklių) duomenis reikia papildomai apdoroti, siekiant nustatyti matuojamos išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientą. Tam tikslui gali būti naudojama Vokietijos pastatų atnaujinimo ir modernizavimo instituto (IEMB) klasikinė metodika (Prüfverfahren... 1995). Remiantis šia metodika, išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas nustatomas matuojant šilumos srautus, vidaus (patalpos) oro temperatūrą bei išorės (lauko) oro temperatūrą (2.10 pav.) ir apskaičiuojamas pagal (2.42) formulę.

2.10 pav. Išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymo schema (Messbar.de 2013)

Fig. 2.10. Scheme for determining the U-value of external walls (Messbar.de 2013)

$$U = \frac{q}{\Theta_i - \Theta_e}, \quad (2.42)$$

čia q – išmatuotų šilumos srautų per išorines atitvaras vidurkis, W/m^2 ; Θ_i – vidaus (patalpos) oro išmatuotos temperatūros vidurkis, $^{\circ}\text{C}$; Θ_e – išorės (lauko) oro išmatuotos temperatūros vidurkis, $^{\circ}\text{C}$ (Gudzinskas *et al.* 2011). Dėl tyrimų tikslumo šilumos srautai yra matuojami vienu metu 3-jose tos pačios išorinės atitvaros vietose (2.9 pav.). Atliekant tokius matavimus, išorėje (lauke) turi būti stabili temperatūra, didelio poveikio neturi daryti saulės spinduliai ir vėjo greitis (Ignatavičius *et al.* 2002).

2.6.5. Atnaujinimo ekonominiai skaičiavimai

Skaičiuojant pastatų atnaujinimo ekonominę naudą ir lyginant dviejų šildymo sezonų energijos sąnaudas šildymui ir karštam vandeniui ruošti (prieš ir po atnaujinimo), galima nustatyti, kiek procentų energijos mažiau pastatas suvartoja. Tokie skaičiavimai neparodo tikrosios ekonominės naudos, nes neįvertina galimo patalpų oro temperatūros padidėjimo po pastatų atnaujinimo ir klimatinių sąlygų skirtingais šildymo sezonais. Skirtingais metais, esant skirtingai šildymo sezono trukmei ir skirtingoms klimatinėms sąlygoms, atsiranda poreikis perskaičiuoti sąnaudas taip, kad skirtingų metų sąnaudas būtų galima kuo teisingiau palyginti. Tai svarbu tuomet, kai norima įvertinti šilumos taupymo priemonių pasiekiamą naudą. Vienas iš galimų metodų šiai problemai išspręsti yra dienolaipsnių metodika. Pirmasis dienolaipsnių sąvoką 1878 m. pavartojo Richard Strachey biologijos moksle, 1920 m. dienolaipsnių metodika pirmą kartą buvo panaudota pastatų energiniuose skaičiavimuose (CIBSE 2006).

Dienolaipsnių metodikos esmė yra faktiškai suvartotos energijos perskaičiavimas į energijos kiekį, atitinkantį normines klimato sąlygas. Dienolaipsniai apskaičiuojami kaip šildymo sezono trukmės (paromis) ir vidutinių patalpos ir lauko temperatūrų skirtumo sandauga:

$$DL_f = z \cdot (t_v - t_{is}), \quad (2.43)$$

čia DL_f – faktinis dienolaipsnių skaičius šildymo sezonu skaičiuojamoje vietoje; z – šildymo sezono trukmė, paros; t_v – vidutinė skaičiuojamoji vidaus (patalpų) oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$; t_{is} – vidutinė skaičiuojamoji išorės (lauko) oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$. Dienolaipsnis yra tam tikro periodo ilgumo ir šaltumo matavimo vienetas.

Žinant konkretaus šildymo sezono šilumos sąnaudas ir dienolaipsnių skaičių, šilumos sąnaudas, perskaičiuotas į normines sąlygas, yra gaunamos iš lygties:

$$Q_n = Q_f \cdot \frac{DL_n}{DL_f}, \quad (2.44)$$

čia Q_n – į normatyvinius metus perskaičiuotas metinis šilumos suvartojimas, MWh; Q_f – metinis tam tikrų (skaičiuojamų) metų šilumos suvartojimas, MWh; DL_n – normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius šildymo sezonu skaičiuojamoje vietovėje. DL_n reikšmės imamos iš RSN 156-94 „Statybinė klimato-logija“ 2.6 lentelės (LEKA 2012; Ruzgys *et al.* 2013b).

Atnaujinant pastatus svarbu nustatyti ne tik šilumos energijos sutaupymo kieki, bet ir investicijų atsipirkimo laiką. Prieš priimant sprendimą atnaujinti pastatą arba atskiras jo dalis, reikia apskaičiuoti ekonominę numatomos panaudoti priemonės naudą. Numatant atnaujinimo priemones, siekiama mažiausių visuminių išlaidų, kurias sudaro pradinės investicijos ir pastato eksploatavimo išlaidos per numatytą laiką. Investicijų atsipirkimą galima skaičiuoti paprastuoju atsipirkimo laiku arba tikruoju atsipirkimo laiku (Bliūdžius 2006; Martinaitis *et al.* 2007). Paprastas atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$PB = \frac{I_0}{\Delta S}, \quad (2.45)$$

čia PB – paprastas atsipirkimo laikas, metai; I_0 – investicijos pirmųjų metų verte, Lt; ΔS – kasmetiniai sutaupymo kiekiai pirmųjų metų verte, Lt/metai.

Paprastas atsipirkimo laikas skaičiuojamas, kai pradinės investicijos atsi-perka per 5 metus. Kai atsipirkimo laikas yra ilgesnis dėl pinigų vertės kitimo laike, reikia įvertinti grynąją pinigų nuvertėjimo laike normą ir apskaičiuoti tik-rąjį atsipirkimo laiką. Tikrasis atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$PO = \frac{-\ln \left(1 - r \cdot \frac{I_0}{\Delta S} \right)}{\ln(1+r)}, \quad (2.46)$$

čia PO – tikrasis atsipirkimo laikas, metai; r – grynoji pinigų nuvertėjimo laike norma, įvertinanti šilumos energijos brangimą, vnt. d./metai.

Grynoji pinigų nuvertėjimo laike norma apskaičiuojama pagal formulę:

$$r = \frac{d - e_n}{1 + e_n}, \quad (2.47)$$

čia d – nominali pinigų nuvertėjimo (diskonto) norma, vnt. d./metai; e_n – nominali šilumos energijos brangimo norma, vnt. d./metai (Stankevičius *et al.* 1997; STR 2.05.01:2005; Bliūdžius 2006). Europos komisija projektams, ku-riems įgyvendinti skiriama negražintina ES parama, rekomenduoja taikyti

0,05 vnt. d./metai nominalią pinigų nuvertėjimo (diskonto) normą. Taikant šią normą analizė turi būti atliekama pastoviomis kainomis, t. y. nekoreguojant jų dėl infliacijos (CPVA 2013).

Atliekant skaičiavimus po pastato atnaujinimo gaunami realūs, o ne prognozuojami atsipirkimo laikai.

2.6.6. Estetinio vaizdo vertinimas

Teisingai įvertinti pastatų estetinį vaizdą yra sunku, nes tai susiję su dideliu subjektyvumu. Architektai, projektuotojai, statybos inžinieriai ar pastato naudotojai (eksploatuotojai) gali skirtingai vertinti pastato estetinį vaizdą, tačiau visi sutaria, kad atnaujinus pastatą jo estetinis vaizdas pagerėja. Pastatų architektūrinis vertinimas remiasi grožio ir meno teorijomis (estetika), kurios nėra labai konkrečios. Atnaujinamų pastatų estetiniam vaizdui vertinti siūloma taikyti sukurta 2.2 lentelę. Čia nėra vertinama viso pastato architektūra, nes atnaujinimo metu pastato vidaus erdvės, pastato dalių išdėstymas ir visų pastato elementų tarpusavio santykis dažniausiai yra nekeičiamas.

2.2 lentelė. Pastatų estetinio vaizdo vertinimas

Table 2.2. Aesthetic evaluation of buildings

Vertinimo balas	Vertinimo reikšmė	Pastato estetinio vaizdo požymiai
10	Ypatingai gražu	Pastato fasadas išsiskiria architektūriniu vaizdu (turi daug ornamentikos elementų, apšviestas dirbtiniu apšvietimu), neturi defektų, pažeidimų, visi langai ir lauko durys tvarkingi.
9	Labai gražu	Pastato fasadui panaudotos labai geros kokybės ilgaamžės medžiagos, nėra plyšių ir įtrūkimų, visi langai ir lauko durys tvarkingi. Fasadas nuolat prižiūrimas ir remontuojamas.
7	Gražu	Pastato fasadas sutvarkytas pagal šiuolaikinius reikalavimus, beveik nėra plyšių ir įtrūkimų, neišpaišytas „graffiti“, fasado spalva vientisa. Fasadas tinkamai prižiūrimas.
5	Vidutiniškai gražu	Pastato fasadas nusidėvėjęs (kompleksiškai neremontuotas), langai ir lauko durys tvarkingos. Atliekami nedideli fasado priežiūros darbai (pvz., nuvalomi biologiniai pažeidimai).
3	Negražu	Pastato fasadas nusidėvėjęs (aptrupėjęs, nublukę dažai), kai kur yra biologinių pažeidimų, išpaišytas „graffiti“, kai kur išdaužti langai. Fasadas tinkamai neprižiūrimas.
1	Labai negražu	Pastato fasadas labai nusidėvėjęs (aptrupėjęs, supleišėjęs), gausu biologinių pažeidimų, išteptas dažais ar kt. medžiagomis, langai ir lauko durys išdaužyti.

2.2 lentelėje pateikiami 1, 3, 5, 7, 9 ir 10 vertinimo balai. 2, 4, 6 ir 8 vertinimo balai yra suprantami kaip tarpinės vertinimo reikšmės.

2.7. Antrojo skyriaus išvados

1. Siekiant įvertinti ir tobulinti pastatų atnaujinimo technologijas šalyje, yra siūlomas PAEV modelis. Atnaujinant pastatus keliama daug tikslų, kuriuos apibūdina skirtingi vertinami rodikliai, todėl tokio tipo uždaviniams spręsti tinka daugiatiksliai vertinimo metodai. Siūlomas PAEV modelis yra pagrįstas šių metodų taikymu ir natūrinių tyrimų bei ekonominių skaičiavimų atlikimu.
2. PAEV modelis išsiskiria tuo, kad pastatų atnaujinimas yra vertinamas 2 būdais: įvertinant rodiklių pokyčių reikšmes ir rodiklių pasiektas reikšmes. Nors pastatų atnaujinimo tikslas yra rodiklių pasiektos reikšmės (pastatų būklė po atnaujinimo), tačiau taip pat svarbu įvertinti rodiklių pokyčių reikšmes (pastatų būklės prieš ir po atnaujinimo palyginimas). Rodiklių pokyčių reikšmės parodo pastatų atnaujinimo efektyvumą.
3. Atlikus mokslinės ir teisinės literatūros analizę, išskirti 10 svarbiausių rodiklių, kurie bus tiriami vertinant pastatų atnaujinimą: pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, santykinė oro drėgmė, šilumos energijos sąnaudos, pastato estetinis vaizdas, paprastasis ir tikrasis investicijų atsipirkimo laikas, išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas, fasadų vandens įgertis ir pirmo aukšto grindų temperatūra.
4. Kai kuriems tiriamiems rodikliams yra sukurtas optimizavimo veiksnys, nes tokie matuojami dydžiai, kaip oro temperatūra, santykinė oro drėgmė ir pirmo aukšto grindų temperatūra, neturi vienos optimizavimo krypties. Šie rodikliai nėra nei minimizuojami, nei maksimizuojami, todėl įvedamas optimizavimo veiksnys, kuris nustatomas pritaikius kvadratinę funkciją, kurios grafikas yra parabolė. Kvadratinė funkcija yra apskaičiuojama remiantis rodikliui HN 75:2010 nustatytomis leidžiamomis ribomis, optimalia verte ir dešimtbale vertinimo sistema.
5. PAEV modelyje skirtingų rodiklių svorių nustatymui siūloma taikyti SWARA metodą. Šis metodas suteikia galimybę kiekvienam ekspertui dalyvauti rodiklių svorių nustatymo procese, sudarant rodiklių prioritetų eilę, lyginant skirtingus rodiklius tarpusavyje ir nurodant santykinės svarbos reikšmes.
6. Daugelis pasaulio mokslininkų sutinka, kad diskretiems daugiatikslės optimizacijos uždaviniams spręsti reikia taikyti kelis skirtingus daugiatikslio vertinimo metodus, o gautus sprendinius palyginti tarpusavyje. PAEV modelyje siūloma taikyti 3 daugiatikslis vertinimo metodus (TODIM, TOPSIS ir VIKOR), o gautus rezultatus apibendrinti naudojant patikimą Copeland metodą.

7. Pastatų atnaujinimo efektyvumui tirti ir rodiklių realioms reikšmėms nustatyti pasirinktos šios pastatų natūrinių tyrimų metodikos: fizinio nusidėvėjimo įvertinimo, fasadų įgerties tyrimų, termovizinių tyrimų, patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimų, atnaujinimo ekonominių skaičiavimų, estetinio vaizdo vertinimo. Šių tyrimų metu gauti duomenys naudojami PAEV modelyje sudarant sprendimo priėmimo duomenų lenteles.

Pastatų natūriniai tyrimai ir atnaujinimo efektyvumo vertinimas

Skyriuje aprašyti pasirinkti natūrinių tyrimų objektai (visuomeninės paskirties pastatai), pateikiami ir analizuojami vaikų lopšeliuose-darželiuose atlikti natūriniai tyrimai. Remiantis 2 skyriuje sukurtu PAEV modeliu, sudaromos sprendimo priėmimo duomenų lentelės, nustatomi rodiklių svoriai ir atliekamas daugiatis vertinimas, pateikiama šio vertinimo rezultatų analizė.

Skyriaus tematika paskelbti trys autoriaus straipsniai (Matulis *et al.* 2012; Volvačiovas *et al.* 2013a; Volvačiovas *et al.* 2013b).

3.1. Natūrinių tyrimų objektai

Natūriniai tyrimai – tai tyrimai, atliekami natūralioje aplinkoje (eksploatuojamuose pastatuose). Siekiant nustatyti VP pastatų atnaujinimo efektyvumą, 2010–2013 m. buvo atlikti natūriniai tyrimai (fizinės būklės, fasadų įgerties, termovizijos, patalpų mikroklimato ir kt.) prieš ir po pastatų atnaujinimo. Natūriniais tyrimams buvo atrinkti skirtingų konstrukcijų, aukštingumo, suplanavimo vaikų lopšelių-darželių pastatai (mokslo paskirties visuomeniniai pastatai), kurių atnaujinimas buvo numatytas artimiausiu metu:

- Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis;
- Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis;
- Semeliškių vaikų darželis;
- Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis (3.1 pav.).

3.1 pav. Vaikų lopšelių-darželių pastatai prieš ir po atnaujinimo
Fig. 3.1. Kindergarten buildings before and after renovation

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis (Klevų al. 28A, Lentvaris, Trakų r. sav.) buvo pastatytas 1969 m., pastato bendrasis plotas 887,54 m². Tai

dviejų aukštų silikatinų plytų mūro pastatas, kuriame įrengtas šilumos punktas. Pastato šilumos šaltinis – centralizuotas šildymas iš kvartalinės katilinės. Žemės sklype pastatytas 43,97 m² bendrojo ploto kiemo rūsys. Šio pastato pamatai – 400 mm storio juostiniai g/b, išorinės sienos įrengtos iš 510 mm storio pilnavidurių silikatinų plytų, iš išorinės pusės netinkuotos, iš vidinės pusės nutinkuotos, nuglaistytos ir nudažytos. Perdangos – 220 mm aukščio kiauřymėtosios g/b plokštės, stogas – sutapdintas, apšiltintas 60 mm storio mineraline vata ir dengtas rulonine danga. Langai – mediniai, dvigubais rėmais, lauko durys – medinės. Vėdinimas – natūralus, vandentiekis ir nuotekos prijungtos prie miesto tinklų. 2011 m. atnaujinant pastatą cokolis apšiltintas 150 mm storio iš išorinės pusės ir 30 mm storio iš vidinės pusės polistireninio putplasčio plokštėmis, sienos apšiltintos 150 mm storio mineralinės vatos plokštėmis panaudojant išorinę tinkuojamą termoizoliacinę sistemą, langus iškeliant į išorinę mūrinės sienos pusę. Įrengtas šlaitinis stogas, apšiltinant viršutinio aukšto perdangas 200 mm storio mineralinės vatos plokštėmis, visi langai ir lauko bei tambūro durys pakeisti naujais plastikiniais, stiklo blokelių angos pakeistos naujais plastikiniais langais. Pirmo aukšto grindys apšiltintos 100 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis, įrengta nauja nuogrinda, rekonstruotos šildymo (įrengtas grindinis ir radiatorinis šildymas) ir karšto vandens, vandentiekio ir nuotekų (vidaus ir lauko), elektros ir apšvietimo sistemos, įrengta nauja oro tiekimo ir šalinimo (rekuperacinė vėdinimo) sistema. Atnaujinus pastatą buvo užtikrinti gaisrinės saugos reikalavimai, įrengta III kategorijos žaibosauga, pastatas pritaikytas žmonėms su negalia. Atlikti viso pastato vidaus apdailos darbai, kiemo rūsys po atnaujinimo nugriautas. Pastate iš viso dirba 28 darbuotojai ir yra ugdoma 115 vaikų.

Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis (Liepų g. 11, Molėtai, Molėtų r. sav.) buvo pastatytas 1982 m., pastato bendrasis plotas 2460,18 m². Tai dviejų aukštų g/b karkaso (UK-1) pastatas su rūsiu, kuriame įrengtas šilumos punktas. Pastato šilumos šaltinis – centralizuotas šildymas iš kvartalinės katilinės. Pastato pamatai – stulpiniai (po kolonomis), cokolio sienos įrengtos iš 200 mm storio g/b plokščių su tinko apdaila iš išorinės pusės, išorinės sienos – iš 240 mm storio akyto betono plokščių su granitinio tinko apdaila iš išorinės pusės, iš vidinės pusės nutinkuotos, nuglaistytos ir nudažytos. Perdangos – 220 mm aukščio kiauřymėtosios g/b plokštės, stogas – sutapdintas, apšiltintas akyto betono plokštėmis ir dengtas rulonine danga. 63 % langų pakeisti naujais trijų kamerų plastikiniais, likę – mediniai, dvigubais rėmais, su stiklo paketais, lauko durys – medinės. Vėdinimas – natūralus, kombinuotas su mechaniniu, vandentiekis ir nuotekos prijungtos prie miesto tinklų. 2011 m. atnaujinant pastatą cokolis apšiltintas 75 mm storio polistireninio putplasčio (po žeme) ir mineralinės vatos (virš žemės) plokštėmis, apdailai panaudojant akmens masės plyteles, pastato sienos apšiltintos 150 mm storio mineralinės vatos plokštėmis panaudojant išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą su fasadinėmis apdailos plokštėmis. Pastato sto-

gas apšiltintas 150–250 mm storio mineralinės vatos plokštėmis įrengiant naują dviejų sluoksnių ruloninę polimerinę-bituminę dangą. Seni langai (mediniai) ir lauko bei tambūro durys pakeisti naujais plastikiniais (langai su mikroventiliacija). Rūsio perdanga apšiltinta 100–150 mm storio mineralinės vatos plokštėmis, įrengta nauja nuogrinda, rekonstruotos šildymo (įrengtas grindinis ir radiatorinis šildymas) ir karšto vandens, vandentiekio ir nuotekų, elektros ir apšvietimo sistemos, atnaujinta vėdinimo sistema (didžiojoje dalyje patalpų paliekant natūralų vėdinimą). Atnaujinus pastatą įrengta gaisrinė (sumontuoti dūminiai, šiluminiai jutikliai) ir apsauginė (sumontuoti judesio, dūžio jutikliai, magnetiniai kontaktai, vaizdo kameros) signalizacija, pastatas pritaikytas žmonėms su negalia, atlikti vidaus apdailos darbai. Pastate dirba 42 darbuotojai ir yra ugdomi 168 vaikai.

Semeliškių vaikų darželis (Vievio g. 5, Semeliškės, Elektrėnų sav.) buvo pastatytas 1980 m., pastato bendrasis plotas 478,60 m². Tai vieno aukšto g/b karkaso pastatas, po jo dalimi įrengtas rūsys su vietine dyzelinio kuro katiline. Pastato pamatai – stulpiniai (po kolonomis), cokolio sienos įrengtos iš 200 mm storio g/b plokščių su tinko apdaila iš išorinės pusės, išorinės sienos įrengtos iš 240 mm storio akyto betono plokščių, iš išorinės ir vidinės pusės nutinkuotos, nuglaistytos ir nudažytos. Perdangos – 220 mm aukščio kiaurymėtosios g/b plokštės, stogas – sutapdintas, apšiltintas akyto betono plokštėmis ir dengtas rulonine danga. 22 % langų pakeisti naujais plastikiniais, likę – mediniai, dvigubų rėmų, lauko durys – medinės. Vėdinimas – natūralus, vandentiekis ir nuotekos prijungtos prie miesto tinklų. 2011 m. atnaujinant pastatą cokolis apšiltintas 100 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis, pastato sienos apšiltintos 120 mm storio mineralinės vatos plokštėmis, panaudojant išorinę tinkuojamą termoizoliacinę sistemą, langų ir durų angokraščiai apšiltinti 30 mm storio mineralinės vatos plokštėmis. Stogas apšiltintas 140 mm storio polistireninio putplasčio ir 20 mm storio mineralinės vatos plokštėmis, įrengiant naują dviejų sluoksnių ruloninę polimerinę-bituminę dangą. Seni langai ir lauko bei tambūro durys pakeisti naujais plastikiniais, pirmo aukšto grindys ir rūsis perdanga apšiltinta 100 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis, įrengta nauja nuogrinda. Rekonstruotos šildymo, elektros ir apšvietimo sistemos, įrengta nauja oro tiekimu ir šalinimu (rekuperacinė vėdinimo) sistema. Atnaujinus pastatą buvo užtikrinti gaisrinės saugos reikalavimai, įrengta IV kategorijos žaibosauga (sumontuotas žaibolaidis), atlikti viso pastato vidaus apdailos darbai. Pastate dirba 10 darbuotojų ir yra ugdomi 24 vaikai (Volvačiovas *et al.* 2013a).

Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis (Birutės g. 38, Trakai, Trakų r. sav.) buvo pastatytas 1966 m., pastato bendrasis plotas 921,98 m². Tai dviejų aukštų silikatinių plytų mūro pastatas, po jo dalimi yra rūsys, kuriame įrengtas šilumos punktas. Pastato šilumos šaltinis – centralizuotas šildymas iš kvartalinės katilinės. Pastato pamatai – 400 mm storio juostiniai g/b, išorinės sienos įrengtos iš 380–510 mm storio pilnavidurių silikatinių plytų, iš išorinės pusės netinkuo-

tos, iš vidinės pusės nutinkuotos, nuglaistytos ir nudažytos. Šiaurinė pastato pusė apšiltinta 100 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis panaudojant išorinę tinkuojamą termoizoliacinę sistemą. Perdangos – 220 mm aukščio kiaurymėtosios g/b plokštės, stogas – sutapdintas, apšiltintas 60 mm storio mineraline vata ir dengtas rulonine danga. Langai ir lauko durys pakeisti naujais plastikiniais. Vėdinimas – natūralus, kombinuotas su mechaniniu, vandentiekis ir nuotekos prijungtos prie miesto tinklų. 2011–2012 m. atnaujinant pastatą cokolis apšiltintas 100 mm storio, sienos – 150 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis panaudojant išorinę tinkuojamą termoizoliacinę sistemą, langų ir durų angokraščiai apšiltinti 50 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis. Įrengtas šlaitinis stogas apšiltinantis viršutinio aukšto perdangą (220 mm storio) ir stogo konstrukciją (70 mm storio) mineralinės vatos plokštėmis. Įrengtos dvi terasos, perdangas apšiltinantis 200 mm storio polistireninio putplasčio plokštėmis. Languose sumontuotos orlaidės oro patekimui į patalpas, pirmo aukšto grindys apšiltintos 20–100 mm storio mineralinės vatos ir polistireninio putplasčio plokštėmis, įrengta nauja nuogrinda. Rekonstruotos šildymo (įrengtas grindinis ir radiatorinis šildymas) ir karšto vandens, vandentiekio ir nuotekų (vidaus ir lauko), elektros ir apšvietimo sistemos, sutvarkyta vėdinimo sistema (didžiojoje dalyje patalpų paliekant natūralų vėdinimą). Atnaujinus pastatą įrengta gaisrinė (sumontuoti dūminiai ir šiluminiai jutikliai) ir apsauginė (sumontuoti judesio jutikliai, magnetiniai kontaktai) signalizacija, įrengta II kategorijos žaibosauga (sumontuotas žaibolaidis), pastatas pritaikytas žmonėms su negalia, atlikti vidaus apdailos darbai. Pastate iš viso dirba 26 darbuotojai ir yra ugdomi 126 vaikai.

3.2. Natūrinių tyrimų rezultatai

Toliau pateikiami ir analizuojami vaikų lopšelių-darželių pastatuose vykdytų natūrinių tyrimų prieš ir po atnaujinimo duomenys: fizinis nusidėvėjimas, fasadų įgertis, termovizija, patalpų mikroklimato parametrai ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai, atnaujinimo ekonominiai skaičiavimai, estetiškas vaizdas.

3.2.1. Pastatų fizinis nusidėvėjimas

Siekiant nustatyti tiriamų pastatų fizinį nusidėvėjimą prieš ir po atnaujinimo, visuose pastatuose buvo atlikti vizualiniai tyrimai, kurių metu buvo nustatyti fizinio nusidėvėjimo požymiai. Šie nusidėvėjimo požymiai buvo fotofiksuojami ir lyginami su BCH 53-86 (p) metodikoje nurodytais požymiais. Remiantis BCH 53-86 (p) metodika, buvo atlikti kiekvieno pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos fizinio nusidėvėjimo skaičiavimai ir nustatytas pastatų bendras fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo (Matulis *et al.* 2012).

Prieš Lentvario vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimą pastebėti pagrindiniai fizinio nusidėvėjimo požymiai, defektai ir pažeidimai (3.2 pav.):

1. Juostinių g/b pamatų ir mūrinių sienų (plytų ir siūlių) gausūs supleišėjimai (plyšių plotis siekia iki 10,0 mm). Didžiausi plyšiai užpurkšti montažinėmis putomis. Tokie plyšiai galėjo atsirasti dėl netolygių pastato nuosėdžių ar per mažai įgilintų (aukščiau grunto įšalo gylio) pamatų. Netolygiems pastato nuosėdžiams įtakos galėjo turėti mažo stiprumo, blogai sutankintas, išplautas arba perkastas gruntas. Atsivėrusius plyšius galima užtaisyti specialiais remontiniais skiediniais. Svarbu nustatyti, ar plyšys nėra „gyvas“ (neplinta), tam tikslui ant plyšių gali būti įrengti gipsiniai ar cementiniai žyminiai. Jei plyšiai yra „gyvi“, būtina sustiprinti gruntą po pamatais injektuojant betono.
2. Juostinių g/b pamatų ir mūrinių sienų kai kurių vietų pažeidimai dėl didelės drėgmės ir pelėsio. Šie pažeidimai atsirado dėl neįrengtos ir kai kuriose vietose netinkamai įrengtos nuogrindos (per mažo nuolydžio), sulaužytų lietvamzdžių ir drėgmę praleidžiančios stogo konstrukcijos.
3. Juostinių g/b pamatų šiaurės rytų pusėje 35,0 mm poslinkis. Šią pamatų deformaciją sukėlė šalia pastato išaugusio didelio medžio šaknys.
4. Per didelis mūro siūlių storis (siekia iki 25,0 mm), tai statybos darbų defektas. Mūro siūlių storis turi siekti iki 15,0 mm (STR 2.05.09:2005).
5. Šiaurės rytų pusėje išdaužyta stiklo blokelių anga ir sulaužytos medinės durys.
6. Dėl pažeistos stogo dangos stogo konstrukcija praleidžia drėgmę.
7. Supuvę mediniai langų rėmai ir varčios, dalis langų stiklų išdaužta, angos užtaisytos MPP. Išdaužti langai turi būti naujai įstiklinti.
8. Sulaužyta išorinė lietaus nuvedimo sistema (lietvamzdžiai ir latakai), dėl to drėksta juostiniai g/b pamatai ir mūrinės sienos.
9. Kai kurios skardinės palangės surūdijusios, dalies jų nebėra. Šie defektai atsirado dėl kokybės rodiklių parametrų nuokrypių nuo technologinių reikalavimų gaminant skardines palanges ir netinkamai atliekant statybos darbus.
10. Pietryčių įėjimo stogelyje gamybos metu suformuotas per mažas armatūros apsauginis sluoksnis, dėl to rūdija atidengta armatūra. Supuvusi šilumos punkto įėjimo stogelio medinių lentų apdaila.
11. Sutrupėję (nuskeltos briaunos) įėjimo į pastatą laiptai, neįrengti turėklai. G/b laiptai sutrupėję dėl per mažo betono atsparumo šalčiui, nepralaidumo vandeniui ir netinkamos pastato eksploatacijos.
12. Pastato fasadas išteptas bitumu ir išpaišytas „graffiti“.

3.2 pav. Lentvario vaikų lopšelio-darželio defektai ir pažeidimai prieš atnaujinimą
Fig. 3.2. Defects and violations of the kindergarten in Lentvaris before renovation

Eksplotacijos metu Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis nebuvo tinkamai prižiūrimas, neatliekami reikiami paprastojo remonto darbai: latakų ir lietvamzdžių sutvarkymas (atstatymas), savalaikis medžio nukirtimas, stogo dangos remontas ir kt. Pastato atnaujinimo metu taip pat buvo pažeisti tam tikri statybos technologijos ir saugaus naudojimo reikalavimai: neužtaisyti g/b pamatų ir mūrinių sienų plyšiai, šiltinantis sienas akmens vata, plyšiai tarp skirtingų akmens vatos plokščių užpurkšti montažinėmis putomis, kai kuriose langų angų kampų vietose netinkamai priklijuotos akmens vatos plokštės (neperdengiant akmens vatos plokštės ties lango anga), kai kuriose vietose suklijuoti akmens vatos likučiai, sumontuoti per trumpi lietvamzdžiai, pėsčiųjų takuose sumontuoti gilūs betoniniai vandens latakai be grotelių. 3.1 lentelėje pateikiami galutiniai šio vaikų lopšelio-darželio fizinio nusidėvėjimo įvertinimai.

3.1 lentelė. Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo

Table 3.1. Physical deterioration of the kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris before and after renovation

Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos pavadinimas		Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos svoris l_j	Pastato elemento fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_{kj} , %		Pastato bendras fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_p , %	
			Prieš	Po	Prieš	Po
Elementai ir konstrukcijos	Pamatai	0,04	50	25	2,00	1,00
	Sienos (kolonos, sijos)	0,35	35	15	12,25	5,25
	Pertvaros	0,06	15	10	0,90	0,60
	Perdangos	0,10	15	5	1,50	0,50
	Stogas, stogeliai	0,07	30	5	2,10	0,35
	Grindys	0,09	35	5	3,15	0,45
	Langai	0,03	45	0	1,35	0,00
	Durys	0,03	30	0	0,90	0,00
	Apdaila	0,05	50	0	2,50	0,00
	Laiptai	0,03	35	10	1,05	0,30
Inžinerinės sistemos	Vandentiekis	0,02	55	0	1,10	0,00
	Nuotekos	0,04	50	0	2,00	0,00
	Šildymas	0,02	70	0	1,40	0,00
	Vėdinimas	0,02	30	0	0,60	0,00
	Elektrotechnika	0,05	50	0	2,50	0,00
Iš viso:		1,00	—	—	≈35	≈8

Prieš Molėtų vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimą pastebėti pagrindiniai fizinio nusidėvėjimo požymiai, defektai ir pažeidimai (3.3 pav.):

1. Cokolio g/b plokščių sienų sandūrose atsivėrę plyšiai (plyšių plotis siekia iki 5,0 mm). Ištrupėjusios sandūros užpurkštos montažinėmis putomis. Išorinių akyto betono plokščių sienų sandūrose atsivėrę plyšiai (plyšių plotis siekia iki 1,4 mm). Tokie plyšiai galėjo atsirasti dėl netolygių pastato nuosėdžių, netinkamai įrengtų jungčių ir temperatūrinių deformacijų. Cokolio ir išorinių sienų sandūras reikia išvalyti, nugruntuoti, užtaisyti hermetizuojančiu tarpikliu ir užtepti hermetiku. Svarbu, kad hermetikas būtų elastingas ir perimtų sandūrose vykstančias deformacijas. Pastaruoju metu naudojami poliuretano hermetikai.
2. Nutrupėjęs cokolio g/b plokščių ir išorinių akyto betono plokščių sienų tinkas. Šie pažeidimai atsirado dėl statybos darbų technologijos nesilaikymo konstrukcijas padengiant tinku ir atmosferos poveikio. Kai kuriose vietose nuskilusios cokolio ir išorinių sienų briaunos.
3. Cokolio ir išorinių sienų pažeidimai dėl didelės drėgmės ir pelėsio. Šie pažeidimai atsirado dėl netinkamai įrengtos (per mažo nuolydžio) ir netinkamai prižiūrimos nuogrindos, netinkamai suformuotų nuolydžių ant galerijos stogelių bei netinkamai įrengtų lauko palangių.
4. Gamybės metu cokolio g/b plokščių sienose suformuotas per mažas armatūros apsauginis sluoksnis, todėl rūdija atidengta armatūra.
5. Labai nusidėvėjusios įėjimo į pastatą angainės: lauko laiptai sutrupėję, surūdiję metaliniai laiptų elementai, įėjimo durys supuvusios ir gausiai pažeistos pelėsio, sienos stipriai pažeistos korozijos: nutrupėjęs tinkas, suskilusios keraminės plytos, įsiveisęs pelėsis. Šie pažeidimai atsirado dėl statybos darbų technologijos nesilaikymo betonuojant laiptus ir tinkuojant sienas bei atmosferos poveikio. Neįrengti laiptų turėklai.
6. Betoninė nuogrinda supleišėjusi ir sutrupėjusi. Šis pažeidimas atsirado dėl statybos darbų technologijos nesilaikymo (neįrengtos deformacinės siūlės), per plono nuogrindos betono sluoksnio bei žemo nuogrindos betono atsparumo šalčiui ir nepralaidumo vandeniui.
7. Kai kuriose vietose išdaužti langų stiklai. Rūsyje išdaužtų langų angos užtaisytos MPP. Išdaužti langai turi būti naujai įstiklinti.
8. Surūdijusios pastato metalinės konstrukcijos ir elementai, esantys išorėje: galerijos stogelio kolonos ir sijos, užlipimo ant stogo kopėčios (nutrukę tvirtinimo prie fasado elementai), vėdinimo grotelės.
9. Ypač surūdiję vandentiekio įvado ir šilumos punkto vamzdynai bei jų armatūra.
10. Pastato fasadas išpaišytas „graffiti“.

3.3 pav. Molėtų vaikų lopšelio-darželio defektai ir pažeidimai prieš atnaujinimą
Fig. 3.3. Defects and violations of the kindergarten in Molėtai before renovation

Eksplotacijos metu Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis nebuvo tinkamai prižiūrimas, neatliekami reikiami darbai: cokolio ir išorinių sienų sandūrų remontas, pelėsio nuvalymas, pažeistų vietų pertinkavimas ir kt. Pastato atnaujinimo metu taip pat buvo pažeisti tam tikri statybos technologijos reikalavimai: kai kuriose vietose cokolio langų angų kampuose netinkamai priklijuotos akmens vatos plokštės (neperdengiant akmens vatos plokštės ties lango anga), kai kuriose vietose suklijuoti akmens vatos likučiai, cokolyje neteisingai smeigėmis pritvirtintos akmens vatos plokštės (nėra smeigių akmens vatos plokščių sandūrose), horizontaliose siūlėse nėra panaudoti tarpiniai profiliai, kurie apsaugo nuo teršalų patekimo į šiltinimo sistemą (nors šie profiliai nėra būtini, visada rekomenduojama juos naudoti). 3.2 lentelėje pateikiami galutiniai Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio fizinio nusidėvėjimo įvertinimai.

3.2 lentelė. Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo

Table 3.2. Physical deterioration of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai before and after renovation

Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos pavadinimas		Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos svoris l_j	Pastato elemento fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_{kj} , %		Pastato bendras fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_p , %	
			Prieš	Po	Prieš	Po
Elementai ir konstrukcijos	Pamatai	0,04	45	10	1,80	0,40
	Sienos (kolonos, sijos)	0,35	30	10	10,50	3,50
	Pertvaros	0,06	10	10	0,60	0,60
	Perdangos	0,10	10	10	1,00	1,00
	Stogas, stogeliai	0,07	20	5	1,40	0,35
	Grindys	0,09	20	5	1,80	0,45
	Langai	0,03	10	5	0,30	0,15
	Durys	0,03	30	0	0,90	0,00
	Apdaila	0,05	40	0	2,00	0,00
	Laiptai	0,03	30	5	0,90	0,15
Inžinerinės sistemos	Vandentiekis	0,02	55	0	1,10	0,00
	Nuotekos	0,04	50	0	2,00	0,00
	Šildymas	0,02	50	5	1,00	0,10
	Vėdinimas	0,02	30	10	0,60	0,20
	Elektrotechnika	0,05	35	0	1,75	0,00
Iš viso:		1,00	—	—	≈28	≈7

Prieš Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimą pastebėti pagrindiniai fizinio nusidėvėjimo požymiai, defektai ir pažeidimai (3.4 pav.):

1. Cokolio g/b plokščių sienų sandūrose atsivėrę plyšiai, kai kurios sandūros visiškai ištrupėjusios (šių sandūrų plotis siekia iki 32,0 mm). Išorinių akyto betono plokščių sienų sandūrose atsivėrę plyšiai (plyšių plotis siekia iki 4,0 mm). Tokie plyšiai galėjo atsirasti dėl netolygių pastato nuosėdžių, netinkamai įrengtų jungčių ir temperatūrinių deformacijų. Cokolio ir išorinių sienų sandūras reikia išvalyti, nugruntuoti, užtaisyti hermetizuojančiu tarpikliu ir užtepti hermetiku (skiediniu). Svarbu, kad izoliuojantis hermetikas (skiedinys) būtų elastingas ir perimtų sandūrose vykstančias deformacijas.
2. Nutrupėjęs cokolio g/b plokščių ir išorinių akyto betono plokščių sienų tinkas. Šie pažeidimai atsirado dėl statybos darbų technologijos nesilaikymo šias konstrukcijas padengiant tinku (nenuvalytos dulės, nunguntuoti paviršiai arba panaudotas pasenęs tinkas) ir atmosferos poveikio. Kai kuriose vietose prie langų angų nuskilusios išorinių sienų briaunos.
3. Gamybos metu cokolio g/b plokščių sienose suformuotas per mažas armatūros apsauginis sluoksnis, todėl rūdija atidengta armatūra.
4. Įėjimo į pastatą laiptai sutrupėję. Šis pažeidimas atsirado dėl mažo laiptų betono atsparumo šalčiui ir nepralaidumo vandeniui. Laiptai taip pat pažeisti didelės drėgmės ir pelėsio.
5. Betoninė nuogrinda supleišėjusi, sandūros ištrupėjusios (ištrupėjusių sandūrų plotis siekia iki 22,0 mm), kai kur nuskeltos nuogrindos briaunos, nuogrinda apaugusi pelėsiu, samanomis ir kitais augalais (biologiniai pažeidimai).
6. Supuvę mediniai langų rėmai ir varčios, atsilupę dažai, todėl mediniai langai yra labai nesandarūs, atsivėrę dideli plyšiai tarp varčios ir rėmo (plyšių plotis siekia iki 8,0 mm), iškrypusios medinės varčios. Dėl langų nesandarumo pastato eksploatavimo metu nevarstomi langai apkalti skaidria polietileno plėvele.
7. Kai kurie vėdinimo šachtų skardiniai elementai, esantys ant stogo, labai surūdiję, skardiniai elementai prikiedyti prie stogo dangos (tai statybos darbų technologijos pažeidimas, nes yra pažeista ruloninė stogo danga). Kai kur pažeista stogo danga (atsiklijavusi, iššokusi pūslė), trūksta stogo įlajos grotelių (lapų gaudyklės).
8. Prieduobės sienose nutrupėjęs tinkas, suskilusios atidengtos keraminės plytos. Šie pažeidimai atsirado dėl statybos darbų technologijos nesilaikymo šias sienas padengiant tinku ir atmosferos poveikio.

3.4 pav. Semeliškių vaikų darželio defektai ir pažeidimai prieš atnaujinimą
Fig. 3.4. Defects and violations of the kindergarten in Semeliškės before renovation

Eksploatacijos metu Semeliškių vaikų darželis nebuvo tinkamai prižiūrimas, neatliekami reikiami paprastojo remonto darbai: cokolio g/b plokščių sienų ir išorinių akyto betono plokščių sienų sandūrų remontas, pelėsio, samanų ir augalų nuvalymas nuo nuogrindos, lietaus nuvedimo sistemos (latakų) išvalymas, pažeistų vietų pertinkavimas ir kt. Pastato atnaujinimo metu taip pat buvo pažeisti tam tikri statybos technologijos reikalavimai: apšiltinant sienas nepanaudotas cokolinis profilis, neteisingai įrengtas skardinių palangių mazgas prie apšiltinto angokraščio (dėl to yra galimas vandens pratekėjimas ateityje), neužtaisyti plyšiai tarp atskirų akmens vatos plokščių, kai kuriose vietose neteisingai priklijuotas polistireninis putplastis (neužtepti klijai polistireninio putplasčio plokštės perimetru), kai kuriose vietose suklijuoti akmens vatos likučiai (atraizos). 3.3 lentelėje pateikiami galutiniai Semeliškių vaikų darželio fizinio nusidėvėjimo įvertinimai.

3.3 lentelė. Semeliškių vaikų darželio fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo
Table 3.3. Physical deterioration of the kindergarten in Semeliškės before and after renovation

Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos pavadinimas		Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos svoris l_j	Pastato elemento fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_{kj} , %		Pastato bendras fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_p , %	
			Prieš	Po	Prieš	Po
Elementai ir konstrukcijos	Pamatai	0,04	45	15	1,80	0,60
	Sienos (kolonos, sijos)	0,35	50	10	17,50	3,50
	Pertvaros	0,06	15	10	0,90	0,60
	Perdangos	0,10	10	10	1,00	1,00
	Stogas, stogeliai	0,07	10	5	0,70	0,35
	Grindys	0,09	50	0	4,50	0,00
	Langai	0,03	50	5	1,50	0,15
	Durys	0,03	25	0	0,75	0,00
	Apdaila	0,05	30	0	1,50	0,00
	Laiptai	0,03	40	25	1,20	0,75
Inžinerinės sistemos	Vandentiekis	0,02	45	0	0,90	0,00
	Nuotekos	0,04	45	0	1,80	0,00
	Šildymas	0,02	40	5	0,80	0,10
	Vėdinimas	0,02	30	0	0,60	0,00
	Elektrotechnika	0,05	35	0	1,75	0,00
Iš viso:		1,00	—	—	≈37	≈7

Prieš Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimą pastebėti pagrindiniai fizinio nusidėvėjimo požymiai, defektai ir pažeidimai (3.5 pav.):

1. Juostinių g/b pamatų ir mūrinių sienų (plytų ir siūlių) supleišėjimai (plyšių plotis siekia iki 2,0 mm). Tokie plyšiai galėjo atsirasti dėl netolygių pastato nuosėdžių ir temperatūrinių deformacijų. Netolygiems pastato nuosėdžiams įtakos galėjo turėti mažo stiprumo, blogai sutankintas, išplautas arba perkastas gruntas (grunto savybių pokyčiai).
2. Juostinių g/b pamatų ir mūrinių sienų kai kurių vietų pažeidimai dėl didelės drėgmės ir pelėsio poveikio. Šie pažeidimai atsirado dėl netinkamai įrengtos nuogrindos ir stogelių (per mažo nuolydžio), drėgmę praleidžiančios stogo konstrukcijos, netinkamai įrengtų apskardinimų ir atmosferos poveikio.
3. Nutrupėjęs apšiltintų sienų ir karnizų tinkas. Šie pažeidimai atsirado dėl statybos darbų technologijos nesilaikymo, konstrukcijas padengiant tinku ir atmosferos poveikio. Kai kuriose vietose nuskilusios apšiltintų sienų briaunos, sienose nepanaudotas cokolinis profilis.
4. Supleišėjusi betoninė nuogrinda (plyšių plotis siekia iki 5,0 mm), nuogrindoje neįrengtos deformacinės siūlės, ji apaugusi pelėsiu, samanomis (biologiniai pažeidimai).
5. Gamybos metu stogelių ir perdangos plokštėse suformuotas per mažas armatūros apsauginis sluoksnis, todėl rūdija atidengta armatūra.
6. Sienų sandūroje tarp pagrindinio pastato ir dviejų priestatų neperrištos plytos. Tai statybos darbų defektas.
7. Sąramų briaunos kai kuriose vietose nuskilusios, todėl rūdija armatūra.
8. Montuojant naujus langus, neteisingai įrengtas skardinių palangių mazgas. Dėl to po skardinėmis palangėmis prateka vanduo.
9. Ištrupėjęs įėjimo į pastatą laiptų betonas, neįrengti turėklai. G/b laiptai ištrupėję dėl per mažo betono atsparumo šalčiui ir nepralaidumo vandeniui. Surūdiję metaliniai laiptų elementai.
10. Nesuformuotas tinkamas stogo nuolydis, dėl to ant stogo susiformavusios balos, auga samanos, ant stogo dangos mėtos šiukšlės (plytos, trinkelės). Skardiniai stogo elementai prisukti medsraigčiais, nesuformuotas tinkamas kai kurių skardinių stogo elementų nuolydis, kai kurie skardiniai stogo elementai labai surūdiję ir sulankstyti.
11. Supuvę mediniai terasų aptvėrimai, per terasų stogo dangą į karnizus prateka vanduo (trūksta terasos apskardinimo, latakų su lietvamzdžiais).
12. Šilumos punkte blogai izoliuoti vamzdynai, šilumos izoliacija pritvirtinta elektriko izoliacine juosta, o ne aliuminio folijos izoliacija.

3.5 pav. Trakų vaikų lopšelio-darželio defektai ir pažeidimai prieš atnaujinimą
Fig. 3.5. Defects and violations of the kindergarten in Trakai before renovation

Eksploatacijos metu Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis nebuvo tinkamai prižiūrimas, neatliekami reikiami paprastojo remonto darbai: pelėsio ir samanų nuvalymas nuo cokolio, sienų ir nuogrindos, pažeistų vietų pertinkavimas, samanų ir šiukšlių nuvalymas nuo stogo, atidengtos armatūros nuvalymas, nugruntavimas ir aptinkavimas specialiais remontiniais skiediniais bei kt. Pastato atnaujinimo metu taip pat buvo pažeisti tam tikri statybos technologijos ir saugaus naudojimo reikalavimai: neteisingai įrengtas skardinių palangių mazgas prie apšildinto angokraščio (dėl to yra galimas vandens pratekėjimas ateityje), neįrengtas reikiamas stogo dangos nuolydis ant terasos (prie apskardinimų), kai kur sumontuoti per trumpi lietvamzdžiai, terasų kopėčios baigiasi apie 1,5 m aukštyje ir patenka ant pėsčiųjų takų bei kt. 3.4 lentelėje pateikiami galutiniai Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio fizinio nusidėvėjimo įvertinimai.

3.4 lentelė. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo

Table 3.4. Physical deterioration of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai before and after renovation

Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos pavadinimas		Pastato elemento, konstrukcijos ar inžinerinės sistemos svoris l_j	Pastato elemento fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_{kj} , %		Pastato bendras fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo F_p , %	
			Prieš	Po	Prieš	Po
Elementai ir konstrukcijos	Pamatai	0,04	30	10	1,20	0,40
	Sienos (kolonos, sijos)	0,35	25	10	8,75	3,50
	Pertvaros	0,06	15	5	0,90	0,30
	Perdangos	0,10	15	5	1,50	0,50
	Stogas, stogeliai	0,07	15	5	1,05	0,35
	Grindys	0,09	25	5	2,25	0,45
	Langai	0,03	15	5	0,45	0,15
	Durys	0,03	20	5	0,60	0,15
	Apdaila	0,05	30	0	1,50	0,00
	Laiptai	0,03	20	5	0,60	0,15
Inžinerinės sistemos	Vandentiekis	0,02	45	0	0,90	0,00
	Nuotekos	0,04	40	0	1,60	0,00
	Šildymas	0,02	40	0	0,80	0,00
	Vėdinimas	0,02	30	10	0,60	0,20
	Elektrotechnika	0,05	45	0	2,25	0,00
Iš viso:		1,00	—	—	≈25	≈6

3.5 lentelė. Tiriamų vaikų lopšelių-darželių fizinis nusidėvėjimas prieš ir po atnaujinimo
Table 3.5. Physical deterioration of investigated kindergartens before and after renovation

Pastatas	Pastato bendras fizinis nusidėvėjimas F_p , %	
	Prieš atnaujinimą	Po atnaujinimo
Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis	35	8
Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis	28	7
Semeliškių vaikų darželis	37	7
Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis	25	6

3.5 lentelėje pateikiami suvestiniai visų tiriamų pastatų bendri fiziniai nusidėvėjimai prieš ir po atnaujinimo, nustatyti ekspertiniu būdu. VI „Registrų centras“ nekilnojamojo turto registro centrinio duomenų banko išrašuose pateikia tiriamų pastatų fizinio nusidėvėjimo procentus, remdamasis statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvais. Remiantis šiais normatyvais, prieš pastatų atnaujinimą apskaičiuoti fizinio nusidėvėjimo procentai yra tokie:

- Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio – 42 %;
- Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio – 22 %;
- Semeliškių vaikų darželio – 25 %;
- Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio – 37 %.

Kaip matyti, teoriškai apskaičiuotas pastato bendras fizinis nusidėvėjimas skiriasi nuo realaus iki 12 % (skirtumų vidurkis tarp teorinio ir ekspertinio fizinio nusidėvėjimo vertinimo yra apie 31 %).

3.2.2. Pastatų fasadų įgertis

Siekiant nustatyti tiriamų vaikų lopšelių-darželių pastatų fasadų įgertį prieš ir po atnaujinimo, visuose pastatuose, naudojant Karsten cilindą (prietaisą), buvo atlikti fasadų įgerties tyrimai, kurių metu buvo nustatyta fasadų įgerties vertė ml/min. 3 cm² plote, ir palyginta su leidžiamomis fasadų įgerties ribinėmis vertėmis. Kiekviename tiriamame pastate buvo atlikta 10 fasadų įgerties matavimų viso pastato perimetru prieš atnaujinimą ir 10 fasadų įgerties matavimų viso pastato perimetru po atnaujinimo, vėliau apskaičiuotas aritmetinis vidurkis fasado vidutinei įgerčiai nustatyti (Matulis *et al.* 2012).

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje fasadų įgerties tyrimai buvo atlikti 2011-04-09 (prieš pastato atnaujinimą) ir 2012-09-22 (po atnaujinimo). 3.6 ir 3.7 paveiksluose pavaizduoti fasadų įgerties tyrimai ir jų rezultatai.

3.6 pav. Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio fasadų įgerties tyrimai
Fig. 3.6. Façade absorption tests of the kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris

3.7 pav. Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio fasadų įgertis prieš ir po atnaujinimo

Fig. 3.7. Façade absorption of the kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris before and after renovation

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje prieš atnaujinimą fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo 10,1 ml/min., vienkartiniai matavimai siekė iki 22,5 ml/min. Plytiniams fasadams matavimų vidurkis neturi viršyti 0,5 ml/min., vienkartinis matavimas neturi viršyti 2,0 ml/min., todėl galima daryti išvadą, kad Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio pastato fasadų įgertis prieš pastato atnaujinimą daugiau kaip 20 kartų viršijo leistinas fasadų įgerties ribines vertes. Dėl to pastato fasadas po lietaus gausiai įmirkdavo, užsilaikęs vanduo buvo gera terpė augti pelėsiams, dėl fasado sudrėkimo buvo patiriami didesni šilumos nuostoliai per išorines sienas, patekęs ir užsilaikęs vanduo žiemos metu užšaldavo ir ardydavo mūrines sienas (vanduo virtimo į ledą metu plečiasi daugiau nei 9 %). Po šio pastato atnaujinimo fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo 0,0 ml/min., vienkartiniai matavimai siekė iki 0,1 ml/min. Toks fasadas visiškai tenkino tinkuoties paviršiams keliamus reikalavimus: 10 matavimų vidurkis neturi viršyti 0,5 ml/min., vienkartinis matavimas neturi viršyti 2,0 ml/min.

Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelyje-darželyje fasadų įgerties tyrimai buvo atlikti 2010-11-26 (prieš atnaujinimą). 3.8 ir 3.9 paveiksluose pavaizduoti fasadų įgerties tyrimai ir jų rezultatai. Šiame vaikų lopšelyje-darželyje prieš pastato atnaujinimą fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo 0,1 ml/min., vienkartiniai matavimai siekė iki 0,2 ml/min. Tinkuoties paviršiams 10 matavimų vidurkis neturi viršyti 0,5 ml/min., vienkartinis matavimas neturi viršyti 2,0 ml/min., todėl galima daryti išvadą, kad Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio pastato fasadų įgertis prieš atnaujinimą tenkino leistinas fasadų įgerties ribines vertes, tačiau per išorinių sienų sandūrose atsivėrusius plyšius vanduo patekdavo į šių sienų vidų, todėl buvo būtina tvarkyti išorinių sienų sandūras. Po pastato atnaujinimo fasadų įgerties tyrimai nebuvo atliekami, nes fasadui buvo pritaikyta išorinė vėdinama termoizoliacinė sistema. Fasadas buvo apdengtas pluoštinio cemento plokštėmis ir cementinėmis dailylentėmis, kurios yra nepralaidžios vandeniui, o per vėdinamo fasado siūles patekusi drėgmė laikui bėgant išgaruoja.

3.8 pav. Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio fasadų įgerties tyrimai
Fig. 3.8. Façade absorption tests of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai

3.9 pav. Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio fasadų įgertis prieš ir po atnaujinimo
Fig. 3.9. Façade absorption of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai before and after renovation

Semeliškių vaikų darželyje fasadų įgerties tyrimai buvo atlikti 2010-11-11 (prieš atnaujinimą) ir 2012-05-05 (po atnaujinimo). 3.10 ir 3.11 paveiksluose pavaizduoti fasadų įgerties tyrimai ir jų rezultatai. Šiame vaikų darželyje prieš pastato atnaujinimą fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo 0,3 ml/min., vienkartiniai matavimai siekė iki 0,9 ml/min. Tinkuoties paviršiams 10 matavimų vidurkis neturi viršyti 0,5 ml/min., o vienkartinis matavimas – 2,0 ml/min., todėl Semeliškių vaikų darželio fasadų įgertis prieš atnaujinimą tenkino leistinas fasadų įgerties ribines vertes, tačiau per išorinių sienų sandūrose atsivėrusius plyšius vanduo patekdavo į šių sienų vidų, todėl buvo būtina tvarkyti išorinių sienų sandūras. Po pastato atnaujinimo fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo dar geresnis: 0,1 ml/min., vienkartiniai matavimai taip pat siekė iki 0,1 ml/min. ir tenkino leistinas fasadų įgerties ribines vertes.

3.10 pav. Semeliškių vaikų darželio fasadų įgerties tyrimai

Fig. 3.10. Façade absorption tests of the kindergarten in Semeliškės

3.11 pav. Semeliškių vaikų darželio fasadų įgertis prieš ir po atnaujinimo

Fig. 3.11. Absorption of the kindergarten in Semeliškės before and after renovation

Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelyje-darželyje fasadų įgerties tyrimai buvo atlikti 2011-04-16 (prieš atnaujinimą) ir 2012-09-22 (po atnaujinimo). 3.12 ir 3.13 paveiksluose pavaizduoti fasadų įgerties tyrimai ir jų rezultatai. Šiame pastate prieš atnaujinimą fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo 9,4 ml/min., vienkartiniai matavimai siekė iki 35,0 ml/min. Plytiniams fasadams 10 matavimų vidurkis neturi viršyti 0,5 ml/min., vienkartinis matavimas neturi viršyti 2,0 ml/min., todėl galima daryti išvadą, kad šio pastato fasadų įgertis prieš atnaujinimą apie 19 kartų viršijo leistinas fasadų įgerties ribines vertes.

3.12 pav. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio fasadų įgerties tyrimai
Fig. 3.12. Façade absorption tests of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai

Dėl didelės fasadų įgerties Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato fasadas turėjo tokias pat neigiamas pasekmes kaip ir Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio pastato fasadas. Nagrinėjant duomenis matyti, kad Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato priestatų fasadų įgertis buvo labai didelė, šie priestatai buvo pastatyti vėliau nei pats pastatas, o jų mūro skiedinys buvo prastos kokybės. Po pastato atnaujinimo fasadų įgerties tyrimų vidurkis buvo 0,1 ml/min., vienkartiniai matavimai siekė iki 0,2 ml/min. Toks fasadas tenkino tinkuotiesiems paviršiams keliamus reikalavimus: 10 matavimų vidurkis neturi viršyti 0,5 ml/min., vienkartinis matavimas neturi viršyti 2,0 ml/min.

3.13 pav. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio fasadų įgertis prieš ir po atnaujinimo
Fig. 3.13. Façade absorption of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai before and after renovation

Šiaurinė Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato pusė prieš atnaujinimą jau buvo apšiltinta, todėl nebuvo tirta (3.13 paveiksle pažymėta punktyrinė linija). Po pastato atnaujinimo šiaurinėje jo pusėje buvo atlikti pažeistų vietų remonto darbai (gruntavimas, pertinkavimas) ir fasadas perdažytas kartu su visu pastatu, todėl šiaurinės pusės fasadų įgertis po atnaujinimo yra tokia pati kaip ir viso pastato.

3.6 lentelėje pateikiami suvestiniai visų nagrinėjamų pastatų fasadų įgerties tyrimų rezultatai prieš ir po atnaujinimo.

3.6 lentelė. Tiriamų vaikų lopšelių-darželių fasadų įgertis prieš ir po atnaujinimo

Table 3.6. Façade absorption of investigated kindergartens before and after renovation

Pastatas	Vandens įgerties vertė, ml/min. 3 cm ² plote	
	Prieš atnaujinimą	Po atnaujinimo
Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis	10,05	0,01
Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis	0,06	—
Semeliškių vaikų darželis	0,29	0,07
Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis	9,35	0,06

Kaip paminėta aukščiau, nors Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio ir Semeliškių vaikų darželio pastatų išorinių akyto betono plokščių sienų įgertis prieš atnaujinimą tenkino leistinas fasadų įgerties ribines vertes, tačiau išorinių sienų sandūros buvo prastos būklės (atsivėrę plyšiai, ištrupėjusios), kurias reikėjo nedelsiant remontuoti.

3.2.3. Pastatų termovizija

Siekiant tiriamuose vaikų lopšelių-darželių pastatuose surasti vietas, per kurias pastatai netenka šilumos dėl išorinių atitvarų nesandarumo ar mažos šiluminės varžos, buvo atlikti termoviziniai tyrimai. Šių tyrimų metu buvo patikrintas langų, lauko durų, cokolio, sienų sandarumas, pastebėti šilumos tilteliai ir susikaupusi drėgmė pastato konstrukcijose.

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje termoviziniai tyrimai buvo atlikti 2011-02-25 (prieš atnaujinimą, lauko oro temperatūra –18,4 °C, patalpų oro temperatūra 12,2–25,6 °C) ir 2013-12-16 (po atnaujinimo, lauko oro temperatūra 1,3 °C, patalpų oro temperatūra 21,9 °C). Šio pastato pagrindinės šilumos netekties vietos prieš atnaujinimą buvo tokios (3.14 pav.):

1. Išdaužtų langų angos, kurios buvo užtaisytos MPP, labiau praleisdavo šilumą nei įstiklinti langai. Langai, kuriuose trūkdavo vieno stiklo, ir iš-

daužytų stiklo blokelių angos labiau praleisdavo šilumą nei tvarkingi langai (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

2. Po langais ir kitose vietose, kur yra sumontuoti radiatoriai, esančios sienos labiau atiduodavo šilumą (paviršių temperatūrų skirtumas siekė iki $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Taip buvo todėl, kad nuo radiatorių sklindanti šiluma pereidavo per neapšiltintą išorinę atitvarą.
3. Po lauko palangėmis ir kitose gausiai drėgmės pažeistose vietose, esančios sienos labiau atiduodavo šilumą (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).
4. Pastato cokolis labiau atiduodavo šilumą nei išorinės sienos (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Taip buvo todėl, kad per pirmo aukšto neapšiltintas grindis šiluma prasiskverbė iki cokolio ir per cokolį į lauką.

3.14 pav. Lentvario vaikų lopšelio-darželio šilumos nuostoliai prieš atnaujinimą
Fig. 3.14. Heat loss of the kindergarten in Lentvaris before renovation

Po Lentvario vaikų lopšelio-darželio atnaujinimo termovizinių tyrimų metu didesnių probleminių vietų nebuvo rasta, tik išorinių sienų ir cokolio sandūrose buvo susiformavę šiluminiai tilteliai (nustatytas $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrų skirtumas). Taip yra dėl to, kad išorinės sienos apšiltinimas nėra užleistas ant cokolio.

Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelyje-darželyje termoviziniai tyrimai buvo atlikti 2011-03-04 (prieš atnaujinimą, lauko oro temperatūra $-3,8^{\circ}\text{C}$, patalpų oro temperatūra $19,8^{\circ}\text{C}$) ir vėliau 2012-02-14 (po atnaujinimo, lauko oro temperatūra $-7,3^{\circ}\text{C}$, patalpų oro temperatūra $22,5^{\circ}\text{C}$). Kadangi šio vaikų lopšelio-darželio išorinės sienos buvo atnaujintos panaudojant išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą, todėl po atnaujinimo termoviziniai tyrimai buvo atlikti iš pastato vidaus (patalpų). Šio pastato pagrindinės šilumos netekties vietos prieš atnaujinimą buvo tokios (3.15 pav.):

1. Seni mediniai langai su stiklo paketais labiau praleisdavo šilumą nei nauji plastikiniai langai su stiklo paketais. Stiklo blokelių angos labiau praleisdavo šilumą nei plastikiniai langai (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $3,0^{\circ}\text{C}$).
2. Po langais (tose vietose, kur yra sumontuoti radiatoriai) esančios sienos labiau atiduodavo šilumą (sienų paviršių temperatūrų skirtumas siekė iki $3,8^{\circ}\text{C}$).
3. Pastato cokolis labiau atiduodavo šilumą nei išorinės sienos (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $4,0^{\circ}\text{C}$). Taip buvo todėl, kad per neapšiltintą rūšio perdangą šiluma prasiskverbė iki cokolio ir per colį į lauką.
4. Per išorinių akyto betono plokščių sienų sandūras išeidavo daugiau šilumos nei per pačias išorines sienas (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $1,5^{\circ}\text{C}$).

3.15 pav. Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio šilumos nuostoliai prieš atnaujinimą
Fig. 3.15. Heat loss of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai before renovation

Po Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimo termovizinių tyrimų metu didesnių probleminių vietų šiluminiu atžvilgiu nebuvo rasta: nėra didelių temperatūrų skirtumų tarp patalpų oro ir išorinių atitvarų (keliose vietose matomas peršalimas prie pirmo aukšto kolonų apačios ir antro aukšto vėdinimo kanalų), šildymo prietaisai šyla tolygiai, jų paviršiaus temperatūra

buvo apie $29,5^{\circ}\text{C}$, šilumos punkte nėra patiriama didelių šilumos nuostolių (vamzdynai tvarkingai izoluoti šilumos izoliacija). 3.16 paveiksle pateikta atnaujinto šilumos punkto termovizinė nuotrauka. Pažymėtina, kad naudojant išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą metaliniai profilių laikikliai tampa šilumos tilteliais išorinėse sienose (tai gerai matyti padarius termovizines nuotraukas iš lauko).

3.16 pav. Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio šilumos punktas po atnaujinimo
Fig. 3.16. Heating station of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai after renovation

Semeliškių vaikų darželyje termoviziniai tyrimai buvo atlikti 2011-02-18 (prieš atnaujinimą, lauko oro temperatūra buvo $-6,3^{\circ}\text{C}$, patalpų oro temperatūra $17,3^{\circ}\text{C}$) ir 2012-02-06 (po atnaujinimo, lauko oro temperatūra $-18,0^{\circ}\text{C}$, patalpų oro temperatūra $21,6^{\circ}\text{C}$). Šio pastato pagrindinės šilumos netekties vietos prieš atnaujinimą buvo tokios (3.17 pav.):

1. Seni mediniai langai ir medinės lauko durys labiau praleisdavo šilumą nei nauji plastikiniai langai (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $2,0^{\circ}\text{C}$). Skaidria polietileno plėvele apkalti nevarstomi langai praleisdavo mažiau šilumos.
2. Po langais (tose vietose, kur yra sumontuoti radiatoriai) esančios sienos labiau atiduodavo šilumą (sienų paviršių temperatūrų skirtumas siekė iki $4,3^{\circ}\text{C}$).
3. Pastato cokolis labiau atiduodavo šilumą nei išorinės sienos (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $4,7^{\circ}\text{C}$).
4. Per išorinių akyto betono plokščių sienų sandūras išeidavo daugiau šilumos nei per pačias išorines sienas (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $1,2^{\circ}\text{C}$).
5. Užmūrytos langų ir durų angos labiau praleisdavo šilumą nei išorinės akyto betono plokščių sienos (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $2,7^{\circ}\text{C}$).

3.17 pav. Semeliškių vaikų darželio šilumos nuostoliai prieš atnaujinimą
Fig. 3.17. Heat loss of the kindergarten in Semeliškės before renovation

Po Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimo termovizinių tyrimų metu didesnių probleminių vietų šiluminiu atžvilgiu nebuvo rasta, tik kai kuriose vietose cokolis labiau praleidžia šilumą nei išorinės sienos (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Taip yra dėl to, kad cokolio šilumos izoliacija yra per mažai įleista į gruntą. Taip pat susiformuoja šilumos tilteliai prie prieduobės. Pažymėtina, kad naudojant išorinę tinkuojamą sudėtinę termoizoliacinę sistemą smėigės su metalinėmis vinimis tampa šilumos tilteliais išorinėse atitvarose.

Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelyje-darželyje termoviziniai tyrimai buvo atlikti 2011-02-02 (prieš atnaujinimą, lauko oro temperatūra $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, patalpų oro temperatūra $19,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) ir vėliau 2013-02-12 (po atnaujinimo, lauko oro temperatūra $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, patalpų oro temperatūra $21,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Šio pastato pagrindinės šilumos netekties vietos prieš atnaujinimą buvo tokios (3.18 pav.):

1. Po langais (tose vietose, kur yra sumontuoti radiatoriai) esančios sienos labiau atiduodavo šilumą (sienų paviršių temperatūrų skirtumas siekė iki $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$).
2. Pastato cokolis labiau atiduodavo šilumą nei išorinės sienos, ypač apšiltintoje šiaurinėje pastato pusėje (paviršių temperatūrų skirtumas siekė iki $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Šiaurinėje pastato pusėje buvo apšiltintos tiksliai sienos, o cokolis paliktas neapšiltintas.
3. Gausiai drėgmės pažeistose vietose (kraiguose), esančios sienos labiau atiduodavo šilumą (šių sienų paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Po Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimo termovizinių tyrimų metu keliose vietose buvo pastebėti šiluminiai tilteliai cokolio, priestatų ir pastato kraigo srityse (paviršių temperatūrų skirtumas buvo apie $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ties cokoliu ir apie $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ties kraigu). Šių tyrimų metu taip pat pastebėti statybos darbų technologijos pažeidimai vykdant atnaujinimo darbus (3.19 pav.).

3.18 pav. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio šilumos nuostoliai prieš atnaujinimą
Fig. 3.18. Heat loss of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai before renovation

3.19 pav. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio šilumos nuostoliai po atnaujinimo
Fig. 3.19. Heat loss of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai after renovation

3.19 paveiksle matyti, kad priešgaisrinėms kopėčioms tvirtinti šilumos izoliacijos sluoksnyje buvo palikti metaliniai tvirtinimo elementai. Pietinėje pastato pusėje prie cokolio metalinis rūšio alsuoklis paslėptas šilumos izoliacijos sluoksnyje. Dėl šių abiejų pažeidimų susidaro šilumos tilteliai.

3.2.4. Pastatų patalpų mikroklimato parametrai ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

Siekiant nustatyti tiriamų vaikų lopšelių-darželių pastatų mikroklimato parametrus ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientus prieš ir po atnaujinimo, visuose pastatuose buvo atlikti natūriniai tyrimai. Šių tyrimų metu buvo nustatyta išorės (lauko) oro temperatūra, vidaus (patalpos) oro temperatūra, santykinė oro drėgmė patalpoje, paviršiaus temperatūra (grindų, lubų), jaučiamoji oro temperatūra patalpoje, oro judėjimo greitis patalpoje, anglies dvideginio koncentracija patalpoje, šilumos srautas per išorines atitvaras (Volvačiovas *et al.* 2013b).

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje natūriniai tyrimai buvo atlikti 2011-02-24/26 (prieš atnaujinimą) ir 2013-12-16/18 (po atnaujinimo):

- pirmo aukšto 1-11 patalpoje (miegamajame);
- pirmo aukšto 1-37 patalpoje (miegamajame);
- antro aukšto 2-1 patalpoje (žaidimų ir miegamojo kambaryje);
- antro aukšto 2-17 patalpoje (žaidimų ir miegamojo kambaryje).

3.20 paveiksle pavaizduoti natūriniai tyrimai prieš Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio atnaujinimą, o 3.7 lentelėje pateikti visi gauti natūrinių tyrimų rezultatai prieš ir po šio pastato atnaujinimo.

3.20 pav. Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio tyrimai prieš atnaujinimą

Fig. 3.20. Researches of the kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris before renovation

Prieš Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimą patalpų santykinė oro drėgmė buvo labai maža (pirmame aukšte 21,56 %, antrame aukšte 12,44 %), pirmo aukšto grindų ant grunto temperatūra buvo labai žema (11,31 °C). Tokie parametrai netenkino Lietuvos HN 75:2010 reikalavimų. Sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo 1,00 W/(m²·K) ir netenkino STR 2.05.01:2013 keliamų reikalavimų. Sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo 2,22 karto didesnis nei šiuo metu to reikalauja STR.

3.7 lentelė. Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio tyrimų rezultatai prieš ir po atnaujinimo

Table 3.7. Research results of the kindergarten in Lentvaris before and after renovation

Patalpa	Matuojamas parametras, mato vnt.	Prieš atnaujinimą		Po atnaujinimo	
		Vertė	Vidurkis	Vertė	Vidurkis
Pirmo aukšto 1-11 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-13,22	-13,22	2,53	2,53
	Patalpos oro temperatūra, °C	13,01	13,01	21,37	21,37
	Santykinė oro drėgmė, %	22,50	22,50	37,93	37,93
	Grindų temperatūra, °C	11,44	11,82	19,61	19,71
		11,73		19,71	
		12,28		19,80	
	Anglies dvideginio konc., %	0,05	0,05	0,06	0,06
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,78	0,83	0,22	0,24
		0,82		0,25	
		0,90		0,26	
Pirmo aukšto 1-37 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-13,62	-13,62	2,64	2,64
	Patalpos oro temperatūra, °C	13,06	13,06	20,36	20,36
	Santykinė oro drėgmė, %	20,61	20,61	36,23	36,23
	Grindų temperatūra, °C	10,65	10,80	18,34	18,51
		10,68		18,55	
		11,06		18,63	
	Anglies dvideginio konc., %	0,05	0,05	0,06	0,06
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,76	0,92	0,31	0,33
		0,92		0,32	
		1,08		0,37	
Antro aukšto 2-1 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-11,58	-11,58	2,89	2,89
	Patalpos oro temperatūra, °C	23,11	23,11	20,60	20,60
	Santykinė oro drėgmė, %	13,57	13,57	51,48	51,48
	Lubų temperatūra, °C	21,60	22,07	Įrengtos pakabinamos „Armstrong“ tipo lubos	
		21,62			
		23,00			
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,12	0,12
Antro aukšto 2-17 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-11,24	-11,24	2,81	2,81
	Patalpos oro temperatūra, °C	24,30	24,30	20,93	20,93
	Santykinė oro drėgmė, %	11,30	11,30	51,49	51,49
	Jaučiamoji oro temperatūra, °C	28,32	28,32	20,62	20,62
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,12	0,12
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	1,10	1,24	0,30	0,36
		1,13		0,32	
		1,48		0,47	

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje prieš pastato atnaujinimą, natūrinių tyrimų metu matuojant patalpų oro temperatūrą, buvo pastebėtas labai didelis šildymo sistemos išbalansavimas. Pirmo aukšto patalpose oro temperatūra buvo labai žema ($13,04\text{ }^{\circ}\text{C}$), o antro aukšto patalpose labai aukšta ($23,71\text{ }^{\circ}\text{C}$) (3.21 pav.). Lauko oro temperatūra natūrinių tyrimų metu svyravo nuo $-0,90$ iki $-18,60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.21 pav. Lauko ir patalpų oro temperatūros, išmatuotos Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje prieš atnaujinimą: a) 1-11 patalpoje; b) 2-17 patalpoje

Fig. 3.21. Outdoor and indoor air temperature measured in the kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris before renovation: a) 1-11 room; b) 2-17 room

Po Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimo patalpų oro temperatūra pakilo $2,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (iki $20,82\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tokia patalpų oro temperatūra tenkino HN 75:2010 reikalavimus. Pastato šildymo sistema tapo subalansuota (pirmame aukšte oro temperatūra padidėjo, antrame – sumažėjo). Santykinė oro drėgmė padidėjo visose tirtose patalpose (nuo 17,00 iki 44,28 %) ir tenkino HN 75:2010 reikalavimus. Pastebimai padidėjo grindų ant grunto temperatūra (nuo 11,31 iki 19,11 $^{\circ}\text{C}$). Tokia grindų temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu jau tenkino HN 75:2010 reikalavimus. Po vaikų lopšelio-darželio atnaujinimo padidėjo anglies dvideginio koncentracija visose patalpose (nuo 0,06 iki 0,09 %). Nors vidutinės anglies dvideginio koncentracijos vertės tenkino reglamentų reikalavimus, tačiau būtina atkreipti dėmesį į tai, kad vaikams būnant patalpose anglies dvideginio koncentracija viršydavo leistinas normas iki 2,15 karto. Dėl šios priežasties rekomenduojama dažniau (intensyviau) vėdinti patalpas arba naudoti sumontuotą rotacinį rekuperatorių. Po pastato atnaujinimo sienų šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo nuo 1,00 iki 0,31 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ir tenkino D energinio naudingumo klasei keliamus reikalavimus. Tyrimų metu lauko oro temperatūra svyravo apie $-12,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ (prieš atnaujinimą) ir apie $2,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ (po atnaujinimo).

Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelyje-darželyje natūriniai tyrimai buvo atlikti 2011-03-03/05 (prieš atnaujinimą) ir 2012-02-13/15 (po atnaujinimo):

- pirmo aukšto 1-5 patalpoje (miegamajame);
- pirmo aukšto 1-25 patalpoje (miegamajame);
- antro aukšto 2-94 patalpoje (žaidimų ir miegamojo kambaryje);
- antro aukšto 2-103 patalpoje (žaidimų ir miegamojo kambaryje).

3.22 paveiksle pavaizduoti natūriniai tyrimai prieš Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio atnaujinimą, o 3.8 lentelėje pateikti visi gauti natūrinių tyrimų rezultatai prieš ir po šio pastato atnaujinimo.

3.22 pav. Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio natūriniai tyrimai prieš atnaujinimą
Fig. 3.22. Field experiments in the kindergarten “Saulutė” in Molėtai before renovation

3.8 lentelė. Molėtų vaikų lopšelio-darželio tyrimų rezultatai prieš ir po atnaujinimo
Table 3.8. Research results of the kindergarten in Molėtai before and after renovation

Patalpa	Matuojamas parametras, mato vnt.	Prieš atnaujinimą		Po atnaujinimo	
		Vertė	Vidurkis	Vertė	Vidurkis
Pirmo aukšto 1-5 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-3,08	-3,08	-7,59	-7,59
	Patalpos oro temperatūra, °C	19,77	19,77	22,26	22,26
	Santykinė oro drėgmė, %	30,00	30,00	30,66	30,66
	Grindų temperatūra, °C	13,11	13,97	18,84	19,34
		13,79		19,29	
		15,02		19,88	
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,08	0,08
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,60	0,62	0,27	0,31
		0,62		0,32	
		0,65		0,35	
Pirmo aukšto 1-25 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-3,24	-3,24	-8,13	-8,13
	Patalpos oro temperatūra, °C	20,15	20,15	22,05	22,05
	Santykinė oro drėgmė, %	22,88	22,88	26,03	26,03
	Grindų temperatūra, °C	14,16	15,95	19,09	20,15
		16,67		20,09	
		17,02		21,27	
	Anglies dvideginio konc., %	0,05	0,05	0,07	0,07
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,52	0,54	0,31	0,43
		0,56		0,46	
		—		0,52	
Antro aukšto 2-94 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-1,90	-1,90	-5,77	-5,77
	Patalpos oro temperatūra, °C	21,76	21,76	21,72	21,72
	Santykinė oro drėgmė, %	28,29	28,29	35,88	35,88
	Oro judėjimo greitis, m/s	0,09	0,09	0,19	0,19
	Anglies dvideginio konc., %	0,05	0,05	0,12	0,12
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,57	0,58	0,23	0,25
		0,59		0,23	
		0,59		0,29	
Antro aukšto 2-103 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-2,01	-2,01	-5,83	-5,83
	Patalpos oro temperatūra, °C	22,42	22,42	20,94	20,94
	Santykinė oro drėgmė, %	28,54	28,54	38,46	38,46
	Jaučiamoji oro temperatūra, °C	22,26	22,26	20,91	20,91
	Lubų temperatūra, °C	19,24	20,58	19,92	20,04
		21,15		20,09	
		21,36		20,11	
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,10	0,10

Prieš Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimą patalpų santykinė oro drėgmė buvo maža (pirmame aukšte 26,44 %, antrame aukšte 28,42 %), pirmo aukšto grindų virš rūšio perdangos temperatūra buvo žema (14,96 °C). Tokie parametrai netenkinio Lietuvos HN 75:2010 reikalavimų. Oro temperatūra ir anglies dvideginio koncentracija visose tirtose patalpose atitiko reglamentų reikalavimus. Oro judėjimo greitis antro aukšto 2-94 patalpoje taip pat atitiko HN 75:2010 reikalavimus. Išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo 0,58 W/(m²·K) ir netenkinio STR 2.05.01:2013 keliamų reikalavimų. Sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo 1,29 karto didesnis nei šiuo metu to reikalauja STR.

Po Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimo pirmame aukšte patalpų oro temperatūra pakilo 2,20 °C, o antrame aukšte patalpų oro temperatūra nukrito 0,76 °C. Tokia patalpų oro temperatūra, kaip ir prieš pastato atnaujinimą, tenkinio HN 75:2010 reikalavimus. Santykinė oro drėgmė po atnaujinimo padidėjo visose patalpose (5,33 %, nuo 27,43 iki 32,76 %), tačiau vis tiek netenkinio HN 75:2010 reikalavimų. Norint padidinti santykinę oro drėgmę patalpose, galima naudoti specialius vandens garinimo indus, elektrinius oro drėkintuvus arba tiesiog prie šildymo prietaisų pastatyti indą su vandeniu. Normalizuoti oro drėgmę patalpose taip pat padeda auginami augalai (kambarinės gėlės). Pastebimai padidėjo pirmo aukšto grindų virš rūšio perdangos temperatūra (4,79 °C, nuo 14,96 iki 19,75 °C). Tokia grindų temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu jau tenkinio HN 75:2010 reikalavimus. Po vaikų lopšelio-darželio atnaujinimo padidėjo anglies dvideginio koncentracija visose patalpose (0,03 %, nuo 0,06 iki 0,09 %), ypač anglies dvideginio koncentracija padidėjo antro aukšto patalpose, kuriose buvo sumontuoti nauji sandarūs plastikiniai langai. Nors vidutinės anglies dvideginio koncentracijos vertės tenkinio reglamentų reikalavimus, tačiau būtina atkreipti dėmesį į tai, kad vaikams būnant patalpose anglies dvideginio koncentracija viršydavo leistinas normas iki 2,31 karto (3.23 pav.). Dėl šios priežasties rekomenduojama dažniau vėdinti patalpas, nes lauke anglies dvideginio koncentracija yra žymiai mažesnė (apie 0,03–0,04 % tūrio). 3.23 paveiksle matyti, kad anglies dvideginio koncentracija patalpoje pradeda didėti apie 7:00 val., kai į grupes susirenka vaikai, ir pradeda mažėti apie 17:00 val., kai vaikai grįžta į namus. Dienos metu pastebimas nežymus anglies dvideginio koncentracijos sumažėjimas, kai patalpos yra trumpai vėdinamos ar kai vaikai išeina į lauką. Antro aukšto 2-94 patalpoje oro judėjimo greitis buvo 0,19 m/s, todėl netenkinio HN 75:2010 reikalavimų. Oro judėjimo greitis 0,04 m/s viršijo leistinas normas. Antro aukšto 2-103 patalpoje paviršių (lubų) temperatūra buvo artima patalpos oro temperatūrai (skirtumas tarp lubų ir patalpos oro temperatūrų siekė 0,9 °C), todėl tenkinio normų reikalavimus. Tyrimų metu lauko oro temperatūra svyravo apie –2,56 °C (prieš atnaujinimą) ir apie –6,83 °C (po atnaujinimo).

3.23 pav. Anglies dvideginio koncentracija, išmatuota Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio antro aukšto 2-94 patalpoje: a) prieš atnaujinimą; b) po atnaujinimo

Fig. 3.23. Carbon dioxide concentration measured in the room 2-94 on the second floor of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai: a) before renovation; b) after renovation

Atlikus tyrimus naudojant šilumos srauto plokšteles, nustatyta, kad po Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimo sienų šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo 1,76 karto (nuo 0,58 iki 0,33 W/(m²·K)) (3.24 pav.). Tokia sienų šilumos perdavimo koeficiento vertė tenkino D energinio naudingumo pastatų klasei keliamus reikalavimus, nurodytus STR 2.05.01:2013.

3.24 pav. Šilumos perdavimo koeficientai, išmatuoti Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelio-darželio pirmo aukšto 1-5 patalpoje: a) prieš atnaujinimą; b) po atnaujinimo

Fig. 3.24. U-values measured in the room 1-5 on the first floor of the kindergarten “Saulutė” in Molėtai: a) before renovation; b) after renovation

Semeliškių vaikų darželyje natūriniai tyrimai buvo atlikti taip pat 4 patalpoje 2011-02-17/19 (prieš atnaujinimą) ir 2012-02-06/08 (po atnaujinimo):

- pirmo aukšto 1-20 patalpoje (skalbykloje);
- pirmo aukšto 1-28 patalpoje (sandėlyje);

- pirmo aukšto 1-29 patalpoje (miegamajame);
- pirmo aukšto 1-30 patalpoje (žaidimų kambaryje).

3.25 paveiksle pavaizduoti atliekami mikroklimato parametrų natūriniai tyrimai po atnaujinimo Semeliškių vaikų darželyje, o 3.9 lentelėje pateikti visi gauti natūrinių tyrimų rezultatai prieš ir po Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimo.

3.25 pav. Semeliškių vaikų darželio natūriniai tyrimai po atnaujinimo
Fig. 3.25. Field experiments in the kindergarten in Semeliškės after renovation

Prieš Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimą visose tirtose patalpose oro temperatūra buvo per žema ($18,18^{\circ}\text{C}$), išskyrus 1-30 patalpą. Patalpų santykinė oro drėgmė buvo maža ($24,48\%$), grindų ant grunto temperatūra buvo žema visose tirtose patalpose ($16,29^{\circ}\text{C}$), išskyrus 1-30 patalpą. Tokie parametrai netenkinio Lietuvos HN 75:2010 keliamų reikalavimų. Oro judėjimo greitis 1-20 patalpoje viršijo leistinus HN 75:2010 parametrus. Anglies dvideginio koncentracija visose tirtose patalpose atitiko reglamentų reikalavimus. Išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo $0,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ir netenkinio STR 2.05.01:2013 keliamų reikalavimų. Sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo $1,96$ karto didesnis nei šiuo metu to reikalauja STR 2.05.01:2013.

Po Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimo patalpų oro temperatūra pakilo $3,86^{\circ}\text{C}$ (nuo $18,18$ iki $22,04^{\circ}\text{C}$). Tokia patalpų oro temperatūra jau tenkinio HN 75:2010 reikalavimus (3.26 pav.). Santykinė oro drėgmė po atnaujinimo padidėjo visose patalpose ($7,04\%$, nuo $24,48$ iki $31,52\%$), tačiau vis tiek netenkinio HN 75:2010 reikalavimų. Norint padidinti santykinę oro drėgmę patalpose, reikėtų dažniau naudoti rūšio patalpose sumontuotą rotacinį rekuperatorių. Normalizuoti oro drėgmę patalpose taip pat padeda auginami augalai (kambarinės gėlės). Šiame vaikų darželyje taip pat padidėjo grindų ant grunto temperatūra ($3,63^{\circ}\text{C}$, nuo $16,29$ iki $19,92^{\circ}\text{C}$). Tokia grindų temperatūra jau tenkinio HN 75:2010 reikalavimus.

3.9 lentelė. Semeliškių vaikų darželio tyrimų rezultatai prieš ir po atnaujinimo**Table 3.9.** Research results of the kindergarten in Semeliškės before and after renovation

Patalpa	Matuojamas parametras, mato vnt.	Prieš atnaujinimą		Po atnaujinimo	
		Vertė	Vidurkis	Vertė	Vidurkis
Pirmo aukšto 1-20 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-9,74	-9,74	-8,67	-8,67
	Patalpos oro temperatūra, °C	15,12	15,12	20,91	20,91
	Santykinė oro drėgmė, %	27,71	27,71	35,01	35,01
	Grindų temperatūra, °C	14,39	16,18	19,19	20,71
		15,89		19,59	
		18,25		23,34	
	Oro judėjimo greitis, m/s	0,19	0,19	0,07	0,07
	Anglies dvideginio konc., %	0,05	0,05	0,07	0,07
Pirmo aukšto 1-28 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-9,74	-9,74	-8,66	-8,66
	Patalpos oro temperatūra, °C	17,84	17,84	23,43	23,43
	Santykinė oro drėgmė, %	25,48	25,48	33,99	33,99
	Grindų temperatūra, °C	11,57	13,06	18,44	19,27
		13,12		19,41	
		14,49		19,96	
	Anglies dvideginio konc., %	0,04	0,04	0,07	0,07
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,67	0,73	0,29	0,31
		0,69		0,32	
		0,82		0,32	
Pirmo aukšto 1-29 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-10,28	-10,28	-15,92	-15,92
	Patalpos oro temperatūra, °C	17,42	17,42	22,34	22,34
	Santykinė oro drėgmė, %	26,47	26,47	29,87	29,87
	Grindų temperatūra, °C	13,24	14,09	18,86	19,60
		14,43		19,88	
		14,59		20,06	
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,08	0,08
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)	0,93	1,03	0,27	0,30
		1,02		0,29	
		1,15		0,35	
Pirmo aukšto 1-30 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	-9,97	-9,97	-15,61	-15,61
	Patalpos oro temperatūra, °C	22,34	22,34	21,48	21,48
	Santykinė oro drėgmė, %	18,25	18,25	27,22	27,22
	Grindų temperatūra, °C	20,18	21,84	19,73	20,09
		21,90		20,18	
		23,44		20,36	
	Oro judėjimo greitis, m/s	0,11	0,11	0,09	0,09
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,07	0,07

Po Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimo padidėjo anglies dvideginio koncentracija visose patalpose (0,02 %, nuo 0,05 iki 0,07 %). Nors vidutinės anglies dvideginio koncentracijos vertės tenkino reglamentų reikalavimus, tačiau kai vaikai būdavo 1-29 (miegamojo) ir 1-30 (žaidimų) patalpose, anglies dvideginio koncentracija viršydavo leistinas normas iki 1,52 karto. Būtinai šių patalpų papildomas vėdinimas.

3.26 pav. Lauko ir patalpų oro temperatūra išmatuota Semeliškių vaikų darželio pirmo aukšto 1-20 patalpoje: a) prieš atnaujinimą; b) po atnaujinimo

Fig. 3.26. Outdoor and indoor air temperature measured in the room 1-20 on the first floor of the kindergarten in Semeliškės: a) before renovation; b) after renovation

Po Semeliškių vaikų darželio pastato atnaujinimo patalpose sumažėjo oro judėjimo greitis nuo 0,15 m/s iki 0,08 m/s. Tokie parametrai tenkino HN 75:2010 reikalavimus. Po pastato apšiltinimo sienų šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo 2,84 karto (nuo 0,88 iki 0,31 W/(m²·K)) ir tenkino D energinio naudingumo pastatų klasei keliamus reikalavimus. Tyrimų metu lauko oro temperatūra svyravo apie –9,93 °C (prieš atnaujinimą) ir apie –12,22 °C (po atnaujinimo).

Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelyje-darželyje natūriniai tyrimai buvo atlikti keturiose patalpose 2011-02-02/04 (prieš atnaujinimą) ir 2013-02-12/14 (po atnaujinimo):

- pirmo aukšto 1-1 patalpoje (miegamajame);
- pirmo aukšto 1-24 patalpoje (miegamajame);
- antro aukšto 2-15 patalpoje (žaidimų ir miegamojo kambaryje);
- antro aukšto 2-20 patalpoje (žaidimų ir miegamojo kambaryje).

3.27 paveiksle pavaizduoti natūriniai tyrimai po Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio atnaujinimo, o 3.10 lentelėje pateikti visi gauti natūrinių tyrimų rezultatai prieš ir po šio pastato atnaujinimo.

3.27 pav. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio natūriniai tyrimai po atnaujinimo
Fig. 3.27. Field experiments in the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai after renovation

Prieš Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimą patalpų oro temperatūra buvo žema (18,21 °C), išskyrus 1-24 patalpą. Santykinė oro drėgmė buvo maža (36,33 %), pirmo aukšto grindų ant grunto temperatūra buvo maža (13,44 °C). Tokie parametrai netenkino Lietuvos HN 75:2010 reikalavimų. Anglies dvideginio koncentracijos vidutinės vertės visose tirtose patalpose atitiko reglamentų reikalavimus, tačiau vaikams būnant patalpose, anglies dvideginio koncentracija viršydavo leistinas normas iki 1,60 karto. Šio pastato išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo apie 0,63 W/(m²·K) ir netenkino

STR 2.05.01:2013 keliamų reikalavimų. Sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo 1,40 karto didesnis nei šiuo metu to reikalauja STR.

Po Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pastato atnaujinimo patalpų oro temperatūra pakilo 3,45 °C (nuo 18,21 iki 21,66 °C). Tokia patalpų oro temperatūra jau tenkino HN 75:2010 reikalavimus.

3.10 lentelė. Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio tyrimų rezultatai prieš ir po atnaujinimo

Table 3.10. Research results of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai before and after renovation

Patalpa	Matuojamas parametras, mato vnt.	Prieš atnaujinimą		Po atnaujinimo	
		Vertė	Vidurkis	Vertė	Vidurkis
Pirmo aukšto 1-1 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	−0,45	−0,45	1,21	1,21
	Patalpos oro temperatūra, °C	17,49	17,49	22,28	22,28
	Santykinė oro drėgmė, %	31,37	31,37	37,58	37,58
	Grindų temperatūra, °C	12,59	13,02	18,02	18,73
		13,06		19,03	
		13,41		19,13	
	Anglies dvideginio konc., %	0,06	0,06	0,08	0,08
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²·K)	0,57	0,58	0,37	0,41
		0,58		0,41	
0,59		0,44			
Pirmo aukšto 1-24 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	−0,47	−0,47	−0,27	−0,27
	Patalpos oro temperatūra, °C	18,27	18,27	20,54	20,54
	Santykinė oro drėgmė, %	36,00	36,00	28,74	28,74
	Grindų temperatūra, °C	13,28	13,85	17,42	17,57
		13,85		17,50	
		14,41		17,78	
	Anglies dvideginio konc., %	0,07	0,07	0,05	0,05
	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²·K)	0,65	0,68	0,29	0,30
		0,69		0,29	
0,69		0,33			
Antro aukšto 2-15 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	0,98	0,98	−0,16	−0,16
	Patalpos oro temperatūra, °C	18,69	18,69	19,85	19,85
	Santykinė oro drėgmė, %	42,30	42,30	46,00	46,00
	Anglies dvideginio konc., %	0,09	0,09	0,10	0,10
Antro aukšto 2-20 patalpa	Lauko oro temperatūra, °C	0,78	0,78	1,09	1,09
	Patalpos oro temperatūra, °C	18,38	18,38	23,98	23,98
	Santykinė oro drėgmė, %	41,61	41,61	40,33	40,33
	Anglies dvideginio konc., %	0,08	0,08	0,10	0,10

3.28 pav. Santykinė oro drėgmė, išmatuota Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio pirmo aukšto 1-1 patalpoje: a) prieš atnaujinimą; b) po atnaujinimo

Fig. 3.28. The relative humidity measured in the room 1-1 on the first floor of the kindergarten “Ežerėlis” in Trakai: a) before renovation; b) after renovation

Po Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelio-darželio atnaujinimo santykinė oro drėgmė patalpose išliko panaši (padidėjo 1,83 %, nuo 36,33 iki 38,16 %), tačiau vis tiek netenkinio HN 75:2010 reikalavimų (3.28 pav.). Norint padidinti santykinę oro drėgmę patalpose, galima naudoti specialius vandens garinimo indus, elektrinius oro drėkintuvus arba tiesiog prie šildymo prietaisų pastatyti indą su

vandeniui. Normalizuoti oro drėgmę patalpose taip pat padeda auginami augalai (kambarinės gėlės). Pastebimai padidėjo pirmo aukšto grindų ant grunto temperatūra (4,71 °C, nuo 13,44 iki 18,15 °C). Tokia grindų temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu jau tenkino HN 75:2010 reikalavimus. Po vaikų lopšelio-darželio atnaujinimo anglies dvideginio koncentracija patalpose išliko panaši (0,08 %). Didžiausią įtaką anglies dvideginio koncentracijai turi sandarūs plastikiniai langai, kurie jau buvo pakeisti prieš pastato atnaujinimą. Po pastato atnaujinimo padidėjo maksimalios anglies dvideginio koncentracijos vertės (apie 0,04 %, nuo 0,16 iki 0,20 %). Būtina atkreipti dėmesį į tai, kad vaikams būnant patalpose (tiek prieš, tiek po pastato atnaujinimo) anglies dvideginio koncentracija viršydavo leistinas normas. Dėl šios priežasties rekomenduojama dažniau vėdinti patalpas atidarant naujai sumontuotas orlaides. Tyrimų metu lauko oro temperatūra svyravo apie 0,21 °C (prieš atnaujinimą) ir apie 0,48 °C (po atnaujinimo). Šiame pastate po atnaujinimo sienų šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo 1,75 karto (nuo 0,63 iki 0,36 W/(m²·K)) ir tenkino D energinio naudingumo pastatų klasei keliamus reikalavimus, nurodytus STR 2.05.01:2013.

3.2.5. Pastatų atnaujinimo ekonominiai skaičiavimai

Siekiant nustatyti tiriamų vaikų lopšelių-darželių pastatų atnaujinimo ekonominę naudą (šilumos taupymo priemonių pasiekiamą naudą), buvo atlikti ekonominiai skaičiavimai, remiantis dienolaipsnių metodika, lyginant dviejų šildymo sezonų (prieš ir po atnaujinimo) energijos sąnaudas šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Atlikus skaičiavimus, nustatyta, kiek procentų mažiau šilumos energijos sunaudoja pastatai.

3.11 lentelėje pateikiami vaikų lopšelių-darželių duomenys, reikalingi atlikti skaičiavimams dienolaipsnių metodika.

3.11 lentelė. Vaikų lopšelių-darželių duomenys prieš ir po atnaujinimo

Table 3.11. Kindertgartens data before and after renovation

Pastatas	Prieš atnaujinimą			Po atnaujinimo		
	z , paros	t_v , °C	$t_{iš}$, °C	z , paros	t_v , °C	$t_{iš}$, °C
Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis	190	18,37	–1,39	188	20,82	–1,66
Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis	189	21,03	–1,64	181	21,74	–0,57
Semeliškių vaikų darželis	193	18,18	–1,27	183	22,04	–0,70
Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis	190	18,21	–1,39	188	21,66	–1,66

3.11 lentelėje z – šildymo sezono trukmė, paros; t_v – vidutinė skaičiuojamoji vidaus (patalpų) oro temperatūra, °C; $t_{i\bar{s}}$ – vidutinė skaičiuojamoji išorės (lauko) oro temperatūra, °C. Šildymo sezono trukmė yra nustatoma savivaldybės administracijos direktoriaus įsakymu, kiekvienais metais atskirai. Vidutinė skaičiuojamoji patalpų oro temperatūra buvo nustatyta natūrinių tyrimų metu. Vidutinės skaičiuojamosios lauko oro temperatūros duomenys buvo gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos archyvų, atsižvelgiant į tiriamų pastatų vietovę. Skaičiavimai dienolaipsnių metodika atliekami remiantis 2.6.5 poskyryje pateiktomis (2.43)–(2.44) formulėmis.

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje 2010–2011 m. šildymo sezono metu (prieš atnaujinimą) buvo suvartota 178,21 MWh šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti, o 2012–2013 m. šildymo sezono metu (po atnaujinimo) – 100,22 MWh šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius šioje vietovėje yra 3806 dienolaipsniai. Faktiniam dienolaipsnių skaičiui šildymo sezonu skaičiuojamoje vietovėje ir į normatyvinius metus perskaičiuotam metiniam šilumos suvartojimui nustatyti yra atliekami skaičiavimai:

$$DL_{f,prieš} = 190 \cdot (18,37 - (-1,39)) = 3754,40 \text{ dienolaipsnio},$$

$$Q_{n,prieš} = 178,21 \cdot \frac{3806,00}{3754,40} \approx 180,66 \text{ MWh},$$

$$DL_{f,po} = 188 \cdot (20,82 - (-1,66)) = 4226,24 \text{ dienolaipsnio},$$

$$Q_{n,po} = 100,22 \cdot \frac{3806,00}{4226,24} \approx 90,25 \text{ MWh}.$$

Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje atlikus pastato atnaujinimą šildymo sezono metu yra sutaupoma 50,04 % šilumos energijos pastato šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Šio darželio šildomų patalpų plotas yra 887,54 m², todėl prieš pastato atnaujinimą šildymui ir karštam vandeniui ruošti buvo suvartojama 203,55 kWh/(m²·metai) šilumos energijos, o po pastato atnaujinimo 101,69 kWh/(m²·metai) šilumos energijos.

Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelyje-darželyje 2010–2011 m. šildymo sezono metu (prieš atnaujinimą) buvo suvartota 296,25 MWh šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti, o 2011–2012 m. šildymo sezono metu (po atnaujinimo) – 173,12 MWh šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius šioje vietovėje yra 3956 dienolaipsniai. Faktiniam dienolaipsnių skaičiui šildymo sezonu skaičiuojamoje vietovėje ir į normatyvinius metus perskaičiuotam metiniam šilumos suvartojimui nustatyti yra atliekami skaičiavimai:

$$DL_{f,prieš} = 189 \cdot (21,03 - (-1,64)) = 4284,63 \text{ dienolaipsnio},$$

$$Q_{n,prieš} = 296,25 \cdot \frac{3956,00}{4284,63} \approx 273,53 \text{ MWh},$$

$$DL_{f,po} = 181 \cdot (21,74 - (-0,57)) = 4038,11 \text{ dienolaipsnio},$$

$$Q_{n,po} = 173,12 \cdot \frac{3956,00}{4038,11} \approx 169,60 \text{ MWh}.$$

Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelyje-darželyje atlikus pastato atnaujinimą šildymo sezono metu yra sutaupoma 38,00 % šilumos energijos pastato šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Šio darželio šildomų patalpų plotas prieš pastato atnaujinimą buvo 1643,95 m², o po pastato atnaujinimo 1980,83 m², nes pradėta šildyti dalis rūsio patalpų, kuriose yra palaikoma 16,0 °C oro temperatūra. Prieš pastato atnaujinimą šildymui ir karštam vandeniui ruošti buvo suvartojama apie 166,39 kWh/(m²·metai) šilumos energijos, o po pastato atnaujinimo buvo suvartojama 85,62 kWh/(m²·metai) šilumos energijos.

Semeliškių vaikų darželyje 2010–2011 m. šildymo sezono metu (prieš atnaujinimą) buvo suvartota 8023,20 l dyzelinio kuro (63,37 MWh) šildymui ir karštam vandeniui ruošti, o 2011–2012 m. šildymo sezono metu (po atnaujinimo) – 5958,70 l dyzelinio kuro (47,07 MWh) šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius šioje vietovėje yra 3806 dienolaipsniai. Faktiniam dienolaipsnių skaičiui šildymo sezonu skaičiuojamoje vietovėje ir į normatyvinius metus perskaičiuotam metiniam šilumos suvartojimui nustatyti yra atliekami skaičiavimai:

$$DL_{f,prieš} = 193 \cdot (18,18 - (-1,27)) = 3753,85 \text{ dienolaipsnio},$$

$$Q_{n,prieš} = 63,37 \cdot \frac{3806,00}{3753,85} \approx 64,25 \text{ MWh},$$

$$DL_{f,po} = 183 \cdot (22,04 - (-0,70)) = 4161,42 \text{ dienolaipsnio},$$

$$Q_{n,po} = 47,07 \cdot \frac{3806,00}{4161,42} \approx 43,05 \text{ MWh}.$$

Semeliškių vaikų darželyje atlikus pastato atnaujinimą šildymo sezono metu yra sutaupoma 33,00 % šilumos energijos pastato šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Šio darželio šildomų patalpų plotas yra 428,10 m², todėl prieš pastato atnaujinimą buvo suvartojama 150,08 kWh/(m²·metai) šilumos energijos, o po pastato atnaujinimo buvo suvartojama 100,56 kWh/(m²·metai) šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti.

Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelyje-darželyje 2010–2011 m. šildymo sezono metu (prieš atnaujinimą) buvo suvartota 180,37 MWh šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti, o 2012–2013 m. šildymo sezono metu (po atnaujinimo) – 124,12 MWh šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius šioje vietovėje yra 3806 dienolaipsniai. Faktiniam dienolaipsnių skaičiui šildymo sezonu skaičiuojamoje vietovėje ir į normatyvinius metus perskaičiuotam metiniam šilumos suvartojimui nustatyti yra atliekami skaičiavimai:

$$DL_{f,prieš} = 190 \cdot (18,21 - (-1,39)) = 3724,00 \text{ dienolaipsniai,}$$

$$Q_{n,prieš} = 180,37 \cdot \frac{3806,00}{3724,00} \approx 184,34 \text{ MWh,}$$

$$DL_{f,po} = 188 \cdot (21,66 - (-1,66)) = 4384,16 \text{ dienolaipsnio,}$$

$$Q_{n,po} = 124,12 \cdot \frac{3806,00}{4384,16} \approx 107,75 \text{ MWh.}$$

Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelyje-darželyje atlikus pastato atnaujinimą šildymo sezono metu yra sutaupoma 41,55 % šilumos energijos pastato šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Šio darželio šildomų patalpų plotas yra 825,32 m², todėl prieš pastato atnaujinimą šildymui ir karštam vandeniui ruošti buvo suvartojama 223,36 kWh/(m²·metai) šilumos energijos, o po pastato atnaujinimo buvo suvartojama 130,56 kWh/(m²·metai) šilumos energijos.

3.12 lentelėje pateikiamas vaikų lopšelių-darželių pastatų šilumos energijos sutaupymo kiekis procentais atnaujinus pastatus. Šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti šildymo sezono metu sutaupoma nuo 33,00 iki 50,04 %. Šiuo atžvilgiu geriausią rezultatą pasiekė Lentvario vaikų lopšelis-darželis. 3.29 paveiksle pateikta, kiek kWh šilumos energijos pastatai suvartodavo prieš atnaujinimą ir suvartoja po atnaujinimo 1 m² šildomo pastato ploto. Šiuo atžvilgiu geriausią rezultatą pasiekė Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis.

3.12 lentelė. Vaikų lopšelių-darželių šilumos energijos sutaupymo kiekis po atnaujinimo
Table 3.12. Thermal energy savings of kindergartens after renovation

Pastatas	Šilumos energijos sutaupymo kiekis po pastato atnaujinimo, %
Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis	50,04
Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis	38,00
Semeliškių vaikų darželis	33,00
Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis	41,55

3.29 pav. Vaikų lopšelių-darželių šilumos energijos sąnaudos prieš ir po atnaujinimo
Fig. 3.29. Thermal energy expenditure of kindergartens before and after renovation

Prieš pastatų atnaujinimą šilumos energijos sąnaudos svyravo nuo 150,08 iki 223,36 kWh/(m²·metai). Po tiriamų vaikų lopšelių-darželių pastatų atnaujinimo šilumos energijos sąnaudos 1 m² per metus sumažėjo 43,71 % ir svyravo nuo 85,62 iki 130,56 kWh/(m²·metai).

Apskaičiavus šilumos energijos sąnaudas normatyviniams metams prieš ir po pastatų atnaujinimo, galima atlikti investicijų atsiperkamumo skaičiavimus. Tuo tikslu yra apskaičiuojamas paprastas ir tikrasis atsipirkimo laikas, remiantis 2.6.5 poskyryje pateiktomis (2.45)–(2.47) formulėmis:

$$PB_{A_1} = \frac{796529,45}{90410 \cdot 0,3524} \approx 25,00 \text{ metai},$$

$$PO_{A_1} = \frac{-\ln(1 - 0,01 \cdot 25,00)}{\ln(1 + 0,01)} \approx 28,91 \text{ metų},$$

$$PB_{A_2} = \frac{997497,42}{103930 \cdot 0,2229} \approx 43,06 \text{ metų},$$

$$PO_{A_2} = \frac{-\ln(1 - 0,01 \cdot 43,06)}{\ln(1 + 0,01)} \approx 56,60 \text{ metų},$$

$$PB_{A_3} = \frac{426444,46}{21200 \cdot 0,4026} \approx 49,96 \text{ metų},$$

$$PO_{A_3} = \frac{-\ln(1 - (-0,08) \cdot 49,96)}{\ln(1 + (-0,08))} \approx 19,29 \text{ metų},$$

$$PB_{A_4} = \frac{45713,50}{76590 \cdot 0,3759} \approx 15,88 \text{ metų},$$

$$PO_{A_4} = \frac{-\ln(1 - 0,01 \cdot 15,88)}{\ln(1 + 0,01)} \approx 17,38 \text{ metų}.$$

Skaiciuojant paprastąjį ir tikrąjį atsipirkimo laiką, reikiami duomenys buvo gauti iš šių šaltinių:

- LVPA (investuotos lėšos į pastatų atnaujinimą, kurios yra susijusios su energijos taupymu (tinkamos išlaidos));
- vaikų lopšelių-darželių ir savivaldybių administracijų (šilumos energijos sutaupymo kiekis, šilumos energijos kaina po pastatų atnaujinimo);
- Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos internetinio puslapio <http://www.regula.lt/lt/> (šilumos energijos brangimas).

Šilumos energijos brangimas priimtas 4 % (centralizuotai tiekiamai šilumai) ir 14 % (dyzelinui). Šis brangimas apskaičiuotas, remiantis šildymo mėnesių (spalio–balandžio) 2009–2013 m. kainomis Lietuvoje.

3.2.6. Pastatų estetiškas vaizdas

3.13 lentelėje pateikiami visų tiriamų pastatų estetinio vaizdo įvertinimai prieš ir po atnaujinimo. Jie nustatyti, remiantis 2.6.6 poskyryje pateikta atnaujinamų pastatų estetinio vaizdo vertinimo lentele (2.2 lentelė) vizualiai apžiūrėjus jų fasadus ir išorines atitvaras.

3.13 lentelė. Tiriamų vaikų lopšelių-darželių estetiškas vaizdas prieš ir po atnaujinimo
Table 3.13. Aesthetic value of investigated kindergartens before and after renovation

Pastatas	Pastato estetiškas vaizdas, balai	
	Prieš atnaujinimą	Po atnaujinimo
Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis	3	8
Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis	4	9
Semeliškių vaikų darželis	3	7
Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis	4	8

Kuo didesnė 3.13 lentelėje pateikto balo reikšmė, tuo tiriamas pastatas yra estetiškesnis (gražesnis).

3.3. Sprendimo priėmimo duomenys daugiataksiui vertinimui

Remiantis 2.1 poskyryje pateiktu PAEV modeliu, iš pradžių yra sudaroma vertinamų rodiklių sistema. Pastatų atnaujinimui vertinti siūloma naudoti 10 skirtingų rodiklių, geriausiai apibūdinančių pastatų atnaujinimą. Sudaromos 2 sprendimų priėmimo duomenų lentelės: įvertinant rodiklių pokyčius ir įvertinant rodiklių pasiektas reikšmes.

Rodikliai, kurie naudojami sprendimo priėmimo duomenų lentelėje įvertinant rodiklių pokyčius (skirtumus prieš ir po pastatų atnaujinimo) (3.14 lentelė):

Δc_1 – pastato bendro fizinio nusidėvėjimo sumažėjimas, %;

Δc_2 – oro temperatūros veiksnio priartėjimas prie optimalaus;

Δc_3 – anglies dvideginio koncentracijos padidėjimas patalpose, %;

Δc_4 – santykinės oro drėgmės veiksnio priartėjimas prie optimalaus;

Δc_5 – šilumos energijos sąnaudų sumažėjimas, kWh/(m²·metai);

Δc_6 – pastato estetinio vaizdo pagerėjimas, balai;

c_7 – paprastasis atsipirkimo laikas, metai;

Δc_8 – sienų šilumos perdavimo koeficiento sumažėjimas, W/(m²·K);

Δc_9 – fasadų vandens įgerties vertės sumažėjimas, ml/min.;

Δc_{10} – grindų temperatūros veiksnio priartėjimas prie optimalaus.

3.14 lentelė. Sprendimo priėmimo duomenų lentelė įvertinant rodiklių pokyčius
Table 3.14. Decision making data table (evaluating attribute changes)

Alter- natyva	Rodiklių pokyčiai (skirtumai prieš ir po pastatų atnaujinimo)									
	Δc_1	Δc_2	Δc_3	Δc_4	Δc_5	Δc_6	c_7	Δc_8	Δc_9	Δc_{10}
a_1	27	0,415	0,04	0,967	101,86	5	25,00	0,69	10,04	0,686
a_2	21	0,007	0,04	0,212	80,77	5	43,06	0,25	0,06	0,278
a_3	30	0,477	0,02	0,310	49,52	4	49,96	0,57	0,22	0,117
a_4	19	0,480	0,01	0,008	92,80	4	15,88	0,27	9,29	0,365
Opt. kryptis	max.	max.	min.	max.	max.	max.	min.	max.	max.	max.

Rodikliai, kurie naudojami sprendimo priėmimo duomenų lentelėje įvertinant rodiklių pasiektas reikšmes (po pastatų atnaujinimo) (3.15 lentelė):

- c_1 – pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, %;
- c_2 – oro temperatūros patalpose veiksnys;
- c_3 – anglies dvideginio koncentracija patalpose, %;
- c_4 – santykinės oro drėgmės patalpose veiksnys;
- c_5 – šilumos energijos sąnaudos, kWh/(m²·metai);
- c_6 – pastato estetiškas vaizdas, balai;
- c_7 – tikrasis atsipirkimo laikas, metai;
- c_8 – sienų šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²·K);
- c_9 – fasadų vandens įgerties vertė, ml/min.;
- c_{10} – pirmo aukšto grindų temperatūros veiksnys.

3.15 lentelė. Sprendimo priėmimo lentelė įvertinant rodiklių pasiektas reikšmes
Table 3.15. Decision making data table (evaluating attribute reached values)

Alternatyva	Rodiklių pasiektos reikšmės (po pastatų atnaujinimo)									
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}
a_1	8	0,979	0,09	0,967	101,69	8	28,91	0,31	0,01	0,948
a_2	7	0,997	0,09	0,703	85,62	9	56,60	0,33	0,01	0,968
a_3	7	0,987	0,07	0,658	100,56	7	19,29	0,31	0,07	0,973
a_4	6	0,999	0,08	0,860	130,56	8	17,38	0,36	0,06	0,907
Opt. kryptis	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	min.	min.	max.

3.14, 3.15 ir tolimesnėse lentelėse pateiktos alternatyvos (jos detalios aprašytos 3.1 poskyryje):

- a_1 – Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis;
- a_2 – Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis;
- a_3 – Semeliškių vaikų darželis;
- a_4 – Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis.

Visos 3.14 ir 3.15 sprendimo priėmimo duomenų lentelėse pateiktos alternatyvų rodiklių reikšmės yra nustatytos natūrinių tyrimų metu. Šių rodiklių reikšmės perkeltos: c_1 – iš 3.5 lentelės; c_2 , c_3 , c_4 , c_8 ir c_{10} – iš 3.7–3.10 lentelių; c_5 – iš 3.29 paveikslo; c_6 – iš 3.13 lentelės; c_7 – iš 3.2.5 poskyryje pateiktų ekonominių skaičiavimų; c_9 – iš 3.6 lentelės. c_2 , c_4 ir c_{10} rodiklių reikšmės perskaičiuotos pritaikius optimizavimo veiksnus, remiantis (2.2), (2.4) ir (2.6) formulėmis. 3.14 ir 3.15 lentelėse pateiktos rodiklių optimizavimo kryptys yra: min. – minimizuojami rodikliai, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės; max. – maksimizuojami rodikliai, kurių didesnės reikšmės yra geresnės.

3.4. Rodiklių svorių nustatymas SWARA metodu

Vertinamų rodiklių svoriams (reikšmingumui, svarbumui, naudingumui, įtakai) nustatyti yra taikomas nuoseklus laipsniškas porinio rodiklių santykinės svarbos lyginimo (SWARA) metodas. SWARA metodo skaičiavimai yra atliekami remiantis 2.3 poskyryje pateiktu aprašymu ir (2.7)–(2.10) formulėmis.

Rodiklių svorių nustatyme dalyvavo 10 ekspertų, kurių darbo stažas pastatų atnaujinimo srityje nuo 5 iki 20 metų. Ekspertai bendrai surikiavo rodiklius pagal svarbą: pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, santykinė oro drėgmė, šilumos energijos sąnaudos, pastato estetiškas vaizdas, investicijų atsipirkimo laikas, sienų šilumos perdavimo koeficientas, fasadų vandens įgertis, pirmo aukšto grindų temperatūra. Ekspertai bendrai surikiavo rodiklius, todėl laikoma, kad jų nuomonės yra suderintos.

3.16 lentelė. Rodiklių porinis santykinės svarbos vertinimas (SWARA metodu)

Table 3.16. Pair-wise evaluation of attributes relative importance (SWARA method)

Ekspertas	Rodiklių porinis santykinės svarbos vertinimas								
	$c_{1 \leftrightarrow 2}$	$c_{2 \leftrightarrow 3}$	$c_{3 \leftrightarrow 4}$	$c_{4 \leftrightarrow 5}$	$c_{5 \leftrightarrow 6}$	$c_{6 \leftrightarrow 7}$	$c_{7 \leftrightarrow 8}$	$c_{8 \leftrightarrow 9}$	$c_{9 \leftrightarrow 10}$
1	0,50	0,20	0,20	0,10	0,30	0,10	0,30	0,10	0,30
2	0,20	0,02	0,02	0,16	0,02	0,24	0,02	0,26	0,06
3	0,50	0,30	0,00	0,00	0,20	0,10	0,10	0,10	0,15
4	0,60	0,70	0,60	0,00	0,65	0,00	0,65	0,85	0,00
5	0,20	0,30	0,10	0,00	0,40	0,40	0,00	0,10	0,00
6	0,30	0,20	0,10	0,05	0,05	0,00	0,10	0,10	0,00
7	0,40	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40	0,10	0,10
8	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,00	0,00	0,40	0,00
9	0,10	0,25	0,10	0,30	0,50	0,10	0,00	0,00	0,10
10	0,10	0,05	0,30	0,20	0,50	0,05	0,20	0,30	0,10

3.16 lentelėje pateiktas kiekvieno ekspertizėje dalyvavusio eksperto vertinimas lyginant gretutines rodiklių poras. Kiekvienas ekspertas vienetiniais dydžiais (nuo 0,00 iki 1,00) nurodė, kiek c_j rodiklis jam yra svarbesnis už c_{j+1} rodiklį, t. y., nurodė rodiklių santykinės lyginamosios svarbos reikšmes.

3.17 lentelėje pateikti SWARA metodo skaičiavimų rezultatai: rodiklių santykinės lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės (gautos iš 3.16 lentelės aritmetinių vidurkių), rodiklių santykinės lyginamosios svarbos koeficientai, perskaičiuoti (tarpiniai) rodiklių svoriai ir galutiniai rodiklių svoriai. Galutiniai rodiklių svoriai yra naudojami daugiatikslų sprendimo priėmimo metodų TODIM, TOPSIS ir VIKOR skaičiavimuose.

3.17 lentelė. Rodiklių svorių nustatymas SWARA metodu

Table 3.17. Determining attribute weights by SWARA method

Rodiklis	Rodiklių lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės, $s_{j \leftrightarrow j+1}$	Rodiklių lyginamosios svarbos koeficientai, k_j	Perskaičiuoti (tarpiniai) rodiklių svoriai, w_j	Galutiniai rodiklių svoriai, q_j
c_1	—	1,000	1,000	0,207
c_2	0,290	1,290	0,775	0,160
c_3	0,232	1,232	0,629	0,130
c_4	0,162	1,162	0,541	0,112
c_5	0,121	1,121	0,483	0,100
c_6	0,312	1,312	0,368	0,076
c_7	0,129	1,129	0,326	0,068
c_8	0,177	1,177	0,277	0,057
c_9	0,231	1,231	0,225	0,047
c_{10}	0,081	1,081	0,208	0,043
	—			

Rodiklių svorių nustatymo skaičiavimai yra pateikti disertacijos A priede.

3.5. Daugiatiksliis vertinimas TODIM, TOPSIS, VIKOR ir rezultatų apibendrinimas Copeland metodais

Siekiant objektyviau įvertinti tiriamų pastatų atnaujinimą, yra taikomi 3 skirtingi daugiatiksliai vertinimo metodai: TODIM, TOPSIS ir VIKOR. Skaiciavimai yra atliekami remiantis sudarytomis sprendimo priėmimo duomenų lentelėmis (3.14 ir 3.15 lentelės) ir apskaičiuotais rodiklių svoriais (3.17 lentelė). Skirtingais daugiatiksliais vertinimo metodais gauti rezultatai yra apibendrinami taikant Copeland metodą (2.1 poskyryje pateikto PAEV modelio 5–11 etapai).

Skaiciavimai TODIM metodu atliekami remiantis 2.4 poskyryje pateiktomis (2.11)–(2.20) formulėmis. Iš pradžių yra normalizuojamos sprendimo priėmimo duomenų lentelės (3.18 lentelė).

3.18 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaiciuojant TODIM metodu)

Table 3.18. Normalized data tables (counting by TODIM method)

Alternatyva	Rodiklis									
	Δc_1 (c_1)	Δc_2 (c_2)	Δc_3 (c_3)	Δc_4 (c_4)	Δc_5 (c_5)	Δc_6 (c_6)	c_7 (c_7)	Δc_8 (c_8)	Δc_9 (c_9)	Δc_{10} (c_{10})
a_1	0,278 (0,216)	0,301 (0,247)	0,125 (0,227)	0,646 (0,303)	0,313 (0,251)	0,278 (0,250)	0,274 (0,214)	0,388 (0,263)	0,512 (0,433)	0,474 (0,250)
a_2	0,216 (0,247)	0,005 (0,252)	0,125 (0,227)	0,142 (0,221)	0,249 (0,299)	0,278 (0,281)	0,159 (0,109)	0,140 (0,247)	0,003 (0,433)	0,192 (0,255)
a_3	0,309 (0,247)	0,346 (0,249)	0,250 (0,291)	0,207 (0,206)	0,152 (0,254)	0,222 (0,219)	0,137 (0,321)	0,320 (0,263)	0,011 (0,062)	0,081 (0,256)
a_4	0,196 (0,289)	0,348 (0,252)	0,500 (0,255)	0,005 (0,270)	0,286 (0,196)	0,222 (0,250)	0,431 (0,356)	0,152 (0,227)	0,474 (0,072)	0,252 (0,239)

3.18 lentelėje pateiktos normalizuotų duomenų lentelių reikšmės pagal rodiklių pokyčius (be skliaustų) ir rodiklių pasiektas reikšmes (skliaustuose). disertacijos A priede yra atlikti TODIM metodo skaiciavimai bei nustatyta alternatyvų „santykinė bendra vertė“ įvertinant rodiklių pokyčius ir rodiklių pasiektas reikšmes. Galutiniam įvertinimui skiriama 40 % įtaka, skaiciuojant pagal rodiklių pokyčius, ir 60 % įtaka pagal rodiklių pasiektas reikšmes:

$$V(a_1) = 1,000 \cdot 0,4 + 1,000 \cdot 0,6 = 1,000, \quad V(a_2) = 0,000 \cdot 0,4 + 0,763 \cdot 0,6 = 0,458,$$

$$V(a_3) = 0,175 \cdot 0,4 + 0,194 \cdot 0,6 = 0,186, \quad V(a_4) = 0,604 \cdot 0,4 + 0,000 \cdot 0,6 = 0,242.$$

Remiantis gauta galutine kiekvienos alternatyvos „santykinė bendra vertė“, sudaroma TODIM daugiatikslio sprendimo priėmimo metodo alternatyvų prioritetų eilė:

$$a_1 \succ a_2 \succ a_4 \succ a_3 .$$

Skaiciavimai TOPSIS metodu atliekami remiantis 2.4 poskyrio (2.21)–(2.28) formulėmis. Iš pradžių atliekamas normalizavimas (3.19 lentelė).

3.19 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaičiuojant TOPSIS metodu)

Table 3.19. Normalized data tables (counting by TOPSIS method)

Alternatyva	Rodiklis									
	Δc_1 (c_1)	Δc_2 (c_2)	Δc_3 (c_3)	Δc_4 (c_4)	Δc_5 (c_5)	Δc_6 (c_6)	c_7 (c_7)	Δc_8 (c_8)	Δc_9 (c_9)	Δc_{10} (c_{10})
a_1	0,548 (0,569)	0,523 (0,494)	0,658 (0,543)	0,932 (0,599)	0,609 (0,480)	0,552 (0,498)	0,346 (0,421)	0,713 (0,472)	0,734 (0,107)	0,823 (0,499)
a_2	0,426 (0,497)	0,009 (0,503)	0,658 (0,543)	0,204 (0,436)	0,483 (0,404)	0,552 (0,560)	0,596 (0,824)	0,258 (0,503)	0,004 (0,107)	0,334 (0,510)
a_3	0,608 (0,497)	0,601 (0,498)	0,329 (0,422)	0,299 (0,408)	0,296 (0,475)	0,442 (0,436)	0,691 (0,281)	0,589 (0,472)	0,016 (0,750)	0,140 (0,512)
a_4	0,385 (0,426)	0,605 (0,504)	0,164 (0,482)	0,008 (0,533)	0,555 (0,617)	0,442 (0,498)	0,220 (0,253)	0,279 (0,549)	0,679 (0,643)	0,438 (0,478)

3.19 lentelėje pateiktos normalizuotų duomenų lentelių reikšmės pagal rodiklių pokyčius (be skliaustų) ir rodiklių pasiektas reikšmes (skliaustuose). Disertacijos A priede yra atlikti TOPSIS metodo skaičiavimai bei nustatytas kiekvienos alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus (iki idealios alternatyvos). Galutiniam įvertinimui skiriama 40 % įtaka, skaičiuojant pagal rodiklių pokyčius, ir 60 % įtaka pagal rodiklių pasiektas reikšmes:

$$K_1 = 0,692 \cdot 0,4 + 0,570 \cdot 0,6 = 0,619, \quad K_2 = 0,174 \cdot 0,4 + 0,461 \cdot 0,6 = 0,346,$$

$$K_3 = 0,551 \cdot 0,4 + 0,521 \cdot 0,6 = 0,533, \quad K_4 = 0,519 \cdot 0,4 + 0,595 \cdot 0,6 = 0,565.$$

Remiantis gautu galutiniu kiekvienos alternatyvos santykinio atstumu iki idealaus, sudaroma TOPSIS metodo alternatyvų prioritetų eilė:

$$a_1 \succ a_4 \succ a_3 \succ a_2 .$$

Skaiciavimai VIKOR metodu yra atliekami remiantis 2.4 poskyryje pateiktomis (2.29)–(2.36) formulėmis. Sprendimo priėmimo duomenų lentelių normalizavimas yra atliekamas skaičiuojant alternatyvų „grupės naudingumą“ ir „individualų priešišumą“, kurio metu, taip pat įvertinamas rodiklių svoris:

$$S_1 = 0,227 \quad (0,607), \quad R_1 = 0,130 \quad (0,207), \quad S_2 = 0,777 \quad (0,439), \quad R_2 = 0,169 \quad (0,130),$$

$$S_3 = 0,469 \quad (0,471), \quad R_3 = 0,100 \quad (0,112), \quad S_4 = 0,495 \quad (0,381), \quad R_4 = 0,207 \quad (0,100).$$

Alternatyvų „grupės naudingumas“ ir „individualus priešiškusmas“ yra pateiktas pagal rodiklių pokyčius (be skliaustų) ir rodiklių pasiektas reikšmės (skliaustuose). Disertacijos A priede yra atlikti VIKOR metodo skaičiavimai bei nustatyta kiekvienos alternatyvos indekso vertė. Galutiniam įvertinimui skiriama 40 % įtaka, skaičiuojant pagal rodiklių pokyčius, ir 60 % įtaka pagal rodiklių pasiektas reikšmes:

$$Q_1 = 0,141 \cdot 0,4 + 1,000 \cdot 0,6 = 0,656, \quad Q_2 = 0,824 \cdot 0,4 + 0,269 \cdot 0,6 = 0,491,$$

$$Q_3 = 0,220 \cdot 0,4 + 0,255 \cdot 0,6 = 0,241, \quad Q_4 = 0,744 \cdot 0,4 + 0,000 \cdot 0,6 = 0,298.$$

Remiantis gauta galutine kiekvienos alternatyvos indekso verte, sudaroma VIKOR metodo alternatyvų prioritetų eilė:

$$a_3 \succ a_4 \succ a_2 \succ a_1.$$

Siekiant apibendrinti skirtingais daugiatisiais vertinimo metodais gautus rezultatus Copeland metodu (2.4 poskyryje pateikta (2.38) formulė), sudaroma alternatyvų rangų ir kvadratinės matricos lentelės (3.20 ir 3.21 lentelės).

3.20 lentelė. Alternatyvų rangų lentelė (skaičiuojant Copeland metodu)

Table 3.20. Alternatives ranks table (counting by Copeland method)

Alternatyva	Daugiatikslis vertinimo metodas			Vidurkis
	TODIM	TOPSIS	VIKOR	
a_1	1	1	3	1,667
a_2	2	4	4	3,333
a_3	4	3	2	3,000
a_4	3	2	1	2,000

3.21 lentelė. Kvadratinės matricos lentelė (skaičiuojant Copeland metodu)

Table 3.21. Square matrix table (counting by Copeland method)

Alternatyva	a_1	a_2	a_3	a_4	$\sum P_i$	$\sum P_i - \sum N_i$
a_1	—	1	1	1	3	3
a_2	0	—	0	0	0	−3
a_3	0	1	—	0	1	−1
a_4	0	1	1	—	2	1
$\sum N_i$	0	3	2	1	—	—

Remiantis Copeland rangų (3.21 lentelėje paskutinis stulpelis), sudaroma galutinė alternatyvų prioritetų eilė:

$$a_1 \succ a_4 \succ a_3 \succ a_2 .$$

Visi SWARA, TODIM, TOPSIS, VIKOR ir Copeland metodų etapų skaičiavimai yra pateikiami disertacijos A priede MS Excel formatu.

3.6. Pastatų atnaujinimo efektyvumo vertinimo rezultatų analizė

Vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą, remiantis 2.1 poskyryje pateiktu modeliu, paskutinis vertinimo etapas yra rezultatų analizė ir išvadų parengimas.

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad iš 4 tiriamų pastatų geriausiai atnaujintas Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis, o paskutinė vieta tenka Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšeliui-darželiui. Tokio rangavimo pagrindinės priežastys yra šios:

1. Patalpų mikroklimato parametrų pokyčiai. Labiausiai skyrėsi nagrinėjamų alternatyvų santykinė oro drėgmė (iki 20,82 %) ir pirmo aukšto grindų temperatūra (iki 4,98 °C). Oro temperatūra ir anglies dvideginio koncentracija visų alternatyvų patalpose buvo ir yra panašios.
2. Šilumos energijos sąnaudų pokyčiai. Labiausiai šios sąnaudos sumažėjo Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelyje-darželyje. Šilumos energijos sąnaudos yra tiesiogiai susijusios su išmatuota sienų šilumos perdavimo koeficiento reikšme.
3. Investicijų atsipirkimo laikas. Jis priklauso nuo investicijų efektyvumo ir šilumos energijos kainų tam tikrame regione. Nagrinėjamuose objektuose investicijų efektyvumas siekė nuo 5,97 iki 20,12 Lt už sutaupytą šilumos energijos kilovatvalandę per metus, o šilumos energijos kaina – nuo 0,2229 iki 0,4026 Lt už kilovatvalandę.
4. Fasadų vandens įgertis. Prieš pastatų atnaujinimą pastebimas didelis skirtumas matuojant fasadų vandens įgertį plytiniuose (silikatinių plytų) ir akyto betono plokščių fasaduose. Plytiniai fasadai įgerdavo apie 55 kartus daugiau vandens nei akyto betono plokščių fasadai.
5. Kiti nagrinėjamų alternatyvų rodikliai buvo panašūs, todėl turėjo mažesnės įtakos alternatyvų rangavimui.

Po pastatų atnaujinimo visų alternatyvų rodikliai buvo panašūs (išskyrus tikrąjį atsipirkimo laiką), kiekviena alternatyva turėjo po 3 geriausius ir 2–3 blogiausius rodiklius, todėl skaičiuojant uždavinį pagal rodiklių pasiektas reikšmės

skirtingais daugiatisliais vertinimo metodais, alternatyvos buvo suranguotos skirtingai. Skaičiuojant uždavinį pagal rodiklių pokyčius pastebimi didesni skirtumai tarp rodiklių reikšmių. Čia labiausiai išsiskiria Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis, kuris turėjo 6 geriausius ir 1 blogiausią rodiklį, tuo tarpu, Semeliškių ir Molėtų „Saulutės“ vaikų darželiai turėjo po 1 geriausią ir 4 blogiausius rodiklius. Skaičiuojant uždavinį pagal rodiklių pokyčius skirtingais daugiatisliais vertinimo metodais, alternatyvos buvo suranguotos panašiai.

3.7. Trečiojo skyriaus išvados

1. Atlikus pastatų fizinio nusidėvėjimo vertinimą, nustatyta, kad prieš atnaujinimą pastatų fizinis nusidėvėjimas siekė iki 37 %, kompleksiškai atnaujinus pastatus jų fizinis nusidėvėjimas sumažėjo ir siekė ≈ 7 %. Eksploatacijos metu pastatai nebuvo tinkamai prižiūrimi, laiku neatliekami reikiami paprastojo remonto darbai.
2. Atlikus fasadų vandens įgerties tyrimus, nustatyta, kad plytiniai fasadai viršijo fasadų įgerties ribines vertes apie 20 kartų (šių fasadų įgertis buvo 9,8 ml/min.). Po atnaujinimo visi tinkuoti fasadai tenkino leistinas fasadų įgerties ribines vertes (fasadų įgertis buvo 0,1 ml/min.).
3. Atlikus termovizinius tyrimus, nustatyta, kad pastatai daugiau šilumos netekdavo per senus medinius langus ir duris, cokolius, išorinių sienų sandūras, drėgmės pažeistas vietas. Po pastatų atnaujinimo pastebėti keli statybos darbų technologijos pažeidimai, dėl kurių išorinėse atitvarose susidarė šilumos tilteliai.
4. Atlikus patalpų mikroklimato parametrų tyrimus, nustatyta, kad prieš pastatų atnaujinimą kai kuriose patalpose oro temperatūra neatitiko ribinių verčių (temperatūra buvo per žema arba per aukšta), santykinė oro drėgmė buvo per maža (25,64 %), grindų ant grunto ar virš rūšio perdangos temperatūra buvo žema (14,46 °C). Po pastatų atnaujinimo patalpų oro temperatūra tenkino HN reikalavimus (buvo 21,57 °C), santykinė oro drėgmė pakilo apie 10,00 % (iki 36,68 %), tačiau vis tiek netenkino HN reikalavimų. Norint padidinti santykinę oro drėgmę patalpose, galima naudoti specialius vandens garinimo indus, oro drėkintuvus, prie šildymo prietaisų pastatyti indus su vandeniu arba auginti kambarinius augalus. Jei pastate sumontuotas rotacinis rekuperatorius, jo naudojimas taip pat padidina santykinę oro drėgmę. Pirmo aukšto grindų temperatūra pakilo 4,91 °C (iki 19,37 °C) ir tenkino HN reikalavimus. Oro judėjimo greitis prieš ir po pastatų atnaujinimo išliko panašus (prieš atnaujinimą buvo 0,12 m/s, po atnaujinimo – 0,14 m/s) ir ten-

kino HN reikalavimus. Po pastatų atnaujinimo padidėjo anglies dvideginio koncentracija patalpose 0,02 % (iki 0,08 %). Nors vidutinės anglies dvideginio koncentracijos vertės tenkino STR 2.09.02:2005 reikalavimus, tačiau, kai vaikai būdavo patalpose, anglies dvideginio koncentracija viršydavo leistinas normas iki 2,31 karto. Dėl to reikia dažniau (intensyviau) vėdinti patalpas arba naudoti rotacinį rekuperatorių (tuose vaikų lopšeliuose-darželiuose, kuriuose jis yra sumontuotas).

5. Atlikus šilumos perdavimo koeficientų matavimus, nustatyta, kad prieš pastatų atnaujinimą vidutinė išorinių sienų šilumos perdavimo koeficiento vertė buvo 0,78 W/(m²·K). Atnaujinus pastatus šilumos perdavimo koeficiento vertė sumažėjo 0,46 W/(m²·K) (iki 0,32 W/(m²·K)) ir tenkino D energinio naudingumo pastatų klasei keliamus reikalavimus.
6. Atlikus ekonominius skaičiavimus, nustatyta, kad atnaujintuose pastatuose sunaudojama 40,65 % mažiau šilumos energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Skaičiuojant šilumos energijos sąnaudas per šildymo sezoną prieš ir po pastatų atnaujinimo 1 m² šildomo pastato ploto, nustatyta, kad energijos sąnaudos sumažėjo 81,24 kWh/(m²·metai) (nuo 185,85 iki 104,61 kWh/(m²·metai)). Tikrasis investicijų į šilumą taupančias priemones atsipirkimo laikas yra nuo 17,38 iki 56,60 metų.
7. Atlikus pastatų estetinio vaizdo vertinimą, nustatyta, kad atnaujinus pastatus jų estetiškas vaizdas pagerėjo 4–5 balais, remiantis pateikta dešimtbalė estetinio vaizdo vertinimo sistema.
8. Pritaikius PAEV modelį, gauta galutinė alternatyvų prioritetų eilė yra: Lentvario „Svajonėlės“ vaikų lopšelis-darželis > Trakų „Ežerėlio“ vaikų lopšelis-darželis > Semeliškių vaikų darželis > Molėtų „Saulutės“ vaikų lopšelis-darželis. Tokio rangavimo pagrindinės priežastys: patalpų mikroklimato parametrų ir šilumos energijos sąnaudų pokyčiai, investicijų atsipirkimo laikas ir fasadų vandens įgertis. Šie rodikliai turi didžiausios įtakos pastatų atnaujinimo efektyvumui.
9. Po tirtų pastatų atnaujinimo skirtingų alternatyvų visų taikytų rodiklių, išskyrus tikrąjį atsipirkimo laiką, reikšmės buvo panašios. Dėl šios priežasties, skaičiuojant uždavinį skirtingais daugiataksiais vertinimo metodais, pagal rodiklių pasiektas reikšmės, alternatyvos buvo suranguotos skirtingai.

Bendrosios išvados

1. Atlikus literatūros analizę, išskiriami 6 pagrindiniai pastatų atnaujinimą lemiantys veiksniai: pastato gyvavimo trukmė, patalpų mikroklimato parametrai, pastato energinis naudingumas, poveikis aplinkai, pastato estetiškas vaizdas ir pastato rinkos vertė. Taip pat išskirta 10 svarbiausių rodiklių, kurie turi įtakos vertinant pastatų atnaujinimo efektyvumą: pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, patalpų oro temperatūra, anglies dvideginio koncentracija, santykinė oro drėgmė, šilumos energijos sąnaudos, pastato estetiškas vaizdas, paprastas ir tikrasis atsipirkimo laikas, išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas, fasadų vandens įgertis ir pirmo aukšto grindų temperatūra.
2. Sukurtas PAEV modelis, padedantis kompleksiskai įvertinti svarbiausius rodiklius, taikant skirtingus daugiataksių sprendimo priėmimo metodus TODIM, TOPSIS ir VIKOR bei gautų rezultatų apibendrinimo Copeland metodą. PAEV modelis išsiskiria tuo, kad pastatų atnaujinimas yra vertinamas 2 aspektais: įvertinant rodiklių pokyčių reikšmes ir rodiklių pasiektas reikšmes. Nors pastatų atnaujinimo tikslas yra rodiklių pasiektos reikšmės (pastatų būklė po atnaujinimo), tačiau taip pat svarbu įvertinti rodiklių pokyčių reikšmes (pastatų būklės prieš ir po atnaujinimo palyginimas). Rodiklių pokyčių reikšmės parodo pastatų atnaujinimo efektyvumą.

3. Rodikliams, kurie neturi vienos optimizavimo krypties, įvertinti yra sukurtas optimizavimo veiksnys. Optimizavimo veiksnys nustatomas pritaikius kvadratinę funkciją, kurios grafikas yra parabolė. Kvadratinė funkcija yra apskaičiuojama remiantis rodikliui HN nustatytomis leidžiamomis ribomis (komforto zona), optimalia verte ir dešimtbalė vertinimo sistema. Optimizavimo veiksnį reikia pritaikyti šiems rodikliams: patalpų oro temperatūrai, santykinei oro drėgmei ir pirmo aukšto grindų temperatūrai.
4. Vertinamų rodiklių svoriams nustatyti pritaikytas SWARA metodas, pasitelkiant pastatų atnaujinimo srityje dirbančių ekspertų vertinimus. Tokiu būdu yra sumažintas nustatyto rodiklių svorių subjektyvumas. Iš 10 tiriamų rodiklių svarbiausias nustatytas rodiklis yra pastato bendras fizinis nusidėvėjimas, mažiausiai svarbus rodiklis – pirmo aukšto grindų temperatūra.
5. Pastatų atnaujinimo efektyvumui tirti ir rodiklių realioms reikšmėms nustatyti pasirinktos šios pastatų natūrinių tyrimų metodikos: fizinio nusidėvėjimo įvertinimas, fasadų įgerties tyrimai, termoviziniai tyrimai, patalpų mikroklimato parametrų ir išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų tyrimai, atnaujinimo ekonominiai skaičiavimai, estetinio vaizdo vertinimas.
6. Atlikus natūrinius tyrimus VP pastatuose, nustatyta, kad visų tirtų rodiklių, išskyrus anglies dvideginio koncentraciją patalpose, reikšmės po pastatų atnaujinimo pagerėjo. Norint sumažinti anglies dvideginio koncentraciją patalpose, reikia dažniau, intensyviau vėdinti patalpas arba naudoti sumontuotus rotacinius rekuperatorius (tuose vaikų lopšeliuose-darželiuose, kur jie yra įrengti).
7. Atlikus natūrinius tyrimus nustatyta, kad prieš pastatų atnaujinimą daugelis vertinamų rodiklių netenkino šiuo metu galiojančių HN ir STR reikalavimų. Po tiriamų pastatų atnaujinimo visi vertinami rodikliai, išskyrus santykinę oro drėgmę ir anglies dvideginio koncentraciją, tenkino HN ir STR reikalavimus.
8. Pritaikius PAEV modelį nagrinėjamiems pastatams, nustatyta, kad didžiausią įtaką pastatų atnaujinimo efektyvumui turi patalpų mikroklimato parametrų ir šilumos energijos sąnaudų pokyčiai, investicijų atsipirkimo laikas ir fasadų vandens įgertis. Po tirtų pastatų atnaujinimo skirtingų alternatyvų visų rodiklių, išskyrus tikrąjį atsipirkimo laiką, reikšmės buvo panašios.

Literatūra ir šaltiniai

9-4 fordham [interaktyvus] 2013. *Electro magnetic spectrum and light* [žiūrėta 2013 m. rugpjūčio 19 d.]. Prieiga per internetą:

<http://9-4fordham.wikispaces.com/Electro+Magnetic+Spectrum+and+light>

Ahlborn. 2007. Product catalog (issue 2007/2008). Measuring instruments and sensors with Ahlborn measuring technology: display, monitor, store, evaluate, and document physical, electrical, digital, and chemical variables. 288 p.

American National Standards Institute/American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE) standard 55-2010 “Thermal environmental conditions for human occupancy”. 36 p.

Anderson, T.; Luther, M. 2012. Designing for thermal comfort near a glazed exterior wall, *Architectural Science Review* 55(3): 186–195.

<http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2012.697863>

Anweisung. Schnellprüfungen mit dem „Wassereindringprüfer nach Karsten“. 2 p.

Aplinkos apsaugos agentūra (AAA) [interaktyvus] 2013. *Lietuvos šiltnamio efektą sukeliančių dujų tendencijos Europos Sąjungos (EU-27) kontekste* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 29 d.]. Prieiga per internetą:

[http://klimatas.gamta.lt/files/LIETUVOS%20%C5%A0ILTNAMIO%20EFEKT%C4%84%20SUKELIAN%C4%8CI%C5%B2%20DUJ%C5%B2%20TENDENCIJOS%20EUROPOS%20S%C4%84JUNGOS%20\(EU-27\)%20KONTEKSTE1375946548747.pdf](http://klimatas.gamta.lt/files/LIETUVOS%20%C5%A0ILTNAMIO%20EFEKT%C4%84%20SUKELIAN%C4%8CI%C5%B2%20DUJ%C5%B2%20TENDENCIJOS%20EUROPOS%20S%C4%84JUNGOS%20(EU-27)%20KONTEKSTE1375946548747.pdf)

- Ástmarsson, B.; Jensen, P. A.; Maslesa, E. 2013. Sustainable renovation of residential buildings and the landlord/tenant dilemma, *Energy Policy* 63: 355–362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.046>
- Baek, C-H.; Park, S-H. 2012. Changes in renovation policies in the era of sustainability, *Energy and Buildings* 47: 485–496. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.028>
- Balaras, C. A.; Drousa, K.; Dascalaki, E.; Kontoyiannidis, S. 2005. Deterioration of European apartment buildings, *Energy and Buildings* 37: 515–527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.010>
- Barbhuiya, S.; Barbhuiya, S. 2013. Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building, *Building and Environment* 68: 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.002>
- Bio intelligence service (BIOIS); Ronan Lyons; Institute for European environmental policy (IEEP). 2013. *Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries*. Final report prepared for European Commission (DG Energy). 158 p.
- Bitarafan, M.; Zolfani, S. H.; Arefi, S. L.; Zavadskas, E. K. 2012. Evaluating the construction methods of cold-formed steel structures in reconstructing the areas damaged in natural crises, using the methods AHP and COPRAS-G, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 12(3): 360–367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2012.06.015>
- Bliūdžius, R. 2006. *Pastatų šiluminė renovacija*. Kaunas: Technologija. 96 p. ISBN 9955-25-121-2.
- Blocken, B.; Derome, D.; Carmeliet, J. 2013. Rainwater runoff from buildings facades: A review, *Building and Environment* 60: 339–361. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.008>
- Brandt, E.; Rasmussen, M. H. 2002. Assessment of building conditions, *Energy and Buildings* 34: 121–125. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00102-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00102-5)
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Vilutienė, T. 2008. Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method, *Journal of Business Economics and Management* 9(4): 245–255. <http://dx.doi.org/10.3846/1611-1699.2008.9.245-255>
- Centrinė projektų valdymo agentūra (CPVA) [interaktyvus] 2013. *Investicijų projektų, kuriems siekiama gauti finansavimą iš ES struktūrinių fondų ir valstybės biudžeto lėšų, rengimo metodika* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 27 d.]. Prieiga per internetą: http://www.esparama.lt/es_parama_pletra/failai/cpva/failai/Leidiniai/CPVA_metodinis_1_eidiny_1.pdf
- Chakraborty, S. 2011. Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54(9–12): 1155–1166. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-010-2972-0>
- Chamzini-Yazdani, A.; Yakhchali, S. H.; Mahmoodian, M. 2013. Risk ranking of tunnel construction projects by using the ELECTRE technique under a fuzzy environment, *International Journal of Management Science and Engineering Management* 8(1): 1–14. <http://dx.doi.org/10.1080/17509653.2013.783185>

Chiang, T-C.; Yu, F-Y. 2011. Improving real estate broker service quality via TOPSIS and AHP, *Journal of Information and Optimization Sciences* 32(1): 93–107.

<http://dx.doi.org/10.1080/02522667.2011.10700045>

CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers). 2006. *Degree-days: Theory and application*. London: CIBSE Publications. 106 p. ISBN-13: 978-1-903287-76-7.

Copeland, A. H. 1951. *A reasonable social welfare function*. Seminar on Application of Mathematics to Social Sciences, University of Michigan.

Deutsches Institut für Normung DIN 1946-6 “*Lüftung von Wohnungen – allgemeine Anforderungen, Anforderung zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung*“. 16 p.

Egging, R. 2013. Drivers, trends, and uncertainty in long-term price projections for energy management in public buildings, *Energy Policy* 62: 617–624.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.022>

Energy saving trust [interaktyvus] 2013. *EPCs and the modern nomad: room (with a view) for improvement* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 25 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.energysavingtrust.org.uk/blog/tag/energy-performance-certificates/>

ES parama [interaktyvus] 2013. *Projektų statistika* [žiūrėta 2013 m. balandžio 23 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.esparama.lt/barometras>

European Commission (EC) [interaktyvus] 2013a. *A reformed cohesion policy for Europe* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 20 d.]. Prieiga per internetą:

http://ec.europa.eu/regional_policy/the_funds/funding/data/graphics/cohesionpolicy20142020_full_highres.pdf

European Commission (EC) [interaktyvus] 2013b. *Cohesion policy 2007-2013* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 6 d.]. Prieiga per internetą:

http://ec.europa.eu/regional_policy/atlas2007/index_en.htm

European environment agency (EEA) [interaktyvus] 2013. *Greenhouse gas emission trends* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 28 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends/greenhouse-gas-emission-trends-assessment-5>

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo. 23 p.

Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (ES) Nr. 305/2011 kuriuo nustatomos suderintos statybos produktų rinkodaros sąlygos ir panaikinama Tarybos direktyva 89/106/EEB. 39 p.

Eurostat [interaktyvus] 2013a. *Building* [žiūrėta 2013 m. spalio 25 d.]. Prieiga per internetą: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:Building

Eurostat [interaktyvus] 2013b. *Turnover by NACE Rev. 2* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 13 d.]. Prieiga per internetą:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?Tab=table&plugin=1&language=en&pcode=tin00149>

Furundzic, A. K.; Kosoric, V.; Golic, K. 2012. Potential for reduction of CO₂ emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment, *Sustainable Cities and Society* 2: 50–62.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2011.10.005>

Galvin, R. 2012. German Federal policy on thermal renovation of existing homes: A policy evaluation, *Sustainable Cities and Society* 4: 58–66.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2012.05.003>

Gelegenis, J.; Diakoulaki, D.; Lampropoulou, H.; Giannakidis, G.; Samarakou, M.; Plytas, N. 2014. Perspectives of energy efficient technologies penetration in the Greek domestic sector, through the analysis of Energy Performance Certificates, *Energy Policy* 67: 56–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.051>

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2006. Assessing the financial state of construction enterprises, *Technological and Economic Development of Economy* 12(3): 188–194.

<http://dx.doi.org/10.1080/13928619.2006.9637740>

Gładyszewska-Fiedoruk, K. 2013. Correlations of air humidity and carbon dioxide concentration in the kindergarten, *Energy and Buildings* 62: 45–50.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.052>

Gomes, L. F. A. M.; Lima, M. M. P. P. 1992. TODIM: Basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts, *Foundations of Computing and Decision Sciences* 16(4): 113–127.

Gomes, L. F. A. M.; Rangel, L. A. D. 2009. An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties, *European Journal of Operational Research* 193: 204–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.046>

Gomes, L. F. A. M.; Rangel, L. A. D.; Maranhão, F. J. C. 2009. Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: An application of the TODIM method, *Mathematical and Computer Modelling* 50: 92–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2009.02.013>

Gudzinskas, J.; Lukoševičius, V.; Martinaitis, V.; Tuomas, E. 2011. *Šilumos vartotojų vadovas*. Vilnius: Standartų spaustuvė. 304 p. ISBN 978-609-95258-0-8.

Guitouni, A.; Martel, J-M. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method, *European Journal of Operational Research* 109: 501–521.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00073-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00073-3)

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

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.006>

Häkkinen, T. 2012. Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls, *Construction and Building Materials* 37: 783–790.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.084>

Heinzerling, D.; Schiavon, S.; Webster, T.; Arens, E. 2013. Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme, *Building and Environment* 70: 210–222.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.027>

Holopainen, R.; Tuomaala, P.; Hernandez, P.; Häkkinen, T.; Piira, K.; Piipo, J. 2014. Comfort assessment in the context of suitable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods, *Building and Environment* 71: 60–70.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.009>

Hwang, C. L., Yoon, K. 1981. *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 270 p. ISBN 3-540-10558-1.

Ignatavičius, Č.; Ignatavičius, G.; Tuomas, E. 2002. *1997–2000 metų mokyklų renovacijos rezultatai*. Vilnius: Homo liber. 86 p. ISBN 9955-449-37-3.

Ishizaka, A.; Nemery, P. 2013. *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. Chichester: John Wiley & Sons. 310 p. ISBN 978-1-119-97407-9.

Yanes, Y.; Yapp, C. J. 2010. Indoor and outdoor urban atmospheric CO₂: Stable carbon isotope constraints on mixing and mass balance, *Applied Geochemistry* 25: 1339–1349.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.06.004>

Jokūbaitis, V.; Šaučiuvėnas, G. 2012. *Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas*. Vilnius: Technika. 200 p. ISBN 978-609-457-178-7.

Kabir, G.; Sadiq, R.; Tesfamariam, S. 2013. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management, *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance* 1–35.

<http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2013.795978>

Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Ginevičius, 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: 454–462.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.08.005>

Kalibatas, D. 2009. *Aplinkos veiksnių įtakos gyvenamosioms patalpoms daugiataksių vertinimas*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas [The multi-attribute assessment of environmental factors influencing on dwelling-houses. Doctoral dissertation. Vilnius Gediminas Technical University]. Vilnius: Technika. 136 p. ISBN 978-9955-28-432-1.

Kalibatas, D.; Zavadskas, E. K.; Kalibatienė, D. 2012. A method of multi-attribute assessment using ideal alternative: choosing an apartment with optimal indoor environment, *International Journal of Strategic Property and Management* 16(3): 338–353.

<http://dx.doi.org/10.3846/1648715X.2012.722567>

Kavgic, M.; Summerfield, A.; Mumovic, D.; Stevanovic, Z. M.; Turanjanin, V.; Stevanovic, Z. Z. 2012. Characteristics of indoor temperatures over winter for Belgrade urban dwellings: Indications of thermal comfort and space heating energy demand, *Energy and Buildings* 47: 506–514. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.027>

Keršulienė, V. 2008. *Užsakovo ir rangovo racionalaus ginčų sprendimo būdo nustatymas lošimų teorijos metodais*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas [Determination of the rational method of solutions in disputes by the contractor and client based on the game theory]. Vilnius: Technika. 125 p. ISBN 978-9955-28-277-8.

Keršulienė, V.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management* 11(2): 243–258.

<http://dx.doi.org/10.3846/jbem.2010.12>

Khedari, J.; Yamtraipat, N.; Pratintong, N.; Hirunlabh, J. 2000. Thailand ventilation comfort chart, *Energy and Buildings* 32: 245–249.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00050-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00050-5)

Kračka, M. 2013. *Pastatų atnaujinimo daugiatis vertinimas*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas [Buildings renovation multicriteria assessment]. Vilnius: Technika. 140 p. ISBN 978-609-457-583-9.

Kračka, M.; Zavadskas, E. K. 2013. Panel building refurbishment elements effective selection by applying multiple-criteria methods, *International Journal of Strategic Property and Management* 17(2): 210–219.

<http://dx.doi.org/10.3846/1648715X.2013.808283>

Laissy, A. P. 2008. *Working for the regions. EU regional policy 2007-2013*. Luxembourg: Publications office. 33 p. ISBN 92-79-03776-5.

Langer, S.; Bekö, G. 2013. Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics, *Building and Environment* 69: 44–54.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.013>

Lepkova, N.; Vilutienė, T. 2008. *Pastatų ūkio valdymas: teorija ir praktika*. Vilnius: Technika. 326 p. ISBN 978-9955-28-309-6.

Leung, C.; Ge, H. 2013. Sleep thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep, *Building and Environment* 59: 91–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.010>

Lietuvos higienos norma HN 33:2011 „Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“. LR sveikatos apsaugos ministro įsakymas Nr. V-604 (Žin., 2011, Nr. 75-3638) dėl Lietuvos higienos normos patvirtinimo. 7 p.

Lietuvos higienos norma HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“. LR sveikatos apsaugos ministro įsakymas Nr. V-1081 (Žin., 2009, Nr. 159-7219) dėl Lietuvos higienos normos patvirtinimo. 4 p.

Lietuvos higienos norma HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“. LR sveikatos apsaugos ministro įsakymas Nr. V-770 (Žin., 2004, Nr. 45-1485) dėl Lietuvos higienos normos patvirtinimo. 18 p.

Lietuvos higienos norma HN 75:2010 „Įstaiga, vykdanči ikimokyklinio ir (ar) priešmokyklinio ugdymo programą. Bendrieji sveikatos saugos reikalavimai“. LR sveikatos apsaugos ministro įsakymas Nr. V-313 (Žin., 2010, Nr. 50-2454) dėl Lietuvos higienos normos patvirtinimo. 14 p.

Lietuvos higienos norma HN 98:2000 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“. LR sveikatos apsaugos

ministro įsakymas Nr. 277 (Žin., 2000, Nr. 44-1278) dėl Lietuvos higienos normos patvirtinimo. 16 p.

Lietuvos higienos norma HN 121:2008 „Kvapų koncentracijos ribinės vertės gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų sklypuose“. LR sveikatos apsaugos ministro įsakymas Nr. V-28 (Žin., 2009, Nr. 12-496) dėl Lietuvos higienos normos patvirtinimo. 13 p.

Lietuvos energetikos konsultantų asociacija (LEKA) [interaktyvus] 2012. *Dienolaipsniai* [žiūrėta 2012 m. gegužės 16 d.]. Prieiga per internetą:

http://www.leka.lt/index.php?content=pages&lng=lt&page_id=31&news_id=77

Lietuvos standartas LST EN 13187:2000 „Šiluminės pastatų charakteristikos. Pastatų atitvarų šiluminio nevienalytiškumo aptikimas. Infraraudonosios spinduliuotės metodas (ISO 6781:1983 modifikuotas)“ [“Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method (ISO 6781:1983 modified)”]. 16 p.

Lietuvos standartas 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)“ [“Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO 7730:2005)”]. 54 p.

Lietuvos statistikos departamentas (LSD) prie LR Vyriausybės [interaktyvus]. 2013a. *Šalies teritorijoje atlikta statybos darbų savo jėgomis* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 13 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.osp.stat.gov.lt/web/guest/statistiniu-rodikliu-analize?id=2717&status=A>

Lietuvos statistikos departamentas (LSD) prie LR Vyriausybės [interaktyvus] 2013b. *Švietimas ir gyventojų išsilavinimas* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.osp.stat.gov.lt/web/guest/rodikliai25>

Lietuvos verslo paramos agentūra (LVPA) [interaktyvus] 2013. *Apie LVPA. Funkcijos* [žiūrėta 2013 m. balandžio 23 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.lvpa.lt/Puslapiai/Funkcijos.aspx>

LR klimato kaitos valdymo finansinių instrumentų įstatymas. (Žin., 2009, Nr. 87-3662). 25 p.

LR statybos įstatymas. (Žin., 1996, Nr. I-1240, nauja redakcija Žin., 2001, Nr. 101-3597). 55 p.

LR švietimo ir mokslo ministerija (ŠMM) [interaktyvus] 2013. *Ikimokyklinis ir priešmokyklinis ugdymas* [žiūrėta 2013 m. balandžio 23 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.smm.lt/ugdymas/ikimokyklinis.htm>

ManagEnergy [interaktyvus] 2013. *Structural Cohesion funds for energy efficiency in buildings 2007–2013: An overview* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 6 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.managenergy.net/financial/articles/10#.UqF5TU2IrDf>

Martinaitis, V.; Kazakevičius, E.; Vitkauskas, A. 2007. A two-factor method for appraising building renovation and energy efficiency improvement projects, *Energy Policy* 35: 192–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.003>

Masaitis, S. 2009. Termovizijos taikymas, pastatų termovizinė analizė. Lietuvos energetikos institutas, iš *seminaro „Pastatų energetikos aktualijos“* medžiagos.

Messbar.de [interaktyvus] 2013. *Wärmefußplatte typ 118 SI* [žiūrėta 2013 m. rugpjūčio 19 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.messbar.de/waermeflussplatte-typ-118-si-p-15836.html>

Moshkovich, H. M.; Gomes, L. F. A. M.; Mechitov, A. I. 2011. An integrated multicriteria decision-making approach to real estate evaluation: case of the TODIM method, *Pesquisa Operacional* 31(1): 3–20.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382011000100002>

Norhidayah, A.; Chia-Kuang, L.; Azhar, M. K.; Nurulwahida, S. 2013. Indoor air quality and sick building syndrome in three selected buildings, in *Procedia Engineering of the Malaysian technical universities conference on “Engineering and Technology”* 53: 93–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.014>

Opricovic, S. 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems, *Faculty of Civil Engineering* 2(1): 5–21.

Opricovic, S.; Tzeng, G-H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research* 156: 445–455. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)

Phogat, M. V. S.; Singh, A. P. 2013. Selection of equipment for construction of a hilly road using multi criteria approach, in *Procedia Social and Behavioral Sciences of the 2nd conference “Transportation Research Group of India”* 104: 282–291.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.121>

Pinter, U.; Pšunder, I. 2013. Evaluating construction project success with use of the M-TOPSIS method, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(1): 16–23.

<http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2012.734849>

Prüfverfahren. 1995. *Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (IEMB)*. Stuttgart: Informationszentrum Raum und Bau (IRB) Verlag. 110 p. ISBN 3-8167-4137-1.

Renovate Europe [interaktyvus] 2013. *Structural funds 2014–2020: New opportunities for building renovations* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 27 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.renovate-europe.eu/resources/activities-events/letter-to-the-managing-authorities>

Respublikinės statybos normos RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“. LR statybos ir urbanistikos ministerijos įsakymas Nr. 76 (Žin., 1994, Nr. 24-394) dėl statybos normų patvirtinimo. 135 p.

Rodrigues, M. F. S.; Teixeira, J. M. C.; Cardoso, J. C. P. 2011. Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology, *Construction and Building Materials* 25: 2741–2750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.029>

Rogers, M. 2010. Using ELECTRE III to aid the choice of housing construction process within structural engineering, *Construction Management and Economics* 18(3): 333–342. <http://dx.doi.org/10.1080/014461900370690>

Sachverstaendigen-bedarf.de [interaktyvus] 2013. *Komplettkoffer Wassereindringprüfer, Karstensches Prüfröhrchen* [žiūrėta 2013 m. rugpjūčio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.sachverstaendigen-bedarf.de/Wassereindringpruefer/Wassereindringpruefer-Prof-Karsten/Komplettkoffer.html>

Sánchez-Lozano, J. M.; Teruel-Solano, J.; Soto-Elvira, P. L.; García-Cascales, M. S. 2013. Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24: 544–556. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>

Sarbu, I.; Sebarchievici, C. 2013. Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings, *Energy and Buildings* 60: 410–419. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.005>

Stankevičius, V.; Dapkus, G.; Burlingis, A. 1997. *Pastatų atitvarų apšiltinimo atsiperkamumas*. Kaunas: Naujasis lankas. 20 p. ISBN 9986-550-84-X.

Statistics Finland [interaktyvus] 2013. *Statistics. Construction. Renovation building. Concepts and definitions* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: http://www.stat.fi/til/kora/kas_en.html

Statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvai (SVN) (I). 82 p. ISSN 1822-9093.

Statybos techninis reglamentas STR 1.01.09:2003 „Statinių klasifikavimas pagal jų naudojimo paskirtį“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. 289 (Žin., 2003, Nr. 58-2611) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 11 p.

Statybos techninis reglamentas STR 1.12.06:2002 „Statinio naudojimo paskirtis ir gyvavimo trukmė“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. 565 (Žin., 2002, Nr. 109-4837) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 12 p.

Statybos techninis reglamentas STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-674 (Žin., 2012, Nr. 99-5071) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 176 p.

Statybos techninis reglamentas STR 2.02.02:2004 „Visuomeninės paskirties statiniai“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-91 (Žin., 2004, Nr. 54-1851) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 19 p.

Statybos techninis reglamentas STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-156 (Žin., 2005, Nr. 100-3733) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 119 p. 2013 m. gruodžio 9 d. neteko galios.

Statybos techninis reglamentas STR 2.05.01:2013 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-909 (Žin., 2013, Nr. 129-6566) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 42 p.

Statybos techninis reglamentas STR 2.05.09:2005 „Mūrinių konstrukcijų projektavimas“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-38 (Žin., 2005, Nr. 14-443) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 58 p.

Statybos techninis reglamentas STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-289 (Žin., 2005, Nr. 75-2729) dėl statybos techninio reglamento patvirtinimo. 53 p.

Stieß, I.; Dunkelberg, E. 2013. Objectives, barriers and occasions for energy efficient refurbishment by private homeowners, *Journal of Cleaner Production* 48: 250–259.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.041>

Taylan, O.; Bafail, A. O.; Abdulaal, R. M. S.; Kabli, M. R. 2014. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing* 17: 105–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>

ThermWise insulation solutions [interaktyvus] 2013. *Building Energy Rating (BER) assessment. BER certificates* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 25 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.thermwise.ie/BERCertificates.htm>

Tomasi, R.; Krajčik, M.; Simone, A.; Olesen, B. W. 2013. Experimental evaluation of air distribution in mechanically ventilated residential rooms: Thermal comfort and ventilation effectiveness, *Energy and Buildings* 60: 28–37.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.003>

Torgal, F. P.; Mistretta, M.; Kaklauskas, A.; Granqvist, C. G.; Cabeza, L. F. 2013. *Nearly zero energy building refurbishment. A multidisciplinary approach*. London: Springer-Verlag, 667 p. ISBN 978-1-4471-5522-5.

Turskis, Z. 2009. *Daugiatikslio apsisprendimo metodai statinių gyvavimo ciklui modeliuoti*. Habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga. Vilniaus Gedimino technikos universitetas [Multi-attribute assessment modelling of buildings life cycle]. Vilnius: Technika. 44 p. ISBN 978-9955-28-401-6.

Tzeng, G-H.; Huang, J-J. 2011. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Boca Raton: Taylor & Francis. 349 p. ISBN 978-1-4398-6157-8.

Uihlein, A.; Eder, P. 2010. Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27, *Energy and Buildings* 42: 791–798.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.11.016>

Ustinovičius, L.; Ambrasas, G.; Alchimovienė, J.; Ignatavičius, Č.; Vilutienė, T. 2012. *Statinių eksploatavimas ir atnaujinimas*. Vilnius: Technika. 232 p. ISBN 978-609-457-350-7.

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemos techninis įvertinimas*. Vilnius: Technika. 220 p. ISBN 9986-05-806-6.

Valančius, R. 2013. *Administracinių pastatų mikroklimato ir energinio efektyvumo tyrimai*. Daktaro disertacija. Kauno technologijos universitetas [Research on indoor climate and energy efficiency of administrative buildings]. Kaunas: Technologija. 94 p.

Venckevičius, V.; Janickas, A. 1996. *Statinių tyrimas ir bandymas*. Kaunas: Technologija, 252 p. ISBN 9986-13-427-7.

Venckevičius, V.; Žilinskas, R. 2002. *Statinių rekonstrukcija ir remontas*. Kaunas: Technologija, 316 p. ISBN 9986-13-871-X.

Verhoeven, G. 2008. Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography, *Journal of Archaeological Science* 35(12): 3087–3100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2008.06.012>

Wang, N.; Zhang, J.; Xia, X. 2013. Desiccant wheel thermal performance modeling for indoor humidity optimal control, *Applied Energy* 112: 999–1005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.060>

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2011. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview, *Technological and Economic Development of Economy* 17(2): 397–427. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>

Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Kaklauskas, A. 2008. 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 Buildings* 40: 573–587. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.015>

Ziogou, F.; Gemeni, V.; Koukoulas, N.; de Angelis, D.; Libertini, S.; Beaubien, S. E.; Lombardi, S.; West, J. M.; Jones, D. G.; Coombs, P.; Barlow, T. S.; Gwosdz, S.; Krüger, M. 2013. Potential environmental impacts of CO₂ leakage from the study of natural analogue sites in Europe, in *Energy Procedia of the 11th international conference “Greenhouse Gas Control Technologies”* 37: 3521–3528. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.245>

Ведомственные строительные нормы ВСН 53-86 (р) „Правила оценки физического износа жилых зданий“. Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР (Госгражданстрой), Москва, 1988.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Ruzgys, A.; Volvačiovas, R.; Ignatavičius, Č.; Turskis, Z. 2014. Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(1): 103–110. IF₂₀₁₂ = 2,016.

<http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2013.843585>

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Volvačiovas, R.; Kildienė, S. 2013. Multi-criteria assessment model of technologies, *Studies in Informatics and Control* 22(4): 249–258. IF₂₀₁₂ = 0,554.

Volvačiovas, R.; Turskis, Z.; Ignatavičius, Č.; Ustinovičius, L.; Ruzgys, A. 2013b. Considering the issue of renovating public buildings with reference to in-kind investigations into wall heat transfer coefficients, *Engineering Structures and Technologies* 5(2): 82–91. <http://dx.doi.org/10.3846/2029882X.2013.811783>

Ruzgys, A.; Volvačiovas, R.; Ignatavičius, Č. 2013a. Atnaujintų pastatų energijos suvartojimo analizė ir atsiperkamumo modeliavimas [Analysis of energy consumption in renovated buildings and simulation of the payback period], *Mokslas – Lietuvos ateitis* 5(5): 513–519. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2013.80>

Straipsniai kituose leidiniuose

Volvačiovas, R.; Turskis, Z.; Aviža, D.; Mikštienė, R. 2013a. Multi-attribute selection of public buildings retrofits strategy, in *Procedia Engineering of the 11th international conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"* 57: 1236–1241.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.156>

Aviža, D.; Turskis, Z.; Volvačiovas, R. 2013. Correlation analysis of thermo-insulation layer thickness and its payback period of the typical pitched roof detail, in *Procedia Engineering of the 11th international conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"* 57: 120–126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.018>

Ruzgys, A.; Volvačiovas, R.; Ignatavičius, Č. 2013b. Modernizuotų daugiabučių pastatų teorinio ir faktinio šilumos energijos suvartojimo analizė [Analysis of actual and theoretical thermal energy consumption in retrofitted residential buildings], iš *Statyba, 16-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“* medžiagos 1–5. ISBN 978-609-457-536-5.

Matulis, T.; Ignatavičius, Č.; Volvačiovas, R. 2012. Pastatų fizinio nusidėvėjimo vertinimo metodikos analizė ir jos panaudojimas tiriant ikimokyklinio ugdymo įstaigas [Analysis of buildings physical deterioration ranking methods and its practical use in researching preschool educational institutions], iš *Statyba, 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“* medžiagos 1–7. ISBN 978-609-457-215-9.

Volvačiovas, R.; Turskis, Z. 2011. Žemės ir statinių naudojimo paskirties parinkimo algoritmas [Selection algorithm of land and buildings intentional use], iš *Statyba, 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“* medžiagos 1–5. ISBN 978-9955-28-929-6.

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Renovation (modernisation) of buildings is one of the priority areas of EU cohesion policy. In terms of the public, the energy efficiency of buildings and microclimate parameters are the leading causes that determine renovation of buildings; however, other just as important causes need to be considered as well, namely assurance of the lifetime of a building, reduction of environmental impact, aesthetic improvement and increase of market value of a building. Growing prices for energy resources (in Lithuania, prices for heat energy rise by approx. 4 % per annum) as well as living, working and leisure environments that do not conform to requirements of hygiene norms (HN) encourage the public to take more efforts towards participation in the process of building renovation. Jointly, they start numerous discussions on pros and cons of building renovation and decisions regarding best renovation solutions. Hence, renovation of buildings focuses on a number of aims defined by different attributes. To ensure a more objective assessment of the efficiency of building renovation and improve technology, multi-attribute decision making (MADM) methods can be used by integrating them into the model for assessment into efficiency of building renovation (AEBR).

Relevance of the thesis

Although renovation of buildings in developed EU economies commenced more than 20 years ago, it remains relevant to this day to most EU member-states. In the process of

policy-making, the European Parliament and the European Council pay considerable attention to this area by tightening measures for the energy efficiency of buildings as well as healthcare and environmental protection, allocating greater funds for energy efficiency and promotion of renewable energy, and aiming to reach certain energy and environmental goals by 2020. The majority of public discussions focus on renovation of residential buildings; however based on EU policy, public buildings have to be used as an example of energy savings and environmental protection, which makes them a priority in terms of increased energy efficiency. In EU member-states, nearly zero-energy buildings as a future requirement is to be implemented from 2019 onwards for public buildings and from 2021 onwards for all new buildings. This dissertation provides a complex assessment of four Lithuanian public buildings (kindergartens) before and after their renovation aiming to assess numerous aims related to renovation of buildings.

Research object

The research object – the efficiency of public building renovation. Field experiments and multi-attribute decision analysis were conducted to ensure a more objective investigation into the efficiency of building renovation and improve renovation technology. The research was conducted on four buildings with different structural design, height, total area and planning, which represent kindergarten buildings of Lithuania:

- kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris;
- kindergarten “Saulutė” in Molėtai;
- kindergarten in Semeliškės;
- kindergarten “Ežerėlis” in Trakai.

Aim of the thesis

The aim of the dissertation – to create a theoretical AEBR model based on multi-attribute decision making methods and use it in practice with results of investigations made on public buildings (kindergartens) before and after renovation.

Tasks of the thesis

1. Systemise factors causing the renovation of buildings and highlight the most important attributes that impact on renovation of buildings.
2. Analyse MADM methods that best correspond to the needs of construction engineering objectives and possibilities to use them in the designed AEBR model.
3. Develop the AEBR model based on the use of MADM methods.
4. Analyse methodologies for field experiments as well as energy-related estimations and expected return to identify real values of assessed attributes.
5. Using expert evaluation, determine weights of most important attributes that impact on efficiency of building renovation.
6. To establish values of assessed attributes with the help of field experiments and economic estimations conducted before and after renovation of the buildings.
7. Using the results of researched public buildings (kindergartens), to practically apply the designed theoretical AEBR model.

Research methodology

The model designed for assessment into efficiency of public building renovation is based on the following mathematical methods: SWARA for determining attributes weights, TODIM, TOPSIS, VIKOR multi-attribute decision analysis and Copeland for summarising results. To determine real values of attributes, the following field experiment and calculation methodologies were used: evaluation of physical deterioration, tests on façade absorption, thermovision, indoor microclimate parameters and U-values as well as economic calculations and aesthetic evaluation.

Scientific novelty of the thesis

1. Developed AEBR model based on the use of MADM methods. The model comprises 12 stages and is exceptional as it allows assessing the renovation of buildings using 2 methods: according to values on the change of attributes (comparison of the state of buildings before and after their renovation) and values achieved by attributes (the state of buildings after their renovation). The developed AEBR model aids a more objective assessment into renovation efficiency of researched buildings.
2. Suggested optimisation factor for attributes that have no single direction for optimisation, i.e. for air temperature, relative air humidity and floor temperature on the ground level. These attributes are neither minimised nor maximised; thus, the optimisation factor applies, which is presented as a quadratic function (parabola). The quadratic function is calculated based on permissible limits (comfort zone) set in HN, optimal value and ten-point assessment scale used in the Republic of Lithuania.
3. Aiming to determine real rather than theoretically calculated values of assessed attributes, field experiments and economic calculations were made as well as analysis of findings of 4 Lithuanian kindergartens. To determine the efficiency of building renovation, field experiments were conducted before and after the renovation of buildings.

Practical value of research findings

The developed AEBR model may be used by designers, construction engineers, building maintenance specialists or state institutions aiming to determine the efficiency of renovated buildings and improve building renovation technology.

Results of field experiments and calculations should be used by designers while working on renovation projects, construction engineers while executing and controlling construction works, building maintenance specialists (administrators) while supervising maintenance of buildings, and state institutions while shaping the policy on renovation of buildings.

Defended statements

1. Assessment of the efficiency of building renovation requires using the following main attributes: overall physical deterioration of the building, indoor air temperature, CO₂ concentration, relative air humidity, heat energy consump-

- tion, aesthetics, payback period, U-value of external walls, façade absorption and floor temperature on the ground level.
2. As renovation of buildings is aimed at implementation of numerous objectives defined by different attributes under assessment, it is expedient to formulate a multi-attribute optimisation task while assessing the efficiency of renovation. Objective assessment of the efficiency of building renovation necessitates a complex assessment of all attributes combined into one system.
 3. Subsequent to renovation, values of assessed attributes became closer to values of norms indicated in construction technical regulations and hygiene norms.

Approval of research findings

Nine research articles were published on the topic of the dissertation: two in scientific journals included into *Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science)* (Zavadskas *et al.* 2013; Ruzgys *et al.* 2014); two in scientific journals included into other databases (Volvačiovas *et al.* 2013b; Ruzgys *et al.* 2013a); two in *ISI Proceedings* (Volvačiovas *et al.* 2013a; Aviža *et al.* 2013); three in Lithuanian conference proceedings (Ruzgys *et al.* 2013b; Matulis *et al.* 2012; Volvačiovas, Turskis 2011). Findings of the thesis were presented at 4 scientific conferences, one of which was international and three – conferences of young Lithuanian scientists:

- 11th international conference “*Modern Building Materials, Structures and Techniques*” in Vilnius, 2013;
- 16th, 15th and 14th conferences of young Lithuanian scientists “*Science – the Future of Lithuania*” in Vilnius, 2013, 2012 and 2011.

Structure of the thesis

The dissertation comprises an introduction, three chapters, general conclusions, lists of literature, resources and publications of the author on the topic of the dissertation, abstract in English and three annexes. The volume of the thesis with summary amounts to 172 pages without annexes; the text contains 47 numbered formulas, 51 figures and 29 tables. 138 sources of literature were used.

1. Problems in multi-attribute decision analysis of building renovation

The dissertation analyses renovation of kindergarten buildings. These buildings are attributed to a type of buildings, group of non-residential buildings and the sub-group of educational buildings. Additionally, they can be referred to as public buildings or buildings of public use.

Law on Construction of the Republic of Lithuania (1996) defines renovation (modernisation) of a building as construction works aimed at restoration or improvement of physical and energy characteristics of a building and/or its engineering systems and/or ensuring the use of energy produced by renewable sources.

Literature analysis (scientific publications and legislative acts) resulted in identification of 6 key factors determining the renovation of buildings in Europe (Fig. S1).

Fig. S1. Main factors determining renovation of buildings

Assuring the lifetime of a building. The lifetime of a building is a theoretical time period, during which a structure continues corresponding to key requirements applicable to the building, provided it has been used normally and considering construction products, from which it has been built as well as local climate conditions. To establish the lifetime of a building in a certain stage of its lifetime, physical deterioration of the building needs to be estimated.

Assuring parameters of indoor microclimate. The scientific research indicates that users of buildings are mostly concerned with indoor living conditions (conform) rather than defect and violations. The key parameters of indoor microclimate impacting on comfort are air temperature, surface temperature of walls and partitions, relative air humidity, air velocity, thermal radiation and CO₂ concentration.

Improving the energy performance of a building. In the EU, approx. 40 % of all energy is consumed by buildings. Long lifetime results in energy inefficient and technically obsolete buildings, which necessitates timely renovation. Renovation of buildings helps reducing energy-dependence on other countries.

Reducing the environmental impact. Reduction of the environmental impact of a building is related to the improvement of the energy performance of the building. Improved energy performance reduces CO₂ (which is the main cause of the greenhouse effect) emissions, which are responsible for the increase in global atmospheric temperature. This is the reason why the Intergovernmental Panel on Climate Change is aiming to reduce CO₂ emissions.

Improving the aesthetics of a building. Aesthetics of a building is related to its architecture. Renovation alters aesthetics of a building although the proportions and architectural elements are minutely modified. Aesthetics of a building is improved by ridding the façade of biological damage and repairing heavily dilapidated surfaces.

Increasing the market value of a building. Value of each building depends on its location, environment, environmental development prospects and characteristics of the building. The economic effect of renovation manifests in two aspects: direct payback of investments and changes in the market value of a building. In Lithuania, market value of buildings that underwent complex renovation increases by 15 % with investments also amounting to 15 % of its present value.

In the EU, considering the regional economic situation, the public sector may improve energy performance of buildings with the help of financial instruments – the Structural Funds and the Cohesion Fund. In the programming period 2014–2020, promotion of energy efficiency and renewable energy production will be allocated two times more funds (approx. EUR 23 billion) compared to the programming period 2007–2013. Preschool education buildings that belong to municipalities of the Republic of Lithuania are successfully undergoing renovation as state institutions have a possibility of receiving up to 100 % of funds from the Structural Funds and the Cohesion Fund as well as Lithuanian co-financing from the national budget for repairs and reconstruction of external walls and modernisation of energy systems of buildings. So far, 90 (13.64 %) preschool education institutions have been renovated.

Assessment of the renovation of buildings necessitates a complex assessment of delivered construction works and their quality, indoor microclimate parameters and other key attributes. Individual attributes do not provide conclusive information on renovation of the entire building. Therefore, MADM methods are suggested as they offer a more objective solution of a formulated problem. A MADM is one of decision making methods used aiming for a rational solution (alternative). MADM methods are classified according to a number of attributes: type of a function and arguments, number of decision-makers, information held by a decision-maker, features of information and others. Analysis of scientific literature showed the absence of a single MADM method that would be appropriate for all problems. Each method has its own limitations, particularities, hypotheses, premises and perspectives. Up to now, there has been no possibility of deciding whether one method makes more sense than another in a specific problem situation. Different MADM methods should be used solving problems particular to the scientific field of construction engineering. Lately, different combined methods and modifications of existing methods have been emerging.

2. System assessing the efficiency of building renovation

AEBR model is suggested for assessment and improvement of the renovation technology. The model is based on the use of MADM methods, field experiments and economic calculations (Fig. S2). It comprises 12 key stages and is exceptional as it allows assessing the renovation of buildings using 2 methods: according to values on the change of attributes and values achieved by attributes. Although renovation of buildings aims for values achieved by attributes (the state of buildings after their renovation), it is just as important to assess values on the change of attributes (comparison of the state of buildings before and after their renovation). Change in attributes values demonstrate the efficiency of building renovation. Literature analysis resulted in identification of 10 most important attributes to be investigated during the assessment of building renovation: overall physical deterioration of the building, indoor air temperature, CO₂ concentration, relative air humidity, heat energy consumption, aesthetics, payback period, U-value of external walls, façade absorption and floor temperature on the ground level.

Fig. S2. Model for assessment of the efficiency of building renovation

Some investigated attributes had an optimisation factor created as such measured values as air temperature, relative air humidity and floor temperature on the ground level have no single optimisation direction. Fig. S3 demonstrates the factor of indoor air temperature. Optimisation factor is defined using the quadratic function, the graph of which is a parabola. The quadratic function is calculated based on permissible limits (comfort zone) set in HN, optimal value and ten-point assessment scale. Fig. S3 provides the permissible limits of 20.0 and 23.0 °C set for the factor of indoor air temperature and the

optimal indoor air temperature amounting to 21.5 °C (according to HN 75:2010). The optimal temperature has the value of 1.0 while marginal temperatures – 0.9.

Fig. S3. Factor of indoor air temperature

SWARA method is suggested for defining weights of different attributes in the AEBR model. This method provides a possibility for each expert to participate in the process of attributes weight determination, compiling the queue of priorities, comparing different attributes and assigning values of relative importance. Most scientists of the world agree that discreet multi-attribute optimisation problems demand using a number of different multi-attribute decision analysis methods and comparison of results. The AEBR model suggests using 3 multi-attribute decision analysis methods (TODIM, TOPSIS, VIKOR), while Copeland method is proposed to summarise the results.

The following methodologies for field experiments conducted in buildings are selected to investigate the efficiency of building renovation and define real values of attributes: evaluation of physical deterioration, tests on façade absorption, thermovision, indoor microclimate parameters and U-values as well as economic calculations and aesthetic evaluation. Data received thereof is used for the AEBR model, compiling tables of data for decision making.

3. Field experiments on buildings and assessment of the renovation efficiency

Field experiments – experiments conducted in a natural environment (used buildings). In 2010–2013, field experiments (physical state, façade absorption, thermovision, indoor microclimate, etc.) were undertaken before and after renovation to determine the efficiency of renovation carried out on public buildings. Kindergartens having different structural design, height, total area and planning were selected for field experiments from among those that were supposed to be renovated in the nearest future:

1. Kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris (Klevų al. 28A). The building was constructed in 1969, the total area amounts to 887.54 m². Built from silicate bricks, it has two levels. The heat source of the building – centralised heating from the district boiler. The building was renovated in 2011.
2. Kindergarten “Saulutė” in Molėtai (Liepų g. 11). The building was constructed in 1982, the total area amounts to 2460.18 m². This building has two levels and a cellar, the frame is made from reinforced concrete. The heat source of the building – centralised heating from the district boiler. The building was renovated in 2011.
3. Kindergarten in Semeliškės (Vievio g. 5). The building was constructed in 1980, the total area amounts to 478.60 m². This building has one level, the frame is made from reinforced concrete. The heat source of the building – local diesel boiler. The building was renovated in 2011.
4. Kindergarten “Ežerėlis” in Trakai (Birutės g. 38). The building was constructed in 1966, the total area amounts to 921.98 m². Built from silicate bricks, it has two levels. The heat source of the building – centralised heating from the district boiler. The building was renovated in 2011–2012.

The following findings emerged from field experiments of kindergarten buildings:

1. Evaluation of physical deterioration of the buildings demonstrated that before renovation, physical deterioration of buildings was up 37 %; complex renovation of buildings decreased their physical deterioration to approx. 7 %. During the operation, buildings were inappropriately maintained, failing to undertake timely routine repairs.
2. Tests on façade absorption showed that brick façades exceeded the limit values by approx. 20 times (absorption of façades amounted to 9.8 ml/min). Subsequent to renovation, all plastered façades corresponded to façade absorption limit values (absorption of façades amounted to 0.1 ml/min).
3. According to thermovision tests, buildings used to lose more heat through old wooden windows and doors, socles, joints of external walls, and places damaged by damp. Subsequent to renovation of the buildings, some technological breaches of construction works were noticed, which resulted in thermal bridges in external walls.
4. Tests of indoor microclimate parameters demonstrated that prior to renovation, some rooms failed to correspond to limit values of air temperature (the temperature was either too low or too high); while relative air humidity was too low (25.64 %) as well as the temperature of the floor placed directly on ground soil or over a basement (14.46 °C). Subsequent to renovation, indoor air temperature satisfied HN requirements (21.57 °C), while relative air humidity increased by approx. 10.00 % (to 36.68 %) and still failed to satisfy HN requirements. Relative indoor air humidity could be improved using special water vaporising vessels and humidifiers as well as vessels with water placed next to heating devices or houseplants. If a building has a rotary recuperator, it can also increase the relative air humidity. The floor temperature on the ground level

increased by 4.91 °C (to 19.37 °C) and satisfied the HN requirements. The air velocity before and after the renovation remained similar (changed from 0.12 to 0.14 m/s) and satisfied the HN requirements. Renovation resulted in increased indoor carbon dioxide concentration by 0.02 % (to 0.08 %). Mean values of carbon dioxide concentration satisfied requirements of construction technical regulations; however, with children present indoors, the values exceeded permissible limits by up to 2.31 times. This necessitates more frequent (intense) airing of rooms or the use of rotary recuperator (in those kindergartens, which have them installed).

5. Measurements of U-values indicated that prior to renovation of buildings, the mean U-value amounted to 0.78 W/(m²·K). Subsequent to renovation, the U-value dropped by 0.46 W/(m²·K) (to 0.32 W/(m²·K)) and satisfied energy performance requirements applicable to buildings in energy class D.
6. Economic calculations demonstrated that renovated buildings use 40.65 % less energy for heating and hot water preparation. Comparison of the heat energy consumed during a heating period before and after renovation per 1 m² of heated space showed that energy consumption dropped by 81.24 kWh/(m²·years) (from 185.85 to 104.61 kWh/(m²·years)). Real payback period of investments into heat saving measures is from 17.38 to 56.60 years.
7. Evaluation of aesthetics of the buildings indicated an improvement by 4–5 points, based on the ten-point system for evaluation of aesthetics, which is presented in the dissertation.

Based on the suggested AEBR model, the first task is to create the system of attributes to be assessed. It is suggested to assess the renovation of buildings using 10 afore described attributes that best characterise the renovation of buildings. Two data tables for decision-making have to be made: one – considering changes of attributes and the other – considering values achieved by attributes. All attributes values of alternatives provided in decision-making tables have been established by way of field experiments and economic estimations. SWARA method was used to determine weights of assessed attributes. The determination of attributes weights involved 10 experts with work experience in building renovation ranging from 5 to 20 years. Experts collaborated to produce priority ranking of attributes; thus, their opinions were regarded as coordinated. Subsequent to calculations made as required by stages of SWARA method, the following final attributes weights were received:

- overall physical deterioration of the building – 0.207;
- indoor air temperature – 0.160;
- CO₂ concentration – 0.130;
- relative air humidity – 0.112;
- heat energy consumption – 0.100;
- aesthetics – 0.076;
- payback period – 0.068;
- U-value of external walls – 0.057;

- façade absorption – 0.047;
- floor temperature on the ground level – 0.043.

Estimated attributes weights were used in calculations of multi-attribute decision making methods TODIM, TOPSIS and VIKOR. Calculations were made using compiled decision-making tables and estimated attributes weights. Results received using different multi-attribute decision making methods were summarised with the help of Copeland method (Table S1).

Table S1. Alternatives ranks table (counting by MADM and Copeland methods)

Alternative	MADM method			Copeland
	TODIM	TOPSIS	VIKOR	
Kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris	1	1	3	1
Kindergarten “Saulutė” in Molėtai	2	4	4	4
Kindergarten in Semeliškės	4	3	2	3
Kindergarten “Ežerėlis” in Trakai	3	2	1	2

After the use of the AEBR model, the final queue of alternatives is as follows:

1. Kindergarten “Svajonėlė” in Lentvaris.
2. Kindergarten “Ežerėlis” in Trakai.
3. Kindergarten in Semeliškės.
4. Kindergarten “Saulutė” in Molėtai.

The main reasons behind such ranking are: changes in indoor microclimate parameters, changes in heat energy consumption, payback period of investments and façade absorption. These attributes have the greatest impact on efficiency of building renovation. Subsequent to building renovation, values of all used attributes were similar with the exception of real payback period. This is why the solution of the problem using different multi-attribute decision analysis methods according to values achieved by attributes, alternatives were ranked differently.

General conclusions

1. Literature analysis resulted in identification of 6 key factors determining the renovation of buildings: lifetime of a building, parameters of indoor microclimate, energy performance of a building, environmental impact, aesthetics of a building and market value of a building. Additionally, 10 key attributes that impact on assessment into the efficiency of building renovation were determined: overall physical deterioration of the building, indoor air temperature, CO₂ concentration, relative air humidity, heat energy consumption, aesthetics, payback period, U-value of external walls, façade absorption and floor temperature on the ground level.

2. The efforts resulted in the design of the AEBR model aiding a complex assessment of key attributes using MADM methods TODIM, TOPSIS and VIKOR and Copeland method to summarise results. The AEBR model is exceptional as it allows assessing the renovation of buildings using 2 methods: according to values on the change of attributes and values achieved by attributes. Although renovation of buildings aims for values achieved by attributes (the state of buildings after their renovation), it is just as important to assess values on the change of attributes (comparison of the state of buildings before and after their renovation). Change in attributes values demonstrate the efficiency of building renovation.
3. In the absence of a single optimisation direction, investigated attributes had an optimisation factor created. Optimisation factor is defined using the quadratic function, the graph of which is a parabola. The quadratic function is calculated based on permissible limits (comfort zone) set in HN, optimal value and ten-point assessment scale. The optimisation factor needs to be applied to the following attributes: indoor air temperature, relative air humidity and floor temperature on the ground level.
4. To determine weights of assessed attributes, SWARA method was used by means of expert evaluations. This reduces subjectivity of defined attributes weights. Out of 10 investigated attributes, the most important is the overall physical deterioration while the least important is the floor temperature on the ground level.
5. To determine real values of attributes, the following field experiment and calculation methodologies were used: evaluation of physical deterioration, tests on façade absorption, thermovision, indoor microclimate parameters and U-values as well as economic calculations and aesthetic evaluation.
6. Field experiments in public buildings demonstrated that values of all investigated attributes improved with the exception of indoor CO₂ concentration. This necessitates more frequent (intense) airing of rooms or the use of rotary recuperator (in those kindergartens, which have them installed).
7. Field experiments demonstrated that prior to renovation of buildings, most of assessed attributes failed to correspond to requirements of current HN and construction technical regulations. After the renovation, all assessed attributes satisfied requirements of HN and construction technical regulations with the exception of relative air humidity and CO₂ concentration.
8. The use of the AEBR model in assessed buildings demonstrated that the following attributes have the greatest impact on the efficiency of building renovation: changes in indoor microclimate parameters, changes in heat energy consumption, payback period of investments and façade absorption. Subsequent to building renovation, values of all used attributes were similar with the exception of real payback period.

Priedai*

A priedas. SWARA (rodiklių svorio nustatymo), TODIM, TOPSIS, VIKOR (daugiatikslių sprendimo priėmimo) ir Copeland (rezultatų apibendrinimo) metodų visų etapų skaičiavimai

B priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijoje skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

C priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

* Priedai pateikiami pridėtame kompaktiniame diske

Robertas VOLVAČIOVAS

VISUOMENINĖS PASKIRTIES PASTATŲ ATNAUJINIMO
EFEKTYVUMO TYRIMAS IR DAUGIATIKSLIS VERTINIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Statybos inžinerija (02T)

Robertas VOLVAČIOVAS

INVESTIGATION AND MULTI-ATTRIBUTE ASSESSMENT
INTO EFFICIENCY OF PUBLIC BUILDING RENOVATION

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2014 04 11. 14,25 sp. l. 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