

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Lina UŽŠILAITYTĖ

# VIEŠOJO NAUDOJIMO PASTATŲ ENERGETINIO MODERNIZAVIMO MODELIS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
ENERGETIKA IR TERMOINŽINERIJA (06T)



Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2010

Disertacija rengta 2005–2010 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

### **Mokslinis vadovas**

prof. habil. dr. Vytautas MARTINAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, energetika ir termoinžinerija – 06T).

*<http://leidykla.vgtu.lt>*

VG TU leidyklos TECHNIKA 1816-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-702-5

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2010

© Lina, Užšilaitytė, 2010

*Lina.Uzsilaityte@vgtu.lt*

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Lina UŽŠILAITYTĖ

# MODEL OF ENERGETIC MODERNISATION OF PUBLIC BUILDINGS

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
ENERGETICS AND POWER ENGINEERING (06T)



Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2005–2010.

**Scientific Supervisor**

Prof Dr Habil Vytautas MARTINAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Energetics and Power Engineering – 06T).

# Reziუმė

Disertacijoje tiriama, kokie kriterijai taikytini objektyviam viešojo naudojimo pastatų modernizavimo vertinimui ir kokią įtaką pastato gyvavimo ciklui daro sistemingas, kompleksinis pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimas, atsižvelgiant į reikalavimų pastatų energiniam naudingumui griežtėjimo tendencijas ir technologinę pažangą. Pagrindinis disertacijos tikslas – sudaryti viešojo naudojimo pastato modernizavimo vertinimo pagal energetinius, aplinkosauginius, pastato nusidėvėjimo kriterijus modelį ir atlikti pastatų atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo įtakos pastato gyvavimo ciklo sąnaudoms analizę. Sukurtas modelis gali būti panaudotas planuojant pastatų modernizavimą ir priežiūrą, modernizavimo tikslingumo vertinimuose bei nustatant modernizuojamų pastatų energinio naudingumo reikalavimus.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros, autorės publikacijų disertacijos tema sąrašai ir du priedai.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autorės paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje nagrinėjami praktikoje ir moksliniuose tyrimuose taikomi pastatų modernizavimo vertinimo metodai ir modeliai. Taip pat apžvelgiamas pastatų nusidėvėjimo vertinimas pastatų ūkio valdymo ir nekilnojamojo turto teorijose. Antrajame skyriuje aprašoma darbe tyrinėta sistema (pastatas ir jį supanti aplinka) ir analizuojamos atskiros sistemą sudarančios posistemės.

Trečiajame skyriuje pateikiamas sukurtas pastatų modernizavimo vertinimo modelis. Ketvirtajame skyriuje, naudojant sukurtą pastatų modernizavimo vertinimo modelį, atliekama dviejų mokyklų pastatų modernizavimo analizė.

Disertacijos tema paskelbti 8 straipsniai: vienas – straipsnių rinkinyje, įtrauktame į Thomson ISI sąrašą, vienas – konferencijų medžiagoje, referuotoje Thomson ISI duomenų bazėje, du – Inspec duomenų bazėje cituojamuose žurnaluose, trys – recenzuojamose tarptautinių konferencijų medžiagose bei vienas – respublikinės konferencijos medžiagoje. Disertacijos tema perskaityti 5 pranešimai Lietuvos bei tarptautinėse konferencijose.

# Abstract

The dissertation investigates what criteria may be applicable for objective assessment of public building modernisation and what impact will be made by modernisation of building envelopes and systems maintaining microclimate and air quality parameters on building life cycle, with regard to the trends of tightening requirements for building energy performance and technological progress. The main aim of the dissertation is to compose public building modernisation assessment model allowing assessing building modernisation in terms of energy, environmental and physical deterioration criteria and to perform the analysis of impact of modernisation of building envelopes and systems maintaining microclimate and air quality parameters on building life cycle. The created model can be used in planning and expediency evaluations of building maintenance and modernisation and in defining requirements for buildings energy performance.

The dissertation consists of *Introduction, 4 chapters, Conclusions, References* and *2 Annexes*.

The introduction reveals the investigated problem, importance of the thesis and the object of research and describes the aim and tasks of the paper, research methodology, scientific novelty, the practical value of results examined in the paper and defended propositions. The introduction ends in presenting the author's publications on the subject of the defended dissertation, offering the material of made presentations in conferences and defining the structure of the dissertation.

Chapter 1 revises building modernisation assessment methods and models applied in practise and scientific research, evaluation of building depreciation in building property management and real estate theories. In Chapter 2 system (building and its surrounding environment) examined in the paper is presented and subsystems are analysed. The created building modernisation assessment model is presented in Chapter 3. In Chapter 4 analysis of two school buildings modernisation is performed using the created model.

8 articles focusing on the subject of the discussed dissertation are published: one article – in the Thomson ISI register, one article – in conference material and scientific papers in Thomson ISI data base, two articles – in the journals abstracted/indexed by Inspec, three articles – in material reviewed during international conferences and one article during a national conference. 5 presentations on the subject have been given in conferences at national and international level.

---

# Žymėjimai

## Santrumpos

- CO<sub>2</sub> – anglies dioksidas;
- CH<sub>4</sub> – metanas;
- GCA – gyvavimo ciklo analizė;
- GCIA – gyvavimo ciklo išlaidų analizė;
- GDV – grynoji dabartinė vertė;
- HFC – hidrofluorangliavandeniliai;
- N<sub>2</sub>O – azoto suboksidas;
- PAL – paprastas atsipirkimo laikas;
- PFC – perfluorangliavandeniliai;
- SEK – sutaupytos energijos kaina;
- SF<sub>6</sub> – sieros heksafluoridas;
- ŠVOK – šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas;
- VGN – vidinė grąžos norma.





---

# Turinys

ĮVADAS .....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	3
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai .....	3
Tyrimų metodika .....	4
Darbo mokslinis naujumas .....	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė .....	5
Ginamieji teiginiai .....	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	6
1. PASTATŲ MODERNIZAVIMO VERTINIMO METODŲ IR MODELIŲ APŽVALGA .....	7
1.1. Pastatų modernizavimo vertinimo metodai .....	7
1.1.1. Investicijų gražos vertinimo metodai.....	7
1.1.2. Gyvavimo ciklo išlaidų analizė .....	10
1.1.3. Pastato fizinės būklės atstatymo naudą vertinantys metodai .....	10
1.1.4. Komforto vertinimo metodai .....	12
1.1.5. Išorinės naudos vertinimo metodai.....	13
1.1.6. Daugiakriterinės analizės vertinimo metodai .....	14

1.1.7. Gyvavimo ciklo analizė.....	15
1.2. Pastatų modeliavimo priemonės ir modeliai .....	20
1.2.1. Pastatų reitingavimo metodai ir modeliai .....	21
1.2.2. Pastatų projektavimui taikomos modeliavimo priemonės ir modeliai.....	22
1.2.3. Pastatų poveikio vertinimo modeliai .....	23
1.2.4. Pastatų atnaujinimo planavimo modeliavimo priemonės ir modeliai .....	24
1.3. Pastato nusidėvėjimo vertinimas pastatų ūkio valdymo ir nekilnojamojo turto teorijose .....	27
1.4. Pirmojo skyriaus apibendrinimas ir disertacijos uždavinių formulavimas .....	29
<b>2. PASTATO IR JŲ SUPANČIOS APLINKOS SISTEMINĖ ANALIZĖ .....</b>	<b>31</b>
2.1. Nagrinėjama sistema .....	31
2.2. Pastatų aprūpinimo energija sistemos aplinkos analizė.....	34
2.2.1. Darnaus vystymosi politika ir pastatų vaidmuo.....	34
2.2.2. Energijos vartojimas ir jo reglamentavimas pastatuose.....	35
2.2.3. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose poveikis .....	38
2.2.4. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių pasirinkimą lemiantys veiksniai ir kriterijai bei suinteresuotų grupių vaidmuo.....	41
2.3. Pastatas, jo paskirtis ir jam keliami reikalavimai .....	44
2.4. Antrojo skyriaus išvados .....	48
<b>3. PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMO MODELIO SUDARYMAS.....</b>	<b>51</b>
3.1. Principinė pastato modernizavimo vertinimo modelio schema .....	52
3.2. Pastato technologinio gyvavimo ciklo modelis .....	56
3.3. Pastato energetinio gyvavimo ciklo modelis .....	60
3.3.1. Bendrųjų pastato energijos sąnaudų skaičiavimas.....	61
3.3.2. Pastato ikūnytosios energijos sąnaudų skaičiavimas .....	62
3.3.3. Pastato naudojamųjų energijos sąnaudų skaičiavimas.....	63
3.4. Pastato aplinkosauginio gyvavimo ciklo modelis.....	65
3.4.1. Bendrųjų pastato emisijų skaičiavimas.....	66
3.4.2. Pastato ikūnytųjų emisijų skaičiavimas .....	66
3.4.3. Pastato naudojimo emisijų skaičiavimas .....	67
3.5. Sprendimų priėmimas.....	67
3.6. Trečiojo skyriaus apibendrinimas.....	68
<b>4. PASTATO MODERNIZAVIMO VERTINIMO MODELIO TAIKYMAS .....</b>	<b>71</b>
4.1. Tyrimo objektų parinkimas .....	71
4.2. Tyrimo apimties apibrėžimas .....	73
4.3. Technologinė pastatų analizė .....	75
4.4. Energetinis pastatų gyvavimo ciklas .....	79
4.4.1. Energetinio gyvavimo ciklo prielaidos.....	80
4.4.2. Pastatų energetinio gyvavimo ciklo rezultatai.....	88
4.5. Aplinkosauginis pastatų gyvavimo ciklas .....	93

4.5.1. Aplinkosauginio gyvavimo ciklo prielaidos .....	93
4.5.2. Pastatų aplinkosauginio gyvavimo ciklo rezultatai .....	93
4.6. Bendrieji rezultatai .....	97
4.7. Rezultatų jautrumo analizė .....	99
4.7.1. Pradinis pastato energinis naudingumas .....	99
4.7.2. Šilumos sąnaudų augimas dėl pastato nusidėvėjimo .....	104
4.7.3. Šilumos gamybos efektyvumas .....	106
4.7.4. Tarša dėl šilumos gamybos.....	108
4.7.5. Tarša dėl elektros energijos gamybos.....	110
4.8. Ketvirtojo skyriaus išvados .....	112
<b>BENDROSIOS IŠVADOS .....</b>	<b>115</b>
<b>LITERATŪRA IR ŠALTINIAI .....</b>	<b>119</b>
<b>AUTORĖS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA .....</b>	<b>129</b>
<b>PRIEDAI .....</b>	<b>131</b>
A priedas. Energijos sąnaudų ir taršos rodikliai .....	131
B priedas. Pastatų charakteristikos .....	133



---

# Contents

INTRODUCTION .....	1
Problem formulation .....	1
Importance of the work .....	2
Object of the research.....	3
Aim of the work .....	3
Tasks of the work .....	3
Research methodology .....	4
Scientific novelty.....	4
Practical value of the achieved results.....	5
Defended propositions.....	5
Approval of the results .....	5
Dissertation structure.....	6
1. REVIEW OF BUILDING MODERNISATION ASSESSMENT	
METHODS AND MODELS.....	7
1.1. Building modernisation assessment methods .....	7
1.1.1. Methods assessing return of investments .....	7
1.1.2. Life cycle costing .....	10
1.1.3. Methods assessing benefits of restoration of building physical state .....	10
1.1.4. Comfort evaluation methods .....	12
1.1.5. External costs evaluation methods.....	13
1.1.6. Multi-criteria analysis.....	14

1.1.7. Life cycle analysis .....	15
1.2. Building simulation tools and models .....	20
1.2.1. Building rating methods and models .....	21
1.2.2. Building design simulation tools and models .....	22
1.2.3. Building impacts assessing models .....	23
1.2.4. Building renovation simulation tools and models .....	24
1.3. Building depreciation assessment in building property management and real estate theories .....	27
1.4. Chapter 1 generalization and formulation of tasks of dissertation .....	29
<b>2. SYSTEM ANALYSIS OF BUILDING AND ITS SURROUNDING ENVIRONMENT.....</b>	<b>31</b>
2.1. System under consideration.....	31
2.2. Analysis of surrounding environment of building energy supply system .....	34
2.2.1. Sustainable development policy and role of buildings .....	34
2.2.2. Energy consumption and its regulation in buildings .....	35
2.2.3. Impact of energy efficiency improvement in buildings.....	38
2.2.4. Factors and criteria influencing selection of energy efficiency measures and role of stakeholders.....	41
2.3. Building, its purpose and requirements .....	44
2.4. Chapter 2 conclusions .....	48
<b>3. COMPOSITION OF BUILDING MODERNISATION ASSESSMENT MODEL.....</b>	<b>51</b>
3.1. Principal scheme of building modernisation assessment model.....	52
3.2. Model of building technological life cycle.....	56
3.3. Model of building energy life cycle .....	60
3.3.1 Calculation of building total energy consumption.....	61
3.3.2. Calculation of building embodied energy consumption .....	62
3.3.3. Calculation of building operational energy consumption.....	63
3.4. Model of building environmental life cycle .....	65
3.4.1 Calculation of building total emissions .....	66
3.4.2. Calculation of building embodied emissions.....	66
3.4.3. Calculation of building operational emissions.....	67
3.5. Decision making.....	67
3.6. Chapter 3 generalization.....	68
<b>4. APPLICATION OF BUILDING MODERNISATION ASSESSMENT MODEL.....</b>	<b>71</b>
4.1. Selection of research objects .....	71
4.2. Definition of scope of research.....	73
4.3. Technological building analysis .....	75
4.4. Energetic building life cycle.....	79
4.4.1. Assumptions of energetic life cycle.....	80
4.4.2. Results of building energetic life cycle .....	88

4.5. Environmental building life cycle .....	93
4.5.1. Assumptions of environmental life cycle .....	93
4.5.2. Results of environmental building life cycle .....	93
4.6. Total results .....	97
4.7. Results of sensitivity analysis.....	99
4.7.1. Initial building energy performance .....	99
4.7.2. Increase of heat demand due to building depreciation.....	104
4.7.3. Efficiency of heat production .....	106
4.7.4. Pollution due to heat production.....	108
4.7.5. Pollution due to electricity production .....	110
4.8. Chapter 4 conclusions .....	112
 GENERAL CONCLUSIONS.....	 115
 REFERENCES .....	 119
 AUTHOR'S PUBLISHED WORKS ON THE TOPIC OF DISSERTATION .....	  129
 ANNEXES .....	 131
Annex A. Energy consumption and pollution indicators.....	131
Annex B. Buildings characteristics. ....	133





---

# Išvadas

## Problemos formulavimas

Modernizavimas yra svarbus pastato naudojimo ir priežiūros sistemos komponentas, kurio metu kompleksiškai atkuriamas pastato fizinė ir moralinė vertė, didinamas energijos vartojimo efektyvumas, šiluminis komfortas bei mažinamas neigiamas poveikis aplinkai. Tačiau pastatų modernizavimo poreikis ir apimtis šiuo metu vertinama, vadovaujantis tik ekonominiais ir fizinio nusidėvėjimo kriterijais. Toks požiūris yra nepakankamas, siekiant ilgalaikio pastato vertės išlaikymo ir užtikrinant pastatų atitiktį vienam iš esminių reikalavimų statiniui – energijos taupymui ir šilumos išsaugojimui.

Šiame darbe tiriama, kokie kriterijai taikytini objektyviam viešojo naudojimo pastatų modernizavimo vertinimui ir kokią įtaką pastato gyvavimo ciklui daro sistemingas, kompleksinis pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimas, atsižvelgiant į reikalavimų pastatų energiniam naudingumui griežtėjimo tendencijas ir technologinę pažangą.

## Darbo aktualumas

Pastatuose suvartojama 40 % galutinės energijos, kas taip pat nulemia 36 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų Europos Sąjungoje (European Commission 2010a; Eurostat 2010). Brangstant energijos ištekliams, griežtėjant pastatų energinio naudingumo ir aplinkosauginiams reikalavimams, augant visuomenės komforto poreikiams, susiduriama su problema, kad didelė šių pastatų dalis nebeatitinka šiuolaikinių, o atskirais atvejais ir minimalių, visuomenės poreikių. Tačiau pastatų modernizavimas dažnai yra nepatrauklus ekonomiškai arba dėl finansinių išteklių stokos nevykdomas. Todėl esamų pastatų modernizavimo klausimas išlieka išskirtinai svarbus, siekiant trumpalaikių ir ilgalaikių darnaus vystymosi tikslų.

Didžiausias kiekis energijos esamuose pastatuose suvartojamas jų naudojimo metu. Siekiant sumažinti energijos sąnaudas pastato mikroklimato ir oro kokybės parametrus palaikančiose sistemose, reikalingi esminiai pakeitimai, t. y. vienalaikis pastato atitvarų ir minėtų sistemų modernizavimas. Šis modernizavimas yra sudėtingas procesas, didelės apimties fiziškai ir finansiškai, todėl pastato gyvavimo laikotarpiu vyksta retai. Kartais keliamas klausimas, kas tikslingiau – pastatus nugriauti ir statyti naujus ar juos modernizuoti. Moksliniai tyrimai rodo, kad pastatų modernizavimas yra priimtinesnė alternatyva ekonominiu, energetiniu ir socialiniu požiūriais. Siekiant didinti pastatų modernizavimo patrauklumą, sprendimus priimantiems asmenims reikalingi alternatyvūs vertinimo kriterijai.

Dėl energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose atliekama daug tyrimų. Siekiant optimizuoti pastatų poveikį aplinkai, integruojant skirtingus metodus, kuriamos įvairios modeliavimo priemonės ir modeliai, akcentuojamas gyvavimo ciklo požiūrio taikymo tikslingumas. Moksliniuose tyrimuose modernizavimas, kaip atskiras pastato gyvavimo ciklo tarpsnis, nagrinėjamas retai. Atliktuose tyrimuose modernizavimas nagrinėjamas kaip statinis pastato gyvavimo ciklo tarpsnis, t. y. modernizavimo metu atkuriamos pastato statybos metu sukurtos charakteristikos. Tuo tarpu, atsižvelgiant į energetikos ir aplinkosaugos politikos vystymąsi bei technologinę pažangą, akivaizdu, kad dabartinių pastatų, ateityje sulauksiančių neišvengiamo modernizavimo, energinio naudingumo lygmuo neišliks nepakitęs. Todėl šiame darbe pastato modernizavimo analizė atliekama, siekiant įvertinti technologinės pažangos ir valstybinio reguliavimo kitimo įtaką pastato gyvavimo ciklo sąnaudoms.

## Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimas.

## Darbo tikslas

Šio darbo pagrindinis tikslas – sudaryti viešojo naudojimo pastato modernizavimo vertinimo pagal energetinius, aplinkosauginius, pastato nusidėvėjimo kriterijus modelį ir atlikti pastatų atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo įtakos pastato gyvavimo ciklo sąnaudoms analizę.

## Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe sprendžiami šie uždaviniai:

1. Atlikti praktikoje ir moksliniuose tyrimuose naudojamų pastatų modernizavimo vertinimo metodų ir modelių kritinę apžvalgą, vertinant jų trūkumus ir privalumus ir išnagrinėti mokslinius tyrimus, kuriuose gyvavimo ciklo analizė buvo taikoma pastatams.
2. Išanalizuoti pastatus kaip techninę sistemą ir juos supančią aplinką, pastatų modernizavimo energetinį, ekonominį, aplinkosauginį, socialinį poveikį ir atskirų suinteresuotų grupių vaidmenį nustatant pagrindinius tikslingus pastatų modernizavimo vertinimo kriterijus.
3. Pastatų modernizavimo analizėje įvertinti šiluminį komfortą, atskiriant norminių temperatūrinių sąlygų atstatymo naudą.
4. Sudaryti viešojo naudojimo pastato modernizavimo vertinimo modelį, leidžiantį įvertinti pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo įtaką pastato gyvavimo ciklui, atsižvelgiant ir į technologinės pažangos bei valstybinio reguliavimo veiksmus.
5. Naudojant sudarytą modelį, atlikti pasirinktų pastatų modernizavimo analizę ir nustatyti optimalų jų modernizavimo periodiškumą.

## Tyrimų metodika

Remiantis sisteminės analizės principais atliekama pastato kaip techninės sistemos analizė, kurios metu atskleidžiami pastato ir jį supančios aplinkos (viršsistemų) tarpusavio ryšiai, nustatomi objektyviam pastatų modernizavimo vertinimui taikytini kriterijai. Atsižvelgiant į šios analizės rezultatus, naudojant gyvavimo ciklo ir daugiakriterinės analizės metodus, sudaromas pastato modernizavimo vertinimo modelis. Naudojant šį modelį, atliekama pasirinktų pastatų modernizavimo analizė. Atsižvelgiant į pastato kaip techninės sistemos sudėtingumą ir problematiškumą jį tirti eksperimentiškai, darbe kaip tyrimo strategija naudojamas atvejo studijos tyrimo metodas. Pastatų ekonominėje analizėje šiluminis komfortas įvertintas, naudojant Dviejų faktorių metodą, dalinantį bendrąsias investicijas į investicijas į energijos vartojimo efektyvumą ir pastato fizinės būklės gerinimą, papildant jį šiluminio komforto sąlygų gerinimo dedamąja.

## Darbo mokslinis naujumas

1. Remiantis sisteminės analizės principais ir integruojant gyvavimo ciklo analizės bei pastato nusidėvėjimo kitimo principus, sudarytas viešojo naudojimo pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaiakančių sistemų modernizavimo vertinimo modelis.
2. Pirmą kartą nustatytas optimalus viešojo naudojimo pastato modernizavimo periodiškumas, atsižvelgiant į pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudas ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kiekius.
3. Pastato gyvavimo ciklo sąnaudos nagrinėtos vertinant technologinės pažangos ir valstybinio reguliavimo poveikį pastato gyvavimo ciklui.
4. Pastato modernizavimo tarpsnis nagrinėtas ne kaip statinis, kai modernizavimo metu atkuriamos pirminės statybos metu sukurtos pastato charakteristikos, o kaip dinaminis, kai kiekvieno modernizavimo metu sukuriami didesnio energinio naudingumo pastato vertė.
5. Pasiūlytas šiluminio komforto kriterijaus įvertinimo būdas ekonominiuose pastatų modernizavimo naudose vertinimuose.

## Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbo rezultatai gali būti panaudoti pastatų modernizavimo ir priežiūros planavime ir tikslingumo vertinimuose bei nustatant reikalavimus modernizuojamų pastatų energiniam naudingumui.

## Ginamieji teiginiai

1. Siekiant visapusiško ir objektyvaus pastato modernizavimo poreikio ir apimties nustatymo, į vertinimo kriterijų sistemą šalia fizinio nusidėvėjimo ir ekonominių kriterijų tikslinga įtraukti pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudų, teršalų emisijų ir šiluminio komforto kriterijus.
2. Siekiant minimizuoti pastatų poveikį aplinkai, pastatų naudojimo ir priežiūros sistemoje tikslinga taikyti gyvavimo ciklo požiūrį, tuo būdu optimizuojant pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybę palaikančių sistemų modernizavimo bendrąjį poveikį aplinkai.
3. Pastato fizinės ir moralinės vertės, energijos sąnaudų, aplinkos taršos ir komforto subalansavimas gali būti pasiektas, planuojant pastato modernizavimą per visą jo gyvavimo ciklą.
4. Pastato modernizavimo vykdymas tik po to, kai jis pasiekia „visiško nusidėvėjimo“ tarpsnį, prieštarauja ilgalaikio energijos išteklių tausojimo ir pastatų poveikio aplinkai mažinimo tikslams.

## Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra išspausdinti 8 moksliniai straipsniai: vienas – mokslo žurnale, įtrauktame į Thomson ISI sąrašą (Užšilaitytė ir Martinaitis 2010b); du – mokslo žurnaluose, cituojamuose Inspec duomenų bazėje (Sasnauskaitė *et al.* 2007; Užšilaitytė ir Martinaitis 2010a), vienas – konferencijų medžiagoje, referuotoje Thomson ISI domenų bazėje (Užšilaitytė ir Martinaitis 2008), trys – recenzuojamoje tarptautinių konferencijų medžiagoje (Užšilaitytė ir Martinaitis 2007; Užšilaitytė 2009; Užšilaitytė 2010), vienas – respublikinės konferencijos medžiagoje (Užšilaitytė ir Martinaitis 2006).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti penkiose mokslinėse konferencijose:

- Tarptautinėje konferencijoje „Environmental Engineering“ 2008 m. Vilniuje;

- Tarptautinėje Doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencijoje „CY-SENI“ 2007, 2009 ir 2010 m. Kaune;
- Respublikinėje konferencijoje „Inžinerinės sistemos“ 2006 m. Vilniuje.

## **Disertacijos struktūra**

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir bendrosios išvados. Taip pat yra du priedai.

Darbo apimtis yra 130 puslapių neskaičiuojant priedų, tekste panaudotos 34 numeruotos formulės, 41 paveikslas ir 6 lentelės. Rašant disertaciją, buvo panaudota 150 literatūros šaltinių.

## **Pastatų modernizavimo vertinimo metodų ir modelių apžvalga**

Šiame skyriuje nagrinėjami praktikoje ir moksliniuose tyrimuose taikomi pastatų modernizavimo vertinimo metodai ir modeliai. Taip pat pastatų nusidėvėjimo vertinimas pastatų ūkio valdymo ir nekilnojamojo turto teorijose.

### **1.1. Pastatų modernizavimo vertinimo metodai**

Pastatų modernizavimui vertinti taikomi įvairūs metodai nuo vieno kriterijaus iki išsamios daugiakriterinės analizės, visą pastato gyvavimo ciklą nagrinėjančių metodų.

#### **1.1.1. Investicijų gražos vertinimo metodai**

Dažniausiai praktikoje pastatų modernizavimo naudai vertinti naudojami ekonominiai metodai, kurie pastato modernizavimo ir jo apimties vykdymo tikslingumą vertina tik investicijų gražos požiūriu.

Paprasčiausiam ir vartotojui lengvai suprantamam energijos taupymo priemonių efektyvumui įvertinti galima skaičiuoti paprastąjį atsipirkimo laiką (toliau

– PAL). Jis gaunamas investicijas (Lt) padalijus iš sutaupymų, kuriuos generuoja įdiegtos energijos taupymo priemonės per metus (Lt). Tai laikas, per kurį projekto metinė nauda padengia kapitalines projekto sąnaudas. Tačiau PAL neišvertina įdiegtos energijos taupymo priemonės gyvavimo laiko, t. y. neišvertinama, ar priemonės atsipirkimo laikas nėra ilgesnis už pačios priemonės gyvavimo laiką. Šio kriterijaus reikšmių skirtingoms energijos taupymo priemonėms (kelių priemonių derinių) negalima lyginti – jeigu kelių priemonių PAL yra vienodas, tai nereiškia, kad jos duoda vienodą naudą, nes priemonės nauda priklauso nuo jos gyvavimo laiko. Be to, šis kriterijus neišvertina, ar sutaupymų užteks išmokėti paskolos palūkanas.

Objektyvesniam vertinimui naudojami tokie ekonominio vertinimo kriterijai kaip grynoji dabartinė vertė (toliau – GDV) ir vidinė gražos norma (toliau – VGN). Šie kriterijai išvertina investicijų naudą per tam tikrą laikotarpį. GDV apskaičiuojama pagal formulę:

$$GDV = \sum_{t=0}^n \frac{GS_t}{(1+d)^t}, \quad (1)$$

čia  $GS_t$  – investicinio projekto grynieji piniginiai srautai  $t$  laiko momentu, litais;  $t$  – laiko momentas, metais;  $n$  – projekto gyvavimo laikas, metais;  $d$  – diskonto norma, vieneto dalimis.

GDV naudojimo privalumai – išvertinamos visos projekto sąnaudos ir nauda per vertinimo laikotarpį, pinigų vertė per laiką. Trūkumai – kartais sunku pasirinkti tinkamą diskonto normą, nuo kurios priklauso vertinimo rezultatai.

Dar vienas praktikoje naudojamas ekonominio vertinimo kriterijus yra sutaupytos energijos kaina (toliau – SEK) (Meier 1983; Stoft 1995). Paprastai SEK metodo rezultatai sutampa su GDV ir VGN rezultatais, tačiau SEK kriterijus yra ištaigesnis. Kaip ir GDV bei VGN, SEK (Lt/MWh) išvertina priemonių gyvavimo laiką bei pinigų skolinimosi išlaidas ir apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SEK = \frac{I}{S} \times \frac{d}{1 - (1+d)^{-n}}, \quad (2)$$

čia  $I$  – investicijos, litais;  $S$  – metiniai sutaupymai, MWh;  $n$  – priemonės gyvavimo laikas, metais;  $d$  – diskonto norma, vieneto dalimis.

Iš esmės, SEK parodo, kas pigiau: taupyti energiją ar ją vartoti. Pvz., energijos taupymo priemonės SEK yra 100 Lt/MWh, o energijos kaina 110 Lt/MWh. Šiuo atveju pigiau yra energiją taupyti nei ją naudoti. Kitas SEK privalumas – ji nepriklauso nuo dabartinių ar būsimų energijos kainų. Jei SEK yra didesnė nei dabartinė energijos kaina, bet mažesnė nei prognozuojama energijos kaina, tai priemonę tikslinga įgyvendinti.



Investicijų tikslingumo vertinimui naudojamas rodiklis investicijų rentabilumas  $\varepsilon_{inv}$ , skaičiuojamas kaip skirtumas tarp išlaidų energijai  $C_E$  ir investicinių išlaidų  $C_{inv}$  (analogiškas dydis SEK), normalizuotas šioms investicinėms išlaidoms (Gieseler *et. al.* 2004):

$$\varepsilon_{inv} = \frac{C_E - C_{inv}}{C_{inv}} = \frac{C_E}{C_{inv}} - 1. \quad (3)$$

Šis dydis gali būti lygus nuo  $-1$  iki  $1$ . Jei šis rodiklis yra mažesnis už nulį, tai reiškia neatsiperkančias investicijas. Jei didesnis už nulį, investicijos yra ekonomiškai prasmingos. (Gieseler *et. al.* 2004).

Naudojami grafiniai investicijų į energijos taupymo priemones metodai, tokie kaip Sutaupytos energijos „Pasiūlos kreivės“ (*angl. Conserved-Energy “Supply” Curves*) (Stoft 1995). Naudojant šį metodą braižoma kreivė kaip atskirų energijos taupymo priemonių paketų ribinių išlaidų funkcija nuo paketo generuojamo metinio sutaupyto energijos kiekio. Energijos taupymo paketo pasirinkimas priklauso nuo energijos kainos, lemsiančios, kurie priemonių paketai ekonomiškai naudingi, kurie ne.

Nekilnojamojo turto rinkos vertės požiūriu, efektyvus pastato atnaujinimas gali būti apibūdintas rinkos vertės koeficientu *MVR*:

$$MVR = \frac{a \cdot (M_{vn} - M_{vo})}{C_r}, \quad (4)$$

čia  $M_{vn} - 1 \text{ m}^2$  naujo pastato rinkos vertė, litais;  $M_{vo} - 1 \text{ m}^2$  seno pastato rinkos vertė, litais;  $C_r$  – pastato  $1 \text{ m}^2$  atnaujinimo kaina, litais;  $a$  – pataisos koeficientas, kurio dydis priklauso nuo vietovės, kuriame yra pastatas.

Pagrindinis indikatorius, ribojantis investicijų į pastato atnaujinimą dydį, yra skirtumas tarp rinkos vertės po ir prieš modernizavimą. Skirtumas tarp  $1 \text{ m}^2$  rinkos vertės naujo pastato ir vidutinės  $1 \text{ m}^2$  senos statybos pastato kainos ir modernizavimo kaina nulems investicijų į pastato atnaujinimą paketo dydį. Seno rekonstruoto pastato vertė niekada nebus didesnė už naujo pastato vertę, nes neįmanoma pašalinti visų esamų defektų. (Zavadskas *et. al.* 2004).

Ekonominiai pastatų modernizavimo naudos vertinimo metodai yra labai svarbūs, tačiau tokie vertinimai retai viršija 20–30 metų laikotarpį. Ilgesnis ekonominių vertinimų laikotarpis susijęs su didelėmis paklaidomis ir nepatikimumu. Tuo tarpu energijos išteklių išsaugojimo planavimas yra susijęs su daug ilgesniu laikotarpiu. Pastato, kaip techninės sistemos, gyvavimo laikotarpis yra daug ilgesnis ir siekia kelis šimtmečius. Todėl vien tik investicijų grąža paremtas vertinimas nėra pats tinkamiausias metodas energijos išteklių tausojimui vertinti. Kraštutiniais atvejais pastato modernizavimas ekonominiu požiūriu gali būti ap-

skritai netikslingas, sukeliantis pavojų pastato kaip statinio funkcionavimui. Todėl reikalingi ilgaamžiškesni pastatų modernizavimo vertinimo kriterijai.

### 1.1.2. Gyvavimo ciklo išlaidų analizė

Objektyvesnė ekonominė analizė atliekama naudojant gyvavimo ciklo išlaidų analizės (toliau – GCIA) metodą. GCIA ypač tinka pastato projektų alternatyvoms, kurios atitinka tam tikrą pastato naudingumo lygį (įskaitant komfortą, saugą, atitiktį pastatų reglamentų reikalavimams ir inžineriniams standartams, sistemos patikimumo ir net estetiniams dalykams), tačiau turi skirtingas pradinės investicines išlaidas, skirtingas naudojimo ir priežiūros išlaidas ir galimai skirtingas gyvavimo trukmes, vertinti. GCIA gali būti naudojama bet kokiems investiciniams sprendimams, kuriuose aukštesnės pradinės investicijos lemia mažesnes būsimas išlaidas, susijusias su pastato naudojimu ir priežiūra. GCIA leidžia tiksliau įvertinti ilgalaikių išlaidų efektyvumą nei alternatyvūs ekonominiai metodai, kurie koncentruojasi į pradinės investicines išlaidas ar į naudojimo išlaidas artimoje ateityje. GCIA yra priešingas metodas atsipirkimo laiko ekonominei analizei. Atsipirkimo metodas orientuojasi į tai, kaip greitai pradinės investicijos gali būti susigrąžintos, tačiau tai nėra tinkamiausia priemonė ilgalaikiam ekonominiam naudingumui vertinti. (Fuller and Petersen 1995).

GCIA taikoma optimizuojant pastatų šildymo, vėsinimo ir vėdinimo sistemas, parenkant sistemas su minimaliomis gyvavimo ciklo išlaidomis, tarp to įvertinant ir išlaidas sveikatai bei produktyvumui (Johansson 2009), parenkant energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones pastatams, kartu nustatant ir taršos mažinimo išlaidas (Kneifel 2010).

### 1.1.3. Pastato fizinės būklės atstatymo naudą vertinantys metodai

Siekiant platesnio nei tik ekonominio vertinimo, šalia ekonominės sukurti pastato fizinės būklės atstatymo naudą įvertinantys metodai.

Sutaupyto energijos kiekio ir pastato elementų fizinės būklės atstatymo, o taip pat ir pastato gyvavimo laiko pratęsimo bei vertės padidinimo naudą įvertina „Dvejopos naudos“ metodas (*angl. twofold benefit*) (Martinaitis *et al.* 2004). Didelis energijos suvartojimas ir nusidėvėjusios pastatų atitvaros bei inžinerinės sistemos daro įtaką pastato komforto lygiui ir saugai. Praktikoje susiduriama su problema, kad pastatų atitvarų atnaujinimas kaip energijos taupymo priemonė ekonominiu požiūriu nėra labai patraukli. Dėl to trumpalaikėje perspektyvoje atitvarų atnaujinimas neduoda finansinės naudos, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje išvengiama išlaidų pastato elementų rekonstrukcijai, reikalingai užtikrinti pastato gyvavimą. Pagal šį metodą investicijos, susijusios su pastato rekonstrukcija,

dalinamos į dvi dalis – investicijos į energijos taupymą ir investicijos į pastato elementų fizinės būklės atstatymą. Tam įvedamas pastato elementų būklės atstatymo koeficientas  $\kappa$ . Jis parodo, kuri investicijų dalis susijusi su pastato elementų fizinės būklės atstatymu. Likusi dalis bus susijusi su energijos taupymu. Tuomet nagrinėjamos energijos taupymo priemonės išlaidų efektyvumas bus nustatomas tik tai daliai, kuri susijusi su energijos taupymu. Efektyvumo kriterijumi yra naudojama sutaupyta energijos kaina SEK:

$$SEK_B = (1 - \kappa) \times \frac{I}{S} \times \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}}. \quad (5)$$

Prieš tai minėtame metode nagrinėtą problemą pasiūlyta spręsti taikant Dviejų faktorių metodą (*angl. two-factor appraisal*) (Martinaitis *et al.* 2007). Pagal šį metodą pastato modernizavimo projekto įvertinimas dalinamas į tris stadijas. Pagrindinė metodo idėja – atskirai įvertinti energijos vartojimo efektyvumo ir pastato atnaujinimo komponentus. Pirmoje stadijoje nustatomos maksimalios investicijos. Antroje stadijoje į atskiras grupes suskirstomi energijos vartojimo efektyvumo ir pastato atnaujinimo/gerinimo komponentai. Investicijos, susijusios su vienu rūšimis priemonėmis, skirstomos į investicijas energijos vartojimo efektyvumui ir atnaujinimo/gerinimo investicijas, t. y. neturinčias poveikio energijos suvartojimui. Investicijos, susijusios su dvejopos naudos priemonėmis, suskirstomos į energijos vartojimo efektyvumo komponentus ir pastato atnaujinimo/gerinimo komponentus, naudojant pastato komponentų nusidėvėjimo koeficientą. Vienarūšės priemonės poruojamos su dvejopos naudos priemonėmis. Trečioje stadijoje įvertinamas priemonių rentabilumas. Energijos vartojimo efektyvumo investicijos įvertinamos naudojant SEK kriterijų. Investicijos į energijos taupymo priemones neturi viršyti SEK investicijų ribos, kuri skaičiuojama:

$$I_E^{SEK} = \sum_{r=1}^{r=p} \left( \sum_{i=1}^{i=e+t} EP_r \times dE_{i,r} / CRF_i \right), \quad (6)$$

čia  $EP_r$  –  $r$  rūšies sutaupyta energijos (centralizuotai tiekiamas šiluma, gamtinės dujos, elektra ir t. t.) kaina;  $p$  – energijos rūšių skaičius;  $dE_{i,r}$  – metinis sutaupyta  $r$  rūšies energijos kiekis įgyvendinus  $i$ -ąją priemonę;  $CRF_i$  –  $i$ -osios priemonės kapitalo gražos faktorius.

Metodo privalumai – įvertinama ne tik ekonominė, bet ir pastato fizinių savybių atkūrimo nauda, atskirai įvertinami energijos taupymo ir pastato fizinės būklės atstatymo komponentai. Šiame metode atskiriamos pastato priežiūros, kaip privalomų pastato savybių išlaikymo proceso, investicijos ir energijos vartojimo efektyvumo didinimo investicijos, kai abu šie procesai vykdomi kartu.

Privalomų pastato savybių išlaikymo ir pastato energijos vartojimo efektyvumo didinimo procesų derinimas jau duoda ekonominį efektą.

Pastato fizinės būklės atstatymo naudą vertinantys metodai leidžia padidinti energijos taupymo investicinių projektų patrauklumą, objektyviai įvertinant faktą, kad pastato tinkamam funkcionavimui užtikrinti būtinos tiesioginės finansinės naudos neduodančios investicijos. Tačiau energijos taupymo priemonių įgyvendinimas svarbus ne tik pastato fizinės būklės palaikymui ir vartotojo finansinių išteklių taupymui. Šios priemonės turi ir didelę netiesioginę (išorinę – socialinę, aplinkosauginę) naudą.

#### 1.1.4. Komforto vertinimo metodai

Komfortas čia suprantamas kaip mikroklimato ir vidaus oro kokybės parametrų palaikymas pastatuose.

Vienas iš energijos taupymo priemonių įgyvendinimo pastatuose poveikių yra šiluminio komforto padidėjimas, t. y. patalpų mikroklimato parametrų pagerinimas. Nepakankamas šiluminis komfortas dažnai būna viena iš pagrindinių priešasčių investuoti į energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones, tačiau praktikoje sąnaudų-naudos analizėje paprastai jis nėra tiesiogiai vertinamas. Trūksta tiesinės priklausomybės tarp energijos suvartojimo šildymui, pastato šiluminės kokybės ir šildymo sistemos efektyvumo empirinių įrodymų. (Milne and Boardman 2000). Įvertinti komfortą ekonomiškai turbūt sudėtingiausia dėl jam būdingo subjektyvumo. Ekonominiuose skaičiavimuose priimama, kad komforto vertė lygi atsisakytos sutaupyti energijos vertei. (Clinch and Healy 2001).

Neužtikrintos norminės temperatūrinės sąlygos pastatuose yra ir netinkamo pastatų naudojimo ir techninės priežiūros pasekmė. Tai kelia metodinių problemų, vertinant energijos taupymo projektų įgyvendinimo naudą tokiuose pastatuose – energijos taupymo priemonių įgyvendinimo stadijoje nustatyto energetinio ir ekonominio efekto paprastai tikimasi sulaukti praktikoje. Problema iškyla, kai pastate prieš modernizavimą būna ženkliai mažesnė nei norminė vidaus oro temperatūra, pvz., +12 °C, o atliekant energetinius ir ekonominius vertinimus, priimama, kad ji buvo norminė (pvz., +18 °C). Kadangi energijos suvartojimas tiesiogiai proporcingas vidaus ir lauko oro temperatūrų skirtumui, faktiniai rezultatai bus žymiai mažesni už taip skaičiuotus. Todėl vertinant pastatus, kuriuose prieš modernizavimą neužtikrinamos norminės temperatūrinės vidaus oro sąlygos, šalia praktikoje naudojamų energetinių, ekonominių, pastato fizinės būklės atstatymo vertinimo kriterijų tikslinga įvesti ir socialinį kriterijų – šiluminį komfortą, parodant jo ekonominę vertę.

Dar viena, ne mažiau svarbi nei vidaus oro temperatūra, komforto dedamoji yra pastato vidaus oro kokybės užtikrinimas. Mechaninio vėdinimo įrengimas

pastate tampa ypač aktualus, įrengiant sandarius atitvaras, kas mažina šviežio oro apykaitą patalpose (Guo *et al.* 2008; Ignatavičius *et al.* 2002; Kurnitski 2007). Tačiau mechaninio vėdinimo įrengimas pastate retai susijęs su energijos taupymu ir brangiai kainuoja, kas kartais veda prie energetiškai efektyvaus mechaninio vėdinimo atsisakymo (Guo *et al.* 2008; Mysen *et al.* 2005). Egzistuoja taip vadinama energijos vartojimo efektyvumo–šiluminio komforto–vidaus oro kokybės dilema (Becker *et al.* 2007).

Apibendrinant, komfortas (nustatytus mikroklimato ir vidaus oro kokybės reikalavimus atitinkanti aplinka) – tai vienas iš pagrindinių pastato funkcionalumo vertinimo kriterijų ir jis negali būti vertinamas tik ekonominiu požiūriu arba jo atstatymas siejamas tik su energijos taupymu.

### 1.1.5. Išorinės naudos vertinimo metodai

XX a. pirmoje pusėje ekonomistai visų pirma buvo susirūpinę nedarbo, investicijų, augimo ir fiskalinės politikos problemomis. Tačiau žemės ir jos išteklių išsaugojimo svarba buvo pripažinta jau XVIII a. Šiuolaikinės išteklių ekonomikos mokslas išpopuliarėjo ir išorinių išlaidų problema pradėta nagrinėti XX a. pradžioje. (Ayres 2008).

Energijos vartojimas daro neigiamą poveikį aplinkai (klimato kaita, rūgštėjimas, eutrofikacija) ir su tuo susijusį poveikį žmonių sveikatai, darbingumui, statybinės aplinkos kokybei. Su šia žala susijusios išlaidos ne visada įvertinamos energijos kainoje. Tačiau šių efektų išlaidas turėtų prisiimti visuomenė dabar arba ateityje. (Ayres 2008; Karlsson and Gustavsson 2003; Štreimikienė ir Jankauskas 1998).

Išvengti nuostoliai dėl minėtų dalykų ar patirta nauda vertinami kaip energijos taupymo priemonių įgyvendinimo nauda ir įtraukiami į sąnaudų-naudos analizę kaip socialinės ar aplinkosauginės išlaidos.

Japonijos mokslininkai (Kosugi *et al.* 2009), sujungę integruoto vertinimo ir gyvavimo ciklo poveikio vertinimo modelius, nustatė, kad dėl energetikos sektoriaus XXI a. išorinės išlaidos, susijusios su klimato kaita, sudarys 10–40 % visų išorinių išlaidų. (Clinch and Healy 2001) įvertinta Airijoje įgyvendinamos gyvenamojo sektoriaus energijos vartojimo efektyvumo didinimo programos nauda. Bendra gauta nauda 3 kartus viršijo programos išlaidas. 57 % gautos naudos sudarė lėšos dėl sutaupyto energijos kiekio, 25 % – išvengtos išlaidos dėl mirtinumo ir sergamumo, 10 % – išlaidos dėl komforto pagerėjimo, 8 % – išvengtos išlaidos dėl išmetamų į aplinką teršalų.

Įvertinti socialinę ir aplinkosauginę naudą yra pakankamai sudėtinga, ji susijusi su dideliu neapibrėžtumu, tačiau tai nemažina šio perspektyvaus vertinimo naudos (European Commission 2005).

### 1.1.6. Daugiakriterinės analizės vertinimo metodai

Plėtojant darnaus vystymosi koncepcijas, svarbu derinti energetikos ir aplinkos apsaugos strategijas. Dėl nekoordinuotų ir pavienių strategijos formulavimų energetikos politikos nauda gali būti nustelbta aplinkosauginės politikos ir atvirksčiai. Todėl abiejų politikų išlaidos gali būti didesnės nei pradžioje numatyta, kas lemtų neoptimalų sprendimą, kuris neprisideda prie ilgalaikių tikslų realizavimo. Siekiant derinti šias politikas, susiduriama su konfliktu – techninių, socialinių, ekonominių ir politinių vertybių vertinimu. Tokios analizės palengvinimui buvo sukurta daugiakriterinio sprendimų priėmimo metodų sistema. (Greening and Bernow 2004).

Daugiakriterinio sprendimų priėmimo metodų sistemoje yra paprastų metodų, reikalaujančių nedaug informacijos ir gana sudėtingų metodų, paremtų matematinio programavimo technika ir reikalaujančių didelio kiekio informacijos. Daugiakriteriniai uždaviniai turi bendrų charakteristikų: baigtinį skaičių alternatyvų; tam tikrą skaičių atributų, priklausantį nuo sprendžiamos problemos; matavimo vienetų rinkinį kiekvienam atributui; kiekvieno atributo svarbos charakteristikas; matricos formatą, kur stulpeliai nurodo atributus, o eilutės – nagrinėjamas alternatyvas. (Greening and Bernow 2004).

Daugiakriterinė analizė plačiai pritaikyta pastato gyvavimo procesams vertinti ir energetinėms sistemoms optimizuoti (Avgelis and Papadopoulou 2009; Rogoža *et al.* 2006; Zavadskas *et al.* 2001; Zavadskas *et al.* 2009).

Pastatų projektavimui ir atnaujinimo vertinimui buvo pasiūlytas Variantinis projektavimas ir daugiakriterinė analizė (Kaklauskas *et al.* 2005; Zavadskas *et al.* 2008b). Šis metodas leidžia išanalizuoti visus galimus pastato atnaujinimo variantus, pagal įvairius užsiduotus kriterijus. T. y. nustatomi galimi vertinimo kriterijai, galimos atnaujinimo priemonės ir jos derinamos tarpusavyje randant geriausią variantą. Konkretaus pastato atnaujinimo efektyvumo lygis priklauso nuo daugelio veiksnių – atnaujinimo išlaidų, metinių kuro sutaupymų po atnaujinimo, atsipirkimo laiko, naudotų medžiagų žalos sveikatai, estetikos, eksploatacinių savybių, funkcionalumo, komforto, garso izoliacijos, ilgaamžiškumo ir kt. Alternatyvus pobūdžio sprendimai leidžia racialesnius ir realistiškesnius ekonominių, ekologinių, teisinių, klimatinių, socialinių ir politinių sąlygų, tradicijų ir geresnių vartotojo poreikių reikalavimų įvertinimus. Metodas leidžia suformuoti 100000 alternatyvių versijų. Vertinimas atliekamas per 6 stadijas. Per pirmas 5 stadijas nustatomas atskirų elementų efektyvumas – suformuojama svorinė normalizuota sprendimų priėmimo matrica, apskaičiuojama suma svorinių normalizuotų indeksų, palyginama alternatyvų svarba, nustatomi pastato atnaujinimo prioritetai, apskaičiuojamas naudos laipsnis. Šeštoje stadijoje nustatoma visų pastato atnaujinimo elementų svarba, naudos laipsnis ir prioritetai. Naudojant šį metodą, gali būti įvertinti visi galimi projekto variantai pagal pasirinktą vertinimo sistemą. Priimant sprendimą gali būti įvertintos visų suinteresu-

suotų asmenų pozicijos. Šis metodas reikalauja daug finansinių ir žmogiškųjų išteklių bei sudėtingų įrankių. Tačiau per didelis naudojamų kriterijų kiekis gali nustelbti svarbiausių kriterijų reikšmę.

Paprastesniam skaičiavimui, leidžiančiam palyginti atskirų projektų pranašumą pagal jų energetinius, ekonominius ir aplinkosauginius rodiklius, yra 3E metodas. Metodo koncepcija remiasi gyvavimo ciklo analizės principu ir sistemos vertinimu trimis kriterijais – energijos poreikio, aplinkos taršos ir išlaidų. Optimalumas – minimalios išlaidos energijai, minimali aplinkos tarša ir minimalios išlaidos per visą gyvavimo laiką. Kriterijus skaičiuojamas pagal formulę (Čiuprinskas ir Rogoža 2004):

$$3E = e_n \cdot s_e + k_n \cdot s_k + c_n \cdot s_c, \quad (7)$$

čia  $e_n$  – bedimensinė energijos suvartojimo vertė (bedimensinė vertė išreiškia tą patį rezultatą procentais, pvz., nulinė vertė priskiriama minimaliai reikšmei iš visų nagrinėjamų, o vienetą – maksimaliai);  $k_n$  – bedimensinė išlaidų vertė;  $c_n$  – bedimensinė susidariusių emisijų vertė;  $s_e$ ,  $s_k$ ,  $s_c$  – svorio koeficientai, kurių reikšmė priklauso nuo vertintojo tikslų ir prioritetų.

Šis metodas panaudotas rasti optimalų pastato šiluminės izoliacijos storį ir įvertinti centralizuoto šilumos tiekimo sistemų remonto darbų efektyvumą ir nustatyti prevencinės priežiūros tinkamiausią periodiškumą (Čiuprinskas ir Rogoža 2004).

Vienas iš aktualesnių klausimų, naudojant daugiakriterinės analizės metodus, yra kriterijų reikšmingumo nustatymas. Kriterijų reikšmingumui nustatyti taikomi teoriniai (pagal jų dydžių nuostolį, pagal entropiją) ir ekspertiniai metodai (Zavadskas *et al.* 2001). Kriterijų reikšmingumą gali nustatyti ir tiesiogiai sprendimus priimančias asmuo. Kriterijų reikšmingumo nustatymo metodika priklauso nuo sprendžiamo uždavinio apimtys ir taikymo srities. Tačiau diskusija dėl reikšmingumo nustatymo išlieka aktuali (Ding 2008). Kriterijų reikšmingumas turėtų būti vertinamas atskirai konkreitiems projektams ir atspindėti plėtos tikslus.

### 1.1.7. Gyvavimo ciklo analizė

Gyvavimo ciklo analizė (toliau – GCA) naudojama siekiant platesnio požiūrio į pastatų poveikį aplinkai, ekonomikai ir kurti pastatus, atsižvelgiant į darnaus vystimosi koncepciją. Šis metodas išpopuliarėjo XX a. Pradžioje buvo manoma, kad GCA galėtų būti geras įrankis aplinkosauginiams tikslams pasiekti ir galėtų būti naudojama marketingui. Tačiau paaiškėjo, kad tai nėra geriausia GCA taikymo sritis, nors pranešti apie GCA rezultatus svarbu. (Pre Consultants 2008).

Paskutiniaisiais metais gyvavimo ciklo požiūris tapo labai svarbiu aplinkosaugos politikoje. Pavyzdžiui, Europos Sąjungoje taikoma integruota produktų poli-

tika, įgyvendinama ekologinio projektavimo reikalavimų sistema energiją vartojantiems gaminiais, pagal kurią minėtiems gaminiais nustatomi projektavimo reikalavimai, siekiant mažinti gaminių poveikį aplinkai per visą jų gyvavimo ciklą; Kinijoje, Jungtinėse Amerikos Valstijose kuriamos strategijos, skatinančios gyvavimo ciklo mąstymą (European Commission 2010b; Europos Parlamentas ir Taryba 2005; Europos Parlamentas ir Taryba 2006; Fuller and Petersen 1995; Pre Consultants 2008).

GCA tiria aplinkos aspektus ir galimus poveikius aplinkai (išteklių naudojimą, taršos emisijų pasekmes) per visą produkto gyvavimo ciklą nuo žaliavų išgavimo, gaminant, vartojant, apdorojant gyvavimo ciklo pabaigoje, pakartotinai perdurbant ir galutinai šalinant. GCA naudojama produktų kūrime ir tobulinime, strateginiame planavime, viešosios politikos formavime, rinkodaroje ir pan. GCA gali padėti, nustatant galimybes pagerinti produktų aplinkosauginį veiksmingumą įvairiais jų gyvavimo ciklo momentais, informuojant sprendžiančiuosius pramonėje, vyriausybinėse ir nevyriausybinėse organizacijose (pvz., strateginio planavimo, prioritetų nustatymo, produktų ar procesų projektavimo tikslais), parenkant tinkamus aplinkosauginio veiksmingumo rodiklius, taip pat rinkodarai. (LST EN ISO 14040:2006; LST EN ISO 14044:2006).

GCA taikyti sukurti ISO standartai: ISO 14040 „Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara“ ir ISO 14044 „Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai“ (LST EN ISO 14040:2006; LST EN ISO 14044:2006). Vadovaujantis šiais standartais, GCA sudaroma iš 4 pasikartojančių etapų (LST EN ISO 14040:2006):

1) tikslo ir apimties apibrėžimas. Apimtis, įskaitant sistemos ribą ir išsamumo lygį, priklauso nuo tyrimo objekto ir numatomo taikymo;

2) inventorinė analizė – tai tiriama sistemos įvesties ir išvesties duomenų surašymas. Jis apima apibrėžto tyrimo tikslams pasiekti būtinų duomenų surinkimą;

3) poveikio vertinimas, kurio tikslas – pateikti papildomos informacijos, siekiant taip padėti įvertinti produktų inventorinės analizės rezultatus, kad būtų galima geriau suprasti jų svarbą aplinkai;

4) interpretavimas, kai susumuojami ir aptariami inventorinės analizės ir (arba) poveikio vertinimo tarpinių rezultatai, kurie yra pagrindas išvadoms, rekomendacijoms ir sprendimams priimti pagal tikslo ir apimties apibrėžtį.

Sudėtingiausia analizės dalis yra inventorinė analizė, kadangi gauti proceso duomenis, reikalingus atlikti inventorizaciją, yra sudėtinga dėl logistinių ir psichologinių kliūčių (pramonės baimė dalintis duomenimis, atsirandančiais konfidencialumo aspektais) (Moberg 2006). Tiesiogiai naudoti viešai skelbiamus duomenis taip pat sudėtinga, nes jie ne visada būna išsamūs ir tinkami naudoti konkrečiame tyrime.



GCA taikoma pastatų sektoriuje nuo 1990 m. ir yra svarbus įrankis vertinant pastatus (Ortiz *et al.* 2009). GCA plačiai taikoma tyrinėjant pastatus visame pasaulyje. Ji naudojama lyginant ir parenkant pastatų statybines medžiagas, ŠVOK sistemas, analizuojant visą pastatą. Tyrimai skiriasi savo apimtimi, sritimis, kuriomis vertinamas poveikis analizuojamu laikotarpiu. Daugiausia tyrinėjami gyvenamieji pastatai. Atlikti tyrimai nagrinėjant biurų ir švietimo pastatus. Nemažai yra apžvalginių, kritinių GCA taikymo straipsnių.

Visuose straipsniuose pabrėžiama GCA taikymo svarba ir nauda. Statybinių konstrukcijų gyvavimo laikas yra ilgas, o laiko padaryti pakeitimus reikia daug. Todėl pastatų sektoriui turi būti teikiamas prioritetas, kad per pagrįstą laikotarpį galima būtų įgyvendinti darnaus vystymosi uždavinius. Pastatų sektorius, būdamas visuomenės pagrindu, negali būti laikomas autonomiška sistema be ryšio su visuomene. (Erlandsson and Borg 2003).

Pastatus nagrinėti daug sudėtingiau, nes jie yra dideli apimtimi, sudėtingi medžiagomis ir funkcionavimu, dinamiški dėl atskirų komponentų ribotos gyvavimo trukmės ir besikeičiančių vartotojo reikalavimų (Scheuer *et al.* 2003).

Daugelyje straipsnių pabrėžiamas statybos pramonės susirūpinimas gerinti socialinius, ekonominius ir aplinkosauginius darnumo rodiklius. Šiuos aspektus optimizuoti nuo žaliavų išgavimo iki pastatų medžiagų atliekų šalinimo galima taikant GCA. (Ortiz *et al.* 2009) vertinant 2000–2007 m. atliktas studijas, daroma išvada, kad GCA taikymas yra fundamentalus, siekiant darnumo ir tobulinant pastatus bei statybą. Viso pastato GCA nėra statiška – ji kinta priklausomai nuo atskiro pastato, kurių kiekvienas turi savo funkciją ir skirtingas inžinerines charakteristikas. Pvz., statybos technika, architektūrinis stilius, pastato dydis, klimatas, kultūrinis energijos vartojimo elgesys skirtingas įvairiose šalyse. GCA taikymas statybos sektoriuje nėra paprastas ir tiesmukas. Tai yra brangu ir negali būti taikoma be prielaidų ir papildomų modifikacijų. Daugelis GCA orientuojasi į poveikį aplinkai ir energijos sąnaudas. Pasaulinio atšilimo potencialas – didžiausias aplinkosauginis iššūkis, susijęs su statybine aplinka dėl ŠVOK sistemų nuolatinio veikimo. Daug studijų nagrinėja specifines pastato dalis, bet nedaug visą gyvavimo ciklą.

### **1.1.7.1. Statybinių medžiagų gyvavimo ciklo analizės tyrimai**

Siekiant mažinti pastatų poveikį aplinkai ne tik jo naudojimo, bet ir statybos metu, atliekami tyrimai nagrinėjant gyvenamųjų ir administracinių pastatų atskirų statybinių medžiagų ir jų derinių poveikį gyvavimo ciklo sąnaudoms.

Tyrimuose daugiausia akcentuojamos įkūnytosios energijos sąnaudos ir šiltnamio dujų emisijos, taip pat nagrinėjamos bendrosios energijos sąnaudos ir kiti teršalai. Atskiruose tyrimuose įtraukiami ekonominiai ir socialiniai rodikliai (Abeyundara *et al.* 2009; Čiuprinskas 1999b).

Apžvelgtuose tyrimuose lyginti mediniai, betoniniai, plieniniai, mūriniai su molio stogu ir tipiniai cementiniai pastatai. Energetiniu ir aplinkosauginiu požiū-

riu geriausi pastatai yra mediniai (Borjesson and Gustavsson 2000; Gerilla *et al.* 2007; Upton *et al.* 2008). Lyginant betoninio ir plieninio karkaso pastatus, energetiniu požiūriu pranašesni yra plieniniai pastatai (Xing and Jun 2008). Lyginant mūrinius su molio stogu ir tipinius cementinius pastatus – mūriniai pastatai (Utama and Gheewala 2008).

Gyvavimo ciklo analizės metodas naudojamas pastato statybinių medžiagų parinkimui. Pagal energetinius, aplinkosauginius ir ekonominius rodiklius parinktas optimalus pastato šilumos izoliacijos storis (Čiuprinskas 1999b). Naudojant aplinkosauginių, ekonominių ir socialinių rodiklių sistemą sukurta matrica, skirta parinkti darnias medžiagas mokyklų pastatų statybinėms konstrukcijoms (pamatai, stogas, lubos, durys, langai, grindys) (Abeyundara *et al.* 2009).

(Thormark 2006) nagrinėta, kokią įtaką pasirinktos statybinės medžiagos gali daryti įkūnytosi energijos sąnaudoms ir pakartotino panaudojimo potencialui. Remiantis atliktomis studijomis, 50 metų laikotarpyje naudojamoji energija sudaro 85–95 % viso pastato energijos poreikio. Naudojamosios energijos sąnaudos gali būti žymiai sumažintos, tačiau mažai energijos naudojančiuose pastatuose įkūnytoji energija gali sudaryti 40–60 % energijos poreikio. Pirminiame tyrime nagrinėtame pastato variante per 50 metų laikotarpį įkūnytoji energija sudarė 40 % viso energijos poreikio. Keičiant medžiagas, įkūnytoji energija galėjo būti sumažinta 17 % arba padidinta 6 %.

(Kellenberger and Althaus 2009) atlikta detali skirtingų pastato komponentų (medinė siena, betoninis stogas) GCA, siekiant įvertinti, kiek galima supaprastinti atliekamus GCA tyrimus. Nustatyta, kad transportavimas ir šalutinės medžiagos yra aktualios, o statybos procesas ir pjaustymo atliekos gali būti nepaisomos. Pastato statybos procesas, įrangos ir darbininkų transportavimas ir laikinas šildymas sudaro mažiau nei 8 % neatsinaujinančios energijos poreikio.

Statybinių medžiagų parinkimas yra aktualus klausimas, kai siekiama mažinti pastatų poveikį aplinkai tiek energijos suvartojimo, tiek teršalų emisijų požiūriu. Teisingas statybinių medžiagų ir jų derinių parinkimas ypač aktualus tampa šiuo metu, kai aiškėja perėjimo prie labai mažai energijos vartojančių pastatų statybos tendencija. Šiuose pastatuose įkūnytosi energijos sąnaudos gali sudaryti daugiau nei pusę bendrųjų pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudų. Todėl didėja santykinis įkūnytosi energijos taupymo potencialas.

### **1.1.7.2. Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų gyvavimo ciklo analizės tyrimai**

Per pastatų gyvavimo laikotarpį didžioji dalis energijos suvartojama pastatų mikroklimatą ir oro kokybės parametrus palaikančiose sistemose – šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo. Todėl GCA taikymas šioms sistemoms yra ypač aktualus.

Nagrinėjamos skirtingos pastatų energijos tiekimo sistemos (mikrokogeneracija, elektra, centralizuotas šilumos tiekimas, gamtinės dujos) (Alanne and Sa-

ari 2008). Tarpusavyje lyginamos pastato šildymo sistemos, pvz., radiatorinė, grindinė ir ventiliatoriniai konvektoriai (Prek 2004), karšto vandens sistema su mechaniniu vėdinimu ir priverstinė orinio šildymo sistema (Yang *et al.* 2008). Taip pat lyginami skirtingi šilumos tiekimo ir šildymo sistemų tipai, pvz., standartinis ketinis katilas su plieniniais radiatoriais, kondensacinis katilas su grindiniu šildymu ir kondensacinis katilas su plieniniais radiatoriais (Sasnauskaitė *et al.* 2007) ar šilto oro krosnis ir oro kondicionierius, karšto vandens katilas ir oro kondicionierius, oro-oro šilumos siurblys (Shah *et al.* 2008). Atskirai nagrinėjami ir lyginami vėdinimo įrenginiai (Nyman and Simonson 2005).

Kadangi šios sistemos daro didžiausią poveikį energijos sąnaudoms ir šiltnamio dujų išmetimams, dominuoja šių veiksnų vertinimas, tačiau įtraukiami ir tokie veiksniai kaip rūgštėjimas, ozono gamyba. Taip pat įtraukiami ir ekonominiai vertinimai (Yang *et al.* 2008; Sasnauskaitė *et al.* 2007).

Tyrimai skiriasi pagal nagrinėjamą laikotarpį ir tyrimų apimtį. Tačiau apibendrinant rezultatus galima teigti, kad svarbu atkreipti dėmesį į šilumogražos įrenginių naudojimą, šildymo sistemų atveju, naudojant elektros energiją, didelę įtaką daro elektros energijos gamybai naudojamas kuras, didesnę naudą energetiniu ir aplinkosauginiu požiūriu turi sistemos su žemesnės temperatūros šilumnešiais.

Pastato šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų įkūnytosios energijos sąnaudos ir šiltnamio dujų emisijos sudaro nedidelę dalį bendrosiose pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudose, tačiau šios sistemos daro didelį poveikį pastato naudojimo metu. Todėl prieš priimant sprendimus dėl konkrečių sistemų įrengimo pastate ir siekiant minimizuoti pastato gyvavimo ciklo sąnaudas, tikslinga atlikti skirtingų sistemų palyginimą gyvavimo ciklo atžvilgiu.

### 1.1.7.3. Viso pastato gyvavimo ciklo analizės tyrimai

Sudėtingesni tyrimai atliekami, vertinant viso pastato gyvavimo ciklo poveikį aplinkai.

Vertinamas įvairių tipų pastatų gyvavimo ciklo poveikis energijos sąnaudoms (Kofoworola and Gheewala 2009; Martinaitis 2001; Scheuer *et al.* 2003), aplinkai ir išlaidoms (Baouendi *et al.* 2005; Verbeeck and Hens 2010). Taip pat įtraukiami papildomi kriterijai, tokie kaip diskomforto rizika, sergamumas (Assefa *et al.* 2007).

Nagrinėjami skirtingų pastatų atitvarų šiluminių charakteristikų gerinimo variantai, atsižvelgiant į energijos sąnaudas, emisijas (Arena and De Rosa 2003) ir išlaidas (Baouendi *et al.* 2005; Verbeeck and Hens 2010). Lyginami skirtingų statybinių medžiagų pastatai energetiniu ir aplinkosauginiu požiūriu (Peuportier 2001).

Taikant gyvavimo ciklo analizę vertintas pastatų poveikis regioniniame kontekste t. y. siejant su infrastruktūros (keliai, automobilių stovėjimo aikštelės) plėtra (Li 2006), vertinant pakartotino medžiagų panaudojimo potencialą energe-

tiniu (Thormark 2002), aplinkosauginiu ir ekonominiu (Blengini 2009) požiūriais.

Lyginti atskiruose tyrimuose nagrinėtų pastatų gyvavimo ciklo energijos sąnaudas ir emisijas sudėtinga dėl skirtingų geografinių ir klimatinių sąlygų, lemiančių energijos sąnaudas, tyrimo apimčių ir prielaidų. Kaip pavyzdžius, Lietuvai pagal klimatą artimesnius, galima būtų pateikti: Kanados gyvenamojo namo gyvavimo ciklo metinės pirminės energijos sąnaudos – 170–190 kWh/m<sup>2</sup> (Baouendi *et al.* 2005), JAV Mičigano valstijos universiteto pastato – 160 kWh/m<sup>2</sup> (Scheuer *et al.* 2003), Belgijos skirtingų tipų pastatų – apie 100–210 kWh/m<sup>2</sup> (Verbeeck and Hens 2010), Švedijos mažai energijos naudojančio pastato – 85 kWh/m<sup>2</sup> (Thormark 2002), Belgijos ypač mažai energijos naudojančių pastatų – apie 30–40 kWh/m<sup>2</sup> (Verbeeck and Hens 2010), nepašildintų Belgijos pastatų – 190–935 kWh/m<sup>2</sup> (Verbeeck and Hens 2010), Lietuvos daugiabučių – 560–960 kWh/m<sup>2</sup> (Martinaitis 2001).

Tyrimai skiriasi pagal nagrinėjamą laikotarpį ir tyrimų apimtį. Tyrimuose dominuoja gyvenamųjų pastatų analizavimas. Ko gero, dėl to, kad šie pastatai inžinieriniu požiūriu yra paprastesni.

Remiantis apžvelgtais tyrimais, pastato naudojimo gyvavimo ciklo fazėje sunaudojama 40–94 % pirminės energijos, priklausomai nuo pastato charakteristikų ir pasirinkto pastato gyvavimo ciklo trukmės. Energija, reikalinga pastato eksploatacijai, gali būti žymiai sumažinta, apšildinant pastato atitvaras, naudojant ekologiškesnes, perdirbtas medžiagas, diegiant efektyvias technologijas. Tačiau tyrimai rodo, kad bendras energijos kiekis, reikalingas mažai energijos vartojančiam pastatui, gali būti didesnis nei standartiniam pastatui, nes daug energijos reikia pastatui sukurti. Energijos kiekis, reikalingas mažai energijos vartojančiam pastatui sukurti, gali sudaryti 40–60 % energijos suvartojimo per pastato gyvavimo ciklą (Thormark 2002).

Nagrinėtuose tyrimuose pastatų energijos vartojimo efektyvumo vertinimas gyvavimo trukmės perspektyvoje yra statinis, t. y. nevertinama, kad po pastato modernizavimo jo energijos vartojimo efektyvumas gali padidėti. Apskritai pastato modernizavimas tyrimuose vertinamas ne visada. Kai vertinamas – tik kaip pakeitimas esamų elementų arba tų pačių pastatų lyginimas skirtingo efektyvumo lygmenyje. Taip neišvertinama neišvengiama technologinė pažanga ir reikalavimų pastatų energiniam naudingumui griežtėjimo tendencijos. Taigi nepakankamai įvertinama pastato modernizavimo svarba ir jo efektas.

## 1.2. Pastatų modeliavimo priemonės ir modeliai

Pastatų projektavimui, vertinimui, sprendimų priėmimui palengvinti kuriamos įvairiais metodais pagrįstos modeliavimo priemonės ir modeliai. Nuo papras-

čiausių patarimų sprendimus priimantiems asmenims, auditais ir investicijų grąžos įvertinimu paremtų įrankių iki pastatų aplinkosauginio naudingumo reitingavimo, sudėtingų daugiakriterine analize, reikalaujančia įvairių metodų taikymo atskiriems kriterijams nustatyti, paremtų modelių pastatams ir jų modifikacijoms vertinti ir analizuoti. Daugumoje modelių naudojama gyvavimo ciklo analizė.

### 1.2.1. Pastatų reitingavimo metodai ir modeliai

1990 m. Jungtinėje Karalystėje sukurtas pirmasis aplinkosauginis pastatų reitingavimo metodas BREEAM (*angl. building research establishment environmental assessment method*), išliekantis vienu plačiausiai naudojamų metodų. Tai kredito suteikimo sistema biurų, prekybos centrų, pramonės pastatams, atsižvelgiant į jų aplinkosauginį naudingumą. Kanada, Australija, Kinija ir kitos šalys panaudojo šią sistemą kurdamos savuosius modelius. (BREEAM 2010; Ding 2008).

Antroji pagal populiarumą – 1998 m. JAV sukurta nacionalinė savanoriška Žaliųjų pastatų vertinimo sistema (*angl. Green Building Rating System*) LEED (*angl. Leadership in Energy and Environmental Design*), kuri standartizuoja „darnių“ pastatų (*angl. sustainable buildings*) vertinimo sistemą (Ries and Bilec 2006; U. S. Green Building Council 2010). LEED, yra reitingavimo sistema, paremta kreditais ir taškais. Kiekvienu kreditu sistema įvertina pastato naudingumą ir duoda jam taškus, jeigu pasiekiami reikalavimai tokiose srityse kaip „darnūs“ sklypai, vidaus aplinkos kokybė, medžiagos ir ištekliai. LEED buvo pritaikytas Brazilijoje, Meksikoje, Kolumbijoje, Jordanijoje (Ali and Nsairat 2009). Siekiant sprendimų priėmėjams sudaryti galimybę pasirinkti tinkamas medžiagas, pasiūlytas integruotas optimizavimo modelis inkorporuojantis projektavimo ir biudžeto apribojimus, maksimizuojant kreditų skaičių LEED sistemoje (Castro-Lacouture *et. al.* 2009).

(Ding 2008) pateiktas daugiamatis (*angl. multi-dimensional*) sprendimų modelis, skirtas išmatuoti pastatų darnumą. Modelyje naudojamas darnumo indeksas, kuris gali būti naudojamas ne tik variantų palyginimui, bet ir nustatyti rodiklius atskirų projektų palyginimui. Indeksas turi keturis pagrindinius kriterijus – padidinti gerovę (investicijų grąža), padidinti naudą (išorinė nauda), minimizuoti išteklių sąnaudas (gyvavimo ciklo), minimizuoti poveikį (aplinkosauga ir paveldas).

(Chen *et. al.* 2006) pateiktas daugiakriterinis sprendimų priėmimo modelis IBAssessor, skirtas įvertinti išmaniųjų (*angl. intelligent*) pastatų gyvavimo laiko energijos vartojimo efektyvumą, naudojant analitinio tinklo proceso metodą. Darnus pastatų projektavimas, statyba ir naudojimas reikalauja naujovių inžinerinėse ir valdymo srityse visuose pastato gyvavimo ciklo tarpsniuose. Išmanusis pastatas sudaro produktyvią ir ekonomiškai efektyvią aplinką, optimizuojant tris

pagrindinius elementus – žmones (savininkai, lankytojai, gyventojai), gaminius (medžiagos, struktūros, įranga, paslaugos, infrastruktūra) ir procesus (automatika, kontrolė, sistema, priežiūra, naudingumo vertinimas) bei jų tarpusavio sąveiką. Šiuose pastatuose naudojama integruota ir išmani sistema, teikianti praturtinančią patirtį pastato savininkams, turto valdytojams, gyventojams ir lankytojams, skirtą jų tikslams pasiekti. Šie tikslai apima aukštą energijos vartojimo efektyvumą, aplinkai draugišką statybinę aplinką su pakankama sauga, saugumu, gerove ir patogumu, mažesnes gyvavimo ciklo išlaidas, ilgalaikį lankstumą ir tinkamumą pardavimui, kas veda prie atitinkančių aukščiausias socialines, aplinkosaugines ir ekonomines vertes pastatų. Dabartinių reitingavimo modelių trūkumas yra tai, kad jie skiria mažiau dėmesio funkciniams skirtingų tipų pastatų pokyčiams, todėl vertinimo rezultatus sunku lyginti.

### 1.2.2. Pastatų projektavimui taikomos modeliavimo priemonės ir modeliai

Įvairios kompiuterinės programos buvo sukurtos gyvavimo ciklo analizės taikymui pastatuose, skirtos padėti architektams ir pastatų inžinieriams įvertinti gyvavimo ciklo energijos sąnaudas, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas ir projekto išlaidas. *Energy and emission estimator* EEE yra programa, kurią gali naudoti inžinieriai ir architektai nustatyti gyvavimo ciklo energijos sąnaudas, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas ir projekto išlaidas, susijusias su pastato naudojimu ir išorinių atitvarų konstrukcija. BEES yra GCA modeliavimo įrankis, naudojamas pastato medžiagų, komponentų ir procesų parinkimui. Athena yra GCA projektavimo įrankis, naudojamas įvertinti viso pastato poveikį aplinkai. EQUER ir LICHEE yra energetinės analizės programos, įvertinančios pasirinktos projekto alternatyvos poveikį aplinkai. (Baouendi *et al.* 2005; Peuportier 2001).

(Pushkar *et al.* 2005) pateikta metodika, skirta projektuoti aplinkosauginiu požiūriu optimalius pastatus. Tai trijų žingsnių metodika. Pirmajame žingsnyje atliekamas projekto kintamųjų grupavimas (gamyba ir statyba, naudojimas, priežiūra ir nugriovimas). Antrajame žingsnyje atliekamas optimizavimas grupės viduje – nustatomos tinkamiausios metodikos, reikalingos minimizuoti kiekvienos grupės bendrą poveikį aplinkai. Trečiajame žingsnyje į bendrą pastato projektavimo procesą integruojami daliniai sprendimai, kai siekiama bendro optimalaus sprendimo.

(Abeyundara *et al.* 2009) pateikta matrica, skirta parinkti darnias pastatų statybinių konstrukcijų (pamatai, stogas, lubos, durys, langai, grindys) medžiagas, atsižvelgiant į aplinkosauginius, ekonominius ir socialinius medžiagų gyvavimo ciklo vertinimus. Poveikis vertinamas, skaičiuojant įkūnytąją energiją ir poveikį aplinkai (klimato atšilimas, rūgštėjimas, eutrofikacija) ir atsižvelgiant į

socialinius veiksnius – šiluminis komfortas, interjeras (estetika), statybos greitumas, stiprumas ir ilgaamžiškumas.

(Čiuprinskas 1999a) sudarytas vienbučių namų gyvavimo ciklo energijos sąnaudų ir su jomis susijusių aplinkos taršos bei ekonominių išlaidų modelis. Sukurtoje programoje pritaikytas optimizavimo algoritmas leidžia nustatyti optimalų šilumos izoliacijos kiekį bei jos pasiskirstymą pastato atitvarose, atsižvelgiant į gyvavimo ciklo energijos sąnaudas, aplinkos taršą bei ekonomines išlaidas.

(Verbeeck and Hens 2010) pasiūlytas pastato gyvavimo ciklo inventoriaus modelis, skirtas optimizuoti ypač mažai energijos vartojančius gyvenamuosius pastatus įkūnytosioms energijos, emisijų (klimato kaitos potencialas) ir išlaidų atžvilgiu. Naudojant modelį, analizuojami ir lyginami skirtingi pastatų apšiltinimo atvejai.

(Peuportier 2001) pateiktas GCA modelis pastatui. Modelis pritaikytas lyginant skirtingų konstrukcijų gyvenamuosius pastatus.

(Baouendi *et al.* 2005) pasiūlė Energijos ir emisijų nustatymo prototipinį įrankį, kuriuo galima nustatyti pastato energijos sąnaudas, šiltnamio dujų emisijas ir susijusias išlaidas.

(Wong and Li 2006) pateiktas konceptualus modelis, skirtas parinkti tinkamus išmaniųjų pastatų komponentų derinius. Paskutiniaisiais dešimtmečiais spartus informacinių technologijų vystymasis ir supratimas apie pastatų suvaržymus paskatino pažangių technologijų plėtrą ir padidino išmaniųjų pastatų poreikį. Šių pastatų kūrimas yra daug sudėtingesnis nei tradicinių. Todėl šie pastatai yra ir brangesni. Be to, yra moralinio nusidėvėjimo rizika. Jei išmaniojo pastato technologijos morališkai pasensta, pastatas gali prarasti nuomininkus. Patirties ir žinių trūkumas kelia riziką tokių pastatų projektavimui ir statybai. Todėl projektavimo stadijoje labai svarbus yra tinkamas pastato sistemų ir komponentų parinkimas. Įvertinta, kad svarbiausios sistemos yra pastato automatika, informacijos ir komunikacijos tinklo sistemos, gaisrinės apsaugos, ŠVOK, saugos ir apsaugos sistemos. Fundamentalios sėkmės pagrindas yra informacijos ir komunikacijos tinklo sistema.

### 1.2.3. Pastatų poveikio vertinimo modeliai

(Assefa *et al.* 2007) pasiūlytas EcoEffect metodas, skirtas įvertinti išorinius ir vidinius pastatų poveikius. Išorinis poveikis dėl gamybos, transportavimo, energijos gamybos vertinamas naudojant GCA. Vidinis poveikis apima diskomforto rizikos, sergamumo dėl išorinės ir vidinės aplinkos vertinimą. Ši rizika vertinama remiantis klausimynais, matavimais ir patikra, naudojant daugiausia socialinių mokslų metodus.

(Martinaitis 2001) pateiktas gyvavimo ciklo termodinaminės analizės modelis. Darbe pasirinktas tyrimo metodas paremtas sisteminiu požiūriu, kai sisteminė analizė vykdoma derinant tarpusavyje eksergijos termodinaminį ir gyvavimo ciklo vertės ekonominį požiūrius.

#### **1.2.4. Pastatų atnaujinimo planavimo modeliavimo priemonės ir modeliai**

Statybos sektorius buvo apkaltintas aplinkosauginėmis problemomis dėl besaikio išteklių naudojimo ir aplinkos taršos (Ding 2008). Darnumas statybos sektoriuje tampa labai svarbiu dalyku (Anastaselos *et al.* 2009; Doukas *et al.* 2009; Preiser and Vischer 2005; Rey 2004; Smid and Nieboer 2008). Tačiau praktikoje dar vis pagrindiniu statybos ir nekilnojamojo turto pramonės rūpesčiu lieka laiko kaina, o naujos technologijos, kurios galėtų būti taikomos programavime, projektavime ir statyboje, dažnai laikomos per brangios tipiniams pastatų projektams. Todėl pasiūlymai į pastato priežiūrą įtraukti tokią papildomą informaciją, kaip naudotojų atsiliepimai ar darnumo rekomendacijos, paprastai yra atmetami. (Preiser and Vischer 2005).

Tačiau siekiant didinti pastatų ir statybos pramonės darnumą, o taip pat dėl pastatų ilgaamžiškumo ir funkcionalumo svarbi yra jų efektyvi priežiūra, integruojanti ne tik technologinius, bet ir ekologinius bei socialinius veiksnius. Holistinis pastato gyvavimo ciklo požiūris turi būti taikomas kuo anksčiau, t. y. kai su pastatu susiję sprendimai tampa organizacijos bendrosios strategijos dalimi (Preiser and Vischer 2005). Priežiūros planavimas turėtų prasidėti dar pastato projektavimo stadijoje ir tęstis per visą pastato gyvavimo laikotarpį (Mills 1994). Efektyvi pastato priežiūra ir energijos vadyba reikalauja įrankių ir metodų strateginiam sprendimų priėmimo procesui (Doukas *et al.* 2009; Mendes Silva and Falorca 2009; Rey 2004).

Profesionalūs pastatų savininkai gali vaidinti svarbų vaidmenį taupant energiją, bet jų žinios apie energijos taupymo potencialą jų valdomuose gyvenamuosiuose pastatuose dažnai yra ribotos. Siekiant efektyviai didinti pastato energinį naudingumą, turto valdytojai galėtų įtraukti energijos taupymo klausimą į jų turto valdymą, tuo būdu integruojant energijos taupymo klausimus į sprendimų priėmimo procesą nuo strategijų kūrimo iki įgyvendinimo lygmens. (Smid and Nieboer 2008). (Smid and Nieboer 2008) pateiktas metodas yra skirtas energijos taupymo priemonių įgyvendinimui, siekiant integruoti energijos taupymą į pastatų priežiūros ir atnaujinimo praktiką.

Esamų, ne mažiau kaip 20 metų senumo daugiabučių gyvenamųjų pastatų atnaujinimo poreikiui vertinti sukurtas EPIQR įrankis (Balaras *et al.* 2000). Šio įrankio paskirtis – nustatyti pastato atnaujinimo poreikį ir galimas pastato atnaujinimo priemones, siekiant sudaryti pastate geresnes vidaus sąlygas ir sumažinti



energijos sąnaudas. Šis įrankis susideda iš 6 dalių – informacijos apie pastatą surinkimo, gyventojų skundų surinkimo, pastato būklės nustatymo, pastato atnaujinimo scenarijų sudarymo, atsižvelgiant į išlaidas, sutaupyta energijos kieki ir vidaus aplinkos pagerinimą, grafinio informacijos pateikimo ir ataskaitos parengimo. (Bluyssen 2000).

Pagal EPIQR įrankyje naudojamą pastato elementų klasifikavimo sistemą, sukurtas MEDIC metodas (*pranc. Méthode d'Évaluation de scénarios de Dégradation probables d'Investissements Correspondants*), skirtas pastato nusidėvimui prognozuoti ir pastato atnaujinimo investicijų dydžiui nustatyti (Flourentzou 2000).

Siekiant padėti švietimo pastatų sprendimų priėmėjams projektavimo stadijoje, sukurtas įrankis Energy Concept Adviser (Erhorn *et al.* 2008). Daugelyje šalių švietimo pastatai (vaikų darželiai, mokyklos, universitetai) turi daug projektavimo, naudojimo ir priežiūros panašumų. Du ypatingi panašumai – didelis energijos suvartojimas ir poreikis atnaujinti šiuos pastatus. Studijos parodė, kad atnaujinant šiuos pastatus retai įgyvendinamos energijos taupymo priemonės, nes sprendimų priėmėjams trūksta žinių apie investicijas ir potencialių energijos taupymo priemonių efektyvumą. Šis įrankis padeda identifikuoti ir apskaičiuoti potencialius energijos sutaupymus, pateikia patarimus apie energetines sistemas.

Biuro pastato atnaujinimo sprendimams priimti sukurtas TOBUS sprendimų priėmimo įrankis (Caccavelli and Gugerli 2002). Struktūrinė įvertinimo schema leidžia architektams ir inžinieriams tuo pačiu metu valdyti pastato atnaujinimo procesą, atsižvelgiant į fizinį ir moralinį pastato sistemų nusidėvimą, energijos suvartojimą ir vidaus aplinkos kokybę. Programinė įranga gali būti panaudojama nustatyti tinkamiausią ir ekonomiškai efektyviausią veiksmą, išplėtoti atnaujinimo scenarijus ir suskaičiuoti investicijas ankstyvosiose pastato atnaujinimo stadijose.

Viešbučių pastatams, kurie yra vieni iš didžiausių energijos vartotojų paslaugų sektoriuje ir kurių pastato atnaujinimas yra susijęs su viešbučių konkurencingumu, sukurta XENIOS metodika ir programa. Pagal šią metodiką, naudotojas gali atlikti preliminarų pastato energijos vartojimo auditą ir atlikti pirmuosius ekonomiškai efektyvių pastato atnaujinimo priemonių vertinimus. (Dascalaki and Balaras 2004).

(Doukas *et al.* 2009) pateikiamas Pažangus sprendimų priėmimo modelis, skirtas identifikuoti intervencijos poreikį ir vertinti energijos taupymo priemones tipiniuose esamuose pastatuose, remiantis sisteminiu pastatų valdymo sistemos kaupiamų duomenų (apkrovos, poreikis, vartotojo reikalavimai) inkorporavimu. Modelį sudaro pasiūlymų (atnaujinimo priemonių) duomenų bazė, sprendimų priėmimo grupė (pasiūlymų vertinimas), patirtis (pastatų valdymo sistemos duomenys), pasiūlymų sąrašas.

Siekiant sukurti tikslų metodą planuoti įvairius pastatų priežiūros veiksmus, pateiktas modelis, skirtas mokyklos pastato priežiūrai, kurioje įrengta sudėtinė išorės termoizoliacinė sistema (*angl. External Thermal Insulation Composite System*) (Mendes Silva and Falorca 2009). Modelis parengtas naudojant įprastus pastato priežiūros metodus. Jis gali būti panaudotas kaip algoritmas sukurti informacinėms sistemoms, leidžiančioms įgyti pastato komponentų gyvavimo ciklo eksploatacinių savybių duomenis. Modelis leidžia identifikuoti ir charakterizuoti visus pastato komponentus renkant, kaupiant ir apdorojant svarbią informaciją.

Daugėjant pastatų atnaujinimo projektų skaičiui ir vis svarbesniu tampant darnumo kriterijai, architektai ir inžinieriai ieško globalaus esamų pastatų optimizavimo, todėl reikia lyginti daug skirtingų pastato atnaujinimo variantų. Siekiant struktūrizuoti šį procesą, biuro pastatų atnaujinimo strategijoms pasiūlytas daugiakriterinis vertinimo metodas. Pastatų atnaujinimo strategijos gali būti stabilizavimo (iš esmės nekeičiančios pastato išvaizdos), pakeitimo (atliekami pakeitimai, keičiantys pastatą iš esmės), dvigubo fasado (dalinis esamo fasado atnaujinimas ir stiklinės sienos įrengimas). Pasiūlytame metode naudojama daugiakriterinė analizė – vertinami aplinkosauginiai, sociokultūriniai ir ekonominiai kriterijai. (Rey 2004).

Siekiant didinti pastato naudingumą ir įtraukti darnumo klausimus į pastato projektavimą ir valdymą kiekviename pastato gyvavimo ciklo tarpsnyje, pasiūlytas Pastato naudingumo vertinimo įrankis (*angl. Building performance evaluation (BPE)*) (Preiser and Vischer 2005).

Pastatų atnaujinimas yra puiki galimybė ne tik sumažinti energijos suvartojimą pastate, bet ir įvertinti kitus darnaus pastatų atnaujinimo principus – žmonių sveikatą, aplinkosaugą, racionalų išteklių naudojimą, informacijos apie darnų atnaujinimą sklaidą ir suinteresuotų asmenų grupių supratimo didinimą. (Mickaitytė *et al.* 2008) pateiktas darnaus pastatų atnaujinimo modelis, kuriame pagrindiniai veiksniai darantys įtaką modelio efektyvumui – makro ir mikro aplinka, pastatų atnaujinimo sprendimų priėmėjų grupės. Darnus atnaujinimas turi apimti šiuos aspektus – socialinį (bendradarbiavimas, sąmoningumo ugdymas, švietimas, socialinė sauga ir t. t.), ekologinį (ekologiškos statybinės medžiagos, energija, atliekos, triukšmas, žemės naudojimas, sveikata, oro kokybė ir t. t.), ekonomiką (kaina, paslaugos kokybė, sutaupyta energijos kiekis), kultūrinį (kultūrinis paveldas, elgesio normos), architektūrinį (komfortas, estetika, dekoracijos, aplinka, pastato paskirtį atitinkantis eksterjeras ir t. t.), techninį (inova tyvi ŠVOK, energijos taupymo technologijos). Šie aspektai yra glaudžiai susiję, papildantys vienas kitą ir darantys įtaką bendram pastato atnaujinimo efektyvumui. (Mickaitytė *et al.* 2008).

(Anastaselos *et al.* 2009) pristatomas įrankis ekonominiams, aplinkosauginiams ir socialiniams pastatų šiltinimo spendimams vertinti. Pagrindinis šio

įrankio taikomas metodas – GCA. Vertinamas tik šilumos izoliacijos įrengimas ir pastato naudojimo tarpsnis. Vartotojas gali pasirinkti ir įvertinti pastato medžiagas, įvertinti jų poveikį aplinkai, energijos vartojimo efektyvumą ir statybos išlaidas.

### 1.3. Pastato nusidėvėjimo vertinimas pastatų ūkio valdymo ir nekilnojamojo turto teorijose

Pastatas atnaujinamas tada, kai jis pasiekia tam tikrą nusidėvėjimo lygį ir nebe galima užtikrinti jo atitikties statiniams keliamiems reikalavimams.

Klasikinėje pastatų ūkio valdymo teorijoje išskiriamos dvi pastato nusidėvėjimo formos – fizinis ir moralinis (Бойко *et al.* 1993):

- fizinis nusidėvėjimas – tai pirminių konstrukcijos savybių praradimas. Fiziškai pastatas nusidėvėjęs yra tada, kai sumažėjęs jo atsparumas, pastovumas, padidėjęs šilumos laidumas, garso pralaidumas, pablogėjusios hidroizoliacinės savybės. Fiziškai pastatas nusidėvi dėl gamtinių veiksnių poveikio ir pastate vykstančių procesų;

- moralinis nusidėvėjimas (senėjimas) – pastato vertės praradimas dėl technologinės pažangos, kintančių architektūrinių tendencijų, gerovės ir komforto poreikių kitimo ir pan. Moralinio nusidėvėjimo, ne taip kaip fizinio, negalima sustabdyti.

Laikui bėgant dėl fizinio ir moralinio nusidėvėjimo faktinė pastato vertė mažėja. Ši pastato vertė gali būti nustatyta kaip skirtumas tarp pirminės jo vertės ir išlaidų pastato nusidėvėjimo padariniams mažinti (Бойко *et al.* 1993).

Nekilnojamojo turto vertinime nusidėvėjimas skaičiuojamas sudedant fizinio, funkcinio ir ekonominio nusidėvėjimo vertes (Lietuvos Respublikos Vyriausybė 1996):

- fizinis nusidėvėjimas parodo vertinamo objekto fizinius pakitimus per tam tikrą laikotarpį ir (arba) per funkcijų atlikimo skaičių (naudojimo intensyvumą). Remiantis patirtimi, specialiosiomis žiniomis, metodais ir normatyvais, ištiriamas vertinamasis objektas, nustatomas jo elementų senumas arba naudojimo intensyvumas, o tuomet - ir kiekvieno vertinamo objekto elemento nusidėvėjimo laipsnis (procentas). Nusidėvėjimo laipsnį (procentą) padauginus iš nustatytos vertinamo objekto elemento atstatomosios vertės, sužinoma fizinio nusidėvėjimo vertė. Tokie skaičiavimai atliekami kiekvienam elementui ir po to sumuojami;

- funkcinis nusidėvėjimas – tai vertinamo objekto funkcinį trūkumą atsiradimas per tam tikrą laikotarpį, rinkoje pasikeitus technologijai, madai ar skoniui, dėl demografinių ar socialinių ir kitų veiksnių. Šio nusidėvėjimo vertė išreiškiama skirtumu tarp potencialios vertinamo objekto vertės (arba

eksploatavimo kaštų) su pašalintu funkciniu nusidėvėjimu ir šio objekto vertės (arba eksploatavimo kaštų) be pašalinio funkcinio nusidėvėjimo;

– ekonominis nusidėvėjimas atsiranda dėl veiksnių, esančių už vertinamo objekto ribų. Tai gali būti šalia vertinamo objekto esantys kiti objektai, keliantys triukšmą, skleidžiantys nemalonius kvapus, teršiantys atmosferą, išoriškai nepatrauklūs, sudarantys kitų nepatogumų.

Optimalus pastato ilgaamžiškumas suprantamas kaip pastato egzistavimo laikas, per kurį ekonomiškai naudinga jį atstatinėti (remontuoti, rekonstruoti, modernizuoti) (Boйко *et al.* 1993).

Nėra griežto reglamentavimo dėl pastatų modernizavimo periodiškumo. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija yra paskelbusi rekomendacijas dėl statinių ir jų dalių gyvavimo skaičiuojamosios trukmės įvertinimo (Aplinkos ministerija ir VŠĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002). Šiose rekomendacijose statinių efektyvaus naudojimo minimali trukmė metais iki rekonstravimo priklauso nuo statinių tipo ir vidaus aplinkos režimo ir sudaro nuo 8–12 metų pastatams su mūro, natūralaus akmens ir pan. sienomis, medinėmis perdangomis ir pan., esantiems nepalankioje naudojimo aplinkoje (padidinta drėgmė, agresyvi oro aplinka, dideli temperatūros svyravimai), iki 20–25 metų pastatams su gelžbetonio plokščių (blokų), mūro ar natūralaus akmens ir pan. sienomis, gelžbetoninėmis perdangomis, esantiems palankioje naudojimo aplinkoje su pastoviu temperatūros ir drėgmės režimu.

(International Energy Agency 2008) nurodoma, kad gyvenamųjų pastatų modernizavimo periodiškumas yra 30–40 metų. (Rey 2004) teigiama, jog biuro pastato atnaujinimo ciklas – 25–30 metų.

Taigi nekilnojamojo turto teorijoje pastato nusidėvėjimas vertinamas remiantis jo fizinio nusidėvėjimo ir išlaidų pastato fizinių savybių atstatymui kriterijais. Išskirtinai ekonominiu požiūriu toks požiūris yra teisingas, tačiau tai ir pagrindinė priežastis, kodėl pastatų modernizavimas vyksta gana lėtai. Pagrindinė spartaus modernizavimo kliūtis – finansinių išteklių stoka. Šiuo metu pastatų modernizavimo politika apsiriboja finansinių išteklių paieška, tačiau nėra valstybinio reglamentavimo, kada ir koku mastu pastatai turėtų būti modernizuojami.

Tačiau visgi pripažįstama, kad vis daugiau dėmesio reikia skirti pastatų priežiūrai. Tinkama pastato priežiūra ne tik sumažina pastato eksploatacines išlaidas. Laikui bėgant keičiasi visuomenės gyvenimo stilius ir komforto poreikis, keliami reikalavimai pastatų vidaus oro kokybei, saugumui, energijos vartojimo efektyvumui, todėl esminius pastato pakeitimus gali reikėti atlikti anksčiau nei pastatas ar jo elementai visiškai nusidėvi (Ding 2008; International Energy Agency 2008; Rey 2004). Parenkant ekonomiškai efektyvias ir tinkamas pastatų priežiūros strategijas jau pastato projektavimo stadijoje, galima užtikrinti racionalią lėšų paskirstymą, užtikrinti tinkamas eksploatacines savybes per visą

pastato gyvavimo ciklą, tinkamai atsižvelgti į naudotojų poreikius (Flores-Colen and De Brito 2010; Preiser and Vischer 2005).

## 1.4. Pirmojo skyriaus apibendrinimas ir disertacijos uždavinių formulavimas

Vertinant pastatų modernizavimo poreikį ir apimtį, praktikoje dominuoja ekonominiai metodai ir pastato fizinio nusidėvėjimo mažinimo požiūris. Moksliniuose tyrimuose naudojami kompleksiniai metodai, tokie kaip gyvavimo ciklo analizė ar daugiakriterinė analizė, kuriais siekiama įvertinti visus galimus pastato poveikius jį supančiai aplinkai ir jo modernizavimo pasekmes. Siekiant darnaus vystymosi tikslų, pabrėžiamas pažangių pastato naudojimo ir priežiūros modelių poreikis. Tuo tikslu, integruojant skirtingus metodus, kuriamos įvairios pastatų modeliavimo priemonės ir modeliai. Siekiant spręsti globalines ir ilgalaikes problemas bei užtikrinti optimalų pastato funkcionavimą, pastatas tyrinėjamas taikant gyvavimo ciklo analizės principus. Energetinių sistemų, tarp jų ir pastatų, vertinimas yra susijęs daugiau nei su vienu vertinimo kriterijumi, todėl galutinio sprendimo priėmimui palengvinti naudojama daugiakriterinė analizė.

Apžvelgtuose tyrimuose nustatyta, kad pastatai daro didžiausią poveikį energijos išteklių sunaudojimui ir pasauliniam šiltėjimo potencialui (klimato kaitai), pabrėžiama šiluminio komforto svarba ir jo praktinio įvertinimo problematika.

Apžvelgtuose tyrimuose pastato modernizavimas gyvavimo ciklo perspektyvoje atskirai nenagrinėjamas. Mažai akcentuojamas ilgalaikis pastato vertės išsaugojimas, o modernizavimo periodiškumas gyvavimo ciklo analizėje užsiduodamas kaip tolydus procesas – modernizavimas įvertinamas tik kaip esamų elementų pakeitimas tokiais pačiais, atitinkančiais pirminę statybos metu sukurtą pastato kokybę, arba nagrinėjamos pastato konkretaus modernizavimo alternatyvos. Paprastai atliekamose pastatų gyvavimo ciklo analizėse metinės pastato naudojimo energijos sąnaudos priimamos pastovios ir dauginamos iš nagrinėjamo laikotarpio trukmės ir nenagrinėjama technologinės pažangos ir valstybinio reglamentavimo įtaka pastato gyvavimo ciklui, t. y. pastato gyvavimo ciklas nagrinėjamas kaip statinis. Taip neįvertinama, kad pastato energinis naudingumas po kiekvieno modernizavimo etapo turėtų keistis, o šilumos ir elektros energijos gamybos ir transportavimo efektyvumas keisis, atsižvelgiant į technologinę pažangą ir valstybiniu lygmeniu keliamus energetikos sektoriaus plėtos tikslus. Tuo tarpu, atsižvelgiant į energetikos ir aplinkosaugos politikos plėtrą, aišku, kad dabartiniai pastatai ateityje, sulaukę neišvengiamo modernizavimo, neišliks tokio paties energinio naudingumo lygmens.

Atsižvelgiant į atliktą tyrimų apžvalgą, darbe keliami tokie uždaviniai:

- išanalizuoti pastatus kaip techninę sistemą ir juos supančią aplinką, pastatų modernizavimo energetinį, ekonominį, aplinkosauginį, socialinį poveikį ir atskirų suinteresuotų grupių vaidmenį nustatant pagrindinius tikslingus pastatų modernizavimo vertinimo kriterijus;
- pastatų modernizavimo analizėje įvertinti šiluminį komfortą, atskiriant norminių temperatūrinių sąlygų atstatymo naudą;
- sudaryti viešojo naudojimo pastato modernizavimo vertinimo modelį, leidžiantį įvertinti pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo įtaką pastato gyvavimo ciklui, atsižvelgiant ir į technologinės pažangos bei valstybinio reguliavimo veiksnius;
- naudojant sudarytą modelį, atlikti pasirinktų pastatų modernizavimo analizę ir nustatyti optimalų jų modernizavimo periodiškumą.

# 2

---

## Pastato ir jį supančios aplinkos sisteminė analizė

Šiame skyriuje aptariama darbe nagrinėjama sistema (pastatas ir jį supanti aplinka) – pateikiama principinė nagrinėjamos sistemos schema, analizuojamos atskiros sistemą sudarančios posistemės. Apžvelgiama darnaus vystymosi politika, dabartinis pastatų energinio naudingumo reglamentavimas, energijos vartojimo pastatuose padėtis Lietuvoje ir naujosios pastatų koncepcijos, analizuojamas energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose energetinis, ekonominis, aplinkosauginis ir socialinis poveikis, energijos taupymo priemonių pasirinkimą lemiantys veiksniai ir kriterijai bei suinteresuotų grupių vaidmuo.

### 2.1. Nagrinėjama sistema

Viena iš pagrindinių problemų esamuose pastatuose yra didelės energijos sąnaudos. Siekiant spręsti šią problemą, sisteminės analizės principai reikalauja parengti tinkamą apibendrinančią pastatą supančios aplinkos ir vidinių ryšių struktūrą, identifikuoti ryšius ir parengti jų sąveikos struktūrą, kas padėtų suformuoti problemai spręsti tinkamą modelį. Pagrindinis darbe nagrinėjamas objektas yra pastatas. Pastatas yra sudėtinga sistema, susidedanti iš aibės technologinių si-

stemų (pastato konstrukcinė dalis, energetinės ir kitos inžinerinės sistemos), kuriai įtaką daro įvairios ūkio ir mokslo sritys (energetika, aplinkosauga, ekonomika, sociologija, psichologija, kultūra ir pan.). Todėl tokią sistemą tikslinga nagrinėti taikant sisteminę analizę.

Sisteminė analizė – tai mokslinė disciplina, nagrinėjanti sprendimų priėmimo problemas, analizuojant didelį kiekį įvairios rūšies informacijos. Moksliniuose tyrimuose, techniniuose darbuose, socialinėse srityse nuolat susiduriama su objektais, kuriuos priimta vadinti sudėtingomis sistemomis. Jų išskirtinis bruožas – daug skirtingų ryšių tarp atskirai egzistuojančių sistemos elementų ir išskirtinė nagrinėjamos sistemos funkcija, kurios neturi jos atskiri elementai. Ryšiai tarp elementų apibūdinami tam tikros tvarkos vidinėmis savybėmis, orientuotomis į sistemos funkcijos atlikimą. (Губанов *et al.* 1988).

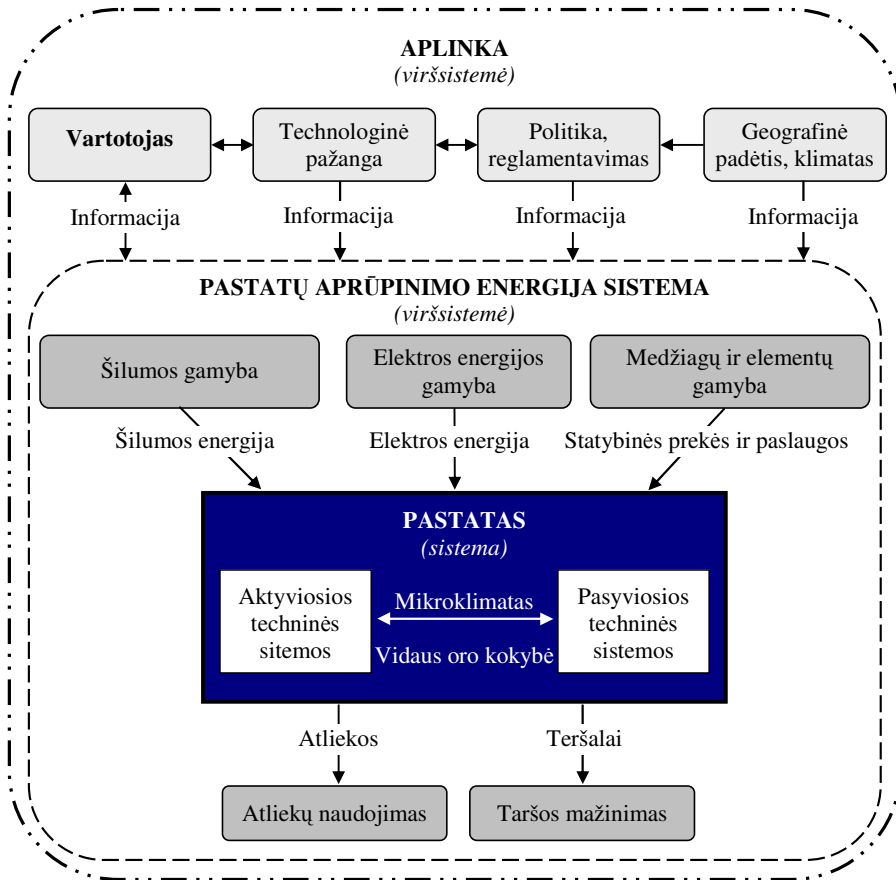
Sistemų tyrimo pagrindą sudaro jų nagrinėjimas kaip bendros visumos, susidedančios iš apibrėžtos aibės elementų, kurių tarpusavio ryšys lemia šios aibės bendrąsias savybes. Pirmiausia analizuojami vidiniai sistemos ryšiai ir jos ryšys su aplinka. Toliau vertinami sistemą formuojantys ryšiai, veikimas, sistemos ir tikslai, informacijos perdavimo ir sistemos bei jos sudėtinių dalių valdymo būdai, priemonės, reakcija į išorinius ir vidinius veiksnius, sistemos patvarumas ir t. t. (Modell 1996).

2.1 paveiksle pateikta pastato ir jį supančios aplinkos principinė schema. Pastato sistemą sudaro dvi posistemės – aktyviosios ir pasyviosios techninės pastato sistemos. Jos pastate sukuria tinkamą mikroklimatą ir vidaus oro kokybę, t. y. užtikrina pagrindinę pastato funkciją. Pastatas kaip sistema negalėtų funkcionuoti be kitų su juo susijusių sistemų teikiamų paslaugų. Kad pastatas atliktų savo funkciją, jam turi būti tiekiamą energija iš elektros ir šilumos energijos gamybos sistemų (tai gali būti viena sistema arba atskiros sistemos). Pastato kokybiškoms funkcijoms užtikrinti reikalingos pastato statybos prekės ir paslaugos (statyba, techninė priežiūra, remontas, rekonstrukcija, modernizavimas). Pastatas, atlikdamas savo funkciją, daro poveikį aplinkai – dėl jo naudojimo ir vykdomos priežiūros susidaro atliekos ir tarša. Atliekos turi būti surenkamos, saugojamos, naudojamos ir šalinamos. Dėl pastatų naudojimo ir priežiūros susidarantys taršai taikomos prevencinės (taršos normatyvai) ir korekcinės (taršą mažinančios) priemonės. Visos šios atskiros sistemos sudaro pastato viršsistemę, kuri šiame darbe vadinama – pastatų aprūpinimo energija sistema.

Pastatų aprūpinimo energija sistema ir atskiri jos elementai yra veikiami tam tikrų aplinkos veiksnių – geografinių ir klimatologinių (geografinė padėtis ir klimatas daro įtaką kultūriniais, energetiniams susijusių sistemų parametrams ir aspektams), technologinės pažangos, valstybinės politikos ir reglamentavimo (nustato minimalius kiekybinius ir (ar) kokybinius reikalavimus pastatų energinėms charakteristikoms, šilumos, elektros energijos gamybos įrenginiams, taršai,



atliekų tvarkymui, statybinėms paslaugoms ir t. t.), kurie tarpusavyje taip pat susiję.



2.1 pav. Pastato ir jį supančios aplinkos principinė schema

Fig. 2.1. Principal scheme of a building and its surrounding environment

Vienas svarbiausių pastato aplinkos elementų yra vartotojas (čia suprantamas kaip pastato naudotojas, savininkas, valdytojas ir pan.), kuriam tiesiogiai taikoma pastato atliekama funkcija ir kuris kelia tam tikrus reikalavimus pastato funkcijos kokybei. Vartotojo poreikiai yra veikiami geografinių ir klimatologinių veiksnių, technologinės pažangos, valstybės politikos.

Todėl nagrinėjant pastatą ir siekiant priimti racionalius sprendimus, tikslin- ga atsižvelgti į šiuos atskirų sistemų tarpusavio ryšius.

Tolimesniuose poskyriuose pateikiama pastato ir atskirų su juo susijusių sistemų analizė.

## **2.2. Pastatų aprūpinimo energija sistemos aplinkos analizė**

Pastatų gyvavimo laikas yra ilgas ir kartais siekia kelis šimtmečius. Todėl natūraliai po pastato statybos, tolimesnis jo naudojimas ir priežiūra bus veikiami tokių išorinių veiksnių kaip valstybinė politika, reglamentavimas, technologinė pažanga ir besikeičiantys vartotojų poreikiai. Šiame poskyryje, vadovaujantis sisteminės analizės principais, analizuojami pastato aprūpinimo energija sistemos aplinkos elementai, darantys įtaką pastato funkcionavimui.

### **2.2.1. Darnaus vystymosi politika ir pastatų vaidmuo**

Pasaulinėje energetikos politikoje svarbią vietą užėmė neefektyvaus energijos išteklių ir energijos (toliau – energija) vartojimo klausimai, siejami su tokiomis globaliomis problemomis kaip klimato kaita, senkantys iškastiniai energijos ištekliai ir auganti energetinė priklausomybė. Europos Sąjunga yra priklausoma nuo išorinių energijos išteklių tiekėjų. Lietuvoje ši problema ypač aktuali, nes apie 90 % pirminių energijos išteklių yra importuojama ir beveik visi šie ištekliai importuojami iš vienos šalies. Šios problemos verčia ieškoti alternatyvių energijos šaltinių ir riboti energijos vartojimą. Galimybės stabilizuoti klimato kaitą nesubalansuojant energijos vartojimo yra ribotos. Žaliojoje knygoje „Europos Sąjungos tausios, konkurencingos ir saugios energetikos strategija“ pažymima, kad veiksmai energijos vartojimo efektyvumo srityje ne tik sprendžia klimato kaitos problemas, bet ir padeda užtikrinti energijos tiekimo saugumą bei sumažinti augančią Europos Sąjungos priklausomybę nuo importuojamos energijos (Europos Bendrijų Komisija 2006).

Siekiant spręsti minėtas problemas, būtinas darnaus vystymosi požiūris, kuris įvardijamas vienu iš bendrųjų energetikos sektoriaus tikslų Europos Sąjungoje. Pagrindinės darnaus vystymosi nuostatos buvo suformuluotos pasaulio viršūnių susitikime Rio de Žaneire 1992 m. Darnus vystymasis – tai kompromisas tarp aplinkosauginių, ekonominių ir socialinių visuomenės tikslų, sudarantis galimybes pasiekti visuotinę gerovę dabartinei ir ateinančioms kartoms, neperžengiant leistinų poveikio aplinkai ribų. (Lietuvos Respublikos Vyriausybė 2003).

Atnaujintos Europos Sąjungos Darnaus vystymosi strategijos bendras tikslas yra nustatyti ir plėtoti veiksmus, kad Europos Sąjunga galėtų nuolat gerinti dabarties ir ateities kartų gyvenimo kokybę, kurdama darnias bendruomenes, kurios sugebėtų veiksmingai valdyti ir naudoti išteklius, taip pat panaudoti ekono-

mikos, ekologinių ir socialinių inovacijų potencialą, užtikrinant klestėjimą, aplinkos apsaugą ir socialinę sanglaudą. Šioje strategijoje pažymima, kad energetikos politika turėtų būti suderinta su tiekimo patikimumo, konkurencingumo ir aplinkosauginio tvarumo tikslais. (Europos Vadovų Taryba 2006).

Europos Sąjunga, siekdama didinti energijos vartojimo efektyvumą, iškėlė tikslą iki 2020 m. padidinti energijos vartojimo efektyvumą 20 %, o šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas sumažinti 20 % lyginant su 1990 m. (European Commission 2010b).

Siekiant minėtų tikslų, vienas pagrindinių vaidmenų tenka pastatams, didžiausiems galutiniams energijos vartotojams visame pasaulyje. Pastatuose suvartojama apie 40 % galutinės energijos (International Energy Agency 2008). Europos Sąjungoje dėl pastatų naudojimo į aplinką išmetama 36 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų (European Commission 2010a).

Apibendrinant tai, kas išdėstyta, išryškėja, kad nors pirminė pastato funkcija yra užtikrinti tinkamas mikroklimato ir vidaus oro kokybės sąlygas jo naudotojams, pastatai vaidina svarbų vaidmenį globalių problemų sprendime, todėl naujų pastatų statyba turi būti orientuota į darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimą, o esamų pastatų naudojimas ir priežiūra negali apsiriboti tik pirminės (statybos metu skurtos) pastato kokybės išlaikymu.

### 2.2.2. Energijos vartojimas ir jo reglamentavimas pastatuose

Daugelis pasaulio valstybių energijos vartojimą pastatuose reglamentuoja normomis, nustatant reikalavimus pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms ar energijos sąnaudoms pastato ploto vienetai (ASHRAE 2010; European Insulation Manufacturers Association 2010). Siekiant didinti energijos vartojimo efektyvumą pastatuose, šios normos nuolat griežtinamos. Be standartinių reikalavimų pastatų šiluminėms charakteristikoms, plėtojami daug efektyvesnių pastatų koncepcijos. Mažai energijos (*angl. low-energy*) vartojantys pastatai, pasyvūs (*angl. passive*) pastatai, nulinės energijos (*angl. zero energy*) pastatai, energiją gaminantys pastatai (*angl. positive energy*) kuriami, statomi ir tyrinėjami. Išplėtotos „žalių“ (*angl. green*), „darnių“ (*angl. sustainable*) ir „išmaniųjų“ (*angl. intelligent*) pastatų koncepcijos.

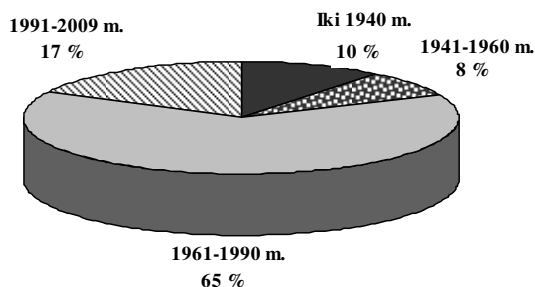
Siekdama iki minimumo sumažinti energijos suvartojimą pastatuose, 2010 m. Europos Sąjunga iškėlė naują uždavinį, kad nuo 2020 m. visi naujai statomi pastatai būtų beveik „nulinės“ energijos (Europos Parlamentas ir Taryba 2010). Tai ambicingas tikslas, tačiau pagal šią koncepciją pastatyti pastatai turės efektą tik ilgalaikėje perspektyvoje. O šiuo metu lemiamas vaidmuo tenka esamiems pastatams.

Įvertinta, kad Europos Sąjungoje naujų gyvenamųjų pastatų metinis prieaugis sudaro 1–1,5 %, per metus nugriaunama apie 0,2–0,5 %, o atnaujinama apie

2 % visų pastatų. Panašios tendencijos yra ir negyvenamajame sektoriuje. (European Commission 2010a).

Lietuvoje iki 1990 m. buvo statomi energetiškai labai neefektyvūs pastatai. Reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms buvo sugriežtinti 1992 m., 1999 m. ir 2005 m. (RSN 143-92, STR 2.05.01:1999; STR 2.05.01:2005).

2010 m. sausio 1 d. šalies Nekilnojamojo turto registre buvo įregistruoti 663 855 pastatai (neskaičiuojant pagalbinio ūkio paskirties pastatų), kurių bendrasis plotas sudarė 196,3 mln. m<sup>2</sup>. 83 % šių pastatų statyti iki 1990 m. (žr. 2.2 pav.). Nuo 1990 m. vidutinis metinis naujų pastatų ploto prieaugis sudarė apie 1 %. Pastaraisiais metais naujų pastatų statybos intensyvumas buvo padidėjęs dėl spartaus šalies ekonomikos augimo ir 2005–2009 m. sudarė vidutiniškai 2,6 %.

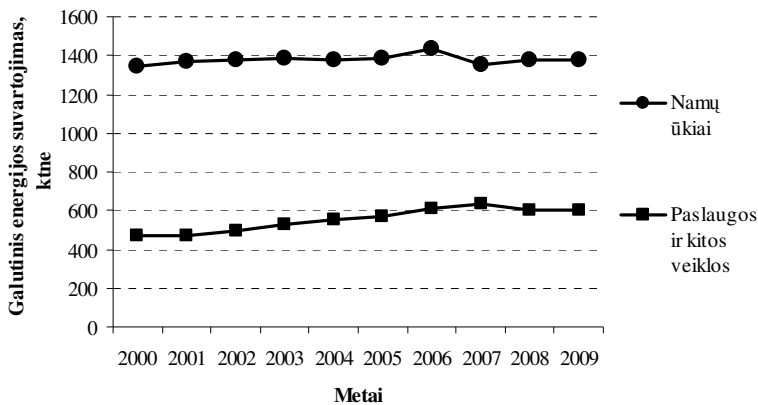


**2.2 pav.** Lietuvos pastatų bendrojo ploto pasiskirstymas pagal statybos metus 2009 m. (Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos ir VĮ Registrų centras 2010)

**Fig. 2.2.** Lithuanian total buildings area distribution according to the year of construction in 2009 (Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos ir VĮ Registrų centras 2010)

2009 m. Lietuvoje pagrindiniai galutinės energijos vartotojai buvo transportas (34 %), namų ūkiai (31 %), pramonė (18 %) bei prekybos ir paslaugų sektorius (14 %). Žemės ūkiui ir statybai teko tik maža dalis suvartojamos energijos (atitinkamai 2,3 % ir 0,1 %) (Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2010). Taigi 45 % galutinės energijos suvartojama pastatuose. Galutinio energijos suvartojimo pastatuose kitimas 2000–2009 m. pateiktas 2.3 paveiksle.

Nors reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms ir griežtėja, šalyje įgyvendinamos energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonės, neišvengiama technologinės pažangos įtaka, tačiau galutinis energijos suvartojimas turi tendenciją augti. Elektros energijos sąnaudos auga dėl didėjančio naudojamų elektros prietaisų skaičiaus. Šilumos bei kuro (pateiktų gyventojams šildymo, maisto gamavimo reikmėms) energijos suvartojimas taip pat auga. 2005–2008 m. butų plotas padidėjo 3 %, o šilumos energijos sąnaudos (perskaičiuotos norminiam šildymo sezonui) – 8 % (Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2010). Tai gali būti susiję su tuo, kad augant ekonomikai ir gerėjant visuomenės gerovei, didėja pastatuose palaikoma vidaus oro temperatūra.



**2.3 pav.** Galutinis energijos suvartojimas pastatuose 2000–2009 m. (Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2010)

**Fig. 2.3.** Final energy consumption in buildings in 2000–2009 (Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2010)

2000–2009 m. pastatų galutinės energijos balanse 17–25 % sudarė elektros energija, o likusią dalį – centralizuotai tiekiamą šilumą ir tiesiogiai sunaudojamas kuras (Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2010).

Kaip matyti iš apžvelgtos informacijos, aiški tendencija, jog pastatai energiška efektyvėja ir ateityje pasieks ypač aukštą energinio efektyvumo lygį. Todėl siekiant darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimo, esamiems neefektyviems pastatams turėtų būti skiriamas ypatingas dėmesys.

### 2.2.3. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose poveikis

Keliant energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose tikslą, būtina identifikuoti šio tikslo įgyvendinimo naudą. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo poveikis pastatuose gali būti vertinamas keliais aspektais – technologiniu, energetiniu, ekonominiu, aplinkosauginiu ir socialiniu.

1. Technologinis poveikis. Technologinis poveikis čia suprantamas kaip poveikis pastato fiziniams savybėms, susijusioms su pastato konstrukciją ir inžinerinių sistemų technologiniais sprendimais. Modernizuojant pastatus, atkuriami pastato fizinė būklė, suremontuojant, rekonstruojant arba pakeičiant susidėvėjusias pastato dalis ar jų elementus – atstatoma pastato atitiktis 6 esminiams reikalavimams statiniui. Taip pat sumažinamas pastato moralinis nusidėvėjimas, keičiant senąsias ir diegiant naujas pažangesnes technologijas.

2. Energetinis poveikis. Modernizuojant pastatus, mažinamas energijos suvartojimas, reikalingas tinkamoms mikroklimato sąlygoms pastate palaikyti. Tačiau vertinant energijos vartojimo efektyvumo didinimo rezultatus, dažnai yra pervertinamas energijos taupymo potencialas. Taip atsitinka dėl to, kad nepakankamai įvertinamas vartotojo elgesio poveikis. Dažniausiai mažesni rezultatai pasiekiami dėl vidaus oro temperatūros padidėjimo po modernizavimo ir dėl to, kad gyventojai sąmoningai dalį sutaupyto energijos kiekio panaudoja pastato šiluminiui komfortui padidinti. Tai vadinama „reakcijos efektu“ (*angl. rebound effect*) (Haas and Biermayr 2000). Ekonomikoje „reakcijos efektas“ apibrėžiamas taip – tam tikros energetinės paslaugos energijos vartojimo efektyvumo padidėjimas sumažins šios paslaugos kainą, kas turėtų lemti šios paslaugos naudojimo padidėjimą. Tai lems mažesnę sutaupyto energijos kiekį dėl padidinto energijos vartojimo efektyvumo (Greening *et al.* 2000; Sorrel and Dimitropoulos 2008).

Atlikus tyrimus ir panaudojus įvairius skaičiavimo metodus, gauta, kad „reakcijos efektas“ Austrijos gyvenamuosiuose namuose sudaro 20–30 %, Anglijoje, JAV – 25–30 % (Clinch and Healy 2001; Haas and Biermayr 2000).

3. Aplinkosauginis poveikis. Energijos taupymas turi tiesioginį poveikį aplinkai. Energetikos sektorius yra vienas pagrindinių aplinkos teršėjų, kuriame išmetama 33 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija 2010). Todėl energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimas mažina pastatų neigiamą poveikį aplinkai.

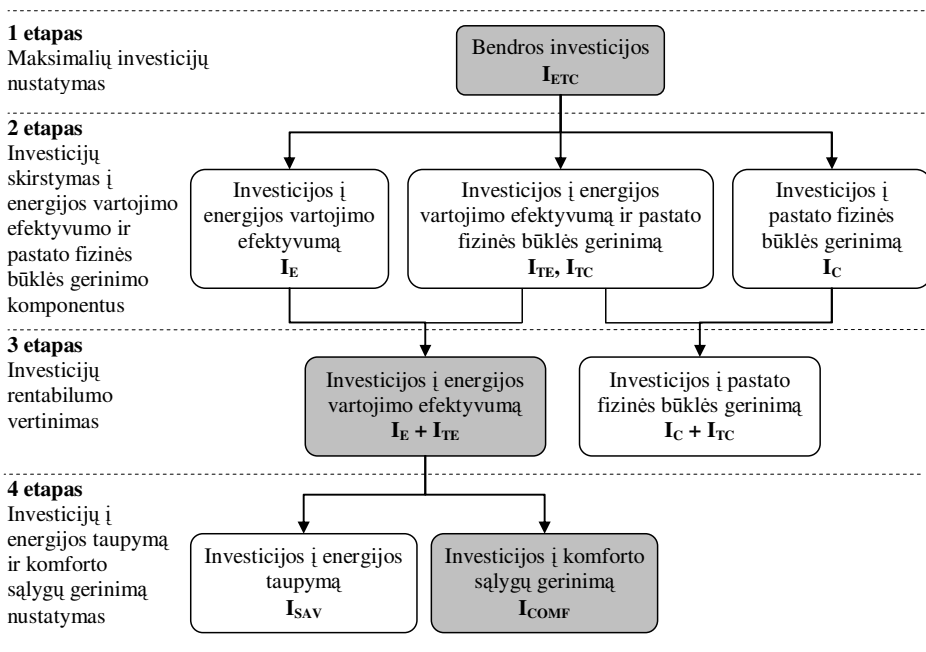
4. Socialinis poveikis. Paprastai daugumoje energijos vartojimo efektyvumo didinimo studijų vertinamas tik sutaupytas energijos kiekis. Taip pat vertinamos teršalų emisijos į aplinką, tačiau kita energijos vartojimo efektyvumo didinimo programų nauda, kaip kad sveikatos ir komforto pagerėjimas, vertinama retai. Nors daugelis šių naudų buvo įrodytos, tačiau dauguma niekad nebuvo išsamiai įvertintos dėl problemų su jų vertinimo metodika. (Clinch and Healy 2001)

Sergamumas, produktyvumas. Yra įrodyta, kad nepakankamos patalpų vidaus oro sąlygos, didina žmonių sergamumą (Clinch and Healy 2001; Goodacre *et al.* 2002; Seppanen and Fisk 2003). Airijoje buvo nustatyta, kad kiekvienais metais žiemą dėl nepakankamo namų apšildymo padidėja žmonių mirtingumas (Clinch and Healy 2001).

Vienas svarbiausių energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose tikslų yra šiluminio komforto didinimas. Nepakankamas šiluminio komforto lygis dažnai būna pagrindine sprendimo modernizuoti pastatą priežastimi. Modernizavus pastatą, sudaromos sąlygos atstatyti norminę temperatūrą pastate, sumažinti drėgmės lygį.

Komfortas apima daugiau nei tiesiog padidėjusį šilumos lygį namuose. Tai ir psichologinis išsekimas (žmogų apima nerimas, depresija, galvos skausmas, nuovargis, suaugusiųjų suirzimas, pyktis, vaikų šlapinimasis lovoje) (Clinch and Healy 2001).

Šiluminio komforto vertinimui pasiūlyta papildyti 1.1.3 poskyryje aprašytą Dviejų faktorių metodą (Užšilaitytė ir Martinaitis 2007).



2.4 pav. Pastato modernizavimo projekto investicijų struktūra

Fig. 2.4. Structure of building modernisation investments

Dviejų faktorių metode, bendros projekto investicijos dalijamos į investicijas į energijos vartojimo efektyvumo didinimą ir pastato fizinės būklės gerinimą. Efektyvumas yra rezultato ir sąnaudų palyginimo laipsnis. Remiantis šia sąvoka, energijos vartojimo efektyvumo didinimo rezultatas yra ne tik energijos vartojimo sumažinimas, bet ir efektyvus jos panaudojimas. Energijos suvartojimą pastate galima sumažinti dirbtinai mažinant vidaus oro temperatūrą, tačiau tai prieštarauja bendrai pastato paskirties koncepcijai. Todėl energijos panaudojimo efektyvumą galima išreikšti per norminių temperatūrinių sąlygų palaikymą pastate. Tuomet investicijas į energijos vartojimo efektyvumo didinimą galima dalyti į investicijas į energijos taupymą ir investicijas į komforto sąlygų gerinimą (žr. 2.4 pav.).

Naudojant šį metodą, buvo įvertinti penki 1998–2000 m. renovuoti Lietuvos mokyklų pastatai, kuriuose prieš modernizavimą nebuvo užtikrinama norminė patalpų vidaus oro temperatūra (Užšilaitytė ir Martinaitis 2007). Nagrinėjamuose mokyklų pastatuose po modernizavimo šilumos suvartojimas sumažėjo 19–65 %, tačiau faktinis šilumos vartojimo sumažėjimas nebuvo toks žymus – nuo 16 % iki 56 % atskirose mokyklose. Vienoje mokykloje dėl vidaus oro temperatūros padidėjimo po modernizavimo šilumos suvartojimas išaugo 63 %. Įrengus naujus šilumos punktus, mokyklų pastatuose atsirado galimybė mažinti patalpų temperatūrą ne darbo metu. Jeigu šios galimybės nebūtų ir patalpose visą parą būtų palaikoma norminė vidaus oro temperatūra (+18 °C), šilumos suvartojimas trijose mokyklose būtų padidėjęs 10–140 %.

Įvertinus faktinę vidaus oro temperatūrą prieš ir po modernizavimo, trijose mokyklose 18–47 % faktiškai sutaupyto šilumos kiekio buvo skirta oro temperatūrai jose padidinti. Vienoje mokykloje visas sutaupytas šilumos kiekis teko temperatūrai pastate padidinti ir dar papildomas šilumos kiekis buvo reikalingas norminei temperatūrai pastate palaikyti.

Naudojant pasiūlytą metodą, paaiškėja, kad dviejuose pastatuose visos investicijos į energijos vartojimo efektyvumą būtų skirtos norminėms komforto sąlygoms atstatyti. Tai reiškia, kad tiesioginės išlaidos šildymui šiuose pastatuose būtų nesumažėję, tačiau būtų gauta netiesioginė nauda dėl atkurtų normalių darbo ir mokymosi sąlygų.

Užimtumas. Energijos taupymo programų įgyvendinimas turi teigiamą poveikį užimtumui (Clinch and Healy 2001; Jeeninga *et al.* 1999). Pagrindinė užimtumo padidėjimo priežastis yra ta, kad energetikos sektoriuje darbo jėgos intensyvumas yra mažesnis, palyginti su kitais sektoriais, todėl perkėlus išlaidas iš energetikos sektoriaus į kitus sektorius, atsiranda grynasis užimtumo padidėjimas (Jeeninga *et al.* 1999).

5. Ekonominis poveikis. Pagrindinis energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimo ekonominis efektas – tai sumažėjusios išlaidos energijai ir pastato remontui (Flores-Colen and De Brito 2010; Goodacre *et al.*



2002; Milne and Boardman 2000). Tačiau išlaidų sumažėjimo nauda gali pasireikšti skirtingai. Jei apšiltinamas menkų pajamų būstas, šildymo išlaidų sumažėjimas bus panaudotas būsto šildymo kokybės gerinimui – vidaus oro temperatūros padidinimui. Jei apšiltinamas didelių pajamų būstas, kuris jau ir taip buvo gerai šildomas, bus gauta nauda iš sumažėjusios sąskaitos už šildymą. (Clinch and Healy 2001).

Be to, modernizuojant pastatus, didėja jų vertė, patrauklumas, bendras miesto įvaizdis. Išvengiama žalos aplinkai išlaidų (Goodacre *et al.* 2002; Clinch and Healy 2001).

Potenciali nauda, gaunama iš geresnės pastatų mikroklimato ir vidaus oro kokybės, apima mažesnes išlaidas sveikatos apsaugai, daugiau darbo dienų dėl sumažėjusio sergamumo, geresnio efektyvumo darbe, mažesnės darbuotojų kainos, mažesnių išlaidų pastato eksploatacijai dėl retesnių nusiskundimų pastatų mikroklimatu ir vidaus oro kokybe. Kai kurie skaičiavimai rodo, kad blogėjančios patalpų vidaus aplinkos išlaidos yra didesnės už išlaidas pastatui šildyti. Makroekonominiai įvertinimai rodo, kad iš pagerėjusios patalpų vidaus oro kokybės galima gauti ekonominę naudą. (Seppanen and Fisk 2003).

Užimtumo didėjimas taip pat turi teigiamą poveikį šalies ekonomikai, didina įplaukas į valstybės biudžetą, gerina visuomenės perkamąją galią.

Taigi energijos vartojimo efektyvumo didinimo nauda yra visuotinė – nuo vartotojo iki valstybinio lygmens. Tačiau energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimo mastas priklauso nuo suinteresuotų grupių prioritetų ir sprendimams darančių įtaką veiksnių. Sisteminiu požiūriu pastato modernizavimas turėtų būti nagrinėjamas, atsižvelgiant į visų suinteresuotų grupių interesus ir įtaką.

#### **2.2.4. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių pasirinkimą lemiantys veiksniai ir kriterijai bei suinteresuotų grupių vaidmuo**

Pastato gyvavimo procese tiesiogiai ir netiesiogiai dalyvauja daugybė suinteresuotų grupių: pastato naudotojai (galutiniai vartotojai), pastatą administruojančios ir prižiūrinčios institucijos, komunalinių paslaugų įmonės (energijos tiekimo, vandens tiekimo, ryšių, šiukšlių išvežimo ir t. t.), statybinių paslaugų (architektūrinių, projektavimo, statybos) bendrovės, statybinių gaminių ir inžinerinių sistemų gamintojai ir platintojai, finansinių paslaugų įmonės, konsultacinės / energetinių paslaugų įmonės, valstybė (įvairios valstybės institucijos, pradedant aukščiausiomis sprendimus priimančiomis institucijomis ir baigiant savivaldybių institucijomis ir įstaigomis).

Suinteresuotos grupės gali būti skirstomos pagal tai, kokių tikslų (politinių, teisinių, ekonominių, aplinkosauginių, socialinių, techninių) jos siekia, nes tiks-

lai nulemia kriterijus, pagal kuriuos bus pasirenkamos energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonės. Kai kurie tikslai yra bendri visoms suinteresuotoms grupėms, kai kurie būdingi tik tam tikroms suinteresuotoms grupėms.

Daugelis suinteresuotų grupių projekto efektyvumo laipsnį supranta kaip santykį tarp savo indėlio (panaudotų išteklių, rizikos), įdėto didinant projekto racionalumą, ir dėl jo pasiektų tikslų (ekonominių, teisinių, socialinių) laipsnio (Zavadskas *et al.* 2001). Energijos vartojimo efektyvumo didinimo nauda ir išlaidos ne visiems pasiskirsto vienodai. Nauda vieniems gali būti išlaidos kitiems. Pvz., galutinio vartotojo išlaidų sumažėjimas energijai sumažins energetikos įmonės pajamas. Čia yra vienas iš pagrindinių konfliktų, vertinant ir pasirenkant energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones.

Atsižvelgiant į pagrindinius siekiamus tikslus, energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatuose suinteresuotas grupes galima būtų suskirstyti į tris kategorijas: valstybė, galutinis vartotojas ir verslas (energetikos įmonės, statybinių paslaugų bendrovės, statybinių gaminių ir inžinerinių sistemų gamintojai ir platintojai, konsultacinės / energetinių paslaugų įmonės, finansinių paslaugų įmonės).

Valstybė. Veiksniai, lemiantys valstybės pasirinkimą priklauso nuo bendros šalyje vykdomos politikos. Jei šalyje įgyvendinama darnaus vystymosi politika ir siekiama spręsti energetines, aplinkosaugines ir socialines problemas, energijos vartojimo efektyvumas bus vertinamas pagal darnaus vystymosi kriterijus. Taip pat svarbios ir valstybės galimybės investuoti. Tačiau nepakankamas valstybės dėmesys efektyviai taupymo politikai įgyvendinti, ribotos pastangos reguliuoti statybos sektorių, pastatų pramonės konservatyvumas, sprendimus priimančių asmenų nepakankamos žinios apie energijos vartojimo efektyvumo didinimo naudą ir priemonių įgyvendinimo galimybes yra esminės kliūtys realiam tikslų įgyvendinimui (Erhorn *et al.* 2008; Ryghaug and Sorensen 2009).

Galutinis vartotojas. Galutinis vartotojas gali būti pastato savininkas, gyventojas, nuomininkas, pardavėjas ar nuomotojas. Tai nulemia priežastis energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėms įgyvendinti. Pagrindiniai veiksniai, lemiantys sprendimą investuoti į energijos vartojimo efektyvumą, yra aukštos energijos kainos, komforto problemos ir pastatų nusidėvėjimas. Bene svarbiausias veiksnys yra vartotojo finansinės galimybės, kurios dažnai būna ribotos, o energetiškai efektyvesni sprendimai yra brangesni ir turi ilgesnį atsipirkimo laiką. Čia svarbų vaidmenį vaidina šalyje egzistuojančios finansinės priemonės ir galimybės jomis pasinaudoti.

Vartotojo lygmeniu yra daug objektyvių ir subjektyvių kliūčių. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimas vartotojo perspektyvoje priklauso ir nuo vartotojo poreikių. Vartotojas prioritetą gali teikti ne energijos taupymo priemonėms, o prabangos, komforto prekėms ir paslaugoms. Energijos vartojimo efektyvumas dažnai nustelbiamas kitų reikalavimų – sau-

gos, vaizdo pro langą, patalpų dydžio ir pan. (International Energy Agency 2008). Egzistuoja taip vadinama „investuotojo-vartotojo dilema“ arba „suskilusios iniciatyvos“. Pvz., pastatų nuomotojai bando minimizuoti investicines išlaidas į efektyviai energiją naudojančias technologijas, nes didesnės einamosios išlaidos ir išlaidos energijai dėl mažiau efektyvios įrangos bus sumokamos nuomininkų ar kitų naudotojų. (Commission of the European Communities 2003). Be to, yra psichologinės kliūtys energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėms įgyvendinti, kai pastatų naudotojai nesuinteresuoti, ką nors daryti, manydami, jog galbūt pastatą netrukus parduos arba apskritai ilgai nebegyvens. Daugiabučių namų butų savininkams dažnai trūksta suvokimo, kad jo nuosavybė yra ne tik butas, bet ir visas pastatas kaip dalinė nuosavybė.

Verslas – tai energetikos įmonės, statybinių paslaugų bendrovės, statybinių gaminių ir inžinerinių sistemų gamintojai ir platintojai, konsultacinės / energetinių paslaugų įmonės, finansinių paslaugų įmonės.

Energetikos įmonės. Vienas iš pagrindinių veiksnių lemiantis ar vykdyti energijos taupymo politiką, ar ne, yra ta aplinkybė, ar įmonė turi energijos gamybos galios perteklių, ar trūkumą. Jei įmonė turi galios perteklių, galutinio vartotojo energijos taupymas lems įmonės pajamų sumažėjimą, kuo įmonė yra nesuinteresuota. Jei įmonė turi galios neperteklių, galutinio vartotojo energijos taupymas, lems išlaidų naujų galių kūrimui sumažėjimą. Galimas šalutinis veiksnys – tai valstybės politika. Valstybė gali įpareigoti įmonę taupyti energiją pas vartotoją, nustatydamas konkrečius įpareigojimus. Tuomet įmonė bus priversta diegti energijos taupymo priemones pas galutinį vartotoją. Šiuo atveju energijos pardavimų sumažėjimas gali būti kompensuojamas įmonės papildomos veiklos, t. y. energetinių paslaugų teikimo atsiradimu arba alternatyvių rinkos mechanizmų taikymu.

Statybinių paslaugų bendrovės, statybinių gaminių ir inžinerinių sistemų gamintojai ir platintojai. Šios grupės suinteresuotos energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių diegimu, nes tai tiesiogiai susiję su įmonės pajamomis ir pelnu.

Konsultacinės / energetinių paslaugų įmonės, finansinių paslaugų įmonės yra suinteresuotos, kad šalyje būtų vykdoma kuo daugiau projektų, nes tai tiesiogiai susiję su jos gaunamomis pajamomis. Pagrindinis veiksnys, lemiantis energijos taupymo priemonių pasirinkimą, yra kuo didesnis projekto pelningumas ir mažesnis projekto atsipirkimo laikas bei rizika. Tačiau šie rinkos dalyviai gali paskatinti investuoti į energijos taupymą bei sudaryti palankias sąlygas galutiniams vartotojams tai daryti.

Apibendrinant galima teigti, jog pagrindiniai kriterijai, lemiantys sprendimą investuoti į pastatų modernizavimą ir energijos vartojimo efektyvumo didinimą, yra šiluminio komforto padidėjimas, energijos vartojimo sumažėjimas, emisijų sumažėjimas, pastato nusidėvėjimo sumažinimas ir vertės padidėjimas bei eko-

nominis projekto efektyvumas. Iš principo, suinterasuotumas energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimu yra, bet atskirais atvejais reikalingas didesnis valstybės įsikišimas.

### 2.3. Pastatas, jo paskirtis ir jam keliami reikalavimai

Lietuvos Respublikos statybos įstatyme (Lietuvos Respublikos Seimas 2001) pastatas apibrėžiamas kaip stogu apdengtas statinys, kuriame yra vienas ar daugiau kambarių ar kitų patalpų, išdėstytų tarp sienų ir pertvarų ir naudojamų žmonėms gyventi ar žemės ūkio, prekybos, kultūros, transporto ir kitai veiklai. Šia sąvoka pabrėžiama pastato konstrukcinė dalis ir pastato paskirtis. Tuo tarpu direktyvoje 2010/31/EB (Europos Parlamentas ir Taryba 2010) naudojamoje sąvokoje akcentuojamas kitas su pastatu susijęs esminis procesas, reikalingas pastato funkcijai atlikti, – energijos vartojimas: „pastatas – tai stogu dengtas statinys su sienomis, kurio patalpų mikroklimatui palaikyti vartojama energija...“

Pastato sandarą galima suskirstyti į dvi pagrindines technines sistemas – pasyviąją ir aktyviąją. Pasyvioji pastato techninė sistema tai konstrukcinė pastato dalis, sauganti pastato vidų nuo išorės aplinkos poveikio ir sukurianti pastato vidinę struktūrą – tai pastato atitvaros, laikančiosios konstrukcijos, pertvaros ir t. t. Aktyviosios pastato techninės sistemos – tai inžinerinės sistemos, kuriančios pastatuose tinkamą mikroklimatą ir vidaus oro kokybę bei užtikrinančios pastatuose vykstančių technologinių procesų veikimą bei tiekiančios reikalingą energiją.

Kad pastatas būtų tinkamas naudoti ir atliktų savo funkcijas, jame turi būti sukuriamas atitinkamas mikroklimatas bei vidaus oro kokybė, priklausantys nuo pastato paskirties ir kuriems palaikyti vartojama energija. Energija suvartojama taip pat ir pastatui sukurti bei tolimesniuose pastato naudojimo etapuose jo tinkamai fizinei ir moralinei būklei užtikrinti.

Pastatų paskirtis yra daugiafunkcinė. Reikalavimai, kuriuos turi atitikti pastatai, skirtingų autorių dalijami į įvairias kategorijas.

(Preiser and Vischer 2005) žmonių poreikiai, atsirandantys naudotojui sąveikaujant su statybine aplinka (*angl. built environment*), apibrėžiami kaip naudingumo lygiai (žr. 2.5 pav.):

1. Sveikatos, saugumo ir apsaugos naudingumas.
2. Funkcionalumo, efektyvumo ir darbo naudingumas.
3. Psichologinis, socialinis, kultūrinis ir estetiškas naudingumas.

(Sarja and Vesikari 1996; Sarja 2000) reikalavimus pastatui skirsto į keturias kategorijas:

- žmogiškuosius (funkcionalumo, saugos, higieninius, komforto);

- ekonominius (investicijų ekonomijos, konstrukcinius ir gyvavimo laiko);
- kultūrinius (gyvenimo būdo, statybos tradicijų, verslo kultūros, estetikos, architektūrinių stilių ir tendencijų, įvaizdžio);
- ekologinius (žaliavos, energijos taupymo, poveikio aplinkai, atliekų, biologinės įvairovės) reikalavimus.



**2.5 pav.** Pastato naudingumo kriterijai (Preiser and Vischer 2005)

**Fig. 2.5.** Building performance criteria (Preiser and Vischer 2005)

Teisės aktuose pastatams keliami 6 reikalavimai, apimantys dalį prieš tai aptartų. Vadovaujantis Tarybos direktyva 89/106/EEB dėl valstybių narių įstatymų ir kitų teisės aktų, susijusių su statybos produktais, pastatai turi atitikti 6 esminius reikalavimus statiniams (Taryba 1989):

- 1) mechaninio atsparumo ir pastovumo;
- 2) gaisrinės saugos;
- 3) higienos, sveikatos ir aplinkos apsaugos;
- 4) saugaus naudojimo;
- 5) apsaugos nuo triukšmo;

6) energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo. Direktyvoje 89/106/EEB šis reikalavimas reiškia, kad statinys, jo šildymo, kondicionavimo, vėdinimo ir kiti įrenginiai turi būti suprojektuoti bei pastatyti taip, kad juos naudojant būtų kuo mažesnės energijos sąnaudos, atsižvelgiant į vietovės klimatinės sąlygas ir pastato naudotojų reikmes.

Pastatas turi atitikti šiuos reikalavimus per visą jo naudojimo laiką. Pastato naudojimas – tai esminių statinio reikalavimų pagrindu sukurto statinio savybių

panaudojimas naudotojo poreikiams tenkinti. Siekiant užtikrinti pastato atitiktį 6 esminiems reikalavimams, vykdoma statinio priežiūra, remontas, rekonstrukcija, modernizavimas:

- priežiūros metu įgyvendinamos priemonės, užtikrinančios pastato atitiktį esminiems reikalavimams per visą statinio ekonomiškai pagrįstą naudojimo trukmę (Lietuvos Respublikos Seimas 2001; STR 1.01.02:1997). Priežiūra – tai visų techninių ir susijusių veiksmų derinys, siekiantis išsaugoti elementą arba jį atkurti iki tokio būvio, kuriame jis gali atlikti savo funkciją. Dėl šios sąvokos ginčijamasi, argumentuojant, kad atsižvelgiant į ilgą pastatų gyvavimo laikotarpį, priimtini patogumo ir naudingumo standartai didės pastatų gyvavimo laikotarpiu. Todėl pastato priežiūra gali būti apibrėžta kaip darbas, atliekamas siekiant išlaikyti, atstatyti arba pagerinti kiekvieną pastato dalį, jo teikiamas paslaugas iki tuo metu priimtino standarto ir išlaikyti infrastruktūros / įrenginio naudą bei vertę. Tačiau projektavimo stadijoje sudėtinga numatyti ateities vartojimo ir technologinės pažangos pokyčius. (Mills 1994);

- remonto tikslas – iš dalies arba visiškai atkurti normatyvinių statybos techninių dokumentų nustatytas statinio ar jo dalies savybes, pablogėjusias dėl statinio naudojimo, arba jas pagerinti (Lietuvos Respublikos Seimas 2001; STR 1.01.02:1997);

- rekonstravimo tikslas – iš esmės pertvarkyti esamą pastatą, sukurti jo naują kokybę (Lietuvos Respublikos Seimas 2001; STR 1.01.02:1997);

- atnaujinimo (modernizavimo) tikslas – atkurti ar pagerinti pastato ir (ar) jo inžinerinių sistemų fizines ir energines savybes (Lietuvos Respublikos Seimas 2001). Modernizavimas pagal savo prasmę apima ir pastato remontą, ir rekonstrukciją. Tik modernizavimas apima ir pastato energinio naudingumo gerinimo sąlygą, kuri yra nebūtina pastato remonto ar rekonstrukcijos atveju.

Lietuvos statybos sektorių reglamentuojančiuose teisės aktuose, taip pat ir kitų šalių taikomose pastatų valdymo sistemose, pastato gyvavimo trukmė siejama su pastato ekonomiškai pagrįsta gyvavimo trukme – laikotarpiu, per kurį tikslinga naudoti pastatą palaikant jo naudojimo savybes, atitinkančias esminius statinio reikalavimus, atsižvelgiant į visus tarpusavyje susijusius aspektus: projektavimo, statybos, naudojimo bei naudojamo statinio draudimo išlaidas, išlaidas naudojimo sutrikimams išvengti; statinio griūties riziką ir pasekmes jo naudojimo laikotarpiu; planuojamą dalinį atnaujinimą; valymo, techninio aptarnavimo, priežiūros bei remonto išlaidas (Lietuvos Respublikos Seimas 2001; Mills 1994). Šiame apibrėžime susiduriama su dviem prieštaravimais:

1. Reglamentuota pastato gyvavimo trukmė siekia 120 metų (STR 1.12.06:2002), tačiau ekonominiai skaičiavimai tokiam ilgam laikotarpiui neatliekami ir, atsižvelgiant į faktinę ekonomiką dinamiką, neturi prasmės. Ekonominiai skaičiavimai tokiam laikotarpiui susiję su didele neapibrėžtimi ir didelėmis paklaidomis (Mills 1994). Tinkama ir laiku atliekama pastato priežiūra,

remontas bei rekonstrukcija, reikalingi užtikrinti pastato atitiktį 6 esminiams reikalavimams, gali žymiai pratęsti pastato gyvavimo laiką.

2. Pastato gyvavimo laiką sieti tik su ekonominiu pagrįstumu yra neteisinga, nes tinkamai prižiūrimas pastatas gali gyvuoti tiek, kiek jis yra reikalingas. Architektūrinio nekilnojamojo kultūros paveldo objektų (kurių gyvavimo laikas jau siekia kelis šimtus metų) negalima griauti, nepaisant ekonominio tokių objektų egzistavimo pagrįstumo ir tikslingumo. Jeigu pastatas gali atlikti savo funkciją toje vietoje, kurioje yra pastatytas, netikslinga jo griauti tik dėl išlaidų, susijusių su jo rekonstravimu ir remontu, neįvertinant jo nugriovimo išlaidų, poveikio aplinkai dėl pastato nugriovimo bei energijos sąnaudų naujo pastato statybai.

Be to, tokioje koncepcijoje programuojamas principas, kad pastato naudojimas ir priežiūra turi būti ekonomiškai efektyvūs, tuo tarpu šiuo metu praktikoje tokie dalykai kaip energijos vartojimo efektyvumo didinimas, poveikio aplinkai mažinimas, gyvenimo komforto didinimas ne visada yra ekonomiškai efektyviai sprendžiami klausimai (Užšilaitytė ir Martinaitis 2008, 2010b).

Anksčiau nebuvo laikoma, kad protingai / gerai pastatyti pastatai turi iš anksto nustatytą gyvavimo trukmę, kuriai pasibaigus pastatas būtinai bus nugriautas. Motyvai nustatyti pastato gyvavimo laiką dažniausiai buvo pagrįsti socialiniu, politiniu ir ekonominiu spaudimu, besikeičiančiomis madomis ir architektūrinėmis ambicijomis arba siekiant didesnio pelno. Tie patys veiksniai dažnai susilpnindavo norą pastatą prižiūrėti, kas sukeldavo pastato būklės blogėjimą, o tai neišvengiamai lemdavo pastato nugriovimą. Tokiomis sąlygomis dažnai galima atlikti skaičiavimus, pagal kuriuos nuo tam tikro laiko nebe ekonomiškai bus leisti pinigais senai struktūrai, kuri turi iš anksto nustatytą gyvavimo laiką. Tokie skaičiavimai galioja tik tam tikram laikui, vietai ir aplinkybėms. Atnaujinant kiekvieną nusidėvėjusią pastato dalį, viso pastato gyvavimo laikas gali būti gerokai pratęstas. (Mills 1994).

Dažnai keliamas klausimas, ar tikslingiau nugriauti seną pastatą ir pastatyti naują, ar jį rekonstruoti. Tyrimų rezultatai rodo, kad pastatų rekonstrukcija yra priimtinesnė alternatyva ir energetiniu, ir aplinkosauginiu požiūriu (Dong *et al.* 2005; Erlandsson and Levin 2005; Power 2008). Pastato rekonstrukcija yra ekonomiškai priimtinesnė nei naujo pastato statyba – rekonstruoti pastatą kainuoja 20–30 % pigiau nei pastatyti naują (UAB „SISTELA“ 2007).

Vienas iš principinių pastato atkūrimo privalumų yra tas, kad daugeliu atvejų naujas būstas bus sukurtas daug greičiau. Pastato atnaujinimas trunka trumpiau nei nugriovimas, vietos išvalymas ir naujo pastato statyba, nebent reikalingi esminiai pokyčiai ir taisymai. Susijusios išlaidos taip pat bus mažesnės, nes dauguma elementų jau egzistuoja. Dar vienas privalumas (socialinis) – išsaugomos žmonių bendruomenės. (Mills 1994).

Pastatams keliami 6 esminiai reikalavimai statiniui ir nė vieno iš jų negalima atsisakyti. Pirmi 5 reikalavimai nesusiję su ekonominiu atsiperkamumu ir dėl

ekonominių prižasčių jų pažeisti negalima. Atitikties šiems reikalavimams išlaidos priklausys nuo priimtų sprendimų ir pasirinktų technologinių priemonių kainos.

6-asis esminis reikalavimas statiniui (energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo) susijęs ne su saugumu ir sveikata, o daugiau su darniu vystymusi. Darnus vystymasis ir globalinių problemų sprendimas taip pat susijęs su negrįžtamomis investicijomis. Todėl 6-ojo esminio reikalavimo statiniui vertinime ekonomika taip pat neturėtų užimti išskirtinės vietos. Ekonominiai kriterijai nėra vieninteliai, kai vertinamos darniu vystymusi besiremiančios techninės sistemos.

Apibendrinant galima teigti, kad pastatų modernizavimas yra naudingas, o tendencijos, kai iš pastatų modernizavimo laukiama tik ekonominės naudos, yra žalingos. Atsižvelgiant į tai, kas išdėstyta, tenka konstatuoti, kad nors pastatų modernizavimo svarba teoriškai pripažįstama, tačiau trūksta pastatų modernizavimo naudos vertinimo kriterijų sprendimus priimantiems asmenims.

## 2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Nors pirminė pastato funkcija yra užtikrinti tinkamas mikroklimato ir vidaus oro kokybės sąlygas jo naudotojams, pastatų energinis naudingumas vaidina svarbų vaidmenį globalinių problemų (klimato kaitos, senkančių energijos išteklių, energetinės priklausomybės) sprendime. Todėl pastatų sektorius turi būti orientuojamas į darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimą, o esamų pastatų naudojimas ir priežiūra negali apsiriboti tik pirminės (statybos metu skurtos) pastato kokybės išlaikymu.
2. Naujų pastatų skaičius auga, taip pat kaip ir reikalavimai pastatų energiniam naudingumui, tačiau yra daug daugiau senų pastatų, kuriuos reikia modernizuoti. Todėl siekiant darnaus vystymosi tikslų, lemiamą vaidmenį vaidins esami pastatai ir sugebėjimas padidinti šių pastatų energinį naudingumą.
3. Šiuo metu praktikoje pastato modernizavimo poreikio vertinimas remiasi fizinio nusidėvėjimo ir ekonominiais kriterijais. Tačiau pagal tai, kaip formuluojami politiniai tikslai, akivaizdu, kad nepakanka vadovautis tradiciniais ekonominiais kriterijais, kai vertinamas pastatų modernizavimas. Pastatų modernizavimas yra naudingas energetiniu, aplinkosauginiu ir socialiniu požiūriu, o tendencijos, kai iš pastatų modernizavimo laukiama tik ekonominės naudos, yra žalingas ir stabdo pastatų modernizavimo procesą. Todėl pastatų modernizavimo patrauklumui didinti sprendimus priimantiems asmenims reikalingi alternatyvūs kriterijai.



4. Darnus vystymasis ir globalinių problemų sprendimas yra susijęs su negrįžtamomis investicijomis. Todėl 6-ojo esminio reikalavimo statiniui (energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo) vertinime ekonomika neturėtų užimti išskirtinės vietos. Be ekonominių kriterijų, pagrindiniai kriterijai, lemiantys suinteresuotų grupių sprendimą investuoti į pastatų modernizavimą, yra šiluminio komforto padidėjimas, energijos vartojimo sumažėjimas, emisijų sumažėjimas, pastato nusidėvėjimo sumažinimas ir vertės padidinimas.



---

## Pastato modernizavimo vertinimo modelio sudarymas

Šiame skyriuje pateikiamas darbe sukurtas pastato atitvarų ir mikroklimate bei oro kokybę palaikančių sistemų modernizavimo vertinimo modelis (toliau – Modelis) (Užšilaitytė 2009, 2010; Užšilaitytė ir Martinaitis 2010a).

Teorinio tyrimo tikslas – žinių sintezės procese išskirti reikšmingus ryšius tarp nagrinėjamo objekto ir jį supančios aplinkos, aiškinti ir apibendrinti empirinio tyrimo rezultatus, nustatyti bendrus dėsningumus ir juos formalizuoti (Губанов *et al.* 1988). Darbe atliekamas teorinis tyrimas naudojant atvejo studijos tyrimo metodą.

Atvejo studija, kaip tyrimo strategija, naudojama daugeliu atveju siekiant prisidėti prie turimų žinių apie individualius, grupinius, organizacinius, socialinius, politinius ir kitus susijusius reiškinius. Atvejo studija yra plačiai taikoma tyrimų strategija psichologijoje, sociologijoje, politikos moksluose, socialiniame darbe, versle ir planavime. Šis tyrimo metodas leidžia išlaikyti tikroviškų reiškinių – atskirų gyvavimo ciklų, organizacinių ir valdymo procesų, tarptautinių santykių, pramonės brendimo – holistines ir reikšmingas charakteristikas. (Yin 2003).

Mokslininkas Robert K. Yin apibrėžia atvejo studijos tyrimo metodą kaip empirinį tyrimą, kuris ištiria šiuolaikinių reiškinių jo tikroviškumo kontekste, kai ribos tarp reiškinio ir konteksto nėra akivaizdžios ir kuriame naudojami įvairūs

įrodymų šaltiniai. Atvejo studijos tyrimo metodas suteikia supratimą apie sudėtingus dalykus arba objektus ir gali išplėsti patirtį arba pridėti vertės tam, kas jau yra žinoma iš ankstesnių tyrimų. Atvejo studija akcentuoja detalią įvykių, sąlygų ir jų sąryšių konteksto analizę. (Yin 2003).

Apskritai atvejo studija kaip mokslinio tyrimo strategija naudojama, kai keliami klausimai „kodėl“ ir „kaip“, kai tyrinėtojas nedaug arba iš viso nekontroliuoja įvykių ir kai koncentruojamasi ties tuometiniu reiškiniu tikroviškumo kontekste. Pagrindinis atvejo studijos skirtumas nuo eksperimento yra tas, kad eksperimento metu tyrėjas kontroliuoja nagrinėjamus procesus. (Yin 2003).

Atvejo studijos tyrimas dalijamas į 6 etapus: tyrimo klausimo nustatymas ir apibrėžimas, atvejų pasirinkimas ir duomenų rinkimo bei analizės technikų nustatymas, pasiruošimas duomenų rinkimui, duomenų surinkimas, duomenų įvertinimas bei analizė ir ataskaitos parengimas. (Yin 2003).

Šiame darbe nagrinėjamas sudėtingos sistemos – pastato – gyvavimo ciklas, keliant klausimą, kaip modernizavimas paveikia pastato aplinką. Pastatą kaip sistemą ir jo gyvavimo ciklą tyrinėti eksperimentų pagrindu sudėtinga ir praktiškai neįmanoma. Tokie tyrimai yra teoriniai, tačiau paremti dideliu kiekiu praktinės informacijos, todėl tai nemažina šių tyrimų praktinės vertės.

Pirmajame poskyryje aprašoma principinė Modelio schema, antrajame pateikiamas pastato technologinio gyvavimo ciklo Modelio komponentas, trečiajame – energetinio gyvavimo ciklo Modelio komponentas, ketvirtajame – aplinkosauginio gyvavimo ciklo Modelio komponentas, penktajame – sprendimo priėmimo procesas.

### **3.1. Principinė pastato modernizavimo vertinimo modelio schema**

Vienas iš darbo uždavinių yra sudaryti pastato atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo vertinimo modelį. Matematinis modelis sudaromas vadovaujantis sisteminės analizės principais ir taikant vieną iš sisteminės analizės sričių – gyvavimo ciklo analizę. Sprendimų priėmimui naudojamas daugiakriterinės analizės metodas.

Siūlomas Modelis remiasi ilgalaikio pastato vertės išlaikymo koncepcija, kai vykdant nuolatinę sistemingą pastato priežiūrą, išlaikoma tinkama pastato fizinė ir moralinė vertė. Nuolatinės pastato priežiūros sistemos svarbus komponentas yra modernizavimas. Modernizavimo metu kompleksiskai atkuriamą pastato fizinė ir moralinė vertė bei didinamas energinis pastato naudingumas.

Modernizavimas yra pasikartojantis pastato gyvavimo ciklo tarpsnis, kurio dažnumas ir apimtis priklauso nuo daugelio veiksnių – pastato naudotojų ir valdytojų poreikių, jų finansinių galimybių vykdyti modernizavimo darbus, pastato

paskirties, pastato fizinio ir moralinio nusidėvėjimo tempo ir lygmens tam tikru laiko momentu ir t. t. Siekiant išlaikyti tam tikro lygmens pastato fizinę ir moralinę vertę, minimizuoti pastato energijos sąnaudas ir dėl pastato naudojimo keliamą aplinkos taršą, užtikrinti atitinkamą komforto lygį pastate, pastato modernizavimas turėtų būti iš anksto planuojamas ir vykdomas tam tikrais laiko intervalais.

Todėl pagrindiniu rodikliu, vertinant modernizavimo poreikį ir apimtį pastato gyvavimo ciklo laikotarpiu, pasirenkamas pastato modernizavimo periodiškumas. Pastato modernizavimo periodiškumas yra integralus pastato modernizavimo intensyvumo rodiklis. Pastato gyvavimo ciklas apibrėžiamas laiko matavimo vienetais, tačiau pastato modernizavimo periodiškumas apima platesnę sąvoką nei tik metų skaičius. Modernizavimo periodiškumas yra svarbiausias, didžiausią įtaką pastato energijos vartojimo pokyčiui turintis veiksmas. Jo turinys yra kompleksinis.

Šiame darbe, vertinant pastatų modernizavimo periodiškumą, siūloma vadovautis ne ekonominiais (ekonominis kriterijus siūlomas tik kaip pagalbinis kriterijus, priimant, sprendimus), o energijos išsaugojimo ir taršos mažinimo kriterijais. Taigi, pastato modernizavimo periodiškumą siekiama nustatyti atsižvelgiant ne į mažiausių išlaidų principą, o į mažiausių energetinių sąnaudų ir mažiausio poveikio aplinkai per pastato gyvavimo ciklą principą. Taip pat įvedamas technologinės pažangos ir valstybinio reguliavimo vertinimas, t. y. per pastato gyvavimo ciklą pastato energinio naudingumo charakteristikos yra kintamos, o ne pastovios.

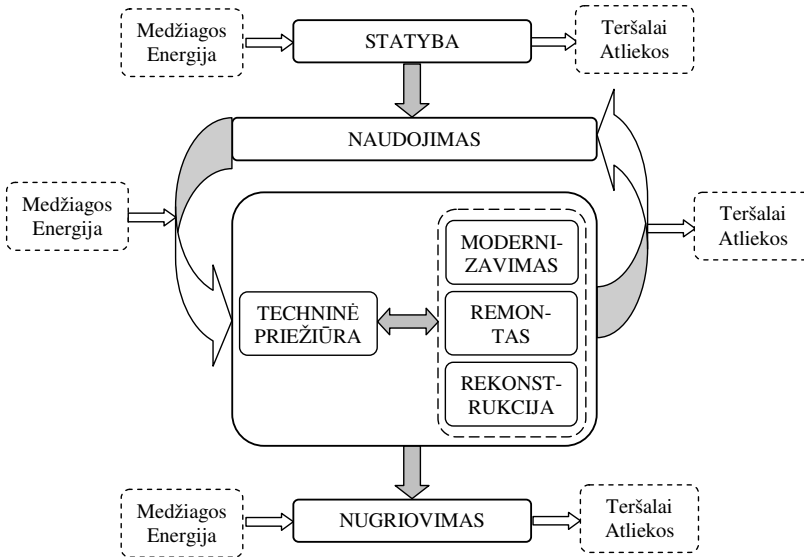
Modelio paskirtis – įvertinti pastato modernizavimo periodiškumo įtaką pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudoms ir susidarantių šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiams bei fizinės būklės kitimui.

Modelis gali būti naudojamas pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudoms ir šiltnamio dujų emisijų kiekiams bei fizinės būklės kitimui vertinti, nagrinėjant įvairius pastato modernizavimo variantus periodiškumo ir apimčių atžvilgiu.

Pasirinkti vertinimo kriterijai apima technologinius, energetinius ir aplinkosauginius aspektus. Todėl Modelyje pastato gyvavimo ciklas dalinamas į technologinį, energetinį ir aplinkosauginį ciklus, vėliau sujungiant juos sprendimų priėmimui. Pirmiausia sudaromas technologinis pastato gyvavimo ciklas, kuriame nustatomos nagrinėjamos pastato dalys ir elementai, nustatomi dalių ir elementų gyvavimo trukmių intervalai, parenkamas jų nusidėvėjimo pobūdis. Sudarius technologinį pastato gyvavimo ciklą, gaunami pastato modernizavimo atlikimo laiko intervalai. Gautame intervale naudojant energetinį ir aplinkosauginį Modelio komponentus atliekami pasirinktų vertinimo kriterijų skaičiavimai.

3.1 paveiksle pateikta pastato gyvavimo ciklo schema. Pagrindiniai pastato gyvavimo ciklo tarpsniai yra pastato statyba, naudojimas ir priežiūra, apimanti pastato techninę priežiūrą, remontą, rekonstrukciją ir modernizavimą bei nugri-

vimas. Pastato naudojimas ir priežiūra yra tęstiniai pastato gyvavimo laiko tarpiniai. Techninė pastato priežiūra vykdoma nuolat. Remontas, rekonstrukcija, modernizavimas yra kas tam tikrą laikotarpį pasikartojantys pastato priežiūros darbai.



**3.1 pav.** Pastato gyvavimo ciklo schema  
**Fig. 3.1.** Scheme of building life cycle

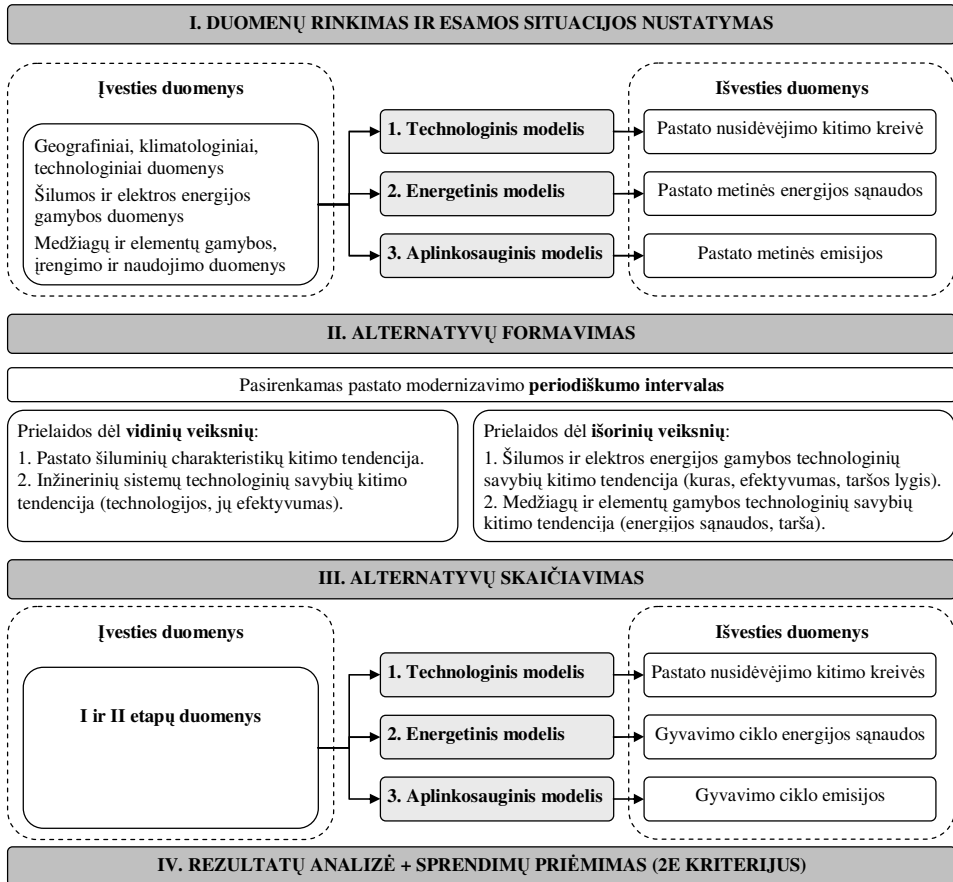
Pastato statyba šiame darbe suprantama ne tik kaip veiksmas statybos aikštelėje, bet kaip visi veiksmai, atlikti iki statybinių medžiagų, pastato dalių ir elementų atvežimo į statybos aikštelę – žaliavų išgavimas, medžiagų, elementų, dalių gamyba ir transportavimas.

Pagrindinis pastato techninės priežiūros, remonto, rekonstrukcijos, modernizavimo tikslas yra išlaikyti, atkurti, pagerinti pastato charakteristikas, blogėjančias dėl pastato naudojimo arba nebeatitinkančias naudotojų poreikių.

Šiame darbe nagrinėjamas pastato modernizavimas, kuris pagal savo prasmę ir apimtį apima ir remonto, ir rekonstrukcijos darbus. Esminis skirtumas tarp pastato remonto / rekonstrukcijos ir modernizavimo yra tas, kad pastato modernizavimas apima pastato energinių savybių gerinimo darbus. Tuo tarpu, vykdant pastato remontą ar rekonstrukciją, pastato energinės savybės nebūtinai bus gerinamos.

Kiekviename pastato gyvavimo ciklo tarpsnyje vyksta įeities (medžiagos energija (energijos ištekliai, kuras, energija) ir išeities srautai (atliekos, teršalai), kurie gali būti įvertinti kiekybiškai.

Modelio principinė schema pateikta 3.2 paveiksle. Pastato modernizavimo vertinimas susideda iš 4 etapų.



**3.2 pav.** Pastato modernizavimo vertinimo modelio principinė schema  
**Fig. 3.2.** Principal scheme of building modernisation assessment model

I etape („Duomenų rinkimas ir esamos situacijos nustatymas“) atliekama pasirinkto pastato analizė. Surenkami duomenys apie pastatą – geometriniai, geografiniai, klimatologiniai duomenys, pastato pasyviųjų ir aktyviųjų techninių sistemų charakteristikos, medžiagų ir elementų gamybos ir įrengimo duomenys. Jei pastatas jau yra naudojamas – renkami duomenys apie jo remonto ir rekonstrukcijos datas ir įvykdytus darbus. Surinkus reikiamus duomenis atliekami skai-

čiavimai, nustatomi pastato nusidėvėjimo lygis, metinės energijos sąnaudos ir emisijos.

II etape („Alternatyvų formavimas“) atliekama aplinkos analizė ir suformuojamos prielaidos bei alternatyvos. Atsižvelgiant į pastato nusidėvėjimo kitimo kreivę, parenkami pirminiai pastato modernizavimo periodiškumo intervalai. Atliekant aplinkos analizę, prognozuojama / daromos prielaidos dėl technologinės pažangos, susijusios su pastatų aprūpinimo energija sistemos atskiromis sistemomis. Vertinama išorinių ir vidinių veiksnių technologinė pažanga.

Vidiniai veiksniai yra paties pastato konstrukciniai ir inžineriniai elementai, kurie kinta laikui bėgant priklausomai nuo technologinės pažangos. Tai pastato atitvarų šiluminės charakteristikos, kurioms daro įtaką kintančios normos, ir inžinerinių sistemų efektyvumas, kuriems įtaką daro technologinė pažanga.

Išoriniai veiksniai yra į pastatą tiekiamos energijos sistemų charakteristikos. Tai energijos transportavimo efektyvumas, energijos gamybos šaltinių efektyvumas, kurioms turi įtakos norminis reguliavimas ir technologinė pažanga.

III etape („Alternatyvų skaičiavimas“) atliekami alternatyvų skaičiavimai pagal tolimesniuose poskyriuose pateikiamus atskirų modelio komponentų (technologinio, energetinio, aplinkosauginio) aprašus.

IV etape („Rezultatų analizė + Sprendimų priėmimas (2E kriterijus)“) analizuojami skaičiavimų rezultatai.

## 3.2. Pastato technologinio gyvavimo ciklo modelis

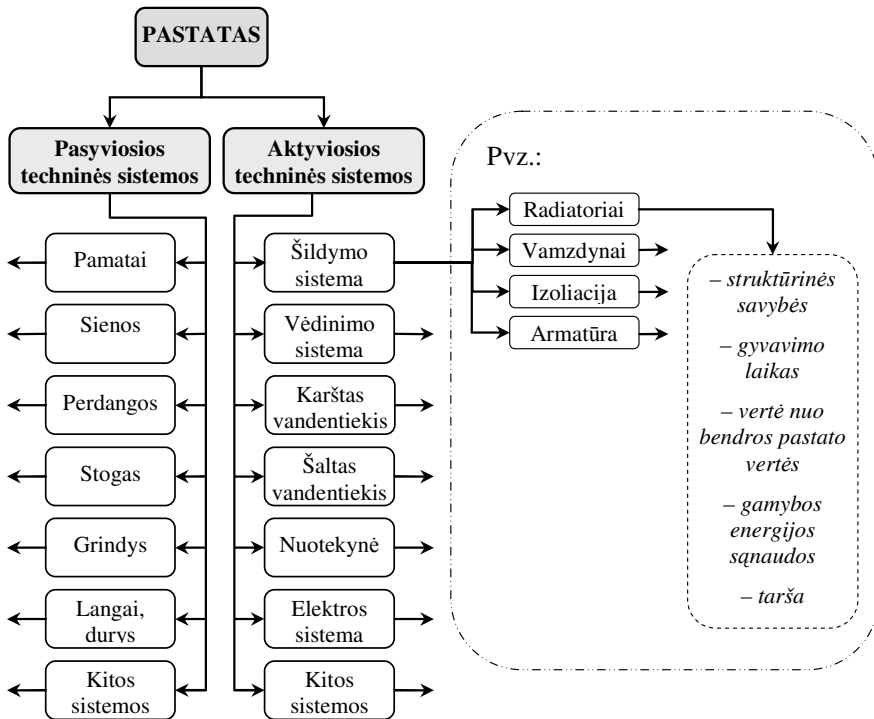
Technologinis pastato gyvavimo ciklas apima pastato ir atskirų jį sudarančių dalių bei elementų fizinės vertės kitimą. Norint sudaryti pastato technologinį modelį, reikia išnagrinėti pastato konstrukciją, jį sudarančias technines sistemas, identifikuoti pastato dalis ir elementus, nustatyti jų technologines savybes, pastato, jo dalių ir elementų gyvavimo laikotarpius ir pastato dalių ir elementų nusidėvėjimo dėsningumus. Atlikus šią analizę, nustatomas pastato vertės kitimas, modernizavimo dažnumo poreikis.

Modelio sudarymo eiga sąlyginai dalinama į tris etapus.

Pirmasis etapas. Pradedant formuoti pastato technologinį modelį, pastatą reikia suskirstyti į nagrinėjamas struktūrines dalis (žr. 3.3 pav.). Pastatas yra sudarytas iš dalių (atskiros energetiškai pasyvosios ir aktyviosios techninės sistemos), o šios iš atskirų elementų (pvz., šildymo sistemą sudaro vamzdiniai, šilumos izoliacija, armatūra ir t. t.). Elementai gali būti dalijami dar detaliau. Technologinio modelio detalumas priklauso nuo keliamų tikslų ir sprendžiamų uždavinių.



Antrasis etapas yra pastato ir jo struktūrinių dalių gyvavimo trukmės nustatymas.



**3.3 pav.** Pastato struktūrinė schema  
**Fig. 3.3.** Building structural scheme

Pastato gyvavimo trukmė – 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).

Pastato struktūrinių dalių gyvavimo trukmė yra normuojama. Struktūrinės dalys turi dvi gyvavimo trukmes – gyvavimo trukmė ir naudojimo iki rekonstravimo minimali trukmė. Kai kurioms pastato struktūrinėms dalims šios trukmės yra lygios. Kai kurioms – naudojimo iki rekonstravimo minimali trukmė yra trumpesnė už gyvavimo trukmę. Šias struktūrines dalis, pasibaigus naudojimo iki rekonstravimo minimaliaisiais trukmei, būtina remontuoti arba rekonstruoti (Aplinkos ministerija ir VŠĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002).

Pastato gyvavimo trukmė yra normuojama, pvz., Lietuvoje nustatoma pagal STR Gyvavimo trukmės (STR 1.12.06:2002). Šiame darbe pastato dalių ir ele-

mentų gyvavimo trukmės nustatomos pagal Aplinkos ministerijos rekomendacijas ir standartą LST EN 15459 (Aplinkos ministerija ir VŠĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002; LST EN 15459:2008).

Trečiasis etapas – statinio dalių ir elementų nusidėvėjimo dėsningumo parinkimas. Nusidėvėjimo kitimo pobūdį galima išreikšti matematine funkcija. Šią funkciją tiksliai galima rasti tik pasinaudojus statistiniais stebėjimų duomenimis. Kitas būdas – tiriamo statinio dalies ar elemento būsenos vizualus įvertinimas. Šiame darbe naudojamos grafinės (BCH 53-86 (p)) ir analitinės (Martinaitis ir Rogoža 2001) funkcijos, kurios išreiškia pastato likutinę vertę (atvirkščias dydis nusidėvėjimui). Statinio dalies arba elemento nusidėvėjimas  $P$  (%) apskaičiuojamas:

$$P = \frac{I}{b} \left[ a - \ln \left( \frac{U \cdot RL + c}{T + d} - I \right) \right], \quad (8)$$

čia  $U$  – statinio dalies arba elemento gyvavimo trukmė, metais;  $RL$  – rekonstrukcijos arba remonto laipsnis, kuris nurodo kokią pradinės vertės dalį pasiekė pastato dalis ar elementas po rekonstrukcijos ar remonto;  $T$  – esama statinio dalies ar elemento naudojimo trukmė, metais;  $a$ ,  $b$  – funkcijos apribojimų koeficientai. Šie koeficientai nustato funkcijos galiojimo ribas, t. y. ekstremalius nusidėvėjimo kreivės taškus. Šie taškai yra nustatyti pagal dvi sąlygas:

kai  $T = 0$ , tai  $P = 0$  (minimumo sąlyga);

kai  $T = U$ , tai  $P = 100$  (maksimumo sąlyga).

Esant šioms sąlygoms  $a$  ir  $b$  koeficientai išreiškiami tokiomis lygtimis:

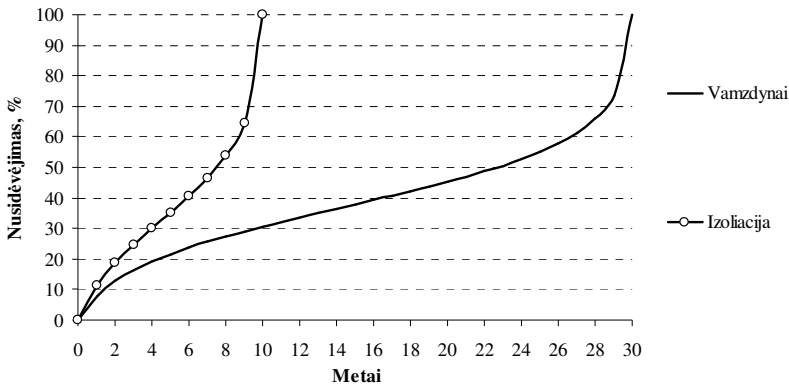
$$a = \ln \left( \frac{U \cdot RL + c - d}{d} \right), \quad (9)$$

$$b = \frac{0,01}{RL} \left[ a - \ln \left( \frac{c - d}{U \cdot RL + d} \right) \right], \quad (10)$$

čia  $c$ ,  $d$  – funkcijos proporcingumo koeficientai. Šie koeficientai apsprendžia nusidėvėjimo kreivės simetriškumą, t. y. kai jų santykis  $d / c = 0,5$  kreivė yra simetriška. Šiuos dydžius galima keisti ir parinkti tinkamą jų proporciją nagrinėjamai statinio daliai (elementui). Kadangi šie koeficientai įeina į matematinę lygtį, jiems taikomi apribojimai:

$$c > 0, d > 0, c > d. \quad (11)$$

3.4 paveiksle kaip pavyzdys pateiktos šildymo sistemos vamzdynų ir izoliacijos nusidėvėjimo kitimo kreivės, kai vamzdynų gyvavimo laikas priimamas 30 metų, o šilumos izoliacijos – 10 metų.



3.4 pav. Šildymo sistemos vamzdynų ir izoliacijos nusidėvėjimo kitimas

Fig. 3.4. Deterioration trend of heating system piping and insulation

Atvirksčias nusidėvėjimui dydis yra pastato dalies arba elemento likutinė vertė  $V$  (%):

$$V = 100 - P. \quad (12)$$

Visos pastato dalys bei dalių elementai nėra vienodi pagal jų svarbą pastatui keliamiems reikalavimams ir jo funkcinei paskirčiai. Svarbai išreikšti yra įvedami svorio koeficientai, kurie vieneto dalimis įvertina pastato dalies svarbą visam pastatui arba elemento svarbą pastato daliai. Pastato dalių svorio koeficientų suma lygi vienetui. Kadangi nėra būdo, kaip nustatyti fizinės atskiro pastato elemento ar dalies svarbą, šiame darbe, kaip ir kituose darbuose, ji nustatoma pagal pastato ir jo elementų bei dalių kainas. Pastato dalies svorio koeficientas pagal pradinę kainą parodo jo kainos santykį su visų dalių, kurie priklauso vienam statiniui, kaina.

Turint kiekvienos konstrukcinės dalies nustatytus svorio koeficientus, jų pagalba galima apskaičiuoti pastato dalies arba viso pastato likutinę vertę:

$$V_E = V_1 \cdot SK_1 + V_2 \cdot SK_2 + \dots + V_n SK_n, \quad (13)$$

čia  $V_E$  – pastato dalies (ar viso pastato) likutinė vertė, %;  $V_n$  –  $n$ -tojo elemento (ar pastato dalies) likutinė vertė, %;  $SK_n$  –  $n$ -tojo elemento (ar pastato dalies) svorio koeficientas, vieneto dalimis.

Atlikus skaičiavimus, gaunamas pastato likutinės vertės pasiskirstymas.

Pastato nusidėvėjimas yra dalijamas į tam tikrus lygius. Pastato nusidėvėjimo lygiai (Bojko *et al.* 1993):

- 0–20 % – mažas nusidėvėjimas;
- 20–40 % – pažeidimai;

- 40–70 % – irimas, griuvimai;
- 70–100 % – visiškas nusidėvėjimas.

Žinant esamame pastate atliktų rekonstrukcijų ir remontų datas, galima nustatyti faktinę pastato likutinę vertę, įvertinti modernizavimo apimties tikslingumą ir planuojamo modernizavimo įtaką pastato likutinei vertei.

Naudojantis technologiniu pastato gyvavimo ciklo modeliu galima atsakyti į klausimą, kiek statinys yra nusidėvėjęs bet kuriuo jo naudojimo momentu ir kiek numatomi atlikti darbai padidintų jo vertę.

Pastato likutinės vertės pasiskirstymo grafinis modelis kiekvienam individualiam pastatui gali skirtis, priklausomai nuo pastato sudėtinių dalių ir jų elementų.

Technologinio pastato gyvavimo ciklo modelio pagalba nustatomas tikslingas pastato modernizavimo periodiškumo intervalas, užtikrinantis, kad pastato gyvavimo laikotarpiu pastato nusidėvėjimas atitiktų priimtinas vertes.

### 3.3. Pastato energetinio gyvavimo ciklo modelis

Energetinis pastato gyvavimo ciklo modelis sudaromas vadovaujantis bendraisiais gyvavimo ciklo analizės principais – siekiama įvertinti visus per pastato gyvavimo ciklą pastato atitvarose ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančiose sistemose susidarantiems energijos srautams.

Šiame darbe vertinamas pastato statybos (visų pastato techninių sistemų sukūrimui ir įrengimui reikalingas pirminės energijos kiekis), naudojimo (šildymui, karštam vandeniui ruošti ir vėdinimui reikalingas pirminės energijos kiekis) ir modernizavimo tarpsniai (šildymo, karšto vandens ir vėdinimo sistemų sukūrimui ir įrengimui, atitvarų modernizavimui reikalingas pirminės energijos kiekis).

Pastato remonto tarpsnis yra nenagrinėjamas, darant prielaidą, kad šio tarpsnio indėlis į bendras pastato gyvavimo ciklo sąnaudas bus nežymus. Pastato nugriovimo tarpsnis nenagrinėjamas, darant prielaidą, kad pastato gyvavimo laikas, pasibaigus jo norminiam gyvavimo laikui gali būti toliau pratęstas.

Energetinis pastato gyvavimo ciklas parodo pirminės energijos suvartojimą per pastato gyvavimo laiką, įvertinant pastate susidarantiems energijos srautams – kuro, šilumos ir elektros energijos suvartojimą pastato šildymui, vėdinimui, karšto vandens ruošimui, o taip pat pastato dalių ir elementų bei jų medžiagų gamybai, transportavimui ir įrengimui.

### 3.3.1 Bendrųjų pastato energijos sąnaudų skaičiavimas

Bendrąsias pastato energijos sąnaudas  $BES$  (MWh) per jo gyvavimo ciklą sudaro pirminė energija, sunaudota aktyviųjų ir pasyviųjų techninių sistemų įrengimui, jų priežiūrai, remontui ir rekonstrukcijai (įkūnytoji energija  $I\dot{E}S$  (MWh)) ir pastato naudojamoji energija  $NES$  (MWh), sunaudota aktyviosiose techninėse sistemose:

$$BES_n = \sum_{i=1}^n I\dot{E}S_i + \sum_{i=1}^n NES_i, \quad (14)$$

čia  $n$  – pastato amžius (arba nagrinėjamas pastato gyvavimo laikotarpis), metais;  $i$  – skaičiuojamieji metai.

Įkūnytosios energijos sąnaudas sudaro pirminė energija, sunaudota pastato statybai ir modernizavimui:

$$I\dot{E}S_i = I\dot{E}S_0^{st} + I\dot{E}S_i^{mod}, \quad (15)$$

čia  $I\dot{E}S_0^{st}$  – pastato statybos tarpsnyje atskiroms pastato dalims, elementams pagaminti, transportuoti ir įrengti sunaudotas pirminės energijos kiekis, MWh. Tai vienkartinė vertė, įgyjanti reikšmę pastato pastatymo metais;

$I\dot{E}S_i^{mod}$  – pastato modernizavimui reikalingiems elementams pagaminti, transportuoti ir įrengti sunaudojamas pirminės energijos kiekis, MWh. Tai pasikartojanti vertė, įgyjama kas tam tikrą laiko intervalą. Atliekant teorinius skaičiavimus, ši vertė gali būti apskaičiuojama, o norint nustatyti faktinę vertę, reikia registruoti pastato modernizavimo metu sunaudojamą energijos kiekį.

Įkūnytosios energijos sąnaudų skaičiavimas yra sudėtingas uždavinys, nes paprastai sudėtinga gauti reikalingus duomenis, ypač pastato naudojimo ir priežiūros tarpsnio metu. Tačiau tik atliekant tokius skaičiavimus, galima gauti tikruosius pastato gyvavimo ciklo rezultatus.

Įkūnytosios energijos sąnaudos svarbesnę reikšmę įgyja projektuojant mažai energijos naudojančius ir efektyvesnius pastatus. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimas leidžia sumažinti eksploatacines energijos sąnaudas. Tačiau sukurti ir įgyvendinti šias priemones reikalinga energija (įkūnytoji energija). Kuo pastato energinis naudingumas labiau gerinamas, tuo daugiau energijos tam bus sunaudota.

Pastato naudojamosios energijos sąnaudas sudaro kuro, sunaudoto pastatui reikalingos šilumos ir elektros energijos gamybai, energetinė vertė:

$$NES_i = NES_i^{el} / (\eta_i^{eg} \cdot \eta_i^{et}) + NES_i^{\dot{s}} / (\eta_i^{\dot{s}g} \cdot \eta_i^{\dot{s}t}), \quad (16)$$

čia  $NES_i^{el}$  – metinis elektros energijos suvartojimas šildymui, vėdinimui ir karštam vandeniui ruošti pastate, MWh;  $\eta_i^{eg}$  – metinis elektros energijos to meto gamybos efektyvumo koeficientas, vieneto dalimis;  $\eta_i^{et}$  – metinis elektros energijos to meto transportavimo efektyvumo koeficientas, vieneto dalimis;  $NES_i^s$  – metinis šilumos energijos suvartojimas šildymui, vėdinimui ir karštam vandeniui ruošti pastate, MWh;  $\eta_i^{sg}$  – metinis šilumos to meto gamybos efektyvumo koeficientas, vieneto dalimis;  $\eta_i^{st}$  – metinis šilumos to meto tiekimo efektyvumo koeficientas, vieneto dalimis.

Paprastai atliekamos pastatų gyvavimo ciklo analizėse pastato metinės naudojamosios energijos sąnaudos priimamos pastovios ir dauginamos iš nagrinėjamo laikotarpio trukmės. Šiame modelyje pastato metinės naudojamosios energijos sąnaudos vertinamos kaip kintamos, atsižvelgiant į tai, kad pastato energinis naudingumas po kiekvieno modernizavimo etapo keisis ir šilumos, ir elektros energijos gamybos, ir transportavimo efektyvumas keisis, atsižvelgiant į technologinę pažangą ir valstybiniu lygmeniu keliamus energetikos sektoriaus plėtros tikslus.

Naudojantis pateiktu modeliu skaičiuojamos nagrinėjamo pastato bendrosios energijos sąnaudos, esant skirtingiems pastato modernizavimo periodiškumams. Priimtinausia alternatyva energetiniu požiūriu yra ta, kurios skaičiuojamojo laikotarpio gyvavimo ciklo bendrosios energijos sąnaudos yra mažiausios.

### 3.3.2. Pastato įkūnytųjų energijos sąnaudų skaičiavimas

Pastato įkūnytųjų energijos sąnaudos skaičiuojamos atskirai pastato statybos ir modernizavimo tarpsniams.

Skaičiuojant pastato įkūnytųjų energijos sąnaudas, pastatas analogiškai kaip technologiniame modelyje dalijamas į atskiras dalis ir elementus ar dar detaliau.

Kiekvienam elementui pagaminti sunaudojamas tam tikras energijos kiekis, tuomet jis transportuojamas į pastato teritoriją ir įrengiamas, kam taip pat sunaudojamas tam tikras energijos kiekis.

Vertinamos energijos sąnaudos pastato elementų gamybai, jų transportavimui į pastato teritoriją ir įrengimui:

$$IES_i^{st/m} = \sum_{j=1}^m EGES_j^{st/mod} + \sum_{j=1}^m TRES_j^{st/mod} + \sum_{j=1}^m IRES_j^{st/mod}, \quad (17)$$

čia  $\sum_{j=1}^m EGES_j^{st/mod}$  – energijos sąnaudos elemento  $j$  gamybai, MWh;

$\sum_{j=1}^m TRES_j^{st/mod}$  – energijos sąnaudos elemento  $j$  transportavimui, MWh;

$\sum_{j=1}^m IRES_j^{st/mod}$  – energijos sąnaudos elemento  $j$  įrengimui, MWh.

Siekiant apskaičiuoti energijos sąnaudas, nustatoma atskirų elementų ar juos sudarančių medžiagų kiekiai  $M$  (t, kg,  $m^3$ , vnt.), šių elementų ar medžiagų gamybos energijos sąnaudų rodikliai  $\kappa_{eg}$  (kWh/kg, kWh/ $m^3$ ), energijos sąnaudų transportavimui rodikliai  $\kappa_{tr}$  (kWh/tkm) ir transportavimo atstumas  $l$ , energijos sąnaudos elemento įrengimui  $\kappa_{ir}$  (kWh/vnt, kWh/kg, kWh/ $m^3$ ):

$$EGES_j = M_j \cdot \kappa_j^{eg}, \quad (18)$$

$$TRES_j = M_j \cdot l_j \cdot \kappa_j^{tr}, \quad (19)$$

$$IRES_j = M_j \cdot \kappa_j^{ir}. \quad (20)$$

### 3.3.3. Pastato naudojamųjų energijos sąnaudų skaičiavimas

Pastato naudojamosios energijos sąnaudas sudaro šilumos energijos sąnaudos pastato šildymui, vėdinimui ir karštam vandeniui ruošti bei elektros energijos sąnaudos pastato šildymo, karšto vandens ir vėdinimo sistemų veikimui.

Pastato bendrosios energijos sąnaudos per jo gyvavimo ciklą priklauso nuo paties pastato energinio naudingumo charakteristikų kitimo jo gyvavimo laikotarpiu ir nuo pastatui nepriklausančių energijos tiekimo sistemų energinio naudingumo charakteristikų – šilumos gamybos šaltinio ir šilumos tiekimo sistemos efektyvumo, elektros energijos gamybos šaltinio ir elektros energijos tiekimo sistemos efektyvumo. Pastato energijos sąnaudas veikiantys veiksniai dalijami į išorinius ir vidinius.

Vidiniai veiksniai tai pastato techninių sistemų bei jų elementų savybės, kurios kinta laikui bėgant priklausomai nuo technologinės pažangos – pastato atitvarų šiluminės charakteristikos, kurioms turi įtakos kintančios normos, inžinerinių sistemų efektyvumas, kurias veikia technologinė pažanga, taip pat ir valstybinis reguliavimas.

Išoriniai veiksniai – į pastatą tiekiamos energijos sistemų charakteristikos – energijos transportavimo efektyvumas, energijos gamybos šaltinių efektyvumas, kuriems daro įtaką technologinė pažanga, taip pat ir valstybinis reguliavimas.

Siekiant apskaičiuoti pastato naudojamosios energijos sąnaudas, sumuojamos metinės energijos sąnaudos. Pastato metinės šilumos energijos sąnaudos skaičiuojamos:

$$NES_i^s = Q_i^{en} + Q_i^v + Q_i^{KV} - Q_i^{hg}, \quad (21)$$

čia  $Q_i^{en}$  – metinis šilumos poreikis nuostoliams per atitvaras padengti, MWh;  $Q_i^v$  – metinis šilumos poreikis nuostoliams dėl vėdinimo padengti, MWh;  $Q_i^{KV}$  – metinis šilumos poreikis karštam vandeniui ruošti, MWh;  $Q_i^{hg}$  – metinis šilumos pritekis į pastatą, MWh.

Pastato metinės elektros energijos sąnaudos skaičiuojamos:

$$NES_i^{el} = \sum Q_i^{vent} + \sum Q_i^s, \quad (22)$$

čia  $Q_i^{vent}$  – metinės elektros energijos sąnaudos ventiliatorių veikimui, MWh;  $Q_i^s$  – metinės elektros energijos sąnaudos siurblių veikimui, MWh.

Elektros energijos sąnaudos ventiliatorių veikimui skaičiuojamos naudojant savitąją ventiliatoriaus galią (*angl. specific fan power*). Savitoji ventiliatoriaus galia – bendra visų oro paskirstymo sistemos ventiliatorių sunaudojama elektros energijos galia, padalinta iš bendro oro debito prie projektinių veikimo sąlygų (LST EN 13779:2007). Metinės elektros energijos sąnaudos ventiliatorių veikimui skaičiuojamos:

$$Q_i^{vent} = P_{SFP} \cdot L \cdot n_{vent} \cdot 10^{-6}, \quad (23)$$

čia  $P_{SFP}$  – savitoji nagrinėjamo ventiliatoriaus galia, W/(m<sup>3</sup>/s);  $L$  – nagrinėjamo ventiliatoriaus oro debitas, m<sup>3</sup>/s;  $n_{vent}$  – ventiliatoriaus veikimo laikas per metus, valandomis.

Elektros energijos sąnaudos siurblių veikimui skaičiuojamos:

$$Q_i^s = \frac{\Delta p_s \cdot V_s}{3600 \cdot \eta_s} \cdot n_s \cdot 10^{-3}, \quad (24)$$

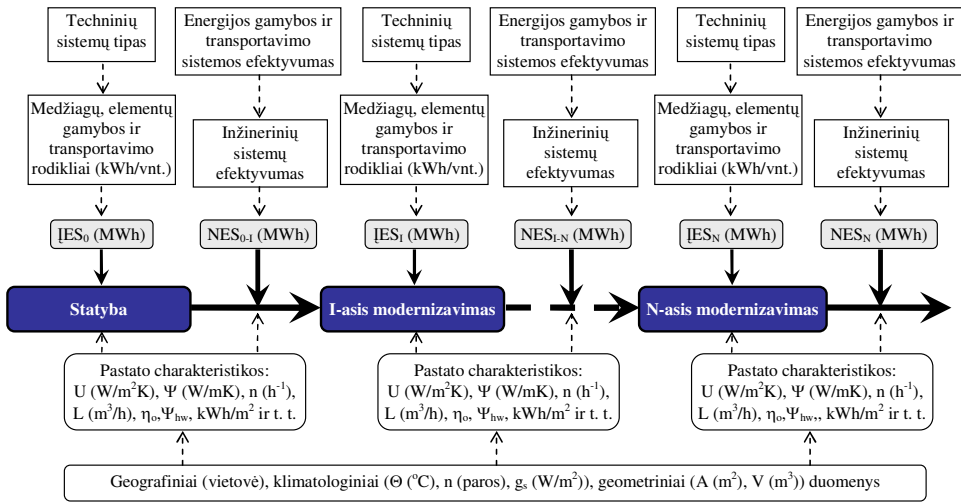
čia  $\Delta p_s$  – sistemos slėgio nuostoliai, kPa;  $V_s$  – nagrinėjamo siurblio tūrinis debitas, m<sup>3</sup>/h;  $\eta_s$  – siurblio efektyvumo koeficientas, vieneto dalimis;  $n_s$  – siurblio veikimo laikas per metus, valandomis.

Pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudų skaičiuojamoji principinė schema pateikta 3.5 paveiksle.

Skaičiavimai atliekami dviem etapais.

Pirmajame etape apskaičiuojamas pradinis pastato energijos suvartojimas pagal statybos metu sukurtas pastato charakteristikas.





3.5 pav. Pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudų principinė skaičiuojamoji schema

Fig. 3.5. Principal computational scheme of building life cycle energy consumption

Antrajame etape atliekamas pastato energijos suvartojimo prognozavimas – daromos prielaidos, kaip ateityje kis reikalavimai pastato atitvaroms, įrenginių efektyvumas, šilumos ir elektros energijos gamybos ir tiekimo sistemų efektyvumas.

Apskaičiavus faktines pastato energijos sąnaudas bei priėmus prielaidas dėl situacijos kitimo ateityje, atliekami pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudų skaičiavimai.

Atsižvelgiant į tai, kad prognozavimas yra susijęs su tam tikra nežinomybe ir rizika pasirinktai alternatyvai, atliekama jautrumo analizė – vertinama, kaip keisis skaičiavimų rezultatai, keičiantis prielaidoms.

### 3.4. Pastato aplinkosauginio gyvavimo ciklo modelis

Aplinkosauginis pastato gyvavimo ciklo modelis sudaromas vadovaujantis bendraisiais gyvavimo ciklo analizės principais – siekiama įvertinti per pastato gyvavimo ciklą dėl nagrinėjamų sistemų funkcionavimo susidarancias šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, įtrauktas į Kioto protokolą, išreikštas anglies dioksido ekvivalentu. Anglies dioksido ekvivalentas – metano (CH<sub>4</sub>), azoto suboksido (N<sub>2</sub>O), hidrofluorangliavandenilių (HFC), perfluorangliavandenilių (PFC), sieros heksafluorido (SF<sub>6</sub>) dujų kiekis, kuris daro tokį patį poveikį klimato kaitai kaip viena tona anglies dioksido (Lietuvos Respublikos Seimas 2009).

### 3.4.1. Bendrųjų pastato emisijų skaičiavimas

Analogiškai energijos sąnaudoms, skaičiuojamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kiekis, susidarantis pastato gyvavimo ciklo metu, išreiškiamas anglies dioksido ekvivalentu. Skaičiuojant anglies dioksido ekvivalentą, atskirų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis dauginamas iš perskaičiavimo koeficiento ( $\text{CO}_2 = 1$ ,  $\text{CH}_4 = 21$ ,  $\text{N}_2\text{O} = 310$ ,  $\text{SF}_6 = 23900$ ,  $\text{HFC} = 140\sim 11700$ ,  $\text{PFC} = 6500\sim 9200$ ) (Intergovernmental Panel on Climate Change 1995).

Bendrašias pastato gyvavimo ciklo emisijas  $BT$  ( $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ ) sudaro dėl naudojamosios energijos sąnaudų susidaranti emisijos  $NT$  ( $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ ) ir pastato statybos bei modernizavimo metu susidaranti emisijos (įkūnytosi emisijos  $IT$  ( $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ )):

$$BT_n = \sum_{i=1}^n IT_i + \sum_{i=1}^n NT_i. \quad (25)$$

Įkūnytąsias emisijas sudaro emisijos, susidaranti pastato statybos ir modernizavimo metu:

$$IT_i = IT_0^{st} + IT_i^{mod}, \quad (26)$$

čia  $IT_0^{st}$  – statybos metu susidaranti emisijos,  $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ ;  $IT_i^{mod}$  – pastato modernizavimo metu susidaranti emisijos,  $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ .

### 3.4.2. Pastato įkūnytųjų emisijų skaičiavimas

Pastato įkūnytosi emisijos skaičiuojamos kiekviename nagrinėjamame pastato gyvavimo ciklo tarpsnyje atskirai – statyba, modernizavimas:

$$IT_i^{st/mod} = \sum_{j=1}^m EGT_j^{st/mod} + \sum_{j=1}^m TRT_j^{st/mod} + \sum_{j=1}^m IRT_j^{st/mod}, \quad (27)$$

čia  $EGT_j$  – statybos, modernizavimo metu susidaranti emisijos dėl elemento  $j$  gamybos,  $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ ;  $TRT_j$  – statybos, modernizavimo metu susidaranti emisijos dėl elemento  $j$  transportavimo,  $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ ;  $IRT_j$  – statybos, modernizavimo metu susidaranti emisijos dėl elemento  $j$  įrengimo,  $\text{tCO}_{2\text{ekv}}$ .

Siekiant apskaičiuoti emisijas, nustatomi atskirų elementų ar juos sudarančių medžiagų kiekiai  $M$  (t, kg,  $\text{m}^3$ , vnt.), nustatomi šių elementų ar medžiagų gamybos emisijų rodikliai  $\tau_j^{eg}$  ( $\text{kgCO}_{2\text{ekv}} / \text{kg}$ ,  $\text{kgCO}_{2\text{ekv}} / \text{m}^3$ ), nustatomi transportavimo emisijų rodikliai  $\tau_j^{tr}$  ( $\text{kgCO}_{2\text{ekv}} / \text{tkm}$ ) ir transportavimo atstumas  $l$ , įrengimo emisijų rodikliai  $\tau_j^{ir}$  ( $\text{kgCO}_{2\text{ekv}} / \text{vnt}$ ):

$$EGT_j = M_j \cdot \tau_j^{eg}; \quad (28)$$

$$TRT_j = M_j \cdot l_j \cdot \tau_j^{lr}; \quad (29)$$

$$IRT_j = M_j \cdot \tau_j^{lr}. \quad (30)$$

### 3.4.3. Pastato naudojimo emisijų skaičiavimas

Pastato naudojimo emisijos skaičiuojamos taip:

$$NT_i = NES_i^{el} / (\eta_i^{eg} \cdot \eta_i^{et}) \cdot \tau_i^{el} + NES_i^{šil} / (\eta_i^{šg} \cdot \eta_i^{št}) \cdot \tau_i^{šil}, \quad (31)$$

čia  $\tau_i^{el}$  – elektros energijos gamybos šaltinio taršos rodiklis, tCO<sub>2ekv</sub>/MWh;  $\tau_i^{šil}$  – šilumos gamybos šaltinio taršos rodiklis, tCO<sub>2ekv</sub>/MWh.

Priimtinausia alternatyva aplinkosauginiu požiūriu yra ta, kurios skaičiuojamojo laikotarpio gyvavimo ciklo bendrosios emisijos yra mažiausios.

Atsižvelgiant į tai, kad prognozavimas yra susijęs su tam tikru neapibrėžtumu, pasirinktai alternatyvai atliekama jautrumo analizė – vertinama, kaip keisis skaičiavimų rezultatai, keičiantis prielaidoms.

## 3.5. Sprendimų priėmimas

Nagrinėjamų pastato modernizavimo alternatyvų galutiniai rezultatai vertinami pagal du kriterijus – bendrąsias pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudas ir bendrąsias pastato gyvavimo ciklo emisijas. Nagrinėjant skirtingas pastato modernizavimo alternatyvas, galutiniam sprendimų priėmimui šiuos kriterijus reikia prioritetizuoti. Tam siūloma naudoti 3E metodiką (Rogoža *et al.* 2006) ją modifikuojant į 2E kriterijų (t. y. atmetama išlaidų dedamoji):

$$2E = e_m \cdot s_e + t_m \cdot s_t, \quad (32)$$

čia  $e_m$  – bedimensinis bendrųjų energijos sąnaudų dydis;  $t_m$  – bedimensinis bendrųjų emisijų dydis;  $s_e$ ,  $s_t$  – svorio koeficientai, kuriuos pasirenka sprendimus priimančias asmuo.

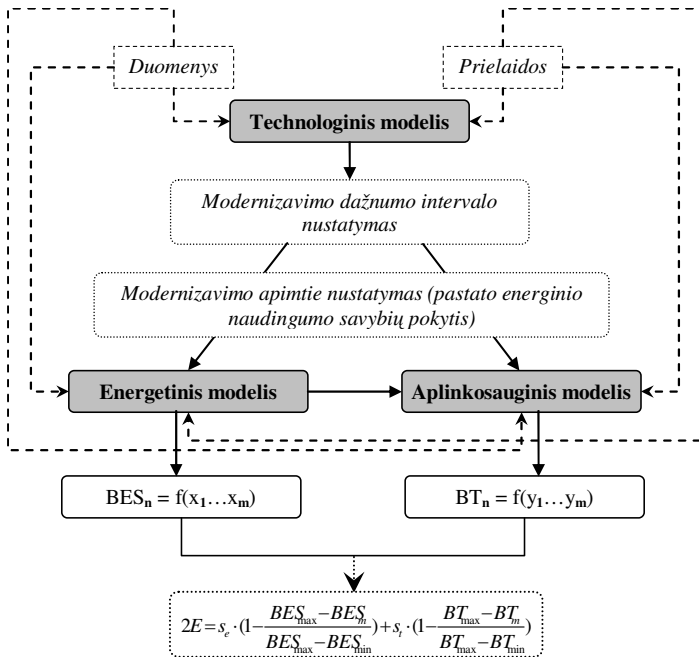
Bedimensiniai dydžiai skaičiuojami:

$$e_m = 1 - \frac{BES_{max} - BES_m}{BES_{max} - BES_{min}}; \quad (33)$$

$$t_m = 1 - \frac{BT_{max} - BT_m}{BT_{max} - BT_{min}}. \quad (34)$$

### 3.6. Trečiojo skyriaus apibendrinimas

Darbe sudarytas pastato modernizavimo vertinimo modelis, leidžiantis nagrinėti modernizavimo poveikį pastato fizinės būklės kitimui, jo gyvavimo ciklo pirminės energijos sąnaudoms ir taršos emisijoms. Be to, Modelis leidžia įvertinti technologinės pažangos ir valstybinio reguliavimo įtaką pastato gyvavimo ciklui ir nustatyti optimalų pastato modernizavimo periodiškumą ir apimtį. Modelio principinė skaičiuojamoji schema pateikta 3.6 paveiksle.



**3.6 pav.** Modelio principinė skaičiuojamoji schema  
**Fig. 3.6.** Principal computational scheme of the Model

Pagrindinė technologinio modelio paskirtis – įvertinti pastato nusidėvėjimo lygį ir nustatyti pastato modernizavimo dažnumo intervalą. Kadangi pagrindinė esamų pastatų problema – žemas atitvarų šiluminių charakteristikų lygmuo, visų

pirma nustatoma nagrinėjamo pastato modernizavimo apimtis – atitvarų šiluminių charakteristikų kitimo tendencija pastato gyvavimo laikotarpiu. Tuomet atliekamos prognozės dėl pastato inžinerinių sistemų efektyvumo ir taršos lygmens kitimo pastato gyvavimo laikotarpiu. Suformulavus prielaidas, atliekami energetiniai ir aplinkosauginiai skaičiavimai – nustatoma pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudos ir šiltnamio dujų emisijų kiekiai. Atlikus pastato energetinio ir aplinkosauginio gyvavimo ciklo sąnaudų skaičiavimus, atliekama nagrinėjamų alternatyvų analizė.



# 4

---

## Pastato modernizavimo vertinimo modelio taikymas

Siekiant patikrinti 3 skyriuje pateikto Modelio taikomumą ir įvertinti esamų pastatų atitvarų ir mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančių sistemų modernizavimo poveikį pastatų gyvavimo ciklo energijos sąnaudoms ir susidarantiems šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kiekiams, šiame skyriuje atliekama dviejų mokyklų pastatų analizė, taikant atvejo studijos tyrimo metodą. Šiame skyriuje aprašomi tyrimo rezultatai buvo paskelbti dvejose autorės publikacijose (Užšilaitytė ir Martinaitis 2010a; Užšilaitytė 2010).

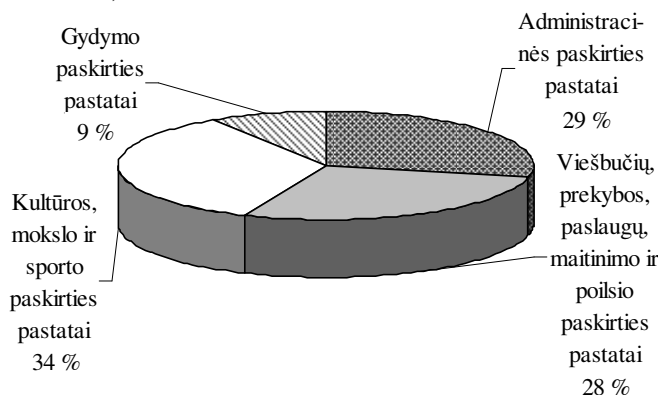
### 4.1. Tyrimo objektų parinkimas

Pastatų modernizavimo periodiškumo vertinimas yra aktualiausias pastatams, priklausantiems valstybinio sektoriaus institucijoms. Tai pastatai, kuriuose efektyviausiai galėtų būti įgyvendinama darnaus vystymosi politika. Šie pastatai išlaikomi iš valstybės, savivaldybių biudžetų ir jų naudojimas bei priežiūra gali būti tiesiogiai susieti su valstybinių tikslų (darnus vystymasis, energetinės nepriklausomybės didinimas, klimato kaitos mažinimas) įgyvendinimu. Tai pastatai, galintys vaidinti pavyzdinį vaidmenį darnaus vystymosi politikos įgyvendinimo

kontekste. Pavyzdinis šių pastatų vaidmuo yra pabrėžiamas ir to reikalaujama Europos Sąjungos energijos vartojimo efektyvumą ir atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą skatinančiuose teisės aktuose (Europos Parlamentas ir Taryba 2006; Europos Parlamentas ir Taryba 2009).

Kituose pastatuose tiesioginė valstybės įtaka yra mažesnė. Gyvenamųjų pastatų modernizavimas yra labai ribojamas gyventojų finansinių galimybių ir teisinių procedūrų sudėtingumo. Komerciniuose pastatuose (prekybos pastatai, įstaigų pastatai, viešbučiai ir pan.) aktualesni yra kiti vertinimo kriterijai – pastato moralinė vertė, t. y. jų patrauklumas naudotojams, kas taip pat veda prie dažnesnio modernizavimo vykdymo.

Lietuvos viešojo naudojimo pastatų pasiskirstymas 2009 m. pagal plotą pateiktas 4.1 paveiksle. Didžiausią dalį visų viešojo naudojimo pastatų – 34 % – sudarė kultūros, mokslo ir sporto paskirties pastatai ir 29 % – administracinės paskirties pastatai (Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos ir VĮ Registrų centras 2010).



**4.1 pav.** Viešojo naudojimo pastatų pasiskirstymas pagal plotą (Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos ir VĮ Registrų centras 2010)

**Fig. 4.1.** Distribution of public buildings area (Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos ir VĮ Registrų centras 2010)

Apie 30–40 % kultūros, mokslo ir sporto paskirties pastatų sudaro bendrojo lavinimo mokyklos (Bliūdžius 2007; Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos ir VĮ Registrų centras 2010). 2000–2009 m. iš visų naujai pastatytų ne gyvenamųjų pastatų pagal plotą mokyklų, universitetų ir tyrimų centrų pastatai sudarė tik 1,4 % (Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2010). Tai rodo, kad dauguma Lietuvos mokyklų pastatų yra senos statybos ir jų modernizavimo planavimo klausimas yra aktualus energijos vartojimo efektyvumo didinimo kontekste. Be to, šie pastatai pagal darbo režimą yra



panašūs į administracinės paskirties pastatus. Todėl mokyklų pastatų analizės rezultatai gali būti taikomi ir administracinės paskirties pastatams.

Atsižvelgiant į tai, kas išdėstyta, analizei pasirenkami mokyklų pastatai. Iki 1990 m. daugelis mokyklų pastatų buvo statyti pagal tipinius projektus. Tipiniai projektai buvo rengiami miesto ir kaimo mokyklų pastatams. Mieste esančių mokyklų bendras plotas sudaro apie 65 % visų mokyklų pastatų ploto, kaime – apie 35 %.

Vertinimui pasirinkti du tipiniai mokyklų pastatai – vienas miesto mokyklos pastatas ir vienas kaimo mokyklos pastatas.

**4.1 lentelė.** Nagrinėjamų mokyklų pastatų pagrindinės charakteristikos  
**Table 4.1.** Main characteristics of school buildings under consideration

	<b>I pastatas</b>	<b>II pastatas</b>
Projekto parengimo data, metai	1974 m.	1986 m.
Paskirties vietovė	Miestas	Kaimas
Mokinių skaičius, vnt.	1284	216
Naudingas plotas, m <sup>2</sup>	6228	2306
Naudingas plotas tenkantis vienam mokiniui, m <sup>2</sup> /mokiniui	4,9	10,7
Sienos	Autoklavinio betono panelės	Molio plytos, mineralinė vata

Kaip pateikta 4.1 lentelėje mokyklos yra skirtingos pagal dydį, projektinį mokinių skaičių, taip pat ir pagal konstrukciją. Kaimo vietovės mokykloje naudingas plotas skirtas vienam mokiniui yra du kartus didesnis nei miesto mokykloje. Miesto mokyklos sienas sudaro autoklavinio betono panelės, kaimo vietovės mokyklos sienos yra iš molio plytų, apšiltintos mineraline vata.

## 4.2. Tyrimo apimties apibrėžimas

Siekiant tarpusavyje palyginti nagrinėjamų mokyklų pastatų vertinimo rezultatus, funkciniu vienetu pasirenkamas pastato plotas (m<sup>2</sup>). T. y. pastatų bendrosios energijos sąnaudos ir bendrosios šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos perskaičiuojamos nagrinėjamo pastato ploto vienetui.

Vadovaujantis (LST EN ISO 14044:2006) pateikta metodika, toliau apibrėžiamos nagrinėjamos sistemos ribos.

Atsižvelgiant į norminį mokyklų gyvavimo laiką (STR 1.12.06:2002), nagrinėjamas 100 m. pastatų gyvavimo laikotarpis.

Nagrinėjami šie pastato gyvavimo ciklo tarpsniai – statyba, naudojimas ir modernizavimas. Pastato rekonstrukcija patenka į pastato modernizavimo tarpsnį.

Atskirų pastato dalių ir elementų atveju nagrinėjami šie gyvavimo ciklo tarpsniai – medžiagų ir elementų gamyba (įskaitant žaliavų išgavimą) ir transportavimas į statybos vietą. Elemento įrengimo tarpsnis nenagrinėjamas, kadangi jis sudaro tik nedidelę pastato gyvavimo ciklo dalį (Kellenberger and Althaus 2009).

Pastato statybos tarpsnyje įvertinamos visos pagrindinės statybos metu sunaudotos medžiagos. Į tyrimą įtraukiamos pastato pasyviosios (pamatai, perdangos, grindys, stogas, sienos, langai, durys, pertvaros, laiptai) ir aktyviosios (šildymo sistema, vėdinimo sistema, karštas ir šaltas vandentiekis, lietaus ir vidaus nuotekynė, elektros sistema) techninės sistemos.

Pastato modernizavimo tarpsnyje nagrinėjamos tos pastato pasyviosios ir aktyviosios techninės sistemos, kurios turi esminės įtakos pastato naudojimo tarpsnio energijos sąnaudoms ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijoms – pastato atitvaros (sienos, stogas, grindys, langai), šildymo, vėdinimo ir karšto vandens sistemos.

Techninės sistemos, neturinčios esminės įtakos pastato energijos suvartojimui, nenagrinėjamos – šaltas vandentiekis, lietaus ir vidaus nuotekynė. Šių sistemų ikūnytosios energijos sąnaudos ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos pastato statybos tarpsnyje sudaro mažiau negu 10 %, todėl esminės įtakos pastato bendrosioms gyvavimo ciklo sąnaudoms per nagrinėjamą laikotarpį jos neturės.

Pastato pamatai, perdangos, laiptai gali būti nekeičiami visą nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį.

Nenagrinėjami tokie pastato elementai, kaip pastato vidinė apdaila, santechniniai prietaisai, elektrotechninė įranga, kurie gali keistis, keičiantis pastato nuosavybei, paskirčiai, pastate vykdomai veiklai nepriklausomai nuo pastato fizinio nusidėvėjimo lygmens.

Vertinamos pagrindinės techninių sistemų medžiagos, turinčios esminės įtakos pastato energijos suvartojimui jo naudojimo metu, – langai (langų gamyba), šilumos izoliacija (akmens vatos gamyba), apdaila (medžiagų gamyba), vamzdynai / ortakiai (medžiagų gamyba), šildymo prietaisai (medžiagų gamyba), vėdinimo agregatai (agregatų gamyba).

Daroma prielaida, kad visos pastato dalys ir elementai bus gabenami į statybos vietą vidutiniškai 100 km atstumu.

Atmetami tokie aktyviųjų techninių sistemų elementai, kurių ikūnytosios energijos sąnaudos sudaro nedidelę dalį bendrųjų pastato ikūnytosios energijos

šnaudų. Pagrindiniai šildymo sistemos elementai yra šildymo prietaisai, izoliacija ir vamzdynai, kurių bendra dalis šildymo sistemos įkūnytosios energijos šnaudose sudaro per 90 % (Sasnauskaitė *et al.* 2007).

Pastato dalys ir elementai, kurie neįtraukiami į analizę, esminės įtakos rezultatams nedaro, kadangi jų kiekybinė įtaka nagrinėjamiems pastato modernizavimo rezultatams būtų vienoda visiems nagrinėjamiems scenarijams.

Duomenys inventorinei analizei imami iš pastatų tipinių projektų dokumentacijos, kuriuose pateikti pastato statybai sunaudotų medžiagų kiekiai, pastato inžinerinių sistemų specifikacijos. Remiantis šiais duomenimis apskaičiuojami pastatų statybai sunaudotų medžiagų ir inžinerinių sistemų elementų kiekiai.

Pastatų energijos naudojimo charakteristikos nustatomos iš šilumos balanso ir norminių karšto vandens rodiklių (STR 2.01.09:2005; STR 2.09.04:2008).

Daroma prielaida, kad elektros energija pastatui tiekama iš elektros tinklų, o šiluma gaminama šalia pastato įrengtoje katilinėje.

Energijos šnaudų ir emisijų rodikliai imami iš SimaPro 7 programos duomenų bazių. SimaPro – tai programinė įranga, skirta atlikti produktų gyvavimo ciklo analizę. Į programą yra įtrauktos duomenų bazės su įvairių pramoninių procesų duomenimis, reikalingais nagrinėjamų sistemų inventorinei analizei atlikti. Pastato dalių ir elementų bei medžiagų gamybos, transportavimo energijos šnaudų rodikliai pateikti A priede.

### 4.3. Technologinė pastatų analizė

Šiame poskyryje, vadovaujantis 3 skyriuje pateikta Modelio sudarymo eiga, suplanuojamas teorinis technologinis pastato gyvavimo ciklas ir jo pagrindu suformuojamos prielaidos ir sąlygos pastato modernizavimo periodiškumui vertinti.

Nagrinėjamų pastatų pagrindinės charakteristikos pateiktos B priedo 1B ir 2B lentelėse.

I pastato inžinerinių sistemų charakteristikos:

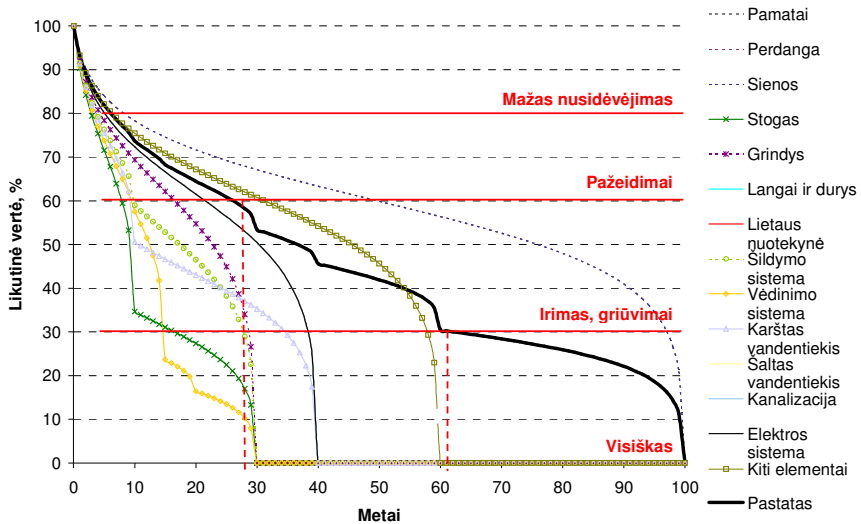
- pamatai – surenkami gelžbetoniniai;
- perdangos – gelžbetoninės su apvaliom kiauřymėm;
- sienos – surenkamo gelžbetoninio karkaso su autoklavinio betono panelėmis, po modernizavimo apšiltinamos akmens vata;
- langai – dvigubi mediniai statybos metu, po modernizavimo keičiami langais su vienkameriniais / dvikameriniais stiklo paketais;
- šildymo sistema – vienvamzdė su ketaus radiatoriais, po modernizavimo keičiama dvivamzde su plieniniais radiatoriais;
- vėdinimo sistema – statybos metu klasės vėdinamos natūraliai, aktų, sporto salėse ir virtuvėje įrengiamos mechaninės vėdinimo sistemos. Po moderniza-

vimo visoms patalpoms vėdinti įrengiamos vėdinimo sistemos su šilumogražos įrenginiais.

II pastato inžinerinių sistemų charakteristikos:

- pamatai – surenkami gelžbetoniniai;
- perdangos – gelžbetoninės su apvaliom kiaurymėm;
- sienos – molio plytų mūras, apšiltintas akmens vata;
- langai – dvigubi mediniai statybos metu, po modernizavimo keičiami langais su vienkameriniais / dvikameriniais stiklo paketais;
- šildymo sistema – vienvamzdė su ketaus radiatoriais, po modernizavimo keičiama dvivamzde su plieniniais radiatoriais;
- vėdinimo sistema – mechaninė, po modernizavimo visų patalpų vėdinimui įrengiamos vėdinimo sistemos su šilumogražos įrenginiais.

4.2 paveiksle pateiktas neatnaujinamo pastato teorinis ribinis technologinis gyvavimo ciklas, kai pasibaigus pastato dalių ir elementų gyvavimo trukmei jie nekeičiami ir neatnaujami.



**4.2 pav.** Teorinis ribinis technologinis pastato gyvavimo ciklas  
**Fig. 4.2.** Theoretical marginal technologic building life cycle

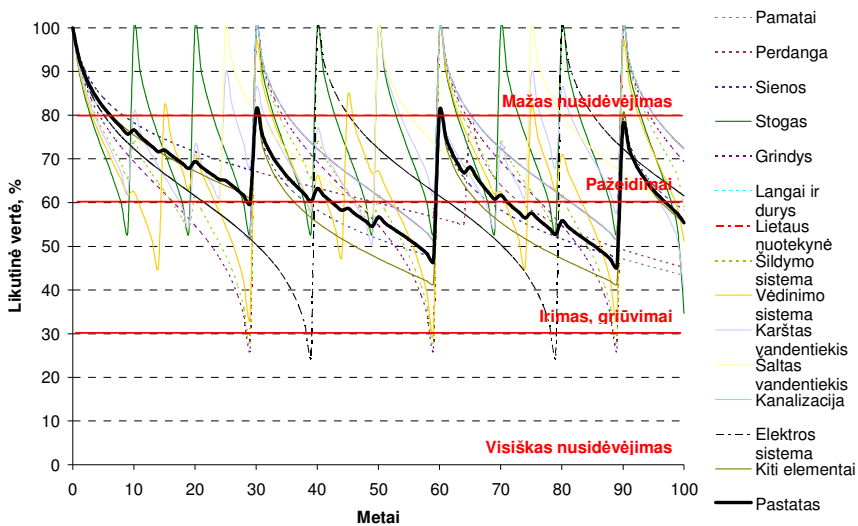
Gaunamas pastato likutinės vertės (atvirkščias dydis pastato nusidėvėjimui) pasiskirstymo grafinis modelis nuo jo gyvavimo pradžios iki visiško nusidėvėjimo. Plonomis linijomis parodytas pastato dalių likutinės vertės kitimas, stora linija – suminis viso pastato ribinis vertės kitimas. Visiškas pastato nusidėvėjimas bus pasiektas visiškai nusidėvėjus pastato daliai, kurios gyvavimo truk-

mė ilgiausia. Tai teorinis ribinis pastato gyvavimo ciklas, kuris tarnauja ribine atskaita galimiems pastato naudojimo ir priežiūros procesams modeliuoti ir vertinti.

Neatnaujinamas (neremontuojamas ir nerekonstruojamas) pastatas nusidėvi labai greitai ir jau po 60 metų pasiekia visiško nusidėvėjimo lygį.

Tačiau kiekvienai pastato daliai ar elementui yra nustatyta jo gyvavimo trukmė, kuriai pasibaigus jis turi būti pakeistas arba atnaujintas. Dėl šios priežasties grafinis likutinės vertės modelis atrodys kitaip, t. y. pastato dalys ar elementai bus keičiami ar atnaujinami pasibaigus jų gyvavimo trukmei, o pastato elemento arba dalies naudojimas formaliai niekada nesibaigs, t. y. pastato gyvavimo trukmė gali būti pratęsiama tol, kol pastatas yra funkciškai reikalingas. Elementų kreivės taip pat nepasiekia nulinės likutinės vertės, kadangi laikoma, kad jų visiško nusidėvėjimo metais jie bus pakeisti naujais arba atnaujinti.

4.3 paveiksle pateiktas sudarytas teorinis technologinis pastato gyvavimo ciklas, kai pastatas yra nuolat atnaujinamas. Šiuo atveju pastato likutinė vertė nekrinta žemiau 45 %.



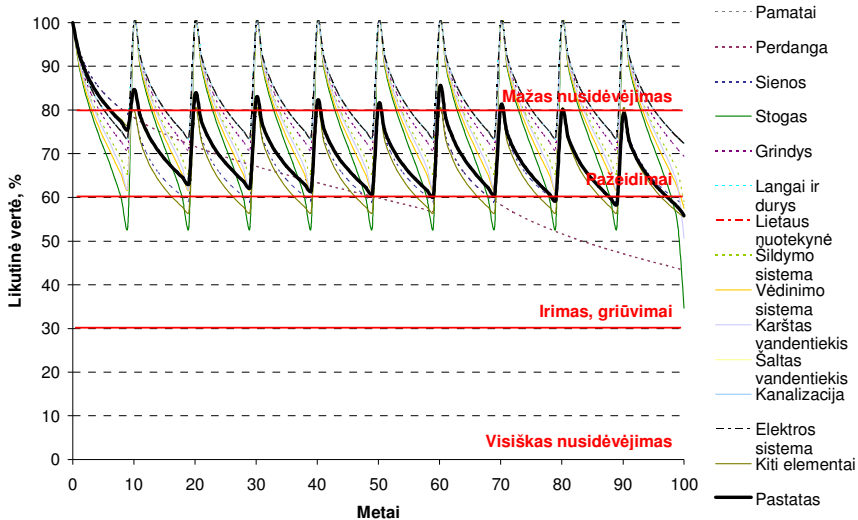
**4.3 pav.** Teorinis technologinis pastato gyvavimo ciklas, kai pastatas yra nuolat atnaujinamas

**Fig. 4.3.** Theoretical technologic building life cycle when building is constantly refurbished

Technologinis pastato gyvavimo ciklo modelis leidžia apibrėžti pastato modernizavimo periodiškumo intervalą, užtikrinant, jog pastato nusidėvėjimas neviršys priimtinos vertės.

Atskirų pastato dalių ir elementų keitimo viena laikiškumas, kai keičiama arba atnaujinama daugiau nei viena pastato dalis ar elementas ir kai ryšium su tuo tikslinga svarstyti didesnės apimties pastato remontą ar rekonstrukciją (modernizavimą), susiformuoja 30, 60, 90 pastato gyvavimo metais.

Maksimalus intervalas tarp pastato modernizavimų – 30 metų. Tačiau pastato modernizavimo vykdymas gali būti svarstomas ir anksčiau. (Aplinkos ministerija; VšĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002) nurodyta, kad pastatų, kurių naudojimo aplinka yra nepalanki, minimali trukmė iki rekonstravimo gali būti 10 metų. Atsižvelgiant į tai, analizei pasirenkamas 10–30 metų pastato modernizavimo intervalas.



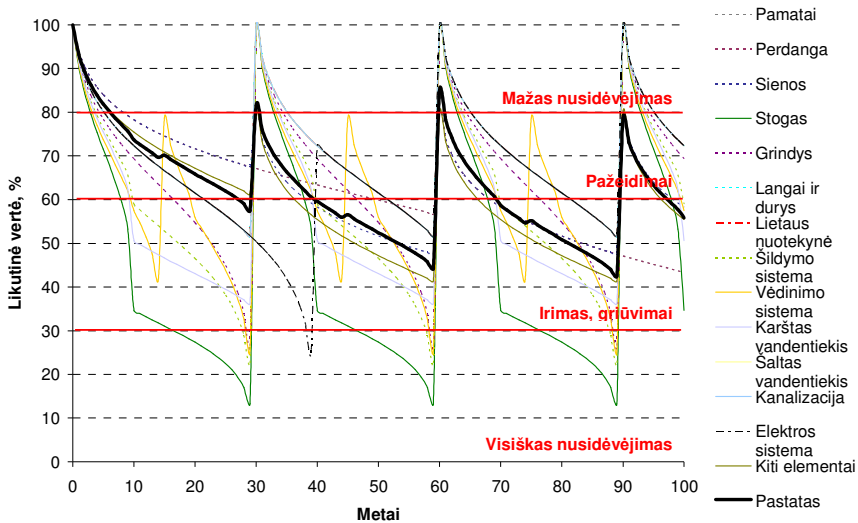
**4.4 pav.** Teorinis technologinis pastato gyvavimo ciklas, kai pastatas yra modernizuojamas kas 10 metų

**Fig. 4.4.** Theoretical technologic building life cycle when building is modernised every 10 years

Jei pastatas modernizuojamas:

- kas 10 metų, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 9 modernizavimai (žr. 4.4 pav.);
- kas 11 metų, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 8 modernizavimai;
- kas 12–13 metų, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 7 modernizavimai;
- kas 14–15 metų, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 6 modernizavimai;
- kas 16–18 metų, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 5 modernizavimai;
- kas 19–23 metus, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 4 modernizavimai;

- kas 24–30 metų, pastato gyvavimo laikotarpiu vyks 3 modernizavimai (žr. 4.5 pav.).



**4.5 pav.** Teorinis technologinis pastato gyvavimo ciklas, kai pastatas yra modernizuojamas kas 30 metų

**Fig. 4.5.** Theoretical technologic building life cycle when building is modernised every 30 years

Modernizuojant pastatą kas 10 metų, išlaikoma aukšta pastato likutinė vertė, kuri nekrinta žemiau 56 %. Modernizuojant pastatą kas 30 metų, pastato likutinė vertė nekrinta žemiau 43 %.

## 4.4. Energetinis pastatų gyvavimo ciklas

Šiame poskyryje formuojamas pastato energetinis gyvavimo ciklas – nustatomos pastato inžinerinių sistemų charakteristikos, suformuluojamos prielaidos ir skaičiuojamos bendrosios energijos sąnaudos, esant skirtingiems pastato modernizavimo periodiškumo intervalams ir skirtingam pastato atitvarų šiluminių charakteristikų ir inžinerinių sistemų efektyvumo didėjimo atvejams.

Pastato naudojamosios energijos sąnaudas sudaro šilumos energijos sąnaudos pastato šildymui, vėdinimui ir karštam vandeniui ruošti bei elektros energijos sąnaudos pastato šildymo, karšto vandens ir vėdinimo sistemų veikimui (ventiliatoriuose ir siurbliuose).

I pastate statybos metu įrengiamos mechaninės oro ištraukimo sistemos iš sanitarinių mazgų, oro tiekimo sistema į aktų salę ir oro tiekimo-ištraukimo sistema sporto salei, virtuvei ir indų plovyklai. Kitose patalpose įrengiamas natūralus vėdinimas. II pastate statybos metu įrengiamos mechaninės vėdinimo sistemos be šilumogrąžos. Abiejuose pastatuose vėdinimo sistemų šilumnešio transportavimui įrengti cirkuliaciniai siurbliai, šildymo sistemos – elevatoriai.

Po modernizavimo visose patalpose įrengiamos vėdinimo sistemos su šilumogrąža ir cirkuliaciniai siurbliai šildymo ir karšto vandens sistemose.

Pastato bendrosios energijos sąnaudos priklauso nuo paties pastato energinio naudingumo charakteristikų kitimo jo gyvavimo laikotarpiu ir nuo pačiam pastatui nepriklausančių energijos tiekimo sistemų energinio naudingumo charakteristikų. Pastato energijos sąnaudas veikiantys veiksniai dalijami į išorinius ir vidinius. Toliau pateikiamos skaičiavimuose naudojamos prielaidos dėl išorinių ir vidinių veiksnių.

#### 4.4.1. Energetinio gyvavimo ciklo prielaidos

Prielaidos dėl išorinių veiksnių:

1. Šilumos šaltinio naudingumo koeficientas pastato statybos metu – 84 %. Naudojamas kuras – gamtinės dujos.

2. Šilumos gamybos efektyvumas didėja 0,2 % per metus ir laikotarpio pabaigoje sieks 102 %, t. y. šiluma bus gaminama kondensaciniuose katiluose.

3. Bendras elektros sistemos efektyvumas laikotarpio pradžioje lygus 30 %, įvertinant elektros energijos gamybos (35 %) ir transportavimo (85 %) efektyvumą.

4. Elektros energijos gamybos efektyvumas didėja 0,3 %, o transportavimo – 0,1 % per metus. Laikotarpio pabaigoje bendras elektros sistemos efektyvumas sieks 44 %, įvertinant elektros energijos gamybos (47 %) ir transportavimo (94 %) efektyvumą.

5. Santykinės medžiagų ir elementų gamybos bei transportavimo sąnaudos priimamos pastovios.

Prielaidos dėl vidinių veiksnių:

1. Metinės karšto vandens sąnaudos yra pastovios per visą pastato gyvavimo ciklą – 10 kWh/m<sup>2</sup> (STR 2.01.09:2005).

2. Reikalavimai pastato atitvarų šiluminėms charakteristikoms keičiasi kas 10 metų.

3. Skaičiavimai atliekami skirtingiems reikalavimų pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms griežtinimo variantams. Priimama, kad reikalavimai pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientams gali būti didinami 10–50 % intervale kas kiekvienus 10 metų. Skaičiavimai atliekami 3 variantams – žemo reikalavimų griežtinimo scenarijus (10 % kas 10 metų), vidutinio reikalavimų

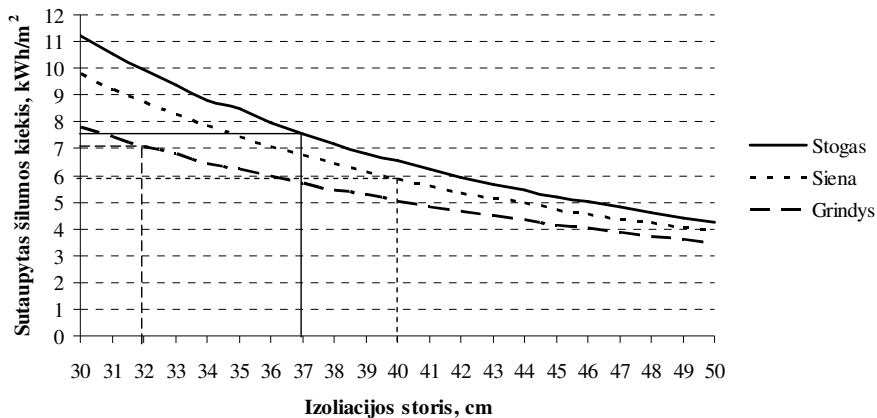


griežtinimo scenarijus (30 % kas 10 metų), aukšto reikalavimų griežtinimo scenarijus (50 % kas 10 metų).

Daroma prielaida, kad mažiausias skaidrių pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientas lygus  $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Neskaidrių pastato atitvarų atveju minimalus šilumos perdavimo koeficientas nustatomas vadovaujantis principu, kad kiekvieno papildomo įrengto šilumos izoliacijos kiekio sutaupyta energijos kiekis per 30 metų (darbe priimtas maksimalus laikotarpis tarp pastato modernizavimų) laikotarpį būtų mažesnis už energijos kiekį, sunaudotą tam šilumos izoliacijos kiekiui pagaminti.

1 cm storio  $1 \text{ m}^2$  šilumos izoliacijai (akmens vatos) pagaminti, priklausomai nuo izoliacijos tankio, sunaudojama 6–12 kWh pirminės energijos. 4.6 paveiksle pateikta I pastato atskirų atitvarų sutaupomas šilumos kiekis, įrengus papildomą šilumos izoliacijos kiekį (1 cm).



**4.6 pav.** Sutaupyta šilumos kiekis I pastato atitvaros ploto vienetui, įrengus papildomą šilumos izoliacijos kiekį (1 cm)

**Fig. 4.6.** Saved energy per unit area of 1st building envelope due to installation of additional insulation (1 cm)

1 cm storio  $1 \text{ m}^2$  sienoms naudojamai akmenų vatai gaminti sunaudojama 6–8,7 kWh pirminės energijos. Mažiau nei 6 kWh pirminės energijos sutaupoma, kai I pastato sienos izoliacijos storis yra didesnis nei 40 cm, o šilumos perdavimo koeficientas lygus  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Stogo atveju gaunama  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , grindų –  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Priimama, kad minimalus vidutinis pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientas lygus  $0,08 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . II pastato vidutinis šilumos perdavimo koeficientas gaunamas  $0,09 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Toliau mažinant šilumos perdavimo koeficientą, papildomos izoliacijos įrengimas lems neigiamą balansą tarp



**4.3 lentelė.** II pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai**Table 4.3.** Heat transmission coefficients of 2<sup>nd</sup> building envelopes

Atitvaros	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m <sup>2</sup> K									
	Sta- tyba	Laikotarpis po pastato statybos, metai								
		11- 20	21- 30	31- 40	41- 50	51- 60	61- 70	71- 80	81- 90	91- 100
Šilumos perdavimo koeficiento verčių mažėjimas po 10 %										
Sienos	0,46	0,40	0,38	0,33	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18
Stogas	0,40	0,37	0,32	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15
Grindys	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18	0,17	0,15	0,13
Langai	2,50	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,21	0,73	0,73
Šilumos perdavimo koeficiento verčių mažėjimas po 30 %										
Sienos	0,46	0,32	0,22	0,16	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Stogas	0,40	0,28	0,20	0,14	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Grindys	0,35	0,24	0,17	0,12	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Langai	2,50	1,23	1,23	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Šilumos perdavimo koeficiento verčių mažėjimas po 50 %										
Sienos	0,46	0,23	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Stogas	0,40	0,20	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Grindys	0,35	0,17	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Langai	2,50	1,21	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

4. Pastatų šiluminės charakteristikos pagal energijos suvartojimą klasifikuojamos į standartines (normines), mažai energijos vartojančių pastatų ir pasyvių pastatų charakteristikas.

Mažai energijos vartojančių ir pasyvių pastatų apibūdinimai pagal sunaudojamą energijos kiekį skirtingose šalyse skiriasi, tačiau apibendrinant mažai energijos vartojantys pastatai yra tie, kurie vartoja žymiai mažiau energijos nei tradiciniai. Pasyvūs pastatai yra tie, kuriuose šilumos pritekėjimai viršija šilumos nuostolius. Pasyviems pastatams keliami šie reikalavimai:

- pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai  $< 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  (CE-PHEUS 2010);
- konstrukcijos turi būti be šiluminių tiltelių ( $\Psi < 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) (CE-PHEUS 2010);

- oro infiltracija  $< 0,6 \text{ h}^{-1}$ , esant 50 Pa slėgio skirtumui (CEPHEUS 2010);
- trigubo įstiklinimo langai su 50 % saulės spinduliuotės praleisties faktoriu (CEPHEUS 2010);
- vėdinimo įrenginio šilumogražos efektyvumas turi sudaryti 75–92 % (Feist *et al.* 2005).

Atsižvelgiant į tai, kas išdėstyta šiame tyrime, pastato ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo ir oro infiltracijos koeficientai, priklausomai nuo pastato šilumos perdavimo koeficientų dydžio, skirstomi į 3 grupes (žr. 4.4 lentelę). Nagrinėjant pastato modernizavimo atvejus, pateiktus 4.2 ir 4.3 lentelėse, pagal pastato šilumos perdavimo koeficientus parenkami ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientai ir oro infiltracijos koeficientai.

#### 4.4 lentelė. Pastato šiluminių charakteristikų grupės

**Table 4.4.** Groups of building thermal characteristics

	I grupė	II grupė	III grupė
Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientas $U$ , $\text{W/m}^2\text{K}$	$\geq 0,2$	0,19–0,11	$\leq 0,1$
Ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas $\Psi$ , $\text{W/mK}$	0,22	0,10	0,01
Oro infiltracijos koeficientas $n$ , $\text{h}^{-1}$	0,3	0,15	0,07

5. I pastato statybos metu klasės ir kabinetai vėdinamos natūraliai, II pastato klasės ir kabinetai vėdinamos mechanškai, po modernizavimo – pastatuose įrengiama mechaninė vėdinimo sistema su šilumograža.

I pastato vėdinimo sistema veikia 12 val. per parą, darant prielaidą, kad mokykloje mokomasi 2 pamainomis. II pastato vėdinimo sistema veikia 8 val. per parą.

Mažinant pastato šilumos nuostolius per atitvaras ir pastato atitvarų šiluminėms charakteristikoms artėjant prie pasyvaus pastato standarto, didžiąją dalį pastato šilumos nuostolių sudaro šilumos nuostoliai dėl vėdinimo. Todėl vėdinimo sistemos šilumogražos efektyvumas turi didėti mažėjant šilumos nuostoliams per atitvaras.

Mokyklos pastate gali būti įrengiamas tik plokštelinis šilumokaitis, užtikrinant, kad tiekiamo ir šalinamo oro srautai nesimaišytų. Šiuo metu plokštelių šilumokaičių gamintojų deklaruojamas efektyvumas sudaro 50–75 % (UAB Amalva 2010; UAB „SALDA“; FAST 2010). Yra ir 80 % efektyvumą pasiekiančių šilumokaičių (Badescu and Sicre 2003).

Įvertinant, kad faktinis efektyvumas gali būti mažesnis iki 15 % už gamintojo deklaruojamą (Feist *et al.* 2005), 4.4 lentelėje pateiktos I grupės charakteristikas atitinkantiems pastatams priimamas 60 % šilumokaičio efektyvumas, II grupės – 70 %, III grupės – 80 %.

6. Pastato statybos metu šildymo sistemoje nėra hidraulinio suderinimo (balansinių) ventilių ir cirkuliacinio siurblio (naudingumo koeficientas – 0,92), šildymo prietaisai reguliuojami rankiniu būdu ir nėra šildymo sistemos reguliavimo įtaisų (naudingumo koeficientas – 0,88). Po pastato modernizavimo įrengiamas cirkuliacinis siurblys ir hidraulinio suderinimo (balansiniai) ventiliai (naudingumo koeficientas – 0,99) ir įrengiami šildymo prietaisų termostatiniai ventiliai bei galimybė reguliuoti šildymo sistemą pagal išorės oro temperatūrą (naudingumo koeficientas – 0,97). Šių koeficientų didėjimas nenumatomas. Jei gu teoriškai šie koeficientai didėtų, esminės įtakos rezultatams tai nepadarytų.

7. Šilumos pritekėjimai skaičiuojami, įvertinant šilumos pritekėjimus nuo žmonių (70 W/žm.), vidinių šilumos šaltinių ( $2 \text{ W/m}^2$ ) ir saulės (priimama, kad vidutiniai saulės pritekėjimai sudaro  $40 \text{ W/m}^2$ ) ir atsižvelgiant į pritekėjusios į pastatą šilumos įsisavinimo koeficiento dydį, priklausantį nuo pritekančios šilumos kiekio santykio su šilumos poreikiu šilumos nuostoliams per atitvaras ir dėl vėdinimo padengti.

8. Jei pastato šilumos pritekėjimai viršija šildymo sistemos šilumos poreikį, pastate įrengiama orinio šildymo sistema, veikianti pastato naudojimo metu, kai reikalingas pastato vėdinimas, o radiatorinė sistema paliekama kaip budinti.

9. Elektros energijos sąnaudos vėdinimo sistemų ventiliatoriuose:

9.1. Savitoji elektros energijos galia ventiliatoriuose priimama:  $2000 \text{ W/(m}^3/\text{s)}$  – tiekimo ventiliatoriaus vėdinimo įrenginyje su šilumograža;  $1250 \text{ W/(m}^3/\text{s)}$  – tiekimo ventiliatoriaus vėdinimo įrenginyje be šilumogražos ir ištraukimo ventiliatoriaus vėdinimo įrenginyje su šilumograža;  $500 \text{ W/(m}^3/\text{s)}$  – kituose ventiliatoriuose (LST EN 13779:2007).

9.2. Ventiliatoriuose egzistuoja nemažas energijos taupymo potencialas. (LST EN 13779:2007) pateiktas bendras vėdinimo sistemų ventiliatorių efektyvumas skirstomas taip: žemas efektyvumas – 50 %, normalus – 55 %, aukštas – 60 %. Aukštas ventiliatoriaus efektyvumas yra 20 % didesnis už žemą ventiliatoriaus efektyvumą.

60 % efektyvumą gali pasiekti geriausias su į priekį lenktomis mentėmis ventiliatorius. Tuo tarpu ventiliatorius su aerodinaminėmis mentėmis gali pasiekti 88 % efektyvumą (Fraunhofer Institute 2006). Keičiant ventiliatoriaus tipą efektyvumą galima padidinti 47 %.

Atsižvelgiant į tai, kas išdėstyta, daroma prielaida, kad pastato statybos metu ventiliatorių efektyvumas buvo 50 %, kas 10 metų vėdinimo sistemos efektyvumas padidės 5 procentiniais punktais ir nagrinėjamo laikotarpio pabaigoje

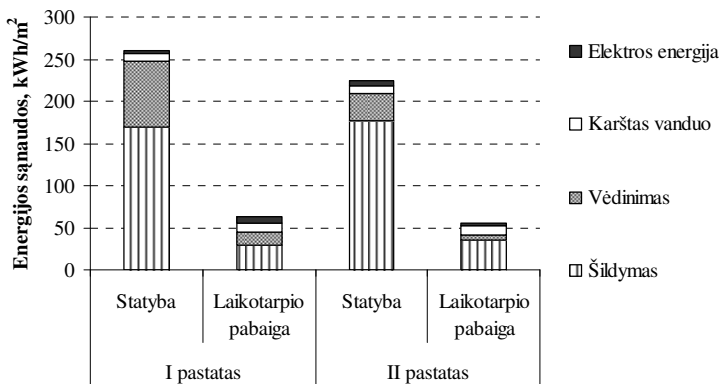
ventiliatorių efektyvumas sieks 95 % (darant prielaidą, kad dėl technologinės pažangos ventiliatorių efektyvumas toliau didės).

10. Šildymo sistemose naudojamų šlapijo rotoriaus siurblių efektyvumas (Stašaitis 2008):

- iki 100 W siurblio variklio galios – 5–25 %;
- 100–500 W – 20–40 %;
- 500–2500 W – 30–50 %;

Apibendrinant tai, kas išdėstyta, daroma prielaida, kad pastato statybos metu siurblių efektyvumas buvo 20 %, kas 10 metų cirkuliacinių siurblių efektyvumas padidės 5 procentiniais punktais ir nagrinėjamo laikotarpio pabaigoje sieks 65 % (darant prielaidą, kad dėl technologinės pažangos cirkuliacinių siurblių efektyvumas toliau didės).

4.7 paveiksle pateiktas pastatų metinių naudojamosios energijos sąnaudų pasiskirstymas pastatų gyvavimo pradžioje (statybos metu) ir laikotarpio pabaigoje efektyviausio scenarijaus atveju.

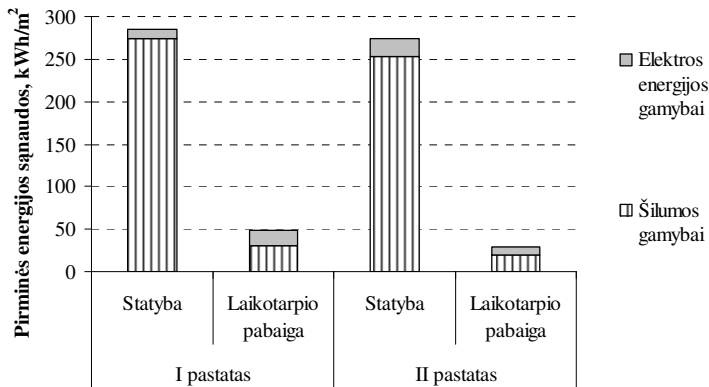


**4.7 pav.** Pastatų metinių naudojamosios energijos sąnaudų pasiskirstymas efektyviausio scenarijaus atveju

**Fig. 4.7.** Building annual operational energy consumption in case of the most efficient scenario

Pastatų statybos metu didžiausią dalį sudaro energijos sąnaudos šildymui. I pastato šilumos energijos sąnaudos šildymui sudaro 65 %, II pastato – 79 %. Elektros energijos sąnaudos – mažiau nei 3 %. Tačiau šis santykis iš esmės pasikeičia, kai pastatai modernizuojami iki pasyvaus pastato standarto. I pastato šilumos energijos sąnaudų dalis šildymui sumažėja iki 47 %, II pastato – iki 64 %. Elektros energijos sąnaudos išauga iki 13 % I pastate ir iki 7 % II pastate.

I pastato statybos metu metinis šilumos poreikis šildymui sudaro 66 %, vėdinimui – 30 %, karštam vandeniui ruošti – 4 % bendrojo šilumos poreikio. Pirminės energijos poreikis elektros energijos, reikalingos sistemoms veikti, gamybai sudaro 96 % viso pirminės energijos poreikio. Didėjant pastato energiniam naudingumui šie santykiai keičiasi. Laikotarpio pabaigoje šilumos poreikis šildymui sumažėja iki 54 %, vėdinimui – iki 28 %, karštam vandeniui ruošti – iki 18 % bendrojo šilumos poreikio. Santykinis šilumos poreikis karštam vandeniui ruošti žymiai padidėja, kadangi šis šilumos poreikis išlieka toks pat, kaip laikotarpio pradžioje. Tuo tarpu bendras pastato šilumos poreikis sumažėja 4,7 karto.



**4.8 pav.** Metinės pirminės energijos sąnaudos šilumos ir elektros energijos gamybai efektyviausio scenarijaus atveju

**Fig. 4.8.** Annual primary energy consumption for heat and electricity production in case of the most efficient scenario

II pastato statybos metu metinis šilumos poreikis šildymui sudaro 81 %, vėdinimui – 14 %, karštam vandeniui ruošti – 5 % bendrojo šilumos poreikio. Šio pastato santykinis šilumos poreikis vėdinimui yra mažesnis, kadangi vėdinimui reikalingas energijos kiekis skaičiuojamas pagal mokinių skaičių, o šiame pastate mokinių skaičius pastato ploto vienetui yra apie 2 kartus mažesnis. Taip pat šioje mokykloje numatytas darbo laikas viena pamaina, o I pastate – dviem pamainomis. Pirminės energijos poreikis elektros energijos, reikalingos sistemoms veikti, gamybai sudaro 93 % viso pirminės energijos poreikio. Didėjant pastato energiniam naudingumui šie santykiai keičiasi. Laikotarpio pabaigoje šilumos poreikis šildymui sumažėja iki 69 %, vėdinimui – iki 12 %, karštam vandeniui ruošti – iki 19 % bendrojo šilumos poreikio. Santykinis šilumos poreikis karštam vandeniui ruošti žymiai padidėja, kadangi šilumos poreikis karštam vandeniui ruošti

išlieka toks pats, kaip laikotarpio pradžioje. Tuo tarpu bendras pastato šilumos poreikis sumažėja 4,2 karto.

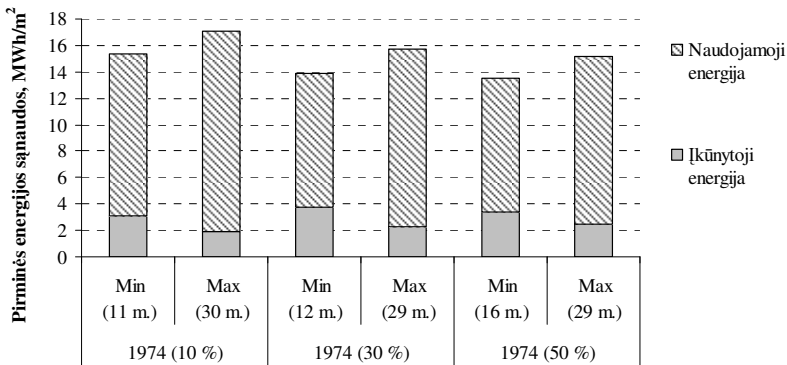
Dar didesnis skirtumas tarp šilumos ir elektros energijos sąnaudų gaunamas, perskaičiavus energijos sąnaudas į pirminę energiją (žr. 4.8 pav.).

I pastato pirminės energijos sąnaudų dalis elektros energijos gamybai padidėja nuo 4 iki 38 %, II pastato – nuo 7 iki 31 %. Elektros energijos poreikis pastate išauga dėl modernizavimo metu įrengiamų mechaninio vėdinimo sistemų ir cirkuliacinių siurblių. Santykinis pirminės energijos poreikis pasikeičia ir dėl to, kad žymiai mažėja šilumos poreikis.

## 4.4.2. Pastatų energetinio gyvavimo ciklo rezultatai

### 4.4.2.1. I pastatas

4.9 paveiksle pateikti I pastato energetinio vertinimo rezultatai – minimalios ir maksimalios pastato bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos, esant skirtingiems norminių reikalavimų šilumos perdavimo koeficientų griežtėjimo scenarijams.



4.9 pav. Minimalios ir maksimalios I pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudos

Fig. 4.9. Minimum and maximum 1<sup>st</sup> building life cycle energy consumption

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 11 metų – 15,3 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 20 % sudaro įkūnytoji energija. Maksimalios energijos sąnaudos sudaro 17,1 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 11 % – įkūnytoji energija, kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 11 % didesnės už minimalias.



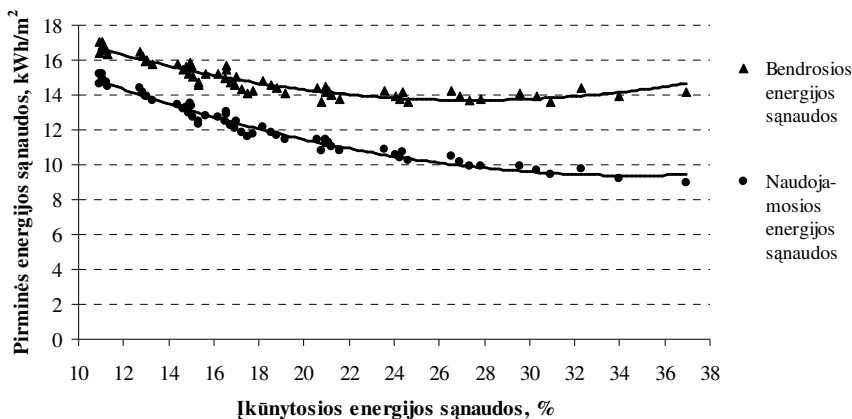
Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 12 metų – 13,9 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 27 % sudaro įkūnytoji energija. Maksimalios energijos sąnaudos sudaro 15,7 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 14 % – įkūnytoji energija, kai pastatas modernizuojamas kas 29 metus. Maksimalios energijos sąnaudos yra 13 % didesnės už minimalias.

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 16 metų – 13,6 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 25 % sudaro įkūnytoji energija. Maksimalios energijos sąnaudos sudaro 15,2 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 16 % – įkūnytoji energija, kai pastatas modernizuojamas kas 29 metus. Maksimalios energijos sąnaudos yra 12 % didesnės už minimalias.

Mažiausios energijos sąnaudos tarp trijų scenarijų gaunamos, kai pastatas modernizuojamas kas 16 metų, o reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms griežtėja po 50 % kas 10 metų. Didžiausios – kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų, o reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms griežtėja po 10 % kas 10 metų, ir yra 26 % didesnės minimalias.

Kuo dažnesnis ir didesnės apimties (energinio požiūriu) pastato modernizavimas, tuo didesnės susidaro pastato įkūnytosios energijos sąnaudos ir mažesnės pastato naudojamosios energijos sąnaudos.

4.10 paveiksle pateikta pastato bendrųjų ir naudojamosios energijos sąnaudų priklausomybė nuo pastato įkūnytosios energijos sąnaudų.



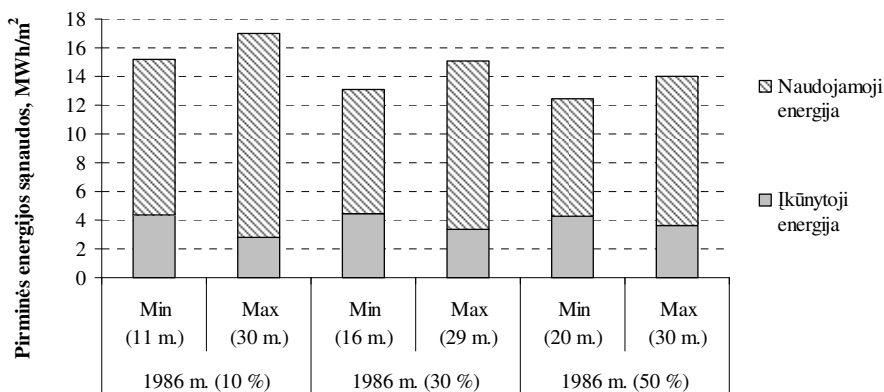
**4.10 pav.** I pastato energijos sąnaudų priklausomybė nuo įkūnytosios energijos sąnaudų dalies bendrosiose energijos sąnaudose

**Fig. 4.10.** 1<sup>st</sup> building energy consumption dependence on embodied energy share in total energy consumption

Didėjant ikūnytosios energijos sąnaudoms, bendrosios energijos sąnaudos taip pat turi tendenciją mažėti. Tačiau, kai ikūnytosios energijos sąnaudos pasiekia apie  $3,7 \text{ MWh/m}^2$  arba sudaro daugiau nei 27 % bendrųjų energijos sąnaudų, bendrųjų energijos sąnaudų mažėjimas sustoja ir atsiranda jų augimo tendencija. Nagrinėjamo pastato atveju tokie rezultatai gaunami, kai pastato modernizavimo periodiškumas yra dažnesnis nei 15 metų.

#### 4.4.2.2. II pastatas

4.11 paveiksle pateikti II pastato energinio vertinimo rezultatai – minimalios ir maksimalios pastato bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos, esant skirtingiems norminių reikalavimų šilumos perdavimo koeficientų griežtėjimo scenarijams.



4.11 pav. Minimalios ir maksimalios II pastato gyvavimo ciklo energijos sąnaudos

Fig. 4.11. Minimum and maximum 2<sup>nd</sup> building life cycle energy consumption

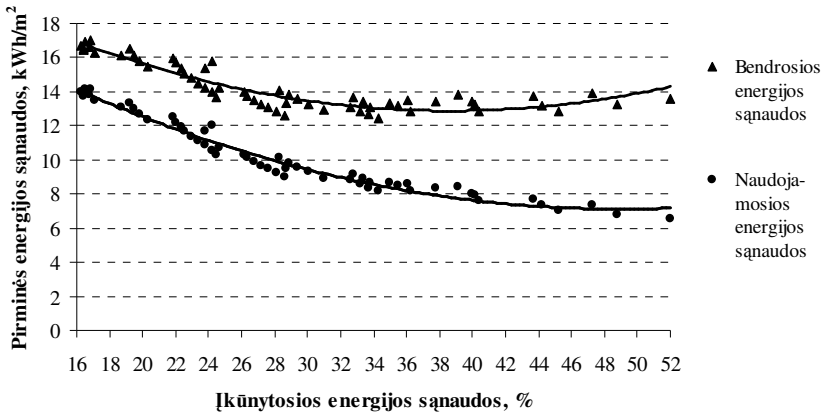
Jei norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 11 metų –  $15,2 \text{ MWh/m}^2$ , iš jų 29 % sudaro ikūnytoji energija. Maksimalios energijos sąnaudos sudaro  $17,0 \text{ MWh/m}^2$ , iš jų 17 % – ikūnytoji energija, kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 12 % didesnės už minimalias.

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 16 metų –  $13,1 \text{ MWh/m}^2$ , iš jų 34 % sudaro ikūnytoji energija. Maksimalios energijos sąnaudos sudaro

15,1 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 23 % – įkūnytoji energija, kai pastatas modernizuojamas kas 29 metus. Maksimalios energijos sąnaudos yra 15 % didesnės už minimalias.

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 20 metų – 12,4 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 34 % sudaro įkūnytoji energija. Maksimalios energijos sąnaudos sudaro 14,0 MWh/m<sup>2</sup>, iš jų 26 % – įkūnytoji energija, kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 13 % didesnės už minimalias.

Mažiausios energijos sąnaudos tarp trijų scenarijų gaunamos, kai pastatas modernizuojamas kas 20 metų, o reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms griežtėja po 50 % kas 10 metų. Didžiausios – kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų, o reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms griežtėja po 10 % kas 10 metų, ir yra 37 % didesnės už minimalias.



4.12 pav. II pastato energijos sąnaudų priklausomybė nuo įkūnytosios energijos sąnaudų dalies bendrosiose energijos sąnaudose

Fig. 4.12. 2<sup>nd</sup> building energy consumption dependence on embodied energy share in total energy consumption

Kaip ir I pastato atveju, ku dažnesnis ir didesnės apimties (energinu požiūriu) pastato modernizavimas, tuo didesnės susidaro pastato įkūnytosios energijos sąnaudos ir mažesnės pastato naudojamosios energijos sąnaudos.

4.12 paveiksle pateikta pastato bendrųjų ir naudojamosios energijos sąnaudų priklausomybė nuo pastato įkūnytosios energijos sąnaudų.

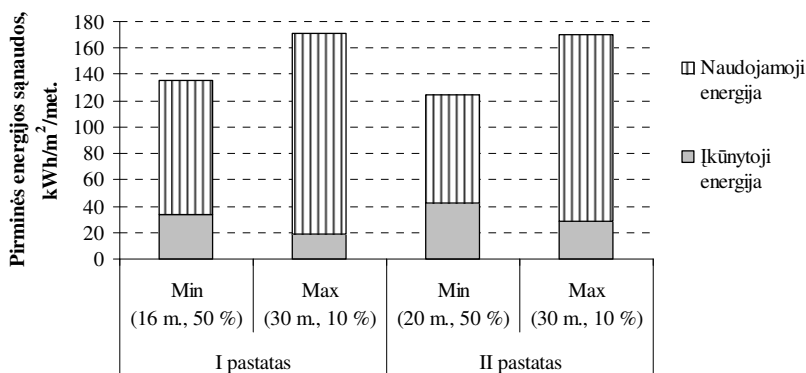
Didėjant įkūnytosioms energijos sąnaudoms, pastato naudojamosios energijos sąnaudos mažėja. Tačiau įkūnytosioms energijos sąnaudoms viršijus 40 %

bendrųjų energijos sąnaudų, naudojamosios energijos sąnaudų mažėjimo tempas sulėtėja.

Didėjant įkūnytosioms energijos sąnaudoms, bendrosios energijos sąnaudos taip pat turi tendenciją mažėti. Kai įkūnytosioms energijos sąnaudoms pasiekia apie  $5,2 \text{ MWh/m}^2$  arba sudaro daugiau nei 40 % bendrųjų energijos sąnaudų, bendrųjų energijos sąnaudų mažėjimas sustoja ir atsiranda jų augimo tendencija. Nagrinėjamo pastato atveju tokie rezultatai gaunami, kai pastato modernizavimo periodiskumas yra dažnesnis nei 15 metų.

#### 4.4.2.3. Rezultatų palyginimas

4.13 paveiksle pateikta geriausių ir blogiausių abiejų pastatų modernizavimo atvejų rezultatai, perskaičiuoti į metines energijos sąnaudas.



**4.13 pav.** Geriausių ir blogiausių pastatų modernizavimo atvejų rezultatai, perskaičiuoti į metines energijos sąnaudas

**Fig. 4.13.** The best and worst cases of buildings modernisation in terms of annual energy consumption

Lyginant santykinę I ir II pastatų bendrąsias energijos sąnaudas, rezultatai yra panašūs. I pastato bendrosios energijos sąnaudos geriausio scenarijaus atveju lygios  $136 \text{ kWh/m}^2/\text{met.}$ , II –  $124 \text{ kWh/m}^2/\text{met.}$ . Blogiausio scenarijaus atveju atitinkamai  $171 \text{ kWh/m}^2/\text{met.}$  ir  $170 \text{ kWh/m}^2/\text{met.}$ . Tačiau skiriasi šių sąnaudų pasiskirstymas tarp naudojamosios ir įkūnytosioms energijos.

II pastato įkūnytosioms energijos sąnaudoms yra 6–10 procentiniais punktais didesnės nei I pastato. Taip yra dėl to, kad II pastato įkūnytosioms energijos sąnaudos statybos metu pastato ploto vienetui yra didesnės nei I pastato –  $1,1 \text{ MWh/m}^2$ , II –  $1,7 \text{ MWh/m}^2$  (54 % didesnės). Pagrindinė šio skirtumo priežastis yra pastatų dydžio skirtumas. I pastatas pagal plotą yra 63 % didesnis.

I pastato atitvarų ploto santykis su grindų plotu lygus 1,4, o II – 2,0 (40 % didesnės).

II pastato naudojamosios energijos sąnaudos yra mažesnės, kadangi šio pastato pradinis santykinis pirminės energijos poreikis yra mažesnis. Energijos poreikio skirtumą lemia didesnės santykinės II pastato energijos sąnaudos vėdinimui.

Gautus rezultatus lyginti su kitų mokslininkų tyrimų rezultatais yra sudėtinga, kadangi skiriasi tyrimų apimtys, prielaidos, klimatinės nagrinėjamų vietovių sąlygos ir pan.

## 4.5. Aplinkosauginis pastatų gyvavimo ciklas

Šiame poskyryje formuojamas pastatų aplinkosauginis gyvavimo ciklas, naudojant technologinio ir energetinio modelių rezultatus.

### 4.5.1. Aplinkosauginio gyvavimo ciklo prielaidos

Aplinkosauginio pastato gyvavimo ciklo sudarymo prielaidos:

1. Šiluma gaminama gamtinių dujų katilinėje. Dėl šilumos gamybos susidaranti emisijos lygios  $0,25 \text{ tCO}_{2\text{ekv}} / \text{MWh}$  pirminės energijos.

2. Elektros energija perkama iš tinklo. Kadangi į šalies elektros energijos balansą patenka ne tik šalyje pagaminama, bet ir importuojama elektros energija, sudėtinga nustatyti tikslų bendrą Lietuvos elektros energetikos sektoriaus taršos rodiklį. Todėl šiame darbe imamas UCTE (Vakarų ir Centrinės Europos šalių elektros energijos perdavimo sąjungos) sistemos rodiklis. Prisijungimas prie šios sąjungos yra vienas iš Lietuvos strateginių energetikos uždavinių (Lietuvos Respublikos Seimas 2007). Dėl elektros energijos gamybos susidaranti šiltnamio efekta sukelti dujų emisijos lygios  $0,27 \text{ tCO}_{2\text{ekv}} / \text{MWh}$  pirminės energijos.

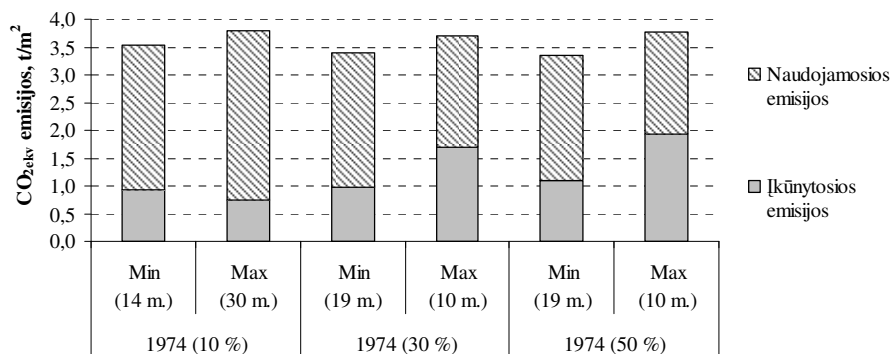
3. Elektros ir šilumos gamybos metu susidaranti šiltnamio efekta sukelti dujų emisijos mažės  $0,7 \%$  per metus dėl atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo didėjimo. Taigi laikotarpio pabaigoje emisijų koeficientas bus 2 kartus mažesnis nei laikotarpio pradžioje, t. y.  $50 \%$  elektros energijos gamybos kuro balanso bus pakeista atsinaujinančiais energijos ištekliais.

Toliau pateikiami skaičiavimų rezultatai.

### 4.5.2. Pastatų aplinkosauginio gyvavimo ciklo rezultatai

#### 4.5.2.1. I pastatas

I pastato aplinkosauginio gyvavimo ciklo vertinimo rezultatai pateikti 4.14 paveiksle.



**4.14 pav.** Minimalios ir maksimalios I pastato gyvavimo ciklo emisijos  
**Fig. 4.14.** Minimum and maximum 1<sup>st</sup> building life cycle emissions

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo emisijos susidaro, jei pastatas modernizuojamas kas 14 metų – 3,5 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 27 % sudaro įkūnytosios emisijos. Maksimalios emisijos sudaro 3,8 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 20 % – įkūnytosios emisijos, kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 8 % didesnės už minimalias.

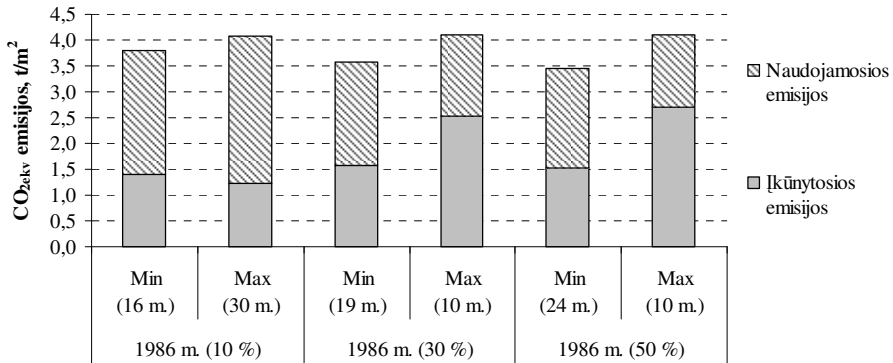
Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo emisijos susidaro, jei pastatas modernizuojamas kas 19 metų – 3,4 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 29 % sudaro įkūnytosios emisijos. Maksimalios emisijos sudaro 3,7 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 46 % – įkūnytosios emisijos, jei pastatas modernizuojamas kas 10 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 9 % didesnės už minimalias.

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo emisijos susidaro, jei pastatas modernizuojamas kas 19 metų – 3,3 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 33 % sudaro įkūnytosios emisijos. Maksimalios emisijos sudaro 3,8 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 51 % – įkūnytosios emisijos, kai pastatas modernizuojamas kas 10 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 13 % didesnės už minimalias.

Mažiausios pastato bendrosios emisijos susidaro, kai pastato modernizavimo periodiškumas yra 19 metų, jei pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų – 3,3 kWh/m<sup>2</sup>. Didžiausios, kai pastato modernizavimo periodiškumas yra 30 metų, pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 10 % – 3,8 kWh/m<sup>2</sup> (14 % didesnės už minimalias).

#### 4.5.2.2. II pastatas

II pastato aplinkosauginio gyvavimo ciklo vertinimo rezultatai pateikti 4.15 paveiksle.



4.15 pav. Minimalios ir maksimalios II pastato gyvavimo ciklo emisijos  
**Fig. 4.15.** Minimum and maximum 2<sup>nd</sup> building life cycle emissions

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo emisijos susidaro, jei pastatas modernizuojamas kas 16 metų – 3,8 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 37 % sudaro ikūnytosios emisijos. Maksimalios emisijos sudaro 4,1 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 30 % – ikūnytosios emisijos, kai pastatas modernizuojamas kas 30 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 7 % didesnės už minimalias.

Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo emisijos susidaro, jei pastatas modernizuojamas kas 19 metų – 3,6 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 44 % sudaro ikūnytosios emisijos. Maksimalios emisijos sudaro 4,1 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 62 % – ikūnytosios emisijos, kai pastatas modernizuojamas kas 10 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 14 % didesnės už minimalias.

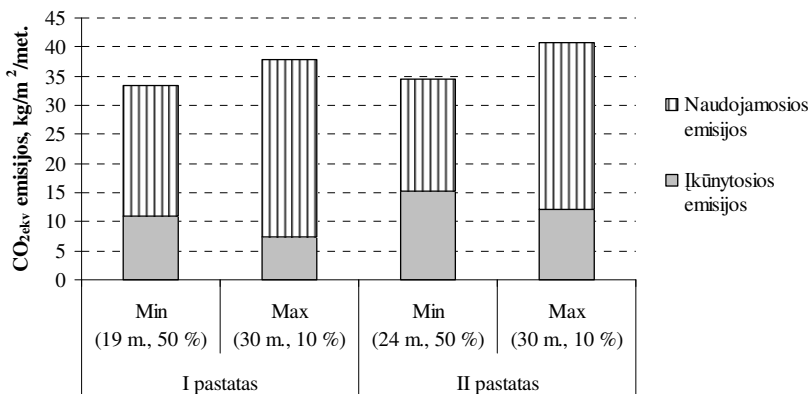
Kai norminiai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų, minimalios bendrosios gyvavimo ciklo emisijos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 24 metus – 3,5 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 44 % sudaro ikūnytosios emisijos. Maksimalios emisijos sudaro 4,1 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>, iš jų 66 % – ikūnytosios emisijos, kai pastatas modernizuojamas kas 10 metų. Maksimalios energijos sąnaudos yra 19 % didesnės už minimalias.

Mažiausios pastato bendrosios emisijos susidaro, kai pastatas modernizuojamas kas 24 metus, kai pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų – 3,5 tCO<sub>2ekv</sub>/m<sup>2</sup>. Didžiausios, esant pastato

modernizavimo periodiškumui 10 metų, kai pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % –  $4,1 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  (19 % didesnės už minimalias).

### 4.5.2.3. Rezultatų palyginimas

4.16 paveiksle pateikta geriausių ir blogiausių abiejų pastatų modernizavimo atvejų rezultatai, perskaičiuoti į metines emisijas.



**4.16 pav.** Geriausių ir blogiausių pastatų modernizavimo atvejų rezultatai, perskaičiuoti į metines emisijas

**Fig. 4.16.** The best and worst cases of buildings modernisation in terms of annual emissions

Lyginant santykinę I ir II pastatų bendrąsias emisijas, rezultatai taip pat yra panašūs kaip bendrųjų energijos sąnaudų atveju. I pastato bendrosios emisijos geriausio scenarijaus atveju lygios  $33 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{met.}$ , II –  $35 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{met.}$  Blogiausio scenarijaus atveju – atitinkamai  $38 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{met.}$  ir  $41 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2/\text{met.}$  Tačiau skiriasi šių sąnaudų pasiskirstymas tarp naudojamųjų ir įkūnytųjų emisijų. II pastato įkūnytųjų emisijos yra 10–16 procentinių punktų didesnės nei I pastato. Taip yra dėl to, kad II pastato įkūnytųjų emisijos statybos metu pastato ploto vienetui yra didesnės nei I pastato.

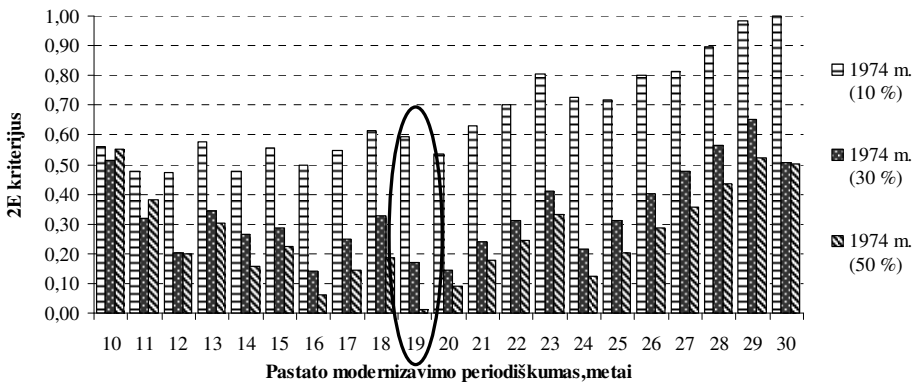
II pastato naudojamosios emisijos yra mažesnės, kadangi šio pastato statybos santykinis pirminės energijos poreikis yra mažesnis. Energijos poreikio skirtumą lemia II pastato mažesnės energijos sąnaudos vėdinimui. Tai lemia, kad optimalus šio pastato modernizavimo periodiškumas emisijų atžvilgiu yra retesnis.



## 4.6. Bendrieji rezultatai

Šiame darbe neatliekamas bendrųjų energijos sąnaudų ir bendrųjų emisijų kriterijų svarbos tyrimas ir nustatymas. Atsižvelgiant į dabartinės energetikos ir aplinkosaugos politikos vystymosi tendencijas, abu šie kriterijai svarbūs ir todėl daroma prielaida, kad pastato bendrosios gyvavimo ciklo energijos sąnaudos ir emisijos yra vienodai svarbūs kriterijai.

4.17 paveiksle pateikti nagrinėjamų I pastato modernizavimo alternatyvų rezultatai (2E kriterijus).



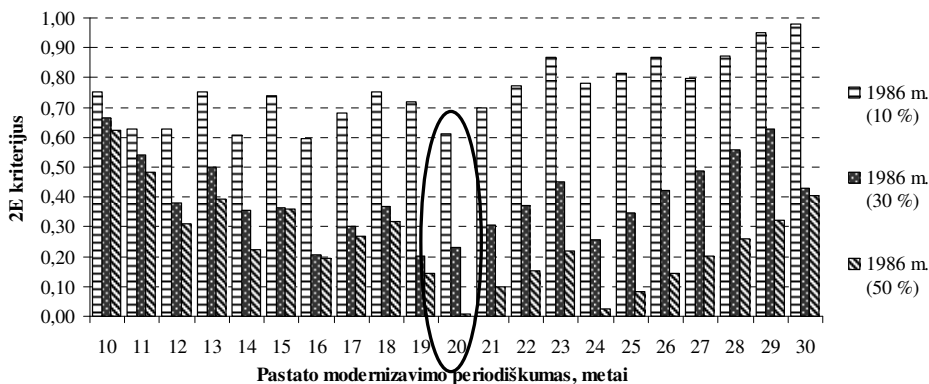
4.17 pav. I pastato 2E kriterijus  
Fig. 4.17. 1<sup>st</sup> building 2E criterion

Kai pastatas statytas pagal 1974 m. normas, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 19 metų (t. y. 4 kartus per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), o pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų.

Kai pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 30 % kas 10 metų, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 16 metų (t. y. 5 kartus per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Kai pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 10 % kas 10 metų, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 12 metų (t. y. 7 kartus per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

4.18 paveiksle pateikti nagrinėjamo II pastato modernizavimo alternatyvų rezultatai (2E kriterijus).



4.18 pav. II pastato 2E kriterijus  
Fig. 4.18. 2<sup>nd</sup> building 2E criterion

Kai pastatas statytas pagal 1986 m. normas, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 20 metų (t. y. 4 kartus per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), o pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų.

Kai pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 30 % kas 10 metų, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 19 metų (t. y. 4 kartus per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Kai pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 10 % kas 10 metų, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 16 metų (t. y. 5 kartus per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Abiejų pastatų rezultatai yra panašūs. I pastato atveju optimalus modernizavimo periodiškumas yra 19 metų, II pastato atveju – 20 metų. T. y. siekiant mažinti šių pastatų poveikį aplinkai ir išlaikyti gerą pastatų fizinę ir moralinę būklę, 100 metų laikotarpyje būtų tikslinga numatyti 4 modernizavimus. Nors I pastato šiluminės charakteristikos statybos metu yra blogesnės nei II pastato, tačiau didesnės II pastato įkūnytosios energijos sąnaudos lemia panašius galutinius skaičiavimų rezultatus.

Gauti rezultatai rodo, kad siekiant minimizuoti energetinį ir aplinkosauginį pastatų poveikį, tikslinga svarstyti dabartinių pastatų modernizavimą iki pasyvaus pastato standartų.

Pastatų energijos sąnaudų minimizavimo poreikį dar labiau sustiprina šiluminio komforto kriterijus. Energiškai neefektyviuose, nusidėvėjusiuose pastatuose, kaip buvo aptarta 1 ir 2 skyriuose, dažnai neužtikrinamos norminės temperatūrinės sąlygos. Todėl dalis sutaupytos energijos yra skiriama norminių temperatūrinių sąnaudų atstatymui, kas mažina energinį ir aplinkosauginį pastatų modernizavimo efektą.

## 4.7. Rezultatų jautrumo analizė

Siekiant patikrinti gautų rezultatų patikimumą ir nustatyti, kokią įtaką daro atskirų kintamųjų, dėl kurių buvo daromos prielaidos, kitimas, atliekama jautrumo analizė išoriniams ir vidiniams veiksniams.

Pagrindiniai vidiniai veiksniai, darantys įtaką pastato energijos sąnaudoms, yra pradinis pastato energinis naudingumas ir energijos sąnaudų augimas dėl pastato ir jo inžinerinių sistemų nusidėvėjimo. Jautrumo analizė atliekama šiems vidinių veiksmų kintamiesiems:

1. Pradinis pastato energinis naudingumas (pastato atitvarų ir mikroklimatą bei oro kokybę palaikančių sistemų efektyvumas).
2. Šilumos sąnaudų augimas dėl pastato ir jo inžinerinių sistemų nusidėvėjimo.

Pagrindiniai išoriniai veiksniai, turintys įtakos pastato energijos sąnaudoms ir taršai yra kuras, naudojamas energijos gamyboje, ir energijos gamybos efektyvumas. Jautrumo analizė atliekama šiems išorinių veiksmų kintamiesiems:

1. Šilumos gamybos efektyvumo kitimas.
2. Taršos dėl šilumos energijos gamybos kitimas.
3. Taršos dėl elektros energijos gamybos kitimas.

### 4.7.1. Pradinis pastato energinis naudingumas

Siekiant patikrinti, kaip rezultatams įtaką daro pradinis pastato energinio naudingumo lygmuo, skaičiavimai atliekami atvejams, kai tas pats pastatas statybos metu atitinka nuo 2005 m. galiojančias normas, reglamentuojančias pastatų atitvarų šilumines charakteristikas (STR 2.05.01:2005) ir šio laikotarpio mikroklimatą bei vidaus oro kokybę palaikančių sistemų efektyvumo lygį.

Nuo 1999 m. galiojusios normos (STR 2.05.01:1999) čia nenagrinėjamos, kadangi esminės įtakos rezultatams, lyginant su 2005 m. normomis, jos nedaro (Užšilaitytė 2010; Užšilaitytė ir Martinaitis 2010a).

Skaičiavimuose naudojamos tos pačios prielaidos kaip ir pagrindinio scenarijaus atveju. Pastatų šilumos perdavimo koeficientai pateikti 4.5 ir 4.6 lentelėse. Kitų sistemų efektyvumas imamas pagal 4.4 skyriuje pateiktas prielaidas.

Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.19 ir 4.20 paveiksluose.

**4.5 lentelė.** I pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai, kai pradinės pastato šiluminės charakteristikos atitinka 2005 m. normas

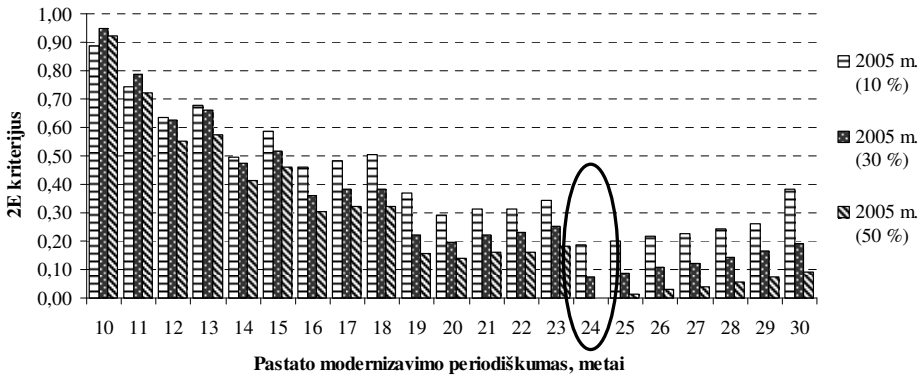
**Table 4.5.** Heat transmission coefficients of 1<sup>st</sup> building envelopes, when initial building thermal characteristics meet requirements of regulation 2005

Atitvaros	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m <sup>2</sup> K									
	Statyba	Laikotarpis po pastato statybos, metai								
		11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
	Šilumos perdavimo koeficiento verčių mažėjimas po 10 %									
Sienos	0,29	0,25	0,22	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
Stogas	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
Grindys	0,33	0,30	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13
Langai	1,71	1,69	1,69	1,21	1,21	1,21	0,95	0,95	0,70	0,70
	Šilumos perdavimo koeficiento verčių mažėjimas po 30 %									
Sienos	0,29	0,20	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Stogas	0,22	0,16	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Grindys	0,33	0,24	0,17	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Langai	1,71	1,69	1,21	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	Šilumos perdavimo koeficiento verčių mažėjimas po 50 %									
Sienos	0,29	0,14	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Stogas	0,22	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Grindys	0,33	0,17	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Langai	1,71	0,95	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Jei I pastatas statytas pagal 2005 m. normas, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 24 metus, t. y. 3 kartus per nagrinėjamą laikotarpį, ir po pirmo modernizavimo pasiekia pasyvaus pastato reikalavimus. Didžiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 10 metų.

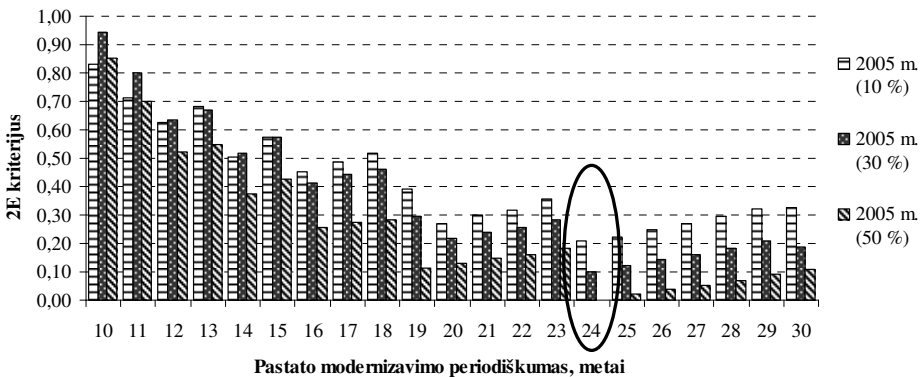
Analogiški rezultatai gaunami ir II pastato atveju. Kai pradinis pastato energinis naudingumas atitinka 2005 m. normas, mažiausias 2E kriterijus gaunamas, kai pastatas modernizuojamas kas 24 metus ir po pirmo modernizavimo pasiekia pasyvaus pastato reikalavimus.





**4.19 pav.** 2E kriterijus, kai I pastato pradinės šiluminės charakteristikos atitinka 2005 m. normas

**Fig. 4.19.** 2E criterion when 1<sup>st</sup> building thermal characteristics comply with regulation 2005



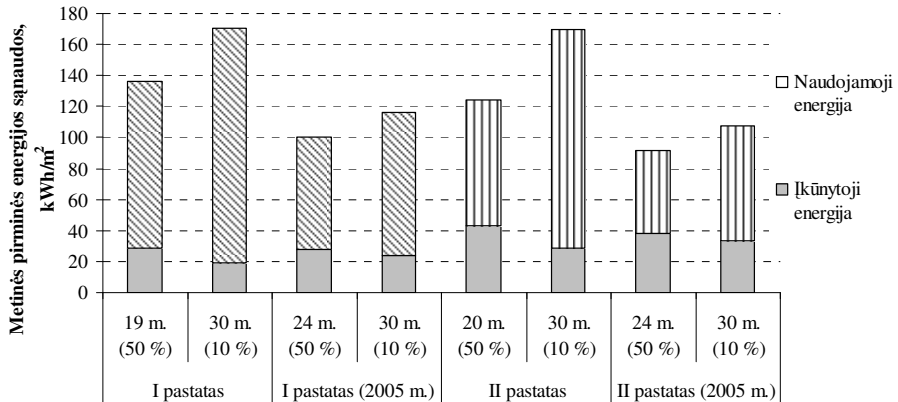
**4.20 pav.** 2E kriterijus, kai II pastato pradinės šiluminės charakteristikos atitinka 2005 m. normas

**Fig. 4.20.** 2E criterion when 2<sup>nd</sup> building thermal characteristics comply with regulation 2005

4.21 ir 4.22 paveiksluose pateiktas geriausių gautų rezultatų palyginimas su situacija, jeigu pastatai būtų modernizuojami kas 30 metų.

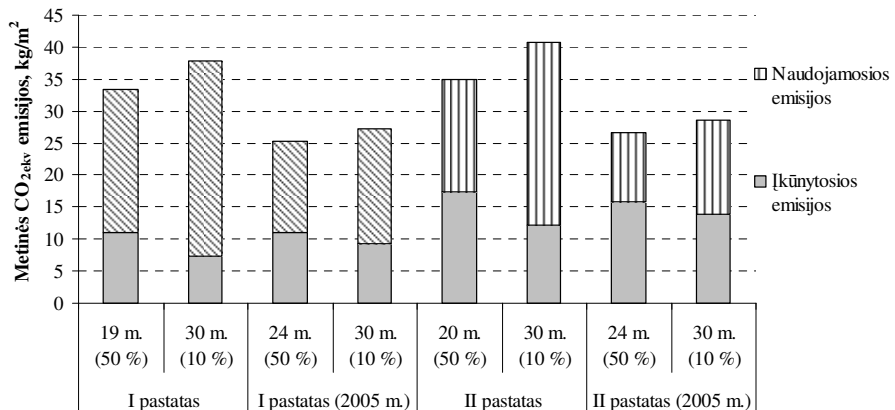
I pastato optimalaus modernizavimo periodiškumo atveju bendrosios metinės energijos sąnaudos sudaro 136 kWh/m<sup>2</sup>. Jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, kai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėtų po

10 % kas 10 metų, bendrosios metinės energijos sąnaudos sudarytų 171 kWh/m<sup>2</sup> arba 25 % daugiau. Jei tas pats pastatas būtų statytas pagal 2005 m. normas, bendrosios energijos sąnaudos sudarytų atitinkamai 100 kWh/m<sup>2</sup> ir 116 kWh/m<sup>2</sup> arba 16 % daugiau.



**4.21 pav.** Geriausių alternatyvų energijos sąnaudų palyginimas su atvejais, kai pastatai modernizuojami kas 30 metų

**Fig. 4.21.** Comparison of energy consumption of the best alternatives with cases when buildings modernisation periodicity is 30 years



**4.22 pav.** Geriausių alternatyvų emisijų palyginimas su atvejais, kai pastatai modernizuojami kas 30 metų

**Fig. 4.22.** Comparison of emissions of the best alternatives with cases when buildings modernisation periodicity is 30 years

II pastato optimalaus modernizavimo periodiškumo atveju bendrosios metinės energijos sąnaudos sudaro  $124 \text{ kWh/m}^2$ . Jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, kai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėtų po 10 % kas 10 metų, bendrosios metinės energijos sąnaudos sudarytų  $170 \text{ kWh/m}^2$  arba 37 % daugiau. Jei tas pats pastatas būtų statytas pagal 2005 m. normas, bendrosios energijos sąnaudos sudarytų atitinkamai  $91 \text{ kWh/m}^2$  ir  $107 \text{ kWh/m}^2$  arba 18 % daugiau.

I pastato optimalaus modernizavimo periodiškumo atveju bendrosios metinės emisijos sudaro  $33 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$ . Jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, kai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėtų po 10 % kas 10 metų, bendrosios metinės emisijos sudarytų  $38 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  arba 14 % daugiau. Jei tas pats pastatas būtų statytas pagal 2005 m. normas, bendrosios emisijos sudarytų atitinkamai  $25 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  ir  $27 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  arba 8 % daugiau.

II pastato optimalaus modernizavimo periodiškumo atveju bendrosios metinės emisijos sudaro  $35 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$ . Jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, kai reikalavimai šilumos perdavimo koeficientams griežtėtų po 10 % kas 10 metų, bendrosios metinės emisijos sudarytų  $41 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  arba 16 % daugiau. Jei tas pats pastatas būtų statytas pagal 2005 m. normas, bendrosios emisijos sudarytų atitinkamai  $27 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  ir  $29 \text{ kgCO}_{2\text{ekv}}/\text{m}^2$  arba 7 % daugiau.

#### 4.7.2. Šilumos sąnaudų augimas dėl pastato nusidėvėjimo

Pastatui ir jo inžinerinėms sistemoms fiziškai nusidėvint, auga pastato šilumos sąnaudos. Todėl atliekamas patikrinimas, kaip keičiasi vertinimo rezultatai, augant šilumos energijos sąnaudoms dėl pastato nusidėvėjimo. Vertinimas atliekamas šilumos sąnaudoms augant intervalu 0–2 %/metus. Rezultatai pateikti 4.23 ir 4.24 paveiksluose.

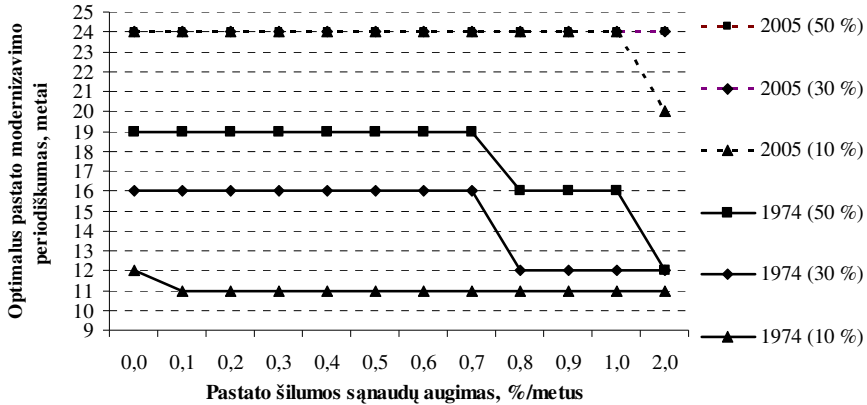
I pastato atveju, scenarijaus, kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, šilumos energijos sąnaudų augimas dėl pastato nusidėvėjimo lemia modernizavimo padažnėjimą nuo 12 iki 11 metų (nuo 7 iki 8 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį). Tačiau iš esmės rezultatų skirtumas tarp šių dviejų periodiškumų yra nedidelis.

30 % ir 50 % reikalavimų griežtėjimo scenarijams poveikį daro 0,8 % per metus šilumos energijos sąnaudų augimas.

30 % scenarijaus atveju, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 16 iki 12 metų (nuo 5 iki 7 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

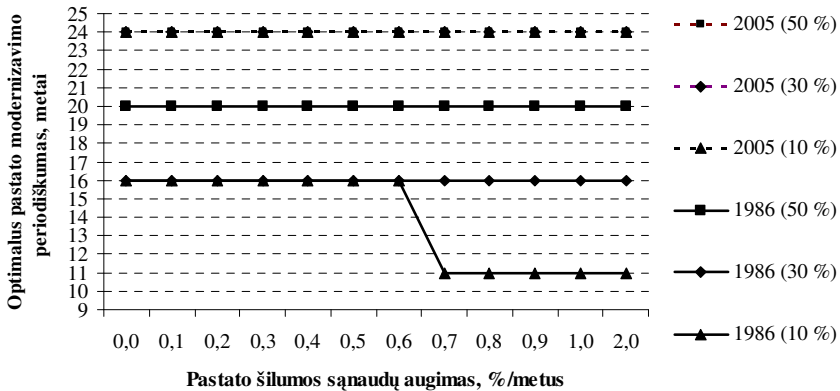


50 % scenarijaus atveju, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 19 iki 16 metų (nuo 4 iki 5 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).



4.23 pav. I pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo pastato šilumos energijos sąnaudų augimo dėl nusidėvėjimo

Fig. 4.23. 1<sup>st</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on heat demand increase due to building depreciation



4.24 pav. II pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo pastato šilumos energijos sąnaudų augimo dėl nusidėvėjimo

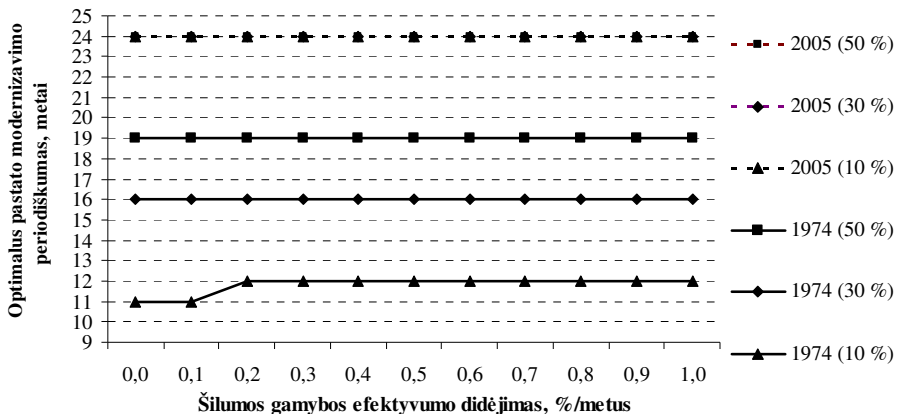
Fig. 4.24. 2<sup>nd</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on heat demand increase due to building depreciation

Kai I pastatas statytas pagal 2005 m. normas, rezultatai praktiškai yra neįjautrūs pastato šilumos energijos sąnaudų augimui. 10 % reikalavimų griežtėjimo scenarijaus atveju rezultatams daroma įtaka tik esant labai aukštam pastato energijos sąnaudų augimui – nuo 2 % per metus. Šilumos energijos sąnaudų augimas veikia atskirų vertinimo kriterijų skaitinę vertę ir skirtumą tarp atskirų rodiklių, bet ne galutinį pastato modernizavimo periodiškumą.

II pastato atveju, šilumos sąnaudų augimas dėl nusidėvėjimo praktiškai nedaro poveikio pastato modernizavimo periodiškumui. Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, rezultatams šilumos gamybos efektyvumas padaro įtaką tik tada, kai šilumos sąnaudų augimas dėl nusidėvėjimo yra pakankamai aukštas – 0,7 % per metus – optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 16 iki 11 metų (nuo 8 iki 5 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį). Šilumos energijos sąnaudų augimas veikia atskirų vertinimo kriterijų skaitinę vertę ir skirtumą tarp atskirų rodiklių, bet ne galutinį pastato modernizavimo periodiškumą. Tai sietina su faktu, kad II pastato pradinės šiluminės charakteristikos yra geresnės nei I pastato.

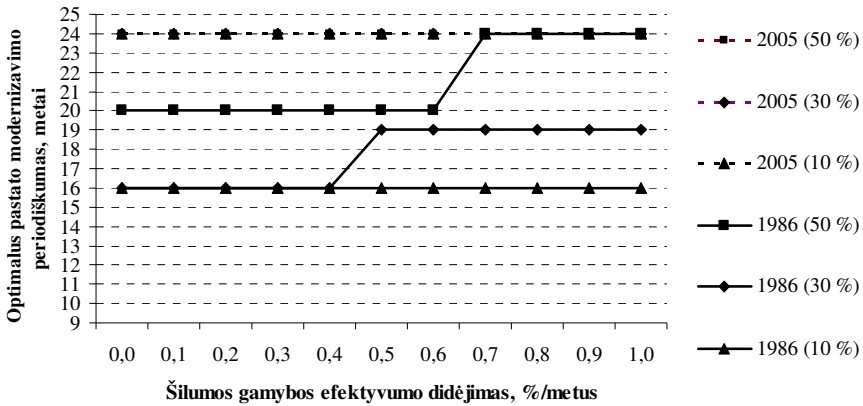
### 4.7.3. Šilumos gamybos efektyvumas

Vertinimuose buvo priimta, kad šilumos gamybos efektyvumas augs 0,2 % per metus. Siekiant patikrinti, kiek rezultatai įjautrūs šio dydžio kitimui, skaičiavimai atliekami, kai šilumos gamybos efektyvumas kinta intervale 0–1 %/metus. Rezultatai pateikti 4.25 ir 4.26 paveiksluose.



4.25 pav. I pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo šilumos gamybos efektyvumo didėjimo

Fig. 4.25. 1<sup>st</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on increase of heat production efficiency



4.26 pav. II pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo šilumos gamybos efektyvumo didėjimo

Fig. 4.26. 2<sup>nd</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on increase of heat production efficiency

I pastato atveju, scenarijaus, kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, rezultatams šilumos gamybos efektyvumas padaro įtaką, kai metinis efektyvumo didėjimas yra mažesnis už 0,2 % per metus – optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 12 iki 11 metų. Tačiau rezultatų skirtumas tarp šių dviejų periodiškumų yra nedidelis.

Likusių nagrinėjamų scenarijų rezultatai yra nejautrūs šilumos gamybos efektyvumo didėjimui. Šilumos gamybos efektyvumas veikia atskirų vertinimo kriterijų skaitinę vertę ir skirtumą tarp atskirų rodiklių, bet ne galutinį optimalų pastato modernizavimo periodiškumą.

II pastato atveju, scenarijaus, kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, rezultatams šilumos gamybos efektyvumas padaro įtaką tik tada, kai metinis efektyvumo didėjimas yra pakankamai aukštas 0,5 % per metus – optimalus pastato modernizavimo periodiškumas suretėja nuo 16 iki 19 metų (nuo 5 iki 4 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų, rezultatams šilumos gamybos efektyvumas padaro įtaką tik tada, kai metinis efektyvumo didėjimas yra pakankamai aukštas 0,7 % per metus – optimalus pastato modernizavimo periodiškumas suretėja nuo 20 iki 24 metų (nuo 4 iki 3 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

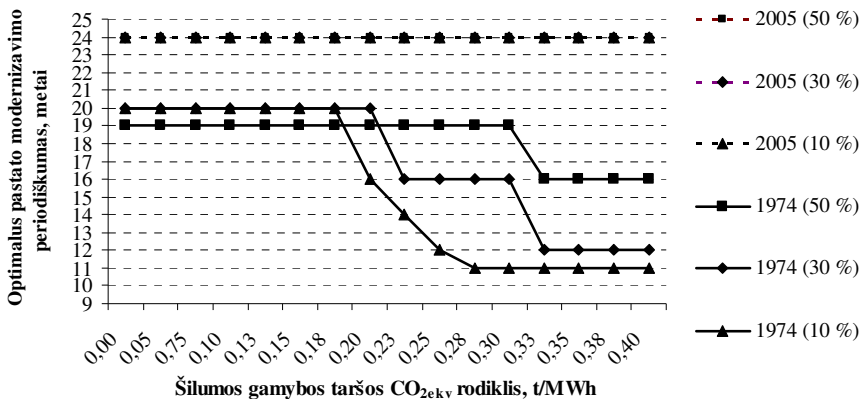
Likusių nagrinėjamų scenarijų rezultatai yra nejautrūs šilumos gamybos efektyvumo didėjimui. Šilumos gamybos efektyvumas veikia atskirų vertinimo kriterijų skaitinę vertę ir skirtumą tarp atskirų rodiklių, bet ne galutinį pastato modernizavimo periodiškumą.

#### 4.7.4. Tarša dėl šilumos gamybos

Siekiant patikrinti, kaip emisijos, susijusios su šilumos gamyba daro įtaką vertinimo rezultatams, atliekama jautrumo analizė taršos dėl šilumos gamybos kitimui.

Pagrindinio scenarijaus taršos rodiklis yra  $0,25 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ , įvertinant emisijas, susidarancias dėl katilo gamybos bei elektros energijos sąnaudas katilo veikimui. Vertinant tik emisijas, susidarancias dėl kuro deginimo: deginant gamtines dujas taršos rodiklis lygus  $0,202 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ , durpes (vienas iš taršiausių kūrų) –  $0,381 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ , atsinaujinančius energijos išteklius –  $0,0 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$  (Komisija 2007). Todėl vertinime nustatomas intervalas nuo  $0,0 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$  (šiuo atveju teorinis ribinis rodiklis, kai emisijos dėl elektros energijos sąnaudų šilumos gamyboje ir katilo gamybos taip pat būtų lygios  $0 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ) iki  $0,40 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ .

Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.27 ir 4.28 paveiksluose. Abiejų pastatų rezultatai yra jautrūs šiam rodikliui.



4.27 pav. I pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo šilumos energijos gamybos taršos rodiklio

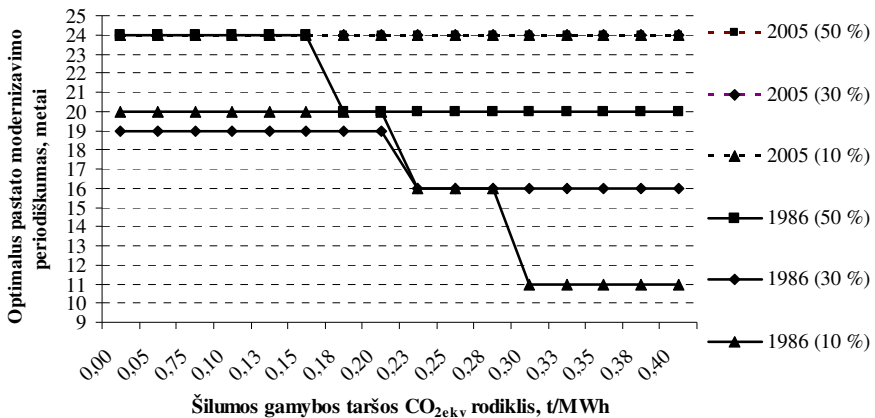
Fig. 4.27. 1<sup>st</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on heat production emissions factor

I pastato atveju, kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 12 iki 11 metų, jei taršos rodiklis yra daugiau kaip 10 % didesnis. Kai taršos rodiklis daugiau kaip 30 % mažesnis, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas retėja iki 20 metų (4 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 16 iki 12 metų (nuo 5 iki 7 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), kai taršos rodiklis 30 % didesnis ( $0,33 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ). Kai taršos rodiklis 20 % mažesnis, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas suretėja nuo 16 iki 20 metų (nuo 5 iki 4 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 19 iki 16 metų (nuo 4 iki 5 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), kai taršos rodiklis 30 % didesnis ( $0,33 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ).

Jei pastatas statytas pagal 2005 m. normas, rezultatai yra neįtakoti taršos rodiklio kitimui. Taršos rodiklis veikia atskirų vertinimo kriterijų skaitinę vertę ir skirtumą tarp atskirų rodiklių, bet ne galutinį pastato modernizavimo periodiškumą.



4.28 pav. II pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo šilumos energijos gamybos taršos rodiklio

Fig. 4.28. 2<sup>nd</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on heat production emissions factor

II pastato atveju, kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas

retėja nuo 16 iki 20 metų (nuo 5 iki 4 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), kai taršos rodiklis 20 % mažesnis ( $0,20 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ). Jei taršos rodiklis padidėja 20 %, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 16 iki 11 metų (nuo 5 iki 8 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį).

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas retėja nuo 16 iki 19 metų (nuo 5 iki 4 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), jei taršos rodiklis 20 % mažesnis ( $0,20 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ). Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas retėja nuo 20 iki 24 metų (nuo 4 iki 3 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), jei taršos rodiklis 40 % mažesnis ( $0,15 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ).

Kai pastatas statytas pagal 2005 m. normas, rezultatai yra neįtakoti taršos rodiklio kitimui. Taršos rodiklis veikia atskirų vertinimo kriterijų skaitinę vertę ir skirtumą tarp atskirų rodiklių, bet ne galutinį pastato modernizavimo periodiškumą.

Taršos rodiklis dėl šilumos energijos gamybos daro žymią įtaką pastato modernizavimo periodiškumui, kai pastato šiluminės charakteristikos yra žemos. Jei taršos rodiklis yra 30 % didesnis, taršos ir energijos sąnaudų rodikliai tampa vienodai svarbūs. Kai taršos rodikliai yra daugiau kaip 20 % mažesni, rezultatams daro žymią įtaką įkūnytosios energijos sąnaudos, kurios modernizuojant pastatą duoda neigiamą rezultatą, jeigu naudojamoji energija yra neutrali šiltnamio efektą sukeliančių emisijų atžvilgiu.

#### 4.7.5. Tarša dėl elektros energijos gamybos

Siekiant patikrinti, kaip emisijos, susijusios su elektros energijos gamyba paveikia vertinimo rezultatus, atliekama jautrumo analizė taršos dėl elektros energijos gamybos kitimui.

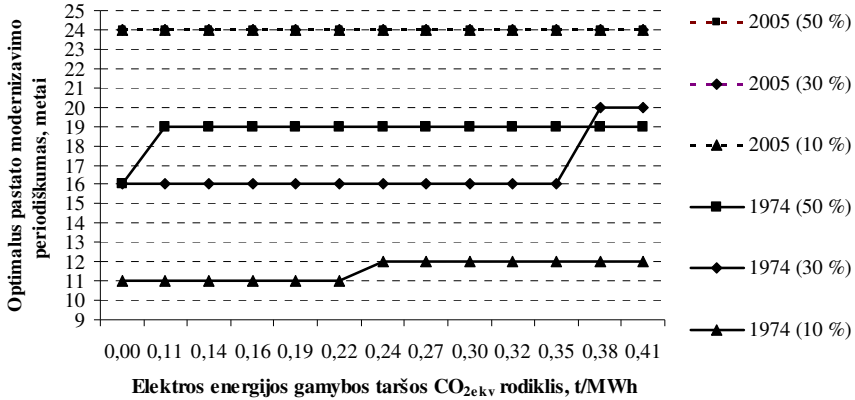
Pagrindinio scenarijaus taršos rodiklis yra  $0,27 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ . Jautrumo analizė atliekama, kai rodiklis kinta nuo 0 iki  $0,41 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ .

Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.29 ir 4.30 paveiksluose.

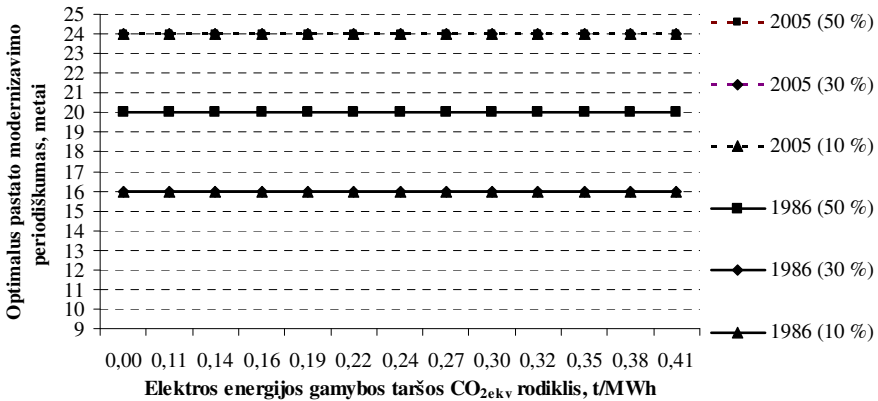
Elektros energijos gamybos taršos rodiklio atveju rezultatai gaunami priešingai nei šilumos gamybos taršos rodiklio atveju. Augant elektros energijos taršos rodikliui, I pastato modernizavimo periodiškumas retėja – priešingai nei šilumos gamybos taršos rodiklio atveju. Tai susiję su faktu, kad keičiant pastato statybos metu įrengtas šildymo ir vėdinimo sistemas, labai padidėja elektros energijos sąnaudos, kas lemia taršos padidėjimą.

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 10 % kas 10 metų, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja

nuo 12 iki 11 metų (nuo 7 iki 8 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), jei taršos rodiklis 20 % mažesnis (0,22 tCO<sub>2ekv</sub>/MWh).



4.29 pav. I pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo elektros energijos gamybos taršos rodiklio  
 Fig. 4.29. 1<sup>st</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on electricity production emissions factor



4.30 pav. II pastato modernizavimo optimalaus periodiškumo priklausomybė nuo elektros energijos gamybos taršos rodiklio  
 Fig. 4.30. 2<sup>nd</sup> building optimal modernisation periodicity dependence on electricity production emissions factor

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 30 % kas 10 metų optimalus pastato modernizavimo periodiškumas retėja nuo 16 iki 20 metų (nuo 5 iki 4 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), jei taršos rodiklis 40% didesnis ( $0,38 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ ).

Kai reikalavimai pastato šilumos perdavimo koeficientams griežtėja po 50 % kas 10 metų optimalus pastato modernizavimo periodiškumas padažnėja nuo 19 iki 16 metų (nuo 4 iki 5 kartų per nagrinėjamą pastato gyvavimo laikotarpį), jei taršos rodiklis lygus  $0 \text{ tCO}_{2\text{ekv}}/\text{MWh}$ .

Kai pastatas statytas pagal 2005 m. normas, rezultatai yra neįtakoti taršos rodiklio kitimui. Taršos rodiklis daro įtaką atskirų vertinimo kriterijų skaitinei vertei ir skirtumui tarp atskirų rodiklių, bet ne galutiniam pastato modernizavimo periodiškumui.

II pastato rezultatai yra neįtakoti elektros energijos gamybos taršos rodikliui. Kadangi šio pastato statybos metu jau yra įrengtos mechaninės vėdinimo sistemos, todėl elektros energijos sąnaudos žymaus poveikio pastato gyvavimo ciklo energijos balansui ir atitinkamai dėl to susidarantiems emisijoms nedaro.

## 4.8. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Naudojant sudarytą modelį, atlikta dviejų tipinių mokyklų pastatų modernizavimo analizė ir nustatytas optimalus pastatų modernizavimo periodiškumas ir apimtis. Optimalus pastatų modernizavimo periodiškumas ir apimtis nustatyti, modeliuojant skirtingus pastatų atitvarų šiluminių charakteristikų valstybinio reglamentavimo kitimo scenarijus ir prognozuojant pastato inžinerinių sistemų bei energijos gamybos efektyvumo kitimo tendencijas.
2. Įvertinant tendenciją, kad reikalavimai pastatų atitvarų šiluminėms charakteristikoms nuolat griežtėja, pastatų atitvaras ir mikroklimatą bei vidaus oro kokybę palaikančias sistemas tikslinga modernizuoti anksčiau nei jų nusidėvėjimas pasiekia visiško nusidėvėjimo lygmenį.
3. Kuo mažesnis pradinis pastato energinis naudingumas ir mažesnis modernizavimo energinis efektas, tuo tikslingesnis dažnesnis pastato modernizavimas. Didėjant pradiniam pastato energiniam naudingumui ir modernizavimo apimčiai, dažnesnis pastato modernizavimas tampa nebetikslingas.
4. I pastato (1974 m. projektuoto) vertinimo rezultatai:
  - mažiausia kriterijaus 2E reikšmė gaunama, kai pastatas modernizuojamas kas 19 metų, o pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų;



- optimalus pastato, kurio pradinės metinės šilumos sąnaudos atitinkamai sudarė  $257 \text{ kWh/m}^2$ , modernizavimo periodiškumas yra 19 metų arba 4 kartai per gyvavimo laikotarpį. Lyginant optimalaus pastato modernizavimo periodiškumo atvejo rezultatus su atveju, jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, minimaliai gerinant jo šilumines charakteristikas, gaunama, kad būtų galima sutaupyti 25 % pirminės energijos ir 14 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas;
  - jei pastatas atitinka nuo 2005 m. galiojančias normas, mažiausia 2E kriterijaus reikšmė gaunama, kai pastatas modernizuojamas kas 24 metus, o pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų;
  - lyginant optimalų pastato, atitinkančio nuo 2005 m. galiojančias normas, modernizavimo periodiškumo atvejo rezultatus su atveju, jei pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, minimaliai gerinant jo šilumines charakteristikas, gaunama, kad būtų galima sutaupyti 16 % pirminės energijos ir 8 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas.
5. II pastato (1986 m. projektuoto) vertinimo rezultatai:
- mažiausia kriterijaus 2E reikšmė gaunama, kai pastatas modernizuojamas kas 20 metų, o pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų;
  - optimalus pastato, kurio pradinės metinės šilumos sąnaudos sudarė  $219 \text{ kWh/m}^2$ , modernizavimo periodiškumas yra 20 metų arba 4 kartai per gyvavimo laikotarpį;
  - lyginant optimalaus pastato modernizavimo periodiškumo atvejo rezultatus su atveju, jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, minimaliai gerinant jo šilumines charakteristikas, gaunama, kad būtų galima sutaupyti 37 % pirminės energijos ir 16 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas
  - jei pastatas atitinka nuo 2005 m. galiojančias normas, mažiausia 2E kriterijaus reikšmė gaunama, kai pastatas modernizuojamas kas 24 metus, o pagal norminius reikalavimus šilumos perdavimo koeficientai mažėja po 50 % kas 10 metų;
  - lyginant optimalaus pastato, atitinkančio nuo 2005 m. galiojančias normas, modernizavimo periodiškumo rezultatus su atveju, jei pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, minimaliai gerinant jo šilumines charakteristikas, gaunama, kad būtų galima sutaupyti 18 % pirminės energijos ir 7 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas.

6. Nagrinėjant pastato modernizavimą ir siekiant įvertinti tikrąjį energinį ir taršos mažinimo efektą, tikslinga atkreipti dėmesį į pastato įkūnytosios energijos sąnaudas. Vertinant tik pastato naudojamosios energijos sąnaudas ir susidarancias emisijas, dažnas modernizavimas yra tikslingas, jeigu modernizavimo metu didinamas energijos vartojimo efektyvumas. Tuo tarpu įkūnytosios energijos sąnaudos ir emisijos, kurios tuo didesnės, kuo dažnesnis pastato modernizavimas, lemia retesnio modernizavimo tikslingumą.
7. Esminę įtaką pastato modernizavimo periodiškumui daro pradinis pastato energinis lygmuo. Pastatų, atitinkančių 2005 m. normas, dažnesnis nei 3 kartų modernizavimas netikslingas. Tačiau siekiant išlaikyti pastato fizinę ir moralinę vertę ir išnaudoti technologinės pažangos teikiamą energinę ir aplinkosauginę naudą, modernizavimą tikslinga atlikti anksčiau nei jų nusidėvėjimas pasiekia visiško nusidėvėjimo lygmenį.
8. Didžiausią įtaką pastato modernizavimo periodiškumui daro šiltnamio dujų emisijų kiekis, susidarantis šilumos ir elektros energijos gamybos metu. Taršaus kuro naudojimas šilumos gamybai lemia dažnesnio modernizavimo poreikį. Tuo tarpu elektros energijos gamyboje taršaus kuro naudojimas duoda priešingus rezultatus. Išaugęs elektros energijos poreikis pastato mikroklimatą bei vidaus oro kokybę palaikančiose sistemose nustelbia pastato šilumos poreikio sumažėjimo naudą.
9. Atlikti tyrimai parodė, kad pagrindiniai elementai, darantys poveikį optimaliam pastato modernizavimo periodiškumui, yra pastato dydis, konstrukcijų ir inžinerinių sistemų ilgaamžiškumas, elektros energijos poreikio kitimas. Pastato dydis lemia įkūnytųjų sąnaudų dalį bendrosiose pastato gyvavimo ciklo sąnaudose. Kuo didesnis santykis tarp pastato atitvarų ploto ir pastato ploto, tuo didesnė to pastato įkūnytųjų sąnaudų dalis, dėl ko mažėja pastato modernizavimo nauda. Priešingą efektą duoda elektros energijos poreikio padidėjimas po pastato modernizavimo. Išaugęs elektros energijos poreikiui ir dėl to padidėjus dėl elektros energijos gamybos susidarantiai taršai, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas retėja.
10. Atlikus gautų rezultatų jautrumo analizę nustatyta, kad didžiausią įtaką optimaliam pastato modernizavimo periodiškumui daro tarša, susidaranti dėl pastato funkcionavimui reikalingos šilumos gamybos. Didėjant šilumos gamybos taršos rodikliui taršos ir energijos sąnaudų kriterijai tampa vienodai svarbūs, todėl dažnėja pastato modernizavimo poreikis. Mažėjant šilumos gamybos taršos rodikliui, taršos kriterijaus rezultatams daro įtaką įkūnytosios emisijos, todėl dažnesnis pastato modernizavimas tampa mažiau tikslingas.

---

## Bendrosios išvados

1. Pastatų naudojimas daro žymų poveikį energijos išteklių netausiam vartojimui ir neigiamą poveikį aplinkai, bet praktikoje jų vertės išlaikymo koncepcija remiasi ekonominiais ir pastato fizinio nusidėvėjimo vertinimo kriterijais. Apžvelgus pastatų gyvavimo ciklo tyrimus, nustatyta, kad pastato modernizavimo tarpsnis vertinamas neatsižvelgiant į neišvengiamą technologinės pažangos ir valstybinę pastatų energinio efektyvumo politiką išreiškiančio reglamentavimo įtaką pastato gyvavimui.
2. Atlikta analizė parodė, kad be ekonominių ir fizinio nusidėvėjimo kriterijų, energijos vartojimo, taršos mažinimas ir šiluminio komforto padidinimas yra pagrindiniai kriterijai, lemiantys suinteresuotų grupių pastatų modernizavimo sprendimus.
3. Klasikinės ekonomikos požiūriu pastatų modernizavimas dažnai yra nepatrauklus. Papildomų metodinių problemų ekonominiuose vertinimuose kelia padėtis, kai pastate iki modernizavimo nebuvo užtikrinamos norminės temperatūrinės sąlygos. Šiame darbe pasiūlytas metodas leidžia įvertinti šiluminio komforto atstatymo naudą ekonominiuose skaičiavimuose, atskiriant ją nuo pastato fizinės būklės atstatymo ir energijos taupymo naudos.
4. Darbe sudarytas pastato modernizavimo vertinimo modelis, leidžiantis nagrinėti modernizavimo poveikį pastato fizinės būklės kitimui, jo gyvavimo

ciklo pirminės energijos sąnaudoms ir teršalų emisijoms bei šiluminiam komfortui. Modelis leidžia įvertinti technologinės pažangos ir valstybinio reguliavimo įtaką pastato gyvavimo ciklui ir nustatyti optimalų pastato modernizavimo periodiškumą ir apimtį.

5. Naudojant sudarytą modelį, atlikta dviejų tipinių mokyklų pastatų atvejo analizė ir nustatytas optimalus pastatų modernizavimo periodiškumas bei apimtis. Optimalus pastatų modernizavimo periodiškumas ir apimtis nustatyti, modeliuojant skirtingus pastatų atitvarų šiluminių charakteristikų valstybinio reglamentavimo kitimo scenarijus ir prognozuojant pastato inžinerinių sistemų bei energijos gamybos efektyvumo kitimo tendencijas. Atlikto modeliavimo rezultatai rodo, kad:
  - optimalus pastatų, atitinkančių 1974 m. ir 1986 m. statybos reikalavimus, kurių pradinės metinės šilumos sąnaudos atitinkamai sudarė 257 ir 219 kWh/m<sup>2</sup>, modernizavimo periodiškumas yra atitinkamai 19 ir 20 metų arba 4 kartai per gyvavimo laikotarpį. Lyginant optimalaus pastato modernizavimo periodiškumo atvejo rezultatus su atveju, jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, minimaliai gerinant jo šilumines charakteristikas, gaunama, kad pirmajame pastate būtų galima sutaupyti apie 25 % pirminės energijos ir apie 14 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas, antrajame pastate – sutaupyti apie 37 % pirminės energijos ir apie 16 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas;
  - tų pačių pastatų, atitinkančių 2005 m. normas, optimalus pastato modernizavimo periodiškumas yra 24 metai arba 3 kartai per gyvavimo laikotarpį. Lyginant optimalaus pastato modernizavimo periodiškumo atvejo rezultatus su atveju, jeigu pastatas būtų modernizuojamas kas 30 metų, minimaliai gerinant jo šilumines charakteristikas, gaunama, kad pirmajame pastate būtų galima sutaupyti apie 16 % pirminės energijos ir apie 8 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas, antrajame pastate – sutaupyti apie 18 % pirminės energijos ir apie 7 % sumažinti šiltnamio dujų emisijas.
6. Atlikti tyrimai parodė, kad pagrindiniai elementai, darantys poveikį optimaliam pastato modernizavimo periodiškumui, yra pastato dydis, konstrukcijų ir inžinerinių sistemų ilgaamžiškumas, elektros energijos poreikio kitimas. Kuo didesnis santykis tarp pastato atitvarų ploto ir pastato ploto, tuo didesnė to pastato įkūnytųjų energijos sąnaudų dalis, dėl ko mažėja pastato modernizavimo nauda. Optimalus pastato modernizavimo periodiškumas retėja, kai po pastato modernizavimo išauga elektros energijos poreikis ir dėl to padidėja dėl elektros energijos gamybos susidaranti tarša.
7. Atlikus gautų rezultatų jautrumo analizę atskirų kintamųjų kitimui išryškėjo tendencija, kad didžiausią įtaką optimaliam pastato modernizavimo peri-

odiškumui daro tarša, susidaranti dėl pastato naudojimui reikalingos šilumos gamybos. Didėjant šilumos gamybos taršos rodikliui taršos ir energijos sąnaudų kriterijai tampa vienodai svarbūs, todėl dažnėja pastato modernizavimo poreikis. Mažėjant šilumos gamybos taršos rodikliui, taršos kriterijaus rezultatams didesnę įtaką daro ikūnytosios emisijos, todėl dažnesnis pastato modernizavimas tampa mažiau tikslingas.



---

## Literatūra ir šaltiniai

- Abeyesundara, Y. U. G.; Babel, S.; Gheewala, Sh. 2009. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka, *Building and Environment* 44: 997–1004.
- Ayres, R. U. 2008. Sustainability economics: Where do we stand? *Ecological Economics* 67: 281–310.
- Alanne, K.; Saari, A. 2008. Estimating the environmental burdens of residential energy supply systems through material input and emission factors, *Building and Environment* 43: 1734–1748.
- Ali, H. H.; Nsairat, S. F. A. 2009. Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan, *Building and Environment* 44: 1053–1064.
- Anastaselos, D.; Giama, E.; Papadopoulos, A. 2009. An Assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions, *Energy and Buildings* 41: 1165–1171.
- Aplinkos ministerija; VšĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas. 2002. *Rekomendacijos R 27-01. Statinių ir jų dalių gyvavimo skaičiuojamosios trukmės įvertinimas*. Vilnius: Rekona. 35 p.
- Arena, A. P.; De Rosa, C. 2003. Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza – Argentina, *Building and Environment* 38: 359–368.

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <[www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)>.
- Assefa, G., et al. 2007. Environmental assessment of building properties – Where natural and social sciences meet: The case of EcoEffect, *Building and Environment* 42: 1458–1464.
- Avgelis, A.; Papadopoulos, A. M. 2009. Application of multicriteria analysis in designing HVAC systems, *Energy and Buildings* 41: 774–780.
- Badescu, V.; Sicre, B. 2003. Renewable energy for passive house heating. Part I. Building description, *Energy and Buildings* 35: 1077–1084.
- Balaras, C. A.; Drousa, K.; Argiriou, A. A.; Asimakopoulos, D. N. 2000. EPIQR surveys of apartment buildings in Europe, *Energy and Buildings* 31: 111–128.
- Baouendi, R.; Zmeureanu, R.; Bradley, B. 2005. Energy and emissions estimator: A prototype tool for designing Canadian houses, *Journal of Architectural Engineering* 11: 50–59.
- Becker, R.; Goldberger, I.; Paciuk, M. 2007. Improving energy performance of school building while ensuring indoor air quality ventilation, *Building and Environment* 42: 3261–3276.
- Blengini, G. A. 2009. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy, *Building and Environment* 44: 319–330.
- Bliūdžius, R. 2007. *Pastatų šiluminė renovacija*. Kaunas: Technologija. 96 p. ISBN 9955-25-121-2.
- Bluyssen, Ph. M. 2000. EPIQR and IEQ: indoor environment quality in European apartment buildings, *Energy and Buildings* 31: 103–110.
- Бойко, М. Д., et al. 1993. *Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений*. Москва: Стройиздат. 208 с. ISBN 5-274-01906-4.
- Borjesson, P.; Gustavsson, L. 2000. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives, *Energy Policy* 28: 575–588.
- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <[www.breeam.org](http://www.breeam.org)>.
- Caccavelli, D.; Gugerli, H. 2002. TOBUS – a European diagnosis and decision-making tool for office building upgrading, *Energy and Buildings* 34: 113–119.
- Castro-Lacouture, D., et al. 2009. Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia, *Building and Environment* 44: 1162–1170.
- CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <[www.cephesus.de](http://www.cephesus.de)>.
- Chen, Zh., et al. 2006. A multicriteria lifespan energy efficiency approach to intelligent building assessment, *Energy and Buildings* 38: 393–409.



- Clinch, J. P.; Healy, J. D. 2001. Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency, *Energy Policy* 29: 113–124.
- Commission of the European Communities. 2003. *Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on Energy end-use efficiency and energy services* [interaktyvus]. COM(2003) 739 final. Brussels [žiūrėta 2010 gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0739:FIN:EN:PDF>>.
- Čiuprinskas, K.; Rogoža, A. 2004. The application of 3E factor as sustainability expression for multi-criteria optimization of energy systems, in *Proc. of the 6<sup>th</sup> International Conference Energy for Buildings, October 7–8, 2004, Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, 48–57.
- Čiuprinskas, K. 1999a. Energetinis pastato atitvarų šilumos izoliacijos optimizavimas taikant skaitinius metodus, *Energetika* 1: 39–47.
- Čiuprinskas, K. 1999b. *Vienbučio namo energijos sąnaudų modeliavimas ir šilumos izoliacijos paskirstymo optimizavimas*: daktaro disertacijos santrauka. Vilnius: Technika. 36 p.
- Dascalaki, E.; Balaras C. A. 2004. XENIOS – a methodology for assessing refurbishment scenarios and the potential of application of RES and RUE in hotels, *Energy and Buildings* 36: 1091–1105.
- Ding, G. K. C. 2008. Sustainable construction – The role of environmental assessment tools, *Journal of Environmental Management* 86: 451–464.
- Dong, B.; Kennedy, Ch.; Pressnail, K. 2005. Comparing life cycle implication of building retrofit and replacement options, *Canadian Journal of Civil Engineering* 32: 1051–1063.
- Doukas, H.; Nychtis, Ch.; Psarras, J. 2009. Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model, *Building and Environment* 44: 290–298.
- Erhorn, H., *et al.* 2008. The Energy Concept Adviser – A tool to improve energy efficiency in educational buildings, *Energy and Buildings* 40: 419–428.
- Erlandsson, M.; Borg, M. 2003. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs, *Building and Environment* 38: 919–938.
- Erlandsson, M.; Levin, P. 2005. Environmental assessment of rebuilding and possible performance improvements effect on a national scale, *Building and Environment* 40: 1459–1471.
- European Commission. 2005. *ExternE. Externalities of Energy. Methodology 2005 Update* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. liepos 11 d.]. Prieiga per internetą: <[ec.europa.eu/research/energy/pdf/kina\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/kina_en.pdf)>.
- European Commission. 2010a. *Energy-efficient buildings PPP. Multi-annual roadmap and longer term strategy* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. liepos 11 d.]. Prieiga per internetą:

- <[www.ecfp.org/groupes2/params/ecfp/download\\_files/36D1191v1\\_EeB\\_Roadmap.pdf](http://www.ecfp.org/groupes2/params/ecfp/download_files/36D1191v1_EeB_Roadmap.pdf)>.
- European Commission [interaktyvus] 2010b. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <[ec.europa.eu](http://ec.europa.eu)>.
- European Insulation Manufacturers Association [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <[www.eurima.org](http://www.eurima.org)>.
- Europos Bendrijų Komisija. 2006. *Žalioji Knyga. Europos Sąjungos tausios, konkurencingos ir saugios energetikos strategija* [interaktyvus]. KOM(2006) 105 galutinis. Briuselis [žiūrėta 2010 m. birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <[eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0105:FIN:LT:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0105:FIN:LT:PDF)>.
- Europos Parlamentas ir Taryba. 2005. Europos Parlamento ir Tarybos 2005 m. liepos 6 d. direktyva 2005/32/EB, nustatanti ekologinio projektavimo reikalavimų energiją vartojantiems gaminiams nustatymo sistemą ir iš dalies keičianti Tarybos direktyvą 92/42/EEB bei Europos Parlamento ir Tarybos direktyvas 96/57/EB ir 2000/55/EB, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 191. Liuksemburgas, 29–58.
- Europos Parlamentas ir Taryba. 2006. Europos Parlamento ir Tarybos 2006 m. balandžio 5 d. direktyva 2006/32/EB dėl energijos galutinio vartojimo efektyvumo ir energetinių paslaugų, panaikinanti Tarybos direktyvą 93/76/EEB, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 114. Liuksemburgas, 64–85.
- Europos Parlamentas ir Taryba. 2009. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, iš dalies keičianti bei vėliau panaikinanti Direktyvas 2001/77/EB ir 2003/30/EB, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 140. Liuksemburgas, 16–62.
- Europos Parlamentas ir Taryba. 2010. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 153. Liuksemburgas, 13–35.
- Europos Vadovų Taryba. 2006. *Atnaujinta ES tvaraus vystymosi strategija* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 06 11]. Prieiga per internetą: <[ec.europa.eu/sustainable/docs/renewed\\_eu\\_sds\\_lt.pdf](http://ec.europa.eu/sustainable/docs/renewed_eu_sds_lt.pdf)>.
- Eurostat (Statistical Office of the European Commission) [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2010 m. birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <[ep.eurostat.ec.europa.eu](http://ep.eurostat.ec.europa.eu)>.
- FAST [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <[www.fastaer.com](http://www.fastaer.com)>.
- Feist, W.; Schnieders, J.; Dorer, V., Haas, A. 2005. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable, *Energy and Buildings* 37: 1186–1203.
- Flores-Colen, I.; De Brito, J. 2010. A systematic approach for maintenance budgeting of building facades based on predictive and preventive strategies, *Construction and Building Materials* 24: 1718–1729.
- Flourentzou, F.; Brandt, E.; Wetzel, C. 2000. MEDIC – a method for predicting residual service life and refurbishment investment budget, *Energy and Buildings* 31: 167–170.

- Fraunhofer Institute. 2006. *EuP Lot 11: Fans for ventilation in non residential buildings Report Cycle 2* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <[www.ecomotors.org/files/Lot11-fans-2nd-report.pdf](http://www.ecomotors.org/files/Lot11-fans-2nd-report.pdf)>.
- Fuller, S. K.; Petersen, S. R. 1995. *Life-cycle costing manual for the Federal energy management program. NIST Handbook 135* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <[www.bfrl.nist.gov/oe/publications/handbooks/135.pdf](http://www.bfrl.nist.gov/oe/publications/handbooks/135.pdf)>.
- Gellings, C. W. 2005. Efficient use and conservation of energy, in *Energy Sciences, Engineering and Technology Resources, from Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers. Oxford (UK).
- Gerilla, G. P.; Teknomo, K.; Hokao, K. 2007. An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction, *Building and Environment* 42: 2778–2784.
- Gieseler, U. D. J.; Heidt, F. D.; Bier, W. 2004. Evaluation of the cost efficiency of an energy efficient buildings, *Renewable Energy* 29: 369–376.
- Goodacre, Ch.; Sharples, S.; Smith, P. 2002. Integrating energy efficiency with the social agenda in sustainability, *Energy and Buildings* 34: 53–61.
- Greening, L. A.; Bernow, S. 2004. Design of coordinated energy and environmental policies: use of multi-criteria decision-making, *Energy Policy* 32: 721–735.
- Greening, L. A.; Greene, D. L.; Difiglio C. 2000. Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey, *Energy Policy* 28: 389–401.
- Губанов, В. А.; Захаров, В. В.; Коваленко, А.Н. 1988. *Введение в системный анализ: учебное пособие*. Ленинград: Изд-во ЛГУ. 232 с. ISBN 5-288-00081-6.
- Guo, H.; Morawska, L.; He, C.; Gilbert, D. 2008. Impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom, *Atmospheric Environment* 42: 757–768.
- Haas, R.; Biermayr, P. 2000. The rebound effect for space heating. Empirical evidence from Austria, *Energy Policy* 28: 403–410.
- Ignatavičius, Č.; Ignatavičius, G.; Tuomas, E. 2002. *1997–2000 metų mokyklų renovacijos rezultatai*. Vilnius: Homo liber. 88 p. ISBN 9955-449-37-3.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. *Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report* [interaktyvus]. Cambridge [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 30 d.]. Prieiga per internetą: <[http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg\\_I/ipcc\\_sar\\_wg\\_I\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf)>.
- International Energy Agency. 2008. *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings* [interaktyvus]. Paris [žiūrėta 2010 m. birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <[www.iea.org/g8/2008/Building\\_Codes.pdf](http://www.iea.org/g8/2008/Building_Codes.pdf)>.
- Yang, L.; Zmeureanu, R.; Rivard, H. 2008. Comparison of environmental impacts of two residential heating systems, *Building and Environment* 43: 1072–1081.

- Yin, R. K. 2003. *Case study research. Design and methods*. SAGE Publications. 179 p.
- Jeeninga, H., et al. 1999. *Employment impacts of energy conservation schemes in the residential sector: Calculation of direct and indirect employment effects using a dedicated input/output simulation approach* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. liepos 11 d.]. Prieiga per internetą: <[www.ecn.nl/docs/library/report/1999/c99082.pdf](http://www.ecn.nl/docs/library/report/1999/c99082.pdf)>.
- Johansson, D. 2009. The life cycle costs of indoor climate systems in dwellings and offices taking into account system choice, airflow rate, health and productivity, *Building and Environment* 44: 368–376.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Raslanas, S. 2005. Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishment, *Energy and Buildings* 37: 361–372.
- Karlsson, Å.; Gustavsson, L. 2003. External costs and taxes in heat supply systems, *Energy Policy* 31: 1541–1560.
- Kellenberger, D.; Althaus, H.-J. 2009. Relevance of simplifications in LCA of buildings components, *Building and Environment* 44: 818–825.
- Kneifel, J. 2010. Life-cycle carbon cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings, *Building and Environment* 42: 333–340.
- Kofoworola, O. F.; Gheewala, Sh. H. 2009. Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand, *Energy and Buildings* 41: 1076–1083.
- Komisija. 2007. Komisijos sprendimas 2007/589/EB nustatantis šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo apskaitos ir ataskaitų teikimo gaires vadovaujantis Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2003/87/EB, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 229. Liuksemburgas, 1–85.
- Kosugi, T., et al. 2009. Internalization of the external costs of global environmental damage in an integrated assessment model, *Energy Policy* 37: 2664–2678.
- Kurnitski, J. 2007. Indoor climate and ventilation in Finnish Schools. Air distribution and temperature control in classrooms, *Rehva Journal* 44(2): 15–22.
- Li, Zh. 2006. A new life cycle impact assessment approach for buildings, *Building and Environment* 41: 1414–1422.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. 2010. Lietuvos Respublikos 5-asis Nacionalinis Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos įgyvendinimo pranešimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.am.lt/VI/files/0.396071001264770708.doc>>
- Lietuvos Respublikos Seimas. 2001. Lietuvos Respublikos statybos įstatymo pakeitimo įstatymas, *Valstybės žinios* 101: p. 3597.
- Lietuvos Respublikos Seimas. 2007. Nacionalinės energetikos strategija, *Valstybės žinios* 11: p. 430.
- Lietuvos Respublikos Seimas. 2009. Lietuvos Respublikos klimato kaitos valdymo finansinių instrumentų įstatymas, *Valstybės žinios* 87: p. 3662.
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė. 1996. Turto vertinimo metodika, *Valstybės žinios* 16: p. 426.

- Lietuvos Respublikos Vyriausybė. 2003. Darnaus vystymosi strategija, *Valstybės žinios* 89: p. 4029.
- LST EN ISO 14040:2006 *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:2006)*. Vilnius, 2008. 27 p.
- LST EN ISO 14044:2006 *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai (ISO 14044:2006)*. Vilnius, 2008. 51 p.
- LST EN 13779:2007 *Negyvenamųjų pastatų ventiliacija. Ventiliacijos ir patalpų oro kondicionavimo sistemų eksploatacinių charakteristikų reikalavimai*. Vilnius, 2007. 70 p.
- LST EN 15459:2008 *Energetinės pastatų charakteristikos. Pastatų energetinių sistemų ekonominio įvertinimo procedūra*. Vilnius, 2008. 50 p.
- Martinaitis, V. 2001. *Pastato gyvavimo ciklo termodinaminės analizės modelis*. Vilnius: Technika, 2001. 172 p. ISBN 9986-05-435-4.
- 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.
- Martinaitis, V.; Rogoža, A.; Bikmanienė I. 2004. Criterion to evaluate the “twofold benefit” of the renovation of buildings and their elements, *Energy and Buildings* 36: 3–8.
- Martinaitis, V.; Rogoža, A. 2001. Statinio gyvavimo ciklo technologinis modelis, *Statyba VII(1)*: 73–77.
- Meier, A. 1983. The cost of conserved energy as an investment statistic, *Heating, Piping, Air Conditioning* 55: 73–77.
- Mendes Silva, J. A. R.; Falorca, J. 2009. A model plan for buildings maintenance with application in the performance analysis of a composite facade cover, *Construction and Building Materials* 23: 3248–3257.
- Mickaitytė A., et al. 2008. The concept model of sustainable buildings refurbishment, *International Journal of Strategic Property Management* 12: 53–68.
- Mills, E. D. 1994. *Building maintenance and preservation: A guide to design and management*. Oxford: Butterworths-Heinemann. 309 p.
- Milne, G.; Boardman, B. 2000. Making cold homes warmer: the effect of energy efficiency improvements in low-income homes, *Energy Policy* 28: 411–424.
- Mysen, M.; Schild, P.; Hellstrand, V.; Thunshelle, K. 2005. Evaluation of simplified ventilation system with direct air supply through the façade in a school in a cold climate, *Energy and Buildings* 37: 157–166.
- Moberg, A. 2006. *Environmental systems analysis tools for decision-making: LCA and Swedish management as an example. Licentiate thesis*, Stockholm: KTH, 56 p.
- Modell, M. E. 1996. *A professional's guide to system analysis* [interaktyvus]. New York: McGraw Hill Book company [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 30 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.martymodell.com/pgsa2/index.html>>.

- Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos; VĮ Registrų centras. 2010. *Lietuvos Respublikos nekilnojamojo turto registre įregistruotų statinių apskaitos duomenys 2010 m. sausio 1 d.* [interaktyvus]. [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: <[www.nzt.lt/index.php?id=222](http://www.nzt.lt/index.php?id=222)>.
- Nyman, M.; Simonson, C. J. 2005. Life cycle assessment of residential ventilation units in a cold climate, *Building and Environment* 40: 15–27.
- Ortiz, O.; Castells, F.; Sonnemann, G. 2009. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, *Construction and Building Materials* 23: 28–39.
- Peuportier, B. L. P. 2001. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context, *Energy and Buildings* 33: 443–450.
- Порывай, Г. А. 1990. *Техническая эксплуатация зданий*. Москва: Стройиздат. 368 с. ISBN 5-274-00241-2.
- Power, A. 2008. Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? *Energy Policy* 36: 4487–4501.
- Pre Consultants. 2008. *Introduction to LCA with SimaPro*. Pre Consultants. 86 p.
- Preiser, W. F. E.; Vischer, J. C. 2005. *Assessing building performance*. Oxford-Burlington: Elsevier. 243 p. ISBN 0 7506 6174 7.
- Prek, M. 2004. Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study, *Energy and Buildings* 36: 1021–1027.
- Pushkar, S.; Becker, R.; Katz, A. 2005. A methodology for design of environmentally optimal buildings by variable grouping, *Building and Environment* 40: 1126–1139.
- Rey, E. 2004. Office building retrofitting strategies: multicriteria approach of an architectural and technical issue, *Energy and Buildings* 36: 367–372.
- Ries, R.; Bilec, M. M. 2006. The economic benefits of green buildings: A comprehensive study, *The Engineering Economist* 51: 259–295.
- Ryghaug, M.; Sorensen, K. H. 2009. How energy efficiency fails in the building industry, *Energy Policy* 37: 984–991.
- Rogoža, A.; Čiuprinskas, K.; Šiupšinskas, G. 2006. The optimisation of energy systems by using 3E factor: the case studies, *Journal of Civil Engineering and Management*: 12(1): 63–68.
- RSN 143-92 Pastatų atitvarų šiluminė technika*. Vilnius, 1992.
- Sarja, A.; Vesikari, E. 1996. *Durability Design of Concrete Structures. RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14*, London: E&FN Spon. ISBN 0-419-21410-0.
- Sarja, A. 2000. Development towards practical instructions of life cycle design in Finland, in *Proc. of the RILEM/CIB/ISO International Symposium, Integrated Life-Cycle Design of Materials and Structures, ILCDES 2000, Helsinki*, 57–62.
- Scheuer, Ch.; Keoleian, G. A.; Reppe, P. 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications, *Energy and Buildings* 35: 1049–1064.

- Seppanen, O.; Fisk, W. J. 2003. *A conceptual model to estimate cost effectiveness of the indoor environment improvements* [interaktyvus]. Lawrence Berkley National Laboratory, University of California [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<http://escholarship.org/>>.
- Shah, V. P.; Debella, D. C.; Ries, R. J. 2008. Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States, *Energy and Buildings* 40: 503–513.
- Smid, J.-W.; Nieboer, N. 2008. Energy-efficient asset management for professional landlords, *International Journal of Strategic Property Management* 12: 19–34.
- Sorrel, S.; Dimitropoulos, J. 2008. The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions, *Ecological Economics* 65: 636–649.
- Stašaitis, A. 2008. Apie siurblių efektyvumą, *Šiluminė technika*, 3(36): 11.
- Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės. [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: <[www.stat.gov.lt](http://www.stat.gov.lt)>.
- Stoft, S. 1995. The economics of conserved-energy ‘supply’ curves, *The Energy Journal* 16(4): 109–137.
- STR 1.01.02:1997 *Statinio statybos ir priežiūros darbų rūšys* [interaktyvus]. Vilnius, 2002 [žiūrėta 2010 m. rugpjūčio 30 d.]. Prieiga per internetą: <[http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=162311&p\\_query=&p\\_tr2=>](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=162311&p_query=&p_tr2=>)>.
- STR 1.12.06:2002 *Statinio naudojimo paskirtis ir gyvavimo trukmė*. Vilnius, 2002. *Valstybės žinios* 109: p. 4837.
- STR 2.01.09:2005 *Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas*. Vilnius, 2005. *Valstybės žinios* 151: p. 5568.
- STR 2.05.01:1999 *Pastatų atitvarų šiluminė technika*. Vilnius, 1999. *Valstybės žinios* 41: p. 1297.
- STR 2.05.01:2005 *Pastatų atitvarų šiluminė technika*. Vilnius, 2005. *Valstybės žinios* 100: p. 3733.
- STR 2.09.04:2008 *Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui*. Vilnius, 2008. *Valstybės žinios* 58: p. 2185.
- Štreimikienė, D.; Jankauskas, V. 1998. Socialinės išlaidos ir ekonominiai aplinkosaugos metodai energetikoje, *Energetika* 1: 52–57.
- Taryba. 1989. 1988 m. gruodžio 21 d. Tarybos direktyva 89/106/EEB dėl valstybių narių įstatymų ir kitų teisės aktų, susijusių su statybos produktais, derinimo, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys, Specialusis leidimas lietuvių kalba*: sk. 13 t. 009: 296–310.
- Thormark, C. 2002. A low energy building in a life cycle – its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, *Building and Environment* 37: 429–435.
- Thormark, C. 2006. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building, *Building and Environment* 41: 1019–1026.

- UAB Amalva [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <www.amalva.lt>.
- UAB „SALDA“ [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <www.salda.lt>.
- UAB „SISTELA“. 2007. *Statinių statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamieji ekonominiai rodikliai*. Vilnius: UAB „Sistela“. 24 p.
- Upton, B., et. al. 2008. The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States, *Biomass & Energy* 32: 1–10.
- U.S. Green Building Council [interaktyvus] 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 27 d.]. Prieiga per internetą: <www.leed.us>.
- Utama, A.; Gheewala, Sh. H. 2008. Life cycle energy of single landed houses in Indonesia, *Energy and Buildings* 40: 1911–1916.
- Verbeeck G.; Hens H. 2010. Life cycle inventory of buildings: A calculation method, *Building and Environment* 45: 1037–1041.
- BCH 53-86 (p) *Правила оценки физического износа жилых зданий*. Москва, 1988. 71 с.
- Zavadskas, E. K., et. al. 2008a. *Statybos procesų technologija*. Vilnius: Technika. 574 p. ISBN 978-9955-28-231-0.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Raslanas, S. 2004. Renovation of multistorey apartment buildings from the aspect of real estate market value, in *The proc. of the 6<sup>th</sup> International Conference Energy for Buildings, October 7–8, 2004, Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, 375–382.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Banaitienė, N. 2001. *Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė*. Vilnius: Technika. 380 p. ISBN 9986-05-441-9.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Kalibatas, D. 2009. An approach to multi-attribute assessment of indoor environment before and after refurbishment of dwellings, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(1): 5–11.
- Zavadskas, E.; Raslanas, S.; Kaklauskas, A. 2008b. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighbourhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case, *Energy and Buildings* 40: 573–587.
- Wong, J.; Li, H. 2006. Development of a conceptual model for the selection of intelligent building system, *Building and Environment* 41: 1106–1123.
- Xing, S.; Jun G. 2008. Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings, *Energy and Buildings* 40: 1188–1193.



---

# Autorės publikacijos disertacijos tema

## **Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose**

Užšilaitytė, L.; Martinaitis, V. 2010a. Pastato renovacijos periodiškumo įtaka jo gyvavimo ciklo energijos sąnaudoms, *Energetika* T. 56, Nr. 2: 146–153. ISSN 0235-7208. (Inspec).

Užšilaitytė, L.; Martinaitis, V. 2010b. Search for optimal solution of public building renovation in terms of life cycle, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(2): 102–110. ISSN 1648-6897. (Thomson ISI web of science).

Sasnauskaitė, V.; Užšilaitytė, L.; Rogoža, A. 2007. Sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. Case study, *International Journal of Strategic Property Management* 11: 143–155. ISSN 1648-715X. (Inspec).

## **Straipsniai kituose leidiniuose**

Užšilaitytė, L. 2010. Optimal renovation periodicity of the school buildings in terms of their life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions. Case study, iš *7-osios doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencijos „CYSENI 2010“, įvykusios Kaune 2010 m. gegužės 27–28 d.*, pranešimų medžiaga. [CD-ROM]. Lietuvos energetikos institutas. ISSN 1822-7554.

Užšilaiitytė, L. 2009. Life cycle model for the evaluation of energy efficiency in buildings under renovation, iš *6-osios doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencijos „CY-SENI 2009“*, įvykusios Kaune 2009 m. gegužės 28–29 d., pranešimų medžiaga. [CD-ROM]. Lietuvos energetikos institutas, 11 p. ISSN 1822-7554.

Užšilaiitytė, L.; Martinaitis, V. 2008. Impact of the implementation of energy saving measures on the life cycle energy consumption of the building, in *The 7<sup>th</sup> International Conference "Environmental Engineering": selected papers*, vol. 2. May 22–23, 2008 Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 875–881. ISBN 978-9955-28-256-3. (ISI proceedings).

Užšilaiitytė, L.; Martinaitis, V. 2007. Įgyvendintų energijos taupymo projektų Lietuvos mokyklų pastatuose efektyvumo vertinimas, iš *Doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencijos „Jaunoji energetika 2007“*, įvykusios Kaune 2007 m. birželio 7 d., pranešimų medžiaga. [CD-ROM]. Lietuvos energetikos institutas, 11 p. ISSN 1822-7554.

Užšilaiitytė, L.; Martinaitis, V. 2006. Energijos taupymo projektų vertinimas, naudojant daugiakriterinės analizės metodą, *Respublikinė konferencijos „Inžinerinės sistemos“*, įvykusios Vilniuje 2006 m. balandžio 27–28 d. medžiaga. Vilnius: Technika, 3–9. ISBN 9986-05-971-2.

---

# Priedai

## A priedas. Energijos sąnaudų ir taršos rodikliai

**1A lentelė.** Pastato dalių ir elementų bei medžiagų gamybos energijos sąnaudų ir taršos rodikliai

**Table 1A.** Energy consumption and pollution indicators of building parts, elements and materials production

Dalys, elementai, medžiagos	Matavimo vnt.	kWh/vnt.	kgCO <sub>2ekv</sub> /vnt.
Akmens vata	kg	5,9	2,4
Betonas	m <sup>3</sup>	331,0	264,9
Bitumas	kg	13,5	0,90
Cementas	kg	0,94	1,10
Gelžbetonis	m <sup>3</sup>	331,0	264,9
Ketus	kg	18,4	6,0
Lango profilis polivinilchloridinis, (U = 1,6 W/m <sup>2</sup> K)	m <sup>2</sup>	1601,8	435,4
Lango profilis medinis, (U = 1,5 W/m <sup>2</sup> K)	m <sup>2</sup>	1278,4	241,8

## 1A lentelės pabaiga

Dalys, elementai, medžiagos	Matavimo vnt.	kWh/vnt.	kgCO <sub>2ekv</sub> /vnt.
Dvigubas įstiklinimas ( $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )	m <sup>2</sup>	125,6	54,8
Trigubas įstiklinimas ( $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ )	m <sup>2</sup>	314,6	116,5
Mediena	m <sup>3</sup>	4543	560
Molio plytos	vnt.	2,2	1,10
Plienas	kg	8,8	2,6
Plieno lakštai	kg	9,3	4,6
Polivinilchloridas	kg	21,2	7,4
Polietilenas	kg	20,3	2,9
Silikatinės plytos	kg	0,37	0,18
Stiklas	kg	4,0	2,0
Skarda	kg	9,3	4,6
Tinkas	kg	0,39	0,11
Varis	kg	9,5	8,6
Vėdinimo agregatas	vnt.	3734	1300
Žalvaris	kg	9,3	8,8

**2A lentelė.** Transportavimo energijos sąnaudų ir taršos rodikliai**Table 2A.** Energy consumption and pollution indicators of transportation

Transportavimas	kWh/tkm	kgCO <sub>2ekv</sub> /tkm
Sunkvežimis (< 3,5 t)	7,2	4,3
Sunkvežimis (16 t)	1,53	1,45
Sunkvežimis (28 t)	0,99	0,84
Sunkvežimis (40 t)	0,71	0,52

## B priedas. Pastatų charakteristikos

**1B lentelė.** I pastato pagrindinės charakteristikos (Aplinkos ministerija ir VšĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002; LST EN 15459:2008; Порывай 1990; UAB „SISTELA“. 2007; Zavadskas *et. al.* 2008a)

**Table 1B.** 1<sup>st</sup> building characteristics (Aplinkos ministerija ir VšĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002; LST EN 15459:2008; Порывай 1990; UAB „SISTELA“. 2007; Zavadskas *et. al.* 2008a)

Pastato dalys ir elementai	Pastato dalių ir elementų tipas		Gyvavimo trukmė, metais	Efektyvaus naudojimo gyvavimo trukmė, metais	Svorio koeficientai, vnt. d.
	Statybos tarpsnis	Po modernizavimo			
Pamatai	Surenkami gelžbetoniniai		100	60	0,07
Perdangos	Surenkamos gelžbetoninės		100	65	0,12
Sienos					0,35
Karkasas	Surenkamas gelžbetoninis karkasas su autoklavinio betono panelėmis		100	30	
Apdaila	Tinkas		30	30	
Izoliacija	–	Akmens vata	–	10	
Stogas					0,03
Danga	Ruloninė danga		30	10	
Izoliacija	Akmens vata		–	10	
Grindys					0,06
Danga	Parketas, plytelės	Parketas, plytelės	30	30	
Izoliacija	–	Akmens vata	–	10	
Langai	Dvigubo įstiklinimo, mediniais rėmais	Vienkamerinis, dvikamerinis stiklo paketas ir metalinis / PVC, medinis profilis	40	30	0,04
Šildymo sistema	Vienvamzdė	Dvivamzdė			0,035
Vamzdynai	Plieniniai	Plieniniai	30–50	30	

1B lentelės tęsinys

Pastato dalys ir elementai	Pastato dalių ir elementų tipas		Gyvavimo trukmė, metais	Efektyvaus naudojimo gyvavimo trukmė, metais	Svorio koeficientai, vnt. d.
	Statybos tarpsnis	Po modernizavimo			
Šildymo prietaisai	Ketiniai radiatoriai	Plieniniai radiatoriai	30–40	30	
Armatūra	Plieninė	Plieninė	10–30	10	
Izoliacija	Akmens vata	Akmens vata	–	10	
Vėdinimo sistema	Klasėse – natūralus, aktų, sporto salėse ir virtuvėje – mechaninis	Mechaninis su šilumogrąža			0,035
Ortakiai	Plieniniai	Plieniniai	30	30	
Vėdinimo agregatai, ventiliatoriai			15	15	
Armatūra	Plieninė	Plieninė	20	20	
Izoliacija	Akmens vata	Akmens vata	–	10	
Karštas vandentiekis					0,01
Vamzdynai	Plieniniai	Plieniniai	40	25	
Izoliacija	Akmens vata	Akmens vata	–	10	
Armatūra	Plieninė	Plieninė	–	10	
Šaltas vandentiekis					0,01
Vamzdynai	Plieniniai	–	40	25	
Armatūra	Plieninė	–	–	10	
Nuotekynė					0,01
Vamzdynai	Ketiniai	–	40	30	
Armatūra	Ketinė	–	15	10	
Elektros sistema (tinklai)			30–60	20–40	0,02

1B lentelės pabaiga

Pastato dalys ir elementai	Pastato dalių ir elementų tipas		Gyvavimo trukmė, metais	Efektyvaus naudojimo gyvavimo trukmė, metais	Svorio koeficientai, vnt. d.
	Statybos tarpsnis	Po modernizavimo			
Kiti elementai					0,21

**2B lentelė.** II pastato pagrindinės charakteristikos (Aplinkos ministerija ir VŠĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002; LST EN 15459:2008; Порывай 1990; UAB „SISTELA“. 2007; Zavadskas *et. al.* 2008a)

**Table 2B.** 2<sup>nd</sup> building characteristics (Aplinkos ministerija ir VŠĮ Būsto ir urbanistikos plėtros fondas 2002; LST EN 15459:2008; Порывай 1990; UAB „SISTELA“. 2007; Zavadskas *et. al.* 2008a)

Pastato dalys ir elementai	Pastato dalių ir elementų tipas		Gyvavimo trukmė, metais	Efektyvaus naudojimo gyvavimo trukmė, metais	Svorio koeficientai, vnt. d.
	Statybos tarpsnis	Po modernizavimo			
Pamatai	Surenkami gelžbetoniniai		100	60	0,07
Perdangos	Surenkamos gelžbetoninės		100	65	0,12
Sienos					0,35
Konstruktyvas	Plytų mūras		100	30	
Apdaila	Tinkas		30	30	
Izoliacija	Akmens vata		–	10	
Stogas					0,03
Danga	Ruloninė danga		30	10	
Izoliacija	Akmens vata		–	10	
Grindys					0,06
Danga	Parketas, plytelės	Parketas, plytelės	30	30	
Šildymo sistema	Vienvamzdė	Dvivamzdė			0,035
Vamzdynai	Plieniniai	Plieniniai	30–50	30	
Šildymo prietaisai	Ketiniai radiatoriai	Plieniniai radiatoriai	30–40	30	

2B lentelės pabaiga

Pastato dalys ir elementai	Pastato dalių ir elementų tipas		Gyvavimo trukmė, metais	Efektyvaus naudojimo gyvavimo trukmė, metais	Svorio koeficientai, vnt. d.
	Statybos tarpsnis	Po modernizavimo			
Armatūra	Plieninė	Plieninė	10–30	10	
Izoliacija	Akmens vata	Akmens vata	–	10	
Vėdinimo sistema	Mechaninis	Mechaninis su šilumog-raža			0,035
Ortakiai	Plieniniai	Plieniniai	30	30	
Vėdinimo agregatai, ventiliatoriai			15	15	
Armatūra	Plieninė	Plieninė	20	20	
Izoliacija	Akmens vata	Akmens vata	–	10	
Karštas vandentiekis					0,01
Vamzdynai	Plieniniai	Plieniniai	40	25	
Izoliacija	Akmens vata	Akmens vata	–	10	
Armatūra	Plieninė	Plieninė	–	10	
Šaltas vandentiekis					0,01
Vamzdynai	Plieniniai	–	40	25	
Armatūra	Plieninė	–	–	10	
Nuotekynė					0,01
Vamzdynai	Ketiniai, PVC	–	40, 50	30, 50	
Armatūra	Ketinė	–	15	10	
Elektros sistema (tinklai)			30–60	20–40	0,02
Kiti elementai					0,21



Lina UŽŠILAITYTĖ

VIEŠOJO NAUDOJIMO PASTATŲ ENERGETINIO  
MODERNIZAVIMO MODELIS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,  
energetika ir termoinžinerija (06T)

Lina UŽŠILAITYTĖ

MODEL OF ENERGETIC MODERNISATION  
OF PUBLIC BUILDINGS

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,  
Energetics and Power Engineering (06T)

2010 10 25. 12,75 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

