



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Energetiškai efektyvių pastatų būvio ciklo analizė

Baigiamasis magistro projektas

Vilgailė Narkevičiūtė

Projekto autorė

doc. dr. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Energetiškai efektyvių pastatų būvio ciklo analizė

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Vilgailė Narkevičiūtė

Projekto autorė

doc. dr. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Doc. Dalia Jankūnaitė

Recenzentė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Vilgailė Narkevičiūtė

Energetiškai efektyvių pastatų būvio ciklo analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Vilgailės Narkevičiūtės, baigiamasis projektas tema „Energetiškai efektyvių pastatų būvio ciklo analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Narkevičiūtė, Vilgailė. Energetiškai efektyvių pastatų būvio ciklo analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Inga Stasiulaitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): inžineriniai mokslai, aplinkosaugos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: pastatų energinio naudingumo klasės, energetiškai efektyvūs pastatai, pasyvūs pastatai, būvio ciklo vertinimas, poveikis aplinkai.

Kaunas, 2019. 58 p.

Santrauka

Kiekvienais metais vis didėja elektros energijos naudojimas gyvenamuosiuose pastatuose kas sukelia didelį neigiamą poveikį aplinkai. Didelė dalis energetinių išteklių yra naudojama namams šildyti. Tačiau šildymas yra labai neefektyvus energijos vartojimas, nes dažnai patiriami dideli šilumos nuostoliai, dėl neintegruotų šilumos sulaikymo priemonių, šiluminio laidumo medžiagų bei langų, kurie yra nesandarūs. Taip pat pagal reikalavimus, kai statybos darbai pradėti nuo 2021 m. pastato energinę klasę turi būti ne žemesnė nei A++. Dėl šių priežasčių ir tvarumo idėjų pradėjo populiarėti energetiškai efektyvių būstų statybos, nes juose daugiau dėmesio skiriama pastato sandarumui, medžiagoms ir energijos suvartojimui. Tačiau reikia įvertinti ar pastatai aukštesne energine klase daro mažesnę poveikį aplinkai, kadangi jiems yra sunaudojamas didesnis kiekis izoliacinių medžiagų. Todėl šiame magistro baigiamajame projekte buvo atliktas būvio ciklo vertinimas ir analizuojami A++; A+; A; B ir C energinio naudingumo klasių pastatai pagal statybines medžiagas skirtas jų konstrukcijai ir suvartojamą energiją.

Iš charakterizavimo ir normalizuotų rezultatų nustatyta, kad žemėjant energinio naudingumo klasei, pastato neigiamas poveikis aplinkai didėja. Taip pat, kad didžiausias neigiamas poveikis susidaro iš elektros energijos buitiniams prietaisams, šiluminių energijos sąnaudų, keramikos ir akmens vatos. Pagal normalizavimo rezultatus pastebima, kad didžiausią įtaką šios reikšmės daro išteklių kategorijai, mažiausią ekosistemoms. Lyginant bendrą energijos ir bendrą statybinių medžiagų poveikį, nustatyta, kad A++ klasės energijos sąnaudos už statybines medžiagas žmogaus sveikatai daro 8,9 karto didesnę poveikį, o C klasė 14,8 karto didesnę; ekosistemoms A++ klasės 8,1 karto daugiau, C klasės 24,8 karto; ištekliams A++ klasės energijos energija daro 9,4 karto didesnę poveikį už medžiagas, C klasės 37,1 karto. Atlikus būvio ciklo vertinimą, nustatyta, kad reikšmingiausią poveikį, nepriklausomai nuo energinio naudingumo klasės, sudaro energijos vartojimas: šiluminės energijos sąnaudos bei elektros energija buitiniams prietaisams. Iš statybinių medžiagų nustatyta, kad didžiausią poveikį daro keramika ir akmens vata.

Narkevičiūtė, Vilgailė. Life Cycle Assessment of Energy Efficient Buildings. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Inga Stasiulaitienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): engineering science, environmental engineering.

Keywords: energy efficiency classes of buildings, energy efficient buildings, passive buildings, life cycle assessment, environmental impact.

Kaunas, 2019. 58 p.

Summary

Each year the energy consumption in residential buildings is increasing. It causes negative environmental impact because a great amount of resources is required to fulfill energy demand for heating. However, in majority of the building's energy loss is high due to thin insulation layer in the walls and roofs, obsolete technology of the windows, lack of recuperative devices. Furthermore, according to the current construction law each construction that is planned to start in 2021 or later will be required to meet A++ energy efficiency class requirements or higher. In recent years the environmental friendly ideas are becoming more and more popular. Building of energy efficient buildings is one of them. In these houses heat insulation and effective energy consumption is of the utmost importance. However much more building materials are required to build a house of higher energy efficiency class. So, it is important to evaluate if a building of higher energy class is causing less environmental damage in the long run. First, I analysed house models that meets A++, A+, A, B and C energy efficiency class requirements. Then I compared the results of the life cycle assessment for different classes.

Using characterisation and normalisation results I determined that lower energy efficiency buildings cause higher negative effect to the environment despite of the greater usage of construction materials. The highest negative effect is caused by the electricity required for household appliances, energy for regulating the heating, ceramics and mineral wool. From normalisation results one can see that these factors cause greatest impact on the resource category. The lowest effect is observed on the ecosystems. The total effect of the energy consumption and total effect of the building materials to people health was compared. For the A++ class building energy consumption effect was greater than that of materials by 8.9, while for C class building this ratio was 14.8. In ecosystems category the ratio for A++ class was 8.1 while for C class building the effect ratio was determined to be 24.8 times. In resources category the ratio for A++ class was 89.4 while for C class the energy consumption effect was 37.1 times greater than the effect of construction materials. Life-cycle assessment shows that the most significant impact, irrespective of energy efficiency class, is energy consumption: thermal energy consumption and electricity for household appliances. The most negative impact of building materials is on ceramics and stone wool.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Pastatų energinis efektyvumas	13
1.2. Pasyvieji pastatai	16
1.2.1. Pirmas A++ energinio naudingumo namas Lietuvoje	17
1.3. Pagrindinių statybinių medžiagų apžvalga	18
1.4. Pastatų aplinkosaugos vertinimas būvio ciklo vertinimo metodu	20
1.4.1. Būvio ciklo vertinimo principai.....	21
1.4.2. Pastatų būvio ciklo vertinimas pasauliniu mastu.....	22
1.4.3. Statybinių medžiagų poveikis aplinkai.....	24
1.5. Teorinės dalies apibendrinimas	24
2. Tyrimų metodika	25
2.1 Būvio ciklo vertinimas.....	25
2.1.1. Tikslas ir taikymo sritys	25
2.2. Inventorinių duomenų skaičiavimas	27
2.2.1. Statybinių medžiagų skaičiavimai	27
2.2.2. Energijos kiekio skaičiavimai.....	32
2.3 Būvio ciklo vertinimas.....	32
2.3.1. Poveikio vertinimo metodas	32
2.3.2. Ecoinvent duomenų bazė.....	32
2.3.3. ReCiPe EndPoint (H) metodas	33
2.3.4. Poveikio vertinimo duomenų interpretavimas.....	34
2.3.5. Būvio ciklo vertinimo rezultatų rūšys	35
2.4. Jautrumo analizė	35
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas	36
3.1 Inventorinės analizės rezultatai	36
3.2 Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus.....	37
3.3 Poveikio vertinimas normalizuojant rezultatus	44
3.4 Jautrumo analizė	49
Išvados	52

Literatūros sąrašas	54
Priedai.....	59
1 priedas. Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės.....	59
2 priedas. Pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamose ir nevėdinamose atitvaruose.....	60
3 priedas. Pataisa dėl termoizoliacinio statybos produkto papildomo įdrėkimo grunte arba po grindimis ant grunto.	61
4 priedas. Šilumos konvekcijos poveikio koeficiento k_{cv} vertės.	61
5 priedas. Statybos produktų projektinės šilumos laidumo koeficientų vertės.	62
6 priedas. Vidaus ir išorės paviršių šiluminės varžos R_{si} ir R_{se} ($m^2 \cdot k/w$).....	66
7 priedas. Reikalavimai E, D, C, B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatams	66
8 priedas. Gyvenamosios paskirties pastatų gyvavimo trukmė priklausomai nuo statinio statybos produktų, iš kurių jis pastatytas.	67
9 priedas. Norminės šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti.....	68
10 priedas. Pataisos koeficientas k_h (vnt.) B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatų norminėms šiluminės energijos sąnaudoms pastatui (jo daliai) šildyti skaičiuoti.....	68
11 priedas. Didžiausias šildymui suvartojamas energijos kiekis ir galia	69
12 priedas. Žalos vertinimo grafikai.....	70
13 priedas. Svėrimo grafikai.....	71
14 priedas. Jautrumo analizė. Charakterizavimo grafikai	73
15 priedas. Jautrumo analizė. Žalos vertinimo grafikai.....	74
16 priedas. Jautrumo analizė. Svėrimo grafikai	75

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Pastatų šilumos poreikis ir jos nuostoliai per metus.	13
2 lentelė. Pastatų A+ ir A++ energinio naudingumo klasių skirtumai	15
3 lentelė. Naudotos pasyviųjų pastatų statybinės medžiagos BCV kituose šaltiniuose.	19
4 lentelė. Statybinės medžiagos, kurios naudojamos vertinant modelinį namą.	27
5 lentelė. Grindų ant grunto šiltinimas.	28
6 lentelė. Akmens vatos storis ir masė pagal energinio naudingumo klases.	29
7 lentelė. Sienų šiltinimas	29
8 lentelė. Sienų akmens vatos storis ir masė pagal pastatų energinių klasių reikalavimus	30
9 lentelė. Vėdinamo šlaitinio stogo šiltinimas.....	30
10 lentelė. Stogo akmens vatos storis ir masė pagal pastatų energinių klasių reikalavimus.	31
11 lentelė. ReCiPe metodo baigties taško indikatorių normalizacijos koeficientai	34
12 lentelė. Akmens vatos ir stiklo kiekiai pagal pastato energinio naudingumo klases.....	36
13 lentelė. Pastato, pagal pasirinktas energinio naudingumo klases inventoriniai duomenys.	36

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pastatų energinio naudingumo klasės	15
2 pav. Pastato nuotrauka (kairėje) ir termografinis pastato vaizdas (dešinėje) prieš atnaujinimą.....	16
3 pav. Pastato nuotrauka (kairėje) ir termografinis pastato vaizdas (dešinėje) po atnaujinimo.	17
4 pav. Lietuvojo pirmo A++ klasės pastato statybos antrasis etapas ir galutinis etapas	17
5 Pav. Rekomenduojamas patalpų išdėstymas siekiant sumažinti šiluminės energijos sąnaudas.....	20
6 pav. Pastato būvio ciklo etapai ir vertinimas.....	21
7 pav. Būvio ciklo vertinimo struktūra (LST EN ISO 14040:2007)	25
8 pav. Pastato modelis (Modeliuota taikant Sketchup Pro 2019 programinę įrangą).	26
9 pav. Sistemos ribos nagrinėjamiems pastatams.....	26
10 pav. Grindų ant grunto šiltinimas	28
11 pav. Sienų šiltinimas.....	30
12 pav. Vėdinamo šlaitinio stogo šiltinimas.....	31
13 pav. Poveikio vertinimo struktūros bendra apžvalga.	33
14 pav. A++ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)	38
15 pav. A+ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)	39
16 pav. A energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)	40
17 pav. B energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)	41
18 pav. C energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)	42
19 pav. Pastatų pagal energinio naudingumo klases poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis).....	43
20 pav. A++ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	44
21 pav. A+ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	45
22 pav. A energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	46
23 pav. B energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	47
24 pav. C energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	47
25 pav. Pastatų pagal energinio naudingumo klases poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)	48
26 pav. A++ (kairėje) ir A+ (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato poveikio normalizavimas taikant jautrumo analizę.....	49
27 pav. A (kairėje) ir B (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato poveikio normalizavimas taikant jautrumo analizę.....	50
28 pav. C energinio naudingumo klasės pastato poveikio normalizavimas taikant jautrumo analizę 50	

Santrumpų sąrašas

BCV - (angl. LCA) – būvio ciklo vertinimas;

BCA - būvio ciklo analizė;

R – šiluminė varža;

R_{si} – vidinio paviršiaus šiluminė varža;

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža;

d - sluoksnio storis;

U - šilumos perdavimo koeficientas;

λ - šilumos laidumo koeficientas

λD - šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo atitvaroje;

λ_{ds} - projektinė termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė;

$\Delta\lambda_{cv}$ - šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl šilumos konvekcijos poveikio;

λ_{dec} - deklaruojamas medžiagos šilumos laidumo koeficientas;

$\Delta\lambda_{\omega}$ – medžiagos įdrėkimas;

k_{cv} – šiluminės konvekcijos poveikio koeficientas;

k_h – pataisos koeficientas;

A_p – šildomų patalpų plotas;

ρ - tankis.

Ivadas

Jau keliasdešimt metų visame pasaulyje itin greitai kyla energijos išteklių kainos, taip pat didėja ir energijos naudojimas. Didelė dalis energetinių išteklių yra sunaudojama namams šildyti. Šildymas yra labai neefektyvus energijos vartojimas, nes dažnai patiriami dideli šilumos nuostoliai, dėl neintegruotų šilumos sulaikymo priemonių, šiluminio laidumo medžiagų bei langų, kurie yra nesandarūs. Šie veiksniai daro didelę ekologinę ir ekonominę žalą. Dėl šių priežasčių ir tvarumo idėjų pradėjo populiarėti energetiškai efektyvių būstų statybos, nes juose daugiau dėmesio skiriama pastato sandarumui, medžiagoms ir energijos suvartojimui. Reikia paminėti, kad nauji reikalavimai nurodo, kad kai statybos darbai pradėti nuo 2018 m. pastato energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė nei A+, o nuo 2021 m. ne žemesnė nei A++. Šios kategorijos priklauso energetiškai efektyviems pastatams.

Pastatų projektavimas ir statybos yra viena pagrindinių pramonės sričių, kurioje greičiausiai keičiasi energijos vartojimas, socialiniai ir ekonominiai aspektai. Kiekvienais metais vis labiau griežtėja naujų pastatų statybos reikalavimai. Tačiau daugiausiai dėmesio yra skiriama kiek energijos pastatas suvartoja naudojimo metu ir mažai kreipiamas dėmesio, kiek energijos suvartojama pagaminti medžiagas, pastatyti pastatą ir tvarkyti atliekas po pastato nugriovimo. Pastatų statyboms yra sunaudojami dideli kiekiai energijos ir žaliavų, taip pat aukštesnės klasės pastatams naudojamas didesnis kiekis termoizoliacinių medžiagų, kurios ne visos yra perdirbamos, todėl ateityje labai padidės atliekų kiekis.

Tačiau kalbant apie pasyvių bei A++ energinio naudingumo klasės pastatų naudojimo etapą, tai yra vienos efektyviausios energinės klasės, pagal kurias statant pastatus yra didinamas tvarumas, mažesnės sąskaitos už šildymą ir žymiai mažesni sunaudojami energijos išteklių.

Statybų sektoriuje vis dažniau žmonės mąsto apie gyvenamojo namo statybas iš ekologiškų medžiagų, nes jie vis labiau domisi apie aplinkos taršos ir klimato kaitos problemas. Tačiau Lietuvoje tai dar nėra stipriai išplėtotą.

Svarbūs kriterijai energetiškai efektyviems pastatams

1. Pastato energinio naudingumo sertifikavimas – teisės aktų reglamentuota procedūra, apimanti pastato energijos suvartojimo nustatymą, pastato energinio naudingumo įvertinimą ir priskyrimą prie energinio naudingumo klasės, taip pat pastato energinio naudingumo sertifikato išdavimą.
2. Pastato energinis naudingumas – apskaičiuotas arba išmatuotas energijos kiekis, reikalingas patenkinti su įprastu pastato naudojimu siejamą energijos poreikį, įskaitant energiją pastato šildymo, vėsinimo, vėdinimo, karšto vandens ir pastato apšvietimo reikmėms [1].

Kadangi esamų pastatų renovavimo ciklas yra ilgas, nauji pastatai ir kapitališkai renovuojami pastatai turėtų atitikti minimalius energinio naudingumo reikalavimus, pritaikytus atsižvelgiant į vietos klimato sąlygas. Atsižvelgiant į tai, kad alternatyvių aprūpinimo energija sistemų taikymo galimybės dažniausiai nėra visiškai išnaudojamos, naujų pastatų, neatsižvelgiant į jų dydį, atveju reikėtų nagrinėti alternatyvių aprūpinimo energija sistemų galimybę. Tam reikėtų vadovautis principu, kad visų pirma turi būti užtikrinamas energijos poreikių šildymui ir vėsinimui sumažinimas iki sąnaudų atžvilgiu optimalių lygių [2].

Tyrimo objektas: A++, A+, A, B ir C energinių klasių pastatai.

Tikslas: atlikti A++, A+, A, B ir C energinių klasių pastatų poveikio aplinkai vertinimą, remiantis būvio ciklo vertinimo metodika.

Darbo uždaviniai:

1. išanalizuoti mokslinę literatūrą energetiškai efektyvių pastatų nagrinėjama tema;
2. atlikti Lietuvoje statomų A++, A+, A, B ir C energinių klasių pastatų poveikio aplinkai vertinimą, taikant būvio ciklo vertinimo metodiką;
3. atlikti skirtingų energinių klasių pastatų palyginamąją analizę pagal charakterizavimo ir normalizuotus duomenis;
4. atlikti jautrumo analizę;
5. pateikti rekomendacijas kaip sumažinti poveikį aplinkai.

Darbo aktualumas ir sprendžiama problema: *Pagal 2010 m. gegužės 19 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo, valstybės narės užtikrina, kad: ne vėliau kaip 2020 m. gruodžio 31 d. visi nauji pastatai būtų beveik nulinės energijos pastatai [2].*

Šiame darbe nagrinėjami skirtingų energinių klasių pastatai ir jų poveikis aplinkai. Dažniausiai šiems pastatams atliekant būvio ciklo vertinimą yra skaičiuojama energetinė vertė, tačiau yra labai svarbu įvertinti ir naudojamas medžiagas statyboms, nes jos taip pat daro didelį poveikį aplinkai. Įvertinus medžiagų poveikį, galima siūlyti medžiagų alternatyvas ir metodus, kurie padėtų ne tik taupyti energiją, tačiau būtų ir „draugiškesni“ aplinkai. Taip pat tai leistų populiarinti aukštesnių energinių klasių pastatų statybą Lietuvoje, labiau skatinti neigiamo poveikio aplinkai mažinimą, taršos prevenciją bei išteklių ir energijos saugojimą, kartu patenkinant ir žmonių socialinius poreikius ir gyvenimo patogumus.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Pastatų energinis efektyvumas

Kiekvienais metais vis daugiau yra statomi pasyvūs ar energetiškai efektyvūs pastatai. Tačiau nėra vieno apibrėžimo ar sąvokos, kurie nurodytų kas yra „pasyvus pastatas“ ar „energetiškai efektyvus pastatas“. Taip pat kiekvienoje šalyje jie yra apibūdinami skirtingai bei skiriasi jiems taikomi reikalavimai. 1 lentelėje pateikta pastatų šilumos ir energijos poreikiai bei nuostoliai pagal pastatų kategorijas. Mažai energijos naudojančių pastatų kategorijos bendras metinis šilumos poreikis yra ne daugiau kaip 85 kWh/m².

1 lentelė. Pastatų šilumos poreikis ir jos nuostoliai per metus [3].

Pastato tipas	Bendras metinis šilumos poreikis, kWh/m ²	Energijos poreikis vandeniui šildyti, kWh/m ²	Nuostoliai per atitvaras, kWh/m ²	Nuostoliai dėl vėdinimo, kWh/m ²
Pasyvieji pastatai	30	15	10	5
Mažai energijos naudojančios pastatai	85	15	35	35
Tradiciniai pastatai	145	15	80	50
Senesni pastatai	225	15	160	50

Projektuojant, statant ir naudojant mažai energijos naudojančius pastatus svarbu [3]:

- pasyviai, tiesiogiai naudoti saulės energiją pro langus;
- taupus elektros energijos naudojimas (pvz., energiją taupančios lemputės, A ir kitų aukštesnių klasių buitinė įranga, maksimalus natūralaus apšvietimo naudojimas).
- įdiegti paprastai reguliuojamą šildymo sistemą;
- naktimis laikinai apšiltinti langus, naudojant žaliuzes, storas užuolaidas bei langines;
- taikyti vėdinimo sistemą su šilumograža;
- sumažinti šiluminius tiltelius rūpestingai sudūrus konstrukcijas;
- kompaktiška pastato forma (paviršiaus ploto sumažinimas, per kurį netenkama šilumos);
- aktyvus saulės ir vėjo energijos naudojimas (pvz., saulės elementai, saulės kolektoriai, vėjo jėgainė);
- sandarios ir gerai apšiltintos atitvaros;

Laikantis šių principų, panašiomis į Lietuvos klimato sąlygomis galima sutaupyti 1/3–2/3 patalpoms šildyti reikalingos energijos.

Kartu su karšto vandens paruošimu, pasyvus pastatas per metus sunaudoja iki 45 kWh/m² (1 lentelė), kas yra 5 kartus mažiau nei senesni pastatai ir 3,5 karto mažiau nei tradiciniai pastatai. Taip pat bendras energijos suvartojimas, į kurį įeina karštas vanduo, patalpų šildymas ir būtiniai elektros prietaisai neviršija 120 kWh/m² per metus. Prie šilumos energijos šaltinių taip pat yra priskiriami elektros prietaisai, žmonės, saulės spinduliai. Varstomos durys gali padidinti šilumos sąnaudas [3].

Minimalius privalomus pastatų energinio naudingumo reikalavimus, pastatų energinio naudingumo sertifikavimo tvarką ir sąlygas, pastatų energinio naudingumo sertifikavimo priežiūros tvarką nustato Vyriausybė arba jos įgaliota institucija. Nuo 2019 m. sausio 1 d. valstybės ir savivaldybių institucijų, įstaigų ir įmonių statomi nauji, o nuo 2021 m. sausio 1 d. – visi statomi nauji pastatai turi būti energijos beveik nevartojantys pastatai, kaip jie suprantami pagal Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymą [1].

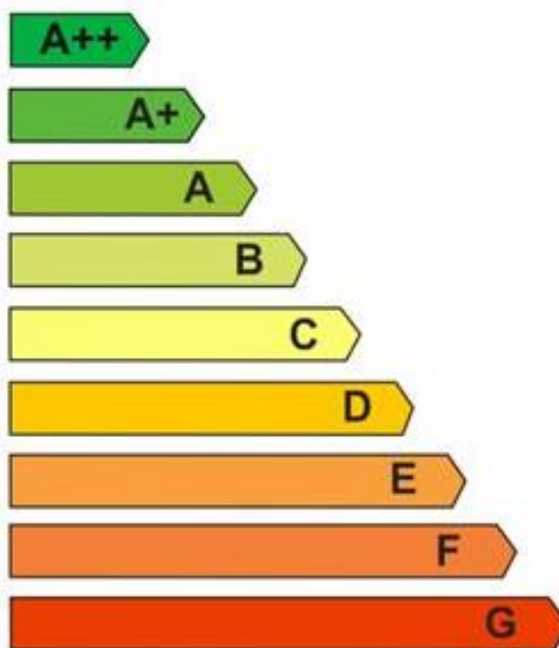
Norint įgyvendinti šiuos reikalavimus, statybos techniniame reglamente STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“, patvirtintame Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2016 m. lapkričio 11 d. įsakymu Nr. D1-754, nustatyta, kad statomų pastatų, kuriems prašymas išduoti leidimą statyti naują statinį ar rašytinį įgalioto valstybės tarnautojo pritarimą statinio projektui pateiktas po 2018 m. sausio 1 d., kai statybą leidžiantys dokumentai neprivalomi, – statybos darbai pradėti po 2018 m. sausio 1 d., energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip A+, o po 2021 m. sausio 1 d., kai statybą leidžiantys dokumentai neprivalomi, – statybos darbai pradėti po 2021 m. sausio 1 d., energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip A++ [4].

Minimalūs pastatų energinio naudingumo reikalavimai privalomi:

- 1) naujiems statomiems pastatams (jų dalims);
- 2) rekonstruojamiems, atnaujinamiems (modernizuojamiems) ar remontuojamiems pastatams (jų dalims), kai jų rekonstravimo, atnaujinimo (modernizavimo) ar remonto, kuriais atkuriamos ar pagerinamos pastato atitvarų ir (ar) inžinerinių sistemų fizinės ir energinės savybės, kaina sudaro daugiau kaip 25 procentus pastato vertės, neįskaitant žemės sklypo, ant kurio stovi pastatas, vertės. Šio punkto reikalavimai taikomi tiek, kiek tai techniškai, funkcinio požiūriu ir ekonomiškai įmanoma [1].

Kadastro tvarkytojas pagal pastatų energinio naudingumo sertifikavimą prižiūrinčios institucijos pateiktą pranešimą apie išduotą pastato ar jo dalies (buto, kitos paskirties atskiro naudojimo patalpos) energinio naudingumo sertifikatą į nekilnojamojo turto kadastrą įrašo pastato ar jo dalies (buto, kitos paskirties atskiro naudojimo patalpos) energinio naudingumo klasę ir skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudas pastato ar jo dalies (buto, kitos paskirties atskiro naudojimo patalpos) vieno kvadratinio metro šildomo ploto šildymui per metus [1].

Pastatai (jų dalys) pagal energinį naudingumą klasifikuojami į 9 klases: A++, A+, A, B, C, D, E, F, G. A++ klasė laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą (jo dalį). G klasė nurodo energetiškai neefektyvų pastatą [4].



1 pav. Pastatų energinio naudingumo klasės [4].

2 lentelė. Pastatų A+ ir A++ energinio naudingumo klasių skirtumai [4].

A+ ir A++ energinio naudingumo klasės		
Nr.	A+	A++
1	Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,75 , o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti 0,55 Wh/m³	Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,80 , o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti 0,45 Wh/m³
2	-	Pastate (jo dalyje) sunaudota energijos dalis iš atsinaujinančių išteklių turi didžiąją sunaudojamos energijos dalį sudaryti atsinaujinančių išteklių energija.

Pastatuose suvartojama 40 % visos Europos Sąjungos suvartojamos energijos. Šis sektorius plečiasi, dėl ko padidės jo energijos vartojimas. Todėl energijos vartojimo mažinimas ir atsinaujinančių išteklių energijos naudojimas pastatų sektoriuje yra svarbios priemonės, būtinos sumažinti Europos Sąjungos energinę priklausomybę ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją. Daugiau vartojant atsinaujinančių išteklių energijos ir kartu imantis priemonių siekiant sumažinti energijos vartojimą Europos Sąjungoje, būtų sudarytos sąlygos ES įgyvendinti Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolą (UNFCCC), ir kartu įvykdyti ilgalaikį įsipareigojimą – užtikrinti, kad pasaulio temperatūra kiltų iki 2 °C, bei įsipareigojimą iki 2020 m. sumažinti bendrą šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją bent 20 %, palyginti su 1990 m. lygiu, ir 30 %, jei būtų sudarytas tarptautinis susitarimas. Vartojant mažiau energijos ir vartojant daugiau atsinaujinančių išteklių energijos taip pat

galima labai prisidėti prie energijos tiekimo saugumo didinimo, technologijų plėtros skatinimo ir galimybių užimtumui bei regioninei plėtrai sukūrimo, ypač kaimo vietovėse [2].

Klimato kaitos įstatyme, sudarytame 2008 metais, Jungtinės Karalystės Vyriausybė teisiškai įsipareigojo, kad iki 2020 m., sumažins išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį (CO₂) 34 % ir iki 2050 m. sumažins CO₂ 80 % lyginant su 1990 m. išmetamais kiekiais. Siekdama šių tikslų, Vyriausybė kiekybiškai įvertino pramonės, transporto ir statybos sektorių išmetamus CO₂ kiekius, taip pat daugelyje jos strategijų buvo pateikti reikalingi sumažinimai [5].

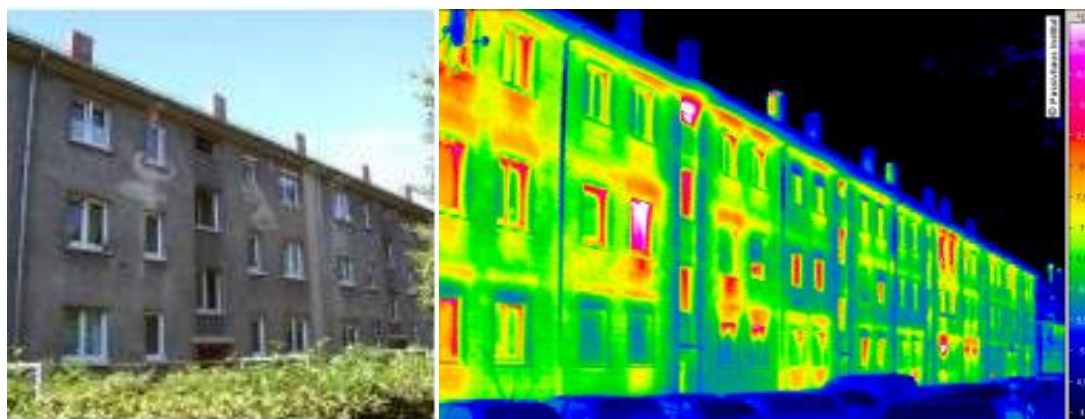
1.2. Pasyvieji pastatai

Pasyvusis namas yra laikomas pažangiausiu pastatu pagal didelį sandarumą, langus su nedideliu šilumos laidumu, vėdinimą, kuris kompensuoja šilumą, konstrukcijas su mažu šilumos laidumu ir pagal didesnę šilumos izoliaciją [6].

Ilgalaikė patirtis ir statistiškai patvirtinti matavimo rezultatai faktinėms suvartojimo vertėms yra galimi pasyviems pastatams. Turint šiuos rezultatus, galima vertinti pasyvaus namo patikimumą. Atsižvelgiant į visus pastatų standartus, pastebimi labai skirtingi energijos sunaudojimai iš gyventojų, net jei pastatai yra identiški. Todėl sunaudojimas visada turi būti matuojamas pakankamai dideliu skaičiumi identiška sukonstruotų namų, kad būtų galima apskaičiuoti sunaudojimo poveikio vidurkį, tokiu būdu sudarant sąlygas palyginti pastato kokybę.

Pagal Johnstoną D., jeigu Vokietijoje 2013 metais daugiabučiuose šildymo ploto vertė 112 kWh/m² atitinka vidutinį šildymo suvartojimą, tuomet suvartojimas 1997 metais mažai energijos vartojančiose gyvenvietėse yra mažesnis 41,5 % nei vidutinis suvartojimas [7].

2006 metais Frankfurte buvo atnaujinti du tipiški pokario gyvenamieji daugiabučiai namai, naudojant pasyvaus namo sudedamąsias dalis. Šiluma buvo aprūpinama išimtinai tik per tiekiamą orą, naudojant papildomą oro šildymą, o nedideli radiatoriai įrengiami tik vonios kambariuose. Tai lėmė, kad atnaujintas pastatas su naujomis konstrukcijomis prilygo pasyvaus namo standartui bei turintis 53 modernius butus. Pastatas buvo ištirtas jį stebint keletą metų. 95 % energijos skirtos šildymui buvo sutaupyta, palyginti su šildymo poreikiu, apskaičiuotu prieš atnaujinimą. Lyginant pastatą prieš atnaujinimą (2 pav.) pagerinta šiluminė kokybė aiškiai matoma iš vienodai žemos paviršiaus temperatūros (3 pav.) [7].



2 pav. Pastato nuotrauka (kairėje) ir termografinis pastato vaizdas (dešinėje) prieš atnaujinimą [7].



3 pav. Pastato nuotrauka (kairėje) ir termografinis pastato vaizdas (dešinėje) po atnaujinimo [7].

Sartori ir Hestnes (2007) apžvelgė 60 tyrimų, kuriuose nagrinėjami maži energijos vartojančių ir tradicinių pastatų eksploatacinių energijų ir padarė išvadą, kad mažėjanti eksploatacinė energija eina kartu su didėjančia bendra sunaudota energija. Apžvelgtų tradicinių pastatų bendra sunaudota energija buvo 2 – 38 proc., o maži energijos vartojantys pastatai turėjo didesnę energijos apimtį nuo 9 iki 46 proc.

Taip pat nustatyta, kad maži energijos vartojančių pastatų energijos apimtis yra daug mažesnė nei tradicinių pastatų energijos apimtis. Tačiau reikia atkreipti dėmesį, kad pastato poveikis aplinkai yra ne vien iš eksploatuojamos energijos, bet ir iš kitų aspektų, kaip iškastinio kuro naudojimas, mineralinių medžiagų gavyba [8].

1.2.1. Pirmas A++ energinio naudingumo namas Lietuvoje

Lietuvoje pirmasis A++ klasės pastatas Lietuvoje pastatytas Pasvalio rajone 2016 metais. Projektuojant pastatą buvo ieškoma geriausių technologinių ir architektūrinių sprendimų. Pagal tuometinius reikalavimus A++ klasės pastato sandarumo koeficientas turi būti ne didesnis kaip 0,6. Šio pastato koeficientas pasiekė 0,36. Todėl šiame pastate išeina dvigubai mažiau šilumos negu reikalaujama. Gyvenamojo namo karkasas buvo pagamintas iš džiovintos klijuotos medienos. Įrengti poliniai pamatai su vėdinimo angomis. Pastato langai buvo montuojami maksimaliai į pietų pusę. Buvo įrengta fotovoltinė jėgainė, kurios dėka galima kaupti energiją ir vėliau ją panaudoti buitiniams reikmėms, taip pat rekuperatorius, kurio naudingumas siekia 93 procentus [9].



4 pav. Lietuvoje pirmo A++ klasės pastato statybos antrasis etapas (kairėje) ir galutinis etapas (dešinėje). [10] [11]

1.3. Pagrindinių statybinių medžiagų apžvalga

Svarbiausi darnios statybos tikslai yra tokie kaip, aplinkos saugojimas visuose etapuose, resursų mažinimas bei pakartotinis jų panaudojimas ar perdirbimas, taip pat atsinaujinančių išteklių taikymas, kenksmingų medžiagų pastatuose mažinimas ar visiškas atsisakymas, aplinkos gerinimas. To siekiama ieškant alternatyvų kaip sumažinti energijos ir medžiagų sąnaudas, tuo pačiu išlaikant žmonių gyvenimo komfortą [12].

Mediena

Mediena gali būti naudojama beveik visuose pastato dalyse. Gali net didžioji pastato dalis būti vien iš medienos. Nustatyta, jog dažniausiai tai yra geriausia medžiaga statyboms vertinant tai iš aplinkosaugos perspektyvos. Reikia paminėti, kad yra keletas medienos rūšių, kurios yra blogesnės nei kitos, pvz., klijuota laminuota mediena naudojama stogo konstrukcijose. Ji pagaminta iš medinių lentjuosčių, kurios yra suklijuotos, kad susidarytų slėgis. Klijuose dažnai yra fenolio, kuris yra toksiškas ir gali turėti neigiamą poveikį patalpų orui. Taip pat laminate yra formaldehido, kuris taip pat yra kenksmingas ore. Taip pat mediena sunaudoja daug energijos gamyboje [13].

Betonas

Betonas susideda iš cemento, vandens, užpildų ir įvairių rūšių priedų. Šios medžiagos sumalamos ir sudeginamos maždaug 1500 ° C temperatūroje. Gamyba sunaudoja daug energijos ir išskiria daugiausiai CO_x, SO_x, NO_x ir nedidelį kiekį gyvsidabrio [13].

Polistirenas (izoliacija)

Dažnai izoliacijai yra naudojamas polistirenas, kuris gaminamas iš nedidelių polistireno karoliukų, sumaišytų su šiek tiek pentano. Medžiagos yra kaitinamos, kad susijungtų. Todėl gamybos procesui suvartojama daug energijos. Kadangi polistirenas yra gaunamas iš naftos chemijos produktų, jis taip pat kelia taršos riziką. Stirenas ir kiti angliavandeniliai išmetami kaip gamybos proceso dalis. Gautame produkte, gali būti nestabilių stireno monomero likučių, kurie gali pasklisti į patalpų orą [14].

Celiuliozės pluoštas (izoliacija)

Celiuliozės pluoštas gaminamas iš perdirbtų laikraščių arba naujai pagamintos celiuliozės. Paprastai celiuliozės sudedamoji dalis turi daugiau nei 90 % perdirbtų medžiagų. Medžiaga apdorojama borakso ir boro rūgšties mišiniu (abi medžiagos yra ardančios endokrininę sistemą), kad būtų užtikrintas atsparumas ugniai, taip pat būtų atbaidomi vabzdžiai ir grybai [13].

Mineralinė vata (izoliacija)

Gamyba vartoja labai daug energijos. Sudedamosios dalys sumaišomos ir išlydomos 1350 - 1500 ° C temperatūroje. Po to lydalas išpurškiamas iš purkštuko ant plokštelės, kurioje susidaro mineralinis pluoštas. Po to pluoštai sujungiami su fenolio-formaldehido dervomis, kurios sukietėja esant 220 ° C temperatūrai [13].

Stiklas

Stiklas pagamintas iš kvarco smėlio, sodos arba kalio karbonato ir kalkių. Lydymosi temperatūra yra prie 1400-1550 ° C, todėl energijos suvartojimas produkcijoje yra didelis. Senas stiklas gali būti pakartotinai naudojamas [15].

Polietilenas

Plastmasė yra sintetinė medžiaga ir pramoniniu būdu gaminama iš naftos ar gamtinių dujų. Polietilenas gaminamas iš naftos ir gali turėti priedų, pvz., spalvotų pigmentų, titano oksido, UV stabilizatorių ir kitų [13].

3 lentelė. Naudotos pasyviųjų pastatų statybinės medžiagos BCV kituose šaltiniuose.

Nr.	Statybinė medžiaga	Literatūros šaltiniai pagal skirtingas vietas			
		Švedija [16]	Subtropinė klimato zona [17]	Vidutinė klimato zona [18]	Pietryčių Kinija [19]
1	Mediena	+	+	+	+
2	Fanera	+	+		
3	Metalas	+	+	+	+
4	Izoliacija	+	+		
5	Kartonas	+			
6	Plastikas	+	+	+	+
7	Akmenys	+		+	+
8	Betonas/cementas	+	+	+	+
9	Keramika	+		+	+
10	Gipsas	+	+	+	
11	Stiklas	+			+
12	Mineralinė arba medžio vata		+	+	
13	Hidroizoliacija		+		
14	Polietilenas		+		
15	Dažai		+		+
16	Plytelės		+		+
17	Plytos				+
18	Guma				+

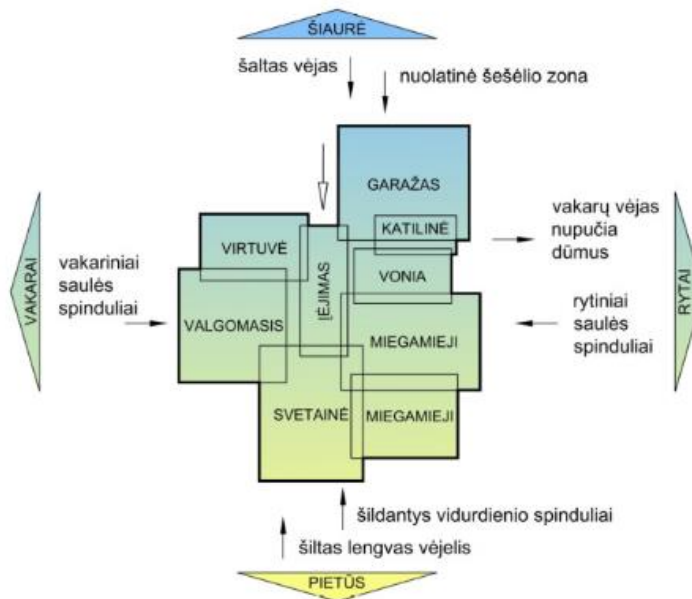
1.4. Pastatų aplinkosaugos vertinimas būvio ciklo vertinimo metodu

Projektuojant objektus dažnai nėra būtina atlikti kruopštaus būvio ciklo vertinimo, nes tai yra sudėtingas ir platus procesas, kuriam įgyvendinti reikia daug išteklių ir laiko. Pasirinkto objekto poveikis aplinkai dažniausiai yra vertinamas taikant programinę įrangą bei duomenų bazes, į kurias jau būna įtraukti atliktų tyrimų duomenys [20].

Pastatai iš gamtai draugiškų medžiagų yra energetiškai efektyvūs, ilgiau tarnaujantys, komfortiški, mažiau naudoja išteklių visuose būvio ciklo etapuose ir daro gerokai mažesnę poveikį aplinkai nei įprastos statybinės medžiagos [21].

Energija naudojama visuose pastato būvio ciklo etapuose: gaminant statybines medžiagas, jas transportuojant, statant patį pastatą, jį prižiūrint, vėliau griauinant. Energija atlieka labai svarbų vaidmenį visuose pastato etapuose, tačiau daro ir didžiausią įtaką aplinkai, kadangi tam, kad pagaminti elektrą yra išmetami dideli kiekiai teršalų, kurie daro neigiamą poveikį aplinkai. [22].

Sartori ir kiti, atliko tyrimą, kuriame analizavo energijos sunaudojimą visuose pastato BCV etapuose. Pagal tyrimą yra teigiama, kad sumažinti energijos vartojimą pastato būvio ciklo etapuose, o tuo pačiu ir neigiamą poveikį aplinkai, galima taikant skirtingus projektavimo kriterijus [8].



5 Pav. Rekomenduojamas patalpų išdėstymas siekiant sumažinti šiluminės energijos sąnaudas [23].

Naudojimo pabaigos (eksploatacijos) etapas laikomas sudėtingiausiu BCV procese, o prognozės dėl būsimos perdurbimo ir pakartotinio naudojimo gali keistis ir priklausyti nuo būsimos perdurbimo politikos [24]. Išanalizavus Sartori ir Hestnes; Ramesh ir kt. straipsnius, matoma, kad šis etapas dažniausiai nėra įtrauktas į literatūrą [8] [25].

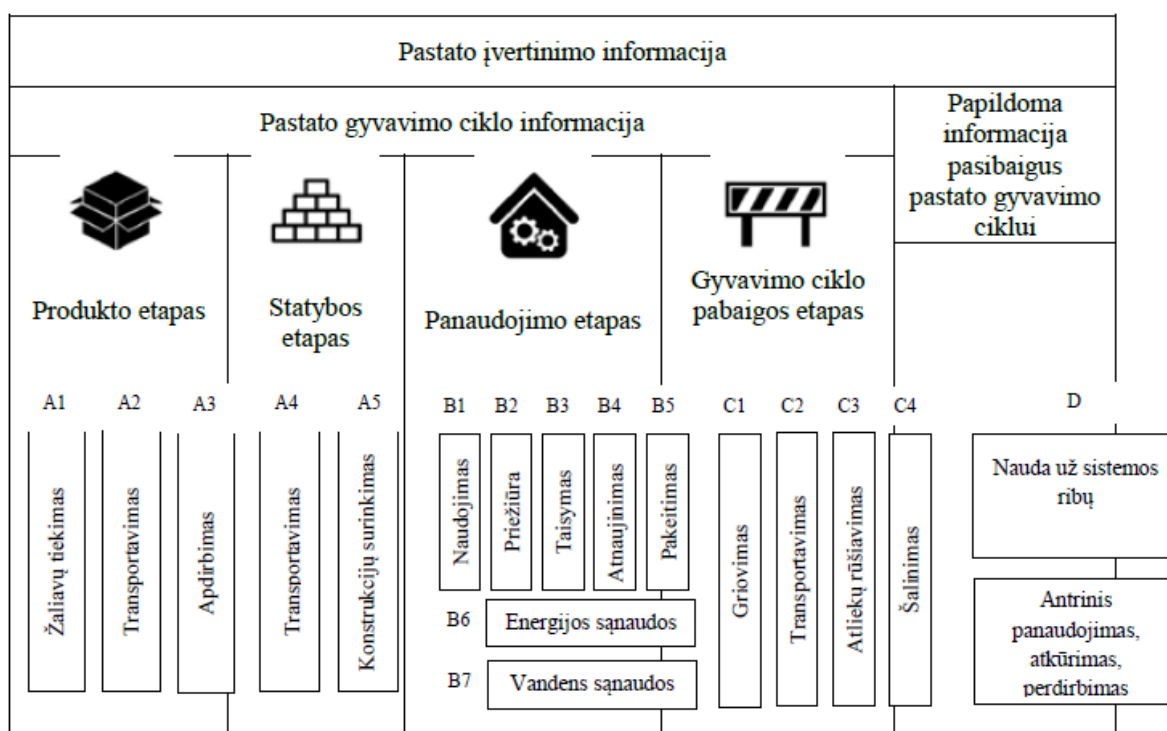
Aplinkos saugojimo skirstymas yra problemiškas, nes nėra bendro sutarimo, kaip gauti ir išskirstyti energiją iš nugriautų pastatų [25]. Ankstesni būvio ciklo vertinimo dokumentai, į kuriuos buvo

įtrauktos naudojimo pabaigos etapo prielaidos ir prognozės, rodo, kad šis etapas sudaro minimalius viso BCV energijos kiekius [24]. Tačiau Blenginis ir Di Carlas (2010 m.) pabrėžia, kad yra svarbu baigti eksploatuoti šio etapo atliekas, nes tai stipriai sumažina statybinių atliekų transportavimą į sąvartynus [26].

1.4.1. Būvio ciklo vertinimo principai

Būvio ciklo rodikliai dažniausiai atitinka būvio ciklo vertinimo metodiką: svarsto visą būvio ciklą, būvio ciklo inventoriaus parengimą, medžiagų klasifikavimą į atitinkamas aktualias poveikio kategorijas ir apskaičiuoja kiekvienos kategorijos poveikį aplinkai [27].

Pagal ISO 14040:2006 ir ISO 14044:2006 poveikio aplinkai vertinimas apima visus gaminio ciklo etapus ir visus galimus poveikio aplinkai aspektus. Būvio ciklo vertinimas leidžia įvertinti mūsų daromą poveikį aplinkai, jį sumažinti, kurti naujus produktus, kurie nedarytų neigiamo poveikio aplinkai per visą jų gyvavimo ciklą, nuo jų gamybos pradžios iki naudojimo pabaigos [28].



6 pav. Pastato būvio ciklo etapai ir vertinimas [29].

Aplinkosauginio pėdsako poveikio vertinimo rezultatų normalizavimas (Europos komisijos rekomendacija 2013 m. Balandžio 9 d. Dėl produktų ir organizacijų gyvavimo ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo):

„Normalizavimas yra ne privalomas, o rekomenduojamas etapas, kuriuo AP poveikio vertinimo rezultatai dauginami iš normalizavimo koeficientų, siekiant apskaičiuoti ir palyginti jų įnašų į AP poveikio kategorijoms priskirtą poveikį didumą, palyginti su etaloniniu vienetu (paprastai tai yra su šia kategorija susijęs poveikis, kurį padaro visos šalies ar vidutinio piliečio per metus išmetami teršalai). Šitai nustatomi bemačiai normalizuotieji AP rezultatai. Šie rezultatai atspindi produktui priskirtiną neigiamą poveikį, palygintą su etaloniniu vienetu, pvz., tai gali būti konkrečių metų

rezultatai, apskaičiuoti vienam konkreto regiono gyventojui. Todėl pavienių procesų įnašų į poveikį svarbą galima palyginti su nagrinėjamų AP poveikio kategorijų etaloniniu vienetu. Pavyzdžiui, konkreto regiono lygio (pvz., ES-27) AP poveikio vertinimo rezultatai gali būti palyginti su tais pačiais AP poveikio vertinimo rezultatais, apskaičiuotais vienam gyventojui. Šiuo atveju tie rezultatai atspindėtų gyventojų ekvivalentus, susietus su ES-27 išmetamaisiais teršalais. Tačiau normalizuotieji aplinkosauginio pėdsako nustatymo rezultatai neapibūdina atitinkamo poveikio intensyvumo / svarbos.“

Aplinkosauginio pėdsako poveikio vertinimo rezultatų svertinis vertinimas (pasirenkamas etapas):

„Svertinis vertinimas yra ne privalomas, o pasirenkamas etapas, kuris gali padėti interpretuoti ir platinti analizės rezultatus. Šiame etape AP tyrimo rezultatai, pvz., normalizuotieji rezultatai, dauginami iš nustatytų svorio koeficientų, kurie atspindi numanomą santykinę nagrinėjamų AP poveikio kategorijų svarbą. Tada svertinius AP tyrimo rezultatus galima lyginti ir taip nustatyti jų santykinę svarbą. Juos taip pat galima agreguoti pagal visas AP poveikio kategorijas, kad būtų apskaičiuotos kelios agreguotos vertės arba vienas bendras poveikio rodiklis.

Atliekant svertinį vertinimą reikia priimti vertybinius sprendimus dėl atitinkamos nagrinėjamų AP poveikio kategorijų svarbos. Šie sprendimai gali būti grindžiami specialisto nuomone, kultūrinėmis ar politinėmis pažiūromis arba ekonominiais veiksniais.“ [30].

Kultūrinės perspektyvinės rizikos teorijos, kaip paaiškinta (Goedkoop ir kt., 2009), naudojamos sprendžiant bet kokius su aplinkos mechanizmais susijusius neapibrėžtumus, susidedant iš trijų perspektyvų, suskirstančių prielaidas ir pasirinkimus.

- Egalitarinė perspektyva, vertinant poveikį aplinkai, gvildena ypač ilgą laiko skalę ir laikoma atsargiausia perspektyva. Bet kurios medžiagos, turinčios neigiamą poveikį, laikomos neišvengiamomis ir gali sukelti katastrofišką poveikį.
- Hierarchinė perspektyva taip pat nagrinėja ganėtinai ilgą laiko skalę bei kitas problemas ir remiasi pagrindiniais politikos principais. Medžiagos yra įtraukiamos, jeigu yra mokslinis sutarimas dėl jų kenksmingo poveikio ir gali būti išvengta žalos su tinkamu valdymu.
- Individualistinė perspektyva gvildena trumpalaikį laikotarpį (≤ 100 metų) ir poveikio kategorijas, kurios nesuteikia dvejonių dėl technologinių sugebėjimų sprendžiant ateities iššūkius. Medžiagos yra įtraukiamos tik tuo atveju, jeigu yra visiškas jų kenksmingo poveikio įrodymas. Daroma prielaida, kad žala gali būti atitaisoma ekonominiu ir technologiniu vystymusi [31], [32].

Į pastato būvio ciklo vertinimą įeina trys etapai: konstrukcija, naudojimas ir naudojimo pabaiga. Siekiant sumažinti poveikį aplinkai ir padidinti pastatų energinį naudingumą, projektuotojai vis labiau sutelkia dėmesį į mažai energijos naudojančių pastatų kūrimą. To siekiama daugeliu būdų, pvz., didinant viso pastato sandarumą ir pagerinant pastatų šiluminį efektyvumą su izoliacija. Gamyboje didinant medžiagų kiekį, naudojančių energiją ir išteklius, atliekant būvio ciklo vertinimą didėja poveikio reikšmė surinkimo etape [24].

1.4.2. Pastatų būvio ciklo vertinimas pasauliniu mastu

Pastatų statyba turi didelę reikšmę viso pasaulio ekonominiams ir socialiniams procesams. Statybos procesams sunaudojami dideli kiekiai energijos ir resursų iš gamtos. Analizuojant kokį poveikį aplinkai daro konkretus pastatas, jam atliekamas būvio ciklo vertinimas. Statybos proceso ir pastato

naudojimo etapuose yra išskiriama daug teršalų į aplinką, kurie sukelia rimtus padarinius aplinkai, kaip eutrofikacijos ar rūgštėjimo potencialas, ozono sluoksnio nykimas. Visi sprendimai susiję su klausimais, ką ir kur statyti, turi ryšį su aplinka, todėl turi būti vertinama saulės energijos taikymo galimybės, vėjo ir atmosferos poveikis, kaip išplanuoti patalpas, kokią ventiliaciją naudoti, koks pastato ryšys su sklypu, kokias medžiagas ir konstrukcijas naudoti ir kt., ir tai įvertinti pastatuose gyvenančių žmonių ir poveikio aplinkai požiūriu [33].

Atliekant pastatui būvio ciklo vertinimą, reikia nustatyti pastato gyvavimo ciklą, pagal jo konstrukcijos tipą ir ilgaamžiškumą. Dažniausiai pastato gyvavimo ciklas apibrėžiamas nuo 50 iki 100 metų. Skirtingose šalyse pastatų gyvavimo ciklas vertinamas nevienodai. Pvz., Didžiojoje Britanijoje gyvenamojo pastato gyvavimo trukmė numatoma 60 metų, Olandijoje 75 metus, Šveicarijoje 80 metų, o Suomijoje 100 metų. Ieškant palankesnių aplinkai šilumos energijos sąnaudų alternatyvų, pastato gyvavimo ciklo trukmė yra svarbus kriterijus, kadangi jo amžius daro įtaką pastato atitvaroms, šilumos energijos sąnaudoms, inžinerinėms sistemoms [34].

Pasaulyje vis labiau populiarėja žaliųjų pastatų statyba ir juos statant analizuojama: kokias technologijas taikyti siekiant ekologiškos statybos; kaip energijos naudojimui taikyti tik atsinaujinančius energijos išteklius; patalpų aplinkos kokybė [22].

Pastatų šildymui yra naudojama didelė dalis visos pagaminamos elektros energijos, o energijos šaltiniai brangsta kiekvienais metais. Pastatams reikalavimai yra nustatomi, atsižvelgiant į šalies, kurioje statomas pastatas klimatą, kokia galimybė taikyti atsinaujinančios energijos šaltinius ir reikalavimuose turi būti remtasi ekonominiu ir energijos taupymo požiūriu. Įvairiuose procesuose ieškoma būdų, kaip mažinti poveikį aplinkai ir eiti darnaus vystymosi keliu. Tam yra ieškoma alternatyvų, kaip mažinti energijos gamybos neigiamą poveikį aplinkai bei tuo pačiu didinti energijos naudojimo efektyvumą. Pavyzdžiui, nulinės energijos pastato energijos pagaminimas, nedaro neigiamo poveikio aplinkai, nes energija yra pagaminama vietoje, naudojant atsinaujinančios energijos išteklius ir priemones [35].

Proietti atliko būvio ciklo vertinimą, kad išanalizuoti pasyvaus pastato poveikį aplinkai ir nustatė, kad taikant energijos gamybą iš saulės energijos, pasyvaus namo standartą, pastato gerą izoliavimą bei perdurbant atliekas, galima stipriai sumažinti gyvenamųjų pastatų poveikį aplinkai, atsižvelgiant, kad nauji statybos metodai daro ne vien teigiamą poveikį aplinkai [14].

Winther ir Hestnes, kurie atliko tyrimą, lyginant nulinės energijos namą su kitais penkiais skirtingų energinių klasių namais, teigia, kad gerai suprojektuoti, mažai energijos suvartojantys pastatai, aplinkosaugos kontekste turi mažesnę neigiamą poveikį aplinkai nei nulinės energijos pastatai. Taip yra todėl, kad nulinės energijos pastatai reikalauja didesnio kiekio techninių įrenginių, kurie yra neekonomiški visais požiūriais [35].

Muga ir kt., atliko tyrimą JAV vakarinėje dalyje ir palygino tradicinio ir žalio (apželdinto) stogo ekologinį ir ekonominį poveikį aplinkai. Buvo nustatyta, kad sukurti ir apželdinti ekologišką stogą iš ekologiškų medžiagų, į aplinką patenka trigubai daugiau teršalų nei statant tradicinį stogą. Tačiau ekologiškas stogas priežiūros ir eksploatacijos laikotarpiu tris kartus mažiau išskiria teršalų nei tradicinis stogas. Įvertinus visus stogo etapus nuo medžiagų įsigijimo iki stogo nugriovimo, tradicinis stogas per 45 metų gyvavimą, teršalų išmeta 46 % daugiau nei ekologiškas stogas. Taikant Monte Karlo modeliavimą, nustatyta, kad apželdinto stogo sąnaudos per jo gyvavimo trukmę yra 50 % mažesnės nei tradicinio pastato [36].

1.4.3. Statybinių medžiagų poveikis aplinkai

Dabartiniuose pastatuose yra naudojama daug įvairių statybinių medžiagų. Dažniausiai naudojamos yra tokios kaip: betonai, cementas, žvyrai, plytos, mediena, plienas. Tam, kad jas pagaminti yra sunaudojami dideli energijos kiekiai, todėl poveikis aplinkai yra didelis [37]. Todėl norint sutaupyti energiją yra svarbu statyboms naudoti ir perdirbtas statybines medžiagas. Taip pat siūloma naudoti didesnio stiprumo betoną ir taip mažinti betono tūrį. Didelio stiprio betono išmetamas CO₂ kiekis yra didesnis nei įprasto betono, tačiau didelio stiprio betono yra sunaudojamas mažesnis kiekis [38]. Naudojant didelio stiprio betoną pastatas ilgiau tarnauja, nes stiprus betonai yra ilgaamžiškesnis [39]. Betonai turi didelį šilumos laidumo koeficientą, todėl reikia ieškoti būdų, kad betonai išlaikytų savo stiprumą ir tuo pačiu turėtų didesnes šilumos sulaikymo savybes. Toks betonai suvartotų mažiau energijos šildymui ir aušinimui eksploatacijos etape, kas atitinkamai sumažintų dujų išmetimus, kurios sukelia šiltnamio efektą [40].

Brouno R., tyrė 3 konstrukcines medžiagas: molio plytas, medinį karkasą ir tuščiavidurius betonai blokai. Autorius analizavo pirminę energiją bei CO₂ emisijas ir nustatė, kad mažiausias neigiamas poveikis aplinkai yra medinio karkaso, o didžiausias molinių plytų [41].

Koroneos C. ir Dompros A., atliko tyrimą Graikijoje ir analizavo plytų gamybos poveikį aplinkai. Tam naudojo kitų literatūrą bei vietinės įmonės, gaminančios plytas duomenis. Buvo nustatyta, kad į aplinką yra išskiriamos kuro rūgštys, kurios sudarė daugiau nei pusę bendro poveikio aplinkai. Tam, kad sumažinti kuro poveikį aplinkai, jie siūlė plytų gamybai naudoti kurą, kuris turi mažiau sieros [42].

Nors jau sukurta nemažai izoliacinių medžiagų, tačiau vis dar labiausiai naudojamos medžiagos pastato apšiltinimui yra putų polistirenas ir akmens vata [43]. Parinkus tinkamą izoliaciją pastate bei jos optimalų storį, galima sumažinti šiluminės energijos sąnaudas, kas leistų mažiau naudoti iškastinio kuro bei sumažinti investicijas į izoliacines medžiagas [44].

Iribarrenas D., analizavo 175 išorinių sienų tipus, kurie atitoko pasyviems pastatams keliamus reikalavimus. Jis nustatė, kad mažiausias poveikis aplinkai kai konstrukciją sudaro medis, o izoliacijai naudojamas kanapių pluoštas [45].

1.5. Teorinės dalies apibendrinimas

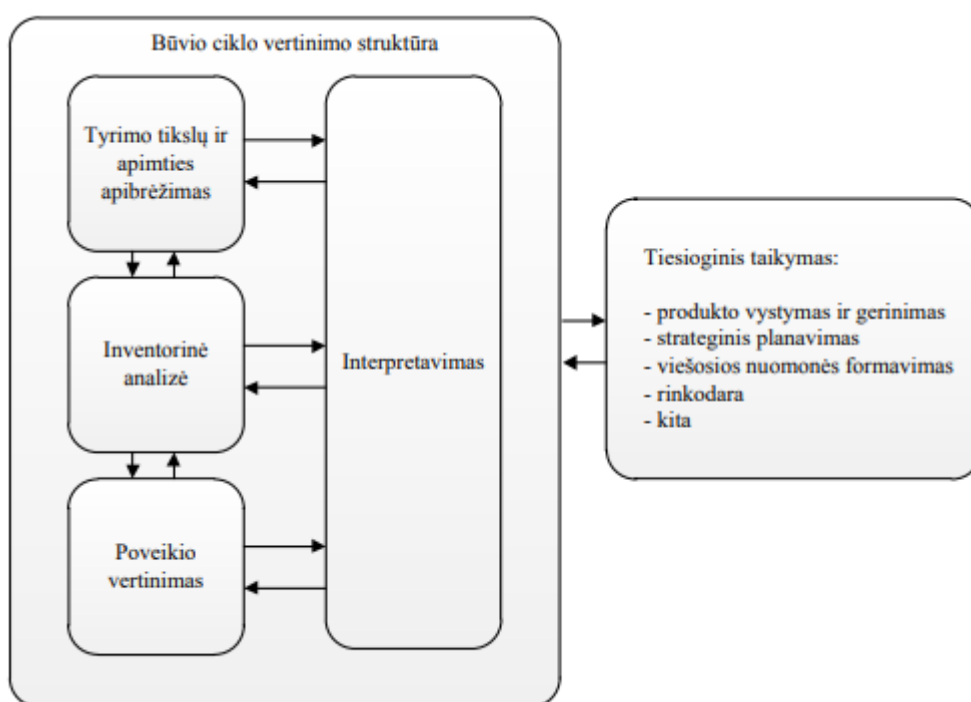
Kiekvienais metais vis didėja elektros energijos naudojimas gyvenamuosiuose pastatuose kas sukelia didelį neigiamą poveikį aplinkai. Didelė energetinių išteklių dalis yra naudojama namams šildyti. Tačiau šildymas yra labai neefektyvus energijos vartojimas, nes dažnai patiriami dideli šilumos nuostoliai, dėl neintegruotų šilumos sulaikymo priemonių, šiluminio laidumo medžiagų bei langų, kurie yra nesandarūs. Taip pat nauji reikalavimai nurodo, kad kai statybos darbai pradėti nuo 2018 m. pastato energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė nei A+, o nuo 2021 m. ne žemesnė nei A++. Šios kategorijos priklauso energetiškai efektyviems pastatams. Todėl yra labai svarbu įvertinti ar aukštesnės energinio naudingumo klasės pastatų statymas nedaro didesnės žalos aplinkai, kadangi toms klasėms pasiekti vienas iš būdų yra didinti pastato izoliacijos kiekį. Energinio naudingumo klasių palyginimas ir atsakymas į klausimą ar šios klasės daro mažesnę poveikį aplinkai yra svarbus. Vienas iš būdų nustatyti pastatų poveikį aplinkai yra atlikti būvio ciklo vertinimą. Toliau pateikiama metodika ir rezultatai pasirinktos energinio naudingumo klasėms.

2. Tyrimų metodika

2.1 Būvio ciklo vertinimas

Šiame darbe taikomas būvio ciklo vertinimo (BCV) metodas. Šiame darbe būvio ciklo vertinimas atliekamas pagal ISO 14044:2007 standartą ir jį sudaro šie etapai:

- Pastatų būvio ciklo vertinimo aktualumas;
- Tikslų ir hipotezės formulavimas;
- Duomenų rinkimas;
- Statybinių medžiagų ir suvartojamos energijos inventorinė analizė;
- Pastatų pagal energinio naudingumo klases poveikio aplinkai vertinimas;
- Vertinimo interpretavimas ir išvados.

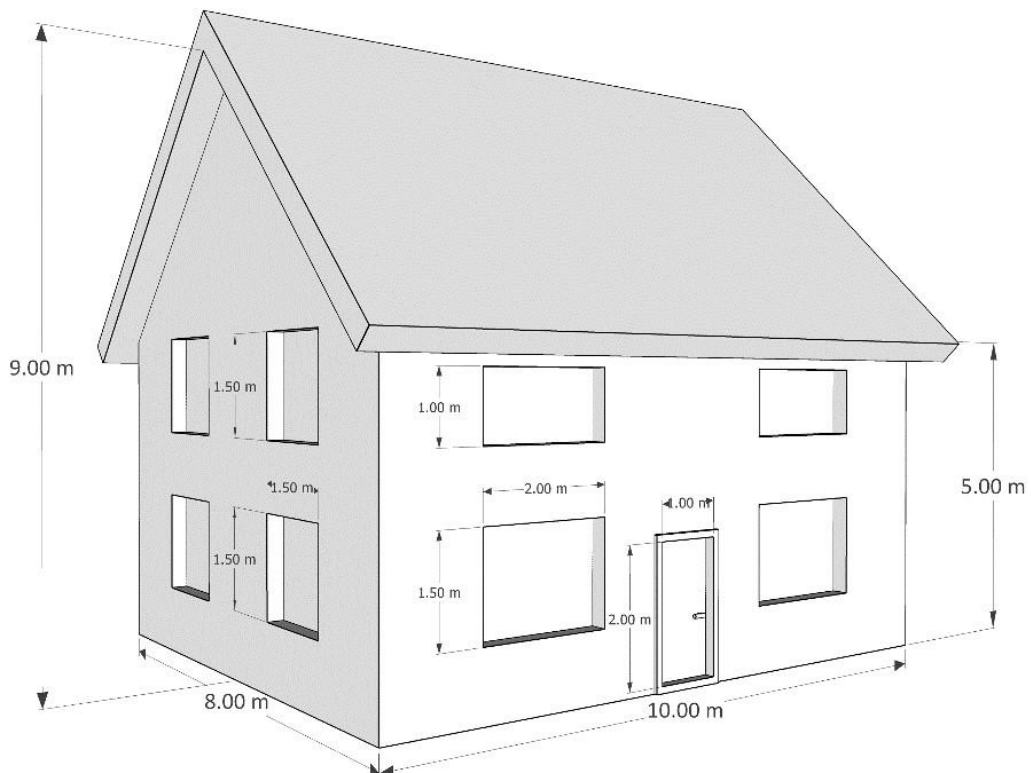


7 pav. Būvio ciklo vertinimo struktūra (LST EN ISO 14040:2007) [28]

2.1.1. Tikslas ir taikymo sritys

Darbo tikslas - atlikti A++, A+, A, B ir C energinių klasių pastatų poveikio aplinkai vertinimą, remiantis būvio ciklo vertinimo metodika.

Funkcinis vienetas: 160 m² pastatas, kurio gyvavimo ciklas yra 100 metų.



8 pav. Pastato modelis (Modeliuota taikant Sketchup Pro 2019 programinę įrangą).

Buvo vertinti šie pastato būvio ciklo etapai:

- Pastato surinkimas – kokios statybinės medžiagos ir kokie kiekiai sunaudojami pastatyti vieną standartinį namą bei atsižvelgiant į jo energinę klasę.
- Naudojimo etapas – kiek vidutiniškai energijos buitinėms reikmėms suvartoja gyventojai per visą pastato naudojimo etapą bei kiek energijos suvartojama šildymui pagal pastato energinio naudingumo klasę.
- Gyvavimo ciklo pabaigos etapas – kokios atliekos ir kokie jų kiekiai susidaro po pastato eksploatacijos, atsižvelgiant, kurios atliekos yra rūšiuojamos, perdirbamos ar pakartotinai panaudojamos.

Šiame tyrime iš visų pastato būvio ciklo etapų nebuvo vertinta žaliavų tiekimas, jų transportavimas, apdirbimas; pastato priežiūra, taisymas, atnaujinimas, pakeitimas, vandens sąnaudos; griovimas, sugriauto pastato transportavimas, atliekų rūšiavimas.

Magistro baigiamasis projektas yra orientuotas į pastatų energinio naudingumo klases, todėl tyrimui buvo parinktos šios sistemos ribos:



9 pav. Sistemos ribos nagrinėjamiems pastatams

2.2. Inventorinių duomenų skaičiavimas

Šiam darbui buvo pasirinktas standartinis gyvenamasis pastato modelis. Pastato plotas buvo išskirstytas per du aukštus. Pagal tai buvo paskaičiuoti lauko sienų, stogo ir grindų plotai. Skaičiuojant medžiagų, reikalingų kiekvienai išorinei atitvarai kiekius taip pat buvo remiamasi (8 pav.) pateiktais lauko sienų, stogo ir grindų modeliais. Pagal energinių klasių reikalavimus (žr. 1 priedą) [4], modelis buvo koreguojamas, keičiant akmens vatos, kuri yra izoliacinė medžiaga storių bei langų stiklo kiekius. Iš plotų ir storių buvo paskaičiuota, kiek medžiagų reikės A++, A+, A, B ir C klasės namui apšildyti. Vertinimas taikomas Lietuvos klimatui.

Statinio gyvavimo trukmė pasirinkta pagal STR 1.12.06:2002 (žr. 8 priedą). Imta, kad modelinis statinys yra gyvenamosios paskirties pastatas, kuris yra plytų mūro vieno buto gyvenamasis namas [46].

Tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas apima tikslų klausimų iškelimu, į kuriuos reikia atsakyti. Inventorinės analizės etapas susijęs su nagrinėjamo gaminio funkcijos procesų struktūra bei tarpusavio priklausomybe. Poveikio vertinimo etapo tikslas yra interpretuoti ir apjungti inventorinės analizės rezultatus. Interpretavimas leidžia atlikti neapibrėžtumo ir jautrio analizę, suteikia galimybę palyginti su kitais rezultatais ir daugelį kitų [47].

2.2.1. Statybinių medžiagų skaičiavimai

Šiame projekte pirmiausiai buvo skaičiuojamos statybinės medžiagos, skirtos tradicinio namo konstrukcijai. Buvo parenkamos dažniausiai naudojamos statybinės medžiagos bei remiantis kitų šaltinių duomenimis [16] [17] [18] [19] [48]. Taip pat buvo paskaičiuoti jų kiekiai pagal pasirinktą modelinį namą (7 pav.).

4 lentelė. Statybinės medžiagos, kurios naudojamos vertinant modelinį namą.

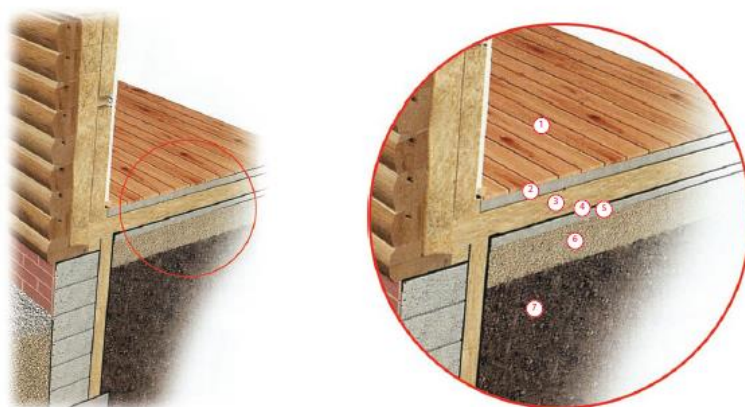
Nr.	Medžiaga	Vienetai
1	Keramika	kg
2	Medis (pušis)	kg
3	Difuzinė plėvelė (HDPE)	kg
4	Akmens vata	kg
5	Betonas	kg
6	Polietileno plėvelė	kg
7	Gipso kartonas	kg
8	Gipso mišinys	kg
9	Cementas	kg
10	Bentonitas	kg
11	Gamtinis žvyras	kg

12	Langų stiklas	kg
----	---------------	----

Modelinis namas neturi rūsio. Į pamatams reikalingas medžiagas nebuvo atsižvelgta, nes jos labiau priklauso nuo kitų veiksnių, kaip gruntas, ant kurio statomas namas, nei nuo paties namo energinio naudingumo klasės. Modelinės grindys sudarytos iš šešių sluoksnių. Ant grunto supiltas 30 centimetrų storio stambaus žvyro sluoksnis ir pakloti du (5 cm storio) betono sluoksniai, tarp kurių patiasta akmens vatos plokštė, kuri iš apačios apsaugota hidroizoliacija (10 pav.).

5 lentelė. Grindų ant grunto šiltinimas [49].

Izoliacinių plokščių STEPROCK HD storiai (mm)	Šiluminė varža Rf [m² K / W]			
	50	100	120	150
1. Medinės lentų grindys, 32 mm	1,47	2,55	2,99	3,64
2. Išlyginamasis armuoto betono sluoksnis, 50 mm				
3. Akmens vatos plokštės STEPROCK HD				
4. Hidroizoliacija				
5. Išlyginamasis armuoto betono sluoksnis, 50 mm				
6. Stambus žvyras, 300 mm				
7. Sutankintas gruntas				



10 pav. Grindų ant grunto šiltinimas [49].

Ant betono paklotos medinės grindys. Skirtingos energinės klasės turi skirtingus šiluminio laidumo koeficientus grindims, sienoms, stogui, todėl modeliavimo metu buvo keistas akmens vatos storis pagal kiekvienos energinės klasės reikalavimus. Iš bendros šiluminės varžos buvo atimta šiluminė varža medžiagų, kurių storis nebuvo keistas, šiuo atveju stambaus žvyro, dviejų betono sluoksnių, medinių grindų. Visos šios varžos buvo apskaičiuotos naudojantis toliau pateiktomis formulėmis:

$$R_{av} = R_{sum} - R_z - 2R_b - R_m \quad (2.1)$$

Buvo gauta šiluminė varža, kurią turime gauti iš akmens vatos plokščių, kad namas atitiktų pastatų energinių klasių reikalavimus. Iš medžiagos šiluminio laidumo koeficiento ir reikalingos šiluminės varžos buvo surastas medžiagos storis:

$$d = \lambda_{ds} * R \quad (2.2)$$

Medžiagos šiluminio laidumo koeficientas buvo paskaičiuotas iš STR 2.01.02:2016 deklaruojamo šiluminio laidumo koeficiento (žr. 5 priedą), bei atsižvelgiant į pataisas dėl medžiagos įdrėkimo $\Delta\lambda_\omega$ ir šiluminės konvekcijos $\Delta\lambda_{cv}$.

$$\lambda_{ds} = \lambda_{dec} + \Delta\lambda_\omega + \Delta\lambda_{cv} \quad (2.3)$$

Pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamose ir nevėdinamose atitvarose buvo gauta remiantis STR 2.01.02:2016 (žr. 2 ir 3 priedus) [4]. Pataisa dėl šiluminės konvekcijos buvo paskaičiuota taikant k_{cv} – šiluminės konvekcijos poveikio koeficientą, paimtą iš STR 2.01.02:2016 (žr. 4 priedą) [4].

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_{dec} * k_{cv} \quad (2.4)$$

Buvo gauti akmens vatos Steprock HD storiai, reikalingi A++, A+, A, B ir C energinių klasių namams. Iš šių storių, pastato grindų ploto bei medžiagos tankio buvo paskaičiuota, kokią akmens vatos masę reikės dėti į atitinkamos energinės klasės pastato grindis (6 lentelė).

6 lentelė. Akmens vatos storis ir masė pagal energinio naudingumo klases.

Pastato energetinio naudingumo klasė	Grindų šiluminė varža R_{sum} , m^2K/W	Paskaičiuotas akmens vatos Steprock HD storis, m	Paskaičiuota akmens vatos Steprock HD masė, kg
A++	10	0,44	4881,8
A+	8,33	0,36	3994,2
A	7,14	0,31	3439,5
B	4	0,17	1886,2
C	4	0,17	1886,2

Sienos iki stogo apačios yra 5 metrų aukščio, namo perimetras 35,85 metrai. Prie šio ploto buvo pridėtos trikampės sienų dalys esančios prie stogo, kurių abiejų plotas pridėjo 31,7 m^2 . Iš bendro sienų ploto buvo atimti langų (40 m^2) ir durų (2,1 m^2) plotai. Gautas bendras 168,25 kvadratinį metrų apšildomų sienų plotas. Vidinės sienos nebuvo skaičiuojamos, nes joms reikalingų medžiagų kiekis priklauso nuo namo išplanavimo, o ne nuo pastato energinės klasės. Modelinio namo sienas sudaro keturi sluoksniai medžiagų: cementinis kalkinis tinkas, akmens vata, keraminiai tuščiaviduriai blokėliai ir mineralinis tinkas vidaus apdailai (11 pav.).

7 lentelė. Sienų šiltinimas [49].

	Storis, mm	Šilumos laidumo koeficiento vertė, $W / (m \cdot K)$	Pastabos
1. Klijų mišinio, dekoratyvinio tinko sluoksnis	15 mm	$\lambda_{ds} = 1,0 W / (m \cdot K)$	
2. Akmens vatos plokštės FRONTROCK MAX E	150 mm	$\lambda_{dec} = 0,036 W / (m \cdot K)$	Oro pralaidumas $l < 60$ 10-6 $m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$
3. Keraminis tuščiaviduris blokėlis	200 mm	Projektinė šiluminė varža $R_{d.s} = 0,87 m^2 \cdot K/W$	
4. Mineralinis tinkas	15 mm	$\lambda_{ds} = 1,0 W / (m \cdot K)$	



11 pav. Sienų šiltinimas [49].

Kaip ir su grindimis, sienų bendra šiluminė varža buvo parinkta pagal pastato energinės klasės reikalavimus. Kad būtų gauta kiekvienai energetinei klasei reikalinga akmens vatos šiluminė varža iš bendros reikalaujamos šiluminės varžos, buvo atimta nekeičiamo storio medžiagų šiluminės varžos. Taip pat atsižvelgus į sienos orientaciją, atimta išorinio paviršiaus šiluminė varža $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ir vidinio paviršiaus šiluminė varža $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ pagal STR 2.01.02:2016 (žr. 6 priedą) [4].

$$R_{av} = R_{sum} - R_{dt} - R_{kb} - R_{mt} - R_{se} - R_{si} \quad (2.5)$$

Buvo pakartoti modelyje naudotų medžiagų storių skaičiavimai, gautos akmens vatos masės, kurių reikia, kad pastatas atitiktų skirtingas energines klases (8 lentelė).

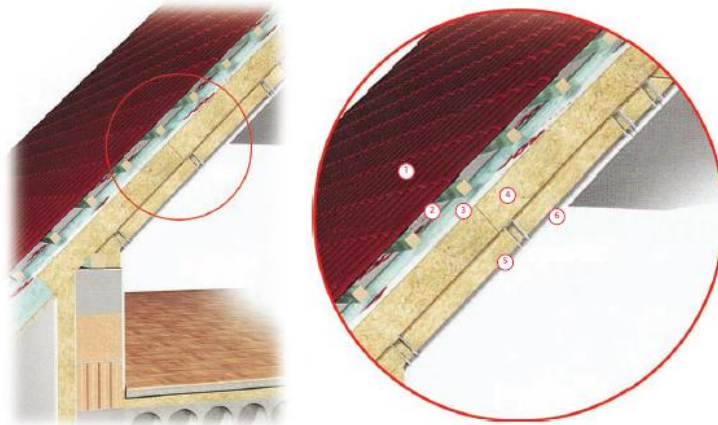
8 lentelė. Apskaičiuota sienų akmens vatos storis ir masė pagal pastatų energinių klasių reikalavimus.

Pastato energinė klasė	Sienų šiluminė varža (R_{sum} , $\text{m}^2\text{K/W}$)	Akmens vatos Frontrock Max E storis, (m)	Paskaičiuota akmens vatos Frontrock Max E masė, (kg)
A++	10	0,34	5720,5
A+	9,09	0,31	5215,8
A	8,33	0,28	4711,0
B	5	0,15	2523,8
C	5	0,15	2523,8

Stogas buvo pasirinktas šlaitinio tipo. Stogui apšiltinti reikalingas plotas gavosi 112 kvadratinų metrų. Modelinio namo stogas sudarytas iš šešių sluoksnių: stogo dangos, vėdinamo oro tarpo, vėjo izoliacijos, akmens vatos plokštės, garo izoliacijos ir gipso kartono plokštės (12 pav.).

9 lentelė. Vėdinamo šlaitinio stogo šiltinimas [49].

Izoliacinių plokščių SUPERROCK storiai (mm)	Šilumos perdavimo koeficientas U [$\text{W} / \text{m}^2 \text{ K}$]				
	150 + 50	150 + 100	200 + 100	200 + 150	200 + 200
1. Stogo danga	0,22	0,17	0,15	0,12	0,11
2. Vėdinamas oro tarpas, min. 50 mm					
3. Vėjo izoliacija – difuzinė plėvelė					
4. Akmens vatos plokštės SUPERROCK					
5. Garo izoliacija – 0,2 mm polietileno plėvelė					
6. Gipso kartono plokštė, 13 mm					



12 pav. Vėdinamo šlaitinio stogo šiltinimas [49].

Šiuo atveju po stogo danga yra oro tarpas, todėl stogo danga neįsiskaičiuoja į izoliuojančias medžiagas. Akmens vatos sluoksnis susideda iš dviejų dalių: vidinė dalis susidaro iš konstrukciją laikančių gegnių, kurios išdėliotos 60 cm atstumo tarpais. Tarp šių gegnių tarpai yra užpildyti akmens vata. Po šiuo sluoksniu yra vientisas akmens vatos sluoksnis, kurio storis ir bus keičiamas, norint pastatą pritaikyti skirtingoms pastatų energetinės klasės. Šlaitinio stogo išorinio paviršiaus šiluminė varža $R_{se} = 0.01 \text{ m}^2\text{K/W}$ ir vidinio paviršiaus šiluminė varža $R_{si} = 0.01 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

$$R_{av} = R_{sum} - R_{av \text{ su geg}} - R_{gk} - R_{se} - R_{si} \quad (2.6)$$

Čia $R_{av \text{ su geg}}$ yra šiluminė varža stogo sluoksnio, kurio tarpai tarp gegnių yra užpildyti akmens vata. Gegnių plotis 5 cm, tarpai tarp gegnių 55 cm. Stogo sluoksnio šiluminė varža apskaičiuojama:

$$R_{av \text{ su geg}} = \frac{(R_{av \text{ tarp geg}} * 0.05 + R_{geg} * 0.55)}{0.05 + 0.55} \quad (2.7)$$

Atlikus skaičiavimus buvo gauti akmens vatos storiai ir masės priklausomai nuo pastato klasės

10 lentelė. Apskaičiuota stogo akmens vatos storis ir masė pagal pastatų energinių klasių reikalavimus.

Pastato energinė klasė	Stogo šiluminė varža (R_{sum} , $\text{m}^2\text{K/W}$)	Akmens vatos storis, (m)	Akmens vatos Superrock masė, (kg)
A++	12,5	0,15 + 0,36	585,6 + 1533,2
A+	11,1	0,15 + 0,31	585,6 + 1320,3
A	10	0,15 + 0,26	585,6 + 1107,3
B	6,25	0,15 + 0,12	585,6 + 511,1
C	6,25	0,15 + 0,12	585,6 + 511,1

Visų energinių klasių namams buvo dedamos vienodos medinės durys. Tai nėra ribojantis veiksnys norint atitikti aukšto energetinio efektyvumo pastato reikalavimus. Langų energetinis efektyvumas priklauso tiek nuo rėmo kamerų skaičiaus bei išdėstymo, tiek nuo stiklo paketų skaičiaus bei užpildo. Daugelis modernių langų yra užpildyti argono dujų užpildu. A, B ir C klasėms užtenka kokybiško lango su dviejų stiklų paketais. Norint gauti geresnes izoliacines savybes yra naudojami trijų stiklų paketai su dvejais dujų tarpais. Vidutiniškai imant 4 mm stiklo storį ir $40,6 \text{ m}^2$ langų plotą buvo paskaičiuota, kiek stiklo reikės tokio namo langams.

2.2.2. Energijos kiekio skaičiavimai

Buvo vertinami sunaudojamos energijos kiekiai naudojimo etape. Kiek vidutiniškai energijos sunaudojama buitiniams prietaisams, buvo remtasi Lietuvos statistikos departamento duomenis [50]. Tam buvo paimti suvartojamos elektros energijos kiekiai vandens šildymui, maisto gaminimui, apšvietimui ir elektroniniams prietaisams bei padauginti iš pastato gyvavimo trukmės. Į pastato plotą ir energinio naudingumo klases šiuo atveju nebuvo atsižvelgta, nes tai nedaro įtakos kiek vidutiniškai šeima sunaudoja elektros energijos.

Taip pat buvo skaičiuojami energijos kiekiai atsižvelgiant į kiekvienos pastato energinio naudingumo klasės šildymo poreikius:

Gyvenamosios paskirties vieno buto pastato norminės šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(kv. m. per metus)) (žr. 9 priedą) paskaičiuotos pagal šias formules [4]:

$$A_{++} \text{ klasė} = k_h \cdot 173 \cdot A_p^{-0,36} \quad (2.8)$$

$$A_{+} \text{ klasė} = k_h \cdot 170 \cdot A_p^{-0,30} \quad (2.9)$$

$$A \text{ klasė} = k_h \cdot 175 \cdot A_p^{-0,25} \quad (2.10)$$

$$B \text{ klasė} = k_h \cdot 383 \cdot A_p^{-0,22} \quad (2.11)$$

k_h – *pataisos koeficientas* (žr. 10 priedą)

A_p – *šildomų patalpų plotas*

C energinio naudingumo klasės pastato norminės šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti imta iš STR 2.01.02:2016 (žr. 11 priedą) [4].

Galutiniai šiluminės energijos sąnaudų rezultatai paskaičiuoti atsižvelgiant į pastato plotą bei gyvavimo trukmę.

2.3 Būvio ciklo vertinimas

2.3.1. Poveikio vertinimo metodas

Šiame magistro baigiamajame projekte buvo naudojama „SimaPro 8.5.2.0“ programinė įranga. Rezultatams gauti buvo parenkamas atitinkamas metodas pačioje programinėje įrangoje, kuriuo buvo apskaičiuotos poveikio kategorijos. Projekte buvo taikytas ReCiPe EndPoint (H) metodas.

2.3.2. Ecoinvent duomenų bazė

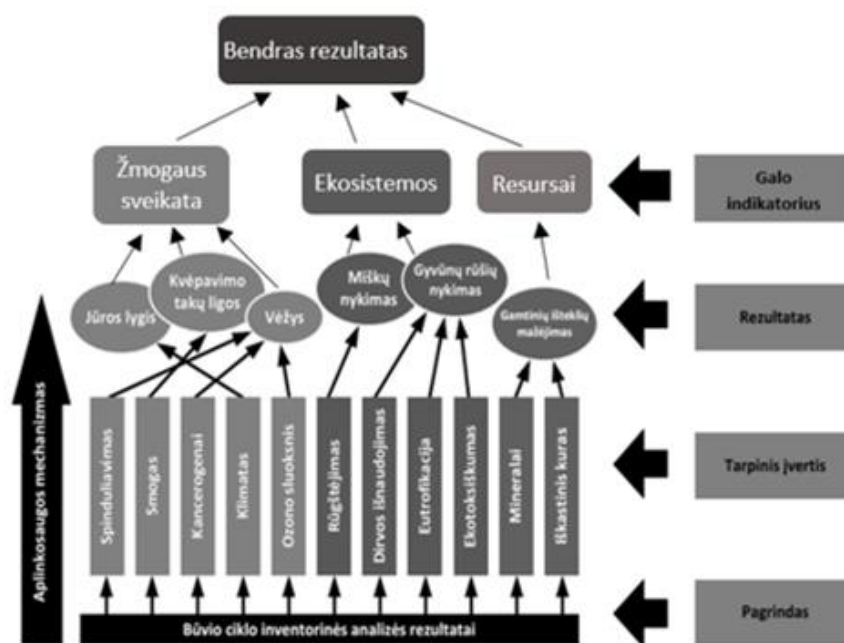
„SimaPro“ kartu su „ecoinvent v3.0“ duomenų baze, apjungia daugiau nei 10 000 procesų. Ši duomenų bazė yra bendra įvairių Šveicarijos institucijų gyvavimo ciklo aprašų centro duomenų bazė, kurie ją nuolat atnaujina ir integruoja kelias būvio ciklo inventoriaus duomenų bases.

2.3.3. ReCiPe EndPoint (H) metodas

Rezultatų vertinimui pasirinktas metodas – ReCiPe baigties/pasekmių (H) V1.11/Europa ReCiPe H/A (eng. ReCiPe Endpoint (H) V1.11/Europe ReCiPe H/A). Šiame metode remiamasi normalizuotomis Europos duomenų vertėmis su svėrimo vidurkiais pagal hierarchinę perspektyvą [51].

ReCiPe metodas. ReCiPe metodo tikslas - transformuoti didelį kiekį būvio ciklo inventorinių duomenų į ribotą skaičių indikatorinių balų (santykinis svoris/poveikis aplinkos poveikio kategorijoms). Šis metodas apibrėžia poveikio kategorijas vidurio taško (Midpoint) lygyje. Rezultatų neapibrėžtumas šiame taške yra mažas. Šio metodas nukreipia į daug skirtingų poveikio kategorijų, todėl nagrinėti rezultatus pasidaro sunkiau, tačiau jie gaunami tikslesni. Taip pat išskiria visas poveikio kategorijas į tris, kas leidžia lengviau interpretuoti rezultatus, tačiau tuomet padidėja rezultatų neapibrėžtumas. Todėl „ReCiPe“ įgyvendina abi strategijas ir vidurio taško apibūdinimo veiksniai yra padauginami iš žalos veiksnių, kad būtų gautos galutinio parametro charakteristikos vertės.

ReCiPe metodas poveikio aplinkai modeliavimui taiko aplinkos mechanizmą (13 pav.). Aplinkos mechanizmas gali būti kaip tam tikrų susijusių poveikių ar reiškinių eilė, kurie būdami kartu gali išprovokuoti tam tikro lygio žalą, kaip pvz., ekosistemoms ar resursams. Kuo ilgesnė eilė, tuo gaunamas didesnis rezultatų neapibrėžtumas [31].



13 pav. Poveikio vertinimo struktūros bendra apžvalga [47].

Šis metodas išskiria 17 poveikio kategorijų. Šiame darbe iš jų buvo nagrinėtos šios kategorijos: klimato kaita (žmonių sveikatai ir ekosistemoms), ozono sluoksnis, toksiškumas žmogui, gėlo vandens eutrofikacija, metalo išekvojimas bei iškastinių resursų išekvojimas.

- *Klimato kaita*

Klimato kaitos charakterizavimo faktorius yra globalinio atšilimo potencialas. Vienetai išreiškiami: *per metus/kg CO₂*.

- *Ozono sluoksnis*

Ozono sluoksnio charakterizavimo faktorius yra stratosferos ozono sluoksnio naikinimas antropogeniniu ozono sluoksnį ardančių medžiagų kiekiu. Vienetai išreiškiami: *per metus/kg CFC – 11*.

- *Toksiškumas žmogui*

Toksiškumo žmogui charakterizavimo faktorius yra kaupimasis žmogaus maisto grandinėje (ekspozicija) ir cheminių medžiagų toksiškas poveikis. Vienetai išreiškiami: *per metus/kg 14DCB*.

- *Gėlo vandens eutrofikacija*

Gėlo vandens eutrofikacijos charakterizavimo faktorius yra aplinkos patvarumas emisijoms, kurių sudėtyje yra maistinių medžiagų. Vienetai išreiškiami: *g / kg P gėlojo vandens*.

- *Metallų išekvojimas*

Mineralinių medžiagų išekvojimo charakterizavimo faktorius yra laipsnio įvertinimas. Vienetai išreiškiami: *kg (Fe)*.

- *Iškastinių resursų išekvojimas*

Iškastinių resursų išekvojimo charakterizavimo faktorius yra ekstrahuoto iškastinio kuro kiekis, remiantis maža šildymo verte. Vienetai išreiškiami: *1 kg naftos ekvivalentas, turintis šildymo vertę 42 MJ* (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).

Baigties taškas (EndPoint) iš visų poveikio kategorijų yra padauginamos iš žalos veiksmių ir susumuojama į tris galutines baigties/pasekmių kategorijas:

- *Žmogaus sveikata.*

Išreikšta prarastų metų gyvenimo skaičiumi ir neįgalųjų gyvenimo metų skaičiumi. Vienetai išreiškiami: *metais*.

- *Ekosistemas.*

Išreikšiamos kaip tam tikros teritorijos rūšių praradimas per tam tikrą laiką. Vienetai išreiškiami: *metais*.

- *Ištekliai.*

Išreikšiami būsimų išteklių gamybos pertekliumi per infinitišką laikotarpį (darant prielaidą, kad metinė gamyba bus pastovi), atsižvelgiant į 3 % diskonto normą. Vienetai išreiškiami: *2000US \$*. (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė)

11 lentelė. ReCiPe metodo baigties taško indikatorių normalizacijos koeficientai (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė)

Baigties taško indikatoriai	Normalizacijos koeficientai	Matavimo vienetas
Žmogaus sveikata	49,5	DALY
Ekosistemas	5530	Rūšys per metus
Resursai	0,00324	\$

2.3.4. Poveikio vertinimo duomenų interpretavimas

Poveikis aplinkai yra interpretuojamas skirtingais rezultatų vaizdavimais. Pagrindinis, kuris išskiria 18 poveikio kategorijų yra charakterizavimo, o rezultatų palyginimui yra taikomi normalizavimo bei svėrimo rezultatai. Taip pat yra žalos vertinimo rezultatai, juose pateikiami 18 kategorijų sutrauktos į tris: žala žmogui, ekosistemoms bei ištekliams. Charakterizavimo ir žalos vertinimo rezultatai yra privalomi atliekant BCV analizę.

2.3.5. Būvio ciklo vertinimo rezultatų rūšys

Charakterizavimas

Medžiagos, turinčios įtaką poveikio kategorijai yra padaugintos iš charakterizavimo faktoriaus, kuris išreiškia santykinę medžiagos poveikį. Pavyzdžiui CO₂ charakterizavimo faktorius klimato kaitos poveikio kategorijai gali būti lygus 1, tuo tarpu metano charakterizavimo faktorius gali būti lygus 25. Tai reiškia, kad į aplinką išskiriant 1 kg metano yra padaroma ta pati žala klimato kaitai, kaip išskiriant 25 kg CO₂. Bendras rezultatas yra išreiškiamas, kaip kategorijos indikatorius (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).

Žalos vertinimas

Pagrindinis žalos vertinimo tikslas yra sujungti visus poveikio kategorijų indikatorius į žalos kategorijas (žmonių sveikatai, ekosistemoms, ištekliams) (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).

Normalizavimas

Normalizavimas yra išreiškiamas nagrinėjamo proceso/medžiagos žala vienam žmogui. Pagrindinis normalizavimo tikslas yra geriau išnagrinėti santykinę kategorijų reikšmę ir parodyti ar gauti rezultatai galimi apskritai. Sunormalizavus poveikio kategorijos indikatorius, jie visi turi vienodus vienetus. Tai leidžia juos lengviau sulygtinti tarpusavyje. Normalizavimas gali būti pritaikytas tiek charakterizavimui, tiek žalos įvertinimo rezultatams (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).

Lyginamasis svertinis vertinimas

Svorio vertinimas leidžia atlikti sprendimus tose vietose, kuriose vienos kategorijos yra iškeliamos aukščiau kitų. Kai kurie metodai leidžia palyginti medžiagas skirtingose poveikio kategorijose. Šiame metode svėrimas yra atliekamas žalos kategorijos lygmenyje ir yra sugrupuotas į tris kategorijas (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).

2.4. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė yra svarbus įrankis tyrinėjant rezultatų patikimumą ir jautrumą neapibrėžties faktoriams būvio ciklo vertinime. Faktoriai gali būti tokie kaip sistemos ribos, funkcinis vienetas, duomenų netikslus parinkimas. Jautrumo analizė parodo svarbiausią modelio parametrų rinkinį, leidžia nustatyti ar duomenys yra kokybiški, ar juos reikia patobulinti, taip pat leidžia pagerinti rezultatų interpretavimą. Atliekant jautrumo analizę, nustatoma ar keičiant duomenis bei prielaidas, keičiasi ir įtaka rezultatams [52].

Šiame darbe jautrumo analizė buvo taikyta vertinant iš elektros energijos pusės, skirtos buitiniams prietaisams, kadangi jos suvartojamas kiekis priklauso ne nuo pačio pastato projekto, o nuo žmonių gyvenimo būdo bei energijos taupymo. Todėl buvo pasirinkta 10 procentų netikslumo intervalas į abi puses, nuo pradinės suvartojamos energijos kiekio, kuris yra parinktas pagal tai, kiek vidutiniškai viena šeima suvartoja elektros energijos gyvenamuose namuose.

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

3.1 Inventorinės analizės rezultatai

Buvo paskaičiuoti pastato konstrukcijai pastatyti sunaudojamų medžiagų kiekiai. Medžiagų rūšys buvo parinktos pagal tai, kokios dažniausiai statybinės medžiagos yra naudojamos pastatų konstrukcijai bei kurių medžiagų sunaudojami kiekiai yra didžiausi. Medžiagų kiekiai pagal pastato energinio naudingumo klases skiriasi tik akmens vatos ir langų stiklo. Apskaičiuoti šių medžiagų kiekiai pateikti lentelėje žemiau (12 lentelė). Matoma, kad kuo aukštesnė energinio naudingumo klasė, tuo didesnis pastatui pastatyti sunaudojamas šių medžiagų kiekis, kas atitinkamai reiškia ir didesnę poveikį aplinkai.

12 lentelė. Akmens vatos ir stiklo kiekiai pagal pastato energinio naudingumo klases.

	Grindų izoliacija	Stogo izoliacija	Sienų izoliacija	Iš viso (izoliacijos)	Langai
Energinio naudingumo klasė	Akmens vata (kg)				Stiklas (kg)
A++ klasė	4881,8	2118,8	5720,5	12721	1218
A+ klasė	3994,2	1905,9	5215,8	11116	1218
A klasė	3439,5	1692,9	4711,0	9843	812
B klasė	1886,2	1096,7	2523,8	5507	812
C klasė	1886,2	1096,7	2523,8	5507	812

Nors kitų medžiagų kiekiai pastato konstrukcijai pastatyti nesiskiria nuo energinių klasių, tačiau jos taip pat vertintos, kadangi tai sudaro didžiąją pastato dalį bei leidžia geriau įvertinti rezultatus. Taip pat buvo paskaičiuoti suvartojamos elektros energijos kiekiai pastato naudojimo etape. Naudojantis metodologinėje dalyje pateiktais skaičiavimais gauti inventoriniai duomenys (13 lentelė).

13 lentelė. Pastato, pagal pasirinktas energinio naudingumo klases inventoriniai duomenys.

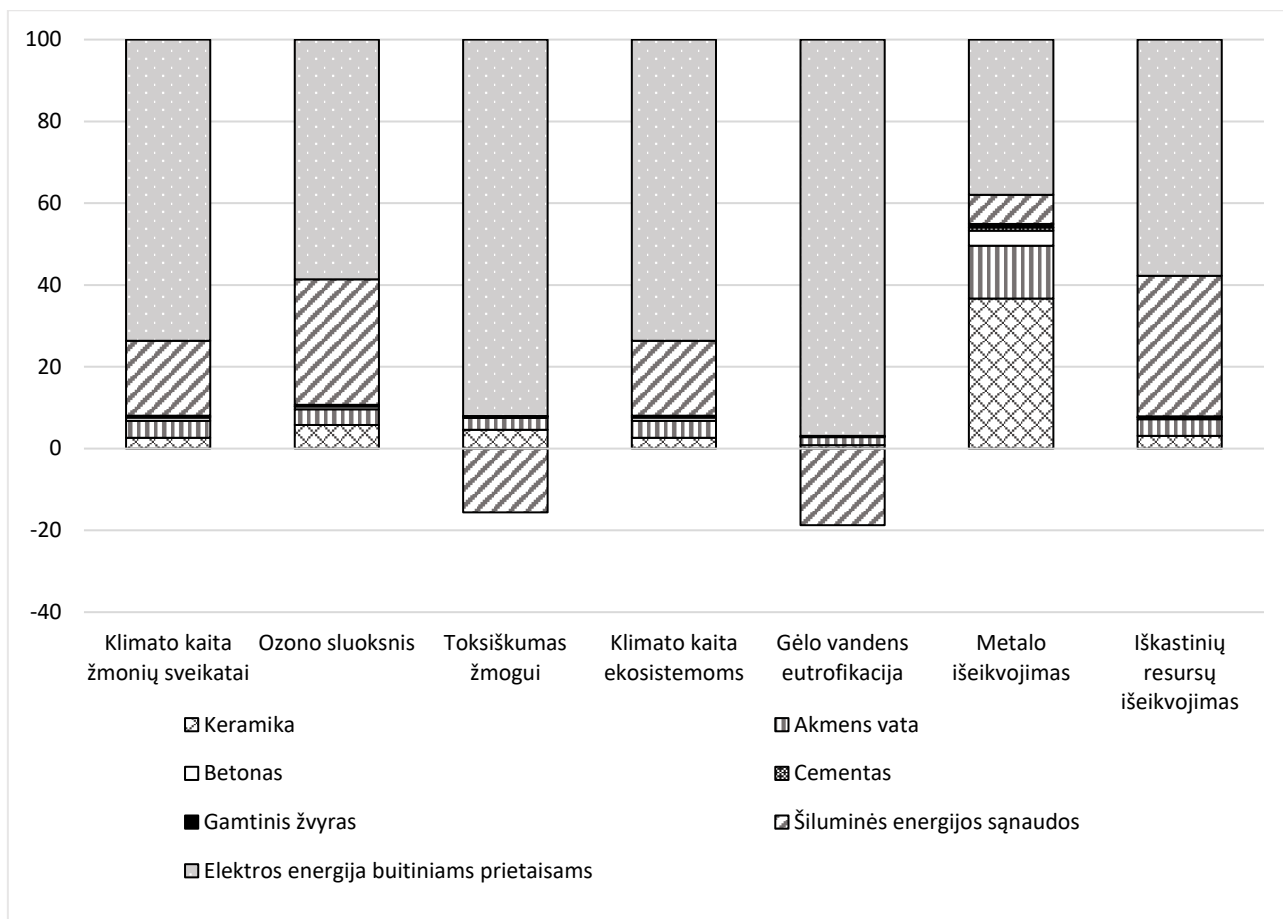
Pastato energinio naudingumo klasė						
		A++	A+	A	B	C
Įvesties duomenys						
Keramika	kg	19652	19652	19652	19652	19652
Pušies medis	kg	3695	3695	3695	3695	3695
Difuzinė plėvelė (HDPE)	kg	13	13	13	13	13
Akmens vata	kg	12721	11116	9843	5507	5507
Betonas	kg	19020	19020	19020	19020	19020
Polietileno plėvelė	kg	30	30	30	30	30
Gipso kartonas	kg	1491	1491	1491	1491	1491

Cementinis kalkinis tinkas	kg	3505	3505	3505	3505	3505
Cementas	kg	3533	3533	3533	3533	3533
Bentonitas	kg	301	301	301	301	301
Gamtinis žvyras	kg	41606	41606	41606	41606	41606
Langų stiklas	kg	1218	1218	812	812	812
Šiluminės energijos sąnaudos	kWh/ (m ² per metus)	27,93	37,19	49,32	125,66	193
Elektros energija buitiniams prietaisams	kWh/ (m ² per metus)	27,3395	27,3395	27,3395	27,3395	27,3395
Išvesties duomenys						
Stiklo atliekos	kg	1218	1218	812	812	812
Gipso kartono atliekos	kg	1491	1491	1491	1491	1491

Didžiausi medžiagų kiekiai pastato konstrukcijai pastatyti buvo paskaičiuoti gamtinio žvyro – 41606 kg. Taip pat dideli kiekiai buvo keramikos – 19652 kg bei betono – 19020 kg. Šių medžiagų kiekiai buvo vienodi kiekvienai energinei klasei. Kadangi šių medžiagų buvo didžiausi kiekiai, atitinkamai pastebėtas ir vienas didesnių poveikių aplinkai lyginant su kitomis medžiagomis. Taip pat buvo didelis kiekis akmens vatos, tačiau jis kiekvienai energinio naudingumo klasei skyrėsi ir didžiausias medžiagos kiekio skirtumas nuo pasirinktos žemiausios iki aukščiausios energinės klasės buvo 2,3 karto. Taip pat skyrėsi ir langų stiklo kiekis pagal energinę klasę, tačiau jo kiekis yra nedidelis ir reikšmingo poveikio aplinkai nebuvo pastebėta. Atliekų kiekiai taip pat nebuvo dideli, kadangi atliekomis buvo priskirtos tik medžiagos, kurios neperdirbamos po eksploataavimo – langų stiklas ir gipso kartono atliekos. Elektros energijos buitiniams prietaisams kiekiai taikyti kiekvienai energinei klasei tokie patys, nes tai nepriklauso nuo pačio pastato projekto. Tačiau šiluminės energijos sąnaudos skyrėsi pagal energines klases. Lyginant su aukščiausia A++ energine klase (27,93 kWh/ (kv. m. per metus)) , kitų klasių šiluminės energijos sąnaudos buvo didesnės: A+ klasės - 1,3 karto; A klasės – 1,8 karto; B klasės – 4,5 karto; C klasės – 6,9 karto. Atitinkamai kiekvienai energinei klasei augo ir reikšmingumas aplinkos poveikiui.

3.2 Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus

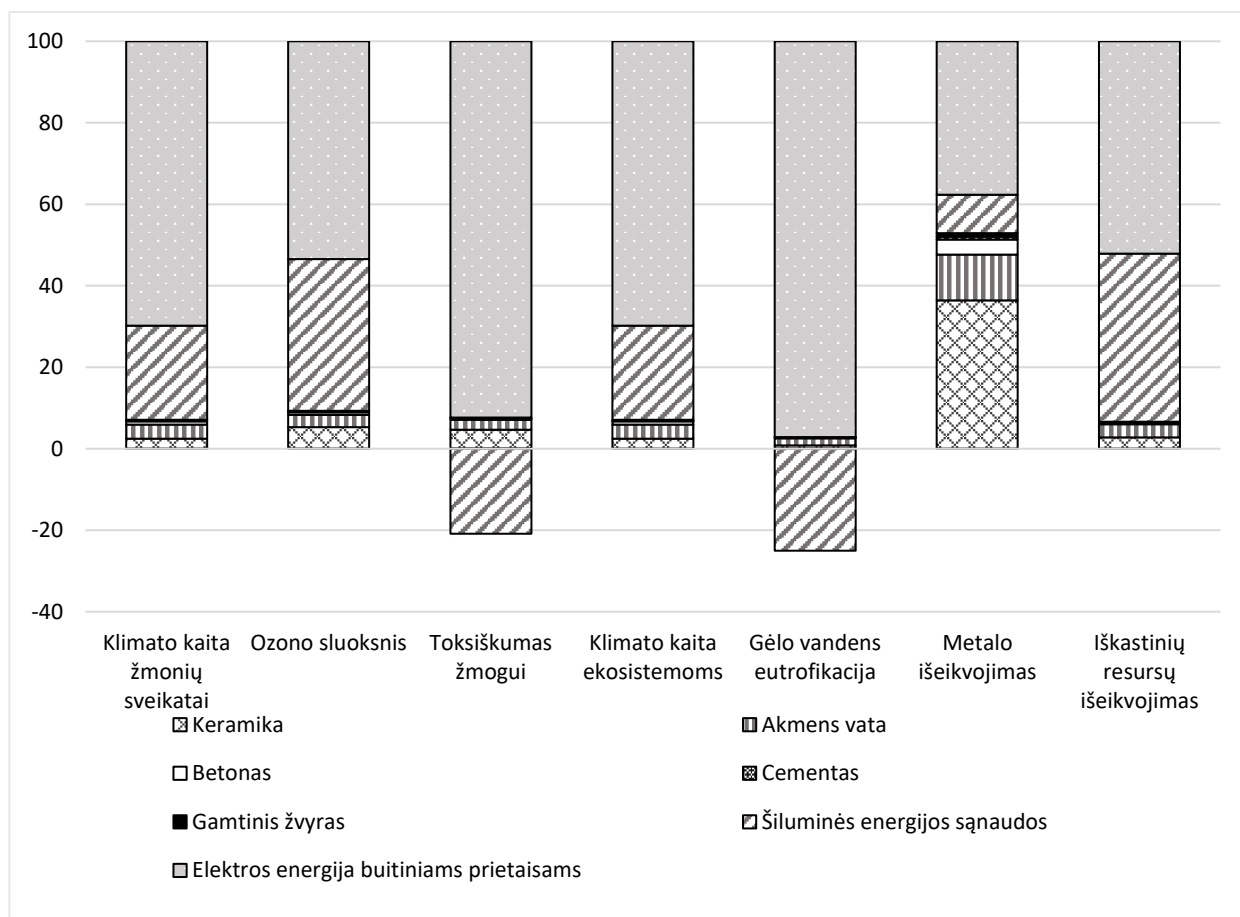
Kaip rašoma metodinėje dalyje, atlikus modeliavimą SimaPro programine įranga ir naudojant ReCiPe metodą, gauti šie charakterizavimo grafikai. Jie rodo visų energinio naudingumo klasių poveikį aplinkai išskirstant poveikį į 7 kategorijas. Atliekant rezultatų charakterizavimą, buvo įvertintas kiekvienas atvejis atskirai pagal pastato energinio naudingumo klases nuo A++ iki C klasės. Taip pat buvo įvertintos visos klasės bendrai. Reikšmingiausią poveikį iš visų energinių klasių sudarė energijos suvartojimas: šiluminės energijos sąnaudos bei elektros energija buitiniams prietaisams. Iš medžiagų didžiausias poveikis buvo iš keramikos, akmens vatos, gamtinio žvyro, cemento, betono. Kadangi iš kitų analizuotų medžiagų didelis reikšmingumas nepastebėtas, grafikuose jos nepateiktos.



14 pav. A++ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)

A++ energinio naudingumo klasės pastato atveju didžiausias poveikis aplinkai susidaro iš elektros energijos buitiniams prietaisams, kadangi energija šildymui sudaro pačią mažiausią dalį lyginant su kitomis klasėmis. Taip pat iš visų kategorijų elektros energija didžiausią neigiamą poveikį daro gėlo vandens eutrofikacijai (96,9 %). Energija šildymui turi teigiamą poveikį toksiškumui žmogui bei gėlo vandens eutrofikacijai. Likusios reikšmės daro vien neigiamą įtaką pasirinktoms kategorijoms. Keramika bei akmenų vata didžiausią poveikį turi metalų išieškojimui. Klimato kaita žmonių sveikatai kategorijai didžiausią poveikį daro elektros energija, kurios poveikis 4 kartus didesnis nei šiluminės energijos sąnaudos. Tačiau šiluminės energijos sąnaudos taip pat turi didelę įtaką, jos poveikis 2,3 kartus didesnis už visas statybines medžiagas sudėjus. Iš statybinių medžiagų, šiuo atveju didžiausias poveikis yra iš akmenų vatos – 1,9 karto daugiau už likusias medžiagas. Ozono sluoksnio kategorijai didžiausią poveikį daro elektros energija – 1,9 karto daugiau nei šiluminės energijos sąnaudos, kurių poveikis 2,9 karto didesnis už visas statybines medžiagas. Iš statybinių medžiagų šiai kategorijai didžiausias poveikis tenka iš keramikos – 1,2 karto daugiau už likusias statybines medžiagas. Toksiškumo žmogui kategorijai teigiamą poveikį daro šiluminės energijos sąnaudos. Kiti kriterijai daro neigiamą įtaką: elektros energijos poveikis 12,7 karto didesnis už likusias medžiagas. Iš statybinių medžiagų, didžiausią poveikį kaip ir ozono sluoksniui, turi keramika 1,5 karto daugiau nei likusios statybinės medžiagos. Klimato kaitai ekosistemoms matomas vien neigiamas poveikis: elektros energija 4 kartus didesnis, už šiluminės energijos sąnaudos, kurių poveikis 2,3 kartus didesnis už statybines medžiagas. Iš jų, didžiausias poveikis pasireiškia iš akmenų vatos – 1,3 kartus daugiau

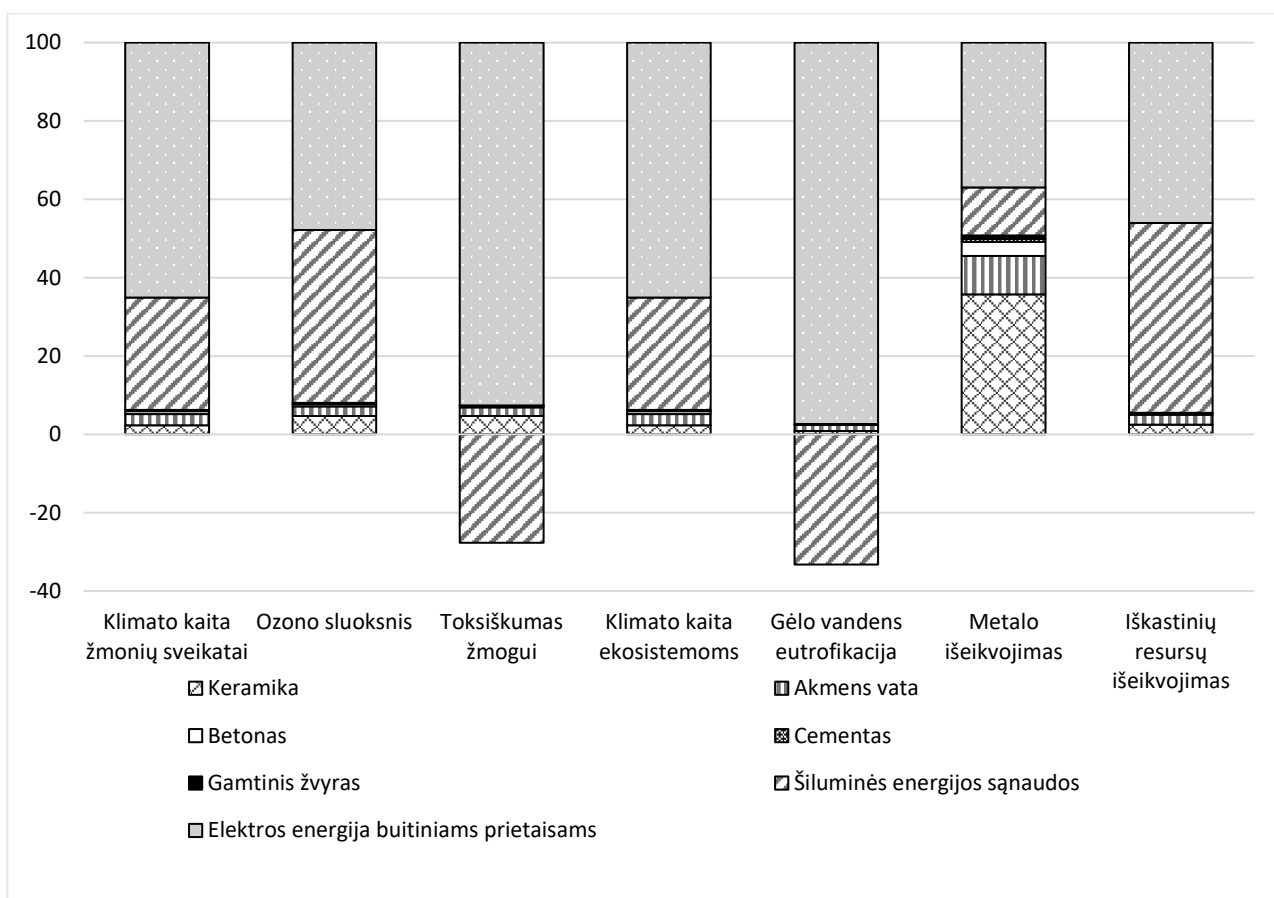
už likusias statybines medžiagas. Gėlo vandens eutrofikacijai pastebimas teigiamas poveikis iš šiluminės energijos sąnaudų, o likusios reikšmės daro neigiamą poveikį. Didžiausias neigiamas poveikis pastebimas iš elektros energijos – 31,2 karto daugiau už statybines medžiagas. Kitos reikšmės didelio poveikio neturi. Metalų išieškojimui pastebimas tik neigiamas poveikis. Didžiausias poveikis iš elektros energijos, kuris yra 5,3 karto didesnis už šiluminę energiją. Šiuo atveju antras pagal poveikio reikšmingumą yra ne šiluminės energijos sąnaudos, o keramika, kuri yra 5,2 karto didesnė už šiluminę energiją. Iškastinių resursų išieškojimui didžiausias poveikis daromas iš energijos pusės: elektros energija yra 7,7 karto didesnė už statybines medžiagas, o šiluminės energijos sąnaudų poveikis 4,6 karto didesnis už visas statybines medžiagas.



15 pav. A+ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)

A+ energinio naudingumo klasės pastato didžiausias poveikis aplinkai pastebimas iš energijos pusės, bei akmens vatos ir keramikos. Elektros energija buitiniams prietaisams didžiausią poveikį daro gėlo vandens eutrofikacijai (97,1 %). Šiluminės energijos sąnaudų didžiausią įtaką turi iškastinių resursų išieškojimui: 41,3 %. Klimato kaita žmonių sveikatai kategorijai didžiausias poveikis kyla iš elektros energijos buitiniams prietaisams, kuris yra 3 kartus didesnis už šiluminės energijos sąnaudas. Akmens vata ir keramika sudaro nedidelę reikšmę, likusios medžiagos reikšmės beveik neturi. Ozono sluoksniui poveikis iš elektros energijos buitiniams prietaisams yra 1,4 kartus didesnis už šiluminės energijos sąnaudų poveikį, kuris yra 7,4 karto didesnis už visų statybinių medžiagų poveikį. Iš likusių medžiagų didžiausią poveikį ozono sluoksniui daro keramika – 1,6 karto didesnis poveikis už likusias statybines medžiagas. Toksiškumo žmogui kategorijai matomas ir teigiamas poveikis iš šiluminės

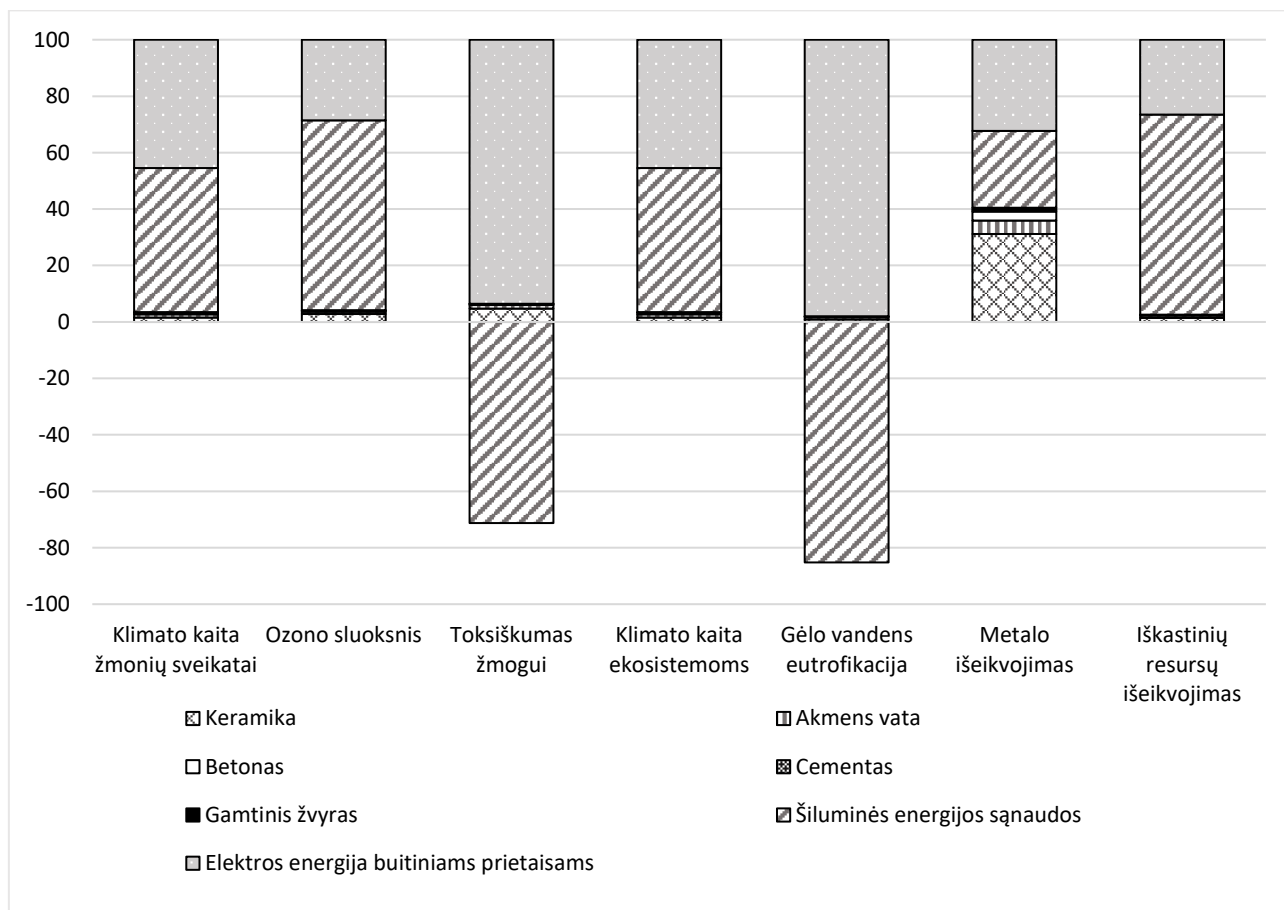
energijos sąnaudų. Kiti kriterijai daro neigiamą poveikį: elektros energija buitiniams prietaisams sudaro 11,4 kartus didesnę poveikį už statybines medžiagas. Klimato kaita ekosistemoms kategorijai matomas panašus poveikis kaip ir klimato kaita žmonių sveikatai: elektros energija buitiniams prietaisams yra 3 kartus didesnė už šiluminės energijos sąnaudas. Gėlo vandens eutrofikacijai, taip pat kaip ir toksiškumas žmogui matomas teigiamas poveikis iš šiluminės energijos sąnaudų. Tačiau elektros energija sudaro labai didelį neigiamą poveikį: 32,3 kartus didesnę už sunaudojamas medžiagas pastatui pastatyti. Metalų išieškojimui pastebimas tolygesnis poveikio pasiskirstymas. Didžiausias poveikis yra iš elektros energijos, kuris yra 4 kartus didesnis už šiluminės energijos sąnaudas. Iš statybinių medžiagų, didžiausias poveikis pastebimas iš keramikos, kuris yra 2,7 karto didesnis už likusias pastato medžiagas. Akmenis vata taip turi reikšmę: 1,3 kartus didesnis poveikis už visas statybines medžiagas. Iškaitinių resursų išieškojimui didžiausia neigiama įtaka pasireiškia iš energijos: elektros buitiniams prietaisams poveikis yra 8,7 karto didesnis už pastato medžiagas, o šiluminės energijos sąnaudų poveikis yra 5,8 kartus didesnis už visas pastato medžiagas.



16 pav. A energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)

A energinio naudingumo klasės pastato poveikis aplinkai matomas panašus, kaip ir A+ klasės, tačiau didėja poveikis iš šiluminės energijos sąnaudų, bei mažėja iš akmens vatos. Teigiamas poveikis taip pat pastebimas toksiškumui žmogui bei gėlo vandens eutrofikacijai iš šiluminės energijos sąnaudų. Tuo pačiu šioms kategorijoms pastebimas ir didžiausias neigiamas poveikis iš elektros energijos. Akmenis vata didžiausią neigiamą įtaką daro metalo išieškojimui. Toksiškumas žmogui: 92,6 %; gėlo vandens eutrofikacijai – 97,3%. Klimato kaita žmonių sveikatai kategorijai elektros energija sudaro 2,3 kartus didesnę neigiamą poveikį negu šiluminės energijos sąnaudos, kurių poveikis 21,5 karto

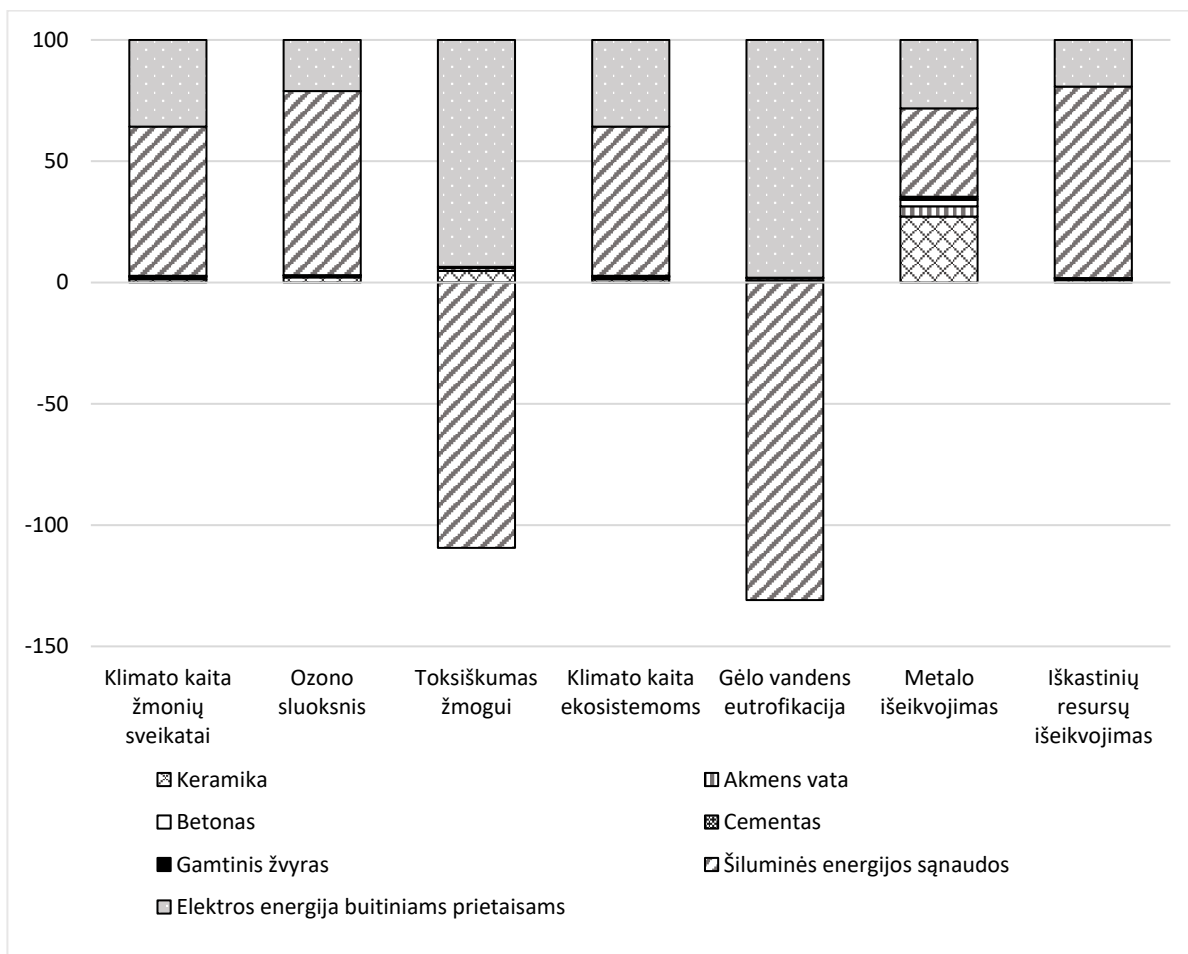
didesnis už visas statybines medžiagas. Ozono sluoksniui elektros energijos buitiniams prietaisams ir šiluminės energijos sąnaudų poveikis yra panašus. Elektros energija 1,1 karto turi didesnę neigiamą poveikį už šiluminę energiją. Toksiškumo žmogui šiluminės energijos sąnaudos daro teigiamą poveikį. Pastebimas didelis neigiamas poveikis iš elektros energijos buitiniams prietaisams – 13,1 karto didesnis už visas pastato statybines medžiagas. Klimato kaitos ekosistemoms kategorijai didžiausią poveikį sudaro elektros energija buitiniams prietaisams – 2,3 karto daugiau už šiluminės energijos sąnaudas, kurių poveikis 11,2 karto didesnis už statybines medžiagas. Gėlo vandens eutrofikacijai taip pat pastebimas teigiamas poveikis iš šiluminės energijos sąnaudų kaip ir toksiškumui žmogui. Elektros energija buitiniams prietaisams sudaro didžiausią neigiamą poveikį gėlo vandens eutrofikacijai – 38,9 karto didesnę už statybines medžiagas. Metalų išieškojimui didžiausias neigiamas poveikis pastebimas iš elektros energijos buitiniams prietaisams, kuris yra 3 kartus didesnis negu šiluminės energijos sąnaudos. Iš statybinių medžiagų didžiausia neigiama įtaka pastebima iš keramikos – 3,1 karto didesnė už likusias pastato medžiagas. Iškastinių resursų išieškojimui didžiausia neigiama įtaka pasireiškia iš šiluminės energijos sąnaudų (19,3 karto daugiau už statybines medžiagas) bei elektros energijos buitiniams prietaisams (18,4 karto daugiau už statybines medžiagas).



17 pav. B energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)

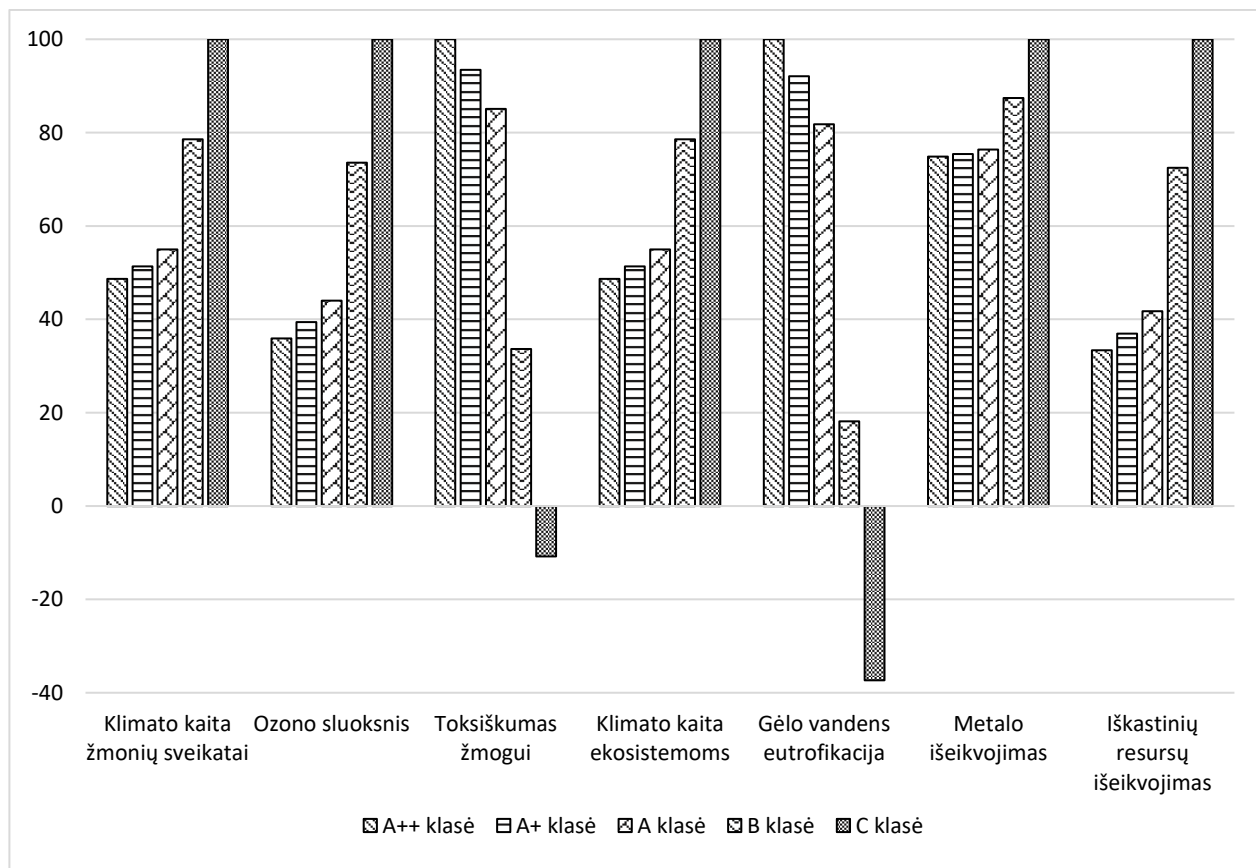
B energinio naudingumo klasės didžiausias poveikis aplinkai susidaro iš šiluminės energijos sąnaudų, kadangi stipriai padidėja suvartojamos energijos šildymui kiekiai. Elektros energijos buitiniams prietaisams kiekiai visose klasėse išlieka tokie patys, todėl atitinkamai ir reikšmingumas poveikiui

aplinkai mažėja. Klimato kaita žmonių sveikatai kategorijai didžiausias poveikis pastebimas jau iš šiluminės energijos sąnaudų, kuris yra 1,13 karto didesnis už elektros energiją buitiniams prietaisams, kuri yra 12,9 karto didesnio neigiamo poveikio už visas pastato statybines medžiagas. Ozono sluoksniui taip pat didžiausias neigiamas poveikis iš šios klasės tenka iš šiluminės energijos sąnaudų, kadangi žemėjant energingumo klasei, didėja šilumos sąnaudų kiekis. Šiluminės energijos sąnaudų neigiamas poveikis aplinkai yra 2,4 karto didesnis už elektros energijos skirtos buitiniams prietaisams. Toksiškumui žmogui labai didelį teigiamą poveikį daro šiluminės sąnaudos. Tačiau didelis neigiamas poveikis pastebimas iš elektros energijos buitiniams prietaisams, kurio poveikis vos 1,3 karto didesnis už šiluminės sąnaudas, todėl poveikis gan stipriai susilygina. Medžiagos didelės įtakos šiuo atveju nedaro. Klimato kaita ekosistemoms kategorijai pastebimas vien neigiamas poveikis ir didžiausias iš šiluminės energijos ir elektros energijos buitiniams prietaisams, kuri už pastarąją yra vos 1,1 karto mažesnė. Gėlo vandens eutrofikacijai taip pat didelis teigiamas poveikis matomas iš šiluminių sąnaudų. Didžiausias neigiamas poveikis pastebimas iš elektros energijos buitiniams prietaisams, kurios poveikis 1,2 karto didesnis už šiluminių sąnaudų, todėl įtaka eutrofikacijai tampa labai maža. Metalų išieškojimui didžiausias poveikis tenka iš energijos bei keramikos ir akmens vatos. Elektros energija buitiniams prietaisams ir keramika turi panašų poveikį, abi yra 1,3 karto didesnio poveikio už šiluminės sąnaudas. Akmens vatos poveikis aplinkai 6,5 karto mažesnis už keramiką. Iškastinių resursų išieškojimui didžiausias neigiamas poveikis tenka iš šiluminių sąnaudų, kurių poveikis yra 2,6 karto didesnis už elektros energiją buitiniams prietaisams. Šiuo atveju statybinės medžiagos reikšmės poveikiui neturi.



18 pav. C energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)

C energinio naudingumo klasės pastato didžiausia neigiama įtaka aplinkai tenka iš šiluminės energijos sąnaudų. Taip pat neigiamas poveikis tenka ir iš elektros energijos buitiniams prietaisams. Tačiau šiluminės sąnaudos daro ir didelę teigiamą įtaką toksiškumui žmogui bei gėlo vandens eutrofikacijai. Taip pat, kadangi šiai klasei didžiausias poveikis tenka iš šiluminių energijos sąnaudų, statybinės medžiagos nebeturi reikšmės poveikiui, išskyrus metalo išsikvojimui. Klimato kaita žmonių sveikatai kategorijai didžiausias poveikis tenka iš energijos. Šiluminės energijos sąnaudos sudaro 1,7 karto didesnę poveikį už elektros energiją buitiniams prietaisams. Statybinės medžiagos reikšmės neturi. Ozono sluoksniui taip pat didžiausias neigiamas poveikis tenka iš šiluminių sąnaudų, kuris yra 3,6 karto didesnis už elektros energiją buitiniams prietaisams. Toksiškumo žmogui kategorijai pastebima netgi labiau teigiamas poveikis, kadangi šiluminės sąnaudos sudaro 1,2 karto didesnę poveikį, kuris yra teigiamas už elektros energiją buitiniams prietaisams, kuris pasireiškia neigiama įtaka. Klimato kaita ekosistemoms kategorijai šiluminių energijos sąnaudų poveikis yra 1,7 karto didesnis už elektros energijos buitiniams prietaisams poveikį. Gėlo vandens eutrofikacijai, taip pat matomas teigiamas poveikis, kadangi šildymo sąnaudos sudaro teigiamą poveikį, kuris yra 1,3 karto didesnis už elektros energijos buitiniams prietaisams neigiamą poveikį. Metalo išsikvojimui pastebimas vien neigiamas poveikis. Didžiausias poveikis tenka iš šiluminių sąnaudų, kurios yra 1,3 karto didesnio neigiamo poveikio nei elektros energija buitiniams prietaisams. Keramika daro panašų neigiamą poveikį kaip ir elektros energija buitiniams prietaisams, kadangi keramikos poveikis vos 1,03 karto mažesnis už elektros energiją. Kitos medžiagos didelės reikšmės neturi. Iškastinių resursų išsikvojimui didžiausias poveikis tenka taip pat iš šiluminių energijos sąnaudų: jos sudaro 4,1 karto didesnę poveikį už elektros energiją buitiniams prietaisams.



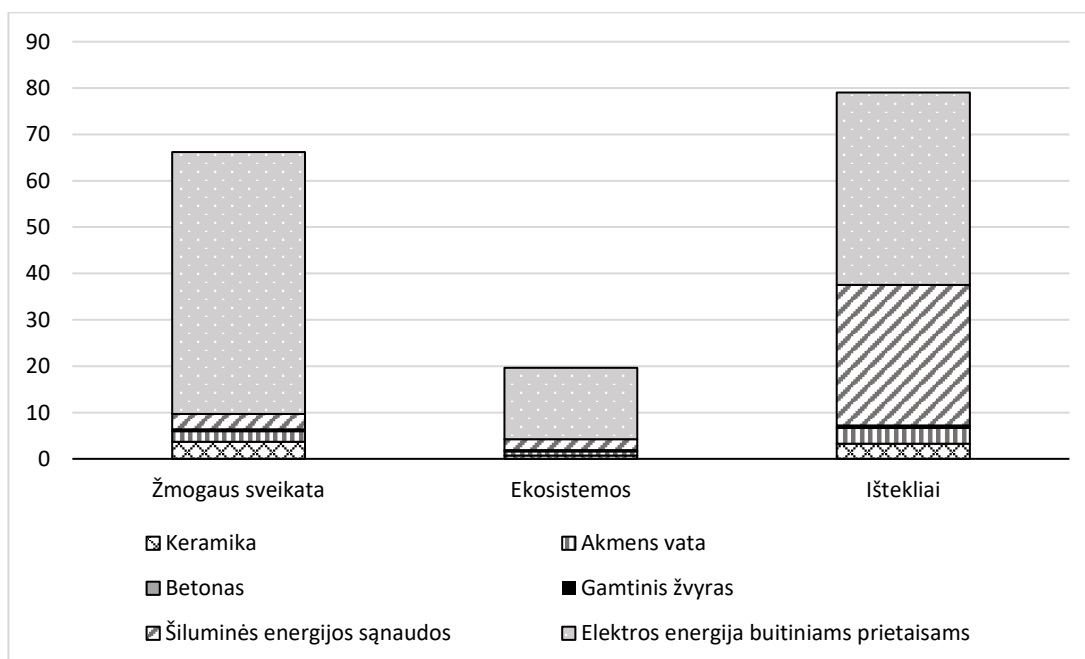
19 pav. Pastatų pagal energinio naudingumo klases poveikio aplinkai žalios kategorijose vertinimas ir palyginimas (charakterizuotas poveikis)

19 paveiksle pateiktas poveikis 7 kategorijoms pagal sugrupuotas energinio naudingumo klases. Klimato kaitos žmonių sveikatai ir ekosistemoms, ozono sluoksnio, metalo ir iškastinių resursų išekvojimo kategorijoms pastebima neigiamo poveikio didėjimo tendencija mažėjant pastato energinio naudingumo klasei. Tačiau toksiškumo žmogui ir gėlo vandens eutrofikacijos kategorijoms pastebima atvirkštinė tendencija – mažėjant energinio naudingumo klasei mažėja ir neigiamas poveikis, o prie C energinio naudingumo klasės pastebimas ir teigiamas poveikis abejoms kategorijoms.

Pastebima, kad klimato kaitos žmonių sveikatai ir ekosistemoms kategorijose A++ klasė sudaro dvigubai mažesnę poveikį, nei šiame darbe esanti aukščiausia energinio naudingumo klasė (C klasė). Ozono sluoksniui bei iškastinių resursų išekvojimui C klasės pastatas sudaro net trigubai didesnę neigiamą poveikį nei A++ klasė. Metalo išekvojimui didelis poveikio skirtumas tarp energinių klasių nepastebimas, nuo aukščiausios energinės klasės padidėja iki 1,3 karto. Toksiškumo žmogui kategorijoje matomas nedidelis skirtumas tarp visų A klasių, tačiau B energinio naudingumo klasės pastato poveikis sumažėja trigubai nuo pradinio, o C klasės pastato poveikis daro teigiamą įtaką žmogaus toksiškumui. Didžiausias atotrūkis poveikyje tarp klasių pastebimas gėlo vandens eutrofikacijos kategorijoje: B klasės neigiamas poveikis sumažėja 5,6 karto nuo A++ klasės neigiamo poveikio. C energinio naudingumo klasė daro teigiamą poveikį eutrofikacijai.

3.3 Poveikio vertinimas normalizuojant rezultatus

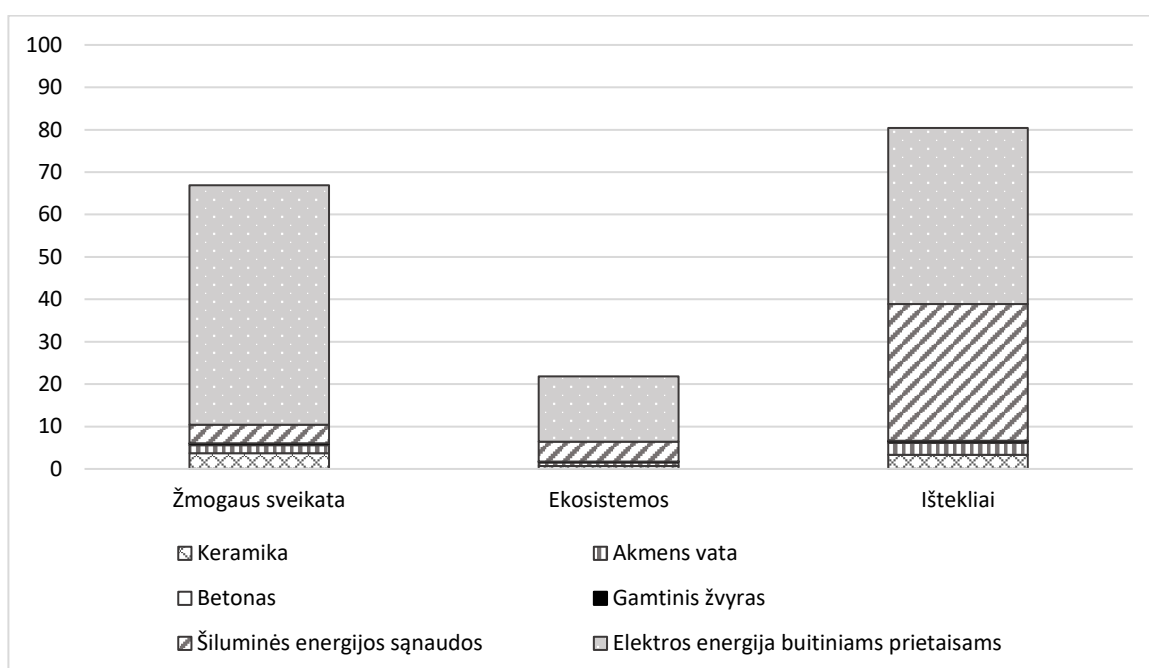
Atlikus skaičiavimus, kurie pateikti metodinėje dalyje ir modeliavimą su SimaPro programine įranga naudojant ReCiPe metodą, taip pat gauti ir normalizavimo grafikai. Jie rodo santykinę kategorijų reikšmę ir kiek tam tikro regiono gyventojas išmeta emisijų per metus. Išskyrus A++ energinę klasę didžiausias poveikis iš likusių energinio naudingumo klasių pastebimas ištekliams, o mažiausias ekosistemoms. Taip pat kiekvienai kategorijai didžiausią poveikį sukelia šiluminės energijos sąnaudos ir elektros energija buitiniams prietaisams. Pastebima, kad mažėjant energinei klasei, didėja poveikis ekosistemoms. Ištekliams ir žmogaus sveikatai taip pat didėja poveikis mažėjant energinio naudingumo klasei.



20 pav. A++ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

A++ energinio naudingumo klasė didžiausią poveikį daro ištekliams: 1,2 karto daugiau nei žmogaus sveikatai bei 3,9 karto daugiau nei ekosistemoms. Žmogaus sveikatai elektros energija buitiniams prietaisams sudaro 17,2 karto didesnę poveikį nei šiluminės energijos sąnaudos. Iš statybinių medžiagų, didžiausią poveikį daro keramika ir akmens vata. Keramika sudaro 1,6 karto didesnę poveikį už akmens vatą. Ekosistemoms didelis poveikis nepastebimas. Elektros energija buitiniams prietaisams sudaro 6,6 karto didesnę poveikį nei šiluminės energijos sąnaudos. Statybinės medžiagos didelės reikšmės neturi. Ištekliams didžiausia įtaka tenka iš energijos pusės. Elektros energija buitiniams prietaisams sudaro 1,4 karto didesnę poveikį nei šiluminės energijos sąnaudos. Iš statybinių medžiagų didžiausias poveikis tenka iš keramikos ir akmens vatos. Tačiau tiek keramika tiek akmens vata turi 12,6 karto mažesnę poveikį lyginant su elektros energija buitiniams prietaisams.

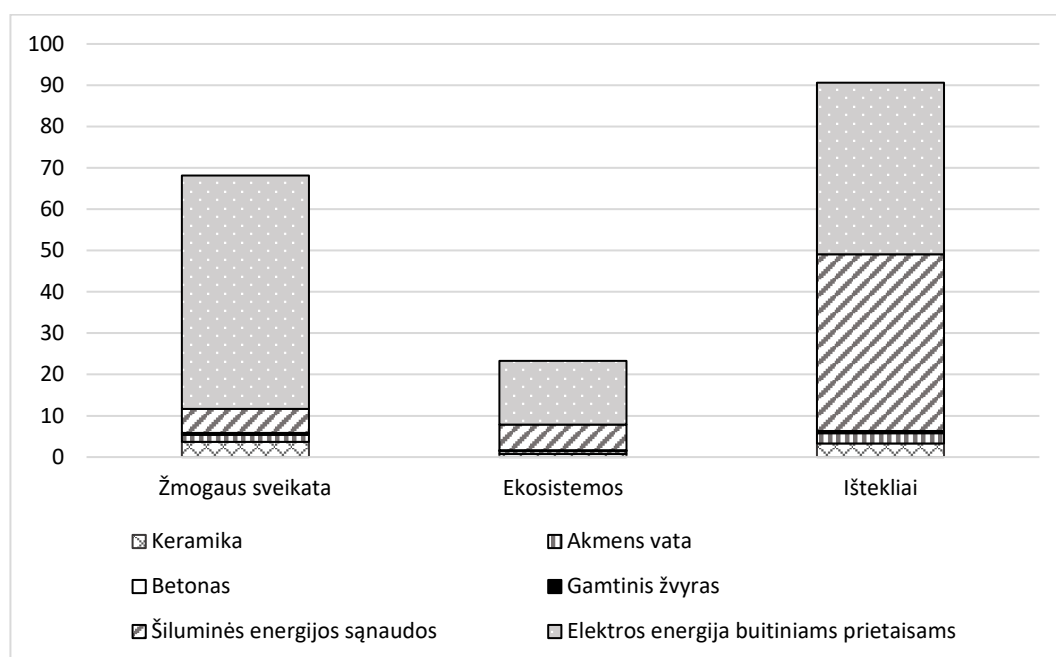
Išskyrus energiją ir medžiagas į dvi kategorijas, gauta, kad energijos sąnaudos daro 8,9 karto didesnę poveikį žmogaus sveikatai nei statybinės medžiagos; ekosistemoms 8,1 karto, o ištekliams 9,4 karto.



21 pav. A+ energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

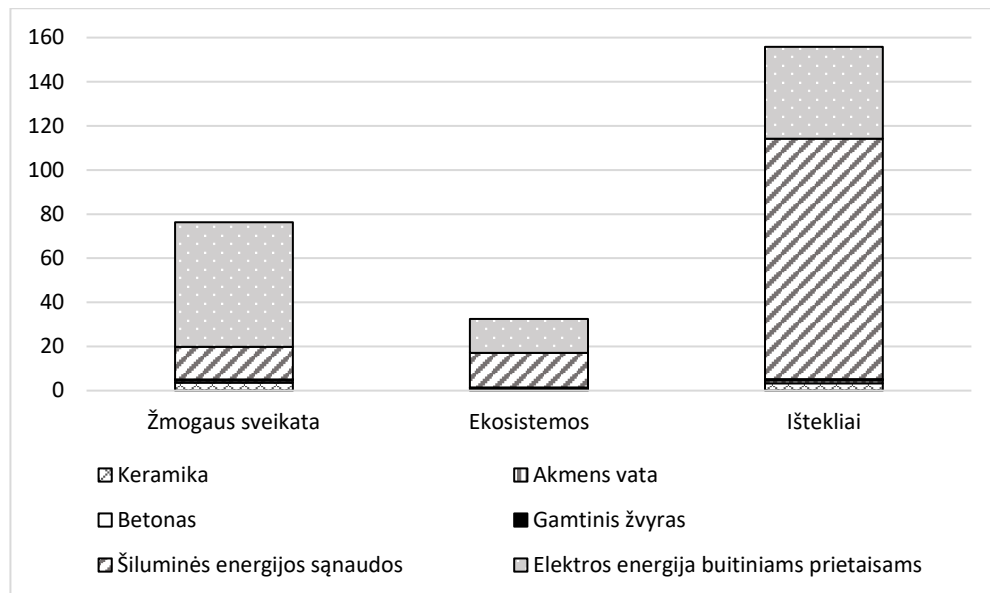
A+ energinio naudingumo klasės pastato poveikis labiausiai tenka ištekliams: 1,2 karto daugiau nei žmogaus sveikatai ir 3,7 karto daugiau nei ekosistemoms. Šios klasės pastato poveikis ištekliams labiausiai atsiliepija per energijos pusę. Elektros energija sudaro 1,3 karto didesnę poveikį už šiluminės energijos sąnaudas. Iš medžiagų pastatui pastatyti didžiausias poveikis aplinkai gaunamas iš akmens vatos ir keramikos. Keramiko sudaro 1,2 didesnę poveikį už akmens vatą. Žmogaus sveikatai didžiausias poveikis tenka iš elektros energijos buitiniams prietaisams. Šiluminės energijos sąnaudos tokio didelio poveikio kaip ištekliams nedarą. Elektros energija buitiniams prietaisams sudaro 12,8 karto didesnę poveikį už šiluminės sąnaudas. Iš medžiagų didžiausias poveikis taip pat iš keramikos ir akmens vatos. Keramikos poveikis didesnis 1,9 karto už akmens vatos poveikį aplinkai. Ekosistemoms tenka mažiausias poveikis lyginant su kitomis kategorijomis. Tačiau taip pat didžiausią įtaką gauna iš energijos. Elektros energijos buitiniams prietaisams sudaro 3,3 karto didesnę poveikį už šiluminės energijos sąnaudas. Šiuo atveju statybinės medžiagos didelės įtakos nedarą. Energijos

sąnaudos žmogaus sveikatai daro 9,5 karto didesnę neigiamą poveikį nei statybinės medžiagos, ekosistemoms 9,9 karto, ištekliams 10,2 karto.



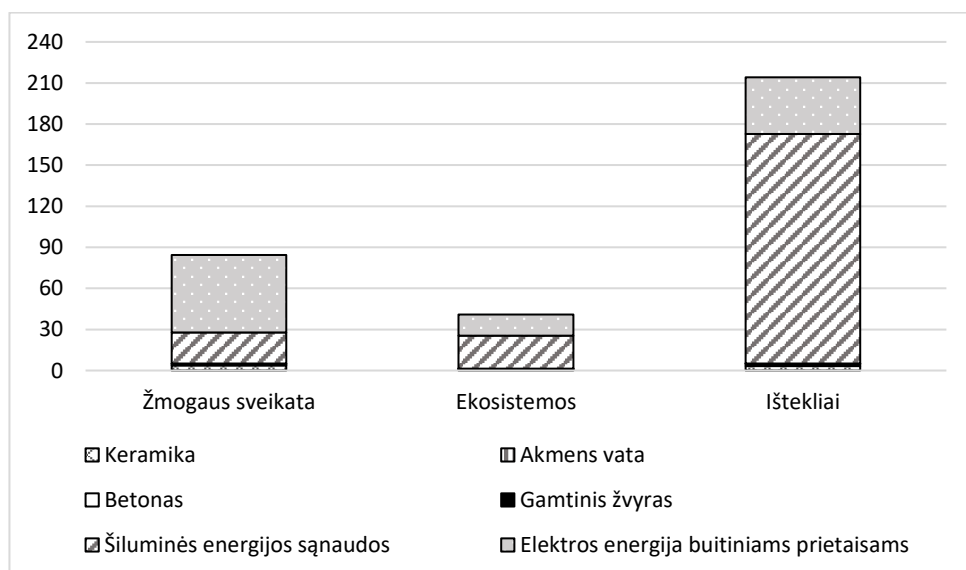
22 pav. A energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

A klasės energinio naudingumo klasės pastato poveikis aplinkai labiausiai jaučiamas ištekliams, mažiausiai ekosistemoms. Ištekliams tenka 1,3 karto didesnis poveikis nei žmogaus sveikatai, taip pat 3,9 karto didesnis poveikis nei ekosistemoms. Ištekliams didžiausia įtaka daroma taip pat iš energijos pusės, kaip ir kitoms energinėms klasėms. Šios energinės klasės šiluminės energijos sąnaudos poveikio atžvilgiu susilygina su elektros energijos buitiniams prietaisams poveikiu, kadangi šiluminės sąnaudos daro vos 1,03 karto didesnę poveikį ištekliams už elektros energijos buitiniams prietaisams poveikį. Iš medžiagų taip pat didžiausias poveikis tenka iš keramikos ir akmens vatos. Keramika daro 1,3 didesnę poveikį aplinkai negu akmens vata. Žmogaus sveikatai didžiausias poveikis gaunamas iš elektros energijos buitiniams prietaisams. Jis sudaro 9,7 karto didesnę poveikį už šiluminės sąnaudas. Keramika šiai kategorijai daro 2,2 karto didesnę poveikį už akmens vata. Ekosistemoms elektros energija buitiniams prietaisams daro 2,5 karto didesnę poveikį už šiluminių energijų sąnaudų poveikį. Statybinės medžiagos didelės reikšmės neturi. Energijos sąnaudos žmogaus sveikatai daro 10,1 karto didesnę neigiamą poveikį nei statybinės medžiagos, ekosistemoms 11,3 karto, ištekliams 12,5 karto.



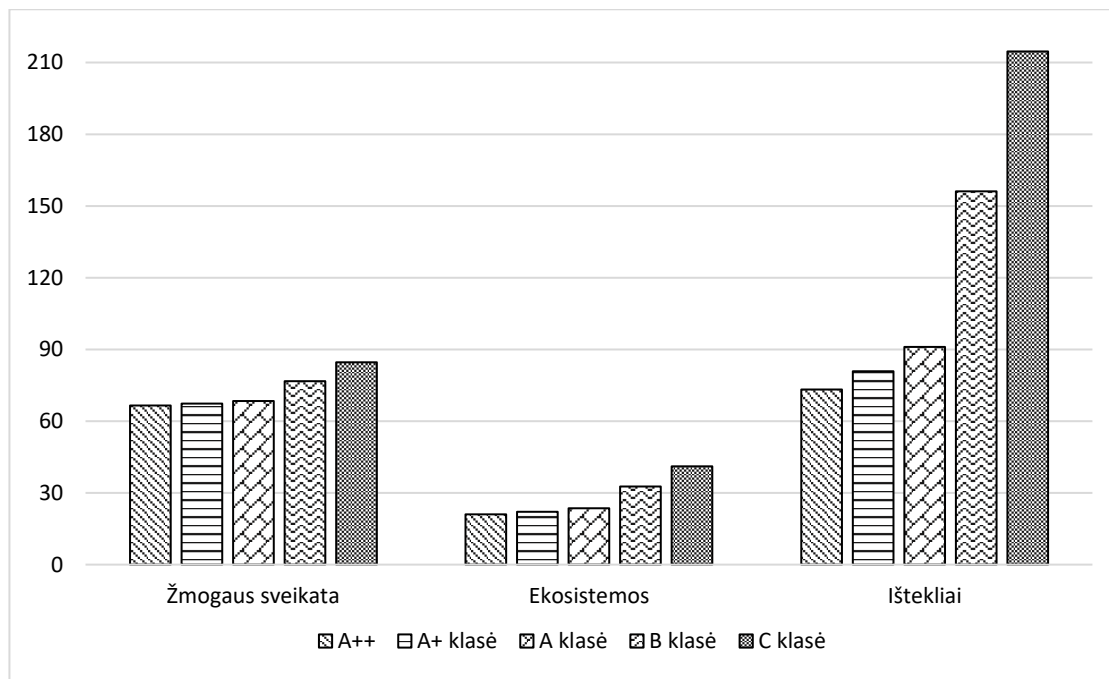
23 pav. B energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

B energinio naudingumo klasės pastato poveikis aplinkai taip daugiausiai tenka ištekliams: 2 kartus daugiau nei žmogaus sveikatai ir net 4,8 karto daugiau nei ekosistemoms. B energinė klasė ištekliams labai didelį poveikį daro per šilumines sąnaudas. Jos sudaro 2,6 karto didesnę poveikį nei elektros energija buitiniams prietaisams. 18,2 karto didesnę poveikį nei visos statybinės medžiagos. Tačiau žmogaus sveikatai didžiausia įtaka pastebima per elektros energijos buitiniams prietaisams pusę. Jos poveikis aplinkai yra 3,8 karto didesnis už šiluminių sąnaudų poveikį ir 13,1 karto didesnis už visas pastato medžiagas. Ekosistemoms poveikis iš energijos yra panašus. Šiluminės sąnaudos yra 1,02 karto didesnės nei elektros energija. Statybinės medžiagos pastebimo poveikio nedaro. Energijos sąnaudos žmogaus sveikatai daro 13,3 karto didesnę neigiamą poveikį nei statybinės medžiagos, ekosistemoms 19,6 karto, ištekliams 26,7 karto.



24 pav. C energinio naudingumo klasės pastato poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

C energinio naudingumo klasės pastato poveikis aplinkai taip pat kaip ir kitose klasėse (išskyrus A++) labiausiai tenka ištekliams: 2,5 karto daugiau nei žmogaus sveikatai ir 5,2 karto daugiau nei ekosistemoms. Taip pat ištekliams ir ekosistemoms didžiausią įtaką daro šiluminės energijos sąnaudos. Ištekliams šiluminės energijos sąnaudos poveikį aplinkai daro 4 kartus didesnę nei elektros energija buitiniams prietaisams. Statybinės medžiagos didelės reikšmės neturi. Žmogaus sveikatai elektros energija buitiniams prietaisams daro 2,5 kartus didesnę poveikį nei šiluminės sąnaudos ir 14,1 karto daugiau nei visos statybinės medžiagos. Ekosistemoms šiluminės energijos sąnaudos daro 1,6 karto didesnę poveikį nei elektros energija buitiniams prietaisams. Energijos sąnaudos žmogaus sveikatai daro 14,8 karto didesnę neigiamą poveikį nei statybinės medžiagos, ekosistemoms 24,8 karto, ištekliams 37,1 karto.



25 pav. Pastatų pagal energinio naudingumo klases poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

25 paveiksle pateikti normalizuoti rezultatai žmogaus sveikatos, ekosistemų ir išteklių kategorijoms sugrupavus reikšmes pagal energines klases. Pastebima, kad žmogaus sveikatai, lyginant su kitomis kategorijomis visos energinės klasės daro vidutinį poveikį bei seka tolygi didėjimo tendencija pagal energines klases ir nėra didelio poveikio skirtumų tarp energinių klasių: C klasė daro 1,1 karto didesnę poveikį nei B klasė. B klasės poveikis didesnis 1,12 karto už A klasę, kurios poveikis yra 1,02 karto didesnis nei A+ klasės. A+ klasės poveikis lyginant su aukščiausia A++ energine klase yra 1,01 karto didesnis. Lyginant šiame darbe pasirinktą žemiausią C energinę klasę su aukščiausia A++ klase, C klasės poveikis aplinkai yra 1,27 karto didesnis. Ekosistemoms pastebimas mažiausias poveikis bei poveikio didėjimo tendencija mažėjant energinio naudingumo klasei, taip pat nėra didelio poveikio atotrūkio tarp energinių klasių: C klasės poveikis yra 1,95 karto didesnis nei A++ klasės. Išteklių kategorijai daromas didžiausias neigiamas poveikis ir pastebimas didžiausias poveikio atotrūkis tarp energinių klasių: C klasės poveikis aplinkai už B klasės yra didesnis 1,37 karto; B klasės poveikis didesnis 1,72 karto už A klasę, kuri sukelia 1,13 karto didesnę poveikį aplinkai už A+ klasę. A+ energinė klasės poveikis lyginant su aukščiausia A++ energine klase yra 1,1 karto didesnis. Lyginant C energinę klasę su A++ klase, ištekliams C klasė daro 2,92 karto didesnę poveikį.

Kitų autorių atliktuose tyrimuose pastebimas panašus pastatų poveikis aplinkai. Pavyzdžiui, Sharma A., atliko gyvenamojo namo grindims ant grunto reikalingų medžiagų analizę ir nustatė, kad pirminės energijos daugiausiai tenka keramikai, mažiau cementui, skiediniui, aliuminiui, žvyriui, kalkėms, betonui, polivinilchloridui, medžiui, mažiausiai plienui. Tačiau svarbu paminėti, kad šiame tyrime nebuvo vertinta termoizoliacinė medžiaga, kuri yra naudojama grindų konstrukcijoje [53].

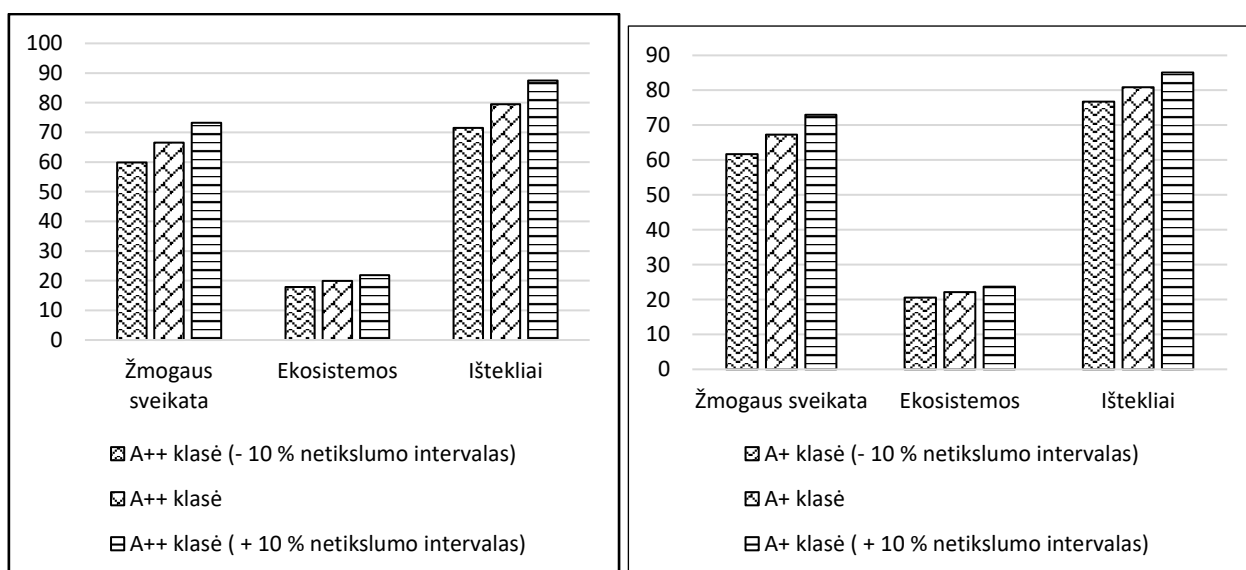
Asif M. ir kiti., atliko tyrimą, kuriame taikant BCV metodą, lygino Škotijos gyvenamųjų namų 5 statybinių medžiagų, kurios statybose yra naudojamos dažniausiai (stiklo, aliuminio, betono, medienos, keramikos) gamybos etapą. Buvo nustatyta, kad pagaminti betoną yra sunaudojama 60 % daugiau energijos lyginant su kitomis statybinėmis medžiagomis [54].

Fay R. ir kt., atliko vieno Australijos gyvenamojo namo būvio ciklo vertinimą bei jo sąnaudų analizę ir nustatė, kad naudojant dvigubai didesnę izoliacijos kiekį, per pastato 100 metų gyvavimą, visos pastato eksploatacinės energijos sutaupoma mažiau nei 6 %. Todėl matoma, kad vien izoliacijos neužtenka, kad mažinti energijos sąnaudas ir reikia ieškoti kitų būdų energijos taupymui. Energijos vartojimo mažinimas turėtų būti vienas iš prioritetų visose šalyse [55].

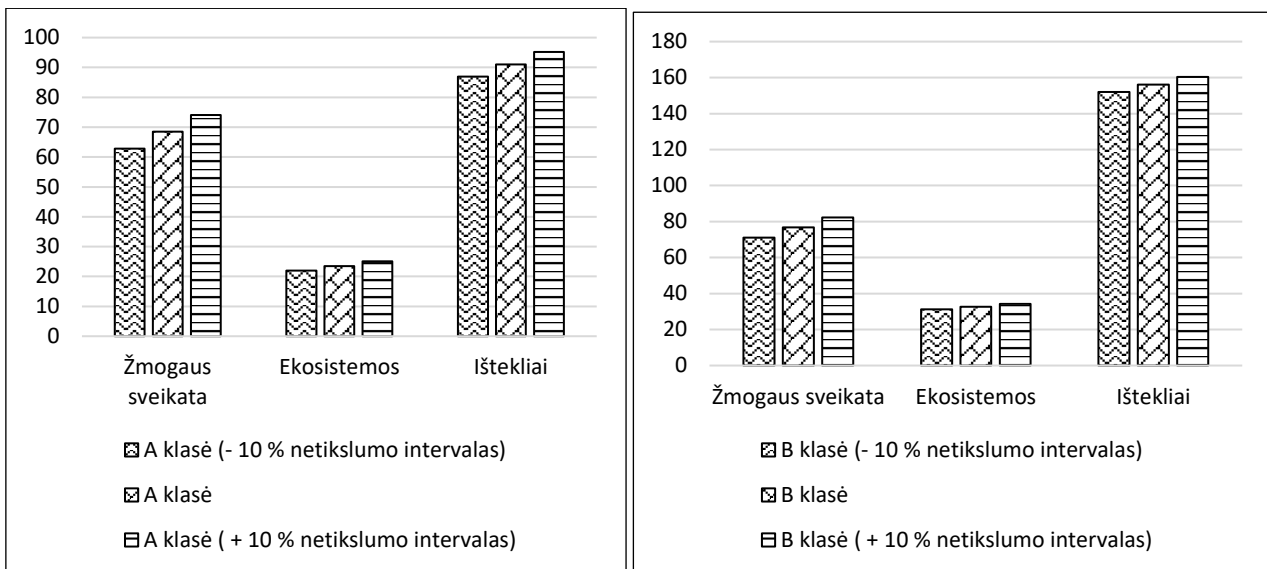
Pagal Thomark C., yra teigiama, kad pastato naudojimui 50 metų, įkūnyta energija pastate sudaro apie 45 % visos sunaudojamos energijos, o perdirbti pastatą reikia iki 40 % jo visos sunaudojamos energijos [56].

3.4 Jautrumo analizė

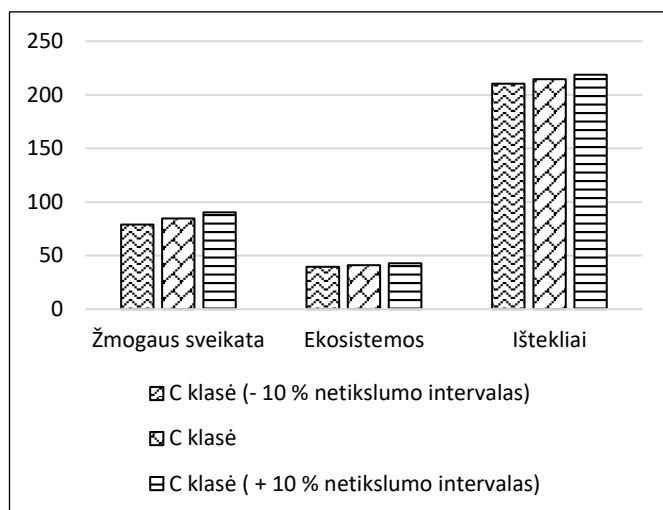
Pagal standartinę BCV metodiką, reikia atlikti jautrumo analizę. Jautrumo analizė buvo atlikta, kad sumažinti duomenų netikslumą ir patikrinti modeliavimo tvirtumą. Buvo pasirinkta elektros energija buitiniams prietaisams su 10 % netikslumo intervalu, kadangi ji visoms kategorijoms daro didžiausią arba antrą pagal dydį (po šiluminės energijos sąnaudų) poveikį. Taip pat, kadangi šis rodiklis priklauso ne nuo pastato energinės klasės, o nuo gyventojų suvartojamo energijos kiekio. 10 procentų netikslumo intervalas buvo pasirinktas atsižvelgiant į tai, kiek realu gyventojams sutaupyti elektros energijos ir nesukelia didelių buitinių nepatogumų.



26 pav. A++ (kairėje) ir A+ (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato poveikio normalizavimas taikant jautrumo analizę



27 pav. A (kairėje) ir B (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato poveikio normalizavimas taikant jautrumo analizę.



28 pav. C energinio naudingumo klasės pastato poveikio normalizavimas taikant jautrumo analizę.

Atlikus jautrumo analizę pastebima, kad visoms klasėms poveikis taip pat išlieka didžiausias ištekliams. Visos energinio naudingumo klasės mažiausią poveikį daro ekosistemoms. Tačiau lyginant visas klases, matoma, kad tiek pamažinus ar padidinus 10 procentų elektros energijos buitiniams prietaisams kiekį, didelio poveikio skirtumo šioms kategorijoms nesukelia ir matomas tolygus poveikio sumažėjimas arba padidėjimas. A++ energinio naudingumo klasės elektros energijos buitiniams prietaisams kiekį sumažinus 10 procentų, poveikis žmogaus sveikatai sumažėtų 1,092 karto. Ekosistemoms poveikis sumažėtų 1,079 karto, o ištekliams 1,06 karto. Sumažinus 10 procentų elektros energiją buitiniams prietaisams A+ klasės poveikis žmogaus sveikatai sumažėtų 1,042 karto, ekosistemoms 1,075 karto, o ištekliams 1,054 karto. A klasės poveikis žmogaus sveikatai sumažėtų iki 1,09 karto, ekosistemoms 1,07 karto, o ištekliams 1,05 karto. B energinio naudingumo klasės poveikis sumažinus elektros energiją 10 procentų žmogaus sveikatai sumažėtų 1,08 karto, ekosistemoms 1,049 karto, o ištekliams 1,03 karto. C klasės poveikis žmogaus sveikatai sumažėtų 1,073 karto, ekosistemoms 1,038 karto, o ištekliams 1,019 karto.

Pastebima, kad kuo aukštesnė energinio naudingumo klasė, tuo poveikio skirtumas yra didesnis, kadangi aukštesnėje klasėje tenka mažesnis poveikis iš šiluminių energijos šaltinių. Nors didelio poveikio sumažėjimo nėra, tačiau pastebima, kad taupant elektros energiją buitiniams prietaisams, galima sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, tuo pačiu nesukeliant didelio diskomforto gyvenimo kokybei. Galima būtų teigti, kad žymiai labiau sumažinus elektros energijos kiekį buitiniams prietaisams, būtų daromas žymiai mažesnis neigiamas poveikis aplinkai. Tam reikėtų ieškoti alternatyvų, kaip mažiau naudoti elektros energiją, taip pat ar atsiperka atsinaujinantys energijos šaltiniai lyginant su sunaudojama energija jiems pagaminti.

Išvados

1. Išanalizavus mokslinę literatūrą ir pastatų projektų teisinį reglamentavimą, nustatyta, kad pastatų tipai Lietuvoje skirstomi pagal energinio naudingumo klases ir aplinkosauginį vertinimą aktualiausia atlikti šioms energinio naudingumo klasėms: A++; A+; A; B; C pagal suvartojamą energiją bei pastato konstrukcijai pastatyti reikalingas statybines medžiagas.
2. Apskaičiavus pastato konstrukcijai reikalingas statybines medžiagas pagal statybos teisinius reikalavimus, nustatyta, kad didžiausi akmens vatos izoliacijos kiekiai tenka pastato sienų daliai visose pastato energinio naudingumo klasėse. Iš visų statybinių medžiagų didžiausi kiekiai pastato konstrukcijai susidaro iš gamtinio žvyro - 41606 kg; keramikos – 19652 kg bei betono – 19020 kg. Elektros energija buitiniams prietaisams visose energinio naudingumo klasėse gauta vienoda 27,34 kWh/ (kv. m. per metus). Šiluminės energijos sąnaudos didėja atitinkamai mažėjant pastato energinio naudingumo klasei. A++ klasės šiluminės energijos sąnaudos yra 27,93 kWh/ (kv. m. per metus), o C klasės 193 kWh/ (kv. m. per metus).
3. Gavus charakterizavimo rezultatus, nustatyta, kad šiluminės energijos sąnaudos daro teigiamą poveikį žmogaus toksiškumo ir gėlo vandens eutrofikacijos kategorijoms. Elektros energijos sunaudojimas buitiniams prietaisams bei šildymui lemia neigiamą poveikį likusioms kategorijoms. Aukščiausios A++ klasės elektros energijos sunaudojimo buitiniams prietaisams neigiamas poveikis kategorijoms klimato kaita žmonių sveikatai ir ekosistemoms yra 4 kartus didesnis nei šiluminių sąnaudų; ozono sluoksniui 1,9 karto; metalo išekvojimui 5,3 karto; iškastinių resursų išekvojimui 1,7 karto didesnis. C klasės, žemiausios iš vertintų klasių, šiluminės energijos sąnaudų neigiamas poveikis yra didesnis už elektros energijos buitiniams prietaisams poveikį: klimato kaita žmonių sveikatai ir ekosistemoms kategorijoms 1,7 karto; ozono sluoksniui 3,6 karto; metalo išekvojimui 1,3 karto; iškastinių resursų išekvojimui 4,1 karto. Keramika ir akmens vata didžiausią neigiamą poveikį daro metalo išekvojimo kategorijai.
4. Normalizuoti rezultatai parodė, kad didžiausias poveikis nuo A++ iki C energinio naudingumo klasių pastebimas ištekliams (C klasės poveikis 2,92 karto didesnis už A++), o mažiausias ekosistemoms (C klasės poveikis 1,95 karto didesnis už A++). Žmogaus sveikatai C klasė daro 1,27 karto didesnę poveikį nei A++ energinė klasė. Nustatyta, kad žemėjant energinei klasei, didėja poveikis visoms kategorijoms. Lyginant bendrą energijos ir bendrą statybinių medžiagų poveikį, nustatyta, kad A++ klasės energijos sąnaudos už statybines medžiagas žmogaus sveikatai daro 8,9 karto didesnę poveikį, o C klasė 14,8 karto didesnę; ekosistemoms A++ klasės 8,1 karto daugiau, C klasės 24,8 karto; ištekliams A++ klasės energijos energija daro 9,4 karto didesnę poveikį už medžiagas, C klasės 37,1 karto.
5. Jautrumo analizė parodė, kad tiek pamažinus ar padidinus 10 procentų elektros energijos buitiniams prietaisams kiekį kiekvienoje energinio naudingumo klasėje, didelio poveikio skirtumo žmogaus sveikatos, ekosistemų ir išteklių kategorijoms nesukelia ir matomas tolygus poveikio sumažėjimas arba padidėjimas. A++ energinio naudingumo klasės elektros energijos buitiniams prietaisams kiekį sumažinus 10 procentų, poveikis žmogaus sveikatai sumažėtų 1,092 karto, ekosistemoms sumažėtų 1,079 karto, o ištekliams 1,06 karto. C klasės poveikis žmogaus sveikatai sumažėtų 1,073 karto, ekosistemoms 1,038 karto, o ištekliams 1,019 karto.

6. Atlikus būvio ciklo vertinimą, nustatyta, kad reikšmingiausią poveikį, nepriklausomai nuo energinio naudingumo klasės, sudaro energijos vartojimas: šiluminės energijos sąnaudos bei elektros energija buitiniams prietaisams. Iš statybinių medžiagų nustatyta, kad didžiausią poveikį daro keramika ir akmens vata. Todėl tam, kad sumažinti poveikį aplinkai reikėtų ieškoti alternatyvų šildymui, kaip atsinaujinanti energija. Taip pat pastato konstrukcijai naudoti didesnius kiekius izoliacijos, ieškoti medžiagų, kurios būtų draugiškesnės aplinkai. Statant pastatus, kreipti dėmesį ir į aplinkos rodiklius, kurie galėtų padidinti natūralios šilumos patekimą į pastatą, kaip pastato padėtis ar medžių sodinimas aplinkui. Gyventojams labiau taupant elektros energiją buitiniams prietaisams, taip pat galima labiau sumažinti poveikį aplinkai.

Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos statybos įstatymas: 1996 m. kovo 19 d. Nr. I-1240 [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.F31E79DEC55D/KxCkWXVktR>
2. EUROPOS PARLAMENTAS IR EUROPOS SAJUNGOS TARYBA. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl pastatų energinio naudingumo: 2010 m. gegužės 19 d. Nr. 32010L0031 [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
3. GURSKIS, Vincas. *Efektyvus energijos vartojimo pastatuose vadovas*. Kaunas, 2008. ISBN 978-9955-751-20-5.
4. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Statybos techninis reglamentas str 2.01.02:2016 pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754 [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-02]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr>
5. THE PARLIAMENT OF THE UNITED KINGDOM OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND. Climate Change Act 2008 gruodis [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-21]. Prieiga per: http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/pdfs/ukpga_20080027_en.pdf
6. ROSENTHAL, Elisabeth. No Furnaces but Heat Aplenty in ‘Passive Houses’. *The New York Times* [interaktyvus]. 2008 gruodžio 26 [žiūrėta 2019-04-07]. Prieiga per: <https://www.nytimes.com/2008/12/27/world/europe/27house.html>
7. JOHNSTON, D. Ir kt. Bridging the domestic building fabric performance gap. In *Building Research & Information* [interaktyvus]. 2016, 44, 2, 147–159. [žiūrėta 2019-01-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.979093>
8. SARTORI, Igor, Annegrete HESTNES. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2007, 39, 3, 249–257. [žiūrėta 2019-01-19]. ISSN 03787788. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
9. EKIE NAMAS. *Dienos šviesą išvydo pirmasis Lietuvoje sertifikuotas A++ klasės gyvenamasis namas*. 2016 gruodžio 6. Prieiga per: <http://ekie.lt/dienos-sviesa-isvydo-pirmasis-lietuvoje-sertifikuotas-a-klases-gyvenamasis-namas/>
10. EKIE NAMAS. *A++ namo skydai ir stogo pradžia (II-etapas)*. 2016 liepos 5. Prieiga per: <https://ekie.lt/a-klases-pasyvaus-namo-statymo-procesas-ii-etapas/>
11. EKIE NAMAS. *A++ gyvenamojo namo statybos etapas: iki raktų (IV-etapas)*. 2016 liepos 20. Prieiga per: <http://ekie.lt/iv-asis-a-gyvenamojo-namo-statybos-etapas-iki-raktu/>
12. WEILER, Verena, Hanners HARTER., Ursula EICKER. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment [interaktyvus]. *Energy and Buildings* 2016, 134. [žiūrėta 2019-04-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1021/es502128k>

13. BLOCK, Maria, Varis BOKALDERS. *The Whole Building Handbook: How to Design Healthy, Efficient and Sustainable Buildings*. Routledge, 2010. 704 ISBN-13: 978-1844075232
14. MEDNE, Olita. *Research on expanded polystyrene product manufacturing process* [interaktyvus]. Riga: RIGA TECHNICAL UNIVERSITY. 2011. [žiūrėta 2019-01-19]. ISBN 978-9934-8258-3-5 Prieiga per: http://www.michiganfoam.com/docs/research_on_expanded_polystyrene_medne_doctrinal_thesis.pdf
15. BRINKMANN, Thomas ir kt. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector* [interaktyvus]. Joint Research Centre. 2016. [žiūrėta 2019-01-11] ISBN 978-92-79-61996-0 Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.2791/37535>
16. SVENSSON, Michelle. Life cycle assessment of the semidetached passive house "Röda lyktan" in northern Sweden: A comparison between the construction phase and the use phase [interaktyvus]. 2013 liepos 10. [žiūrėta 2019-01-15]. Prieiga per <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A635917&dswid=5299>
17. KYLILI, Angeliki, Milos ILIC and Paris FOKAIDES. Whole-building Life Cycle Assessment (LCA) of a passive house of the sub-tropical climatic zone. *Resources Conservation and Recycling*. 2017, 116, 169-177. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.010>
18. PROIETTI, Stefania ir kt. Life Cycle Assessment of a passive house in a seismic temperate zone [interaktyvus]. *Energy and Buildings*. 2013. 64. 463–472. [žiūrėta 2019-01-23]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.013>
19. HUANG, Lizhen ir kt.. Life cycle assessment and life cycle cost of university dormitories in the southeast China: Case study of the university town of Fuzhou [interaktyvus]. *Journal of Cleaner Production* 2018. 173. 151–159. [žiūrėta 2019-01-14]. ISSN 0959-6526. Prieiga per <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/life-cycle-assessment-and-life-cycle-cost-of-university-dormitories-in-x8h4QwgBOH>
20. VARŽINSKAS Visvaldas., *Gaminių ekologinio projektavimo vadovas*. Kaunas, Technologija. 2006. 142. ISBN 9955-25-030-5
21. ZUO, Jian ir kt. Green building evaluation from a life-cycle perspective in Australia: A critical review [interaktyvus]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017 balandis. 70. 358-368. [žiūrėta 2019-03-25]. ISSN: 13640321. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.251>
22. KOFOWOROLA, Oyeshola, Shabbir H. GHEEWALA. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand [interaktyvus]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2008. 13. 6. 498-511. ISSN: 0948-3349 [žiūrėta 2019-05-12]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0012-1>
23. *Nulinės energijos vienbučių namų galimybės Lietuvoje*. 2017 gruodžio 20. Prieiga per: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/93/1/0/1/article/18507/nulines-energijos-vienbuciu-namu-galimybes-lietuvoje>
24. SCHEUER, Chris. ir kt. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications [interaktyvus]. *Energy and Buildings*. 2003.

35. 10. 1049-1064. [žiūrėta 2019-01-20]. Prieiga per: doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00066-5)
25. RAMESH, Thillaigovindan. ir kt. Life cycle energy analysis of buildings: An overview [interaktyvus] *Energy and Buildings*. 2010. 42. 10. 1592-1600. [žiūrėta 2019-01-19]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>
26. BLENGINI, Gian Andrea, Tiziana Di CARLO, The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings [interaktyvus]. *Energy and Buildings*. 2010. 42. 6. 869-880 [žiūrėta 2019-01-20]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.009>
27. VAN OERS, Laurant, Gjalt HUPPES. Evaluation of Weighting Methods for Measuring the EU - 27 Overall Environmental Impact [interaktyvus]. *JRC Scientific and Technical Reports*. 2011 lapkričio 14. [žiūrėta 2019-01-17]. ISSN 1831-9424. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.2788/88465>
28. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST ISO 14044:2007. *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas, 2007*.
29. THE SPANISH ASSOCIATION FOR STANDARDIZATION EN 15804:2012+A1:2014 *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products, 2012*.
30. EUROPOS KOMISIJA. Komisijos rekomendacija dėl produktų ir organizacijų gyvavimo ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo. 2013 balandžio 9. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-05-02]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32013H0179>
31. GOEDKOOPE, Mark Jacob, ir kt. ReCiPe 2008 A Life Cycle Impact Assessment Method which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level [interaktyvus]. 2008 sausis. [žiūrėta 2019-01-23] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/302559709_ReCiPE_2008_A_life_cycle_impact_assessment_method_which_comprises_harmonised_category_indicators_at_the_midpoint_and_the_endpoint_level
32. THOMPSON, M, R ELLIS. *Cultural Theory, „The Hydrologic Cycle“*. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition, 1990
33. GENG, Shengnan ir kt. Building life cycle assessment research [interaktyvus]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. 76. 176–184. [žiūrėta 2019-05-18] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>
34. BRIBIAN, Ignacio Zabalza, Antonio Valero CAPILLA, Alfonso Aranda USÓN. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential [interaktyvus]. *Building and Environment*. 2010 gegužė. 46. 11. 1133–1140. [žiūrėta 2019-05-06]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>
35. WINTHER, B.N., A.G. HESTNES. Solar versus green: the analysis of a Norwegian row house [interaktyvus]. *Solar Energy*. 1999 rugpjūtis. 66. 6. 387-393. [žiūrėta 2019-05-19] Prieiga per: doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(99\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(99)00037-7)

36. MUGA, Helen, Amlan MUKHERJEE, James MIHELIC. An Integrated Assessment of the Sustainability of Green and Built-up Roofs [interaktyvus]. *Journal of Green Building*. 2008. 3. 2. 106-127. ISSN: 1552-6100. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.3992/jgb.3.2.106>
37. HORVATH, Arpad. Construction materials and the environment [interaktyvus]. *Annual Review of Environment and Resources*. 2004. 29. 1. 181-204. ISSN: 1543-5938. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.29.062403.102215>
38. HABERT, Guillaume ir kt. Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: quantification of the improvement to concrete bridges [interaktyvus]. *Journal of Cleaner Production*. 2012 lapkritis. 35. 250-262. ISSN: 0959-6526 [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.028>
39. TAE, Sungho, Cheonghoon BAEK, Sungwoo SHIN. Life cycle CO2 evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete [interaktyvus]. *Environmental Impact Assessment Review*. 2011 balandis. 31. 3. 253-260. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.07.002>
40. SINGH, Amanjeet ir kt. Review of Life-Cycle Assessment Applications in Building Construction [interaktyvus]. *Journal of Architectural Engineering* 2011. 17. 1. 15-23. ISSN: 1076-0431. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: [https://www.doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000026](https://www.doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000026)
41. BROUN, Reza, Gillian F. MENZIES. Life Cycle Energy and Environmental Analysis of Partition Wall Systems in the UK [interaktyvus]. *Procedia Engineering*. 2011. 21. 864-873. [žiūrėta 2019-05-12] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2088>
42. KORONEOS, Christopher, Aris DOMPROS. Environmental assessment of brick production in Greece [interaktyvus]. *Building and Environment*. 2007 gegužė. 42. 5. 2114-2123. [žiūrėta 2019-05-12] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.006>
43. ZUO, Jian ir kt. Sustainability policy of construction contractors: A review [interaktyvus]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012 rugpjūtis. 16. 6. 3910-3916. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.011>
44. KIBERT, Charles J. *Sustainable Construction, Green Building Design and Delivery, 3rd Edition*. John Wiley & Sons. 2012. ISBN-13: 978-0470904459
45. IRIBARREN, Diego ir kt. Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls [interaktyvus]. *Journal of Cleaner Production*. 2015 sausio 15. 87. 707-716. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.073>
46. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Įsakymas dėl statybos techninio reglamento STR 1.12.06:2002 „Statinio naudojimo paskirtis ir gyvavimo trukmė“ patvirtinimo. 2002 m. spalio 30. Nr. 565. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.193087/asr>
47. NAVICKAS, Kęstutis, Kęstutis VENSŁAUSKAS. *Biomėsės būvio ciklo analizė. Mokomoji knyga* [interaktyvus]. Aleksandro Stulginskio universitetas. 2012 lapkričio 28. 82. ISBN 978-609-449-041-5. Prieiga per: <http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/1986/3/Biomases%20buvio%20ciklo%20analize.pdf>

48. MC GRATH, Teresa. ir kt. Retrofit versus new-build house using life-cycle assessment [interaktyvus]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*. 2013 birželis. 166. 3. 122–137. [žiūrėta 2019-01-23]. ISSN 1478-4629. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1680/ensu.11.00026>
49. ROCKWOOL. *Gyvenamųjų pastatų atitvarų konstrukciniai sprendimai ir U vertės* [interaktyvus] 2014. [žiūrėta 2019-02-12]. Prieiga per: <https://cdn01.rockwool.lt/siteassets/rw-lt/5.0-support/broiros-ir-kainininkai/broiros/u-vertes-ir-siluminiai-tilteliai.pdf?f=20180822083529>
50. LIETUVOS STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. *Rodiklių duomenų bazė*. 2013-2017. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?theme=all#/>
51. BUDAVARI, Zoltan ir kt. Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles. 2011 gruodžio 15. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-05-15] Prieiga per: https://www.sintef.no/globalassets/project/lore-lca/deliverables/lore-lca-wp5-d5.1-emi_final.pdf
52. WEI, W ir kt. How to Conduct a Proper Sensitivity Analysis in Life Cycle Assessment: Taking into Account Correlations within LCI Data and Interactions within the LCA Calculation Model [Interaktyvus]. *Environmental Science & Technology*. 2015 sausio 6. 49. 1. 377-385. [žiūrėta 2019-05-21]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1021/es502128k>
53. SHARMA, Aashish ir kt. Life cycle assessment of building: A review [interaktyvus]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011 sausis. 15. 1. 871-875. [žiūrėta 2019-05-12] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.008>
54. ASIF, M., T. MUNEER, R. KELLEY. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland [interaktyvus]. *Building and Environment* 2007 kovas. 42. 3. 1391-1394. [žiūrėta 2019-05-11] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.11.023>
55. FEY, Roger, [Graham TRELOAR](#), [Usha IYER-RANIGA](#). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study [interaktyvus]. *Building Research & Information*. 2000. 28. 1. 31-41. ISSN: 0961-3218. [žiūrėta 2019-05-18] Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1080/096132100369073>
56. THORMARK, Catarina. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential [interaktyvus]. *Building and Environment*. 2002 balandis. 37. 4. 429-435. [žiūrėta 2019-05-10] Prieiga per: doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00033-6)

Priedai

1 priedas. Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės.

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(C,B)}$ ($W/(m^2 \times K)$) vertės C ir B energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui. Iš STR 2.01.02:2016 3 lentelė [4].

Atitvaros rūšis	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Stogai	r	0,16	0,20	0,25×k ₁ ⁵⁾
Perdangos ⁶⁾	ce			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg	0,25	0,30	0,40×k ₁ ⁵⁾
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	cc			
Sienos	w	0,20	0,25	0,30
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	wda	1,6 ³⁾	1,6 ⁴⁾	1,9×k ₁ ⁵⁾
Durys, vartai	d	1,6	1,6	1,9×k ₁ ⁵⁾
<p><i>Pastabos:</i></p> <p>¹⁾ viešosios paskirties pastatams priskiriami: administracinės, prekybos, paslaugų, maitinimo, transporto, kultūros, mokslo, gydymo, poilsio, sporto, viešbučių ir specialiosios paskirties pastatai [3.6], [3.9];</p> <p>²⁾ pramonės pastatams priskiriami: sandėliavimo, garažų, gamybos ir pramonės paskirties pastatai [3.6];</p> <p>³⁾ jei gyvenamųjų pastatų suminis langų, stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų plotas didesnis už 25 % pastato sienų ploto, visų šių atitvarų (langų, stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų) šilumos perdavimo koeficiento $U_{(C,B)}$ vertė turi būti 1,3 $W/(m^2 \times K)$;</p> <p>⁴⁾ jei viešosios paskirties pastatų suminis langų, stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų plotas didesnis už 35 % pastato sienų ploto, visų šių atitvarų (langų, stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų) šilumos perdavimo koeficiento $U_{(C,B)}$ vertė turi būti 1,3 $W/(m^2 \times K)$. Šis reikalavimas netaikomas prekybos paskirties pastatų pirmo aukšto langams;</p> <p>⁵⁾ $k_1 = 20/(q_{iH} - 0,6)$ – temperatūros pataisa pramonės pastatų atitvaroms, q_{iH} – pramonės pastatų vidaus temperatūra šildymo sezono metu ($^{\circ}C$). Imama iš pastato projekto, o nesant duomenų, imama iš Reglamento 2 priedo 2.4 lentelės;</p> <p>⁶⁾ perdangos virš pravažiavimų ar praėjimų.</p>				

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(A)}$ ($W/(m^2 \times K)$) vertės A energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui. Iš STR 2.01.02:2016 4 lentelė [4].

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Stogai	r	0,10	0,11	0,16×k ₁ ⁵⁾
Perdangos ⁶⁾	ce			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg	0,14	0,16	0,25×k ₁ ⁵⁾
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	cc			
Sienos	w	0,12	0,15	0,20×k ₁ ⁵⁾
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	wda	1,0	1,3	1,4×k ₁ ⁵⁾
Durys, vartai	d	1,4	1,4	1,4×k ₁ ⁵⁾

^{1), 2), 5), 6)} žr. pastabas po 3 lentele.

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(A+)}$ ($W/(m^2 \times K)$) vertės A+ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui. Iš STR 2.01.02:2016 5 lentelė [4].

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Stogai	<i>r</i>	0,09	0,10	0,14×k ₁ ⁵⁾
Perdangos ⁶⁾	<i>ce</i>			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	<i>fg</i>	0,12	0,14	0,18×k ₁ ⁵⁾
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	<i>cc</i>			
Sienos	<i>w</i>	0,11	0,13	0,17×k ₁ ⁵⁾
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	<i>wda</i>	0,85	1,0	1,2×k ₁ ⁵⁾
Durys, vartai	<i>d</i>	0,85	1,0	1,2×k ₁ ⁵⁾

^{1), 2), 5), 6)} žr. pastabas po 3 lentele.

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(A++)}$ ($W/(m^2 \times K)$) vertės A++ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui. Iš STR 2.01.02:2016 6 lentelė [4].

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Stogai	<i>r</i>	0,080	0,090	0,12×k ₁ ⁵⁾
Perdangos ⁶⁾	<i>ce</i>			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	<i>fg</i>	0,10	0,12	0,12×k ₁ ⁵⁾
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	<i>cc</i>			
Sienos	<i>w</i>	0,10	0,11	0,14×k ₁ ⁵⁾
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	<i>wda</i>	0,70	0,85	1,1×k ₁ ⁵⁾
Durys, vartai	<i>d</i>	0,70	0,85	1,1×k ₁ ⁵⁾

^{1), 2), 5), 6)} žr. pastabas po 3 lentele.

2 priedas. Pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$ dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamose ir nevėdinamose atitvaruose.

Eil. Nr.	Termoizoliaciniai statybos produktai	Pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$, W/(m·K)	
		vėdinama	nevėdinama
1.	Akytieji betonai, $\rho > 400 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,03
2.	Akytieji betonai, $\rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02
3.	Mineralinė vata	0,001	0,002
4.	Birioji celiuliozės pluošto vata	0,01	0,02
5.	Fenolio-formaldehidinis ir karbamido-formaldehidinis putplastis	0,02	0,03
6.	Keramzito žvyras ir smėlis	0,01	0,02
7.	Medienos plaušo plokštės MPP ir MDF, $\rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,02*
8.	Medienos plaušo plokštės MPP ir MDF, $500 > \rho > 300 \text{ kg/m}^3$	0,04	0,04*
9.	Polistireninis putplastis „EPS“	0,001	0,002
10.	Polistireninis putplastis „XPS“	0	0
11.	Putstiklis, $\rho \leq 200 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02

12.	Putstiklis, $\rho > 200 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,03
13.	Poliuretaniinis putplastis	0,001	0,002

3 priedas. Pataisa $\Delta\lambda_\omega$ dėl termoizoliacinio statybos produkto papildomo įdrėkimo grunte arba po grindimis ant grunto.

Eil. Nr.	Termoizoliaciniai statybos produktai	Pataisa $\Delta\lambda_\omega$ W/(m·K)	
		Po patalpų grindimis ant grunto, išskyrus rūsių grindis	Rūsių grindyse, pastatų išorėje – grunte
1.	Mineralinė vata	0,01	0,02
2.	Keramzito žvyras	0,06	0,07
3.	Keramzito smėlis	0,15	0,2
4.	Polistireniinis putplastis „EPS“	0,006	0,01
5.	Polistireniinis putplastis „XPS“	0,003	0,004
6.	Poliuretaniinis putplastis	0,006	0,01

4 priedas. Šilumos konvekcijos poveikio koeficiento k_{cv} (vnt.) vertės.

Termoizoliacinio gaminio montavimo konstrukcijoje būdas		Termoizoliacinis sluoksnis vėdinamas ¹						Termoizoliacinis sluoksnis nevėdinamas ¹		
		Termoizoliacinio sluoksnio statybos produkto oro laidumo koeficientas l , m ³ /(m·s·Pa)						Termoizoliacinio sluoksnio medžiagos oro laidumo koeficientas l , m ³ /(m·s·Pa)		
		>190		190±60		<60		>190	190±60	<60
		A	B	A	B	A	B			
Termoizoliaciniai gaminiai, priklijuoti arba mechaniškai pritvirtinti prie izoliuojamo paviršiaus ²		0,1	N	0	N	0	0 (0,1)	0,15	0,05	0
Termoizoliaciniai gaminiai, nepritvirtinti prie izoliuojamo paviršiaus ³	Termoizoliaciniai gaminiai užpildo visą erdvę ⁴	0,1	N	0	N	0	0 (0,1)	0,1	0	0
	Termoizoliaciniai gaminiai sujungti arba perdengti ⁵	0,2	N	0,1	N	0,05	0,2	0,2	0,05	0,05
	Termoizoliaciniai gaminiai, nesujungti arba neperdengti ⁶	0,3	N	0,15	N	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3

Paiškinimai:

A – termoizoliacinis sluoksnis su vėjo izoliaciniu sluoksniu, įrengtu pagal 3.5 lentelėje nustatytus reikalavimus.

B – termoizoliacinis sluoksnis be vėjo izoliacinio sluoksnio arba vėjo izoliacinio sluoksnio įrengimas neatitinka 3.5 lentelėje nustatytų reikalavimų.

N – nurodyto oro laidumo koeficiento termoizoliacinės medžiagos, kai jos išorėje neįrengtas 3.5 lentelėje nustatytus reikalavimus atitinkantis vėjo izoliacinis sluoksnis, naudoti neleidžiama.

Skliaustuose pateikta vertė naudojama, kai vėdinimo angų plotas didesnis negu 300 cm²/m.

1 – jei atitvaros išoriniame sluoksnyje paliktos angos išorės orui patekti iki termoizoliacinio sluoksnio išorinio paviršiaus, toks termoizoliacinis sluoksnis priskiriamas vėdinamam.

2 – termoizoliacinė medžiaga prie izoliuojamo paviršiaus pritvirtinta taip, kad eksploatacijos metu negali judėti, nėra galimybių susidaryti plyšiams tarp gaminių. Konstrukcijų pavyzdžiai: tinkuoti fasadai, vėdinamieji fasadai su mechaniškai pritvirtintu termoizoliaciniu sluoksniu, trisluksnis mūras su oro tarpu arba be jo su mechaniškai pritvirtintu termoizoliaciniu sluoksniu, sutapdintieji stogai.

3 – termoizoliacinė medžiaga nepritvirtinta prie izoliuojamo paviršiaus arba pritvirtinta taip, kad gali judėti bent viena kryptimi, todėl gali susidaryti plyšiai tarp gaminių.

4 – termoizoliacinė medžiaga išprausta tarp juos ribojančių paviršių ir karkaso elementų naudojant papildomą jėgą arba uždengta dangą, prispaudžiančia prie izoliuojamo pagrindo. Konstrukcijų pavyzdžiai: karkasinės sienos ir šlaitiniai stogai su vėjo izoliacija iš standžių plokščių, grindys, montavimo metu

besiplečiančiomis termoizoliacinėmis medžiagomis pripūsti tarpai tarp karkaso elementų arba šiomis medžiagomis užpildyti uždari oro tarpai.

5 – termoizoliaciniai gaminiai glaudžiai sujungti arba perdengti, kad nėra galimybių atsirasti plyšiams tarp gaminių. Konstrukcijų pavyzdžiai: karkasinės sienos ir šlaitiniai stogai su vėjo izoliacija iš plėvelių, perdangos į pastogę be standaus apsauginio sluoksnio, konstrukcijos su standžiomis termoizoliacinėmis plokštėmis su suleidimo įjovomis.

6 – termoizoliaciniai gaminiai sudėti taip, kad gali atsirasti plyšiai tarp gaminių, tarp gaminių ir izoliuojamo paviršiaus. Konstrukcijų pavyzdžiai: vėdinami fasadai ir trisluksnis mūras su oro tarpu, kai termoizoliacinis sluoksnis mechaniškai nepritvirtintas.

5 priedas. Statybos produktų projektinės šilumos laidumo koeficientų vertės.

Statybos produktų, naudojamų konstrukciniams ir apdailos atitvarų sluoksniams, projektinės šilumos laidumo koeficientų vertės. Iš STR 2.01.02:2016 3.6 lentelė [4].

Eil. Nr.	Statybos produkto pavadinimas	Projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė, λ_{ds} , W/(m·K)
1.	Asbocementiniai lygūs lakštai	0,83
2.	Betonas	2
3.	Betonas armuotas (gelžbetonis)	2,5
4.	Gelžbetoninės 220 mm storio tuštuminės perdenginio plokštės	1,3
5.	Gipso lakštai (sausas tinkas)	0,25
6.	Gipso blokeliai ir kiti gaminiai	0,3
7.	Keramzitbetonis	0,7
8.	Mediena (ąžuolas)	0,23
9.	Mediena (beržas)	0,2
10.	Mediena (pušis arba eglė)	0,18
11.	Medienos fanera	0,17
12.	Medienos drožlių plokštės	0,18
13.	Medienos plaušo plokštės MPP ir MDF	0,18
14.	Medienos plokštės su cementiniu rišikliu	0,23
15.	Medienos skiedrų plokštės (OSB)	0,13
16.	Mūras, pilnavidurių keraminių plytų	0,8
17.	Mūras, pilnavidurių keramzitbetonio blokelių	0,6
18.	Mūras, pilnavidurių silikatinių plytų	1
19.	Mūras, skylėtųjų keraminių plytų	0,7

20.	Mūras, skylėtųjų silikatinių plytų	0,9
21.	Mūras, skaldyto akmens	2,6
22.	Mūras, tuščiavidurių keraminių blokelių	0,25
23.	Mūras, tuščiavidurių keramzitbetonio blokelių	0,4
24.	Plastikai iš įvairių polimerinių medžiagų	0,25
25.	Perlitbetonis	0,39
26.	Pjuvenų betonas	0,3
27.	Spalių betonas	0,32
28.	Stiklas	1
29.	Tinkas (cemento–smėlio)	1
30.	Tinkas (gipso–smėlio)	0,8
31.	Tinkas (kalkių–smėlio)	0,8
32.	Tinkas (kalkių–smėlio–cement)	0,9

Statybos produktų, naudojamų termoizoliaciniams atitvarų sluoksniams, projektinės šilumos laidumo koeficientų vertės. Iš STR 2.01.02:2016 3.7 lentelė [4].

Eil. Nr.	Statybos produkto pavadinimas	Projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė, $\lambda_{d.s.}, W/(m \cdot K)$
1.	Akytojo betono sieniniai paneliai nevedinamoje atitvaroje	0,2
2.	Akytojo betono sieniniai paneliai vedinamoje atitvaroje	0,19
3.	Akytojo betono plokštės stogų nuolydžiui suformuoti nevedinamoje atitvaroje	0,18
4.	Akytojo betono plokštės stogų nuolydžiui suformuoti vedinamoje atitvaroje	0,17
5.	Akytojo betono termoizoliacinės plokštės nevedinamoje atitvaroje	0,14
6.	Akytojo betono termoizoliacinės plokštės vedinamoje atitvaroje	0,13
7.	Akytojo betono blokelių mūras nevedinamoje atitvaroje	0,23
8.	Akytojo betono blokelių mūras vedinamoje atitvaroje	0,22
9.	Birioji celiuliozės pluošto vata nevedinamoje atitvaroje	0,06
10.	Birioji celiuliozės pluošto vata vedinamoje atitvaroje	0,05
11.	Fenolio–formaldehidinis putplastis nevedinamoje atitvaroje	0,07
12.	Fenolio–formaldehidinis putplastis vedinamoje atitvaroje	0,06
13.	Karbamido–formaldehidinis putplastis nevedinamoje atitvaroje	0,07
14.	Karbamido–formaldehidinis putplastis vedinamoje atitvaroje	0,06
15.	Keramzito smėlis nevedinamoje atitvaroje	0,33
16.	Keramzito smėlis vedinamoje atitvaroje	0,32
17.	Keramzito žvyras nevedinamoje atitvaroje	0,28
18.	Keramzito žvyras vedinamoje atitvaroje	0,27
19.	Medienos drožlės arba pjuvenos (sutankintos)	0,15
20.	Mineralinė vata nevedinamoje atitvaroje pastatuose iki 1993 m.	0,062
21.	Mineralinė vata vedinamoje atitvaroje pastatuose iki 1993 m.	0,061
22.	Mineralinė vata nevedinamoje atitvaroje pastatuose po 1993 m.	0,042
23.	Mineralinė vata vedinamoje atitvaroje pastatuose po 1993 m.	0,041
24.	Nendrių plokštės	0,15
25.	Pakulos	0,074
26.	Perlitas	0,17
27.	Perlito su bitumu gaminiai	0,13
28.	Pjuvenos maišuose	0,12

29.	Polistireninio putplasčio „EPS“ granulės	0,055
30.	Polistireninis putplastis „EPS“ nevėdinamoje atitvaroje	0,044
31.	Polistireninis putplastis „EPS“ vėdinamoje atitvaroje	0,043
32.	Polistireninis putplastis „XPS“ nevėdinamoje atitvaroje	0,037
33.	Polistireninis putplastis „XPS“ vėdinamoje atitvaroje	0,036
34.	Poliuretalinis putplastis nevėdinamoje atitvaroje	0,037
35.	Poliuretalinis putplastis vėdinamoje atitvaroje	0,036
36.	Putstiklis nevėdinamoje atitvaroje	0,18
37.	Putstiklis vėdinamoje atitvaroje	0,17
38.	Spaliai	0,1
39.	Susmulkintos durpės	0,13
40.	Šiaudai	0,09
41.	Šiaudai su moliu	0,4
42.	Šlako skalda	0,21
43.	Vermikulitas	0,11

Statybos produktų, projektinės šilumos laidumo koeficientų vertės, kai žinoma šių produktų tankio r (kg/m^3) vertė. Iš STR 2.01.02:2016 3.8 lentelė [4].

Eil. Nr.	Statybos produkto pavadinimas	Tankio vertė, ρ (kg/m^3)	Projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė, λ_{ds} , W/(m·K)
Statybos produktai, naudojami konstrukciniams ir apdailiniams atitvarų sluoksniams			
1.	Betonas	1800	1,15
2.		2000	1,35
3.		2200	1,65
4.		2400	2,00
5.	Betonas armuotas (su 1 % plieno)	2300	2,3
6.	Betonas armuotas (su 2 % plieno)	2400	2,5
7.	Gipso lakštai (sausas tinkas)	700	0,21
8.		900	0,25
9.	Gipso blokeliai ir kiti gaminiai	600	0,18
10.		900	0,30
11.		1200	0,43
12.		1500	0,56
13.	Keramzitbetonis su keramzito smėliu ir putų keramzitbetonis	500	0,24
14.		600	0,28
15.		800	0,3
16.		1000	0,4
17.		1200	0,5
18.		1400	0,7
19.		1600	0,8
20.		1800	0,9
21.	Keramzitbetonis su perlito smėliu	800	0,36
22.		1000	0,42
23.	Mediena	450	0,12
24.		500	0,13
25.		700	0,18
26.	Medienos fanera	300	0,09

27.		500	0,13
28.		700	0,17
29.		1000	0,24
30.	Medienos pjuvenų plokštės	300	0,10
31.		600	0,14
32.		900	0,18
33.		300	0,10
34.	Medienos plaušo plokštės MPP ir MDF	250	0,07
35.		400	0,10
36.		600	0,14
37.		800	0,18
38.	Mūras, pilnavidurių keraminių plytų	1600	0,7
39.		1800	0,8
40.	Mūras, pilnavidurių keramzitbartonio blokelių	1260	0,6
41.		1800	1,2
42.	Mūras, skylėtųjų keraminių plytų	1200	0,5
43.		1400	0,6
44.		1600	0,7
45.	Mūras, tuščiavidurių keraminių blokelių	750	0,23
46.		1000	0,33
47.		1200	0,4
48.		1400	0,47
49.	Mūras, tuščiavidurių keramzitbartonio blokelių	1100	0,4
50.		1700	0,8
51.	Perlitbetonis	600	0,24
52.		800	0,34
53.		1000	0,39
54.	Pjuvenų betonas	800	0,3
55.		1000	0,4
56.	Tinkai ir (arba) skiediniai (gipso–smėlio)	1200	0,58
57.		1600	0,80
58.	Tinkai ir (arba) skiediniai (termoizoliaciniai gipso)	600	0,18
Statybos produktai, naudojami termoizoliaciniams atitvarų sluoksniams			
59.	Akytasis betonas (stambios plokštės)	300	0,1
60.		400	0,13
61.		600	0,2
62.		800	0,29
63.	Keramzito žvyras ir smėlis	200	0,15
64.		300	0,165
65.		400	0,18
66.		600	0,26
67.		800	0,31
68.	Perlitas	200	0,15
69.		400	0,17
70.		600	0,21
71.	Vermikulitas	100	0,08
72.		200	0,11

6 priedas. Vidaus ir išorės paviršių šiluminės varžos R_{si} ir R_{se} ($m^2 \cdot k/w$)

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

7 priedas. Reikalavimai E, D, C, B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatams (jų dalims)

Iš STR 2.01.02:2016 1 lentelė [4].

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasė	Reikalavimai atitinkamos energinio naudingumo klasės pastatams (jų dalims)
E klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklio C_1 vertė turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 84 punkto reikalavimus
D klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklio C_1 vertė turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 84 punkto reikalavimus
C klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C_1 ir C_2 vertės turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 85 punkto reikalavimus
	3. Pastato (jo dalies) sandarumas turi atitikti Reglamento X skyriaus reikalavimus
B klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C_1 ir C_2 vertės turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 85 punkto reikalavimus
	3. Pastato (jo dalių) pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės turi atitikti Reglamento IX skyriaus reikalavimus
	4. Pastato (jo dalies) sandarumas turi atitikti Reglamento X skyriaus reikalavimus
	5. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus
A klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C_1 ir C_2 vertės turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 86 punkto reikalavimus
	3. Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,65, o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti $0,75 \text{ Wh/m}^3$
	4. Pastato (jo dalių) pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės turi atitikti Reglamento IX skyriaus reikalavimus
	5. Pastato (jo dalies) sandarumas turi atitikti Reglamento X skyriaus reikalavimus

	6. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus
	7. Ilginių šiluminių tiltelių skaičiuojamosios šilumos perdavimo koeficientų vertės turi būti pagrįstos skaičiavimais (žr. 30 punktą)
A+ klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C_1 ir C_2 vertės turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 87 punkto reikalavimus
	3. Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,80, o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti $0,55 \text{ Wh/m}^3$
	4. Pastato (jo dalių) pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės turi atitikti Reglamento IX skyriaus reikalavimus
	5. Pastato (jo dalies) sandarumas turi atitikti Reglamento X skyriaus reikalavimus
	6. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus
	7. Ilginių šiluminių tiltelių skaičiuojamosios šilumos perdavimo koeficientų vertės turi būti pagrįstos skaičiavimais (žr. 30 punktą)
Energijos beveik nevirtojantys pastatai (jų dalys), t. y. A++ klasės pastatai (jų dalys)	1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C_1 ir C_2 vertės turi atitikti Reglamento 15 punkto reikalavimus
	2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 88 punkto reikalavimus
	3. Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,90, o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti $0,45 \text{ Wh/m}^3$
	4. Pastato (jo dalių) pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės turi atitikti Reglamento IX skyriaus reikalavimus
	5. Pastato (jo dalies) sandarumas turi atitikti Reglamento X skyriaus reikalavimus
	6. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus
	7. Ilginių šiluminių tiltelių skaičiuojamosios šilumos perdavimo koeficientų vertės turi būti pagrįstos skaičiavimais (žr. 30 punktą)
	8. Pastate (jo dalyje) sunaudota energijos dalis iš atsinaujinančių išteklių turi atitikti Reglamento 2 priedo 89 punkto reikalavimus, t. y. didžiąją sunaudojamos energijos dalį turi sudaryti atsinaujinančių išteklių energija

8 priedas. Gyvenamosios paskirties pastatų gyvavimo trukmė priklausomai nuo statinio statybos produkto, iš kurių jis pastatytas.

Eilės numeris	Statinio paskirtis Statinio pavadinimas Statybos produkto, iš kurio statinys pastatytas, pavadinimas	Statinio gyvavimo trukmė, metais
	I. GYVENAMOSIOS PASKIRTIES PASTATAI	
1.	Daugiabutis gyvenamasis namas	
1.1.	plytų mūro arba mišrių konstrukcijų	100
1.2.	stambiaplokščiai	100
1.3.	monolito	120
1.4.	raštų	60
1.5.	raštų apmūryti	70

1.6.	mediniai su karkasu	40
1.7.	mediniai su karkasu apmūryti	50
2.	Vieno ir dviejų butų gyvenamieji namai	
2.1.	plytų mūro	100
2.2.	stambiaplokščiai	100
2.3.	šlakbetonio	100
2.4.	raštų	65
2.5.	mediniai su karkasu	40
2.6.	mediniai apmūryti	70
2.7.	mediniai skydų	50
2.8.	monolito	120

9 priedas. Norminės šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti.

Iš STR 2.01.02:2016 2.49 lentelė [4].

Eil. Nr.	Pastato paskirtis	B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasių pastatų norminės šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti, kWh/(m ² metai)			
		B	A	A+	A++
1	Gyvenamosios paskirties vieno ir dviejų butų pastatai (namai)	$k_h \cdot 383 \cdot A_p^{-0,22}$	$k_h \cdot 175 \cdot A_p^{-0,25}$	$k_h \cdot 170 \cdot A_p^{-0,30}$	$k_h \cdot 173 \cdot A_p^{-0,36}$
2	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)	$k_h \cdot 311 \cdot A_p^{-0,20}$	$k_h \cdot 181 \cdot A_p^{-0,28}$	$k_h \cdot 208 \cdot A_p^{-0,36}$	$k_h \cdot 200 \cdot A_p^{-0,42}$
3	Administracinės paskirties pastatai	$k_h \cdot 369 \cdot A_p^{-0,22}$	$k_h \cdot 168 \cdot A_p^{-0,26}$	$k_h \cdot 133 \cdot A_p^{-0,31}$	$k_h \cdot 55 \cdot A_p^{-0,24}$
4	Mokslo paskirties pastatai	$k_h \cdot 289 \cdot A_p^{-0,21}$	$k_h \cdot 121 \cdot A_p^{-0,27}$	$k_h \cdot 69 \cdot A_p^{-0,28}$	$k_h \cdot 26 \cdot A_p^{-0,20}$
5	Gydymo paskirties pastatai	$k_h \cdot 436 \cdot A_p^{-0,21}$	$k_h \cdot 207 \cdot A_p^{-0,24}$	$k_h \cdot 210 \cdot A_p^{-0,31}$	$k_h \cdot 183 \cdot A_p^{-0,36}$
6	Maitinimo paskirties pastatai	$k_h \cdot 210 \cdot A_p^{-0,20}$	$k_h \cdot 28 \cdot A_p^{-0,066}$	$k_h \cdot 17 \cdot A_p^{-0,024}$	$k_h \cdot 14 \cdot A_p^{-0,01}$
7	Prekybos paskirties pastatai	$k_h \cdot 441 \cdot A_p^{-0,27}$	$k_h \cdot 207 \cdot A_p^{-0,37}$	$k_h \cdot 125 \cdot A_p^{-0,39}$	$k_h \cdot 29 \cdot A_p^{-0,25}$
8	Sporto paskirties pastatai, išskyrus baseinus	$k_h \cdot 337 \cdot A_p^{-0,22}$	$k_h \cdot 171 \cdot A_p^{-0,29}$	$k_h \cdot 144 \cdot A_p^{-0,34}$	$k_h \cdot 86 \cdot A_p^{-0,33}$
9	Baseinai	$k_h \cdot 504 \cdot A_p^{-0,17}$	$k_h \cdot 246 \cdot A_p^{-0,18}$	$k_h \cdot 223 \cdot A_p^{-0,22}$	$k_h \cdot 205 \cdot A_p^{-0,25}$
10	Kultūros paskirties pastatai	$k_h \cdot 335 \cdot A_p^{-0,26}$	$k_h \cdot 57 \cdot A_p^{-0,22}$	$k_h \cdot 20 \cdot A_p^{-0,13}$	$k_h \cdot 9 \cdot A_p^{-0,057}$
11	Garažų, gamybos ir pramonės paskirties pastatai	$k_h \cdot 327 \cdot A_p^{-0,19}$	$k_h \cdot 171 \cdot A_p^{-0,25}$	$k_h \cdot 149 \cdot A_p^{-0,32}$	$k_h \cdot 178 \cdot A_p^{-0,41}$
12	Sandėliavimo paskirties pastatai	$k_h \cdot 397 \cdot A_p^{-0,19}$	$k_h \cdot 212 \cdot A_p^{-0,2}$	$k_h \cdot 191 \cdot A_p^{-0,24}$	$k_h \cdot 174 \cdot A_p^{-0,28}$
13	Viešbučių paskirties pastatai	$k_h \cdot 382 \cdot A_p^{-0,21}$	$k_h \cdot 200 \cdot A_p^{-0,25}$	$k_h \cdot 234 \cdot A_p^{-0,34}$	$k_h \cdot 281 \cdot A_p^{-0,43}$
14	Paslaugų paskirties pastatai	$k_h \cdot 317 \cdot A_p^{-0,19}$	$k_h \cdot 150 \cdot A_p^{-0,23}$	$k_h \cdot 130 \cdot A_p^{-0,28}$	$k_h \cdot 89 \cdot A_p^{-0,28}$
15	Transporto paskirties pastatai	$k_h \cdot 294 \cdot A_p^{-0,17}$	$k_h \cdot 137 \cdot A_p^{-0,21}$	$k_h \cdot 118 \cdot A_p^{-0,26}$	$k_h \cdot 85 \cdot A_p^{-0,27}$
16	Poilsio paskirties pastatai	$k_h \cdot 267 \cdot A_p^{-0,19}$	$k_h \cdot 115 \cdot A_p^{-0,24}$	$k_h \cdot 80 \cdot A_p^{-0,26}$	$k_h \cdot 42 \cdot A_p^{-0,23}$
17	Specialiosios paskirties pastatai	$k_h \cdot 294 \cdot A_p^{-0,16}$	$k_h \cdot 138 \cdot A_p^{-0,20}$	$k_h \cdot 127 \cdot A_p^{-0,23}$	$k_h \cdot 118 \cdot A_p^{-0,27}$

10 priedas. Pataisos koeficientas k_h (vnt.) B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) norminėms šiluminės energijos sąnaudoms pastatui (jo daliai) šildyti skaičiuoti.

Iš STR 2.01.02:2016 2.50 lentelė [4].

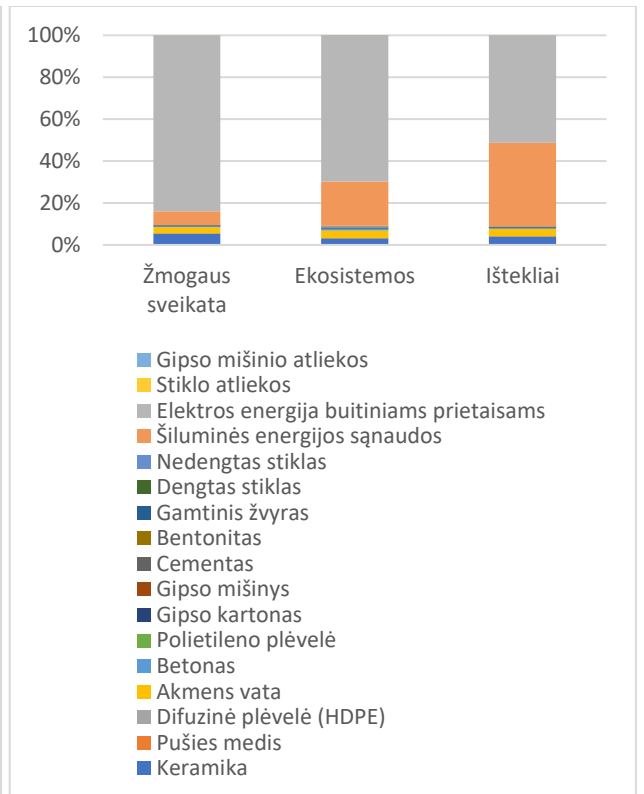
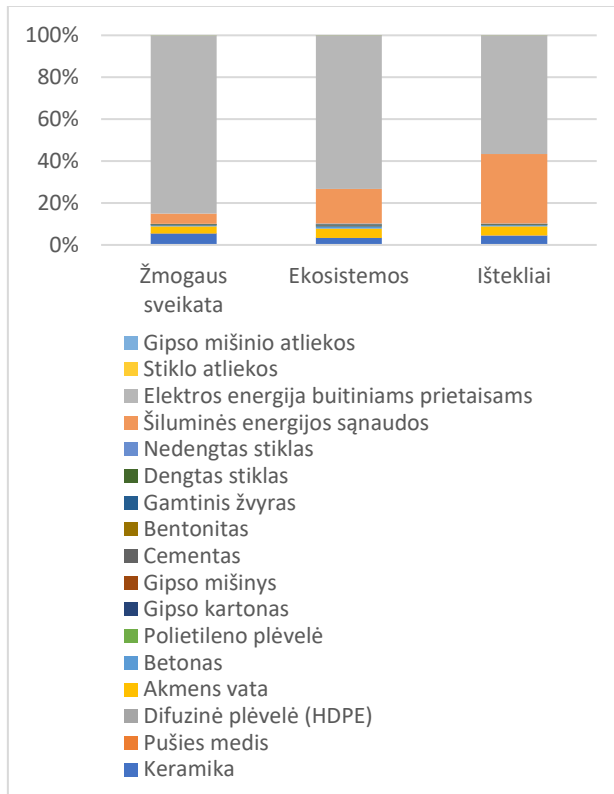
Eil. Nr.	Pastato paskirtis	Koeficientas k_h (vnt.) B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasių pastatams			
		B	A	A+	A++
1	Gyvenamosios paskirties vieno ir dviejų butų pastatai (namai)	1	1	1	1
2	Kiti gyvenamosios paskirties pastatai (namai)	1	1	1	1
3	Administracinės paskirties pastatai	1	1	1	1
4	Mokslo paskirties pastatai	1	1	1	1
5	Gydymo paskirties pastatai	1	1	1	1
6	Maitinimo paskirties pastatai	1	1	1	1
7	Prekybos paskirties pastatai	1	1	1	1
8	Sporto paskirties pastatai, išskyrus baseinus	$0,09 \cdot h + 0,63$	$0,16 \cdot h + 0,35$	$0,22 \cdot h + 0,08$	$0,26 \cdot h - 0,11$
9	Baseinai	$0,07 \cdot h + 0,73$	$0,08 \cdot h + 0,66$	$0,11 \cdot h + 0,57$	$0,12 \cdot h + 0,51$
10	Kultūros paskirties pastatai	$0,13 \cdot h + 0,45$	$0,23 \cdot h + 0,01$	$0,25 \cdot h - 0,14$	$0,22 \cdot h - 0,04$
11	Garažų, gamybos ir pramonės paskirties pastatai	$0,09 \cdot h + 0,71$	$0,16 \cdot h + 0,51$	$0,24 \cdot h + 0,23$	$0,28 \cdot h - 0,2$
12	Sandėliavimo paskirties pastatai	$0,07 \cdot h + 0,71$	$0,09 \cdot h + 0,62$	$0,12 \cdot h + 0,54$	$0,14 \cdot h + 0,44$
13	Viešbučių paskirties pastatai	1	1	1	1
14	Paslaugų paskirties pastatai	$0,1 \cdot h + 0,72$	$0,16 \cdot h + 0,57$	$0,23 \cdot h + 0,31$	$0,27 \cdot h + 0,12$
15	Transporto paskirties pastatai	$0,09 \cdot h + 0,73$	$0,15 \cdot h + 0,55$	$0,21 \cdot h + 0,37$	$0,25 \cdot h + 0,17$
16	Poilsio paskirties pastatai	1	1	1	1
17	Specialiosios paskirties pastatai	1	1	1	1

11 priedas. Didžiausias šildymui suvartojamas energijos kiekis ir galia

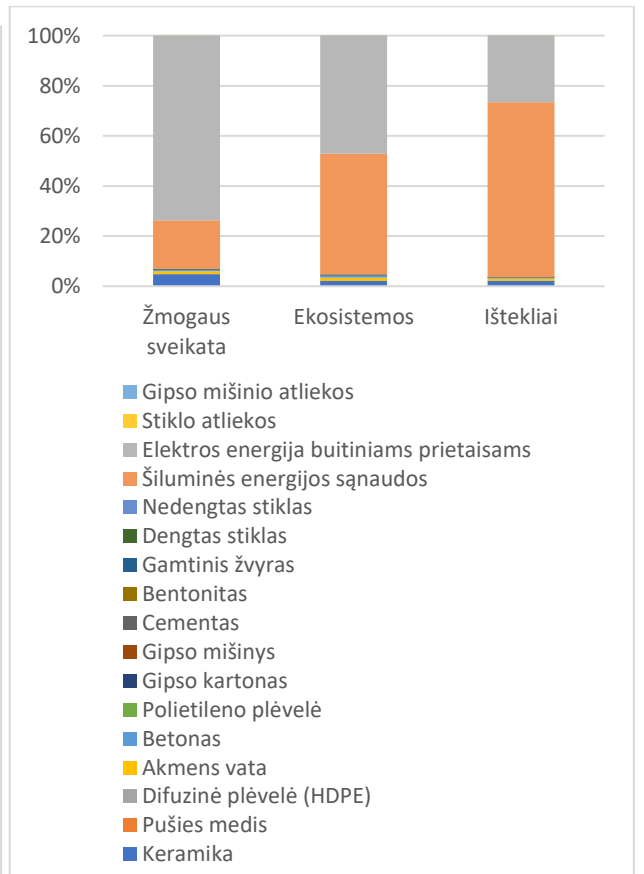
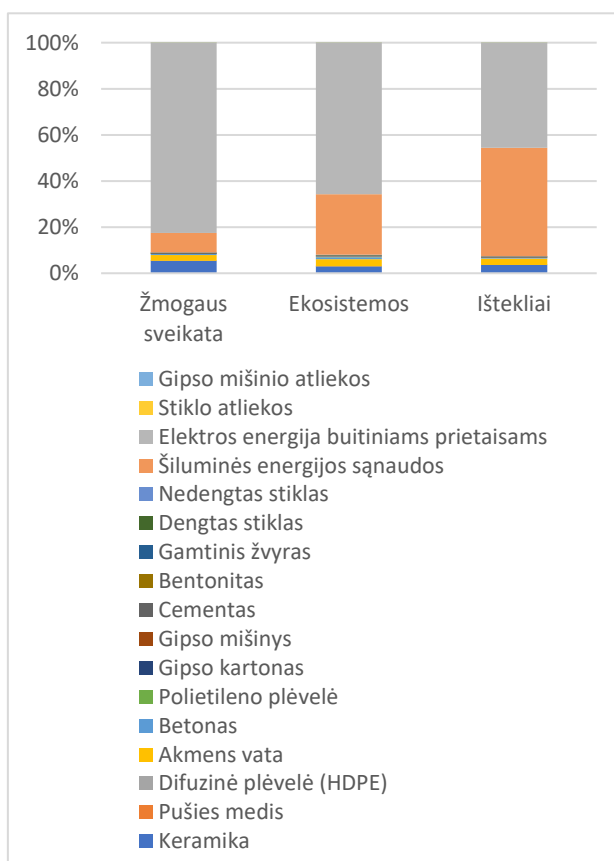
Iš STR 2.01.02:2016 [4]

	Energinio naudingumo klasė	Didžiausias šildyti suvartojamos energijos kiekis, kWh/m ² /metus	Didžiausioji šildyti suvartojama galia, W/m ²
Daug energijos suvartojantys pastatai	F, E, D	>193-276	>70-100
	C	<193	<70
Mažai energijos suvartojantys pastatai	B	<139	<50
	A	<55	<20
	A+	<43	<15
Energijos beveik nevartojantys pastatai	A++	<33	<12

12 priedas. Žalos vertinimo grafikai

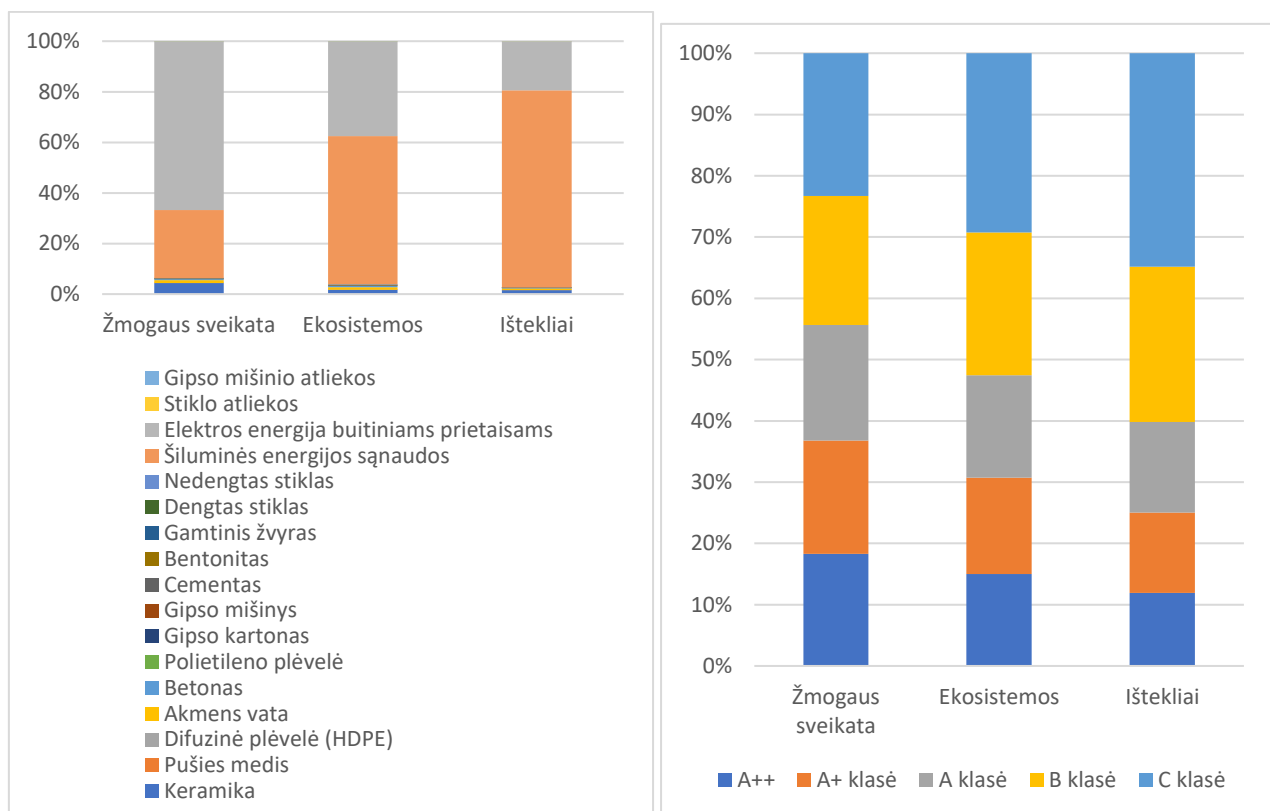


A++ (kairėje) ir A+ (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato žalos vertinimas taikant ReCiPe EndPoint (H) metodą.



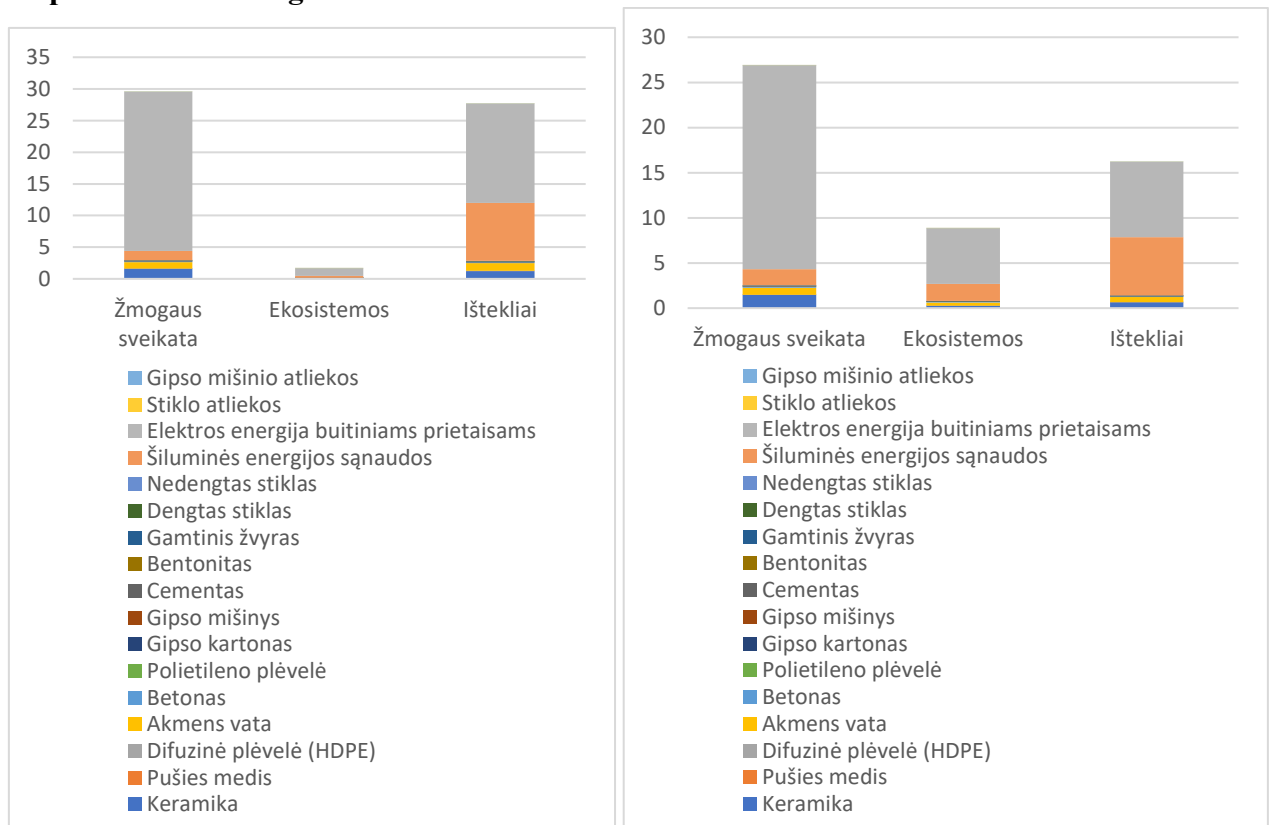
A (kairėje) ir B (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato žalos vertinimas taikant ReCiPe EndPoint (H) metodą.

metoda.



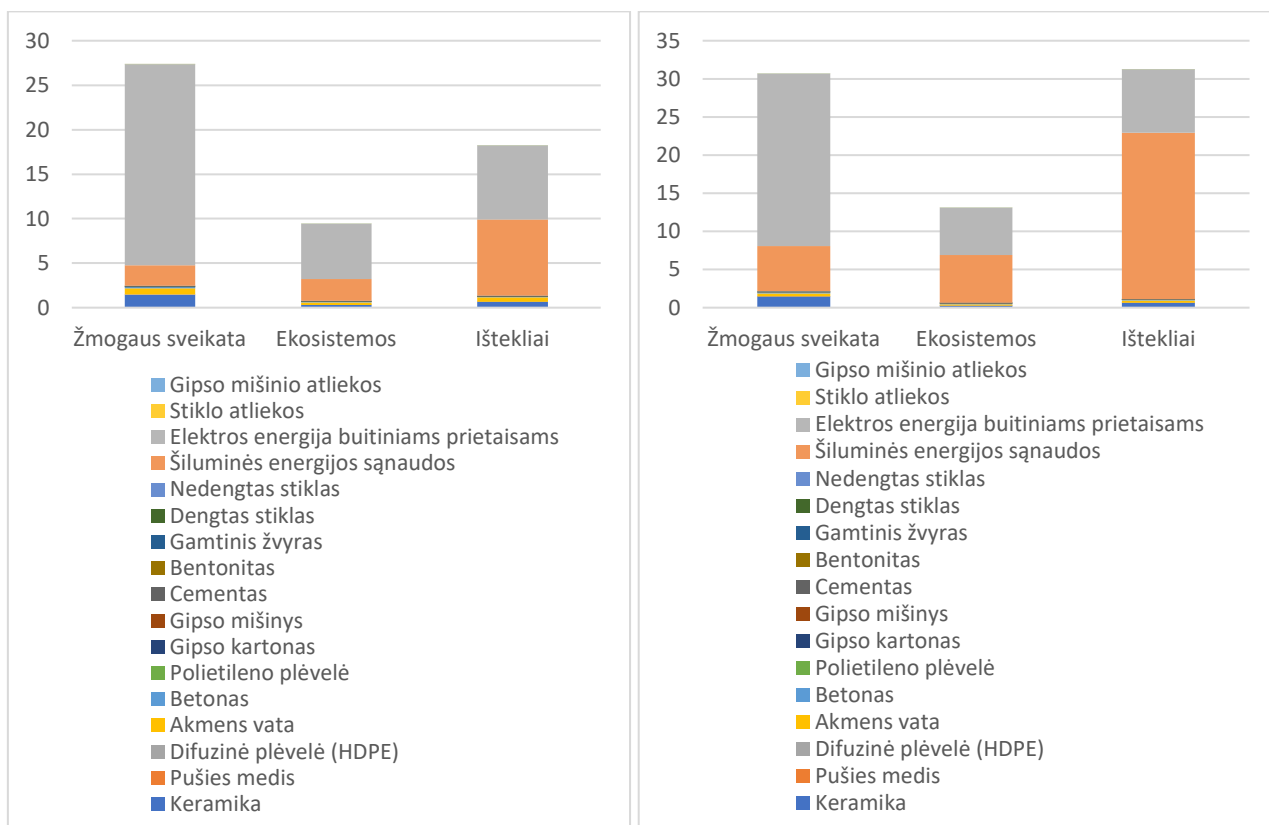
C klasės (kairėje) ir visų klasių (dešinėje) energinio naudingumo pastato žalos vertinimas taikant ReCiPe EndPoint (H) metodą.

13 priedas. Svėrimo grafikai.

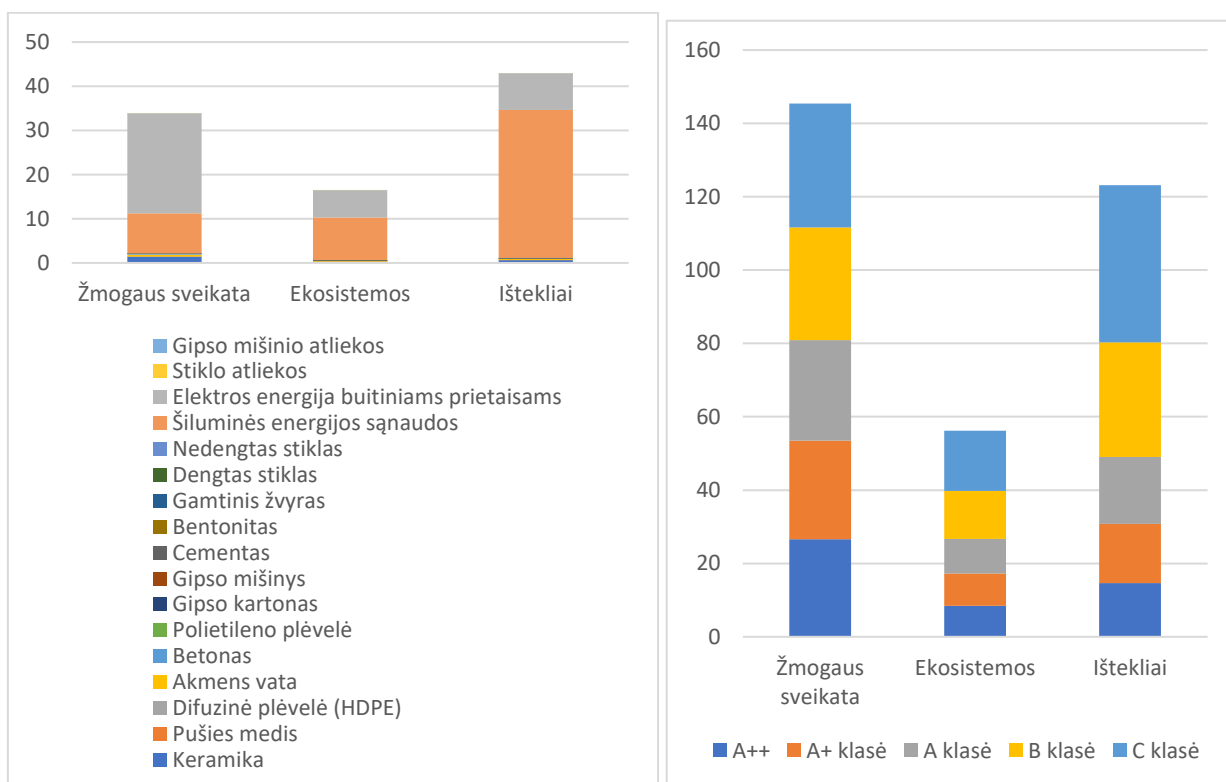


A++ (kairėje) ir A+ (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato svėrimo grafikai taikant ReCiPe EndPoint

(H) metodą.

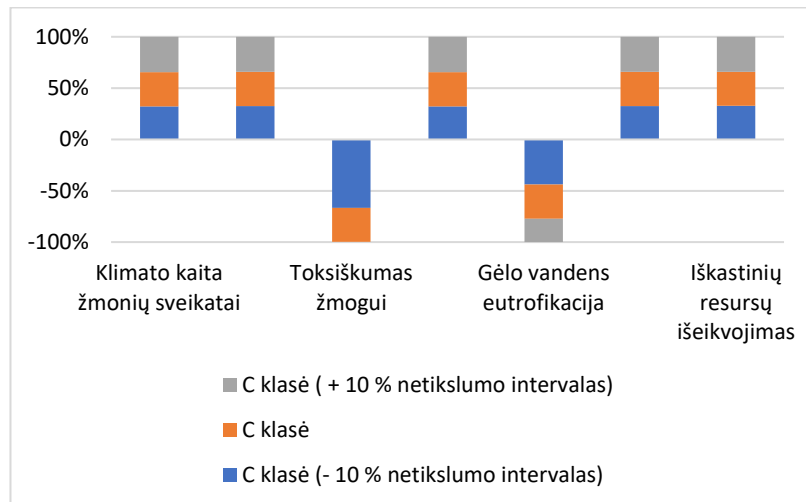
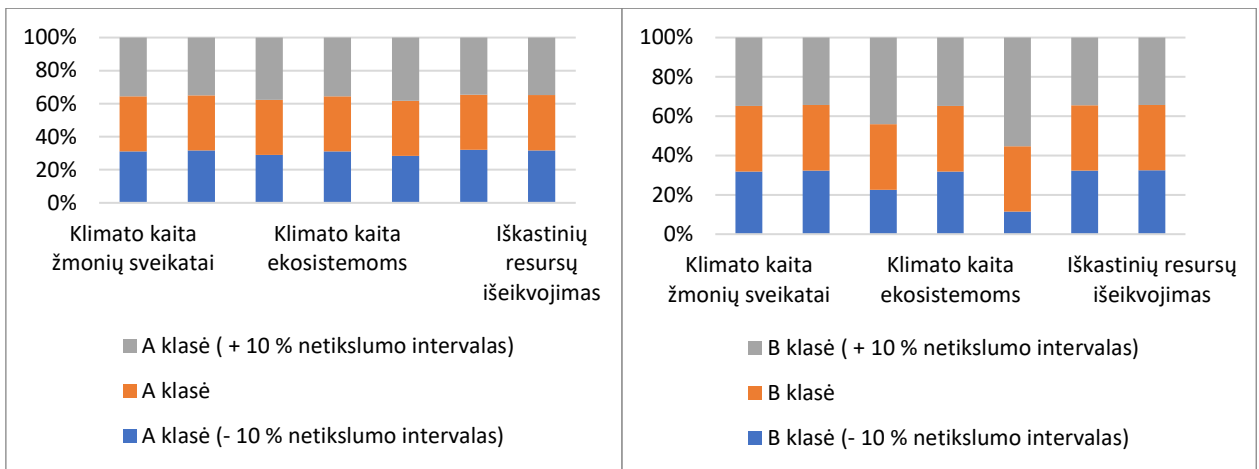
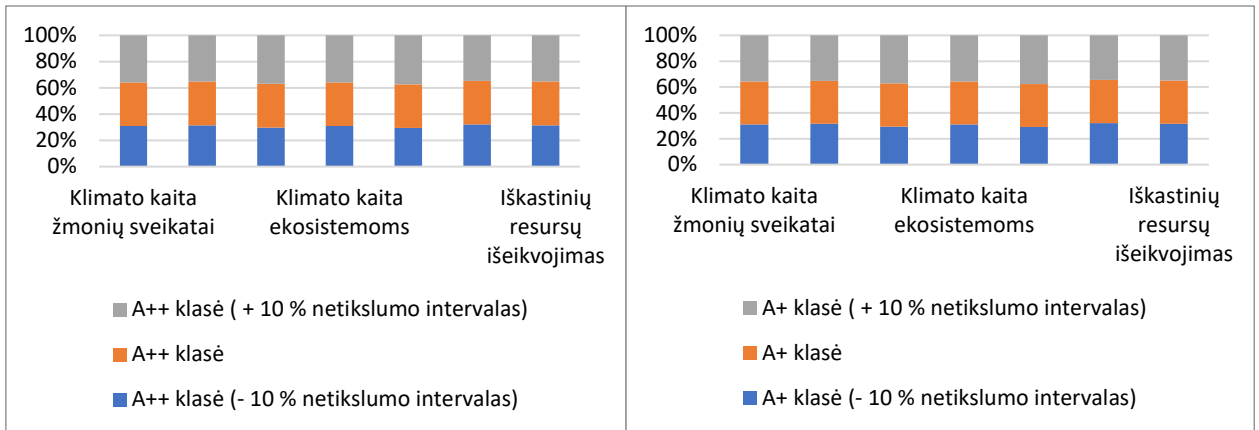


A (kairėje) ir B (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato svėrimo grafikai taikant ReCiPe EndPoint (H) metodą.

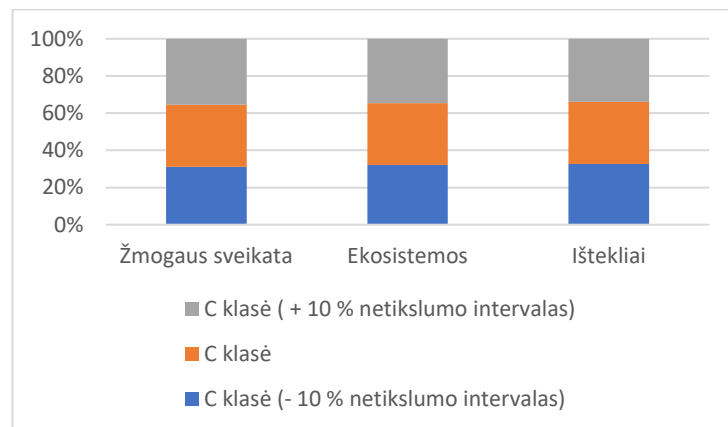
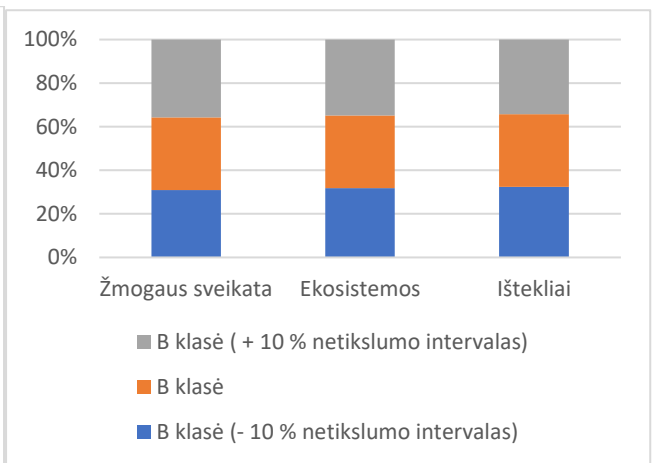
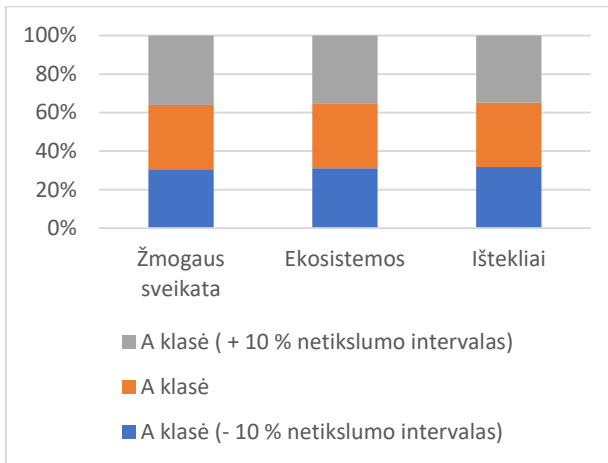
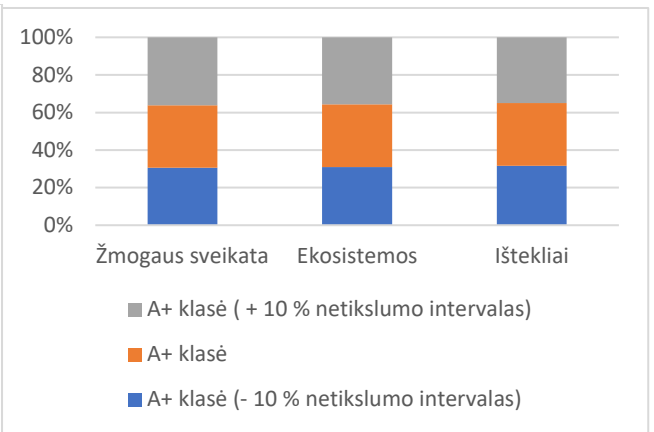
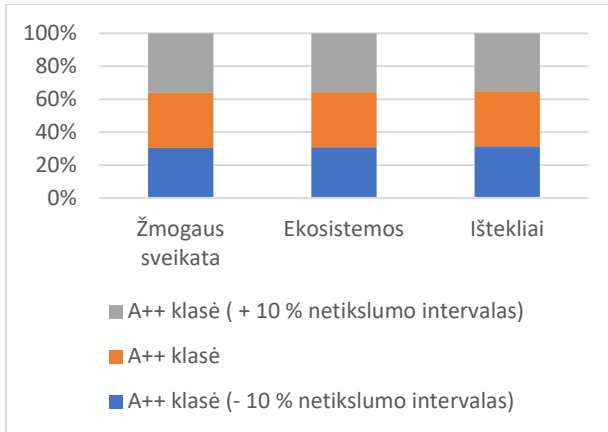


C klasės (kairėje) ir visų klasių (dešinėje) energinio naudingumo klasės pastato svėrimo grafikai taikant ReCiPe EndPoint (H) metodą.

14 priedas. Jautrumo analizė. Charakterizavimo grafikai



15 priedas. Jautrumo analizė. Žalos vertinimo grafikai



16 priedas. Jautrumo analizė. Svėrimo grafikai

