



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

**Skirtingo energinio naudingumo gyvenamųjų namų būvio
ciklo vertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

Jovita Kaupienė
Projekto autorė

Lekt. dr. Daina Kliugaitė
Vadovė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Skirtingo energinio naudingumo gyvenamųjų namų būvio ciklo vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (621H17002)

Jovita Kaupienė

Projekto autorė

Lekt. dr. Daina Kliaugaitė

Vadovė

Prof. dr. Jolanta Dvarionienė

Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Jovita Kaupienė

Skirtingo energinio naudingumo gyvenamųjų namų būvio ciklo vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Jovitos Kaupienės, baigiamasis projektas tema „Skirtingo energinio naudingumo gyvenamųjų namų būvio ciklo vertinimas“ 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)

TURINYS

IŽANGA	12
1. POVEIKIS APLINKAI IR JO MAŽINIMO GALIMYBĖS: MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ	15
1.1. Pastatų poveikio aplinkai vertinimas naudojant būvio ciklo metodą.....	15
1.1.1. Energija ir anglies dvideginio išmetimai.....	16
1.1.2. Statybinių medžiagų naudojimas	17
1.1.3. Darnumas statybos sektoriuje	20
1.1.4. Technologijų įtaka pastatų poveikiui būvio cikle	23
1.2. Statybos teisinis reguliavimas.....	26
1.3. Ekologiškos statybos svarba klimato kaitai	28
2. GYVENAMŪJŲ NAMŲ BŪVIO CIKLO TYRIMO METODIKA.....	31
2.1. Tyrimo objektas	31
2.1.1. Mažai energijos naudojantys namai.....	32
2.2. Būvio ciklo vertinimas.....	39
2.4. Atitvarų šiluminių varžų ir medžiagų kiekių skaičiavimai	42
2.5. Šilumos nuostolių per atitvaras ir energijos poreikio skaičiavimas	45
3. SKIRTINGO ENRGINIO NAUDINGUMO GYVENAMŪJŲ NAMŲ POVEIKIO APLINKAI BŪVIO CIKLE TYRIMO DUOMENYS IR ANALIZĖ.....	49
3.1. Poveikio aplinkai vertinimas.....	49
3.1.1. Namų, turinčių skirtingas laikančiųjų konstrukcijų medžiagas, būvio ciklo vertinimas (I variantas).....	49
3.1.2. Skirtingo energinio naudingumo namų būvio ciklo vertinimas (II variantas)	57
3.1.3. Skirtingo energinio naudingumo ir skirtingų naudojamų medžiagų namų būvio ciklo vertinimo apibendrinimas	61
3.2. Ekonominis būvio ciklo įvertinimas	64
3.3. Statybos atliekos ir jų panaudojimas.....	65
IŠVADOS	67
LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	69
PRIEDAI.....	74

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Statybinių medžiagų energijos vartojimas ir CO ₂ išsiskyrimai („BAL-TON“ duomenys, Vokietija)	29
2 lentelė. Pastatų šilumos energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus (Efektyvaus energijos vartojimo pastatuose vadovas, 2008)	33
3 lentelė. Pastato pirmojo aukšto patalpų eksplikacija.....	36
4 lentelė. Tiriamų namų išorės sienos.....	37
5 lentelė. I–V namų atitvarų visuminės šiluminės varžos ir šilumos laidumo koeficientai	44
6 lentelė. Pastato projekto energinio naudingumo vertinimo variantai.....	47
7 lentelė. ReCiPe midpoint(E) V1. metodu vertinamos poveikio aplinkai kategorijos	53

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Penkių aktualiausių BCA srityje tyrimo sričių augimo tendencija (Fay R. ir kt., 2000).....	15
2 pav. Populiariausių statybinių medžiagų tyrimas, aptartas straipsniuose (Fay R. ir kt., 2000).....	18
3 pav. Pastatų energinio naudingumo klasės	32
4 pav. Gyvenamojo namo fasadas ašyse 1–5.....	35
5 pav. Pirmo aukšto planas	36
6 pav. Grindų ant grunto mazgas	38
7 pav. Perdangos mazgas	38
8 pav. Cokolio apšiltinimo mazgas.....	39
9 pav. Pastato būvio ciklas.....	40
10 pav. Pastato būvio ciklo etapai ir vertinimas	41
11 pav. Tiriamų pastatų šilumos nuostoliai per atitvaras.....	47
12 pav. Trijų namų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje statybos ir naudojimo fazėje	50
13 pav. Skirtingų laikančiųjų konstrukcijų medžiagų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (CO ₂ emisijos kiekis)	50
14 pav. Skirtingų laikančiųjų konstrukcijų medžiagų poveikio aplinkai palyginimas klimato šiltėjimo kategorijoje, proc.	51
15 pav. Grindų medžiagų poveikis aplinkai statybos stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje.....	51
16 pav. Bendrų konstrukcijų medžiagų poveikis aplinkai statybos stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje	52
17 pav. I varianto tiriamų namų energijos sąnaudų poveikis aplinkai naudojimo stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje	53
18 pav. Šiaudinio A namo skirtingose poveikio aplinkai kategorijose atskirų konstrukcijų įtaka (santykinė/procentinė vertė).....	54
19 pav. I varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas (santykinė/procentinė vertė).....	54
20 pav. I varianto namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė)	55
21 pav. I varianto namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (s normalizuotas poveikis)	55
22 pav. I varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas ReCiPe Midpoint (E) V1.11 metodu (santykinė/procentinė vertė).....	56
23 pav. I varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas normalizavus poveikį	56

24 pav. Visų trijų namų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje gamybos ir naudojimo fazėje	57
25 pav. Skirtingo energinio naudingumo namams naudojamų medžiagų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (co2 emisijos kiekis)	57
26 pav. Skirtingo energinio naudingumo namas naudojamų medžiagų poveikio aplinkai palyginimas klimato šiltėjimo kategorijoje	58
27 pav. Keramikinio A++ namo energijos sąnaudų poveikis aplinkai naudojimo stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje	58
28 pav. II varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas (santykinė/procentinė vertė).....	59
29 pav. I varianto namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė)	59
30 pav. I varianto namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	60
31 pav. II varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas ReCiPe Midpoint (E) V1.11 metodu (santykinė/procentinė vertė).....	60
32 pav. II varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas normalizavus poveikį	61
33 pav. Visų namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas (santykinė/procentinė vertė).....	61
34 pav. Klimato kaitos poveikio žmonėms kategorija.....	62
35 pav. Ozono sluoksnio retėjimo kategorija.....	62
37 pav. Visų namų žalos kategorijos statybos ir eksploatacijos etapuose vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė).....	63
38 pav. Tiriamų namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis).....	64

SANTRUPŲ SĄRAŠAS

λ_D	deklaruojamoji termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė;
λ_D	šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo atitvaroje;
$\Delta\lambda_{cv}$	šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl šilumos konvekcijos poveikio;
$\lambda_{n,ds}$	projektinė termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė;
d_n	projektinis atitvaros sluoksnio storis;
R_n	atskirų sluoksnių šiluminė varža;
R_S	atitvaros suminė šiluminė varža;
R_T	atitvaros visuminė šiluminė varža;
R_{SI}	sienos vidinio paviršiaus šiluminė varža, kai šilumos srauto kryptis horizontali;
R_{SE}	atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža;
U	šilumos perdavimo koeficientas;
H_{el}	atitvaros, išskyrus besiribojančios su gruntu, savieji šilumos nuostoliai;
A	atitinkamos atitvaros arba atitvaros dalies su viena šilumos perdavimo koeficiento verte plotas;
Q_{en}	pastato energijos nuostoliai per atitvaras;
ΔQ_{el}	šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams per patalpos atitvaras, išskyrus besiribojančių su gruntu, padengti;
Q_{ψ}	šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams per ilginius šiluminius tiltelius patalpoje padengti;
H_{ψ}	suminiai savieji šilumos nuostoliai per patalpoje esančius ilginius šiluminius tiltelius;
Θ_i	projektinė patalpos temperatūra;
Θ_{em}	vidutinė šildymo sezono išorės temperatūra;
t	šildymo trukmė per šildymo sezoną, paromis;
BCV	(angl. LCA) – būvio ciklo vertinimas;
BCA	būvio ciklo analizė;
PKŠP	pasaulinis klimato šiltėjimo potencialas;
ŠESD	šiltnamio efektą sukeliančios dujos.

Kaupienė, Jovita. Skirtingo energinio naudingumo gyvenamųjų namų būvio ciklo vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė lektor. dr. Daina Kliaugaitė; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Aplinkos inžinerija (H170), Bendroji inžinerija (H100), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: energija, naudingumas, poveikis, aplinka, sąnaudos, pastatai.

Kaunas, 2018. 67 p.

SANTRAUKA

Darbe įvertintas ir palygintas penkių gyvenamųjų namų, turinčių skirtingas konstrukcines medžiagas bei energines naudingumo klases, poveikis aplinkai visame būvio cikle. Pradžioje pateikta mokslinės literatūros analizė, vienu ar kitu požiūriu nagrinėjančių statinių ar jų komponentų būvio ciklą. Išanalizuotos tokios tyrimų kryptys kaip darni statyba, energijos ir medžiagų naudojimas pastatuose bei anglies dvideginio išmetimų į atmosferą mažinimas, poveikio aplinkai minimizavimas per visą statinio būvio ciklą. Taip pat pateikta apžvalga apie šiuolaikinių technologijų ir statybos teisinio reglamentavimo įtaką pastatų poveikiui būvio cikle bei ekologiškos statybos svarba klimato kaitai. Tiriamojoje dalyje, pasirinkus penkių tipų statinius naudojančius būvio ciklo vertinimo metodika atlikti poveikio aplinkai skaičiavimai, o rezultatai išanalizuoti ir pateikti pagal keletą pasirinktų poveikio aplinkai kriterijų. Ištirtas pasirinktų namų poveikis aplinkai pasaulinio klimato šiltėjimo kategorijoje ir išnagrinėtas tiriamųjų namų poveikis aplinkai skirtingose, beveik 20-yje poveikio aplinkai kategorijose ir trijose žalos kategorijose. Pateiktos išvados ir pasiūlymai apie mūsų aplinkoje esančių pastatų poveikio aplinkai mažinimo galimybes, pasirenkant aplinkai draugiškesnes medžiagas ir tuo pačiu išlaikant aukštą energinį naudingumą.

Kaupienė, Jovita. Life cycle assessment of residential buildings carrying different energy performance. Master's Final Degree Project / supervisor lect. dr. Daina Kliugaitė; Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (H170), Engineering sciences (H).

Keywords: Energy, efficiency, influence/effect, environment.

Kaunas, 2018. 67 pages.

SUMMARY

There has been provided the following issues in this work: the analysis of the scientific literature and articles in one or another view analyzing the life cycle of the existence of structures or their components. There have also been analyzed such study fields as energy and materials; carbon dioxide emissions into the atmosphere; influence upon the environment and sustainable development as the most significant issues in the evaluation of the structures during the whole life cycle of their existence. There is the review about the legal standards of modern technologies and construction and their influence upon structures during the life cycle of their existence and the importance of ecological construction for the climate change. In the research part, having selected the structures of five types and using life cycle assessment, the calculations have been made in the evaluation of the cycle existence and the outcomes have been analyzed and presented according to the selected criteria. The environmental impact of the selected houses upon the environment in the category of the world climate change; the effect of the tested houses in the nearly 20 categories according to the influence on the environment have also been analyzed. Conclusions and suggestions of the cycle of the structure existence upon the environment have been presented as well.

IŽANGA

Jau maždaug tris dešimtmečius, t. y. nuo 1992 m., kai buvo parengta „Darbotvarkė 21“, darnus vystymasis lėtai, tačiau užtikrintai skverbiasi į daugelį visuomenės veiklos ir gyvenimo sričių. Atsižvelgiant į Pasaulio aplinkos plėtros komisijos darnaus vystymosi sąvoką, akivaizdu, jog ir įvairi statybos sektoriaus veikla turi būti analizuojama ir ateityje organizuojama pagal darnios plėtros nuostatas. Urbanizuotų teritorijų plėtra gali būti vykdoma įvairiais lygiais – nuo viso miesto iki atskiro pastato ar jo komponentų. Analogiškai socialiniai ir ekonominiai bei aplinkos poveikiai ir pokyčiai pasireiškia visose erdvėse: globalinėje, nacionalinėje, regioninėje, miesto, rajono, gretimos aplinkos, nuosavybės, atskiro objekto ir komponentų bei medžiagų. Urbanizuota aplinka ir svarbiausi jos komponentai pastatai yra sudėtingos kompleksinės sistemos. Jie įkūnija šimtmečiais besiformavusią žmonių kultūrą. Statiniai skiriasi nuo kitų pramonės gaminių ilgalaikiškumu, išteklių, reikalingų juos kuriant bei naudojant, gausa. Todėl statybos pramonei tenka išskirtinis vaidmuo, siekiant darnaus vystymosi.

Literatūroje akcentuojama, jog norint pasiekti darnios plėtros, būtina eiti darnios statybos linkme. Statybos pramonė reikšmingais tiesioginiais ir netiesioginiais ryšiais susijusi su daugeliu gyvenimo sričių įvairiais darnios plėtros aspektais. Kai kuriose Europos valstybėse (Vokietijoje, Olandijoje, Belgijoje, Didžiojoje Britanijoje ir kt.) vykdoma nuosekli valstybinė darnios statybinės veiklos politika. Lietuvoje darnios statybos tema tampa vis aktualesnė. Tačiau kol kas, siekiant darnumo statybos srityje, vadovaujamosi bendrais aplinkosauginiais ir darnaus vystymosi idėjas deklaruojančiais politiniais ir teisiniais dokumentais.

Statybos sektorius yra vienas iš pagrindinių energijos vartotojų visame pasaulyje. Sušvelninti klimato kaitai reikia nacionalinių ir tarptautinių pastangų. Nustatyta, kad didžiausias potencialas sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekius yra statybų sektoriuje, kuriame gyvenamieji pastatai sunaudoja apie 27 % energijos.

Darni statyba tai ne tik mažesnės energijos sąnaudos, bet ir darnaus vystymosi principų taikymas projektavimo ir statybos procese, pvz., naudojant mažiau pirminių medžiagų, mažiau energijos statybai, mažiau teršiant ir gaminant mažiau atliekų; tai „viso gyvavimo ciklo“ metodo taikymas projektuojant, statant ir eksploatuojant pastatus.

Šiuolaikinės statybų technologijos visose statinių būvio ciklo stadijose (žaliavų išgavimas, statybinių medžiagų gamyba, statyba, eksploatacija, nugriovimas, atliekų deponavimas) turi įtakos, nes energija naudojama visose statybų būvio ciklo stadijose. Atsižvelgiant į tai, statyba ir projektavimas, kaip ir kitos žmogaus veiklos sritys, taip pat turi remtis darnaus vystymosi principais. Šiuo atveju statybos ir projektavimo veikla, tenkindama darnumo kriterijus, turėtų siekti sukurti saugią ir sveiką gyvenamąją aplinką, racionaliai naudoti aplinkos išteklius bei siekti ekonominės pažangos žmogaus ir gamtos labui.

Neigiamą pastatų poveikį aplinkai galima ženkliai sumažinti, toks yra aplinkai palankių statybos koncepcijų: *Gaja house*, *Green Building*, *Low energy building*, *Zero energy building* tikslas. Jos yra labai populiarios įvairiose pasaulio šalyse ir tampa netgi standartais, privalomais vykdyti normatyvais. Ekologinis aspektas išreiškia siekį taupyti energijos ir kitus išteklius, mažinti atliekų kiekį, taršą, kitaip siekti mažo poveikio aplinkai. Tikėtina, kad visa tai galima pasiekti pakeičiant įprastines namų statyboje naudojamas medžiagas į atsinaujinančias vietinėje rinkoje išgaunamas natūralias medžiagas.

Europos Sąjunga ekologiškoms statyboms vystyti skiria vis daugiau lėšų, skaičiuojama, kad anksčiau ar vėliau tokia strategija atsiperka. Vakarų Europoje pastatas, pastatytas iš ekologiškų medžiagų ne tik kelia jo kainą, bet ir tampa savotiška mada. Ryškiausia ši tendencija yra Vokietijoje, kur statybas iš ekologiškų medžiagų, įstatymais skatina pati valstybė, numatydamas baudas už „nedraugišką aplinkai medžiagų naudojimą“. Be to, paskaičiuota, kad apie trečdalį rinkos šioje valstybėje sudaro žmonės, ieškantys tik ekologiško būsto.

Nors Lietuvoje panašių skaičiavimų nėra atlikta, net neabejojama, kad žmonių, kurie vis aktyviau rūpinasi, kad juos suptų sveika ir natūrali aplinka, daugėja. Deja, mūsų nekilnojamojo turto verslo atstovai dažnai rūpinasi tik statybų kaštais, o siekdami greito atsiperkamumo į ekologiškas ir atsakingas statybas neatsižvelgia.

Tyrimo objektas: statybos sektorius, vienbutis gyvenamasis namas.

Tikslas: įvertinti skirtingo energinio naudingumo ir pastatų poveikį aplinkai per visą būvio ciklą.

Uždaviniai:

1. Naudojantis moksline literatūra, statistiniais duomenimis, išanalizuoti pastatų poveikio aplinkai aspektus bei problematiką darnios plėtros kontekste.
2. Pagal norminius reikalavimus parinkti skirtingo energinio naudingumo namų atitvarų medžiagas ir įvertinti jų atitikimą tiriamoms energinio naudingumo klasėms. Atlikti šilumos nuostolių per atitvaras ir energijos poreikio įvertinimą.
3. Atlikti statybinių medžiagų, naudojamų gyvenamųjų namų statyboje, poveikio aplinkai vertinimą;
4. Įvertinti ir palyginti skirtingo energinio naudingumo namų poveikį aplinkai būvio cikle.
5. Atlikti visų analizuojamų namų ekonomiją būvio ciklo vertinimą.

Temos aktualumas. Statyba yra viena iš pagrindinių pramonės šakų, kurioje ekonominių ir socialinių aspektų pasikeitimai, energijos suvartojimas vyksta sparčiausiai. Siekiant efektyvaus energijos vartojimo pastatuose tikslų griežtėja reikalavimai naujų pastatų statybai. Tačiau didžiausias dėmesys teikiamas tik energijos suvartojimui pastatų eksploatacijos stadijoje, neatsižvelgiama į tai, kiek energijos sunaudojama medžiagų gamybos metu, taip pat neįvertinama kaip bus tvarkomos atliekos nugriovus pastatus.

Mokslinis naujumas. Įvertintas penkių skirtingų atitvarinių konstrukcijų ir skirtingo energinio naudingumo gyvenamųjų namų poveikis aplinkai visame būvio cikle.

Problematika:

- Statybos sektoriuje naudojami dideli kiekiai žaliavų ir energijos;
- Augantis termoizoliacinių medžiagų kiekių naudojimas ateityje padidins susidarančių atliekų kiekį, nes dėl technologiškai sujungtų medžiagų jų perdirbti kol kas nėra galimybių.
- Naujų STR įsigaliojimas nuo 2020 metų pastatų projektavimui.

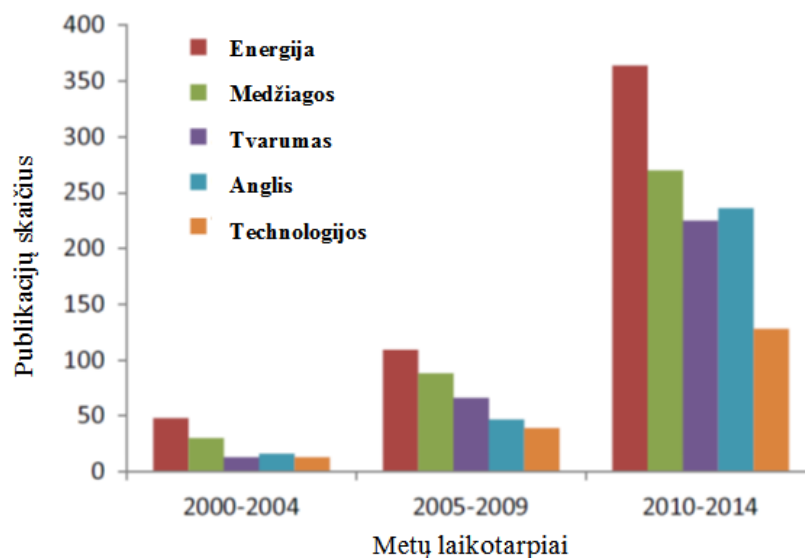
Tikėtinas rezultatas bus naudingas.

Išanalizuotos ir įvertintos darnios statybos plėtros galimybės Lietuvoje leis populiarinti ir skatinti šią statybą, atsižvelgti į gamtos išteklių ir energijos tausojimą, aplinkos taršos mažinimą. Tai gali suteikti žmonėms galimybę gyventi ir dirbti bei patenkinti savo socialinius ir kultūrinius poreikius, nepažeidžiant aplinkos pusiausvyros.

1. POVEIKIS APLINKAI IR JO MAŽINIMO GALIMYBĖS: MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1. Pastatų poveikio aplinkai vertinimas naudojant būvio ciklo metodą

Mokslinėje literatūroje yra nemažai straipsnių, vienu ar kitu požiūriu nagrinėjančių statinių ar jų komponentų būvio ciklą. Daugiausia su pastatų būvio ciklu susijusių publikacijų išleista JAV. Tai šioje srityje pirmaujanti šalis, turinti daugiausia leidėjų ir straipsnių, formuojanti pasaulinę nuomonę ir turinti šioje srityje didžiausią įtaką. Norvegijos mokslo ir technologijų universitetai yra pirmaujantys statinių būvio ciklo moksliniuose tyrimuose Europoje. Šia tema pasaulyje bendrauja, tyrimus publikuoja straipsniuose apie 15 panašaus tipo institucijų. Tokios tyrimų kryptys kaip energija, medžiagos, poveikis aplinkai, darnus vystymasis yra svarbios statinių vertinimui per visą būvio ciklą. Penkios aktualiausios pastatų tyrimų visame būvio cikle temos pateiktos 1 paveiksle.



1 pav. Penkių aktualiausių BCA srityje tyrimo sričių augimo tendencija (Fay R. ir kt., 2000)

1 paveiksle pateiktos šių temų tendencijos, susijusios su pastato būvio ciklu per pastaruosius 20 metų. Energijos sąnaudos pastatuose per visus 15–20 metų tapo sparčiausiai auganti būvio ciklo tyrimų sritis. Kita tema, kurioje atliekama nemažai tyrimų vertinant pastatų poveikį aplinkai visame būvio cikle, būtų medžiagos, naudojamos statyboje ir anglies dioksidas bei su juo susietas darnumas. Šiomis temomis publikacijų skaičius nedaug atsilieka nuo energijos tematikos.

Pastaraisiais dešimtmečiais dėl spartaus socialinio ir ekonominio vystymosi išaugo statybų apimtys. Statybos pramonė daro didelį poveikį ekonomikai, aplinkai ir visuomenei. Pavyzdžiui, statybos pramonė yra viena iš pagrindinių energijos išteklių vartotoja. Energija naudojama per visą pastato gyvavimo ciklą – nuo statybinių medžiagų gamybos iki pastato nugriovimo (Zuo J. Ir kt., 2012).

Kinijoje pastatų statyba sunaudoja beveik 25% visos pirminės energijos sąnaudų ir ši dalis iki 2030 m gali išaugti iki 35 % (Li J., 2008). Statybos sektoriuje vartojama iki 40% pasaulio medžiagų, statybos pramonė tampa 40–50 % atsakinga už pasaulinį šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas ir rūgščius lietus (Kofoworola O. F. ir kt. 2008).

1.1.1. Energija ir anglies dvideginio išmetimai

Bet kurio pastato gyvavimo ciklas susideda iš keturių etapų, t. y. statybinių medžiagų gamyba, statyba, pastato eksploatacija ir griovimas (Kofoworola O. F. ir kt. 2008). Pastato medžiagų gamybos ir eksploatacijos etapuose sunaudojami dideli energijos kiekiai, todėl šiuose etapuose yradidžiausias poveikis aplinkai (Fay R., 2000; Kofoworola O. F., 2008; Junnila S., 2004). Energija būtina per visą pastato naudojimo ciklą ne tik eksploataavimo stadijoje, bet ir statybinių medžiagų gamyboje, jų transportavimo metu, statybos procesuose, vykdant pastatų priežiūrą, o vėliau ir griovimą [4]. Energija atlieka gyvybiškai svarbų vaidmenį pastato veiklose, tuo pačiu metu daro didžiausią įtaką aplinkai, nes su ja yra susiję išmetami teršalai, nuo kurių priklauso didelis poveikis aplinkai visame pasaulyje (Kofoworola O. F. ir kt., 2008).

BCV metodas labai dažnai taikomas vertinant pastatuose sunaudojamos energijos poveikį aplinkai. Plačiausiai naudojamos sąvokos yra „atsinaujinanti energija“, „eksploatuojamoji energija“, „įkūnyta energija“, „energijos suvartojimas“, „energijos efektyvumas“ ir „energijos taupymas“. Įprastai nustatytas ilgas pastato gyvenimo laikotarpis visada susietas su dideliu eksploatuojamos energijos kiekiu pastatuose. Tai apima energiją, naudojamą pastato aušinimui, šildymui, apšvietimui, ventiliacijai ir įrangai eksploatuoti bei vandentiekiiui (Zhao Z. Y. ir kt., 2014). Išnagrinėjus energijos suvartojimo kiekius šioms išvardytoms pastato specifinėms sistemoms, tampa svarbūs pastato aplinkosauginiai aspektai eksploatacinio etapo metu. BCA požiūriu galima apibrėžti ir išvardytų aspektų atžvilgiu pateikti daugiau praktinių pasiūlymų, kuriuos įgyvendinus gali būti maksimaliai padidintas energijos taupymas (Kylili A. ir kt., 2017).

Įdėta į pastatą energija, susijusi su statybos produktu apima ne tik gamybos procesus, bet ir statybos procesus (Li J. F., 2011). Nemažai straipsnių, nagrinėjančių įkūnytą pastato energiją, ir tai tampa svarbia tyrimų tema. Įkūnytą energiją sunku išmatuoti. Tačiau labai svarbu pasiekti pusiausvyrą tarp statinyje įkūnytąsios energijos ir eksploatuojamos energijos visame pastato būvio cikle (Zuo J. ir kt., 2012).

Anglis ir energija yra glaudžiai susijusios. Daug dėmesio straipsniuose skiriama CO₂ emisijų apmokestinimo problemai visame pastatų gyvavimo cikle. Energijos gamyba susijusi su šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis, anglies dvideginio išmetimu, anglies dioksido mokesčiu, anglies dioksido kiekio mažinimu, klimato kaita ir kt.

I. Sartori ir kt., 2007 atliko tyrimą apie pastatų energijos vartojimą visame statinio būvio cikle. Straipsnyje teigiama, kad pasirinkus skirtingus projektavimo kriterijus galima sumažinti energijos

sunaudojimą pastato būvio cikle. C. Thormark, 2000 teigia, kad įkūnyta pastate energija sudaro apie 45% visos energijos, reikalingos pastato naudojimui 50 metų, o pastato perdirbimui reikalinga 35% – 40% jo sunaudotos energijos. Scheuer C. ir kt., 2003 straipsnyje aprašomi kompiuterinio modeliavimo metodai, susiję su pirminės energijos suvartojimu pastatuose ir su energijos paklausa ir būvio ciklo modeliu.

Būvio ciklo energijos analizė – tai metodas, kuriame atsižvelgiama į visas energijos sąnaudas pastatui jo visame būvio cikle (Ramesh T. ir kt., 2010). Šios analizės sistemos ribos apima energijos vartojimą visuose etapuose: gamyboje, naudojant ir griauinant pastatus. Gamybos fazė apima pastato medžiagų gamybą ir transportavimą bei techninį įrengimą. Eksploatavimo etapas apima visą veiklą, susijusią su pastatų naudojimu per jų gyvavimo laikotarpį. Ši veikla apima taip pat veiksmus išlaikyti komforto būklę pastato viduje, vandens naudojimą ir elektros tiekimo ir gamybos įrangą. Pastato griovimo etapas apima pastato griovimą ir išmontuotų medžiagų transportavimą į sąvartynus ir (arba) perdirbimo įmones. Gyvavimo ciklo energija apima šiuos tipus (Ramesh T. ir kt., 2010):

- Įterptinę ar įkūnytąją energiją: visų pastatuose naudotų medžiagų energinė vertė ir techniniai įrenginiai bei energija, patiriama pastato naujos statybos ir renovacijos laiku.
- Veikianti energija: energija, reikalinga palaikyti komforto sąlygas ir kasdienę pastatų priežiūrą. Energija HVAC (šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas), karštas vanduo, apšvietimas ir eksploatuojami prietaisai.
- Griovimo energija. Pastatų eksploatavimo pabaigoje reikalinga energija jį nugriauti ir transportuoti medžiagą į sąvartynus ir (arba) perdirbimo įmones.

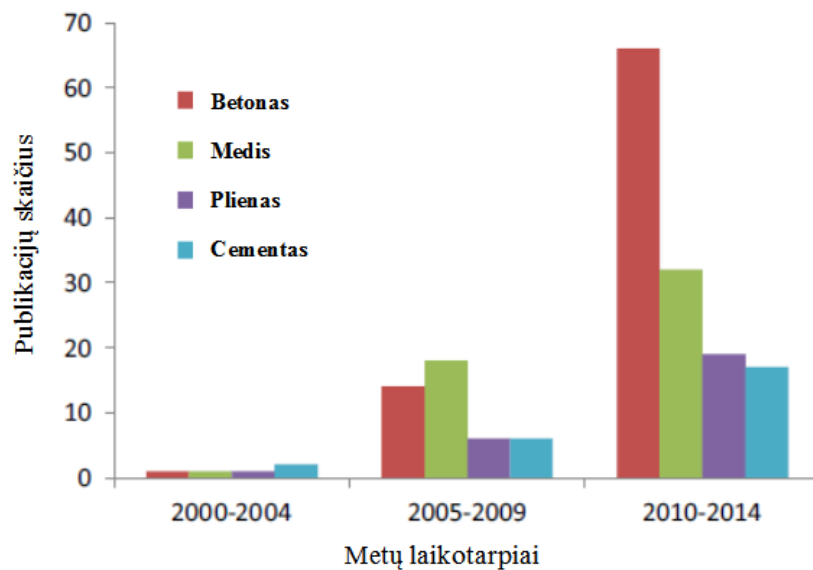
1.1.2. Statybinių medžiagų naudojimas

Moderniuose šiandieniniuose pastatuose naudojamos įvairios statybinės medžiagos. Daugiausia statybose naudojamos konstrukcinės medžiagos: smėlis, cementas, betonas, mediena, plytos ir plienas. Jų gamyboje vartojami dideli energijos kiekiai, todėl poveikis aplinkai yra ryškus (Arpad H., 2004).

Statybinės medžiagos glaudžiai susijusios su įkūnytąja energija, t.y. visa energija, suvartota pastate ar konstrukcijoje naudojamoms medžiagoms ir produktams pagaminti. Tokių medžiagų daugiausia sunaudojama pastatuose iš surenkamų gelžbetonio konstrukcijų. Labai svarbu, taupant energiją, statybai naudoti ne tik naujas medžiagas, bet ir perdirbtas. Taip pat siūloma efektyviau naudoti medžiagas optimizuojant pastato dizainą. Straipsniuose aptariamos pastangos mažinti betono tūrį naudojant didesnio stiprumo betoną. Išmetamo CO₂ kiekis vienam kubiniam metrui didelio stiprio betono yra didesnis nei paprasto betono. Tačiau tam pačiam konstrukciniam elementui reikalingas mažesnis betono kiekis (Habert G., 2012; Park J., 2012). Tokių pastatų didesnis ilgaamžiškumas, nes stipraus betono pastatai yra pranašesni už įprasto stiprio betono pastatus (Tae S. ir kt., 2011). Betonas – viena seniausių statybinių medžiagų. Betonui modifikuoti sukurta daugybė laboratorijų. Naujausi pasiekimai betoną daro tiesiog neatpažįstamą. Tipinį niūrų pilką betoną keičia naujų spalvų betonai su

įmaišytomis dalelėmis, kurios maišosi su atmosferos rūgštimis ir jas neutralizuoja (Knoeri C., 2013). Betono labai didelis šilumos laidumo koeficientas. Reikia ieškoti naujų betono sudėties parinkimo sprendimų, kurie išlaikytų tas pačias stiprumines, bet turėtų geresnes šilumos izoliacines savybes. Tokie pastatai sunaudotų mažiau energijos aušinimui ir šildymui eksploatacijos etape, tai leistų sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimus (Singh A. ir kt., 2011).

Vertinant statybinių medžiagų poveikį aplinkai visame būvio cikle, daugiausia atliekama betonu, medžiu, plienu ir cementu tyrimų (2 pav.)



2 pav. Populiariausių statybinių medžiagų tyrimas, aptartas straipsniuose (Fay R. ir kt., 2000)

Daugelyje apžvelgtų straipsnių daugiausia dėmesio buvo skiriama aplinkosauginiam statybinių medžiagų įvertinimui. Tokių tyrimų tikslas – atrinkti aplinkai nekenksmingas medžiagas ir produktus. Jönsson ir kt. Švedijoje atliko trijų grindų medžiagų (linoleumo, vinilo grindų ir medienos grindų) poveikio aplinkai gamyboje vertinimą naudojant būvio analizę. Nustatyta, kad medžio grindų danga ekologiniu požiūriu yra labiausiai pageidautina linoleumo ir vinilo alternatyva. Autoriai pabrėžė poreikį įvertinti laikymo (naudojimo etapo) ir šalinimo (būvio ciklo pabaigos etapo) poveikį siekiant išsamesnės šių medžiagų analizės (Jonsson A. ir kt., 1997). Nebel B. ir kt., 2006 atliko grindų dangų, naudojamų Vokietijoje, tyrimus; Nicoletti G. M., 2002 ir kiti palygino keramikos ir marmuro plytelių gamybos ciklų poveikį aplinkai.

Asif M. ir kt., 2007 naudodamas būvio ciklo vertinimo metodą palygino medžiagas, naudojamas gyvenamųjų namų statybose Škotijoje. Jie įvertino penkių dažniausiai naudojamų gyvenamųjų namų statybinių medžiagų (medienos, aliuminio, stiklo, betono ir keraminių plytų) gamybos etapą energijos vartojimo ir oro taršos požiūriu. Atliekant tyrimą pastebėta, kad betono gamybai sunaudojama 60 % daugiau energijos nei kitoms medžiagoms pagaminti.

Panašiai Ximenes F. A. Grant T., 2013 kiekybiškai įvertino šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, palygindamas Australijos medienos produktus – natūralios medienos lentas, klijuotas grindų lentas, parketlentes ir laminuotą grindų dangą. Tiriamųjų medžiagų poveikis aplinkai buvo mažiausias, grindims naudojant natūralią miško medieną.

Koroneos C. ir Dompros A., 2007 tyrė plytų gamybos procesą Graikijoje, naudodamiesi vietinės plytų gamybos įmonės duomenimis ir paskelbta literatūra, norėdami nustatyti galimus tobulinimo aspektus aplinkosaugos srityje. Autoriai tyrė poveikį aplinkai plytų gamybos etape. Jie teigia, kad gamybos procese į aplinką išskiriamos kuro rūgštys sudaro daugiau nei pusę bendro poveikio aplinkai. Norint sumažinti tokį poveikį, autoriai rekomendavo naudoti mažiau sieros turintį kurą.

Van der Lugt P. ir kiti, 2006 analizavo bambuko, plieno ir medienos apdirbimą Vakarų Europoje. Radhi H. ir Sharples S., 2013 įvertino įvairių fasado parametrų įtaką visuotiniam atšilimui, naudodami vietines medžiagas. Įvertinamos penkios fasado konstrukcijos, susidedančios iš skirtingų sluoksnių ir medžiagų. Atlikus tyrimą padaryta išvada, kad efektyviausios CO₂ išmetimo mažinimo priemonės tokio tipo statyboje yra išmetamųjų teršalų kiekio sumažinimas betono blokų gamybai.

Brouno R., 2011 tyrimo metu nagrinėjo 3-jų tipų konstrukcines medžiagas: tuščiavidurius betono blokus, molines plytas ir medinį karkasą. Pagrindiniai tyrimo nagrinėjami aspektai buvo CO₂ emisijos ir pirminė energija. Nustatyta, kad molinės plytos daro didžiausią neigiamą poveikį aplinkai, mažiausias poveikis – medinio karkaso. Tuščiaviduriai betono blokeliai tiek pirminės energijos, tiek emisijų atveju yra tarpinis variantas.

Dylewski R., 2011 straipsnyje vertino termoizoliacines medžiagas ekonominiu ir ekologiniu požiūriais. Poveikiui aplinkai vertinti (PAV) buvo naudojama SimaPro7.1 programinė įranga, kurioje vertinta 11 PAV kategorijų. Autorius tiesiogiai naudoja programinę įrangą siekdamas įvertinti ekologinius rodiklius.

Risholtono B., Berkerio T., 2013 darbe nagrinėta Šveicarijos pastatų mikroklimatą užtikrinančių sistemų modernizacija. Pastatų atnaujinimas vyksta keičiant energetines klases nuo F iki C. Nagrinėjamuosiuose pastatuose buvo padidinta šiluminė izoliacija, pakeisti vėdinimo sistemos šilumogrąžos įrenginiai į efektyvesnius ir įrengti atsinaujinančios energijos šaltiniai – saulės kolektoriai ir fotoelementai. Vertinta trimis pagrindiniais aspektais: globalinio atšilimo potencialas (GVP), rūgštėjimas ir fotocheminiai oksidantai (RFO) bei neatsinaujinančios energijos sąnaudos (NEŠ). GVP sumažėjo dviem trečdaliais, įvertinus atskirus kriterijus RFO sumažėjo vidutiniškai penktadaliu, NEŠ sumažėjo trečdaliu.

Sharma A., 2010 atliko vieno gyvenamojo pastato detalią analizę. Tiriamasis objektas – grindys ant grunto, ši atitvara išnagrinėta pirminės energijos požiūriu. Gauti rezultatai parodė tokį pirminės energijos pasiskirstymą medžiagose (išvardyta mažėjimo tvarka): keramika cementas, skiedinys, aliuminis, žvyras, kalkės, betonas, PVC, mediena, plienas. Straipsnio autorius lygina grindis ant grunto sudarančias medžiagas, pabrėždamas, kad šioje analizėje nėra nagrinėjama termoizoliacinė medžiaga,

kuri reikalinga grindų ant grunto konstrukcijoje. Analizės rezultatai parodė, kad daugiausia pirminės energijos tenka keramikai, o mažiausiai plienui.

Viena iš BCA pritaikymo sričių gali būti ne pačių sistemų, bet atskirų jų elementų ar net medžiagų įvertinimas įvairiais požūriais per jų būvio ciklą. Blengin G. A., Di Carlo T., 2010 vertino atskirų pastato sistemų, jas sudarančių elementų ir jų medžiagų įtaką aplinkai naudojant pastato būvio ciklą. Atliekant tyrimus tokiu metodu, neanalizuojamos tos gyvavimo ciklo fazės, kurios yra identiškos arba labai panašios tų medžiagų atžvilgiu.

Atliekant pastatų BCA būtina apibrėžti pastato gyvavimo laikotarpį, dažniausiai jis įvertinamas nuo 50 iki 100 metų. Daugelyje šalių pastatų gyvavimo trukmė vertinama skirtingai, pavyzdžiui, Olandijoje gyvenamojo namo gyvavimo trukmė dažniausiai numatoma 75 metai, o biuro, įstaigų – 20 metų. Didžiojoje Britanijoje tiek komercinės, tiek gyvenamosios paskirties pastatų gyvavimo trukmė numatyta 60 metų, Suomijoje pastato gyvavimo trukmė laikoma 100 metų, Šveicarijoje – 80 metų (Bribian I ir kt., 2010). Pastato gyvavimo trukmė – svarbus rodiklis, ieškant šilumos sąnaudų mažinimo variantų, nes jo amžius turi įtakos pastato inžinerinėms sistemoms, išorinėms atitvaroms, jų savybėms ir šilumos energijos vartojimui.

Apžvelgtoje literatūroje daugelis autorių taiko BCA analizę pastatuose, tačiau neatlieka kompleksinio išorinių atitvarų bei jų derinių vertinimo.

1.1.3. Darnumas statybos sektoriuje

Darnios statybos terminas vartojamas apibūdinti darnaus vystymo taikymą statybos pramonėje. Bazinis darnios statybos apibrėžimas suformuluotas 1994 m. JAV vykusios CIB organizuotos konferencijos metu: „Tai sveikos aplinkos statiniuose ir už jų ribų kūrimas ir valdymas, laikantis išteklių efektyvaus naudojimo ir ekologiškumo principų“. Statybos pramonė įgyvendina daugelį šalies politikos tikslų darnios plėtros srityje (Vitale P. ir kt., 2016):

- Miesto centrų ir kitų pastatų atgaivinimas (socialinis / ekonominis).
- Gyvenviečių, kuriose reikia mažiau keliauti automobiliu, planavimas (socialinis / ekologinis).
- Taupesnis energijos naudojimas (ekonominis / ekologinis).
- Naudingųjų iškasenų gavybos minimizavimas (ekonominis / ekologinis). Kraštovaizdžio apsauga (ekologinis / socialinis).

Darni statyba apibūdina procesus iki statybos aikštelės darbų (planavimo ir projektavimo procesą, jo organizavimą) bei tęsiasi baigus objekto statybą. Pagal įvairius literatūros šaltinius (Atmaca A., 2016; Ji C., 2016; Anand C. K., 2017) ji apima labai daug ir įvairių sričių:

- objekto tinkamumo bei naudingumo valdymą per visą jo gyvavimo laikotarpį;
- žemės naudojimo planavimą;

- ekosistemos apsaugą;
- racionalų išteklių naudojimą;
- gyventojų socialinių reikmių tenkinimą;
- socialinį progresą;
- ekonominį augimą;
- kultūrinio paveldo išlaikymą;
- galutinį išmontavimą;
- statybinių medžiagų perdirbimą.

Pastatai iš ekologiškų medžiagų yra komfortiški, ilgaamžiai, ekonomiški, energetiškai efektyvūs, racionaliai vartojantys gamtos išteklius visuose pastato gyvavimo ciklo etapuose: nuo vietovės parinkimo, projektavimo, statybos iki eksploatavimo bei atnaujinimo ar gyvavimo pabaigos ir darantys itin mažą poveikį aplinkai (Zuo J. ir kt., 2017).

Gamtoje dominuoja cikliški, tačiau ne tiesiniai procesai. Esama įvairių bandymų gamtinių sistemų principus taikyti žmonių sukurtiems pramonės posistemiams. Tokiu būdu siekiama reorganizuoti tiesinę ekonomiką, pagrįstą neatsinaujinančių išteklių naudojimu (Langdon D., 2007).

Turi būti kuriami lengvai pritaikomi kitai paskirčiai, taip pat galimi išmontuoti ir perdirbti objektai. Ekologiška statyba susideda iš ciklų, kurių metu vienu procesų likučiai tampa kitų ištekliais. Darnios plėtros siekis ypač sustiprina statybos pramonės ir aplinkos ryšį. Tai svarbiausias iš visų pramonės sektorių. Statybos pramonė sukuria fizinį paslaugų ir infrastruktūros pagrindą. Ši infrastruktūra yra ilgalaikė ir formuoja žmonių gyvenimo būdą šimtui ar daugiau metų (Lu A. ir kt., 2000).

Pagrindiniai darnios statybos principai yra šie: išteklių naudojimo sumažinimas, antrinis išteklių naudojimas, perdirbimas ir atsinaujinančių resursų naudojimas, aplinkos apsauga visose veiklos srityse, nuodingųjų medžiagų naudojimo sumažinimas / atsisakymas, visos kainos apskaitos naudojimas, aplinkos kokybės kūrimas.

Tinkamas statybinių medžiagų, konstrukcinių ir projektinių sprendimų parinkimas yra vienas iš plačiau literatūroje aptartų darnios naujos statybos elementų. Balansas pasiekiamas minimizuojant medžiagų ir energijos sąnaudas, užtikrinant reikiamą žmonių pasitenkinimą ir komfortą, sukelti minimaliai neigiamą įtaką aplinkai (Weiler V. ir kt., 2016).

Parentant statybines medžiagas ir konstrukcinius bei projektinius sprendimus darnios statybos kontekste, pagrindiniai vertinimo kriterijai yra išteklių sąnaudos, poreikių tenkinimo laipsnis ir poveikio aplinkai lygis.

Sąvokos „darnus“ ir „aplinkai nekenksmingas“ pastatas dažnai vartojamos daugelyje straipsnių, kuriuose analizuojamas pastatų poveikis. Darnią statybą apibrėžė profesorius C. J. Kibert, 2012 „sveikos kūrybos ir atsakingos priežiūros aplinka, paremta išteklių naudojimo ir ekologijos principais“.

Iš esmės darnus pastatas yra tas, kur turėtų būti atsižvelgiama į ekonominius, socialinius ir aplinkos aspektus visą pastato gyvenimo ciklą (Sev Aysin, 2009).

Terminai: „aplinkai nekenksmingas pastatas“, „žalias pastatas“, „pastatas su mažu energijos vartojimu“, „mažai anglies dioksido išskiriantis pastatas“, „nulinių emisijų pastatas“, „ekologiškai tvarus pastatas“ dažni straipsniuose, kuriuose rašoma apie darnią statybą. Pastebimas vis didėjantis žaliųjų pastatų naudojimas visame pasaulyje. Yra keli ekologiškų pastatų aspektai, t. y. patalpų aplinkos kokybė visame pastato būvio cikle; ekologiškos statybos technologijų taikymas ir visapusiškas atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas (Kofoworola O. F. ir kt., 2008). Statybos pramonė daro didelį poveikį pasaulinio masto socialiniams ir ekonominiams procesams, ji sunaudoja didelį kiekį energijos ir kitų gamtos išteklių. Norint išsiaiškinti, kokį poveikį pastatas padarė aplinkai, atliekami pastato būvio ciklo vertinimo tyrimai. Be oro taršos anglies dvideginiu, yra ir kitų įvairių teršalų, kurie spinduliuojami į aplinką ir dėl to kyla rimtų aplinkosaugos padarinių, tokių kaip ODP (ozono sluoksnio nykimo potencialas), AP (rūgštėjimo potencialas) ir EP (eutrofikacijos potencialas), Shengan G. ir kt., 2017.

Remiantis kitais šaltiniais (Singh A., 2011; Buyle M, 2013), darnios statybos sąvoka gali būti apibrėžta tokiais teiginiais: efektyvus energijos ir išteklių naudojimas, taršos prevencija, poveikio aplinkai vertinimas, siekiant statybos veiklos ir aplinkos darnios sąveikos, integralus ir sisteminis požiūris visuose statybos ciklo etapuose. Apibendrinant nagrinėtą literatūrą galima daryti išvadą, jog sąvoka „darni statyba“ vertinama keleriopai. Akivaizdu, jog darni statyba apima daugybę ginčytinų klausimų ir reikalavimų. Bet kokia diskusija apie tai, ką statyti, kur statyti, ar iš viso statyti, turi sąsają su aplinka. Patalpų išplanavimas, ryšys su sklypu, atmosferos ir vėjo poveikis, saulės energijos panaudojimo galimybė, orientavimas pasaulio šalių atžvilgiu, ventiliacija, medžiagų ir konstrukcijų sąranka turi būti įvertinti poveikio aplinkai ir pastatuose gyvenančių žmonių aspektu (Shengan G. ir kt., 2017).

Vertinant pastatus darnumo požiūriu visada išskiriamas energijos poreikių arba išteklių sumažėjimas, kuris vertinamas įvairiai: sutaupytos energijos poreikis (Blengin G. A. ir kt., 2009), sutaupytos ir įkūnytos energijos (atnaujinimo proceso metu) skirtumas (Bribian, I. ir kt., 2010). Mwashia ir kt., 2011 atliko statybų sektoriaus dalyvių (konstruktorių, architektų, konsultantų, aplinkosaugininkų) apklausą norėdami išsiaiškinti, kokie yra svarbiausi darnaus pastatų projektų vertinimo kriterijai. Tyrimo išvadose suformuluotas darnumo kriterijų derinys yra energijos efektyvumas, poveikis aplinkai, prieinamumas, socialinė nauda, medžiagų efektyvumas ir ilgalaikiškumas (Broun, R. ir kt., 2011). Kiekvienoje studijoje darnumo kriterijai pasirenkami individualiai, tai priklauso nuo studijos analizės požiūrio pobūdžio (politinio, ekonominio, aplinkosauginio) ir kriterijai pasirenkami labai įvairiai. Tačiau kiekvienoje studijoje, kurioje buvo atliekamas darnus vertinimas buvo vertinamas energijos efektyvumas, poveikis aplinkai ir ekonominė nauda.

1.1.4. Technologijų įtaka pastatų poveikiui būvio cikle

Technologijos – svarbi priemonė pasiekti pastato darnai. Nepaisant to, kad jau išrasta nemažai pastatų šiltinimo medžiagų ar sukurta jų sistemų, pagrindinės ir dažniausiai naudojamos medžiagos tebėra mineralinė vata ir putų polistirenas su įvairiomis variacijomis. Kiekviena šių medžiagų naudojama skirtingoms konstrukcijoms apšiltinti. Apšiltinus fasadą, sienos apsaugomos nuo didelio temperatūrų svyravimo. „Rasos taškas“ persikelia į šilumos izoliacijos sistemą, todėl sienos viduje temperatūra padidėja ir tampa artima patalpos oro temperatūrai. Tai neleidžia sienoje kauptis drėgmei ir atsirasti grybeliui, o šiluma ne taip greitai išeina iš patalpos per išorinę sieną (Zuo J. Ir kt., 2014). Tinkama šiluminė izoliacija pastatuose padeda sumažinti energijos sąnaudas, o tai leidžia taupyti iškastinį kurą. Sienų šiltinimo efektyvumas labai priklauso nuo tinkamai pasirinktų technologijų, statybininkų sąžiningo darbo, sandarumo užtikrinimo (Kibert A. ir kt., 2012). Parinkus tinkamas izoliacines medžiagas, optimalų izoliacijos storį, sumažinamas energijos suvartojimas per visą pastato būvio ciklą ir mažėja investicijos į izoliacines medžiagas.

Nacionalinis standartų ir technologijų institutas (NIST) būvio ciklo kainą apibrėžia kaip bendrą pastato nuvertėjimą per eksploatavimo ir priežiūros laikotarpį (Iribarren, D. ir kt., 2014). Būvio ciklo sąnaudų analizė nustato bendrą savikainos ir eksploatavimo kainos pokytį per tam tikrą laikotarpį. Būvio ciklo išlaidų analizę galima atlikti tiek dideliuose, tiek ir mažuose pastatuose ar pastatų sistemose. Daugelis pastatų savininkų taiko būvio ciklo išlaidų analizės principus priimdami sprendimus dėl naujo objekto statybos ar esamo rekonstravimo.

Statybos ir pastatų poveikio aplinkai vertinimas apima ne tik paprastą atskirų produktų ir medžiagų vertinimą (Risholtn, B. ir kt., 2013). Tyrimais bandoma įvertinti pastatus, pastatų sistemas ir statybos procesus. Šie tyrimai dažnai nustato būvio ciklo etapus, turinčius didžiausią poveikį. Citherlet ir Defaux pristatė trijų namų projektų būvio ciklo procesų vertinimą Šveicarijoje. Jie suskirstė poveikio aplinkai vertinimo kriterijus į tiesiogines ir netiesiogines kategorijas. Tiesioginis poveikis apima visą su vartojimu susijusias energijos vartojimo įtakas, o netiesioginis poveikis apima kitas medžiagų gavybos, gamybos, statybų, griovimo ir kt. įtakas prieš pastatymą ir po jo. Tyrimų rezultatai rodo, kad tiesioginis poveikis aplinkai gali būti gerokai sumažintas padidinus šilumos izoliacijos storį ir naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius.

Fay, R. ir kt., 2000 atliko vienos šeimos rezidencijos tyrimą, taikant būvio ciklo įvertinimą ir būvio ciklo sąnaudų analizę (BCSA). Šiame straipsnyje trumpai paaiškinamos kai kurios teorinės problemos, susijusios su būvio ciklo energetikos analize. Pavyzdžiui, nustatyta, kad dvigubai padidinus šilumos izoliacijos storį, Australijoje per 100 pastato naudojimo metų sutaupoma mažiau nei 6 % visos pastato eksploatacinės energijos. Tai rodo, kad be papildomos izoliacijos reikia ieškoti kitų alternatyvių energijos taupymo būdų. Energijos vartojimo efektyvumas ir kitos aplinkosaugos strategijos turėtų būti prioritetingos visose šalyse.

Ankstesni tyrimai analizavo visus pastatus, kai kurie mokslininkai tyrimus atlieka su atskiromis pastatų posistemėmis. Pavyzdžiui, Osman ir Ries naudojo proceso pagrindu pagrįstą BCV sistemą, skirtą nedidelio termofikacijos įrenginio statybos ir eksploataavimo poveikiui aplinkai įvertinti, siekiant patenkinti komercinio pastato energetinius poreikius. Jie atliko energijos modeliavimą, kad nustatytų pastato energetinius poreikius per vienerius metus. Autoriai teigia, kad tam tikri maži termofikacijos įrenginiai gali būti ekologiškai tinkamesni nei įprastos energijos gamybos ir perdavimo įrenginiai.

Muga ir kt. apskaičiavo ir palygino ekologiško ir tipinio stogo ekonominę ir ekologinę poveikį aplinkai. Jų poveikio aplinkai tyrimas parodė, kad apželdinto, ekologiškų medžiagų stogosienelei pagaminti išleidžiama tris kartus daugiau aplinkos teršalų nei įprastam stogui. Tačiau eksploataavimo ir priežiūros eksploatacijos laikotarpiu įprastas stogas tris kartus daugiau teršia aplinką nei žalias stogas. Sujungus visus vertinamus etapus – medžiagų išgijimo gyvavimo, eksploataavimo, nugriovimo – įprastas stogas per 45 metų pastatų eksploatacijos laikotarpį išmeta teršalų 46 % daugiau nei apželdintas stogas. Būvio ciklo sąnaudų rezultatai, naudojant Monte Karlo modeliavimą, parodė, kad „žalio“ stogo sąnaudos per 45 metų pastato eksploataavimo trukmę yra maždaug 50 % mažesnės negu įprasto stogo.

Paskelbta labai mažai tyrimų, kuriuose vertinamas pastatų modernizavimas, tačiau 2013 m. (Ardente ir kt., 2011) pristatė lyginamąjį šešių viešųjų pastatų, kuriuose įgyvendinti modernizavimo sprendimai, tyrimą. Buvo tiriami šie pastatai: senoji alaus darykla (Brno, Čekijos Respublika), senoji medinė bažnyčia (Gol, Norvegija), kolegijos pastatas (Plimutas, Jungtinė Karalystė), Provehallen kultūros centras (Kopenhaga, Danija), slaugos namai (Štutgartas, Vokietija) ir universiteto pastatas (Vilnius, Lietuva). Autoriai teigia, kad didžiausia nauda, susijusi su energijos sutaupymu ir išmetamo CO₂ kiekio mažinimu, daugiausia siejama su šilumos izoliacijos gerinimu. Tačiau pakeitus apšvietimo įrangą ir langus taip pat sutaupoma nemažai energijos. Įdiegtos saulės ir vėjo jėgainės padidino atsipirkimo kaštus, nei buvo prognozuota modernizacijos projektavimo stadijoje.

Pagrindines BCV taikymo tikslinės grupės ankstyvajame pastato projektavimo etape yra nekilnojamojo turto makleriai, architektai ir miestų planuotojai (Bribian Z. Ir kt., 2009)

Mažai energijos naudojančios pastatai turi specifinę konstrukciją, kuri reikalauja mažesnės eksploatacijos ir gyvavimo ciklo energijos, nei pastatyta pagal įprastus kriterijus (Zimmermann M. ir kt., 2005). Brangstant energijos šaltiniams ir siekiant sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą į atmosferą, svarbu užtikrinti kuo mažesnę energijos vartojimą visose srityse. Pastatams šildyti suvartojama nemaža dalis pagaminamos energijos. Reikalavimai tokiems pastatams nustatomi, atsižvelgus į šalies klimato sąlygas, statybos tradicijas, naudojamą technologijas, galimybę panaudoti atsinaujinančius energijos šaltinius, jų efektyvumą ir numatomas pastate vykdyti veiklas. Reikalavimai turi būti pagrįsti ne tik energijos taupymo, bet ir ekonominių rodiklių požiūriu. Siekiant eiti darnaus vystymosi politikos keliu, įvairiose srityse bandoma ieškoti būdų, kaip minimizuoti žalą aplinkai. Šiam tikslui pasiekti svarbu rasti alternatyvų, kaip sumažinti energijos gamybos neigiamą įtaką gamtai bei didinti energijos vartojimo efektyvumą. Vienas iš būdų – dėmesys pastatų energetiniam efektyvumui, siekiant projektuoti statinius, naudojančius kuo mažiau energijos arba net ją gaminančius (Winther BH.

Ir kt., 1999). Nulinio vartojimo pastatui energijai gaminti nereikalingas nei kuras, nei elektra, nes visa reikalinga energija pagaminama vietoje (naudojant saulės ir vėjo energiją).

Sartori, I., Hestnes A. G., 2007 apžvelgė tradicinių, mažos energijos ir nulinės energijos pastatų būvio ciklo energijos suvartojimą. Šešios pastato versijos (viena tradicinė, keturios mažos energijos ir viena nulinės energijos) analizuojamos Vokietijos kontekste. Rezultatai rodo, kad nulinio vartojimo pastato būvio cikle suvartojama daugiau energijos nei kituose pastatuose. Taip yra todėl, kad mažos energijos pastatai, taupant energijos priemones, suvartoja nedaug energijos, taigi jų gyvavimo ciklo energija lyg ir smarkiai sumažėja. Tačiau pasyvaus ar nulinės energijos namo atveju, nors jo eksploatacinė energija yra lygi beveik nuliui, pastato įkūnytoji energija yra tokia didelė, kad viršija kai kurių name įdiegtų mažos energijos šaltinių gyvavimo ciklo energiją. Tai rodo, kad energijos požiūriu nulinės energijos būstas nėra mažiausias būvio ciklo energijos vartotojas tarp kitų pastatų variantų, o energijos sutaupymas įdiegiant sudėtingus techninius įrenginius pastato gyvavimo cikle neatsiperka.

Panašiai Winther ir Hestnes palygino „nulinės“ energijos namą Freiburge su kitais penkiais skirtingų energijos šaltinių namais. „Nulinės“ energijos namo įkūnytoji energija buvo didesnė už didžiausią energijos suvartojimą kituose namuose. Tai reikalauja išsamesnio tyrimo. Tačiau galima daryti išvadą, kad kruopščiai suprojektuoti, mažai energijos naudojantys pastatai būvio ciklo kontekste turi mažesnę poveikį aplinkai nei nulinės energijos namai. Per daug techninių įrenginių yra neekonomiški visais požiūriais (Proietti S. ir kt., 2013).

Proietti naudojo būvio ciklo vertinimo metodą, siekdamas ištirti pasyvaus namo poveikį aplinkai, įvertinant pastatų atitvaras, perdirbtas medžiagas, lietaus vandens pakartotinį naudojimą, mažesnę energijos suvartojimą, atsinaujinančios energijos naudojimą. Rezultatai parodė, kad taikant energijos taupymo priemones (labai izoliuotas pastato apvalkalas ir pasyvaus namo standartas, saulės energija, atliekų perdirbimas ir perdirbami produktai prieš pakartotinės gamybos iš jų etapą) gali žymiai sumažinti šiuolaikinių gyvenamųjų namų poveikį, įsisaugant, kad nauji statybos būdai ne visada teikia teigiamą poveikį aplinkai. Panašus tyrimas atliktas Thiel ir kt. JAV, Monahan ir Powell, kurie dar kartą pabrėžia įkūnytos energijos poreikį pastatams.

Tarptautinė standartizacijos organizacija (angl. – *International Organization for Standardization*, toliau tekste – ISO) apibendrina sukaupią patirtį ir parengė tarptautinius standartus aplinkosaugos srityje. Šie standartai žinomi kaip ISO 14000 serija. ISO 14000 standartų šeima atspindi tarptautinį susitarimą dėl geros aplinkos ir verslo praktikos, kuri gali būti taikoma įvairių organizacijų visame pasaulyje. 14040 serija daugiausia skirta BCV metodikų nustatymui. Panašius metodus priėmė kitos tarptautinės organizacijos.

Apibrėžiant BCV tyrimo apimtį ISO 14040 reikalauja išnagrinėti ir aiškiai aprašyti šiuos aspektus:

- produkto sistemos ar sistemų, jei tyrimai yra palyginamieji, funkcijas;
- funkcinį vienetą;

- tiriamąją produkto sistemą;
- produkto sistemos ribas;
- paskirstymo metodikas;
- poveikių kategorijas, poveikio vertinimo metodus ir interpretavimo būdus;
- duomenų kokybės reikalavimus;
- prielaidas;
- trūkumus;
- kritinės peržiūros (jei reikia) tipą;
- tyrimui reikalingos ataskaitos tipą ir formatą.

1.2. Statybos teisinis reguliavimas

Vadovaujantis Europos Parlamento ir Tarybos 2009 m. balandžio 23 d. sprendimu Nr. 406/2009/EB dėl valstybių narių pastangų mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, Bendrijai siekiant įvykdyti įsipareigojimus iki 2020 m. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (OL 2009 L 140, p. 136), ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemoje nedalyvaujančiuose sektoriuose, kurių vienas yra statybos sektorius, Lietuva neturėtų viršyti nustatytų metinių išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (toliau – ŠESD) kiekio limitų. Taip pat pasiekti, kad bendras ŠESD kiekis 2020 m. nepadidėtų daugiau kaip 15 %, lyginant su 2005 m. išmestu ŠESD kiekiu, ir per 8 metus neviršytų 113 600 821 tonų CO₂ ekv. limito. Šiam tikslui pasiekti atskiruose Lietuvos ūkio sektoriuose, įskaitant ir statybos sektorių, siekiama augimą atsieti nuo išteklių naudojimo, remti perėjimą prie mažo anglies dioksido kiekio technologijų, didinti atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimą, skatinti energijos vartojimo efektyvumą, sumanių technologijų naudojimą, prisitaikyti prie klimato kaitos.

Esminių poveikių Lietuvos statybos sektoriaus aktyvumui, vystymuisi (įskaitant ir naujų įgūdžių formavimą, naujas kvalifikacijas) ir augimui turi ir turės šiuose ES ir nacionaliniuose teisės aktuose išdėstyti tikslai ir prioritetai energijos vartojimo efektyvumo didinimo srityje.

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos 2010 m. gegužės 19 d. direktyvos 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo (OL 2010 L 153, p. 13) nuostatas į nacionalinę teisę perkeltantį Lietuvos Respublikos statybos įstatymą, po 2018 m. gruodžio 31 d. valstybės ir savivaldybių institucijų, įstaigų ir įmonių statomi nauji pastatai, o po 2020 m. gruodžio 31 d. visi statomi nauji pastatai turi būti energijos beveik nevarojantys pastatai, kaip jie suprantami pagal Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymą. Siekiant užtikrinti nuoseklų šių reikalavimų įgyvendinimą, statybos techniniame reglamente STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“, patvirtintame Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2012 m. rugpjūčio 21 d. įsakymu Nr. D1-674 „Dėl Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m. gruodžio 20 d. įsakymo Nr. D1-624 „Dėl statybos techninio reglamento STR 2.01.09:2005 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo

sertifikavimas“ patvirtinimo“ pakeitimo“, nustatyta, kad naujų pastatų energinio naudingumo klasė po 2016 m. sausio 1 d. turi būti ne žemesnė kaip A; po 2018 m. sausio 1 d. – ne žemesnė kaip A+; po 2021 m. sausio 1 d. – ne žemesnė kaip A++.

Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, patvirtinta Lietuvos Respublikos Seimo 2012 m. birželio 26 d. nutarimu Nr. XI-2133 „Dėl Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo“, pagal kurią vienu Lietuvos energetikos sektoriaus tikslų iki 2020 m. įvardytas siekis kasmet 1,5 % padidinti galutinio energijos vartojimo efektyvumą, kurio didžiausią potencialą sudaro šilumos vartojimo efektyvumo didinimas gyvenamuosiuose ir viešojo sektoriaus pastatuose. Siekiant išnaudoti šį potencialią, į šių pastatų atnaujinimą (modernizavimą), aktyviai dalyvaujant valstybei, nuolat investuojama.

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 nevarojantį pastatą (jo dalį).

Pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė nustatoma pagal mėnesinę pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio C1 vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui; pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio C2 vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti; pastato atitvarų skaičiuojamųjų savitųjų šilumos nuostolių; mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistemos techninių rodiklių; pastato pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės; pastato sandarumo; šiluminės energijos sąnaudas pastatui šildyti; ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientų nustatymo būdą; pastate sunaudojamos energijos dalį iš atsinaujinančių išteklių.

Atitinkamos energinio naudingumo klasės pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C1 ir C2 vertės turi atitikti šiuos reikalavimus:

- A++ klasės: $C1 < 0,25$ ir $C2 \leq 0,70$;
- A+ klasės: $0,25 \leq C1 < 0,375$ ir $C2 \leq 0,80$;
- A klasės: $0,375 \leq C1 < 0,5$ ir $C2 \leq 0,85$.

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+.

Statomų pastatų, kuriems prašymas išduoti leidimą statyti naują statinį ar rašytinį įgalioto valstybės tarnautojo pritarimą statinio projektui pateiktas 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++.

Projektuojant pastato (jo dalies) energinį naudingumą, turi būti įvertinta pastato (jo dalies) vidaus šiluminė talpa. Pastato atitvarų ir vidaus konstrukcijų masyvumo didinimas didina pastato vidaus

šiluminę talpą, trumpina pastato šildymo trukmę, mažina energijos sąnaudas pastatui šildyti ir pastato perkaitimą vasaros laikotarpiu. Pastato atitvarų ir vidaus konstrukcijų masyvumo didinimas leidžia pasiekti aukštesnę pastato energinio naudingumo klasę. Siekiant suprojektuoti efektyviausius energinio naudingumo požiūriu pastatus (jų dalis), pirmenybė turi būti teikiama masyvioms atitvaroms ir masyvioms pastato (jo dalies) vidaus konstrukcijoms.

Projektuojant pastato (jo dalies) energinį naudingumą, turi būti įvertinti skaidrių atitvarų plotai, atitvarų orientacija pasaulio šalių atžvilgiu ir atitvarų apsaugos nuo saulės spinduliuotės priemonių efektyvumas. Esant dideliems langų, stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų plotams, vasaros laikotarpiu dėl saulės spinduliuotės poveikio patalpos gali perkaisti ir atsirasti energijos poreikis pastatui vėsinti. Projektuojant pastatus turi būti numatytos šių atitvarų apsaugos nuo saulės spinduliuotės priemonės, kontroliuojami šių atitvarų plotai ir jų orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, kad pastato patalpos būtų apsaugotos nuo perkaitimo.

Projektuojant pastato (jų dalies) energinį naudingumą, turi būti įvertintos energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) vėsinti. Pastato (jo dalies) norminių energijos sąnaudų skaičiavimuose turi būti priimta, kad energijos sąnaudų pastatui (jo daliai) vėsinti nėra. Jei dėl pastato (jo dalies) projektinių sprendimų atsiranda energijos sąnaudos pastatui vėsinti, pastato (jo dalies) energinis naudingumas mažėja, todėl pastato (jo dalies) projektavimo metu pirmenybė turi būti teikiama projektiniams sprendimams, kuriuos naudojant nereikia energijos vėsinti pastatą (jo dalį) šiltuoju metų laiku.

1.3. Ekologiškos statybos svarba klimato kaitai

Architektams ir inžinieriams, kuriantiems ilgalaikius žmogaus darbo produktus, viena iš logiškų subalansuotos plėtros prasmų yra ta, kad pastatai turi būti tokie, kad jie nenaudotų neatsinaujinančių kuro išteklių. Atsisakyti neatsinaujinančių kuro išteklių reikia, nes iškasti ir sunaudoti ištekliai (anglys, nafta, dujos ir uranas) nebeatsinaujina, todėl jų negalės naudoti ateinančios kartos. Pateikiama įvairių neatsinaujinančių išteklių skaičiavimų. Britanijos vėjo energijos asociacija JK situaciją apibūdina taip: „Daug diskutuojama, kaip ilgai bus galima naudoti naftą, dujas ir anglis, tačiau niekas neabejoja, jog vieną dieną jų atsargos išseks. Vyriausybė paskaičiavo, kad likusių JK rezervų, esant dabartiniam suvartojimui, naftos užteks 13 metų ir dujų 25 metams“ (Blengini, G. A. ir kt., 2010).

Sumažinti per pastato gyvavimo ciklą sunaudojamų išteklių kiekį – ir kartu susijusį poveikį aplinkai – galima:

- skatinant geresnį projektavimą, kuomet pasveriamas išteklių naudojimas ir pastato poreikiai bei funkcionalumas, taip pat apsvarstomi išmontavimo variantai;
- geriau suplanuojant projektą, kad būtų naudojama daugiau efektyviai išteklius ir energiją naudojančių produktų;
- skatinti gaminti statybos produktus efektyviau naudojant išteklius, pavyzdžiui, naudoti perdirbtas medžiagas, pakartotinai panaudoti esamas medžiagas, o atliekas sunaudoti kurui;

- skatinti pastatus statyti ir renovuoti efektyviau naudojant išteklius, pavyzdžiui, sumažinti statybos atliekų kiekį ir perdirbti arba pakartotinai panaudoti medžiagas bei produktus, kad mažiau jų būtų šalinama sąvartyne.

Siekiant mažinti neigiamą su grynųjų medžiagų išgavimu susijusį poveikį aplinkai, medžiagų ir netgi visų produktų perdirbimas ir pakartotinis naudojimas tampa vis svarbesniu efektyvaus medžiagų naudojimo būdu. Tačiau bendra pusiaulyra labai priklauso nuo to, ar vietos, regiono ar nacionaliniu lygmeniu egzistuoja veiksminga perdirbimo sistema, kuri yra patraukli ir rentabili alternatyva šalinimui sąvartyne. Perdirbimo alternatyvų patrauklumą lemia transportavimo iki perdirbimo vietos atstumai, galimybė gauti reikiamo grynumo perdirbtas medžiagas ir perdirbimo bei gamybos procesai.

Energijos vartojimui pastatų naudojimo etape – t. y. šildymui ir apšvietimui – jau taikomi įvairūs ES reglamentai. Gaminant statybos produktus ir statybos procese suvartojamos energijos kiekis taip pat sudaro didelę pastato poveikio aplinkai dalį. Tyrimų duomenimis, 5–10 proc. visos ES suvartojamos energijos yra susiję su statybos produktų gamyba. Be to, pastatų įkūnytasis šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis didėja ir gali sudaryti didelę bendro išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio dalį. Norint poveikį aplinkai mažinti efektyviai, turi būti atsižvelgiama į visą pastato gyvavimo ciklą. Antraip tam tikras poveikis gali likti nepastebėtas arba gali iškilti papildomų problemų kituose gyvavimo ciklo etapuose. Pavyzdžiui, pastato naudojimo etape taikant tam tikrus energijos vartojimo efektyvumo didinimo sprendimus vėliau gali būti sunkiau arba brangiau perdirbti jo medžiagas.

Žemiau pateiktoje 1 lentelėje palyginamieji rodikliai akivaizdžiai rodo ekologiškai efektyvių technologijų naudojimo aplinkosauginę naudą gaminant statybines medžiagas, energijos vartojimo ir anglies dvideginio išmetimo į atmosferą atžvilgiu.

1 lentelė. Statybinių medžiagų energijos vartojimas ir CO₂ išsiskyrimai („BAL-TON“ duomenys, Vokietija)

Statybinės medžiagos	Tankis, t/m ³	Energijos vartojimas, kWh/m ³	Išskirta ar sukaupta, CO ₂ , kg/m ³
Korėtos degtos plytos	1,4	630	117
Akytbetonis	0,8	600	111
Mineralinis pluoštas	0,02-0,14	100–700	74
Polistirolas	0,015-0,03	530–1500	140
Poliuretanas	0,03-0,035	1140–1330	160
Medžio pluošto kieta plokštė	0,19-0,24	1510–1705	
Lengvo molio plokštė	0,6	25	-170
Šiaudų plokštė	0,4	185	-140
Vilna	0,025	25	-31

Iribarrenas D., 2014 pabrėžė, kad į ekologinius kriterijus turi būti kreipiamas ypatingas dėmesys. Šiame tyrime išanalizuoti 175 tipai išorinių sienų, naudojant tris pagrindinius žingsnius – duomenų surinkimą, inventarinę analizę ir poveikio aplinkai vertinimą (PAV). Pasirinkti deriniai atitiko pasyviems pastatams keliamus reikalavimus, t. y. išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas = 0,16

W/m²K. Nustatyta, kad ekologiniu požiūriu priimtinausios atitvaros, kuriose vyrauja gamtinės kilmės medžiagos. Vienas iš pavyzdžių, kai konstrukcinę dalį sudaro: mediniai rąstai, termoizoliacinė dalis – kanapių pluoštas. Iribarreno D., 2014 tyrimas yra aktualiausias sudarant derinius, tačiau atliekamas tik PAV vertinimas.

2. GYVENAMŪJŲ NAMŲ BŪVIO CIKLO TYRIMO METODIKA

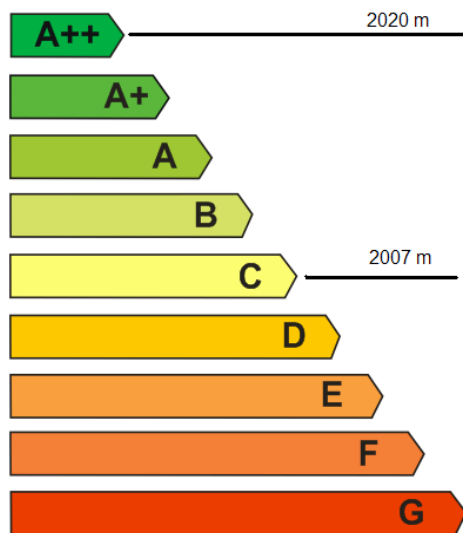
2.1. Tyrimo objektas

Statyba yra strategiškai svarbi ūkio šaka, kuri užtikrina pastatų ir infrastruktūrą, nuo kurių priklauso ir visos kitos pramonės šakos, buvimą. Statistikos departamento duomenimis, statyba yra vienas sparčiausiai besiplėtojančių ir turinčių didelių plėtros galimybių Lietuvos ūkio sektorių. Statybos sektorius – vienas svarbiausių Europos Sąjungoje, kuris sukuria apie 10 % BVP ir jis teigiamai veikia užimtumo augimą kitose susijusiose ekonominėse veiklose. Statybos gamybos procesuose ir eksploatuojant statinius sunaudojama apie 50 % Lietuvai reikalingos energijos, o pastatams ir inžineriniams statiniams sunaudojama apie 50 % visų šalies materialinių investicijų. Anot Statistikos departamento, 2017 metais Lietuvoje augo tik gyvenamųjų namų statyba – gyvenamųjų pastatų statybos darbų atlikta 10,4 % daugiau nei ankstesniais metais.

Vykstant klimato kaitai, didėjant aplinkos taršai ir brangstant tradiciniams energetikos ištekliams, statybų rinkoje vis sparčiau populiarėja idėjos apie ekologiškų medžiagų ir alternatyvių produktų panaudojimą – tai niša, kuri Lietuvoje dar nėra pakankamai išnaudota, tačiau vis daugiau žmonių susimąsto apie tokio būsto statybas.

Pastatai, statiniai su jų aplinka, taip pat inžinerinės komunikacijos yra svarbūs miestų elementai. Nuo jų tiesiogiai priklauso inžinerinio-techninio miesto darnos komponento būseną. Be to, statiniai, infrastruktūra netiesiogiai veikia miesto socialinę, ekonominę, gamtinę sferas. Pavyzdžiui, šildant neekonomiškus pastatus labiau teršiama atmosfera; netinkamas patalpų mikroklimatas sukelia didesnę gyventojų ar darbuotojų sergamumą; nelankstus patalpų išplanavimas reikalauja didesnių kaštų keičiant jų paskirtį.

Nuo 2020 m gruodžio 31 d. Europos Sąjungos valstybės narės pagal Europos direktyvos 2010/31/EU reikalavimus turi užtikrinti, kad visi naujai statomi pastatai būtų beveik nulinės energijos pastatai. Lietuvoje tokią kategoriją atitiktų A++ klasės pastatai. A++ klasė yra laikoma aukščiausia, nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą (3 pav.).



3 pav. Pastatų energinio naudingumo klasės

Energijos mažai vartojantys pastatai – labai aukšto energinio naudingumo pastatai, kuriuose energijos sunaudojimas artimas nuliui arba energijos sunaudojimas labai mažas; didžiąją sunaudojamos energijos dalį sudaro atsinaujinančių išteklių energija, įskaitant vietoje ar netoliese pagamintą atsinaujinančių išteklių energiją. A++ klasė yra laikoma aukščiausia, nurodo energijos beveik nevirtojantį pastatą, G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą.

Skirstant pastatus į energinio naudingumo klases reglamentuojami išorės atitvarų šilumos perdavimo koeficientai (U_N , $W/(m^2 \cdot K)$) bei savitieji šilumos nuostoliai (H_N , W/K), kurie taip pat tiesiogiai priklauso nuo šilumos perdavimo koeficientų. Šilumos perdavimo koeficientas U parodo išeinančios šilumos kiekį W pro atitvaros $1 m^2$ per $1 h$, kai išorės ir vidaus temperatūrų skirtumas yra $1 K$ arba $1 ^\circ C$. Šilumos perdavimo koeficientas U yra tiesiogiai proporcingas šilumos kiekiui Q , išeinančiam pro statinio išorines atitvaras. Kuo šis koeficientas mažesnis, tuo mažiau šilumos energijos reikia pastatams šildyti, tuo mažesni statinių šilumos energijos nuostoliai, mažiau sudeginama kuro, mažiau išmetama į atmosferą teršalų, sukeliančių šiltnamio efektą, pigesnė pastatų eksploatacija ir pan. Šilumos perdavimo koeficientas U reglamentuojamas STR 2.05.01:2005.

2.1.1. Mažai energijos naudojančios namai

Šiuo metu vis dažniau išgirstame tokias sąvokas kaip „mažai energijos naudojančias pastatas“, „pasyvusis pastatas“ ir pan. Pastatų skirstymas pagal energijos sąnaudas atsirado kaip palaipsniui perėjimo prie labai efektyvių namų statybos proceso išraiška. Nėra vieningo apibrėžimo, kas yra „pasyvusis pastatas“ ar „mažai energijos naudojančias pastatas“ – skirtingose šalyse šie pastatai apibūdinami skirtingai. 2 lentelėje pateikiamas skirtingų pastatų tipų pagal jų energijos vartojimo lygį palyginimas.

2 lentelė. Pastatų šilumos energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus (Efektyvaus energijos vartojimo pastatuose vadovas, 2008)

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

Mažai energijos naudojančių pastatų bendras metinis šilumos poreikis neviršija 85 kWh/m². Projektuojant, statant ir naudojant mažai energijos naudojančius pastatus svarbu:

- kompaktiška pastato forma (sumažinamas paviršių, per kuriuos netenkama šilumos, plotas);
- gerai apšiltintos ir sandarios atitvaros;
- šiluminių tiltelių sumažinimas rūpestingai sudūrus konstrukcijas;
- pasyvusis (tiesioginis) saulės energijos naudojimas pro langus;
- laikinas langų apšiltinimas naktį, naudojant langines, žaliuzes, storas užuolaidas;
- vėdinimo sistema su šilumograža;
- paprastai reguliuojama šildymo sistema;
- aktyvus saulės ir vėjo energijos naudojimas (vandens šildymas saulės kolektoriuose, saulės fotoelementai ar vėjo jėgainė elektros energijai, šilumai gaminti);
- taupus elektros energijos naudojimas (A ir aukštesnės klasės buitinė įranga, energiją efektyviai naudojančios lempos, maksimalus natūralaus apšvietimo naudojimas, kt.).

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

Pasyviojo pastato apšildomoms patalpoms šildyti sunaudojama iki 15 kWh/m² energijos per metus. Įvertinus ir karšto vandens paruošimą, sunaudojama ne daugiau nei 50 kWh/m² šilumos energijos per metus. Bendras energijos suvartojimas – energijos sąnaudos patalpoms šildyti, karštam vandeniui paruošti ir buitiniams elektros prietaisams – pasyviuosiuose pastatuose neviršija 120 kWh/m² per metus. Svarbūs veiksniai yra pasyviojo namo langų ir kitų skaidrių atitvarų skaičius, jų kryptis pasaulio šalių atžvilgiu. Saulės spinduliai, žmonės, elektros prietaisai yra reikšmingi šilumos energijos šaltiniai.

Reikalavimai namui, kad jis tenkintų pasyviojo namo standartą, t. y. šildymui pakaktų 15 kWh/m, yra teoriniai. Skaičiavimuose standartiškai nurodoma, kad šildymo sezono metu kambariuose bus palaikoma 20 laipsnių temperatūra. Jei bus aukštesnė temperatūra, energijos poreikis išaugs. Šildymo

sąnaudas gali didinti ir dažnai į lauką varstomos durys. Jeigu kalbame apie pagrindinius principus, projektuojant ekonominės klasės, energiją taupantį namą – lengviausia sumanymą įgyvendinti į pietus orientuotame sklype, kuriame nėra šešėlių. Be to, svarbu įvertinti langų šešėliavimą vasaros metu, nes dėl įstiklintų ir nepridengtų didelių angų smarkiai didėja patalpų perkaitimo tikimybė. Rekomenduojama statyti pastatą, kuriame būtų kuo mažiau kampų, tai yra kuo paprastesnė šildomo tūrio forma, vengti bet kokių šiluminių tiltelių. Techniniu požiūriu geriau apsieiti be vėdinamojo fasado apdailos sistemų arba jas montuoti ant stiklo pluošto detalių. Būtina rekuperacinė vėdinimo sistema. Gyvenamųjų namų statybos tikslas nėra itin taupus „termosas“, tikslas – aukšta gyvenimo kokybė efektyviame name. Taip pat yra svarbu ir estetika, namo proporcijos, kraštovaizdis. Jei sklypas yra šalia upės ar miško, turi puikų vaizdą į šiaurinę pusę, jokia būdu negalima to ignoruoti nedarant toje pusėje langų ar panašiai. Taip pat svarbu nepamiršti ir patalpų natūralaus apšvietimo, erdvės pojūčio, kad ir kaip norėtūsi pamažinti langus dėl papildomai sutaupytos kilovatvalandės. Žmogus yra aukščiausias prioritetas, nes statoma jam.

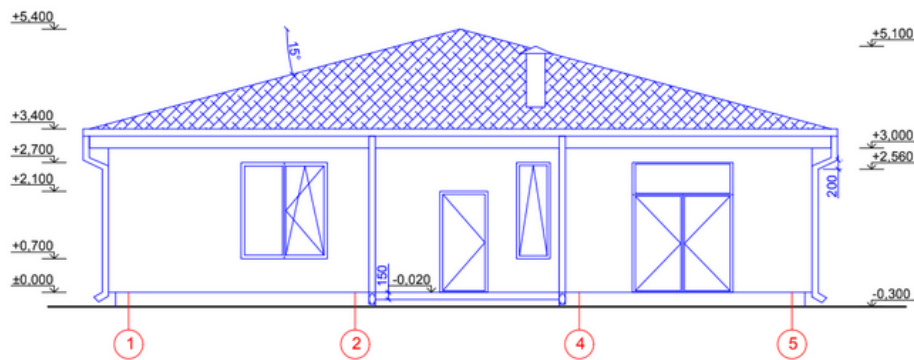
Miestuose žemės kaina sąlyginai didelė, todėl namai statomi mažuose sklypuose. Standartinis sklypo dydis yra 6 arai. Tokiuose sklypuose dalį saulės šilumos užstoja rytinis ir pietinis kaimynai. Labai svarbi sklypo orientacija pasaulio šalių atžvilgiu. Sunku rasti tokius sklypus, kurie būtų idealiai orientuoti.

Kuriant idealius ekologiškus namus, turėtų būti atsižvelgta į ekologiško namo statybos principus [68]:

- vertinama sklypo vieta – ar lengvai pasiekiami ekologiškais ir tradicinėmis transporto priemonėmis; ar visos būtinausios paslaugos pasiekiamos pėsčiomis arba naudojant minimalias transporto sąnaudas; ar statant busta gali būti pažeista natūrali gamta ir kokių priemonių gali prireikti jai atkurti; kokios galimybės statant tausoti gamtos išteklius;
- namo dydis turi būti optimalus pagal šeimos poreikius. Per didelis namo plotas reikalauja daug papildomu energijos ir kitų išteklių, o tai nėra ekologiška;
- renkantis statybines ir apdailos medžiagas, pirmenybė teikiama vietinės gamybos produktams; pirmenybė teikiama medžiagoms, kurioms pagaminti išievojama mažiau energijos, išsiskiriančioms ilgaamžiškumu ir tinkančioms perdirbti arba savaime natūraliai sunykstančioms;
- lietaus vandenys surenkami į rezervuarą nuo visų paviršių, naudojami dušui, WC, sodui laistyti;
- kanalizacijos vanduo surenkamas ir išvalomas, po to naudojamas kompostuoti ir sodui laistyti ar kt.;
- statybinės medžiagos – ekologiškos sudėties;
- apdailos medžiagos – ekologiškos sudėties;
- apšvietimas – natūralus, kaitinimo ir liuminescencinės lempos;

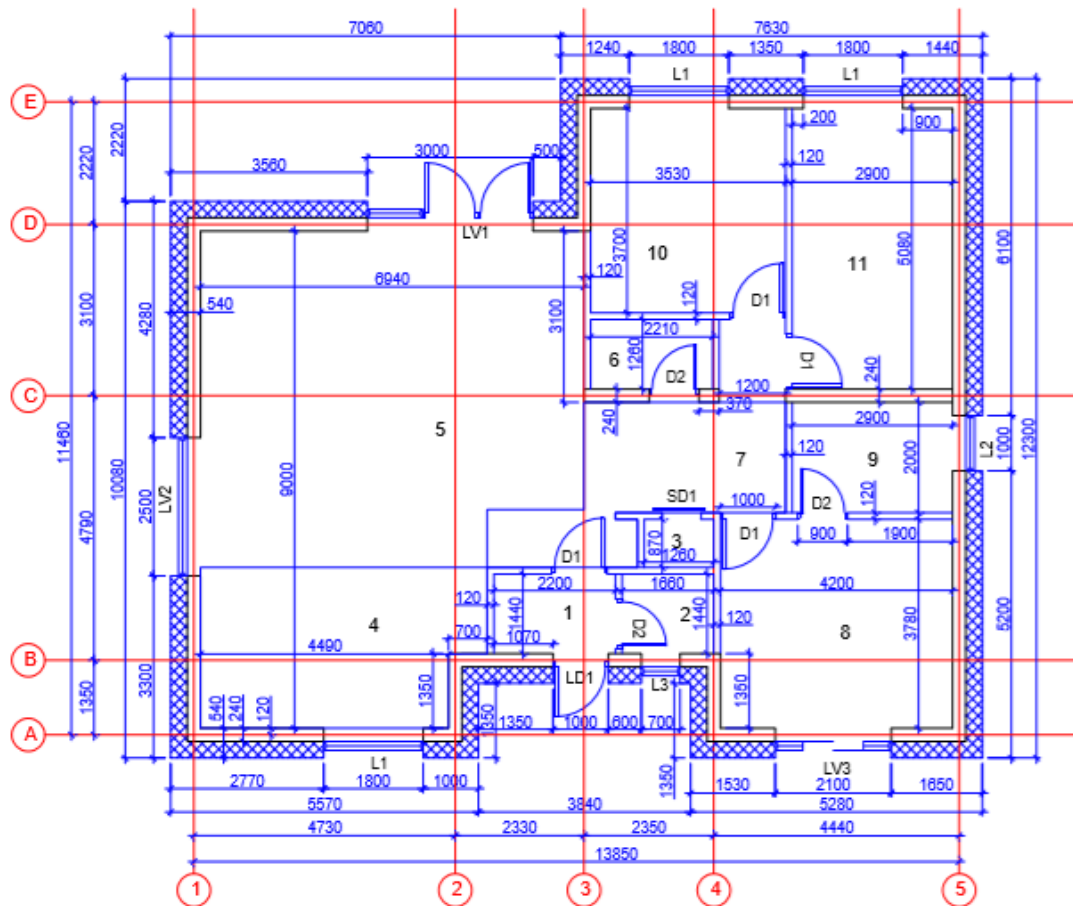
- šildymas – pasyvus saulės kolektoriais arba kombinuotas;
- elektros tiekimas – saulės kolektoriais, vėjo energetika, alternatyvūs šaltiniai gali būti derinami ir bent iš dalies naudojami namų reikmėms, kartu naudojant ir įprastą elektros energiją;
- didelis elektrotechninės įrangos energijos efektyvumas;
- grindinys, automobilių stovėjimo aikštelė ir kiti panašūs elementai surinkti iš statybinių atliekų perdirbimo produktų;
- sienos, langai ir kiti statybos konstrukciniai elementai gerai izoluoja triukšmą.

Tyrimui pasirenkami namai, kurių atitvarinės sienų laikančiosios konstrukcijos yra šiaudai, rąstai ir keraminiai blokeliai. Namai apšiltinti taip, kad jų energinis naudingumas atitinka A, A+ ir A++ klasių reikalavimus. Namai vienodo dydžio, išplanavimo, vienodos orientacijos sklype (4 pav.), skiriasi tik naudojamos medžiagos. Taip pat skiriasi išorinis sienų perimetras, nes skirtingoms pastatų energinio naudingumo klasėms pasiekti, reikalingas skirtingas šiluminės izoliacijos storis. Priimama, kad namai bus eksploatuojami 30 metų.



4 pav. Gyvenamojo namo fasadas ašyse 1–5

Namas statomas aštuonių arų sklype Panevėžio priemiestyje. Sklype neauga medžiai, todėl nebus papildomo šešėliavimo. Sklypas orientuotas pietvakarių kryptimi. Namas yra vieno aukšto su nešildoma pastoge. Namų planas pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Pirmo aukšto planas

Namo plotas nedidelis – 130 kv. metru.

3 lentelē. Pastato pirmojo aukšto patalpu eksplikacija

Nr.	Patalpa	Plotas, m ²
1.	Tambūras	3,17
2.	Katilnē	2,39
3.	Sandēliukas	1,10
4.	Virtuvē	14,16
5.	Svetainē	46,88
6.	Tualetas / vonia	2,78
7.	Koridorius	10,05
8.	Miegamasis	15,88
9.	Vonia	5,8
10.	Vaiku kambarys	13,06
11.	Vaiku kambarys	14,73
Iš viso		130,00

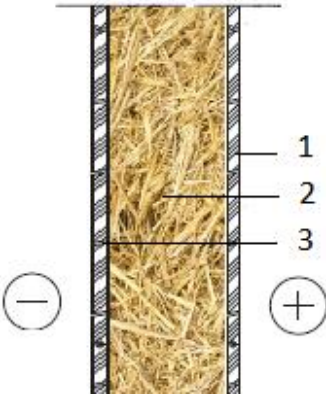
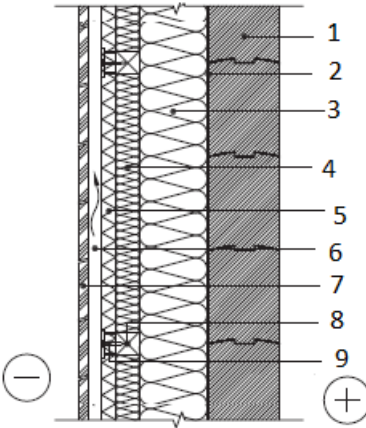
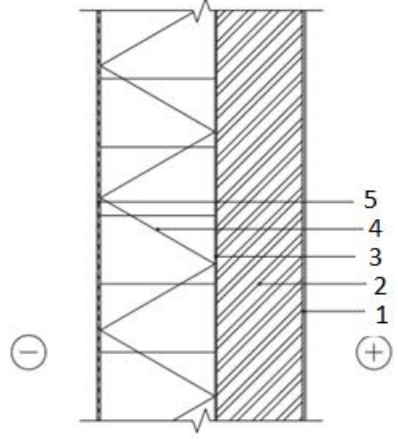
Pasirinkti šie namu tipai:

- šiaudinis namas A klasē;

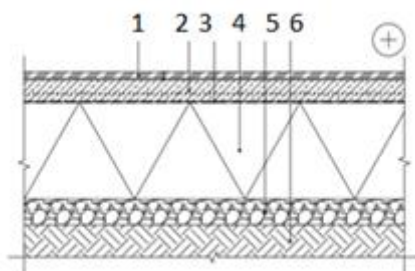
- rąstinis namas A klasė;
- keraminių blokų A klasė;
- keraminių blokų A+ klasė;
- keraminių blokų A++ klasė.

Norint pasiekti didesnio pastatų energinio efektyvumo ir sveikesnės, patogesnės gyvenamosios aplinkos neišvengiamai tenka spręsti šilumos nuostolių mažinimo klausimus. Kadangi daugiausiai šilumos pastatai praranda per išorines sienas, būtina gera šiluminė izoliacija. Pasirinktų sienų tipai pavaizduoti 4 lentelėje.

4 lentelė. Tiriamų namų išorės sienos

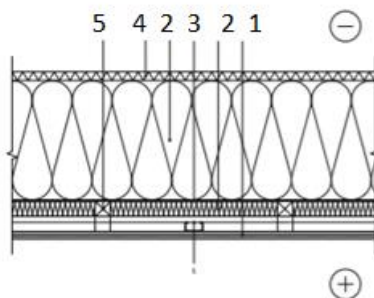
Šiaudinis namas A	Rąstinis namas A	Keraminių blokų A	Keraminių blokų A+	Keraminių blokų A++
				
<p>1 – vidaus apdaila – molio tinkas, 2 – šiaudų skydas, 3 – išorės apdaila molio tinkas.</p>	<p>1 – esama rąstų siena, 2 – orą izoliuojantis sluoksnis PAROC XMV 020bas; 3 – PAROC eXtra plus, d = 150 mm 4 – PAROC eXtra plus, d = 50 mm; 5 – PAROC WAS 35t, d = 30 mm; 6 – vėdinamas oro tarpas; 7 – išorės apdaila – lentų apkala, d ≥ 20 mm; 8 – tašas, d = 50 mm; 9 – vatų tvirtinimo elementas</p>	<p>1 – vidaus apdaila – tinkas 2 – mūras; 3 – klijų sluoksnis, 4 – PAROC Linio 80 5 – išorės apdaila – išorinis sudėtinės tinkuojamos sistemos sluoksnis,</p>		

Grindys ant grunto. Šiluminiai techniniai reikalavimai projektuojant gyvenamųjų ir ne gyvenamųjų pastatų grindis nustatyti STR 2.05.01:1999. Projektuojant grindis reikia atsižvelgti į jų techninį ir ekonominį tikslumą bei pagrįstumą konkrečiomis statybos sąlygomis. Grindis reikia projektuoti atsižvelgiant į joms keliamus specialiuosius reikalavimus, poveikius ir klimatinės sąlygas. Tiriamuose pastatuose įrengiamos vieno tipo grindys skiriasi tik šiltinamosios izoliacijos storis (6 pav.)



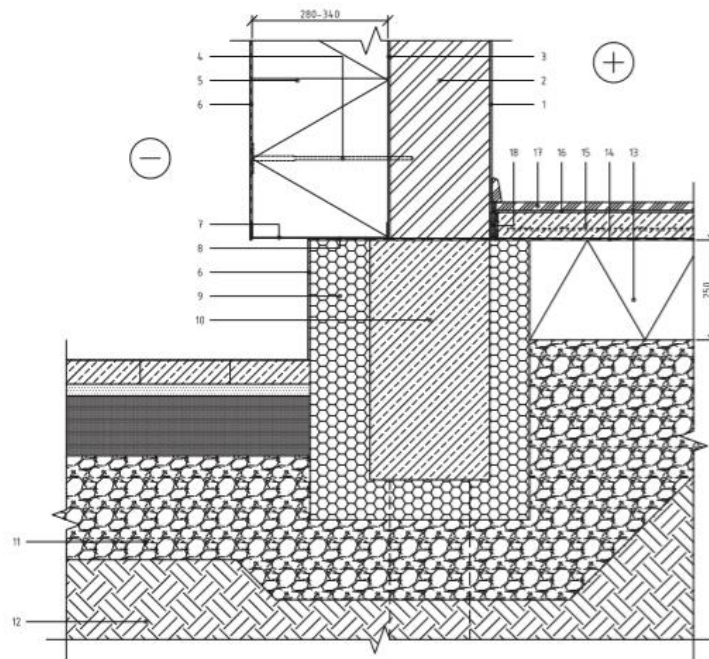
6 pav. Grindų ant grunto mazgas: 1 – parketo grindų danga, $d = 12$ mm; 2 – armuotas išlyginamasis sluoksnis, $d = 80$ mm; 3 – hidroizoliacija; 4 – EPS 20; 5 – skaldos sluoksnis, $d = 80$ mm; 6 – gruntas

Tiriamuose namuose įrengiamos medinės perdangos, nes namas yra vieno aukšto, o perdanga yra tik tarp gyvenamosios namo dalies ir stogo (7 pav.)



7 pav. Perdangos mazgas, 1 – vidaus apdaila – g/k plokštė, $d = 25$ mm; 2 – PAROC eXtra / PAROC eXtra plus (storį žiūrėti lentelėje priede 1); 3 – orą ir garus izoliuojantis sluoksnis PAROC XMV 020bas; 4 – PAROC WAS 35t, $d = 30$ mm; 5 – tašas, $d = 50$ mm; 6 – gipso kartono lubų karkasas, $d \geq 40$ mm

Cokolio šiltinimas. Cokolis – antžeminė išorinės pastato sienos pamato dalis. Yra nustatyta, kad daugiau kaip 10 proc. visos namo šilumos išeina per pamatus, todėl būtina tinkamai apšiltinti pastatų cokolį. Pastatų stebėjimai rodo, kad eksploatuojant pastatą daugiausia defektų yra cokoliuose bei žemėje įgilintose konstrukcijose. Atsirandantys defektai daugiausia susiję su drėgmės poveikiu, nes lietus, sniegas, staigūs temperatūros svyravimai labai intensyviai veikia pamatinę namo dalį. Cokolio apšiltinimo mazgas pavaizduotas 8 pav.



8 pav. Cokolio apšiltinimo mazgas, 1 – vidaus apdaila – tinkas, $d \leq 10$ mm; 2 – mūras, $d = 175\text{--}250$ mm; 3 – klijų sluoksnis, $d = 5$ mm; 4 – šilumos izoliacijos tvirtinimo elementas; 5 – PAROC Linio 80, $d = 280\text{--}340$ mm; 6 – išorės apdaila – išorinės sudėtinės tinkuojamos sistemos sluoksnis, $d \leq 10$ mm; 7 – užbaigimo profiliuotis; 8 – hidroizoliacija; 9 – XP5, $d = 100\text{--}150$ mm; 10 – pamatinė juosta, $d \geq 300$ mm; 11 – drenuojamas sluoksnis; 12 – gruntas; 13 – PAROC GRS 20, $d = 250$ mm; 14 – skiriamasis sluoksnis; 15 – armuotas išlyginamasis sluoksnis, $d \geq 50$ mm; 16 – klijų sluoksnis, $d = 2\text{--}5$ mm; 17 – grindų danga, $d = 8\text{--}14$ mm; 18 – tarpinė, $d = 10$ mm

2.2. Būvio ciklo vertinimas

Būvio ciklo analizė – tai įrankis, kurį galima taikyti įvairiose srityse, taip pat ir statyboje. Jo paskirtis – ne tiek pateikti tiksliai skaičiavimų absoliutines vertes, kiek padėti priimti sprendimus, kuriems reikia mažiau išteklių ir jie yra mažiau kenksmingi aplinkai.

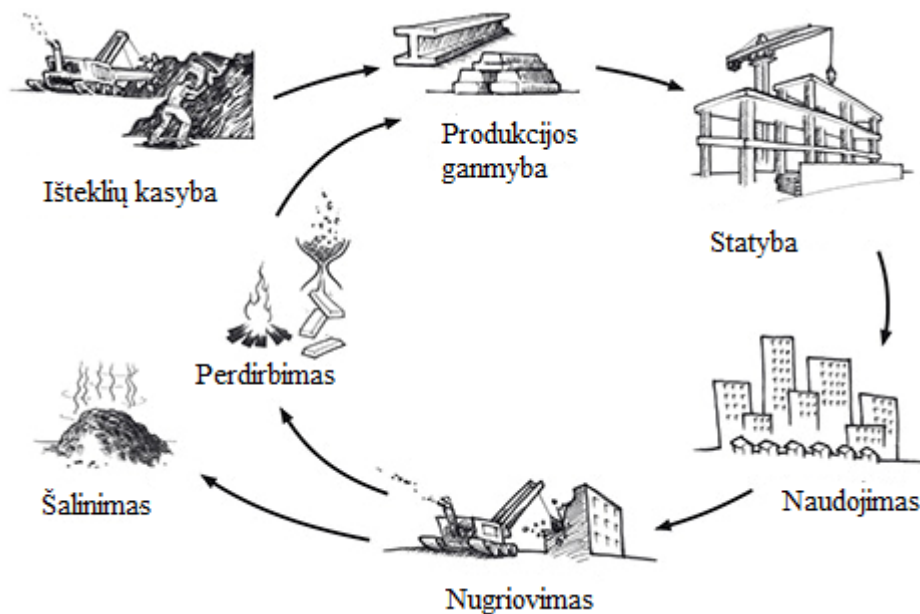
Didžiausią įtaką pastato aplinkosauginiam efektyvumui daro jo konstrukcijos, ypač sienos, grindys ir stogas. Visoms inžinerinėms sistemoms kartu sudėjus reikia tik 15 % visos ikūnytosios energijos. Viena iš pagrindinių priežasčių, kodėl pastato konstrukcijoms reikia tiek energijos ir jos išskiria daugiausia klimato šiltėjimą sukeliančių emisijų, tai didelis konstrukcijoms apšiltinti reikalingas termoizoliacinės medžiagos kiekis. Tyrimai patvirtina kai kurių mokslininkų teiginius, kad mažai energijos vartojančiam pastatui sukurti reikia kelis kartus daugiau energijos nei standartiniam pastatui. Todėl aplinkosauginiam poveikiui sumažinti ypač daug dėmesio būtina skirti pastato konstrukcinių medžiagų parinkimui. Nors iki šiol praktiškai buvo apsieinama ir be būvio ciklo analizės, tačiau ateityje jis gali tapti plačiai naudojamas vertinant pastatų efektyvumą (ne tik energinį). Pavyzdžiui, pastatų sertifikavimo sistemos, tokios kaip plačiai pasaulyje žinoma *LEED* (JAV), *BREEAM* (Jungtinė Karalystė), *DGNB* (Vokietija), *ASHRAE/USGBC/IESDNA Standard 189* (JAV), pradeda naudoti arba

jau naudoja šį vertinimo metodą. Manoma, kad greitai jis taps privalomas naudoti visoje Europos Sąjungoje).

Būvio ciklo vertinimas (BCV) – tai būdas įvertinti produkto poveikį aplinkai:

- kiekviename produkto gyvavimo ciklo etape: nuo jų atsiradimo, gamybos (įskaitant žaliavas) iki gyvavimo pabaigos ir galutinio perdirbimo („nuo gimimo iki mirties“);
- vertinant visus aspektus, susijusius su poveikiu aplinkai: CO₂ emisijos, energijos ir vandens sunaudojimas, oro tarša, natūralių žaliavų sunaudojimas, atliekų susidarymas.

Pastatų būvio ciklas pavaizduotas 9 pav.



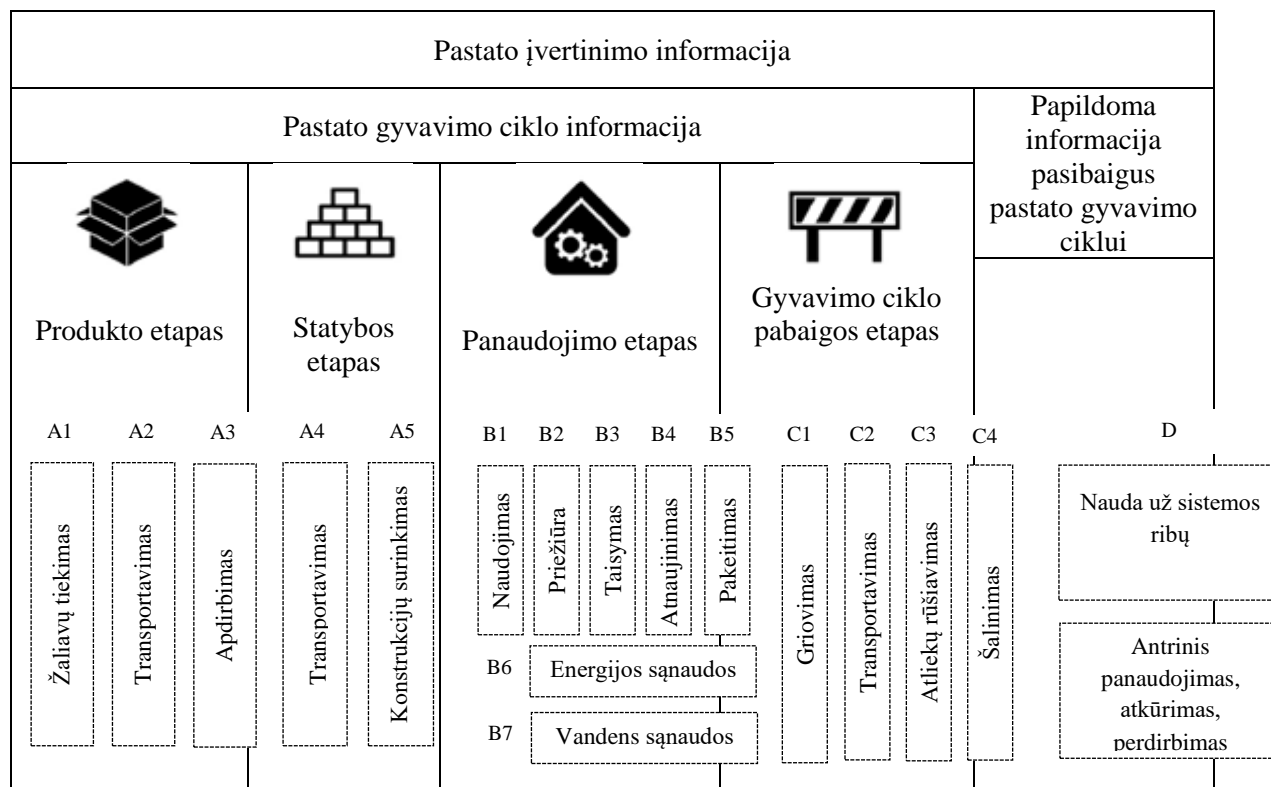
9 pav. Pastato būvio ciklas

Projektuojant pastatą, būvio ciklo analizė naudinga tuo, kad leidžia priimti sprendimus, susijusius su projekto alternatyvomis, parinkti konstrukcines medžiagas, nustatyti, kurie iš pastato elementų ir kurioje pastato gyvavimo ciklo fazėje daro didžiausią aplinkosauginį poveikį.

Vertinimas remiasi žinomais ir visų pripažintais tarptautiniais standartais ISO 10040:2006 ir ISO 14044:2006. Visapusiškas poveikio aplinkai vertinimas apima kiekvieną produkto gyvavimo ciklo etapą ir visus galimus poveikio aplinkai aspektus (10 pav.). Būvio ciklo vertinimas suteikia galimybę pagerinti mūsų daromą poveikį aplinkai, kurti ekologines naujoves, t. y. naujoviškus produktus, draugiškus aplinkai per visą jų gyvavimo ciklą, nuo sukūrimo stadijos iki jų gyvavimo pabaigos.

Pastato atitvarų atnaujinimo efektyvumas dažniausiai vertinamas tik ekonominiu požiūriu. Be ekonominio įvertinimo būtų tikslinga vertinti atitvaras ir kitais aspektais. Taikant būvio ciklo vertinimo metodiką, galima pasirinkti efektyviausią atitvarų atnaujinimo derinį, įvertinus pirminės energijos (PE) sąnaudas ir išmetamus CO₂ kiekius į aplinką. Visos medžiagos: šilumos izoliacija, apdailos ir

hidroizoliacinės medžiagos, apsauginės dangos ir tvirtinimo elementai jų gyvavimo ciklo metu (gamybos, naudojimo ir sunaikinimo) *išskiria išmetimus* ir naudoja pirminę energiją.



10 pav. Pastato būvio ciklo etapai ir vertinimas

Vienas pagrindinių rodiklių, lemiančių pastato energinę klasę, yra išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientas, todėl siekiant minėtų tikslų jo mažinimas (atitvarų šiltinimas) išlieka pagrindiniu prioritetu. Norint visapusiškai išnagrinėti atitvarų atnaujinimo efektyvumą, vienas geriausių būdų – taikyti būvio ciklo vertinimo metodą.

BCV privalumas, palyginti su kitais įtakos aplinkai vertinimo metodais, yra sistemos ribų išplėtimas, įtraukiant produkto gyvavimo ciklo metu daromą poveikį aplinkai, neapsiribojant emisijomis ir atliekomis, susidariusiomis tik įmonėje. BCV sudaro pagrindiniai keturi etapai, kurie pateikiami ISO 14040 standarte: (1) Tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas; (2) Inventorinė analizė, (3) Poveikio aplinkai vertinimas ir (4) Interpretavimas (ISO 14040:2006).

Funkcinis vienetas: 1 m² naudojamo ploto;

- **Būvio ciklo ribos:** pilnas būvio ciklas nuo žaliavų išgavimo iki naudojimo pabaigos;
- **Inventorinė analizė.**

Inventorinė analizė – tai būvio ciklo vertinimo etapas, skirtas kiekybiniams duomenims apie visą produkto būvio ciklą surinkti. Inventorinė analizė apima duomenų rinkimo ir apskaičiavimo metodikas,

taikomas kiekybiškai įvertinti atitinkamus produkto sistemos įvedinius ir išvedinius. BCV vertinime įvediniais laikomos medžiagos ir energija. Medžiagų sąnaudos sukelia atsinaujinančių ir neatsinaujinančių išteklių išsekvojimą, padidina atliekų susidarymo bei emisijų į atmosferą kiekį. Būvio cikle susidarantius išvedinius apima pats produktas, tarpiniai ir šalutiniai produktai, emisijos į atmosferą, nuotekos, atliekos ir kiti teršalai. Inventorinės analizės metu turi būti renkami duomenys ir duomenų rinkimo lentelėse fiksuojami sistemoje esančio kiekvieno sistemos vieninio proceso kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai.

Norint atlikti pasirinktų pastatų inventorinę analizę, reikia patikrinti, ar šių pastatų atitvaros tenkina norminius reikalavimus.

Statybos medžiagų ir gaminių kiekiai apskaičiuojami programa „Sistela“. Energijos poreikis, šilumos nuostoliai per pastatų atitvaras apskaičiuojami programa „ENRG3“.

SimaPro kompiuterinė programa palengvina būvio ciklo vertinimo atlikimą, nes nereikia atskirai kaupti specifinių duomenų, o rezultatus galima analizuoti pagal keletą kriterijų. Programoje integruota didelė duomenų bazė ecoinvent, kurią sudaro trys dalys:

1. Projekto duomenys. Čia suvedami visi pagrindiniai analizės metu nagrinėjamo objekto duomenys. Duomenų bazėje galima sukurti daugybę projektų;
2. Duomenų bibliotekos. Susideda iš duomenų, reikalingų projektui įgyvendinti;
3. Bendrieji duomenys. Čia kaupiami duomenys apie visas bibliotekas ir projektus.

Duomenų bazės išskirstytos pagal skyrius ir poskyrius. Pagrindiniai skyriai yra šie: medžiagų transportavimas, gaminių apdirbimas, naudojimas, atliekų scenarijuje – atliekų tvarkymas. Taip pat yra galimybė įrašyti naujus duomenis ir eksportuoti į Excel programą.

Atliekant gyvenamojo pastato tam tikrų medžiagų gyvavimo ciklo analizę, numatyta naudoti šiuos du duomenų modelius:

- „Cumulative energy Demand 1.08“. Šis duomenų modelis įvertina, kiek ir kokios pirminės energijos (atsinaujinančios ir neatsinaujinančios) reikia vienam masės, tūrio, ilgio ar kitam vienetui medžiagos pagaminti, transportuoti, perdirbti, sunaikinti ir t. t.;
- „IPCC 2007 GWP 100a“. Šis duomenų šaltinis įvertina, koks šiltnamio efektą sukeliančių CO₂ dujų ekvivalentų kiekis išsiskiria į aplinką gaminant, transportuojant, ar sunaikinant vieną masės, tūrio, ilgio medžiagos vienetą.

2.4. Atitvarų šiluminių varžų ir medžiagų kiekių skaičiavimai

Atitvaros, besiribojančios su išore, šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimas: Projektinė termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė λ_{ds} , W/(mK) apskaičiuojama pagal (1) formulę:

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_c \quad (1)$$

čia λ_D – deklaruojamoji termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė, W/(mλK), imama iš gamintojų pateikiamų deklaracijų;

$\Delta\lambda$ – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo atitvaroje, W/(mλK) (iš STR 2.01.03:2009 2 lent.);

$\Delta\lambda_{cv}$ – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl šilumos konvekcijos poveikio, apskaičiuojama pagal (2) formulę:

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D \cdot K_{cv}, W/(m \cdot K) \quad (2)$$

Skaičiuojamos atitvaros atskirų sluoksnių šiluminės varžos. Atskirų sluoksnių šiluminė varža apskaičiuojama pagal (3) formulę:

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_{n,ds}} \quad (3)$$

čia $\lambda_{n,ds}$ – projektinė termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė W/(mλK), apskaičiuojama pagal (1) formulę;

d_n – projektinis atitvaros sluoksnio storis, m.

Skaičiuojame atitvaros suminę šilumos varžą (R_s) pagal (4) formulę:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4; \quad (4)$$

Atitvaros visuminę šiluminę varžą skaičiuojame pagal (5) formulę:

$$R_T = R_{SI} + R_s + R_{SE}; \quad (5)$$

čia $R_{SI} = 0,130m^2 \cdot K/W$ – sienos vidinio paviršiaus šiluminė varža, kai šilumos srauto kryptis horizontali (pagal STR 2.05.01:2013);

R_{SE} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža. Kadangi siena turi vėdinamą oro tarpą, tai sienos išorinio paviršiaus šiluminė varža bus lygi vidinei paviršiaus varžai – $R_{si} = R_{se} = 0,13m^2 \cdot K/W$.

Gavus sienos visuminę varžą, pagal (6) formulę apskaičiuojamas šilumos perdavimo koeficientas:

$$U = \frac{1}{R_T}; \quad (6)$$

Ar atitvaros varža atitinka keliamus norminius STR 2.05.01:2013 reikalavimus patikrinama pagal formulę:

$$U < U_n$$

čia U_n pagal STR 2.05.01:2013 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas“.

Atitvarų šiluminių varžų skaičiavimo metodiką pritaikius konkrečioms statiniams, jų parametrai pateikiami lentelėje 1 priede. 5 lentelėje pateikti tiriamų pastatų tipai, deklaruojamoji šilumos laidumo vertė, atskirų atitvarų sluoksnių šiluminių varžų vertė.

5 lentelė. I–V namų atitvarų visuminės šiluminės varžos ir šilumos laidumo koeficientai

Atitvarų charakteristikos Namo tipai		Visuminė šiluminė varža, R_t	Šilumos laidumo koeficientas, U	Energinio naudingumo klasė
šiaudinis namas A klasė	Sienos	8,589	0,116	A
	Perdanga	10,991	0,091	
	Grindys	7,412	–	
	Cokolis	6,711	0,149	
rąstinis namas A klasė	Sienos	8,812	0,113	A
	Perdanga	10,991	0,091	
	Grindys	7,412	–	
	Cokolis	6,711	0,149	
keraminių blokų A	Sienos	8,444	0,118	A
	Perdanga	9,562	0,105	
	Grindys	4,973	–	
	Cokolis	5,429	0,184	
keraminių blokų A+	Sienos	9,497	0,105	A+
	Perdanga	10,99	0,09	
	Grindys	6,192	–	
	Cokolis	6,711	0,149	
keraminių blokų A++	Sienos	10,549	0,095	A++
	Perdanga	12,419	0,081	
	Grindys	7,412	–	
	Cokolis	6,711	0,149	

Apskaičiuoti atitvarų šilumos laidumo koeficientai tenkina norminius reikalavimus, keliamus A, A+ ir A++ klasės pastatams.

Medžiagų kiekių skaičiavimai. Gyvenamųjų namų medžiagų kiekiai skaičiuojami pagal atitvarų šiluminės varžos mažiausią leistinąjį dydį. Medžiagų kiekių ir naudojamų mechanizmų skaičiavimai atliekami sąmatų skaičiavimo programa „Sistela“. Skaičiuojami sienų, grindų ant grunto,

perdangos po nešildoma pastoge ir cokolio šiltinimo medžiagų kiekiai. Kiti medžiagų kiekiai tiriamuosiuose namuose yra vienodi, todėl nevertinami. Sąmatų skaičiavimai pateikiami 5 priede.

2.5. Šilumos nuostolių per atitvaras ir energijos poreikio skaičiavimas

Pagal standartą LST EN 15603:2008 „Energetinės pastatų charakteristikos. Visuminis energijos suvartojimas ir energetinių parametrų apibrėžtis“ metinis energijos suvartojimas turėtų apimti šias paslaugas: šildymą, vėsinimą ir sausinimą, vėdinimą ir drėkinimą, karšto vandens tiekimą, apšvietimą ir kitas paslaugas. Šiame standarte pateikiami du pagrindiniai pastatų vertinimo pagal energijos sąnaudas būdai – tai skaičiuojamasis ir išmatuotasis.

Standarte LST ISO 13790:2008 „Energetinės pastatų charakteristikos. Patalpoms šildyti ir aušinti sunaudojamos energijos skaičiavimas“ įvardijami trys būdai pastato energijos poreikiui įvertinti: mėnesinis arba sezoninis, paprastasis valandinis ir dinaminis modeliavimas. Mėnesinis arba sezoninis yra apskaičiuojamas fiksuotam periodui (mėnesiui arba sezonui), įvertinant šilumos nuostolius ir pritekčius. Paprastasis valandinis būdas yra supaprastintas dinaminio modeliavimo variantas.

Norint išrinkti ekonomiškai efektyviausią variantą, atliekant skaičiavimus, nevertinama šilumos tiltelių įtaka. Vertinami tik šilumos nuostoliai per pastato atitvaras šildymo sezono metu. Lauko atitvarų plotas yra 167 m². Skaičiavimai atliekami remiantis statybos techninio reglamento STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“ pateikta skaičiavimo metodika.

Sienos atitvaros savitieji šilumos nuostoliai apskaičiuojami:

$$H_{el} = U \cdot A \cdot k_a \cdot b_u \cdot (1 + \Delta k_0 + \Delta k_w + \Delta k_h) \quad (7)$$

čia H_{el} – atitvaros, išskyrus besiribojančios su gruntu, savieji šilumos nuostoliai, W/K ;

U – atitinkamos atitvaros arba atitvaros dalies projektinis šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2K)$;

A – atitinkamos atitvaros arba atitvaros dalies su viena šilumos perdavimo koeficiento verte plotas, m².

Pataisų ir koeficientų vertės nustatomos pagal STR 2.09.04:2008.

$k_a = 1$, kadangi atitvara ribojasi su išore;

$b_u = 1$, atitvara susisiekiama su išore;

$k_0 = 0,05$ – pataisa dėl atitvaros padėties pasaulio šalių atžvilgiu;

$\Delta k_w = 0,02$ – pataisa dėl vėjo įtakos;

$\Delta k_h = 0,04$ – pataisa dėl šildymo prietaisų rūšies.

Šildymo nuostolių per sienos atitvaras (Q_{en}) skaičiavimas (šildymo sezono metu)

Pastato energijos nuostoliai per atitvaras apskaičiuojami:

$$Q_{en} = \sum Q_{el} + \sum Q_{\psi} = [(\sum H_{el} + \sum H_{\psi}) \cdot (\Theta_i - \Theta_{em})] \cdot t \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

čia ΔQ_{el} – šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams per patalpos atitvaras, išskyrus besiribojančių su gruntu, padengti;

$\sum Q_{\psi}$ – šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams per ilginius šiluminius tiltelius patalpoje padengti, skaičiavimuose priimame, kad šilumos nuostoliai per ilginius šiluminius tiltelius yra =0;

$\sum H_{\psi}$ – suminiai savitieji šilumos nuostoliai per patalpoje esančius ilginius šiluminius tiltelius, W/K;

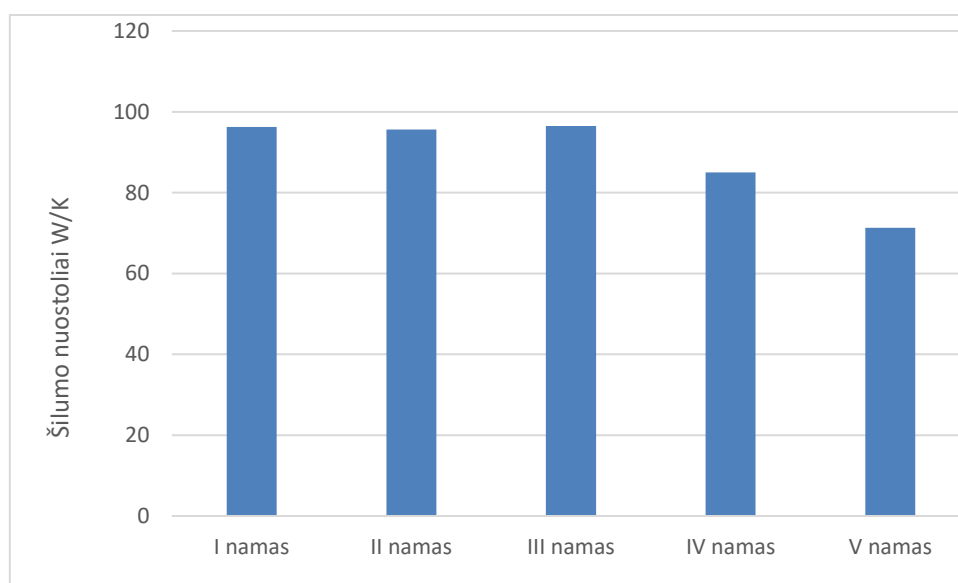
H_{el} – patalpos atitvarų, išskyrus besiribojančių su gruntu, suminiai savitieji šilumos nuotoliai, W/K;

Θ_i – projektinė patalpos temperatūra. Nustatoma pagal Lietuvos higienos normos HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ reikalavimus;

Θ_{em} – vidutinė šildymo sezono išorės temperatūra, priimama 0,6°C Panevėžio mieste. Reikšmė imama iš STR 2.09.04:2008 9 priedo 9.2 lentelės;

t – šildymo trukmė per šildymo sezoną, paromis, priimama 222 paros Panevėžio mieste. Imama iš STR 2.09.04:2008.

Iš šios lygties matyti, kad pastatui reikalinga energija priklauso nuo pastato charakteristikų ir išorės bei vidaus temperatūros skirtumo. Energijos balanso sudarymas yra reikalingas ir tam, kad būtų galima įvertinti, kiek optimaliai ir su kokiū mažiausiu galimu perkamosios energijos kiekiu būtų užtikrinamos komfortinės sąlygos pastate. Šilumos nuostoliai per atitvaras pateikiami 11 paveiksle.



11 pav. Tiriamų pastatų šilumos nuostoliai per atitvaras

Apskaičiuojamos pastato išorinių atitvarų fizikinės reikšmės, inžinerinių sistemų parametrai, kurie būtini siekiant užtikrinti energijos vartojimo efektyvumo atitikimą A, A+, A++ energinio naudingumo klasėms. Skaičiavimuose įvertinamos priemonės, kurios užtikrina projektuojamo pastato A, A+, A++ energinio naudingumo klasę.

Pastato projekto energijos suvartojimui apskaičiuoti ir pastato energiniam naudingumui įvertinti naudota kompiuterinė skaičiavimo programa „NRG3-ser“. Programa parengta vadovaujantis STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“. Programa patvirtinta LR Aplinkos ministerijoje.

Pastato energinio naudingumo vertinimo metu apskaičiuojami norminiai, atskaitiniai ir skaičiuojamieji energijos suvartojimai vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo (šildomo) ploto. Norminis energijos suvartojimas vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto apskaičiuojamas pagal normines rodiklių vertes atitinkančias 2006 metų sausio 1 d. statybos techninių reglamentų reikalavimus. Atskaitinis energijos suvartojimas vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto apskaičiuojamas pagal atskaitines rodiklių vertes tam tikros paskirties pastatuose nustatytas 2006 metų sausio 1 d. Pagal norminį, atskaitinį ir skaičiuojamąjį energijos suvartojimą vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto apskaičiuojamos pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklių vertės C1 ir C2. C1 vertė apibūdina pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui, C2 apibūdina pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti.

Skaičiavimai pateikiami 6 lentelėje ir 3 priede.

6 lentelė. Pastato projekto energinio naudingumo vertinimo variantai

Energijos taupymo priemonės	Šiaudinis A	Rąstinis A	keram. blokeliai	keram. blokeliai	keram. blokeliai
Pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė	A	A	A	A+	A++
Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklio skaičiuojamoji C1 vertė	3,241	0,3250	0,3248	0,2823	0,0852
Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklio skaičiuojamoji C2 vertė	0,6446	0,6446	0,6446	0,6446	0,6446
Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai (W / K)	96,278	95,636	96,467	85,028	71,328

Skaičiuojamos šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti, (kWh / (m ² ×metai))	36,66	36,27	36,75	30,6	5,40
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti, (kWh / (m ² ×metai))	1,81	2,72	2,81	3,27	4,14
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh / (m ² ×metai))	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh / (m ² ×metai))	14,80	15,12	15,18	15,51	5,55
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui, (kWh / (m ² ×metai))	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

3. SKIRTINGO ENRGINIO NAUDINGUMO GYVENAMŲJŲ NAMŲ POVEIKIO APLINKAI BŪVIO CIKLE TYRIMO DUOMENYS IR ANALIZĖ

3.1. Poveikio aplinkai vertinimas

Tiriami namai vertinami dviem variantais:

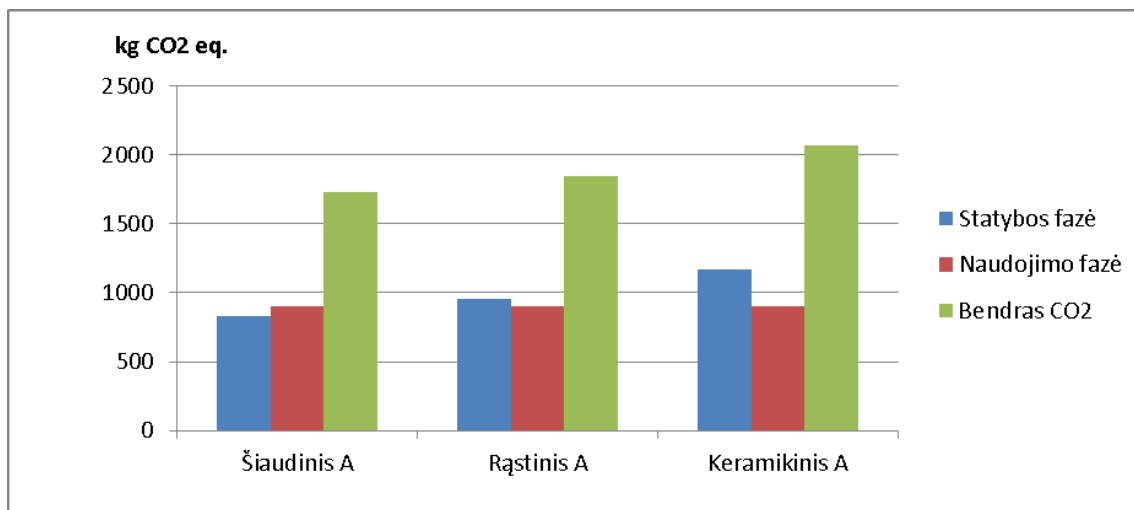
I variantas – naudojamos skirtingos laikančiųjų konstrukcijų medžiagos, ta pati namo energinio naudingumo klasė (šiaudinis A, rąstinis A ir keraminis A namai);

II variantas – naudojamos tos pačios laikančiųjų konstrukcijų medžiagos, skiriasi energinio naudingumo klasė (keraminis A, keraminis A + ir keraminis A ++ namai).

3.1.1. Namų, turinčių skirtingas laikančiųjų konstrukcijų medžiagas, būvio ciklo vertinimas (I variantas)

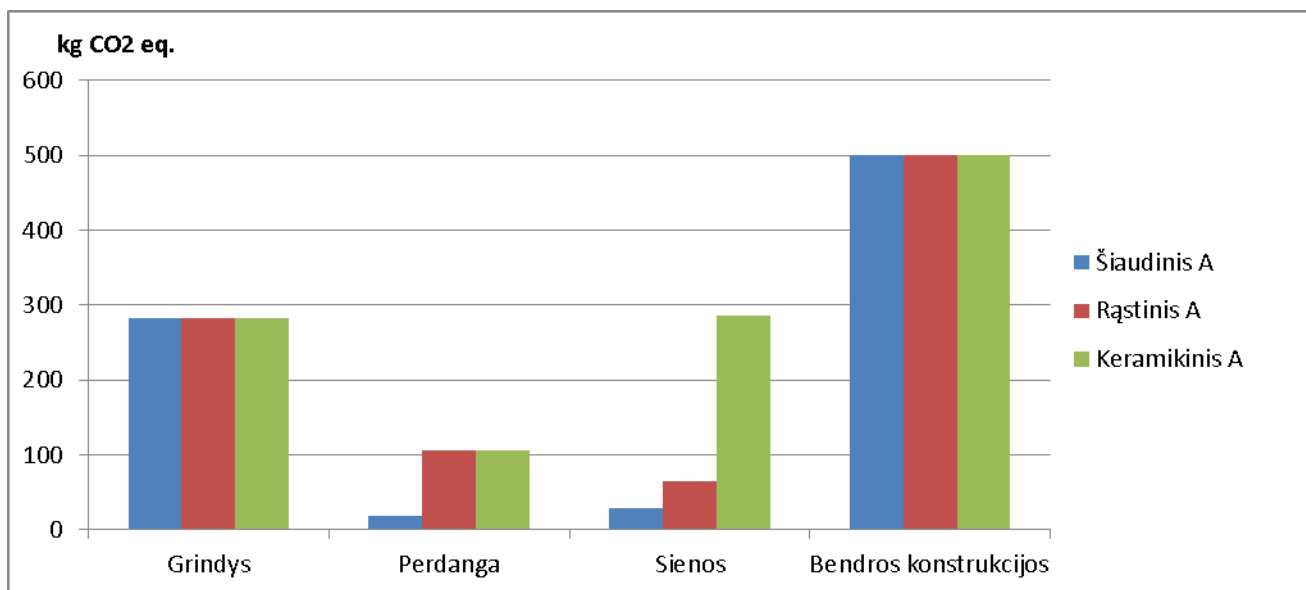
I variantas – naudojamos skirtingos laikančiųjų konstrukcijų medžiagos, ta pati namo energinio naudingumo klasė (šiaudinis A, rąstinis A ir keraminis A namai). Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki eksploatavimo fazės (imtina). Poveikis aplinkai vertinamas pasaulinio klimato šiltėjimo potencialo kategorijoje, kuri matuojama kg CO₂ ekv (IPCC 2013 GWP 100 (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Tarptautinės klimato kaitos komisijos patvirtinta metodika).

Vertinamas kg CO₂ ekv. statybos (žaliavų išgavimo, medžiagų gamybos, statybos) ir naudojimo (namo eksploatacijos) fazėse. Pastatų statybai naudojamas didelis kiekis medžiagų. Dalis medžiagų yra vienodos ir naudojami jų kiekiai yra tokie patys, t. y. pamatai, stogas, apdaila. Skiriasi atitvarų medžiagos ir jų naudojimo kiekiai. Kadangi vertinami namai yra tos pačios energinio naudingumo klasės (A), tai jų energijos kiekis sunaudojamas eksploatacijos metu nesiskiria, tuo pačiu nesiskiria ir poveikis aplinkai.



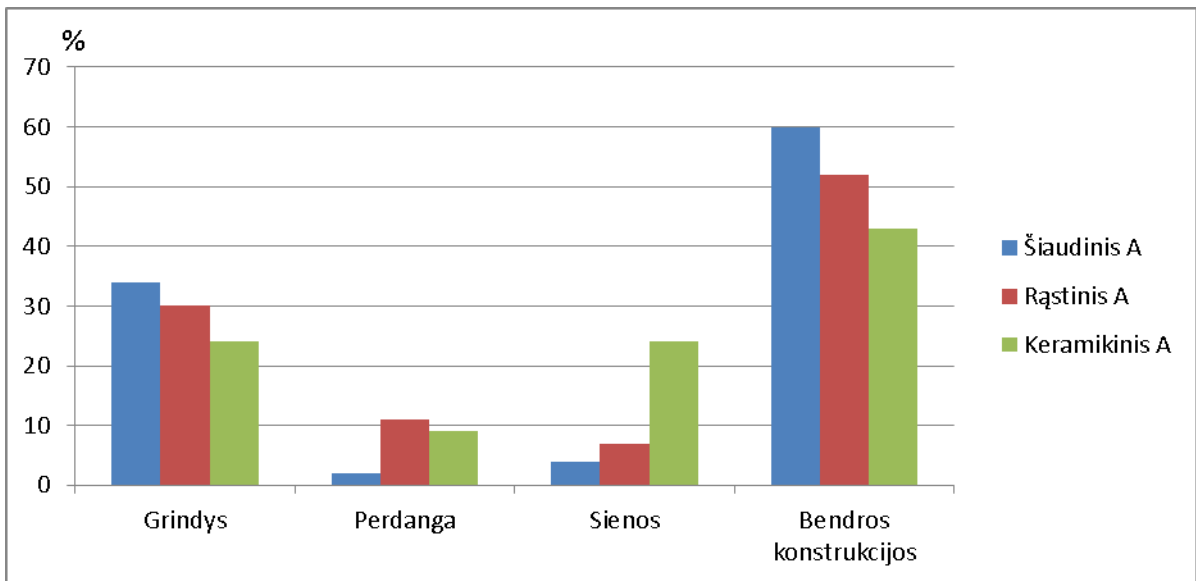
12 pav. Trijų namų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje statybos ir naudojimo fazėje

Iš 12 pav. matyti, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijos šiaudinio A namo būvio cikle sudaro 1730 kg CO₂ ekv. Apie 50 proc. emisijų susidaro iš namo energijos sąnaudų, 29 proc. bendrų konstrukcijų poveikis, grindys sudaro 16 proc. Rąstinio A namo poveikis aplinkai yra 1850 kg CO₂ ekv., 48 proc. ŠESD emisijų susidaro iš namo energijos sąnaudų, kitų, atitvarinių medžiagų poveikis panašus į šiaudinio namo. Keramikinio A poveikis aplinkai sudaro 2070 kg CO₂ ekv., 43 proc. ŠESD emisijų susidaro iš namo energijos sąnaudų, bendros konstrukcijos 24 proc. grindys – 14 proc.



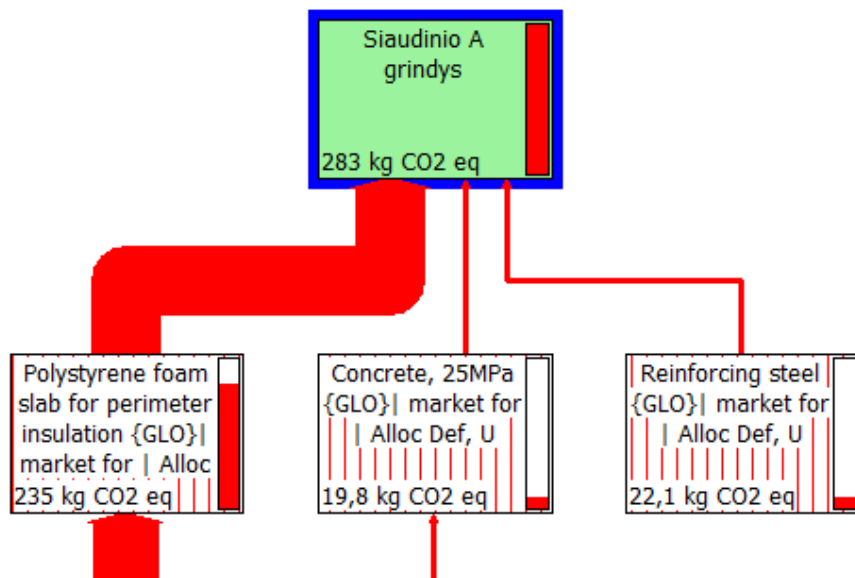
13 pav. Skirtingų laikančiųjų konstrukcijų medžiagų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (tik statybos fazė)

Šiaudinio A namo medžiagų poveikis aplinkai yra apie 831 kg CO₂ ekv. Didžiausią poveikį turi bendros konstrukcijos 501 kg CO₂ ekv., grindims įrengti naudojamos medžiagos 283 kg CO₂ ekv., perdangai – 18,3 kg CO₂ ekv., sienoms – 29,1 kg CO₂ ekv. Rąstinio A namo medžiagų poveikis aplinkai yra 953 kg CO₂ ekv. Grindims naudojamų medžiagų poveikis nesikeičia, tik beveik 10 kartų padidėjo perdangos įrengimo poveikis aplinkai (sudaro 106 kg CO₂ ekv.), sienų įrengimui naudojamų medžiagų poveikis – 64,7 kg CO₂ ekv., konstrukcijų poveikis toks pat. Keramikinio A namo medžiagų poveikis aplinkai yra 1173 kg CO₂ ekv. Grindims, konstrukcijoms ir perdangai naudojamų medžiagų poveikis nesikeičia, sienų įrengimui naudojamų medžiagų poveikis padidėja 5 kartų (286 kg CO₂ ekv.).



14 pav. Skirtingų laikančiųjų konstrukcijų medžiagų poveikio aplinkai palyginimas klimato šiltėjimo kategorijoje, proc.

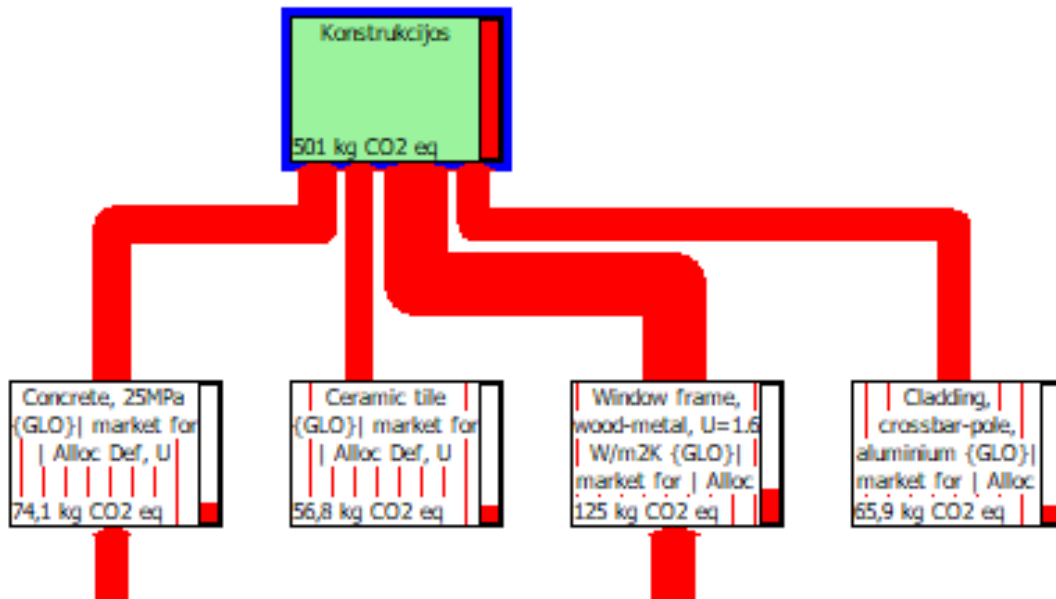
Analizuojant medžiagas gauta, kad visų I varianto namų didžiausias poveikis aplinkai yra nuo bendrų konstrukcinių medžiagų apie 60 proc., grindys sudaro 25 proc. keramikinio A ir 33 proc. šiaudinio A namo bendro poveikio. I variante pastatų grindų įrengimui naudojamos tos pačios medžiagos, medžiagų kiekiai yra vienodi, nes šių pastatų ta pati energinio naudingumo klasė. Grindims įrengti naudojamų medžiagų poveikis pavaizduotas 15 pav.



15 pav. Grindų medžiagų poveikis aplinkai statybos stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje

Didžiausią poveikį daro polistireno naudojimas grindų apšiltinimui – 235 kg CO₂ ekv., t. y. apie 82 proc. viso grindų medžiagų poveikio.

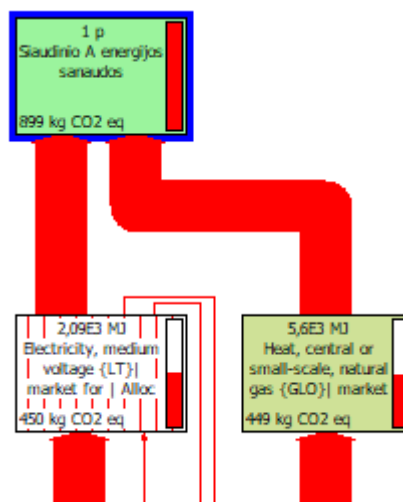
Analizuojant bendrų konstrukcinių medžiagų poveikį, ŠESD emisijos yra 501 kg CO₂ ekv. (16 pav.).



16 pav. Bendrų konstrukcijų medžiagų poveikis aplinkai statybos stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje

Didžiausią poveikį daro langų gamybai naudojamos medžiagos – 125 kg CO₂ ekv., betono medžiagos – 174 kg CO₂ ekv., keramikinės plytelės 57 kg CO₂ eq,

Vertinant šiaudinį A, rąstinį A ir keramikinį A namus, kurių energinio efektyvumo klasė yra ta pati, energijos poreikis naudojimo metu yra vienodas – apie 899 kg CO₂ ekv. Šių pastatų energijos naudojimo poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje pavaizduotas (17 pav.).



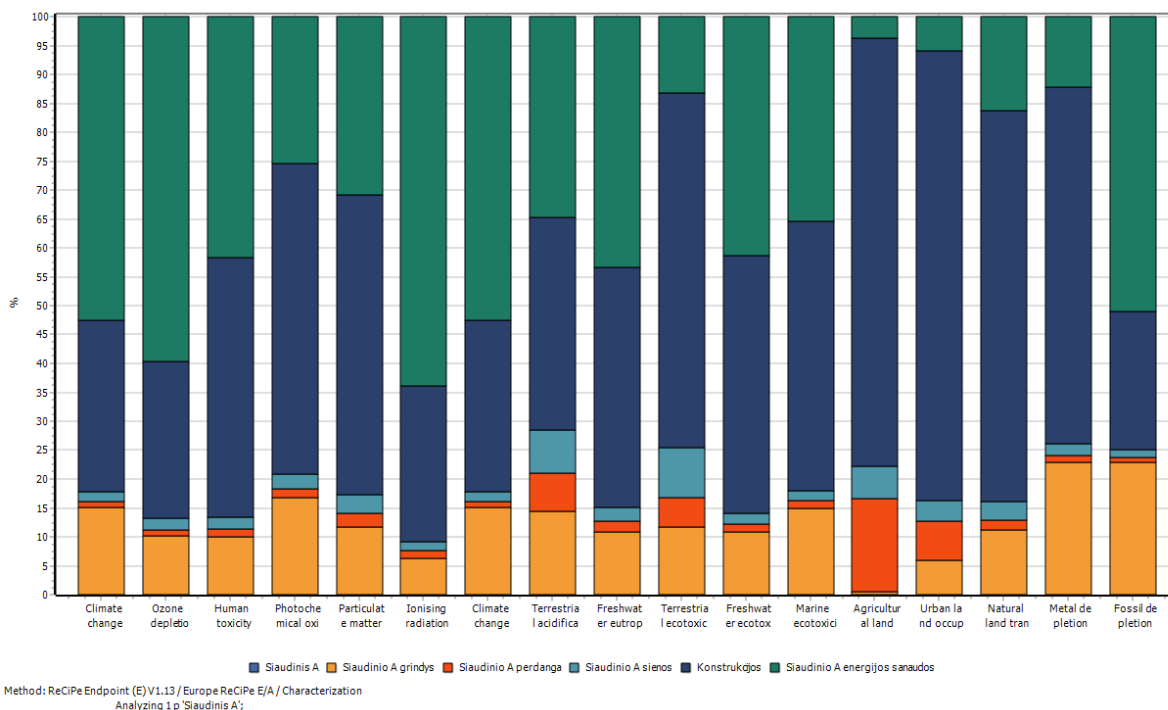
17 pav. I variantu tiriamų namų energijos sąnaudų poveikis aplinkai naudojimo stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje

Taip pat buvo analizuojamas poveikis aplinkai naudojantis kitais metodais, kurie įgalina vertinti poveikį skirtingose poveikio aplinkai kategorijose ir trijose žalos kategorijose. Skirtingas metodikų taikymas padeda identifikuoti įvairiapusį poveikį aplinkai bei palyginti poveikio aplinkai reikšmingumą skirtingose aplinkos kategorijose, taip pat nustatyti reikšmingus srautus ar procesus lemiančius poveikio padidėjimą ar sumažėjimą. Analizei buvo pasirinkta ReCiPe midpoint ir endpoint (E) V1.11 – 17 poveikio aplinkai kategorijų (7 lentelė) ir 3 žalos kategorijos (PRé Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen and CE Delft). Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki eksploatacijos pabaigos.

7 lentelė. ReCiPe Midpoint (E) V1. metodu vertinamos poveikio aplinkai kategorijos

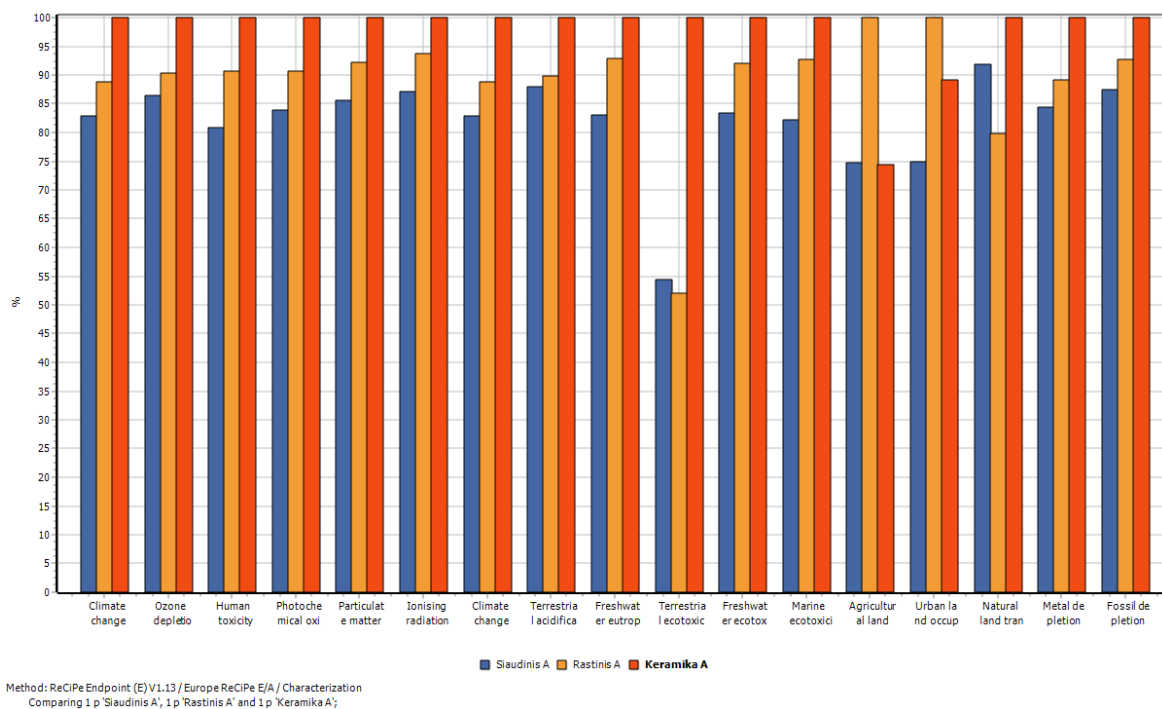
Poveikio aplinkai kategorija	Vienetas
Klimato kaita žmonėms	kg CO2 ekv.
Ozono sluoksnio retėjimas	kg CFC-11 ekv.
Toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DB ekv.
Fotocheminio ozono formavimasis	kg NMVOC eq
Kietųjų dalelių susidarymas	kg PM 10 ekv.
Jonizuojanti radiacija	kg 1,4-Db ekv.
Dirvožemio rūgštėjimas	kg SO2 ekv.
Vandenių eutrofikacija	kg P ekv.
Žemės ekotoksiškumas	kg 1,4-Db ekv.
Gėlo vandens ekotoksiškumas	kg 1,4-Db ekv.
Jūros ekotoksiškumas	kg 1,4-Db ekv.
Dirbamos žemės pakeitimas	m ²
Miesto žemės naudojimas	m ² a
Žemės naudojimas	m ²
Metalų eikvojimas	kg Fe ekv.
Iškasenių eikvojimas	kg oil ekv.

Analizuojant atskirai, kiekvieną I variante tiriamą namą, pagal jame sunaudotų medžiagų poveikį aplinkai įvairiose kategorijose, gauti panašūs rezultatai. 18 pav. pateikimas šiaudinio A namo konstrukcijų ir medžiagų poveikis aplinkai santykinė procentine verte. Šio namo medžiagų didžiausias poveikis yra dirbamos žemės pakeitimo, miesto žemės naudojimo, žemės naudojimo kategorijose.



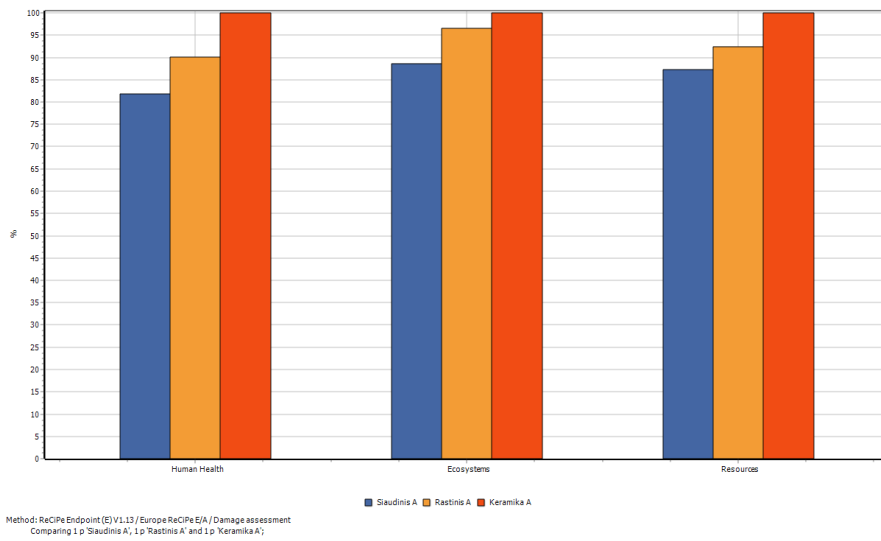
18 pav. Šiaudinio A namo skirtingose poveikio aplinkai kategorijose atskirų konstrukcijų įtaka (santykinė/procentinė vertė)

Vertinant lentelėje pateiktas poveikio aplinkai kategorijas, analizuojamas I varianto namų poveikis, 19 pav.



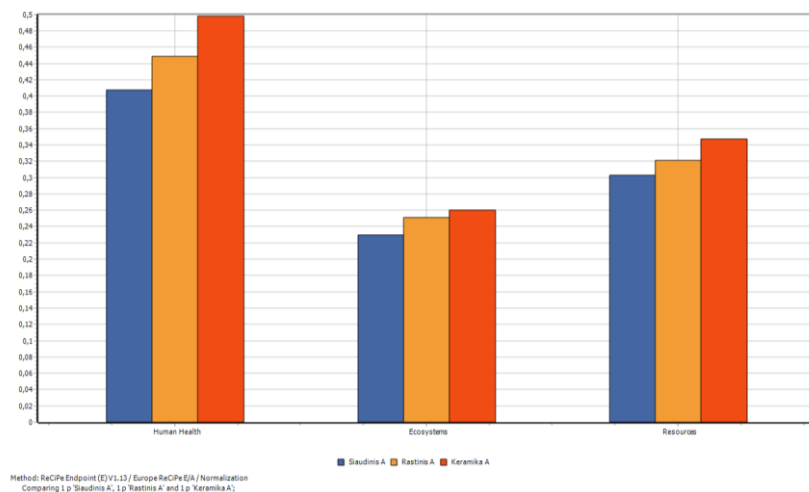
19 pav. I varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas (santykinė/procentinė vertė)

Lyginat šiaudinio A, Rastinio A ir keramikinio A namų poveikį, gauta, kad daugelyje poveikio aplinkai kategorijų, keramikinio A namo poveikis yra didžiausias, tik dirbamos žemės ir miesto žemės naudojimo kategorijoje didesnę santykinę poveikį turi rąstinis A namas.



20 pav. I variantu namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė)

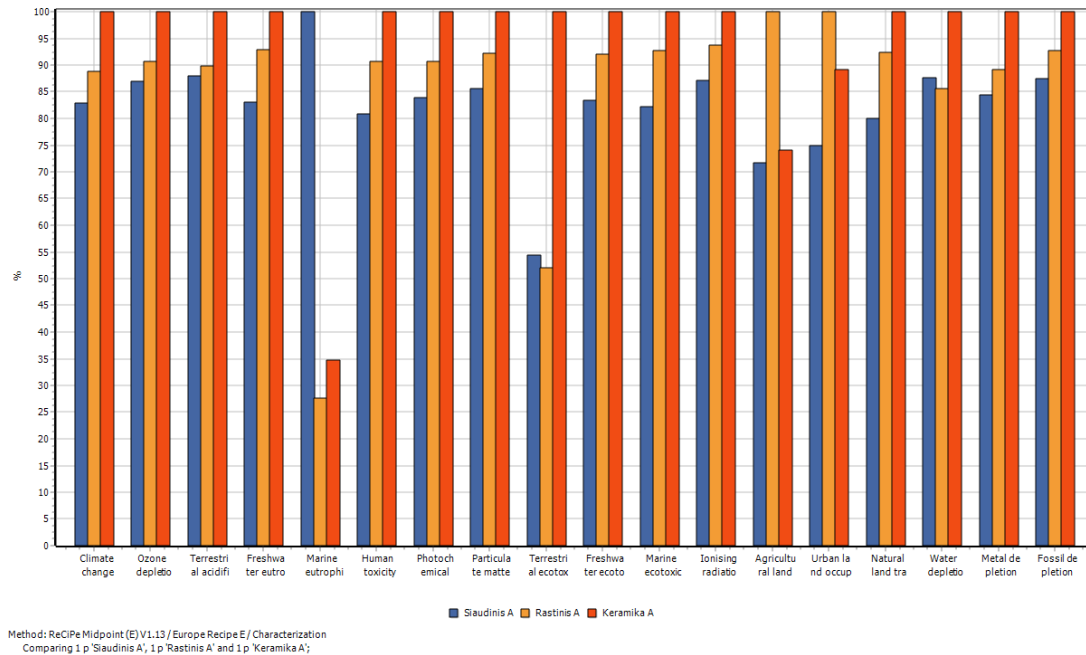
Vertinant poveikį žalos kategorijoms buvo atliktas normalizavimas (21 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad statybos metu žmonių sveikatai yra reikšmingiausias lyginant su kitomis žalos kategorijomis, t. y. poveikį aplinkai reikšmingiausiai mažinsime mažindami šią žalos kategoriją. Šiaudinis a namas visose kategorijose turi mažesnę neigiamą įtaką nei kiti namai (20 pav.).



21 pav. I variantu namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

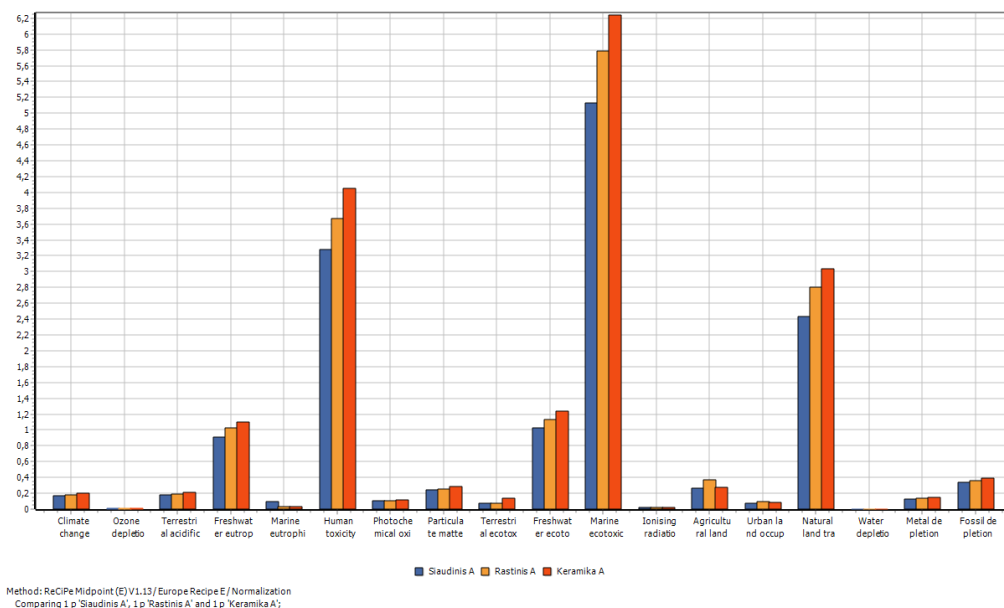
Panašūs rezultatai gauti ir naudojant kitą panašų metodą ReCiPe Midpoint (E) V1.11 Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki perdavimo vartotojui.

I variantu namams. Kai kurios kategorijos šiek tiek skiriasi, jos kitaip vadinamos, bet iš esmės rezultatai panašūs. Jie pateikti 22 pav.



22 pav. I variantu namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas ReCiPe Midpoint (E) V1.11 metodu (santykinė/procentinė vertė)

Normalizavus poveikį, rezultatai pagal kategorijas pateikti 23 pav. Akivaizdžiai matomas jūros ekotoksiškumo, poveikio žmogui padidėjimas, gėlo vandens eutrofikacijos, žemės naudojimo kategorijų reikšmingumas.



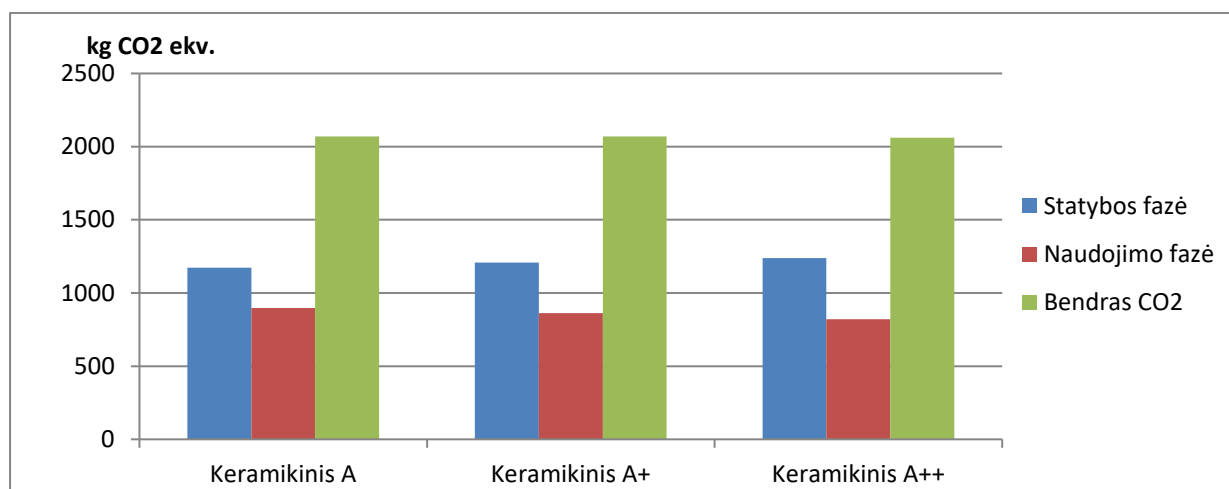
23 pav. I variantu namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas normalizavus poveikį

3.1.2. Skirtingo energinio naudingumo namų būvio ciklo vertinimas (II variantas)

II variantas – naudojamos tos pačios laikančiųjų konstrukcijų medžiagos, skiriasi energinio naudingumo klasė (keraminis A, keraminis A + ir keraminis A ++ namai);

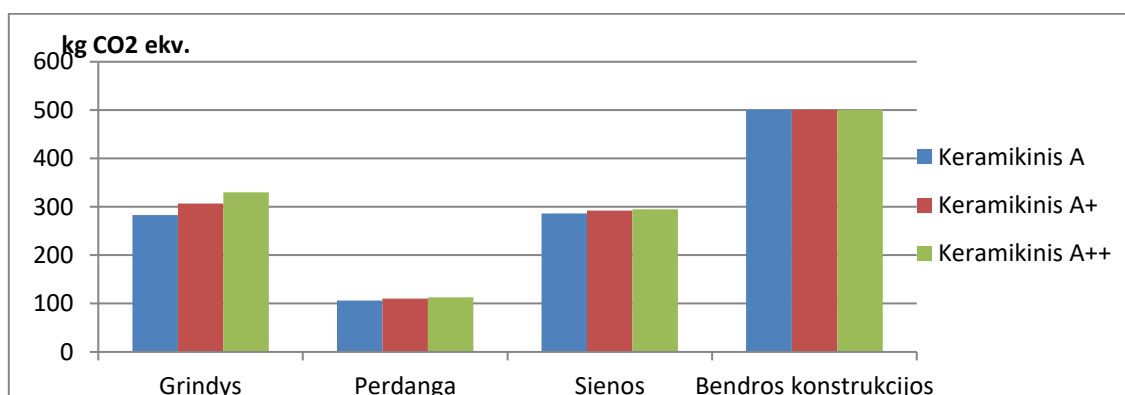
Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki eksploatavimo fazės (imtina). Poveikis aplinkai vertinamas pasaulinio klimato šiltėjimo potencialo kategorijoje, kuri matuojama kg CO₂ ekv..(IPCC 2013 GWP 100 (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Tarpvalstybinės klimato kaitos komisijos patvirtinta metodika).

Vertinamas kg CO₂ ekv. statybos (žaliavų išgavimo, medžiagų gamybos, statybos) ir naudojimo (namo eksploatacijos) fazėse.



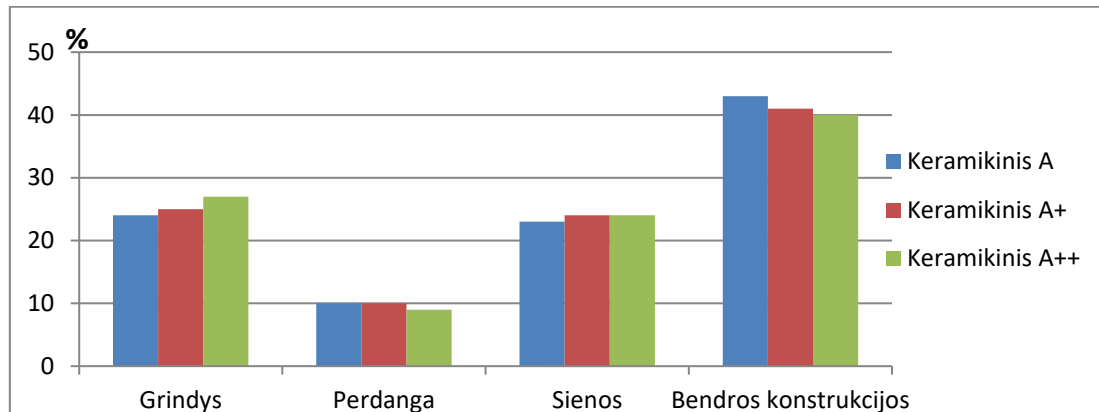
24 pav. Visų trijų namų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje statybos ir naudojimo fazėje

Iš 24 pav. matyti, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) keramikinio A ir A+ namo būvio cikle emisijos sudaro 2070 kg CO₂ ekv. Keramikinio A++ namo poveikis aplinkai šiek tiek mažesnis – 2060 kg CO₂. Energijos naudojimas yra 43 – 46 proc. ŠESD emisijų.



25 pav. Skirtingo energinio naudingumo namams naudojamų medžiagų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (co2 emisijos kiekis)

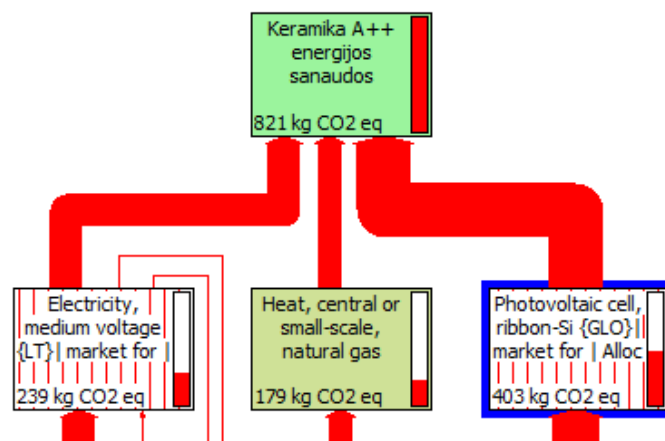
Keramikinio A namo medžiagų poveikis aplinkai yra 1176 kg CO₂ ekv. Didžiausią poveikį turi bendros konstrukcijos 501 kg CO₂ ekv., grindims įrengti naudojamos medžiagos 283 kg CO₂ ekv., perdangai – 106 kg CO₂ ekv., sienoms – 286 kg CO₂ ekv. Keramikinio A + namo būvio cikle emisijos sudaro 1210 kg CO₂ ekv. Keramikinio A++ – 1239 kg CO₂ ekv. Grindims, sienoms ir perdangai naudojamų medžiagų poveikis didėja, nes didėja šilumos izoliacinių medžiagų kiekiai. Bendrų konstrukcijų medžiagų poveikis toks pat.



26 pav. Skirtingo energinio naudingumo namas naudojamų medžiagų poveikio aplinkai palyginimas klimato šiltėjimo kategorijoje

Analizuojant medžiagas gauta, kad visų II varianto namų didžiausias poveikis aplinkai yra nuo bendrų konstrukcinių medžiagų apie 45 proc., grindų ir sienų įrengimui naudojamų medžiagų poveikis sudaro apie 25 proc.

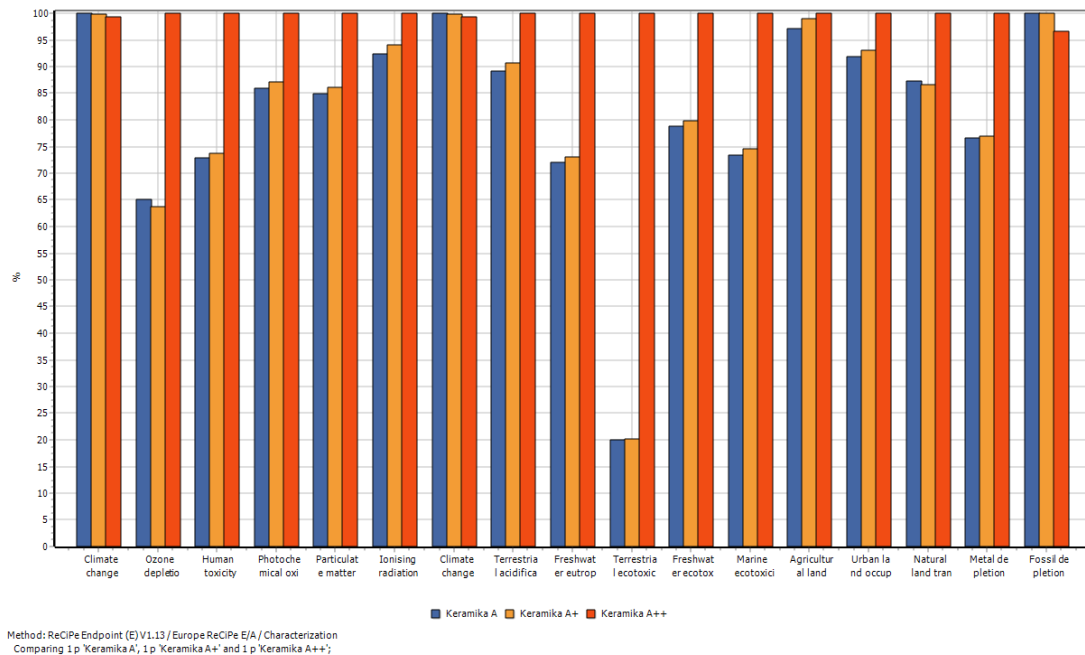
Analizuojant II varianto namų energijos naudojimo poveikį, gauta, kad didėjant energinio efektyvumo klasei, energijos sąnaudos mažėja labai nežymiai. Skiriasi energijos naudojimo poveikis aplinkai A++ namo, nes jame yra instaliuoti fotovoltiniai saulės kolektoriai. Šio namo energijos naudojimo poveikis aplinkai pateiktas 27 pav.



27 pav. Keramikinio A++ namo energijos sąnaudų poveikis aplinkai naudojimo stadijoje klimato šiltėjimo kategorijoje

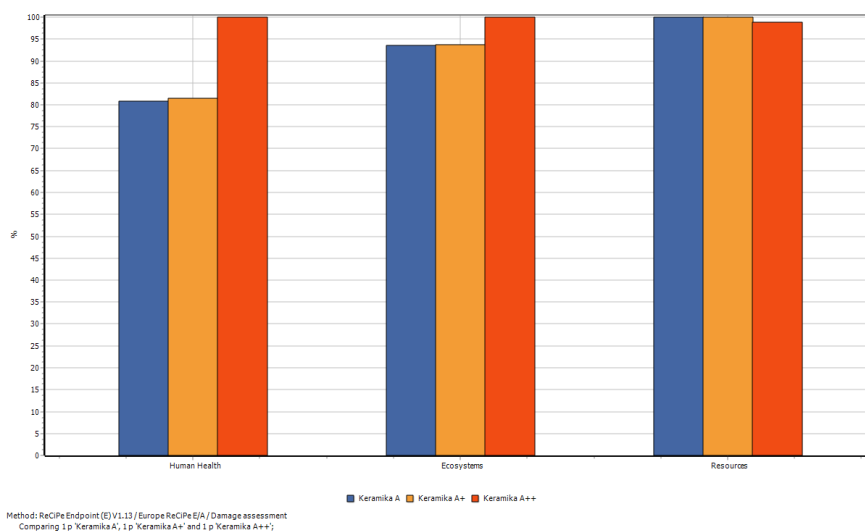
Naudojama metodika: ReCiPe Endpoint (E) V1.11 – 17 poveikio aplinkai kategorijų ir 3 žalos kategorijos (PRé Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen and CE Delft).

Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki eksploatacijos pabaigos.



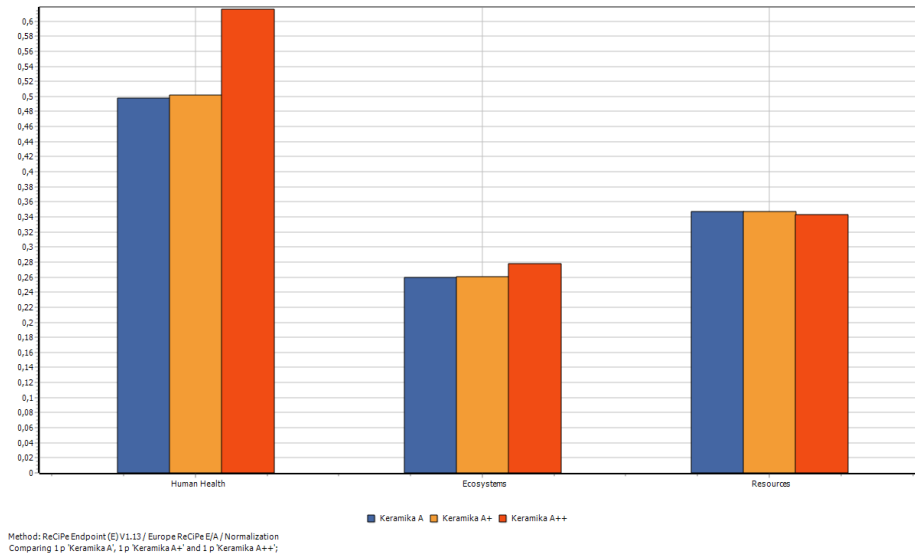
28 pav. II variantu namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas (santykinė/procentinė vertė)

Lyginat skirtingo energinio naudingumo namų poveikį (29 pav.), gauta, kad įvairiose kategorijose keramikinio A++ namo poveikis yra didžiausias ir varijuoja gana plačiose ribose nuo 10 iki 80% priklausomai nuo kategorijos. Tik klimato kaitos kategorijoje poveikis visų lyginamų namų yra labai panašus.



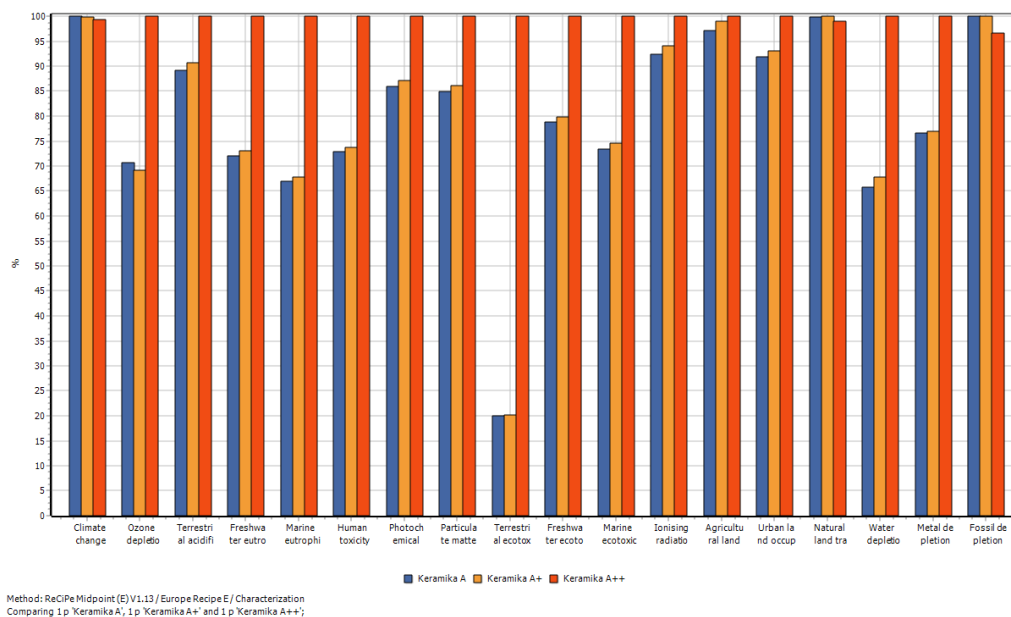
29 pav. I variantu namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė)

Vertinant poveikį žalos kategorijose, žala žmogaus sveikatai ir ekosistemoms didėja nuo 7 proc. iki 20 proc., didėjant namo energinio naudingumo klasei. Tačiau žala ištekliams – išlieka labai panaši. Vertinant poveikį žalos kategorijoms buvo atliktas normalizavimas (30 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad poveikis žmonių sveikatai yra reikšmingiausias lyginant su kitomis žalos kategorijomis, t. y. poveikį aplinkai reikšmingiausiai mažinsime mažindami šią žalos kategoriją.



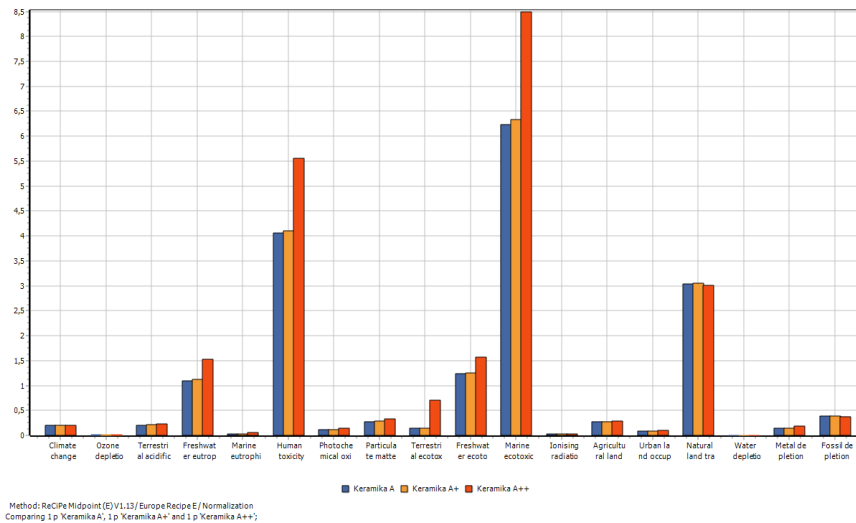
30 pav. I varianto namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

Panašūs rezultatai gauti ir naudojant kitą panašų metodą ReCiPe Midpoint (E) V1.11 Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki perdavimo vartotojui.



31 pav. II varianto namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas ReCiPe Midpoint (E) V1.11 metodu (santykinė/procentinė vertė)

Normalizavus poveikį rezultatai pagal kategorijas pateikti 32 pav. Reikšmingiausios poveikio aplinkai kategorijos yra ekotoksiškumas jūros ekosistemoms, ekotoksiškumas žmogui, eutrofikacija, žemės naudojimas.

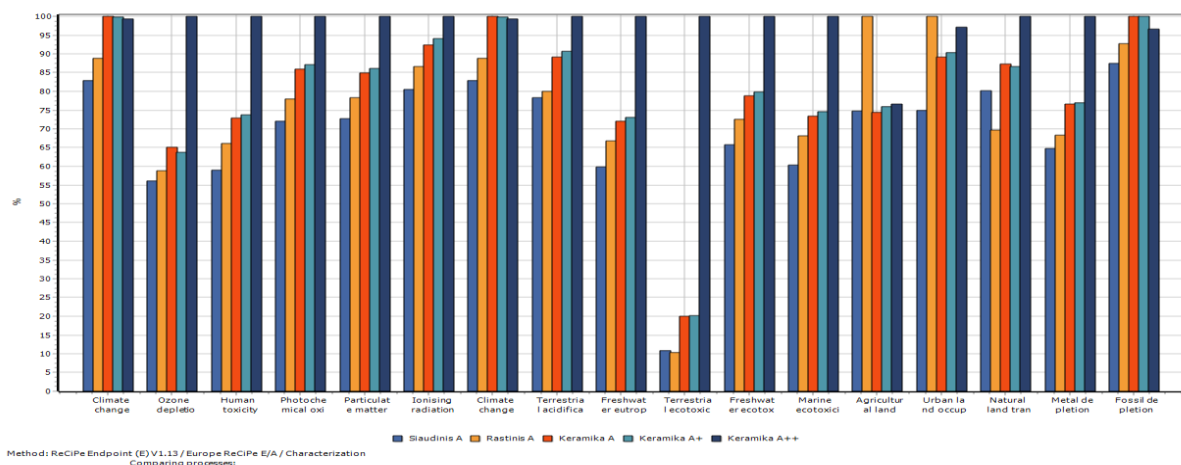


32 pav. II variantu namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas normalizavus poveikį

3.1.3. Skirtingo energinio naudingumo ir skirtingų naudojamų medžiagų namų būvio ciklo vertinimo apibendrinimas

Naudojama metodika: ReCiPe Midpoint ir Endpoint (E) V1.11 – 17 poveikio aplinkai kategorijų ir 3 žalos kategorijos (PRÉ Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen and CE Delft).

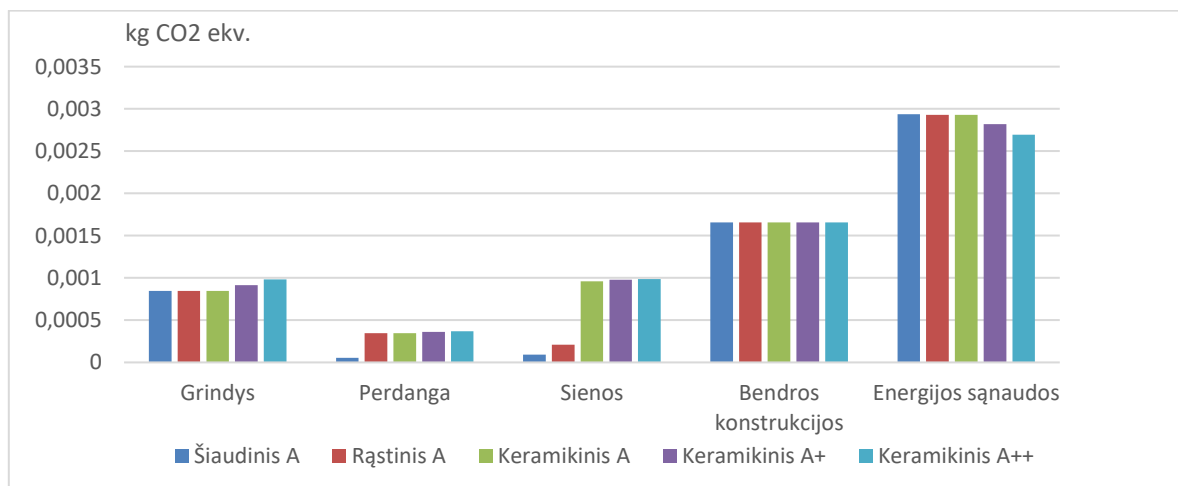
Visų tiriamų namų poveikis aplinkai įvairiose kategorijose pateiktas 33 pav.



33 pav. Visų namų poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas (santykinė/procentinė vertė)

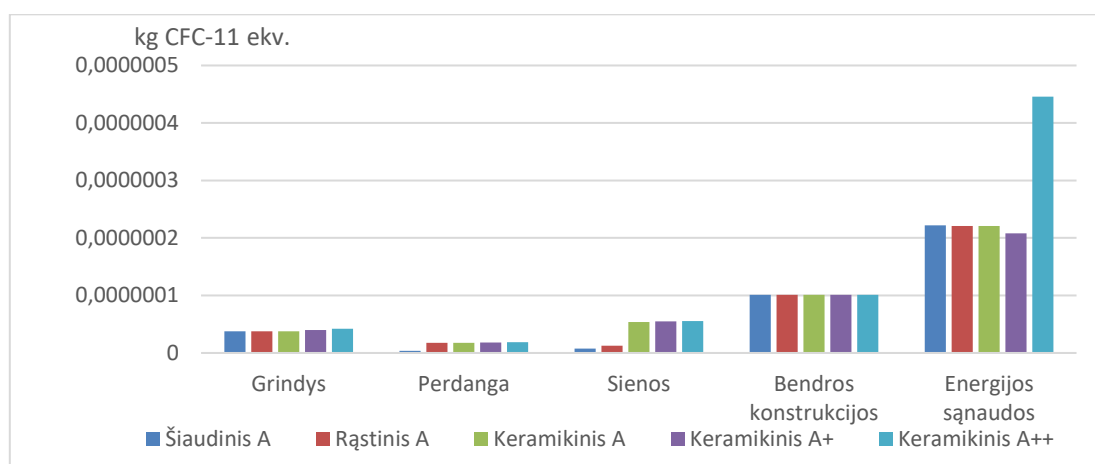
Iš diagramos matyti, kad beveik visose poveikio aplinkai kategorijose statybos ir eksploatacijos metu energiška efektyviausio namo poveikis yra didžiausias, kai kuriose kaip žemės ekotoksiškumas, ozono sluoksnio retėjimas skirtumas ypač ryškus.

Toliau pateikiamos poveikio aplinkai priklausomybės įvairiose kategorijose. Tai klimato kaitos, ozono sluoksnio retėjimo ir kietųjų dalelių susidarymo, gauti rezultatai pateikti 34–38 pav.



34 pav. Klimato kaitos poveikio kategorija

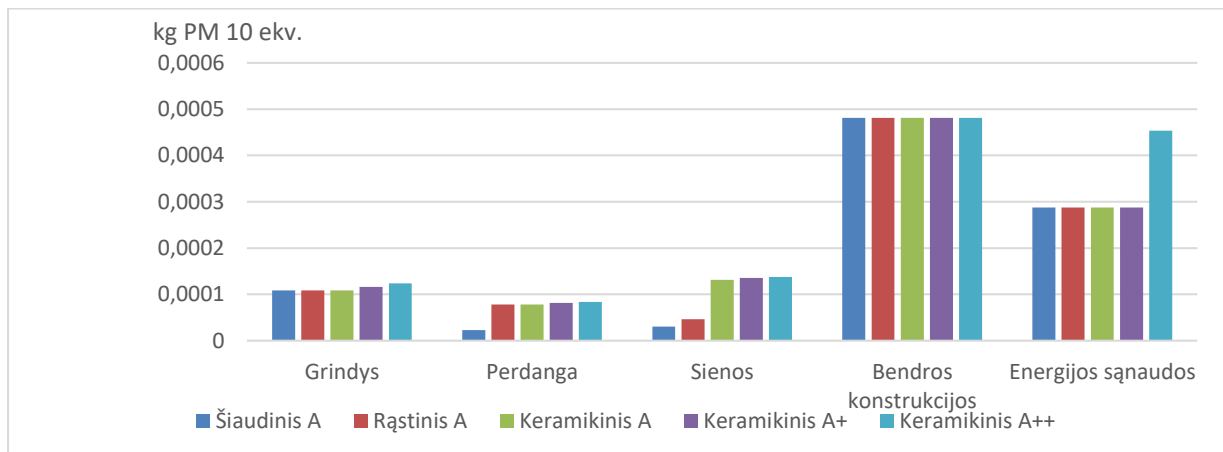
Pagrindinės dėl žmonių veiklos išsiskiriančios šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra anglies dioksidas. Jis sudaro apie 75 % visos „šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos“. Jos išsiskiria kartu su dūmais, garais ir dujiniais išmetalais iš išmetimo vamzdžių, kaminų, ugnies ir kitų šaltinių. Anglies dioksidas daugiausia susidaro, kai deginamas iškastinis kuras – anglis, nafta ir gamtinės dujos. O iškastinis kuras vis dar yra pagrindinis energijos šaltinis. Jis deginamas elektros energijai ir šilumai gaminti. Kitos konstrukcijos taip pat turi nemažą įtaką šioje kategorijoje, nes Pagrindinių konstrukcijų ir medžiagų gamyboje naudojami nemaži energijos kiekiai.



35 pav. Ozono sluoksnio retėjimo kategorija

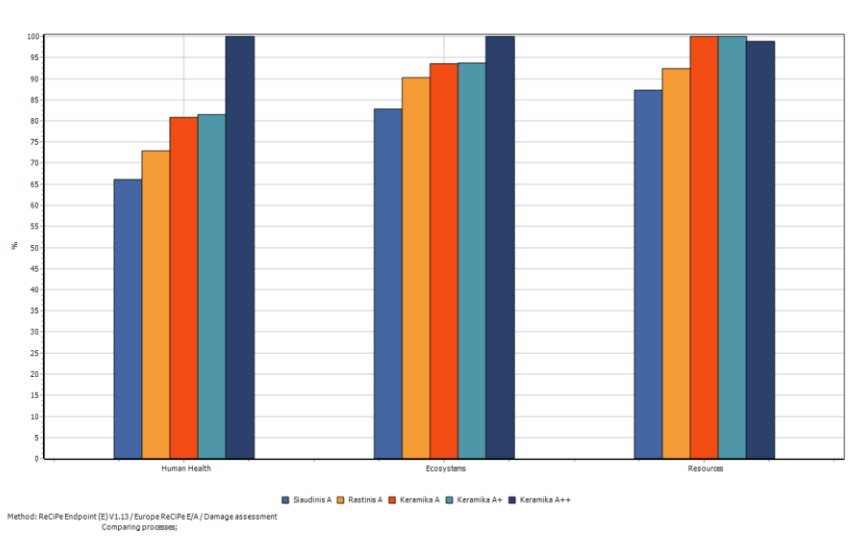
Pagrindiniai ozono sluoksnio ardytojai yra chloro atomai, atsiskiriantys nuo žmogaus susintetintų medžiagų, veikiant Saulės radiacijai. Žmonių veikla pažeidė natūralų ozono susidarymo ir skilimo

balansą, todėl daugiau ozono skyla, nei susidaro ir vis daugiau Saulės UV spindulių pasiekia Žemės paviršių. Ozo sluoksnio retėjimui, kaip ir praeitoje priklausomybėje didžiausia įtaka vėl yra iš energijos sąnaudų ir kitų bendrų konstrukcijos. Išsiskiria ozoną ardančių cheminių medžiagų išlakos susietos su A++ klasės namu.



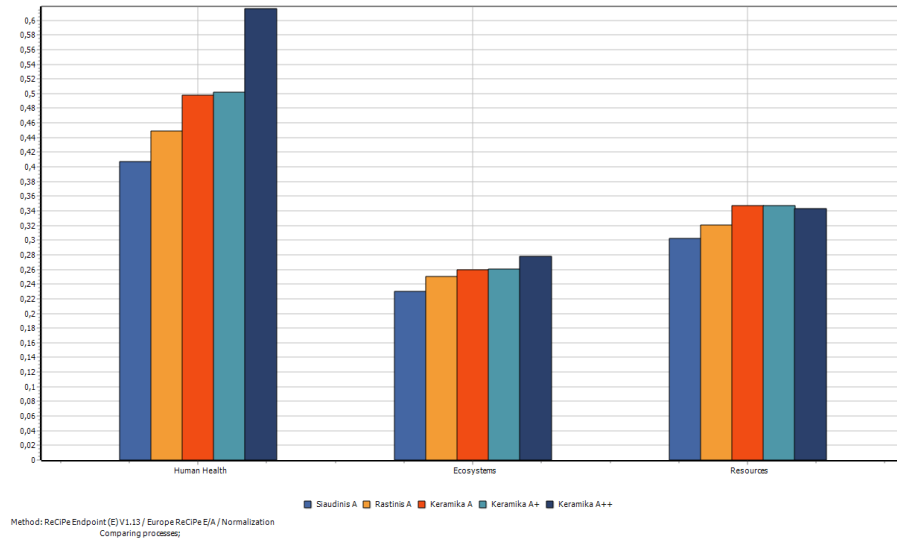
36 pav. Kietųjų dalelių susidarymas

Kietosios dalelės formuojasi, kai atmosferoje tarpusavyje reaguoja skirtingi teršalai. Tiesioginį kietųjų dalelių išmetimą į orą iš įvairiausių šaltinių sukelia kuro deginimas, dirvos erozija, vėjo pustomos dulkės ir mechaninis smulkinimas. Daugiausiai pavojaus šioje grupėje kelia kuro deginimas, dažniausiai siejamas su transportu ir pramone, tuo pačiu ir su statyba. Šioje kategorijoje, stulpelinėje priklausomybėje mažiausias matomas poveikis, kaip ir visose prieš tai apžvelgtose yra iš perdangos bei sienų. Jei lygintume namus šiame sąlyginai nedideliame bendrame poveikyje, pats mažiausias būtų – šiaudinio namo. Pastebimai išsiskiria A++ klasės namo energetinės sąnaudos.



36 pav. Visų namų žalos kategorijos statybos ir eksploatacijos etapuose vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė)

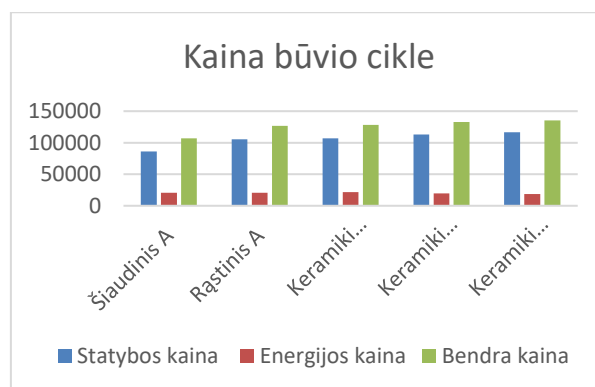
Vertinant poveikį žalos kategorijoms buvo atliktas normalizavimas (39 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad poveikis žmonių sveikatai yra reikšmingiausias lyginant su kitomis žalos kategorijomis, t. y. poveikį aplinkai reikšmingiausiai mažinsime mažindami šią žalos kategoriją.



37 pav. Tiriamų namų poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (normalizuotas poveikis)

3.2. Ekonominis būvio ciklo įvertinimas

Gyvenamųjų namų statyboje siekiama visuminius kaštus sumažinti iki minimumo per visą pastato naudojimo laiką (pirminės išlaidos + pastatui išlaikyti skirtos išlaidos). Atitvarų kainos skaičiavimai atliekami sąmatų skaičiavimo programa „Sistela“. Atitvarų įrengimo kainos pateiktos pagal 2017 spalio mėnesio įkainius. Medžiagų kiekiai ir kainos pateikiamos 7 priede. Atitvarų kainų palyginimas pateiktas 40 pav. Energijos kaina apskaičiuojama pagal energinio sertifikavimo rezultatus, pagal šiuo metu galiojančius energijos resursų įkainius.



39 pav. Kainų būvio cikle palyginimas

3.3. Statybos atliekos ir jų panaudojimas

Statybinės atliekos skirstomos į:

- tinkamas naudoti atliekas (betono gaminius, keramikos gaminius, medienos gaminius, metalo gaminius, termoizoliacines medžiagas);
- tinkamas perdirbti atliekas (betono gaminius, keramikos gaminius, medienos gaminius, metalo gaminius, popierinę pakuotę ir kartoną, polietileno gaminius, stiklo duženas, bitumines medžiagas);
- netinkamas naudoti ir perdirbti atliekas (statybinės šiukšlės ir atliekos, tarp jų tara ir pakuotė, kurios užterštos kenksmingomis medžiagomis).

Nuo statinio statybos pradžios yra susiduriama su statybos arba griovimo atliekų išrūšiavimo problema. Griaunamo pastato konstrukcinis karkasas ir visas pastato užpildymas – tai vienalytė sistema, kurioje yra įvairiausių rūšių medžiagų. Stogas, sienos ir grindys ar pan. yra sudaryti iš kelių tarpusavyje technologiškai sujungtų medžiagų, kurias norint maksimaliai išrūšiuoti – būtina atskirti. Tokio atskyrimo metu ypatingą poveikį daro darbo jėga ir veikiantis žmogiškasis faktorius. Problema atsiranda tuomet, kai perdirbimui skirtos atliekos patenka į perdirbimo aikštelę ir yra užterštos kitomis medžiagomis. Užterštos atliekos apsunkina perdirbimo procesą, arba tiesiog yra išvežamos į atliekų aikštelę.

Būsiami atliekų kiekiai nustatomi pagal sąmatinius skaičiavimus, kurie pateikti 5 priede ir pagal tai, kokios statybos technologijos taikomos.

Didžiausi kiekiai atliekų susidarys nugriovus Keramikinį A++ namą, nes jame naudojama daugiausiai termoizoliacinių medžiagų kurios bus tarpusavyje technologiškai sujungtos su kitomis medžiagomis. Mažiausiai atliekų susidarys nugriovus I namą.

Tinkamos perdirbti atliekos:

medienos atliekos, kurios neapdorotos medienos konservantais, nepadengtos gruntu ar dažais, galės būti naudojamos energijos gavybai;

stiklo atliekos techniniu požiūriu gali būti perdirbamos 100 proc. Stiklo atliekų perdirbimas tausoja ir itin sumažina smėlio, natrio karbonato ir klinčių gamtinių atsargų vartojimą. Kiekvienos tonos stiklo atliekų perdirbimas sutaupo 1,2 t pirminių žaliavų. Be to, jei stiklas gaminamas iš stiklo duženų, energijos sąnaudos yra maždaug 35 proc. mažesnės nei gaminant stiklą iš pirminių žaliavų.

Metalo laužas yra geriausiai tvarkomas ir didžiausią ekonominę vertę turintis antrinių žaliavų srautas. Plieno perdirbimui reikia tik 25 proc. Energijos kiekio, reikalingo pagaminti plienui iš pirminių medžiagų. 1 t perlydyto plieno sutaupo apie 1,5 t geležies rūdos.

Plastikai sąvartynuose daugelį metų nesuyra ir užima daug vietos, o juos deginant išsiskiria kenksmingos medžiagos. Plastiką suyra maždaug per 500 metų. Gaminams iš perdirbto plastiko

suvartojama apytiksliai 2/3 mažiau energijos, lyginant su gamyba iš pirminių žaliavų – naftos ar gamtinių dujų.

Perdirbus gauta antrinė betono skalda naudojama: statybų aikštelėse įrengiant laikinus kelius ir važiavimus, silpniems gruntams stiprinti, tvarkant aplinką (šaligatvių paklotas, perėjimo takeliai), kaip stambus užpildas betonui gaminti. Taip pat antrinę betono skaldą galima naudoti naujoms statyboms betonuojant pamatus, įrengiant automobilių stovėjimo aikšteles, tiesiant arba remontuojant lauko vandentiekio ir lauko kanalizacijos linijas. įvairių pastatų ir statinių statybai, taip pat ir statybinių konstrukcijų gamybai.

Prognozuojant būsimas atliekas kurios susidarys nugriovus pastatus, galima teigti, kad didžiausi atliekų kiekiai bus nugriovus keramikinį A++ namą, mažiausi - nugriovus šiaudinį ir rąstinį namus. Pasibaigus pastatų eksploatacijos laikotarpiui, dalis susidariusių atliekų kiekių galės būti perdirbama. Perdirbti daugiausiai medžiagų bus galima nugriovus rąstinį namą, nes šiame name medžiagos technologiškai tarpusavyje lengvai atskiriamos. Didžiausius atliekų kiekius sudarys termoizoliacinės keramikinio A, keramikinio A+, ir keramikinio A++ namo, nes šiltinimui naudota akmens vata technologiškai sujungta su mūru ir apdailinėmis medžiagomis.

IŠVADOS

1. Energijos sąnaudų minimizavimas pastatuose bei tinkamų statybinių medžiagų, konstrukcinių ir projektinių sprendimų parinkimas yra vieni pagrindinių darnios statybos elementų. Atlikus mokslinės literatūros, statistinių duomenų, bei teisinės bazės analizę matyti, kad šiuo metu didžiausias dėmesys teikiamas energijos suvartojimui pastatų eksploatacijos stadijoje, mažiau neatsižvelgiama į tai kiek energijos ir medžiagų sunaudojama konstrukcinių medžiagų gamybos metu, taip pat neįvertinama kaip bus tvarkomos atliekos nugriovus pastatus. Energijos vartojimui pastatų naudojimo etape – t. y. šildymui ir apšvietimui – jau taikomi įvairūs ES reglamentai. Gaminant statybos produktus ir statybos procese suvartojamos energijos kiekis taip pat sudaro didelę pastato poveikio aplinkai dalį. Tyrimų duomenimis, 5–10 proc. visos ES suvartojamos energijos yra susiję su statybos produktų gamyba. Balansas pasiekiamas įvertinus ir minimaliai sumažinus pastato poveikį per visą būvio ciklą bei tuo pačiu užtikrinant reikiamą žmonių pasitenkinimą ir komfortą.
2. Pagal norminius reikalavimus apskaičiuotos skirtingo energinio naudingumo namų atitvarų visuminės šiluminės varžos ir šilumos laidumo koeficientai. Jų dydžiai atitinka keliamus norminius STR 2.05.01:2013 reikalavimus. Projektiniai pastato energinio naudingumo skaičiavimai atlikti pagal pateiktą statinio statybos projektą. Skaičiavimuose įvertintos priemonės, kurios užtikrina projektuojamo pastato A, A+, A++ energinio naudingumo klasę. Didžiausi šilumos nuostoliai per atitvaras yra A klasės namų. Didėjant energinio naudingumo klasei nuostoliai mažėja.
3. Lyginat šiaudinio A, rąstinio A ir keramikinio A namų poveikį skirtingose poveikio aplinkai kategorijose ir žalos kategorijose, gauta, kad daugelyje poveikio aplinkai kategorijų, keramikinio A namo poveikis yra didžiausias: apie 10 proc. didesnis nei medinio A namo ir vidutiniškai apie 25 proc. didesnis nei šiaudinio A namo. Tik dirbamos žemės ir miesto žemės naudojimo kategorijoje apie 30 proc. didesnę poveikį turi rąstinis A namas. Šiaudinis A namas visose žalos kategorijose turi mažesnę (10-20%) poveikį nei kiti namai.
Analizuojant atskirų medžiagų poveikį aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje, gauta, kad visų I varianto namų didžiausias poveikis aplinkai, apie 60 proc. (501 kg CO₂ ekv) - lemiamas konstrukcinių medžiagų. Grindys yra antras, didžiausią poveikį turintis namo elementas. Jų naudojimas sudaro 25-33 proc. viso namo poveikio. Iš konstrukcinių medžiagų didžiausią poveikį daro langų gamybai naudojamos medžiagos – 125 kg CO₂ ekv., betono medžiagos – 174 kg CO₂ ekv., keramikinės plytelės 57 kg CO₂ ekv. Grindims didžiausią poveikį daro polistireno naudojimas grindų apšiltinimui – 235 kg CO₂ ekv., t. y. apie 82 proc. viso grindų medžiagų poveikio.
4. Lyginant skirtingo energinio naudingumo namus gauta, kad energiškai efektyviausio pastato (A++ klasė) poveikis aplinkai visame būvio cikle yra 2060 kg CO₂ ekv. - šiek tiek mažesnis nei

- A ir A+ (2070kg CO₂ ekv.). Energijos naudojimas eksploatacijos etape sudaro 43 – 46 proc. ŠESD emisijų. Analizuojant II varianto namų energijos naudojimo poveikį, gauta, kad didėjant energinio efektyvumo klasei, energijos sąnaudos mažėja labai nežymiai. Lyginat skirtingo energinio naudingumo namų poveikį kitose poveikio aplinkai kategorijose, gauta, kad keramikinio A++ namo poveikis yra didžiausias ir varijuoja gana plačiose ribose nuo 10 iki 80% priklausomai nuo kategorijos. Vertinant poveikį žalos kategorijose, žala žmogaus sveikatai ir ekosistemoms didėja nuo 7 proc. iki 20 proc., didėjant namo energinio naudingumo klasei. Tačiau žala ištekliams – išlieka labai panaši nepriklausomai nuo energinio naudingumo klasės.
5. Apskaičiavus tiriamų pastatų kainą visame būvio cikle gauta, kad didžiąją dalį išlaidų sudaro statybos kaina. Energijos kaina yra apie 20 proc. visos kainos būvio cikle. Mažiausia kaina visame būvio cikle yra šiaudinio A namo, didžiausia kaina statybos ir eksploatacijos metu yra keramikinio A++ namo.

Apibendrinimas

Vertinant visus pastatus nuo žaliavų išgavimo iki perdavimo vartotojui (statybos etapas) klimato kaitos kategorijoje poveikis aplinkai siekia 2000 kg CO₂ ekv. vertinamam funkciniam vienetui. Didžiausią poveikį šiame etape turi energiškausiai efektyviausias keramikinis A++ namas, nes jo statybai sunaudojami didžiausi konstrukcijų ir medžiagų kiekiai. Atiekant ekonominį vertinimą gauta, kad šio namo statybos ir eksploatacijos kaina taip pat yra didžiausia. Prognozuojant būsimas atliekas, didžiausi atliekų kiekiai bus A++ namo.

Įvertinus visų namų poveikį aplinkai (įtraukiant ir atliekas bei ekonominį vertinimą) mažiausią įtaką turi šiaudiniai ir rąstiniai namai. Juos galima priskirti prie ekologiškos statybos namų, nes statoma iš gamtinių medžiagų kurių gamyboje nenaudojama energija.

Remiantis šio darbo rezultatais galima būtų siūlyti teikti Aplinkos apsaugos ministerijai prašymą peržiūrėti reikalavimus naujų namų statybai nuo 2020 m.

LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

2010/31/ES Europos parlamento ir tarybos direktyva „Dėl pastatų energinio naudingumo“ (nauja redakcija). Briuselis, 2010. 67 p.

Anand C. K., Amor B. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: a critical review. *Renew Sustain Energy Rev* 2017, 67.

Ardente F, Beccali M, Cellura M, Mistretta. Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit actions. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2011;15:460–70.

Arpad H. Construction materials and the environment. *Annu Rev Environ Resour* 2004; 29, p. 181–204.

Asif M., Muneer T., Kelley R. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment* 2007;3:1391–4.

Atmaca A. Life cycle assessment and cost analysis of residential buildings in south east of Turkey: part 1 review and methodology. *Int J Life Cycle Assess* 2016, 21(6).

Blengin, G. A.; Di Carlo, T. 2010. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, *Energy and Buildings*. 42(10): 869–880. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.009>

Blengini, G. A.; Di Carlo, T. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, *Energy and Buildings* 2010;42(10): 869–880

Bribián, I.; Capilla, A. V.; Usón, A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, *Building and Environment* 2010;46(11): 1133–1140.

Broun, R.; Menzies, G. F. Life cycle energy and environmental analysis of partition wall systems in the UK, *International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities* 2011;864–873.

Bučius, A.; Juškevičius, P.; Vitkauskas, A.; 2004. *Rekomendacijos statinių ir jo dalių gyvavimo skaičiuojamosios trukmės įvertinimas R27-01*. Viešoji įstaiga Būsto ir urbanistikos plėtros fondas, Aplinkos ministerija. Vilnius. 68 p.

Buyle M., Braet J., Audenaert A. Life cycle assessment in the construction sector: a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2013;26:379–88.

Dylewski, R.; Adamczyk, J. 2011. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls, *Building and environment*, 46(6): 2615–2623. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.023>.

Efektyvus energijos vartojimo pastatuose vadovas [interaktyvus]. 2008, žiūrėta [2018-05-18]. Prieiga per: http://www.ena.lt/doc_atsti/EE_vadovas.pdf.

EN ISO 14040:2006, Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:2006), direktyvos 768/2008/EB. Vilnius, 2006. 87 p.

Fay R., Treloar G., Raniga U. I. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Build Res Inf* 2000, 28, p. 31–41.

Goedkoop, M.; An De Schryver, A. D.; Oele, M.; Durksz, S.; de Roest, D. 2010. *Introduction to LCA with SimaPro 7*. 88 p.

Habert G., Arribe D, Dehove T, Espinasse L, et al. Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: quantification of the improvement to concrete bridges. *J Clean Prod* 2012; 35, 250.

Investicijų planai [žiūrėta 2014 gruodžio 10 d.]. Prieiga per internetą: http://www.vilnius.lt/lit/2014_metais_partnerystes_sutartimi_patvi/1577547.

Iribarren, D.; Mavruglia, A. 2014. LCA+DEA approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls, *Journal of cleaner production*, 4(4): 1–10. Prieiga per internetą: <http://www.elsevier.com/locate/jclepro>.

Ji C., Hong T., Jeong J., et al. Establishing environmental benchmarks to determine the environmental performance of elementary school buildings using LCA. *Energy Build* 2016, 127.

Jönsson Å., Tillman A. M., Svensson T. Life cycle assessment of flooring materials: case study. *Building and Environment* 1997; 3 p. 245–55.

Junnila S. Life cycle assessment of environmentally significant aspects of an Office building. *Nord J Surv Real Estate Res Spec Ser* 2004, 2.

Kibert, Charles J., *Sustainable Construction, Green Building Design and Delivery*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2012.

Kijevičius, M.; Valančius, K. 2014 Pastato išorinių atitvarų apšiltinimo tikslingumas 2E rodiklių požiūriu. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, Vilnius, Technika ISSN 2029–2341. T. 6, nr. 4 p. 407–413. Prieiga per internetą: <http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/view/mla>.

Kylili A., Ilic M., Fokaides P. A. Whole-building Life Cycle Assessment (LCA) of a passive house of the sub-tropical climatic zone. *Resour Conserv Recycl* 2017, 116.

Knoeri C., Sanye-Mengual E., Althaus H. J. Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. *Int J Life Cycle Assess* 2013, 18(5):909–18.

Kofoworola O. F., Gheewala S. H. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. *Int J Life Cycle Assess* 2008, 13(6).

Koroneos C., Dompros A. Environmental assessment of brick production in Greece. *Building and Environment* 2007;5:2114–23.

Langdon D. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction, guidance on the use of the LCC methodology and its application in public procurement. Report commissioned by the European Union; 2007.

Li J. Towards a low-carbon future in China's building sector– a review of energy and climate models forecast. *Energy Policy* 2008, 36(5).

Li J. F., Wang M. H., Ho Yuh-Shan. Trends in research on global climate change: a science citation index expanded-based analysis. *Glob Planet Change* 2011, 77:13–20.

Lu A., Bamford N., Charters B., Robinson J. Environmentally sustainable development: a life-cycle costing approach for a commercial office building in Melbourne, Australia. *Constr Manag Econ* 2000;18:927–34.

Nebel B., Zimmer B., Wegener G. Life cycle assessment of wood floor coverings: a representative study for the German flooring industry. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2006; 3:172–82.

Nelms C., Russell A. D., Lence B. J. Assessing the performance of sustainable technologies for building projects. *Can J Civ Eng* 2004;32:114–28.

Nicoletti G. M., Notarnicola B., Tassielli G. Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production* 2002;3:283–96.

Park J., Tae S., Kim T. Life cycle CO₂ assessment of concrete by compressive strength on construction site in Korea. *Renew Sustain Energy Rev* 2012, 16(5).

Proietti S, Sdringola P, Desideri U, Zepparelli F, Masciarelli F, Castellani F. Life cycle assessment of a passive house in a seismic temperate zone. *Energy and Buildings* 2013;64:463–72.

Radhi H., Sharples S. Global warming implications of facade parameters: a life cycle assessment of residential buildings in Bahrain. *Environmental Impact Assessment* 2013;38:99–108.

Ramesh T., Prakash R., Shukla K. K. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *Energy and Buildings* 2010;10:1592–600.

Risholtn, B.; Berker, T. Success for energy efficient renovation of dwellings – Learning from private homeowners, *Energy Policy* 2013;61(7): 1022–1030.

Sartori I., Hestnes A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy Build* 2007;39(3):249–57.

Scheuer C., Keoleian G. A., Reppe P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy Build* 2003;35:1049–64.

Sev Aysin. How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework. *Sustain Dev* 2009;17:161–73.

Sharma, A.; Saxena, A. Life cycle assessment of building: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;58(8): 871-875.

Shengnan Genga, Yuan Wanga, Jian Zuob, Zhihua Zhoua, Huibin Duc, Guozhu Mao, Building life cycle assessment research, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 76, p. 176–184.

Singh A., Berghorn G., Joshi S., Syal M. Review of life-cycle assessment applications in building construction. *Journal of Architectural Engineering* 2011;1:15–23.

Tae S., Baek C., Shin S. Life cycle CO₂ evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete. *Environ Impact Assess Rev* 2011; 31, 253.

Thormark C. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Build Environ* 2000;37(4):429–35.

Van der Lugt P., van den Dobbelen A. A. J. F., Janssen J. J. A. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials* 2006;9:648–56.

Vitale P., Arena N., Di G. F., et al. Life cycle assessment of the end-of-life phase of a residential building. *Waste Manag* 2016.

Weiler V., Harter H., Eicker U. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy Build* 2016, 134.

Winther BN, Hestnes AG. Solar versus green: the analysis of a Norwegian row house. *Solar Energy* 1999;6:387–93.

Ximenes F. A., Grant T. Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2013;18:891–908.

Zabalza Bribián I, Aranda Usón A, Scarpellini S. Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 2009;12:2510–20.

Zimmermann M, Althaus H-, Haas A. Benchmarks for sustainable construction: a contribution to develop a standard. *Energy and Buildings* 2005;11:1147–57.

Zhao Z. Y., Zhu J., Zuo J. Sustainable development of the wind power industry in a complex environment: a flexibility study. *Energy Policy* 2014, 75.

Zuo J., Pullen S., Rameezdeen R., et al. Green building evaluation from a life-cycle perspective in Australia: a critical review. *Renew Sustain Energy Rev* 2017, 70.

Zuo J., Zillante G., Wilson L., Davidson K., Pullen S. Sustainability policy of construction contractors: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012, 16.

PRIEDAI

Šiaudinio namo atitvarų šiluminės varžos

Atitvaros sluoksnis	Storis, mm	λ_D	λ_{ds}	R_i	R_q	R_g	R_{si}	R_{se}
Siena SN-1 (su išore)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Molinis tinkas	30	0,7		0,0429				
Šiaudų skydai	450	0,054		8,3333				
Molinis tinkas	30	0,7		0,0429				
R_s				8,4190				
Visuminė šiluminė varža, R_t	8,589							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,116							
Perdanga po nešildoma pastoge								
Paviršiaus išorinės varžos							0,1	0,1
Vėjo izoliacija Min vata PAROC WAS 25	30	0,033	0,034	0,8824				
Min vata PAROC extra plus ant medinių sijų	100	0,034	0,035	2,8571				
Min vata PAROC extra plus tarp medinių sijų 50x250, ž. 600	250	0,034	0,0451	5,5408				
Garų izoliacija					0,04			
Min vata PAROC extra plus tarp tašų 50x50, ž. 600	50	0,034	0,0451	1,4706				
R_s				10,751				
Visuminė šiluminė varža, R_t	10,991							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,091							
Grindys ant grunto GR-1								
Grindų danga					0,02			
Armuotas betonas	80	2,3		0,0348				
Hidroizoliacija					0,04			
EPS 100	300	0,035	0,041	7,3171				
R_s				7,3519				
Visuminė šiluminė varža, R_f	7,412							
Cokolis CK-1 (juostiniai pamatai apšiltinti visu išoriniu perimetru)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Tinkas	10	0,9		0,0111				
XPS	250	0,035	0,039	6,4103				
G/b pamatas	300	2,5		0,1200				
R_s				6,5414				
Visuminė šiluminė varža, R_t	6,711							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,149							

Rąstinio namo atitvarų šiluminės varžos

Atitvaros sluoksnis	Storis, mm	λ_D	λ_{ds}	R_i	R_q	R_g	R_{si}	R_{se}
Siena SN-1 (su išore)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Rastai	200	0,18		1,111				
Garo izoliacija					0,04			
Min vata PAROC extra plus tarp medinio karkaso 50x150, ž.600	150	0,034	0,045	3,325				
Min vata PAROC extra plus tarp skersinio medinio karkaso 50x150, ž.600	150	0,034	0,045	3,325				
Min vata PAROC WAS 25	30	0,033	0,034	0,882				
R_s				8,642			0,17	
Visuminė šiluminė varža, R_t	8,812							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,113							
Perdanga po nešildoma pastoge								
Paviršiaus išorinės varžos							0,1	0,1
Vėjo izoliacija Min vata PAROC WAS 25	30	0,033	0,034	0,882				
Min vata PAROC extra plus ant medinių sijų	100	0,034	0,035	2,857				
Min vata PAROC extra plus tarp medinių sijų 50x250, ž. 600	250	0,034	0,045	5,541				
Garo izoliacija					0,04			
Min vata PAROC extra plus tarp tašų 50x50, ž. 600	50	0,034	0,045	1,471				
R_s				10,75	0,04		0,2	
Visuminė šiluminė varža, R_t	10,991							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,091							
Grindys ant grunto GR-1								
Grindų danga					0,02			
Armuotas betonas	80	2,3		0,035				
Hidroizoliacija					0,04			
EPS 100	300	0,035	0,041	7,317				
R_s				7,352	0,06			
Visuminė šiluminė varža, R_t	7,412							
Cokolis CK-1 (juostiniai pamatai apšiltinti visu išoriniu perimetru)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Tinkas	10	0,9		0,011				
XPS	250	0,035	0,039	6,410				
G/b pamatas	300	2,5		0,120				
R_s				6,541	0		0,17	
Visuminė šiluminė varža, R_t	6,711							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,149							

Keraminių blokelių A + klasės namo atitvarų šiluminės varžos

Atitvaros sluoksnis	Storis, mm	λD	λds	R_i	R_q	R_g	R_{si}	R_{se}
Dvisluoksnis mūras su išore, I VAR								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Tinkas	10	0,9		0,0111				
Keraminiai blokeliai	250		0,7	0,3571				
Min vata PAROC Linio 10	340	0,036	0,038	8,9474				
Tinkas	10	0,9		0,0111				
R_s				9,3267			0,17	
Visuminė šiluminė varža, R_t	9,497							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,105							
Stogas ST-1 (perdanga po nešildoma pastoge)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,1	0,1
Vėjo izoliacija Min vata PAROC WAS 25	30	0,033	0,034	0,8824				
Min vata PAROC extra plus ant medinių sijų	100	0,034	0,035	2,8571				
Min vata PAROC extra plus tarp medinių sijų 50x250, ž. 600	250	0,034	0,0451	5,5408				
Garų izoliacija					0,04			
Min vata PAROC extra plus tarp tašų 50x50, ž. 600	50	0,034	0,0451	1,4706				
R_s				10,7509	0,04		0,2	
Visuminė šiluminė varža, R_t	10,99							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,09							
Grindys ant grunto GR-1								
Grindų danga					0,02			
Armuotas betonas	80	2,3		0,0348				
Hidroizoliacija					0,04			
EPS 100	250	0,035	0,041	6,0976				
R_s				6,1323	0,06			
Visuminė šiluminė varža, R_f	6,192							
Cokolis CK-1 (juostiniai pamatai apšiltinti visu išoriniu perimetru)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Tinkas	10	0,9		0,0111				
XPS	250	0,035	0,039	6,4103				
G/b pamatas	300	2,5		0,1200				
R_s				6,5414			0,17	
Visuminė šiluminė varža, R_t	6,711							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,149							

Keraminių blokelių A ++ klasės namo atitvarų šiluminės varžos

Atitvaros sluoksnis	Storis, mm	λD	λds	R_i	R_q	R_g	R_{si}	R_{se}
Dvisluoksnis mūras su išore, I VAR								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Tinkas	10	0,9		0,0111				
Keraminiai blokeliai	250		0,7	0,3571				
Min vata PAROC Linio 10	380	0,036	0,038	10,0000				
Tinkas	10	0,9		0,0111				
R_s				10,3794			0,17	
Visuminė šiluminė varža, R_t	10,549							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,095							
Perdanga po nešildoma pastoge								
Paviršiaus išorinės varžos							0,1	0,1
Vėjo izoliacija Min vata PAROC WAS 25	30	0,033	0,034	0,8824				
Min vata PAROC extra plus ant medinių sijų	150	0,034	0,035	4,2857				
Min vata PAROC extra plus tarp medinių sijų 50x250, ž. 600	250	0,034	0,04512	5,5408				
Garo izoliacija					0,04			
Min vata PAROC extra plus tarp tašų 50x50, ž. 600	50	0,034	0,04512	1,4706				
R_s				12,1794	0,04		0,2	
Visuminė šiluminė varža, R_t	12,419							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,081							
Grindys ant grunto GR-1								
Grindų danga					0,02			
Armuotas betonas	80	2,3		0,0348				
Hidroizoliacija					0,04			
EPS 100	300	0,035	0,041	7,3171				
R_s				7,3519	0,06			
Visuminė šiluminė varža, R_f	7,412							
Cokolis CK-1 (juostiniai pamatai apšiltinti visu išoriniu perimetru)								
Paviršiaus išorinės varžos							0,13	0,04
Tinkas	10	0,9		0,0111				
XPS	250	0,035	0,039	6,4103				
G/b pamatas	300	2,5		0,1200				
R_s				6,5414	0		0,17	
Visuminė šiluminė varža, R_t	6,711							
Šilumos laidumo koeficientas, U	0,149							

I–V namų apskaičiuoti medžiagų ir mechanizmų kiekiai

Resurso kodas	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
I namas			
120030	Statybinės viny	kg	80,25
120052	Tvirtinimo varžtai (statybiniai)	kg	62,55
260019	Molis	m ³	9,0
260020	Liesikliai	kg	5,0
534092	Tašeliai ir tašai 70 mm st. ir daugiau (spygl., 3 rūš.)	m ³	0,105
970800	Kapoti šiaudai	m ³	75,0
00023	Kvarcinis smėlis	kg	545,0
368034	Siurblys	vnt.	1,0
488029	Maišyklė	vnt.	1,0
II namas			
120030	Statybinės viny	kg	52,26
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	3,5
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	43,03
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	176,89
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	252,0
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	0,01
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	2,98
534942	Dailylentės	m ²	175,35
534952	Apipjauti rąstai	m ³	36,91
550005	Medžio drožlių plokštės	m ²	147,0
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	100,0
570842	Hidroizoliaciniai tarpikliai	m	66,8
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,7
570885	Vanduo	m ³	1,4
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	9,67
573004	Skalda	m ³	5,74
600043	Betono mišiniai	m ³	14,28
489003	Keltuvas	vnt.	1,0
489034	Kranas ant automob. važiuoklės keliam. galios iki 10 t	vnt.	1,0
489100	Savaeigis plentvolis iki 6 t	vnt.	1,0
489131	Kranas	vnt.	1,0
489153	Buldozeris 55 kW (75 AG)	vnt.	1,0
489220	Vibrosija	vnt.	1,0
489244	Smulkūs mechanizmai su el. varikliu	vnt.	11,0
III namas			
120030	Statybinės viny	kg	7,28
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	3,5
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	43,07192
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt.	1002,0
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	1,54
230153	Silikatiniai dažai	kg	102,204
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	920,0

Resurso kodas	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
230410	Gruntas (gruntuotė)	l	50,1
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	0,3038
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	0,3682
550018	Medžio plaušo plokštės (pusiau kietos)	m ²	147,0
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	55,65393
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,7
570885	Vanduo	m ³	1,4
572157	Tinko skiedinys (sausį mišiniai)	t	1,002
572159	Sintetinis tinklelis	m ²	175,35
572160	Dekoratyvini tinko skiedinys	t	0,501
572187	Fasadinės min. vatos plokštės	m ³	50,535
572311	Sienų keraminiai blokai 247 x 250 x 188 mm	vnt.	3427,2
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	4,41
573015	Neplautas žvyras	m ³	5,74
600043	Betono mišiniai	m ³	14,2997
600188	Cemento kalkių skiedinys	m ³	2,94
489003	Keltuvas	vnt.	1,0
489100	Savaeigis plentvolis iki 6 t	vnt.	1,0
489131	Kranas	vnt.	1,0
489153	Buldozeris 55 kW (75 AG)	vnt.	1,0
489220	Vibrosija	vnt.	1,0
489244	Smulkūs mechanizmai su el. varikliu	vnt.	8,0
489246	Mažosios mechanizacijos priemonės su elektros varikliu	vnt.	2,0
IV namas			
120030	Statybinės vyns	kg	7,28
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	3,5
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	55,07192
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt.	1002,0
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	1,54
230153	Silikatiniai dažai	kg	102,204
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	920,0
230410	Gruntas (gruntuotė)	l	50,1
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	124,0
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	0,3682
550018	Medžio plaušo plokštės (pusiau kietos)	m ²	147,0
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	62,65393
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,7
570885	Vanduo	m ³	1,4
572157	Tinko skiedinys (sausį mišiniai)	t	1,002
572159	Sintetinis tinklelis	m ²	175,35
572160	Dekoratyvini tinko skiedinys	t	0,501
572187	Fasadinės min. vatos plokštės	m ³	65,535
572311	Sienų keraminiai blokai 247 x 250 x 188 mm	vnt.	3427,2
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	8,82
573015	Neplautas žvyras	m ³	5,74
600043	Betono mišiniai	m ³	14,2997
600188	Cemento kalkių skiedinys	m ³	2,94
489003	Keltuvas	vnt.	1,0

Resurso kodas	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
489100	Savaeigis plentvolis iki 6 t	vnt.	1,0
489131	Kranas	vnt.	1,0
489153	Buldozeris 55 kW (75 AG)	vnt.	1,0
489220	Vibrosija	vnt.	1,0
489244	Smulkūs mechanizmai su el. varikliu	vnt.	8,0
489246	Mažosios mechanizacijos priemonės su elektros varikliu	vnt.	2,0
V namas			
120030	Statybinės vinys	kg	7,28
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	3,5
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	61,07192
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt.	1002,0
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	1,54
230153	Silikatiniai dažai	kg	102,204
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	920,0
230410	Gruntas (gruntuotė)	l	50,1
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1c3 rūš.)	m ³	124,0
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	0,3682
550018	Medžio plaušo plokštės (pusiau kietos)	m ²	147,0
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	70,325
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,7
570885	Vanduo	m ³	1,4
572157	Tinko skiedinys (sausieji mišiniai)	t	1,002
572159	Sintetinis tinklelis	m ²	175,35
572160	Dekoratyvinis tinko skiedinys	t	0,501
572187	Fasadinės min. vatos plokštės	m ³	78,535
572311	Sienų keraminiai blokai 247 x 250 x 188 mm	vnt.	3427,2
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	8,82
573015	Neplautas žvyras	m ³	5,74
600043	Betono mišiniai	m ³	14,2997
600188	Cemento kalkių skiedinys	m ³	2,94
489003	Keltuvas	vnt.	1,0
489100	Savaeigis plentvolis iki 6 t	vnt.	1,0
489131	Kranas	vnt.	1,0
489153	Buldozeris 55 kW (75 AG)	vnt.	1,0
489220	Vibrosija	vnt.	1,0
489244	Smulkūs mechanizmai su el. varikliu	vnt.	8,0
489246	Mažosios mechanizacijos priemonės su elektros varikliu	vnt.	2,0

Pastato projekto energinio naudingumo vertinimo variantai

Charakteristika	I namas	II namas	III namas	IV namas	V namas
Pirmasis pastato šildymui naudojamas šilumos šaltinis Pastaba: dujinio katilo efektyvumas prie nominalios šildymo galios (ne mažiau kaip TV/TR (Hi/Hs) = 30 / 50°C)	Šilumos siurblys, oras-oras, energija iš oro, naud. koef. (SPF) ≥ 3	Šilumos siurblys, oras-oras, energija iš oro, naud. koef. (SPF) ≥ 3	Šilumos siurblys, oras-oras, energija iš oro, naud. koef. (SPF) ≥ 3	Šilumos siurblys, oras-oras, energija iš oro, naud. koef. (SPF) ≥ 3	Šilumos siurblys, oras-oras, energija iš oro, naud. koef. (SPF) $\geq 4,5$
Antrasis pastato šildymui naudojamas šilumos šaltinis	Dujinis kondensacinis katilas koef. $\geq 0,94$ (energijos šaltinis – gamtinės dujos)	Dujinis kondensacinis katilas koef. $\geq 0,94$ (energijos šaltinis – gamtinės dujos)	Dujinis kondensacinis katilas koef. $\geq 0,94$ (energijos šaltinis – gamtinės dujos)	Dujinis kondensacinis katilas koef. $\geq 0,94$ (energijos šaltinis – gamtinės dujos)	Dujinis kondensacinis katilas koef. $\geq 1,07$ (energijos šaltinis – gamtinės dujos)
Šildymo sistemos reguliavimo įtaisai: - Reguliavimo įtaisai apima visų patalpų šildymo reguliavimą naudojant patalpų arba išorės termostatą - $\eta_1 = 0,93$ ir termostatinis šildymo prietaisų ventilius - $\eta_1 = 0,98$.	0,93	0,93	0,93	0,93	0,98
Karšto vandens ruošimo sistema	Kombinuotas tūrinis šildytuvas (200 l)	Kombinuotas tūrinis šildytuvas (200 l)	Kombinuotas tūrinis šildytuvas (200 l)	Kombinuotas tūrinis šildytuvas (200 l)	Kombinuotas tūrinis šildytuvas (200 l)
Vėdinimas - mechaninis su rekuperacija, Elektrinių ventiliatorių sunaudojamas elektros energijos kiekis – $G \leq 0,45$ Wh/m ³ , Rekuperacinės sistemos skaičiuojamasis šilumos sugražinimo naudingumo koef. – $\eta_{re} \geq 0,80$ (I, II, III), $\eta_{re} \geq 0,90$ (V)	su oro pašildymu (šilumos šaltinis – elektra)	su oro pašildymu (šilumos šaltinis – elektra)	su oro pašildymu (šilumos šaltinis – elektra)	su oro pašildymu (šilumos šaltinis – elektra)	su oro pašildymu (šilumos šaltinis – elektra)
Vėsinimas	su ar be vėsinimo	su ar be vėsinimo	su ar be vėsinimo	su ar be vėsinimo	su ar be vėsinimo
Apšvietimas- Šviestuvai su šviesos diodų (LED) lempomis – 100%	yra	yra	yra	yra	yra

Charakteristika	I namas	II namas	III namas	IV namas	V namas
Sienos, U (W/m ² ·K). (žiūrėti 1 priedą)	≤ 0,116	≤ 0,113	≤ 0,118	≤ 0,105	≤ 0,090
Stogas su išore, U (W/m ² ·K). (Žiūrėti PRIEDAS Nr. 1)	≤ 0,106	≤ 0,105	≤ 0,105	≤ 0,091	≤ 0,081
Lauko durys, U (W/m ² ·K).	≤ 1,40	≤ 1,40	≤ 1,40	≤ 1,00	≤ 0,75
Langai, U (W/m ² ·K). Pastabos: 1. Skaičiavimuose priimtas norminis saulės praleisties koeficientas g=0,5. 2. Nurodytas bendras langų šilumos perd. koef. vidurkis	≤ 0,90	≤ 0,90	≤ 0,90	≤ 0,80	≤ 0,70
Grindys ant grunto, R _{bf} (m ² ·K/W). (Žiūrėti PRIEDAS Nr. 1)	≥ 4,973	≥ 4,973	≥ 4,973	≥ 6,192	≥ 7,412
Norminiai šiluminiai ilginiai tilteliai: - tarp pamatų ir išorinių sienų; - tarp sienų ir stogo (išorinis kampas); - apie langų angas sienose; - apie išorinių durų angas sienose; - apie langų ir pamato angas; - apie išorinių durų ir pamato angas; - fasado išoriniuose kampuose; - fasado vidiniuose kampuose	ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,05 ψ = 0,05 ψ = 0,10 ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,00	ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,05 ψ = 0,05 ψ = 0,10 ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,00	ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,05 ψ = 0,05 ψ = 0,10 ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,00	ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,05 ψ = 0,05 ψ = 0,10 ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,00	ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,05 ψ = 0,05 ψ = 0,10 ψ = 0,10 ψ = 0,00 ψ = 0,00
Atsinaujinantys šaltiniai	nėra	nėra	nėra	nėra	Fotovoltiniai saulės kolektoriai. Plotas ≥ 52,0 m ² . Pikinė galia – 0,26 x 48 vnt.= 12,48 kW/m ² . Panaudojimas: - šildymo sistamai, - karšto v. sistamai, -elektros prietaisams. Vėdinimo pobūdis – intensyviai vėdinamas.

Charakteristika	I namas	II namas	III namas	IV namas	V namas
Sandarumas (oro apykaitos pastate rodiklio n50 vertė (1/h)	$n(50) < 1,0 \text{ n}^{-1}$	$n(50) < 1,0 \text{ n}^{-1}$	$n(50) < 0,6 \text{ n}^{-1}$	$n(50) < 0,6 \text{ n}^{-1}$	$n(50) < 0,6 \text{ n}^{-1}$

Tiriamų pastatų kainų skaičiavimai

Resursų kodas	Pavadinimas	Mato Vnt.	Kaina, EUR	Kiekis	Vertė, EUR
I namas					
120030	Statybinės vyns	kg	1,06	80,25	85,07
120052	Tvirtinimo varžtai (statybiniai)	kg	1,92	62,55	120,1
260019	Molis	m ³	30,0	9,0	270,0
260020	Liesikliai	kg	15,0	5,0	75,0
534092	Tašeliai ir tašai 70mm st. ir daugiau (spygl., 3 rūš.)	m ³	124	6	744,0
970800	Šiaudai	m ³	10,0	75,0	750
550005	Medžio drožlių plokštės	m ²	1,97	147,0	289,59
573004	Skalda	m ³	25,08	5,74	143,96
600043	Betono mišiniai	m ³	72,17	14,28	1030,59
00023	Kvarcinis smėlis	kg	0,33	545,0	179,85
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	52,37	43,0251	2253,22
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	0,69	176,89	122,05
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	0,31	252,0	78,12
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	195,54	0,0098	1,92
II namas					
120030	Statybinės vyns	kg	1,06	52,2585	55,39
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	1,92	3,5	6,72
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	52,37	43,0251	2253,22
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	0,69	176,89	122,05
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	0,31	252,0	78,12
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	124,0	4,0	496,0
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	124,0	9,6	1190,4
534942	Dailylentės	m ²	7,78	175,35	1364,22
534952	Apipjauti rąstai	m ³	150,0	36,907	5536,05
550005	Medžio drožlių plokštės	m ²	1,97	147,0	289,59
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	32,47	99,99503	3246,84
570842	Hidroizoliaciniai tarpikliai	m	0,05	66,8	3,34
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,05	0,7	0,04
570885	Vanduo	m ³	1,23	1,4	1,72
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	98,55	9,6705	953,03
573004	Skalda	m ³	25,08	5,74	143,96
600043	Betono mišiniai	m ³	72,17	14,28	1030,59
III namas					
120030	Statybinės vyns	kg	1,06	7,28	7,72
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	1,92	3,5	6,72
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	52,37	43,07192	2255,68
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt.	0,15	1002,0	150,3
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	0,69	1,54	1,06
230153	Silikatiniai dažai	kg	4,62	102,204	472,18
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	0,31	920,0	285,2

Resursų kodas	Pavadinimas	Mato Vnt.	Kaina, EUR	Kiekis	Vertė, EUR
230410	Gruntas (gruntuotė)	l	3,97	50,1	198,9
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	124	12	1488
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	124	9	1102,00
550018	Medžio plaušo plokštės (pusiau kietos)	m ²	1,26	147,0	185,22
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	32,47	55,65393	1807,08
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,05	0,7	0,04
570885	Vanduo	m ³	1,2	1,4	1,68
572157	Tinko skiedinys (sausį mišiniai)	t	307,06	1,002	307,67
572159	Sintetinis tinklelis	m ²	0,82	175,35	143,79
572160	Dekoratyvinis tinko skiedinys	t	501,1	0,501	251,05
572187	Fasadinės min. vatos plokštės	m ³	98,55	53,535	4980,22
572311	Sienų keraminiai blokai 247 x 250 x 188mm	vnt.	0,65	3427,2	2227,68
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	98,55	4,41	434,61
573015	Neplautas žvyras	m ³	10,69	5,74	61,36
600043	Betono mišiniai	m ³	72,17	14,2997	1032,01
600188	Cemento kalkių skiedinys	m ³	68,69	2,94	201,95
IV namas					
120030	Statybinės vinys	kg	1,06	7,28	7,72
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	1,92	3,5	6,72
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	52,37	55,07192	2884,12
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt.	0,15	1002,0	150,3
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	0,69	1,54	1,06
230153	Silikatiniai dažai	kg	4,62	102,204	472,18
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	0,31	920,0	285,2
230410	Gruntas (gruntuotė)	l	3,97	50,1	198,9
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	124	13	1612
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	124	9	1102,0
550018	Medžio plaušo plokštės (pusiau kietos)	m ²	1,26	147,0	185,22
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	32,47	62,65393	2034,37
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,05	0,7	0,04
570885	Vanduo	m ³	1,23	1,4	1,72
572157	Tinko skiedinys (sausį mišiniai)	t	307,06	1,002	307,67
572159	Sintetinis tinklelis	m ²	0,82	175,35	143,79
572160	Dekoratyvinis tinko skiedinys	t	501,1	0,501	251,05
572187	Fasadinės min. vatos plokštės	m ³	98,55	65,535	6458,47
572311	Sienų keraminiai blokai 247 x 250 x 188 mm	vnt.	0,65	3427,2	2227,68
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	98,55	8,82	869,21
573015	Neplautas žvyras	m ³	10,69	5,74	61,36
600043	Betono mišiniai	m ³	72,17	14,2997	1032,01
600188	Cemento kalkių skiedinys	m ³	68,69	2,94	201,95
V namas					
120030	Statybinės vinys	kg	1,06	7,28	7,72
120063	Medsraigčiai (įvairūs)	kg	1,92	3,5	6,72
220098	Putų polistireno grindų izoliavimo plokštė	m ³	52,37	61,07192	3198,34
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt.	0,15	1002,0	150,3
220730	Izoliacinė plėvelė	m ²	0,69	1,54	1,06
230153	Silikatiniai dažai	kg	4,62	102,204	472,18

Resursų kodas	Pavadinimas	Mato Vnt.	Kaina, EUR	Kiekis	Vertė, EUR
230404	Sausi klijų mišiniai	kg	0,31	920,0	285,2
230410	Gruntas (gruntuotė)	l	3,97	50,1	198,9
534013	Apipjauta mediena (spygliuočių, 1–3 rūš.)	m ³	124	14	1736
534036	Apipjauti tašeliai ir tašai (spygl., paprasti)	m ³	12	9	72,0
550018	Medžio plaušo plokštės (pusiau kietos)	m ²	1,26	147,0	185,22
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m ³	32,47	70,325	2283,45
570844	Lipnūs izoliaciniai tarpikliai	m	0,05	0,7	0,04
570885	Vanduo	m ³	1,23	1,4	1,72
572157	Tinko skiedinys (sausis mišiniai)	t	307,06	1,002	307,67
572159	Sintetinis tinklelis	m ²	0,82	175,35	143,79
572160	Dekoratyviniis tinko skiedinys	t	501,1	0,501	251,05
572187	Fasadinės min. vatos plokštės	m ³	98,55	78,535	7739,62
572311	Sienų keraminiai blokai 247 x 250 x 188 mm	vnt.	0,65	3427,2	2227,68
572319	Ventilijuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m ³	98,55	8,82	869,21
573015	Neplautas žvyras	m ³	10,69	5,74	61,36
600043	Betono mišiniai	m ³	72,17	14,2997	1032,01
600188	Cemento kalkių skiedinys	m ³	68,69	2,94	201,95