VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS EKONOMIKOS IR NEKILNOJAMOJO TURTO VADYBOS KATEDRA

Vaidas Verikas

EKOLOGIŠKŲ NAMŲ RACIONALAUS VARIANTO INTELEKTINĖS SISTEMOS KŪRIMAS

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR RATIONAL VARIANT OF ECO-FRIENDLY HOUSES

Baigiamasis magistro darbas

Statybos valdymo studijų programa, valstybinis kodas 62402T110

Statybos ekonomikos ir verslo specializacija

Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS EKONOMIKOS IR NEKILNOJAMOJO TURTO VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

__Artūras Kaklauskas__
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Vaidas Verikas

EKOLOGIŠKŲ NAMŲ RACIONALAUS VARIANTO INTELEKTINĖS SISTEMOS KŪRIMAS

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR RATIONAL VARIANT OF ECO-FRIENDLY HOUSES

Baigiamasis magistro darbas

Statybos valdymo studijų programa, valstybinis kodas 62402T110
Statybos ekonomikos ir verslo specializacija
Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. A. Kaklauskas _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas__L. Rutkienė_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS EKONOMIKOS IR NEKILNOJAMOJO TURTO VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

Artūras Kaklauskas___
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Technologijos mokslų sritis
Statybos inžinerijos mokslo kryptis
Statybos inžinerijos studijų kryptis
Statybos valdymo studijų programa, valstybinis kodas 62402T110
Statybos ekonomikos ir verslo specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS
…….....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei).....……....…….....….....….....….....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: ..…….....
.....
.....

patvirtinta 2009 m. …gruodžio…….4… d. dekano įsakymu Nr. 460 st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201…m. …….…… d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: .....
.....
.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ....
(Parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..
(Parašas)

……..
(Vardas, pavardė)

……..…....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas ISBN ISSN
Statybos fakultetas Egz. sk. .....
Statybos ekonomikos ir nekilnojamo turto vadybos katedra Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos valdymo** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Ekologiškų namų racionalaus varianto intelektinės sistemos kūrimas**

Autorius **Vaidas Verikas**

Vadovas **prof. habil. dr. Artūras Kaklauskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos ekologiškos statybinės medžiagos, analizuojami namo dalių konstrukciniai variantai, statant namus iš šių medžiagų. Taip pat sudaroma kompiuterinė sistema, padedanti vartotojui išsirinkti racionaliausią ekologiškų medžiagų panaudojimo variantą. Darbą sudaro trys dalys.

Pirmojoje dalyje apžvelgiama ekologiškų statybinių medžiagų samprata, pagrindiniai principai, aprašomas statybinių medžiagų gyvavimo ciklas, aptariama aplinkai nekenksmingų medžiagų situacija Europoje.

Antrojoje dalyje plačiau aprašomos gamtai nekenksmingos statybinės medžiagos, galimi tokių medžiagų konstrukciniai variantai. Analizuojami sienų, stogo dangos, šilumos izoliacijos ir šildymo sistemos pritaikymo galimybės statant ekologišką namą.

Trečiojoje dalyje nagrinėjamas praktinis ekologiško namo konstrukcijų pritaikymo modelis. Sudaroma alternatyvų ir kriterijų sistema, apibūdinanti nekenksmingo aplinkai namo konstrukcinius elementus. Panaudojant kiekybinius ir kokybinius kriterijus ir galimas medžiagų alternatyvas, atliekama daugiakriterė statybinių medžiagų ir jų konstrukcijų analizė, sudaroma kompiuterinė sistema.

Darbo apimtis – 72 p. teksto be priedų, 27 paveikslai, 8 lentelės ir 80 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai

Ekologiškos statybinės medžiagos, ekologiškas namas, ekologiškas būstas, statybos sprendinių variantai, ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterė analizė, ekologiško namo konstrukcijų atrankos kompiuterinė sistema, variantinis projektavimas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Construction Economics and Property Management

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Construction Management** study programme Master's thesis

Title	**Development of an Intelligent System for Rational Variant of Eco-friendly Houses**
Author	**Vaidas Verikas**
Academic supervisor	**Prof Dr Habil Artūras Kaklauskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Ecological and environmentally friendly building materials and constructional options, that are used to build houses, are considered in this master work. It also contains the computer system enabling the user to choose the most rational option of ecological materials. This master work consists of three parts:

In the first part the concept of ecological building materials and main principles are described. It also contains information about the life cycle of building materials and the situation of environmentally friendly materials in Europe are discussed.

The second part describes environmentally friendly building materials and possible structural variations of such materials. It analyzes walls, roof, heat insulation and possibilities of heating system in the ecological house.

In the third part the practical model of the ecological house is considered. An alternative and criteria system that describes the environmentally friendly house constructional elements is created. Using quantitative, qualitative criteria and possible material alternatives multiple criteria analysis of building materials and their construction is performed. The computer system is also made.

Work extent – 72 p., 27 pictures, 8 tables and 80 bibliographical sources.

Keywords

Computer system of green home materials selection, eco-friendly building materials, green house, green building, building solutions, multiple criteria analysis of green building materials, multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 8
LENTELIŲ SĄRAŠAS 8
ĮVADAS 9
1. EKOLOGIŠKO BŪSTO IR STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ SAMPRATA 11
1.1. Ekologiškos ir darnios statybos samprata bei principai 11
1.2. Ekologiška architektūra 13
1.3. Aplinkai nekenksmingos statybinės medžiagos 15
1.4. Statybinių medžiagų gyvavimo ciklas 16
1.5. Aplinkai nekenksmingų medžiagų panaudojimas Europoje 17
2. EKOLOGIŠKŲ NAMŲ STATYBOS SPRENDINIŲ VARIANTAI 20
2.1. Nekenksmingi gamtai statybos sprendiniai 20
2.2. Ekologiško namo sienų konstrukcijų variantų analizė 21
2.2.1. Rąstų sienos 21
2.2.2. Karkasinės sienos 22
2.2.3. Skydinės sienos 24
2.2.4. Presuotų šiaudų sienos 26
2.2.5. Sienos iš molio 28
2.2.6. Medžio cementinių blokų sienos 30
2.3. Ekologiško namo stogo dangos konstrukcijų variantų analizė 32
2.3.1. Čerpinis stogas 32
2.3.2. Skiedrų stogas 33
2.3.3. Šiaudų, nendrių stogas 35
2.3.4. Apželdintas stogas 36
2.3.5. Akmeninis stogas 38
2.4. Ekologiškų šilumą izoliuojančių medžiagų analizė 39
2.4.1. Pūstoji kamštiena 40
2.4.2. Natūralaus medienos pluošto vata 40
2.4.3. Šilumos izoliacija iš celiuliozės 42
2.4.4. Kanapių pluošto vata 43
2.4.5. Avies vilnos šilumos izoliacija 45
2.4.6. Linų pluošto izoliacija 46
2.5. Šildymo sistemų analizė 48
2.5.1. Geoterminis šildymas 48

2.5.2. Infraraudonųjų spindulių plokštės 50
2.5.3. Elektroninė - joninė šildymo sistema 51
3. EKOLOGIŠKO BŪSTO KONSTRUKCIJŲ DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ IR PRAKTINIS MODELIO REALIZAVIMAS 53
3.1. Daugiakriterės analizės pradiniai duomenys 53
3.2. Ekologiško namo konstrukcijų variantinio projektavimo ir daugiakriterės analizės metodas 54
3.3. Ekologiško namo konstrukcijų alternatyvos ir jų kriterijai 56
3.4. Sprendimų paramos sistema ir jos sudedamosios dalys 60
3.5. Praktinis ekologiško būsto konstrukcijų modelio realizavimas 61
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI 67
LITERATŪROS SĄRAŠAS 68
PRIEDAI 73

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Darnios architektūros samprata ... 13
1.2 pav. Ekologiškų sprendimų variantai ... 14
1.3 pav. Statybinių medžiagų gyvavimo ciklas ... 16
2.1 pav. Ekologiškų namų konstrukcijų variantai ... 20
2.2 pav. Rąstinis namas ... 21
2.3 pav. Namo karkasas ... 23
2.4 pav. Skydinio namo konstrukcijos ... 25
2.5 pav. Šiaudų namo statyba ... 27
2.6 pav. Namas iš molio ... 29
2.7 pav. Molio siena su šiaudų užpildu ... 29
2.8 pav. Medžio cementiniai blokai ... 30
2.9 pav. Skiedrų stogas ... 34
2.10 pav. Šiaudų stogas ... 35
2.11 pav. Apželdinto stogo schema ... 37
2.12 pav. Akmeninis stogas ... 39
2.13 pav. Šilumos izoliacija iš celiuliozės ... 43
2.14 pav. Vilnos pluošto šilumos izoliacija ... 45
2.15 pav. Linų pluošto šilumos izoliacija ... 47
2.16 pav. Energijos suvartojimo palyginimas ... 48
2.17 pav. Radiatorinės ir infraraudonųjų spindulių šildymo sistemų palyginimas ... 51
3.1 pav. SPS sudedamosios dalys ... 61
3.2 pav. Koncepcinės informacijos pateikimas sistemoje ... 62
3.3 pav. Pagrindinis kompiuterinės sistemos langas ... 63
3.4 pav. Ekologiško namo konstrukcijos, jų alternatyvos ir kriterijai ... 64
3.5 pav. Daugiakriterės analizės rezultatų pateikimas ... 64
3.6 pav. Geriausių alternatyvų deriniai ... 65
3.7 pav. Rekomendacijos vartotojui ... 65

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Konvekcinio ir spindulinio šildymo palyginimas ... 50
3.1 lentelė. Ekologiško būsto konstrukcijų daugiakriterės analizės sprendimų priėmimų matrica ... 54
3.2 lentelė. Namo ekologiškų konstrukcijų alternatyvų daugiakriterės analizės rezultatai ... 55
3.3 lentelė. Ekologiško namo sienų alternatyvas apibūdinantys rodikliai ... 57
3.4 lentelė. Ekologiško namo stogo alternatyvas apibūdinantys rodikliai ... 58
3.5 lentelė. Ekologiško namo šilumos izoliacijos alternatyvas apibūdinantys rodikliai ... 59
3.6 lentelė. Ekologiško namo šildymo sistemos alternatyvas apibūdinantys rodikliai ... 59
3.7 lentelė. Sprendimų geriausių alternatyvų prioritetiškumas ... 66

ĮVADAS

Namai, darbo vieta, transportas – tai uždaros patalpos, kuriose žmogus praleidžia didžiąją dalį savo laiko. Žmogus negali gyventi, auginti vaikų, dirbti neturėdamas stogo virš galvos, todėl pastato reikšmė žmogaus gyvenimui yra lemiama. Nuo šių erdvių kokybės priklauso žmogaus sveikata, savijauta, darbingumas. Ekologiška statyba ir sveika gyvenamoji aplinka yra pagrindinis rūpestis žvelgiant į ateities statybas. Dėl šios priežasties statyba, kurioje naudojamos tik gamtai nekenksmingos ir atsinaujinančios medžiagos, turi tapti prioritetine.

Pastatai ir jų sudedamosios dalys turi būti pagaminti ir surinkti iš statybinių medžiagų, kurios tarpusavyje funkcionuoja ir turi užtikrinti saugumą pastatuose ir aplink juos esantiems žmonėms. Statybinės medžiagos ir statybos produktai privalo būti saugūs, nekenkti aplinkai ir žmogui. Tai turi tęstis viso medžiagų gyvavimo ciklo metu: nuo žaliavos išgavimo, medžiagos gamybos, statybos iki surinkimo, utilizavimo ar perdirbimo.

Pasaulio stebėjimo instituto (World Watch Institute) duomenimis, vien pastatų statybai sunaudojama 40 % akmens, žvyro, smėlio išgaunamo kiekvienais metais pasaulio mastu, 25 % medienos, 16 % gėlo vandens, 40 % pagaminamos energijos ir medžiagų. Galų gale, nesveikas patalpų oras užfiksuotas 30 % naujų ir renovuotų pastatų pasaulio mastu.

Darbo aktualumas. Daugelis žmonių svajoja apie jaukų, patogų ir ekonomišką būstą, tačiau jį kuriant dažnai susiduriama su daugybe problemų. Viena dažniausiai pasitaikančių – kaip išsirinkti tinkamiausias statybines medžiagas. Tinkamas statybinių medžiagų pasirinkimas lemia tai, kokioje aplinkoje gyvensime. Jų pasiūla rinkoje didžiulė, tad ieškant optimalaus kainos, kokybės ir ekologiškumo santykio būtina kruopščiai susipažinti su rinkoje siūlomais produktais ir įvertinti įvairių statybos sistemų privalumus bei trūkumus.

Darbo tikslas – išanalizuoti rinkoje siūlomas ekologiškas statybinės medžiagas bei pastatų statybos variantus ir sukurti ekologiškų namų racionalaus varianto intelektinę sistemą.

Darbo uždaviniai:

- Aptarti ekologiškos statybos sampratą ir pagrindinius principus;
- Aprašyti statybinių medžiagų gyvavimo ciklo pagrindinius etapus;
- Apžvelgti rinkoje siūlomas aplinkai nekenksmingas statybines medžiagas;
- Išanalizuoti galimus ekologiškų namų konstrukcijų ir elementų statybos variantus;
- Sukurti kriterijų sistemą, išsamiai apibūdinančią ekologiško namo konstrukcijas;
- Atlikti ekologiško namo konstrukcijų variantinį projektavimą ir daugiakriterę analizę;
- Sukurti sistemą, kurioje būtų pateikti racionaliausi medžiagų pasirinkimo variantai.

Taikyti metodai. Baigiamajame darbe taikyti šie metodai: rašant analitinę-metodinę dalį, buvo susisteminta mokslinė literatūra, atlikta įvairių autorių literatūros analizė, kurioje nagrinėjama ekologiškų namų samprata ir jų konstrukcijų taikymo galimybės. Ekspertinėje-tiriamojoje dalyje atliktiems tyrimams taikyti daugiakriterės analizės metodai ir VGTU darbuotojų sukurta kompiuterinė sistema. Tyrimo metodika paremta Lietuvos ir užsienio šalių mokslininkų šioje srityje atliktų darbų analize.

Rengiant darbą remtasi Lietuvos ir užsienio autorių mokslinėmis bei kitomis publikacijomis, enciklopediniais žinynais, specializuotais žodynais, statistiniais leidiniais, įvairių šalių statistiniais duomenimis internete, kitais Lietuvos ir užsienio mokslo institucijų moksliniais bei informaciniais leidiniais.

1. EKOLOGIŠKO BŪSTO IR STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ SAMPRATA

1.1. Ekologiškos ir darnios statybos samprata bei principai

Aplinkos apsauga statyboje tampa viena svarbiausių temų pasaulyje tiek naujoms besivystančioms, tiek senosioms valstybėms. Siekiant įgyvendinti inovatyvius sprendimus aplinkos apsaugos ir statybos srityse, būtini pakeitimai mokymo sferoje.

Su ekologiškomis statybomis susiję labai daug skirtingų veiklos sričių ir produktų. Pagrindiniai vartojami terminai: saulės energija, išteklius taupanti statyba, atsinaujinančios statybinės medžiagos, ekologiškos statybinės medžiagos, ekologiška architektūra, statyba iš molio, ekologiška statyba, pastato energetinis efektyvumas, statybinių medžiagų ciklas, sveika gyvensena, aplinkosaugos architektūra, aplinkai nekenksminga statyba, ekologiškas miestas, ekologiškas eismas ir kt.

Ekologiškoje statyboje šiuo metu labai svarbu kvalifikuoti architektai ir statybininkai. Kokia bus aplinka ateityje, priklauso nuo visų gyventojų indėlio, ir aplinkos išsaugojimas bei aplinkai nekenksminga statyba taps visiems savaime suprantamu dalyku. Pagrindinis dėmesys turi būti skiriamas visai ekologiškos aplinkos koncepcijos sukūrimui, kuri apimtų visas ūkio sritis, taip pat ir statybos sektorių. Tarpusavio bendradarbiavimas tarp statybos srities ir kitų ūkio šakų specialistų yra labai svarbus.

Jau anksčiau, projektai buvo kuriami ir namai statomi atsižvelgiant į statybinių medžiagų tarpusavio derinimą ir suvartojamos energijos kiekį. Vokietijoje buvo sukurta koncepcija ir atliekami bandymai su vandens surinkimo sistema ir vandens apytakos ciklu tam, tam kad būtų ištirtas poveikis aplinkai. Jau šiandien šioje srityje aplinkos apsaugos problemoms spręsti gali būti pasiūlyta keletas sprendimo variantų. Įvertinus visas šias priemones, visiems naujiems ir jau esamiems pastatams yra privalomas pastato energetinio naudingumo sertifikatas.

Ekologiškos statybos koncepcija ateityje bus įgyvendinama ne tik statant pavienius namus, tačiau ir plėtojant didžiulius namų rajonus ar net kvartalus. Taip ši koncepcija bus panaudota efektyviau. Ekologiška statyba turi tapti tradicinės statybos sudedamoji dalis ir, panaudojus inovacijas bei visas ekonomines priemones, konkuruoti su tradicine statyba [28].

Ch. Kiberto teigimu, darnios statybos tikslą ir principus Tarptautinė statybos tyrimų ir inovacijų taryba suformulavo dar 1994 m. Tarybos teigimu, tokios statybos tikslas – sveikos užstatytos aplinkos kūrimas, efektyviai naudojant aplinkos išteklius ir ekologinio projektavimo galimybes. Pagrindiniai principai yra šie:

- aplinkos išteklių naudojimo mažinimas;
- pakartotinis naudojimas;
- perdirbamų išteklių naudojimas;

- gamtos apsauga;
- toksinių medžiagų šalinimas;
- viso statybos ciklo išlaidų skaičiavimas;
- kokybės akcentavimas [43, 46].

Urbanizuotos aplinkos svarbiausi komponentai yra pastatai, kurie sudaro sudėtingas ir kompleksines sistemas. Jie įkūnija šimtmečiais besiformavusią žmonių kultūrą. Pastatai skiriasi nuo kitų pramonės gaminių ir produktų savo ilgaamžiškumu, išteklių, reikalingų jiems kurti bei naudojant, gausa. Todėl statybos pramonei tenka išskirtinis vaidmuo, siekiant darnaus vystymosi.

Darnios statybos terminas vartojamas apibūdinti darnaus vystymo taikymą statybos pramonėje. Bazinis darnios statybos apibrėžimas suformuluotas 1994 m. JAV vykusios CIB organizuotos konferencijos metu: „Darni statyba - tai sveikos aplinkos statiniuose ir už jų ribų kūrimas ir valdymas, laikantis išteklių efektyvaus naudojimo ir ekologiškumo principų“ [66].

Daugelyje literatūros šaltinių pabrėžiama, jog norint siekti darnios plėtros, būtina eiti darnios statybos linkme. Statybos pramonė yra tiek tiesiogiai, tiek netiesiogiai susijusi su daugeliu gyvenimo sričių ir įvairiais darnios bei ekologiškos statybos plėtros aspektais.

Ekologiška statyba – tai statyba, kuri turi suteikti žmonėms galimybę gyventi ir dirbti bei patenkinti savo socialinius ir kultūrinius poreikius, nepažeidžiant aplinkos pusiausvyros.

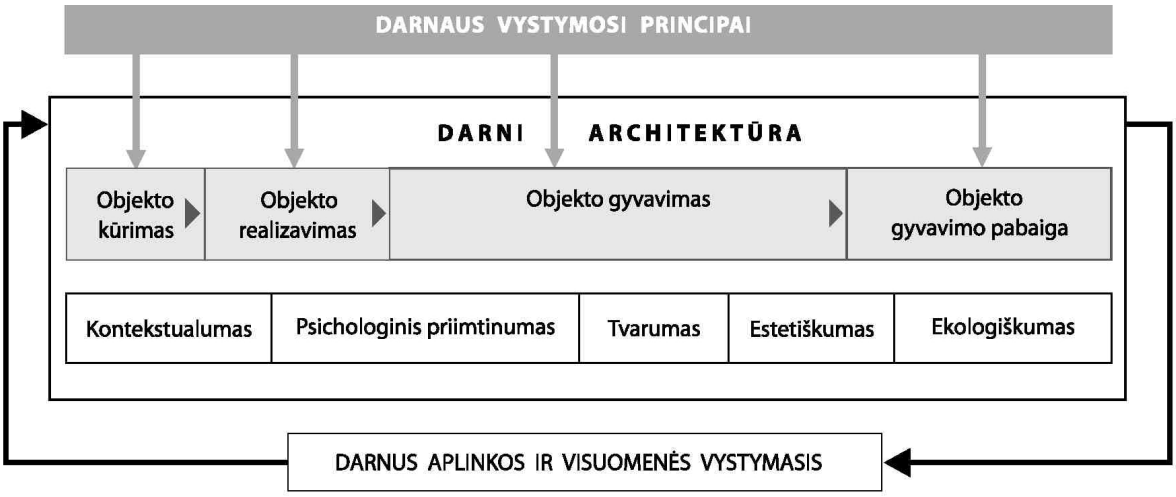
Ekologiškas namas – gyvenamasis namas, kurio projektavimas, statyba ir eksploatacija remiasi darnaus vystymosi principais.

Darni statyba yra procesas, į kurį įtraukti visi dalyviai (savininkas, finansuotojas, inžinierius, architektas, statybininkas, medžiagų tiekėjas, leidimus išduodanti institucija), integruoja funkcines, ekonomines, aplinkos ir kokybės sąlygas į būsto statybą bei renovaciją ir stato aplinką, kuri:

- patraukli, tinkama, funkcionali, pasiekiama, patogi ir sveika gyventi bei naudotis, didinanti visų, kurie susiję su tai, gerovę;
- ištekliams efektyvi, ypač atžvilgiu energijos, medžiagų ir vandens, pirmenybę teikianti atsinaujinančių šaltinių naudojimui ir savo funkcionavimui reikalaujanti mažai išorinės energijos, atitinkamai naudojanti lietaus ir požeminius vandenis, tvarkingai tvarkanti nuotekas ir naudojanti aplinkai nekenksmingas medžiagas, kurios gali būti perdirbtos ir antrąkart panaudojamos, neturi kenksmingų junginių ir gali būti saugiai pašalinamos;
- gerbia kaimynystę ir vietinę kultūrą bei paveldą;
- turi konkurencingą kainą, ypač kai skaičiuojamos ilgalaikiu požiūriu, tokios kaip priežiūros išlaidos, patvarumas ir pardavimo kainos [34].

Architektūros darnumas turėtų būti užprogramuojamas kuriant ir išlikti per visą jos gyvavimo laikotarpį – nuo objekto projektavimo ir teritorijos paruošimo statybai darbų iki griovimo ar objekto renovacijos. Tokia architektūra turėtų ne tik būti tvari, ilgaamžiška, bet ir skatinti darnų aplinkos bei

visuomenės vystymąsi: skatinti išteklių ir energijos tausojimą, socialinę sanglaudą ir prisidėti prie gyvenimo kokybės gerinimo plačiąja prasme. Gyvenimo kokybė turėtų būti suvokiama ne tik kaip fizinis patalpų komfortas, bet ir kaip dvasinis bei psichologinis architektūros kūrinio priimtinumas, susijęs su pastatų išorės ir vidaus charakteristikomis bei ryšiais su ekologiška aplinka. Darnios architektūros ryšys su fizine ir socialine aplinka gali būti abipusis: architektūra gali ne tik skatinti darnų vystymąsi, darnaus vystymosi idėjoms įgyvendinti palanki aplinka taip pat gali prisidėti prie darnios architektūros kūrimo. Siūloma darnios architektūros samprata išplėtota 1.1 pav [43].



1.1 pav. Darnios architektūros samprata [43]

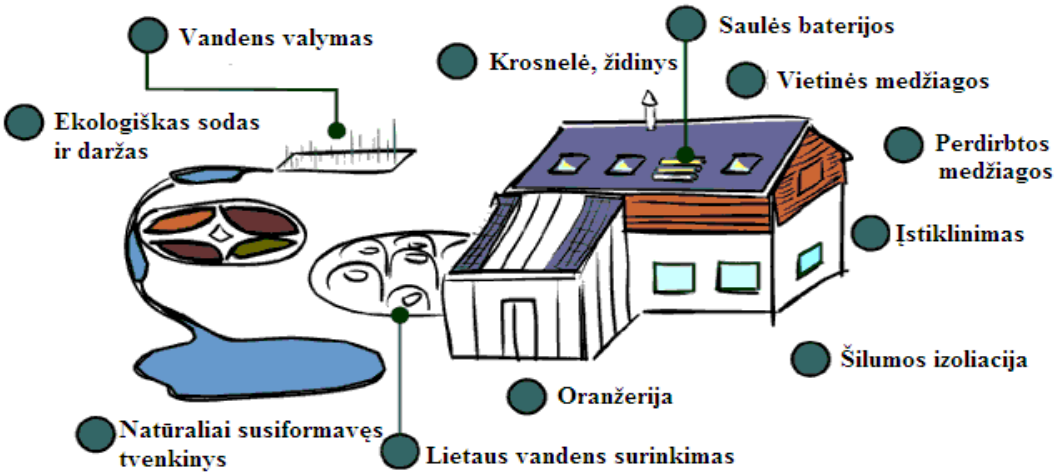
1.2. Ekologiška architektūra

Pastaraisiais metais darnios plėtros ir ekologijos temos laipsniškai įgauna stiprų pagreitį visose srityse. Jungtinės Tautos, tarpvalstybinės pasaulinės ekologijos organizacijos vis dažniau susėda prie apskritųjų stalų, ieškodamos opių ekologijos klausimų sprendimo. Pagaliau net JAV, ilgai atidėliojusi, pritaria Kioto protokolui dėl teršalų emisijos mažinimo. Lietuva įstatymiškai apibrėžė, kad iki šiol statybose naudotas asbestas yra kenksmingas sveikatai. Todėl terminas „ekologiška architektūra“ suvokiamas kaip visiškai natūralus atsakas į ekologiškų sprendimų ir darnaus gyvenimo paieškas.

Pagrindinis ekologiškos architektūros tikslas – efektyviai naudoti energiją per visą pastato gyvavimo ciklą. Architektai taiko daug įvairių technologijų, siekdami sumažinti pastato energetinius poreikius ir padidinti jo paties pajėgumą išlaikyti ar net gaminti sau energiją. Ekologiška architektūra siekiama mažinti negatyvų pastatų poveikį aplinkai, pabrėžiant saikingą ir efektyvų medžiagų, energijos ir aplinkos panaudojimą.

Vienas svarbesnių ekologiško namo akcentų yra namo šilumos izoliacijos pajėgumai ir efektyviai įrengtos šildymo, vėdinimo sistemos. Paprastai daug energijos namas netenka per nuotekų vandenį, orą ir ištekantį kompostą, todėl ekologiškoje statyboje taikomos perdirbimo

technologijos įgalina karšto vandens ir tvankaus oro energiją paversti grįžtančiu šaltu vandeniu ir šviežiu oru (1.2 pav.) [16].



1.2 pav. Ekologiškų sprendimų variantai [36]

Siekiant sukurti ir įgyvendinti ekologiškos statybos nekilnojamojo turto projektą, turėtų būti atsižvelgiama į šiuos aspektus:

- Kurti ir taikyti naujas technologijas, minimizuojančias neigiamą statybviečių poveikį šalia gyvenančių žmonių sveikatai, saugumui ir gyvenimo kokybei;
- Statybų metu minimaliai naudoti kenksmingas statybines medžiagas ir gaminius;
- Naudoti įvairių pramonės šakų gamybos atliekas statybose;
- Kuo optimaliau užstatyti sklypą saugant žaliuosius plotus;
- Suplanuoti namą taip, kad jis naudotų kuo mažiau energijos, o suvartojama energija būtų iš atsinaujinančių šaltinių (saulės, vėjo, geoterminė ir pan.);
- Statybą organizuoti taip, kad visą statinio gyvavimo laikotarpį (apimant statybą, eksploatavimą, pastatų ūkio valdymą ir griovimą) būtų kuo labiau sumažintas neigiamas poveikis aplinkai ir suvartojama mažiausiai energijos;
- Vykdyti užterštos žemės plotų regeneraciją;
- Diegti inovatyvias vandentiekio, nuotėkų valymo technologijas;
- Užtikrinti racionalų šiluminį komfortą, apšvietimą, drėgmę, triukšmo lygį ir pan.

Šį sąrašą būtų galima dar gerokai praplėsti, nes ekologiško būsto sąvoka apima ir socialinę gerovę, išvystytą infrastruktūrą, patalpų vidaus mikroklimatą ir t.t. [57].

Ekologiškos architektūros atstovai projektuoja ne tik pastato formą ir dizainą, bet ir jo vietą bei orientavimą pagal pasaulio šalis. Šiuo atveju taikomas vadinamasis pasyvusis soliarinis dizainas, dėl kurio pastatai efektyviai, be papildomų mechanizmų, tokių kaip saulės baterijos, sau pasiima saulės energiją. Pasyvusis soliarinis dizainas derina izoliuojamąsias namo medžiagas su

pačiu namo projektu. Mažai energijos sunaudojantys namai paprastai išsiskiria labiau centralizuotu ir mažu paviršiaus plotu, priešingai nei „madingi“ kelių dalių pastatų projektai [16].

Dažnai ekologiški sprendimai ir nekenksmingos statybinės medžiagos yra brangūs, tačiau tai investicija, kuri atneš realios naudos ateityje ir padės sutaupyti, nes ekologiška architektūra tai ne tik mažesnis statinio eksploatavimo poveikis aplinkai, bet ir reali nauda gyventojui. Vienas iš svarbiausių ekologiškos architektūros tikslų yra energijos taupymas – pastatų suvartojamos energijos kiekio mažinimas.

1.3. Aplinkai nekenksmingos statybinės medžiagos

Sintetinės medžiagos, naudojamos šiuolaikinių namų statybai, sukelia vadinamąjį nesveiko namo sindromą, lemiantį daugelio ligų atsiradimą. Todėl vis daugiau žmonių renkasi iš natūralių medžiagų pastatytus namus. Nuo to, iš ko pastatytas pastatas, kuriame gyvename, būname ar dirbame, priklauso patalpų oro cheminė sudėtis, kambario mikroklimatas, gyventojų ar darbuotojų sveikata, savijauta ir darbingumas. Aplinkai nekenksmingų statybinių medžiagų sertifikavimu ir ženklinimu jau daugiau kaip 30 metų užsiima daugybė mokslinių institucijų Europoje. Daugelis statybinių medžiagų, atitinkančių šiuolaikinius darnos ir ekologiškumo standartus, pažymėtos įvairiais ženklais, tokiais kaip „NATUREPLUS“, „EKOTEST“, „IBO“ „FSC“ ir kt.

Natureplus - tai tarptautinė gamtosaugos organizacija, kurios tikslas plėtoti darnos ir ekologijos kultūrą statybų sektoriuje. Natureplus yra europinis statybinių medžiagų kokybės ženklas, garantuojantis, kad šiuo ženklu pažymėtos statybinės medžiagos: tausoja aplinką, nekenkia sveikatai, yra funkcionalios. Natureplus ženklas suteikiamas tik toms statybinėms medžiagoms, kurios yra pagamintos iš atsinaujinančių arba mineralinių žaliavų (ne mažiau kaip 85 proc.). Tai garantuoja šių produktų ateities perspektyvas bei darnios plėtros principų laikymąsi [37].

Sertifikavimas pagal FSC (*Forest Stewardship Council* – Miškininkystės rūpybos tarybos) – tai savanoriškas kontrolės užtikrinimo mechanizmas, kai nepriklausomi sertifikuotojai pagal FSC standartus įvertina miško tvarkymą ir žaliavų bei gaminių srautus medienos pramonės įmonėse. Standartai rengiami remiantis FSC principais ir kriterijais. Sertifikavimas leidžia pirkėjui iš rinkoje esančių medienos gaminių rinktis tuos, kurie buvo pagaminti laikantis tiksliai apibrėžtų standartų. Pastarieji garantuoja, kad mediena buvo įsigyta iš tinkamai tvarkomo miško, kuriame derinama aplinkos apsauga, socialinė gerovė bei ilgalaikė ekonominė nauda [48].

„Ekotest“ - tai Vokietijoje leidžiamas žurnalas, kuriame testuojami ekologiški ir paprasti produktai. Po testavimo pateikiamas įvertinimas. Paprastai sertifikuoti ekologiški produktai gauna gerus „Ekotest“ įvertinimus. Po įvertinimų, produktų sąrašas išspausdinamas žurnale.

1.4. Statybinių medžiagų gyvavimo ciklas

Kaip ir kiti gaminiai, taip ir statybinės medžiagos turi priklausyti medžiagų gyvavimo ciklui. Ekologiškos statybinės medžiagos privalo būti naudojamos ne tik viename gyvavimo ciklo etape (pvz., naudojimo-statybos etape), tačiau ir kituose etapuose. Ciklas prasideda nuo medžiagos paėmimo iš gamtos ir turi tęstis iki jos tolesnio perdirbimo. Statybinių medžiagų gyvavimo ciklas pavaizduotas 1.3 paveiksle.

1.3 pav. Statybinių medžiagų gyvavimo ciklas [28]

Kiekviename medžiagų gyvavimo ciklo etape gali būti stipriai paveikta žmogų supanti aplinka. Pavyzdžiui, metalų gamyboje egzistuoja didžiuliai sąvartynai, gamyboje išskiriamos šlako ir kitos atliekos, lydymo metu sunaudojami didžiuliai energijos kiekiai. Apdirbant medžiagų paviršių, kelia didelį pavojų įvairūs tirpikliai, ypač perdirbimo ir naudojimo etapuose, taip pat gaminant sudėtines kompozitines medžiagas jų tolimesnis perdirbimas, t.y. grįžimas į medžiagų gyvavimo ciklą, yra neįmanomas.

Kiekviename medžiagų gyvavimo ciklo etape reikia atkreipti dėmesį į daromą įtaką aplinkai (vanduo, dirvožemis, oras), kraštovaizdžiui, išteklių naudojimui, energijos suvartojimui, toksikologijai. Statybinių medžiagų pasirinkimo metu paprastai išsirenkamos medžiagos jau būna perėjusios gavybos ir gamybos etapus. Šiuose etapuose apibrėžti konkretūs duomenys ir palyginamieji parametrai, tokie kaip kilmės vieta, gamyboje suvartotas energijos kiekis. Taip pat didelis dėmesys skiriamas aplinkos apsaugai ir žmonių sveikatai.

Statybinės medžiagos gali būti vadinamos nekenksmingomis aplinkai, kai visuose medžiagų gyvavimo ciklo etapuose kiek galima mažiau teršiama aplinka. Tai reiškia, kad:

- žaliavos medžiagų gamybai turi būti nekenksmingos aplinkai ir gaunamos iš atsinaujinančių šaltinių;

- žaliavų ir medžiagų transportavimo atstumai turi būti kiek galima trumpesni;
- turi būti kiek įmanoma sumažintas kenksmingų medžiagų išskyrimas į atmosferą gamybos, perdirbimo, naudojimo ir kitais etapais, ar nelaimės (pvz. gaisro) atveju;
- statybinės medžiagos turi būti panaudojamos pakartotinai, perdirbamos arba bent jau utilizuojamos nekenkiant aplinkai;
- statybinės medžiagos turi būti ilgaamžės [28].

Tikėtina, kad aplinkai ir žmogui nekenksmingų medžiagų naudojimas yra pats geriausias būdas spręsti visas su aplinkos tarša susijusias problemas. Tačiau ne visos medžiagos yra ekologiškos, nes dažnai medžiagų gavybai auginamos monokultūros, kurios tręšiamos pesticidais, ar gamybos metu į medžiagas dedama įvairių priedų, saugančių nuo užsidegimo, biocidų ir kt.

Statybinių medžiagų ciklas ne visuomet būna tęstinis. Statybai iš atsinaujinančių išteklių didelę grėsmę kelia gaisro pavojus. Šiuo atveju molis yra ilgaamžiškiausia ir patvariausia medžiaga. Tačiau dėl molio techninių savybių ir didelių gamybos sąnaudų kitos medžiagos, pavyzdžiui, plytos, silikatiniai blokeliai, akytojo betono blokeliai yra dažniau naudojamos nei molis.

Daugeliu atvejų sunku suprasti, ar konkreti statybinė medžiaga kenkia aplinkai ar jos poveikis tiek žmogui, tiek gamtai yra labai nedidelis. Statybinės medžiagos, neturėtų būti gretinamos kaip priešpriešos: „natūralios – dirbtinės“, „biologinės kilmės medžiagos – sintetinės“, arba „ekologiškos – tradicinės“.

Šiuo atveju supaprastintas pavyzdys būtų pūstoji kamštiena. Ji yra natūrali, nes gaminama iš atsinaujinančios žaliavos. Tokio tipo medžiai auga tik septyniose šalyse, todėl būtinas šių žaliavų transportavimas. Be to, kyla klausimas kokiomis cheminėmis priemonėmis yra apdorota ši medžiaga? Galbūt gamyboje naudojami įvairūs tirpikliai ar klijai? Į šiuos klausimus gali atsakyti tik atestuotos institucijos, kurios tikrina medžiagų ekologiškumą.

Kita dažnai egzistuojanti nuomonė ta, kad mažinant kenksmingas medžiagas, didėja gaminių kaina. Ekologiškos statybinės medžiagos jokiu būdų neturėtų būti brangesnės nei tradicinės [35].

1.5. Aplinkai nekenksmingų medžiagų panaudojimas Europoje

Dabar Europoje yra madinga statyti namus iš ekologiškų statybinių medžiagų. Lietuvoje šių medžiagų madą diktuoja Aplinkos ministerija ir asmeniniai užsakovų finansiniai pajėgumai, kadangi ekologiški namai kainuoja ypač brangiai.

Lietuvoje, kaip ir kitose ES šalyse statyboms galima naudoti tik oficialiai atestuotas medžiagas - to reikalauja Statybos įstatymas. Pagal įstatymą, gaminys yra tinkamas naudoti, jeigu jis atitinka Produktų saugos nustatytus reikalavimus. Taigi, importuojama prekė nebus tinkama naudoti vien todėl, jeigu ant jos pakuotės bus nurodytas „EU“ (Europos sąjunga) žymėjimas.

Perkeliant ES reikalavimus statybos produktams į nacionalinę teisę bei siekiant užtikrinti statybos produktų, kuriems dar nėra parengti Europos darnieji standartai, saugą, Aplinkos ministro įsakymu kasmet tvirtinamas Reglamentuojamų statybos produktų sąrašas. Toks yra įstatymas, todėl negalima pirmiausia namų ręsti iš bet kokių medžiagų ir tik po to galima spręsti, ar jos bus ekologiškos, ar - ne. Ypač Statybos įstatyme akcentuojami higienos, sveikatos ir aplinkos apsaugos kriterijai [19].

Vokiečiai ir švedai Europoje daugiausia skiria lėšų aplinkos apsaugai ir ekologijai. Turtingos ES šalys skiria ypač daug lėšų ekologiškoms statyboms, kadangi skaičiavimai rodo, kad anksčiau ar vėliau šios pastangos atsiperka. Pasak p. Laicono, „užsieniečiai yra labiau pamišę, taupydami energijos išteklius“, tad jie negaili lėšų ekologiškoms medžiagoms. Pavyzdžiui, Vokietijoje nekilnojamojo turto kainą kelia faktas, kad pastatas pastatytas iš ekologiškų medžiagų, tai tampa savotiška mada. Kita vertus, ši mada atsiperka, nes šioje valstybėje yra daugybė mokesčių statytojams, renčiantiems namus iš „nedraugiškų aplinkai“ medžiagų.

Atlikę rinkos analizę, vokiečiai išsiaiškino, kad ekologiškus namus klientai perka ir genami ekonominės naudos: tokiems namams pirkti bankai lengviau išduoda paskolas. Yra ir dar viena tikslinė klientų grupė. Tai - sveikata besirūpinančios jaunos šeimos, jos sudaro 30 proc. rinkos. „Ekologiškai sąmoningų“ pirkėjų grupės motyvas yra aplinkos apsauga. Šie pirkėjai kruopščiai renka informaciją apie ekologišką būstą.

Savo motyvus Vokietijoje turi ir ekologiškų statybinių medžiagų gamintojai. Pirmoji grupė - gamintojai „iš įsitikinimo“, daug dėmesio skiriantys ekologijai ir dažnai pamirštantys medžiagos funkcionalumą. Antrajai grupei priklauso stambūs koncernai, kuriems kitaip dirbti neleidžia statusas ir užimama rinkoje padėtis. Paskutiniajai kategorijai priklauso tradicinių medžiagų gamintojai. Norėdami neatsilikti nuo mados, jie siūlo alternatyvą – ekologiškas medžiagas.

Vidurio Europos šalyse ir Skandinavijoje jau seniai vykdomos valstybinės atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimo pastatuose programos. Nuo pavienių saulės energiją akumuliuojančių pastatų statybos pereita prie eksperimentinių gyvenviečių, tokių kaip Nerkalsrum Vokietijoje, netoli Štutgarto, kur statomas 1300 butų blokuotų individualių namų kvartalas su mažais energijos poreikiais ir požeminėmis sukauptos saulės energijos saugyklomis. 1999 m. Anglijos vyriausybės paskelbta „Būsimųjų miestų renesanso” programa, skatinanti kurti naujo tipo gyvenvietes, pradėta realizuoti 2002 metais Londono Sutton priemiestyje. Įgyvendinamas autonomiškos Bedingtono „Nulinės energijos“ gyvenvietės projektas, kuriame statomas 82 blokuotų gyvenamųjų namų kvartalas su integruotu 1600 m^2 plotu, skirtu darbo patalpoms. Gyvenvietė autonomiškai apsirūpina energija (biokuro katilinė su elektros generatoriumi, saulės kolektoriai), sukurta visa reikalinga infrastruktūra (parduotuvė, sveikatos centras, vaikų darželis, sporto klubas, futbolo aikštė ir kt.) [75].

Danų inžinieriai pastatė pirmuosius šeimos namus, kurie per ilgą laiką nepaliks jokios žymės Žemės energetinių išteklių atsargose. Aktyvusis namas pastatytas nuolatos debesimis aptrauktame Danijos mieste Arhuse. Pagrindinis jo energijos šaltinis yra saulė. Aktyvusis namas ne tik patenkina savo paties energijos poreikius, bet ir pagamina papildomos energijos, kuri perduodama atgal į Danijos elektros tinklą. Jei inžinierių skaičiavimai pasiteisins, namas per 30 metų kompensuos energijos sąnaudas, sueikvotas per jo statybas.

Aktyviojo namo ekologiškumo pagrindą sudaro tik dvi dalys: į pietus nukreiptą namo stogą dengia 50 kvadratinių metrų saulės baterijų, o kompiuteriu valdomi langai reguliuoja pastato vidaus temperatūrą. Aktyviajame name saulės baterijos tiekia energiją vandens ir grindų šildymui. Aštuonis mėnesius jos gamina ne tik namui reikalingą energiją, bet ir energijos perteklių, kuris parduodamas bendram Danijos elektros tinklui. Per tris žiemos mėnesius, kai saulės baterijos nėra pajėgios surinkti pakankamo energijos kiekio namo gyventojų reikmėms, parduotas energijos perteklius yra susigrąžinamas (perperkamas) [61].

2. EKOLOGIŠKŲ NAMŲ STATYBOS SPRENDINIŲ VARIANTAI

2.1. Nekenksmingi gamtai statybos sprendiniai

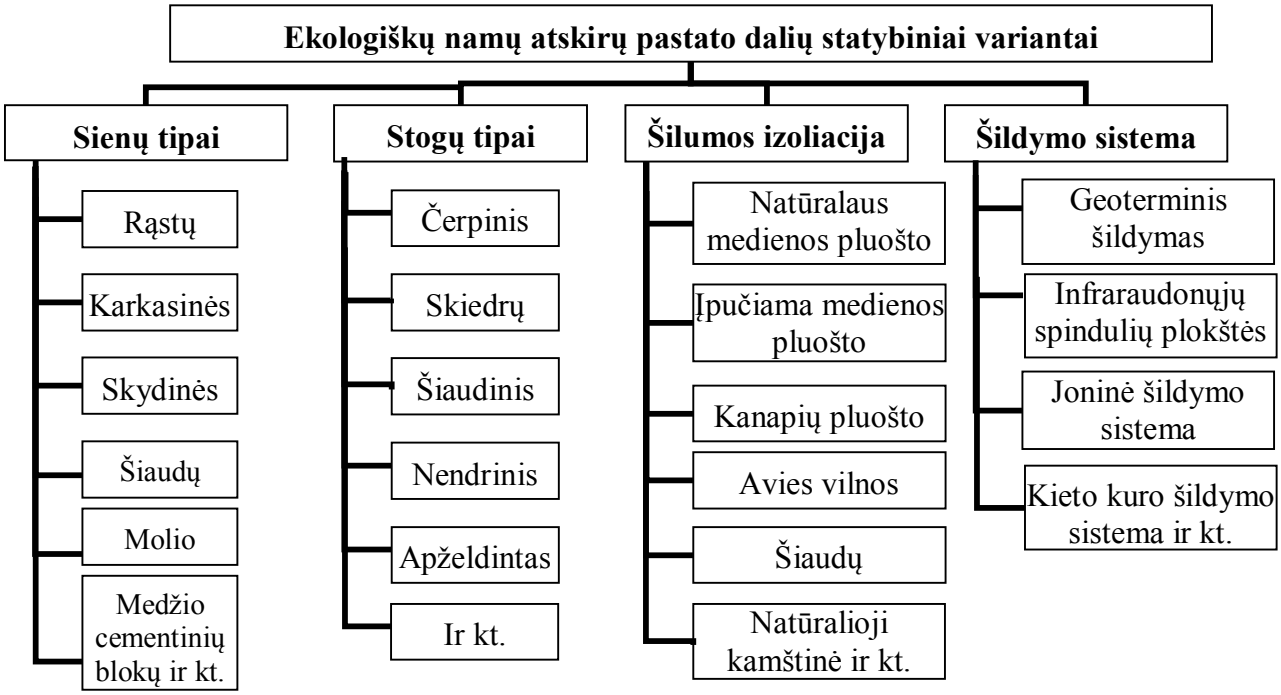
Vykstant klimato kaitai, didėjant aplinkos taršai ir brangstant tradiciniams energetikos ištekliams, statybų rinkoje vis sparčiau populiarėja idėjos apie ekologiškų medžiagų ir alternatyvių produktų panaudojimą – tai niša, kuri Lietuvoje dar nėra pakankamai išnaudota, tačiau vis daugiau žmonių susimąsto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

Aplinką tausojanti statyba arba tvarioji statyba – tai statybų praktika, kai statybų procesas (darbų planavimas ir vykdymas) atitinka statybai keliamus reikalavimus, bet kartu tausoja aplinką.

Aplinką tausojančios statybos ypatumai:

- naudojamos operacijos ir medžiagos, duodančios mažai atliekų, ypač neperdirbamų;
- naudojamos medžiagas, kurių gamyba reikalauja mažai išteklių;
- pastatai projektuojami taip, kad:
  - ✓ naudotų atsinaujinančius energijos išteklius (saulės ar vėjo energiją);
  - ✓ į patalpas ir aplinką iš konstrukcijų neišsiskirtų kenksmingų medžiagų;
  - ✓ statiniai harmoningai susilietų su aplinka;
  - ✓ eksploatacija reikalautų mažai energijos;
  - ✓ eksploatavimo atliekos neterštų aplinko*s* [15].

Kiekvieno namo, taip pat ir statomo naudojant ekologiškas statybines medžiagas, pagrindinės konstrukcijos yra sienos, stogas, šilumos izoliacija, šildymo sistema ir kt. Toliau aptariami visų šių medžiagų variantai panaudojant ekologiškas statybines medžiagas (2.1 pav.).



2.1 pav. Ekologiškų namų konstrukcijų variantai

2.2. Ekologiško namo sienų konstrukcijų variantų analizė

Patalpų oro mikroklimatas yra stipriai veikiamas statybinių medžiagų. Patalpų oro taršą sukelia įvairių medžiagų junginiai, kurių toksinis poveikis sunkiai nuspėjamas. Patalpose esančios nuodingos medžiagos sąlygoja daugelį chroniškų ligų, alergijų, darbingumo sumažėjimą. Oro taršos galima išvengti atsakingai projektuojant, parenkant gaminius išorinėms sienų konstrukcijoms.

Yra daug alternatyvių išorinių sienų konstrukcijų variantų, kurie apibūdinami daugeliu efektyvumo rodiklių. Vertinimo efektyvumo rodikliai dažniausiai yra skirtingų matavimo vienetų, o nagrinėjamų alternatyvų įvairių efektyvumo rodiklių galimos didžiausios ir mažiausios reikšmės nėra apibrėžtos. Tokiu atveju racionalus variantas gali būti parenkamas daugiakriteriais vertinimo metodais [78].

Nepaisant to, iš kokių medžiagų pastatytas namas, pagrindinė išorinės namo sienos funkcija yra išsaugoti temperatūrą ir apsaugoti nuo vėjo. Toliau pateikiami galimi ekologiško namo sienų variantai: rąstų sienos, karkasinės sienos, sienos iš skydų, sienos iš presuotų šiaudų, molio sienos ir sienos iš medžio cementinių blokų.

2.2.1. Rąstų sienos

Lietuvoje išaugus statybos mastams, populiarėja pastatų iš rąstų statyba (2.2 pav.). Rąstinė statyba populiari statant individualius namus, vasarnamius, kaimo turizmo sodybas, pirtis ir t.t. Šiandien tokie statiniai pripažįstami ekologiškais, sveikais bei jaukiais ir atitinka statiniams keliamus estetinius ir techninius reikalavimus. Mediniai namai puikiai reguliuoja mikroklimatą būsto viduje, nes medis per savo poras tarsi kvėpuoja ir sukuria komfortišką aplinką [15].

Rąstinių namų sienos gali būti iš :

- ✓ Apvalių rąstų;
- ✓ Klijuotų lentų rąstų;
- ✓ Stačiakampių rąstų;
- ✓ Rankomis tašytų rąstų.

2.2 pav. Rąstinis namas [50]

Išskiriamos šios rąstinių namų pagrindinės savybės:

- *Sveika aplinka.* Spygliuočių rąstuose likę sakai teigiamai veikia rąstiniame name gyvenančių žmonių kvėpavimo takus ir plaučius. Nustatyta, kad šilta natūralios medienos spalva teigiamai veikia žmogaus psichinę būklę, ramina nervų sistemą.
- *Ekologiškumas.* Medis – tai natūrali gamtinė medžiaga, kuri nekenkia aplinkai ir teigiamai veikia žmogų. Medis yra viena iš seniausiai naudojamų statybinių medžiagų.
- *Natūrali oro drėgmė.* Rąstiniai namai palaiko natūralų drėgmės balansą namo viduje. Jei patalpose padaugėja drėgmės, rąstų sienos ją sugeria. Patalpai pradžiūvus, medis drėgmę gražina atgal. Tokiu būdu drėgmė rąstinio namo viduje visada bus tokia pati kaip ir lauke.
- *Elektros statiškumas.* Rąstinio namo patalpose ore nesklando dulkės. Elektrostatinės medžio savybės neleidžia patalpose kauptis statinei elektros energijai, todėl nuo alergijos kenčiantiems žmonėms rekomenduojama gyventi rąstiniuose namuose.
- *Ilgaamžiškumas.* Medis yra ilgaamžė statybinė medžiaga. Teisingai suręstas ir prižiūrimas namas gali stovėti šimtmečius.
- *Šiluminės savybės.* Medinė siena iš 24-26 cm rasto saugo šilumą taip pat kaip 1,2 m storio plytų siena. Medinės sienos sukaupia šilumą ir tolygiai paskirsto visoje patalpoje. Rąstinis namas pasižymi maža šilumos apykaita. Dėl šios savybės sienos paviršiaus temperatūra yra labai artima patalpos temperatūrai, kas sąlygoja komfortą patalpoje.
- *Garso izoliacinės savybės.* Sausas medis yra geras garso izoliatorius. Dėl savo fizikinių savybių medis gerai sugeria garsą ir neleidžia jam sklisti aplinkoje. Todėl vidinės rąstinės pertvaros tarp kambarių užtikrina garso slopinimą. Medis pasižymi ir tuo, kad sugeria ir mažina vibraciją.
- *Priešgaisrinės savybės.* Pakankamo diametro rąstas yra labiau atsparus degumui, nei plieno konstrukcijos. Ugniagesių yra pastebėta, kad medinės konstrukcijos dega ilgiau ir būna mažiau ugnies pažeistos, nei konstrukcijos su plieninėmis perdangos sijomis [15].

Rąstinis namas – kurio pagrindinė konstrukcinė sienų medžiaga medienos rąstai. Tokio namo statybai išorės ir vidaus apdailai nebūtina naudoti apdailos medžiagų, todėl jis yra ekonomiškas. Tačiau jo minusai, kad medis kaip gyvas organizmas labai ilgai deformuojasi, medžiui būtinos tinkamos apsaugos priemonės, sunku išvedžioti inžinerines sistemas, mažas priešgaisrinis atsparumas.

2.2.2. Karkasinės sienos

Karkasinis namas – kurio pagrindinė konstrukcinė medžiaga medžio erdvinė struktūra, naudojama pagrindinei pastato konstrukcijai suformuoti. Surenkamų karkasinių namų technologija, sukurta Kanadoje, kur gamtinės sąlygos panašios į mūsų, o surenkami karkasiniai namai užima didžiąją dalį gyvenamojo fondo. Varijuojant šiltinimo medžiagų parametrus, tokio paties tipo

namus galima statyti ir šiltesnio klimato šalyse, ir šiaurėje. Medinį namo karkasą galima montuoti žemos temperatūros sąlygomis.

Pagal šilumos izoliacines savybes medinio karkasinio namo sienos atitinka 2,5 storio plytų mūrinį. Karkasiniai namai ir jų patvarumas derinasi su tam tikru elastingumu, todėl jie atsparūs seismiškai (Japonijoje 75 proc. gyventojų renkasi tokius namus) ir ilgaamžiai. Rusijoje buvo atliktas tyrimas, kuris parodė, kad karkasinio namo 1m^2 šildymui išlaidos 9 kartus mažesnės, nei daugiaaukščių senos statybos namų, šildančių ir aplinką.

Karkasinių surenkamų namų statybos technologija leidžia atskirti medžiagų laikančiąją, atitveriančiąją ir izoliuojančiąją funkcijas. Kiekvienas elementas turi jam skirtą užduotį ir atitinkančias ją savybes: viena medžiaga užtikrina minimalaus storio konstrukcijos tvirtumą, kita efektyviai sulaiko šilumą, trečia patikimai izoliuoja nuo drėgmės, ketvirta apsaugo nuo triukšmo iš išorės ir t.t. Sienų, paprastai pakankamai plonas, sudarančių medžiagų daugiasluoksniškumas ir darnus funkcionalumas leidžia pasiekti greitų statybos tempų ir aukšto namo ergonomiškumo lygio.

Atsakingiausia ir daugiausiai pastangų reikalaujanti karkasinio namo dalis - pamatai. Jie gali būti ir monolitiniai, ir gręžtiniai. Namo pagrindas - medinis karkasas (2.3 pav.). Jis surenkamas korio struktūros principu. Tai labai standus ir tvirtas bei ekologiškas statinys [44].

2.3 pav. Namo karkasas [44]

Karkasinio namo pranašumai:

- Karkasinis namas – lengvas, tad jam reikia pigesnių pamatų nei mūriniam namui;
- Dėl karkasinio namo sienos sandaros, namas būna netgi šiltesnis nei daugelio kitų konstrukcijų namų. Sienos storis nedidelis, tad sutaupoma namo gyvenamojo ploto ir pinigų namo statybai;
- Geras kainos ir kokybės santykis (1m^2 sienos statybos kaina 1,3 karto žemesnė, nei rąstinio namo, 1,7 karto žemesnė, nei namo iš putbetonio ir 2,5 karto žemesnė, nei plytų mūro, jei laikysime, kad šilumos varža vienoda);
- Sklype namas sumontuojamas labai greitai – per 4-6 dienas. Prieš tai namo gamyba gamykloje užtrunka tik 3-4 savaites;

- Vidaus komunikacijos (vandentiekis, kanalizacija ir kt.) - paslėptos sienų viduje;
- Technologija sudaro sąlygas sukurti idealiai lygius grindų, sienų ir lubų paviršius, todėl lengviau atlikti kokybišką patalpų apdailą;
- Fasadų išvaizdai pagyvinti galime naudoti pačias įvairiausias medžiagas;
- Karkasinius namus lengva remontuoti ir rekonstruoti;
- Statant karkasinius namus, lengvai galima keisti patalpų išdėstymą nedidinant sąnaudų ir sąmatos;
- Karkasiniai namai yra ekologiškesni nei mūriniai, nes atsisakius sienų iš inertinių medžiagų (mūro, betono ir kt.), galima sveikiau gyventi.

Karkasinio namo trūkumai:

- Šie namai neilgaamžiai (eksploatacija – apie 50 metų, vėliau reiktų juos atnaujinti);
- Karkasinio namo patartina nestatyti lietingu oru, kad nesudrėktų mediena, ir namas po to nesideformuotų;
- Nusprendus statyti karkasinį namą, negalima jo palikti porai metų pastovėti be langų ir durų. Tad visas statybos lėšas reikia suplanuoti iš anksto [38].

Ekologijai karkasinių namų statyboje skiriamas didelis dėmesys: apdailai paprastai naudojamos šiuolaikinės ekologiškai švarios „kvėpuojančios" medžiagos iš natūralios termiškai apdorotos medienos, o apšiltinimo medžiagoms – ekologiška vata. Visos šios medžiagos neutralios ir nekenksmingos žmogui. Pastato viduje nesikaupia drėgmės perteklius, medžiagos užtikrina gerą garso izoliaciją, todėl karkasiniame name sukuriamos sveikas ir malonus klimatas. Statybos technologija leidžia sumažinti neperdirbamų statybinių atliekų, todėl lengviau palaikyti tvarką statybos aikštelėje ir nekenkti aplinkai [44].

2.2.3. Skydinės sienos

Skydiniai namai – tai ekologiškai švarūs ir šilti karkasiniai namai, pastatyti iš gamykloje pagamintų skydų. Šie namai labiausiai mėgstami Skandinavijos kraštuose, Amerikoje, Kanadoje, o pastaruoju metu dėl Lietuvos gamintojų tiekiamų kokybiškų skydinių namų šis statybos būdas sparčiai populiarėja ir Lietuvoje [62].

Pagrindiniai surenkamo namo elementai – tai skydai ir rėminės konstrukcijos. Skydas sudarytas iš medinio karkaso - pjautinės obliuotos spygliuočių medienos, atitinkančios europietišką medienos stiprumo klasifikaciją EN 338 spygliuočių medienai taikomą C klasę (C14-40), 15±3% drėgnumo. Elementai apšiltinami nedegia ekologiška vata. Karkasas iš abiejų pusių apkalamas lakštinėmis šiuolaikiškomis medžiagomis ir pagal susitarimą apdailos lentomis, netgi nudažant jas gamykloje. Pagal suderintą projektą, sienose išvedžiojami elektros instaliaciniai vamzdeliai.

Planiniai – erdviniai reikalavimai gali padiktuoti tam tikrą optimalų skydų dydį. Pažymėtina, kad didelių skydų konstrukcinės savybės yra geresnės: greičiau vyksta montavimo darbai, sunaudojama mažiau medienos, sienose būna mažiau sujungimo siūlių bei išlaikomas geresnis namo erdvinis standumas. Elementų storis tiekiamas iki norminės varžos, tačiau gali būti suplonintas ar pastorintas atsižvelgiant į pageidaujamą gauti varžą bei numatomą išorinę apdailą. Skydai gaminami iki 3,20 m aukščio ir iki 13,50 m ilgio. Iš surenkamų skydų gaminami ir šie pastato elementai: išorinių sienų plokštės, vidaus pertvaros, perdangos ir stogo elementai iki stogo dangos [51].

Tokius namus įrengti kainuoja pigiau, nes energijos naudingumo ir šilumos taupymo koeficientai yra gerokai didesni: plokštės pasižymi vienalytėmis termoizoliacinėmis savybėmis. Be to, darbus galima vykdyti visus metus (2.4 pav.).

2.4 pav. Skydinio namo konstrukcijos [31]

Skydinio namo privalumai:

1. Skydiniams namams užtenka pigesnių pamatų nei vykdant mūrinę statybą, nes namo konstrukcijos lengvesnės;

2. Skydinio namo sienos plonesnės, tad sutaupoma daugiau namo gyvenamojo ploto ir pinigų, o namas vis tiek išlieka labai šiltas (jis įšyla greičiau nei mūrinis namas);

3. Sklype namas sumontuojamas per 3–6 dienas. Prieš tai namo gamyba cechuose užtrunka tik 2–4 savaites;

4. Visi skydinių namų elementai, elektros ir santechnikos ertmės gali būti projektuojami specialia kompiuterine programa, kuri užtikrina gerą ir tikslų montavimą statybos vietoje;

5. Skydinis namas eksploatavimo metu nesideformuoja („nesėda“), nes sienos gamyklose gaminamos horizontalioje padėtyje ir suspaudžiamos presais;

6. Skydinė statyba nepriklauso nuo oro sąlygų, nes skydai ruošiami uždarose patalpose, o montavimas vyksta iš automobilių transporto – nereikia laikinų patalpų statybvietėje, mediena išvengia drėgmės – nesideformuoja. Sklype nelieka daug atliekų, tai „švari“ statyba;

7. Fasadų ir vidaus apdailai galima naudoti pačias įvairiausias medžiagas;

8. Gerai pastatyti skydiniai namai techniniais parametrais nenusileidžia plytiniams arba iš blokelių pastatytiems namams, o jų statybos trukmė trumpesnė ir kaina žemesnė.

Skydinio namo trūkumai:

1. Ribotas atstumas tarp namo tarpatramių, sudėtingiau keisti išplanavimą;
2. Skydiniams namams nerekomenduotini statiškai sudėtingi architektūros sprendiniai;
3. Inžinerinių komunikacijų name keisti beveik neįmanoma;
4. Šie namai neilgaamžiai (eksploatacija apie 50 metų, vėliau juos reiktų atnaujinti);
5. Skydinį namą būtina apsaugoti nuo graužikų. Tai išsprendžiama gamybos metu taikant papildomas priemones [62].

2.2.4. Presuotų šiaudų sienos

Lengvos konstrukcijos namai iš šiaudų briketų tampa vis populiaresni ne tik Jungtinėse Amerikos Valstijose, bet ir visame pasaulyje. Sparčiai kylant pastatų apšildymo, vėdinimo kaštams, mažai energijos sąnaudų reikalaujantys pastatai tampa vis labiau populiaresni. Viena iš svarbiausių priežasčių, kodėl žmonės renkasi statybą iš šiaudų, tai dėl statybinės medžiagos, t.y. šiaudų briketų, šiluminių savybių. Palyginimui, įprastinio namo (iš plytų, silikatinių blokelių) apšildymas kainuoja 75 proc. brangiau nei šiaudinio. Šiaudinio namo energijos sąnaudos per metus neviršija 40 $kW \cdot h/m^2$. Taigi, tokiu būdu sutaupoma didelė dalis lėšų, kurios išleidžiamos kurui. Be to, tausojant gamtinius energijos išteklius, mažiau teršiama mus supanti aplinka.

Statant efektyvų, energiją tausojantį namą, reikia atsižvelgti į bendrą pastato planą (pasirinkti optimalų durų, langų dydį, orientuoti pasaulio šalių atžvilgiu ir t.t.).

Šiaudų briketai pasižymi itin gera garso izoliacija. Storos šiaudinės sienos sugeria didžiąją dalį išorinio triukšmo. Tačiau projektuojant pastatą reikia atsižvelgti ne vien į triukšmo, bet ir į šviesos bei energijos faktorius, kuriant sveiką gyvenamąją aplinką – ieškoti ir atrasti optimaliausią variantą [52, 53].

Šiaudų namai statomi iš šiaudų briketų sutvirtinant juos virbais arba mediniu karkasu. Jeigu statomas nedidelis namas (sienos trumpesnės negu 6 m), šiaudų briketus galima dėti kaip plytas ir sutvirtinti mediniais ar kitokiais virbais – svarbu kad sienos išlaikytų stogo svorį. Tokia statyba yra paprasčiausia ir pigiausia. Pastatas aptinkuojamas moliniu tinku. Šis būdas tinka nedideliems pastatams statyti (2.5 pav.).

Didesniam namui pastatyti vien šiaudų briketų negana. Būtina sukalti medinį karkasą, kuris laikytų stogą ir perdangas. Dėl karkaso statyba supaprastėja. Karkasinė statyba įdomi tuo, kad pirmiausiai pastatomas namo stogas. Jis saugo statybų aikštelę nuo lietaus, o tai yra svarbu statant iš šiaudų [15].

2.5 pav. Šiaudų namo statyba [54]

Didžioji dalis linkę klaidingai manyti, jog šiaudinių namų gaisringumas yra žymiai didesnis nei įprastinių pastatų. Tačiau tai netiesa, nes namai iš šiaudų briketų yra ypač atsparūs ugniai. Tampriai supresuotoje šiaudų briketų sienoje oro tarpų beveik nėra. Taigi, jei šiaudai yra pakankamai stipriai suspausti, šiaudinė siena tik apanglėja, o degant susidaręs pelenų sluoksnis neleidžia ugniai prasiskverbti giliau. Be to, jei pastato sienos yra tinkuotos, tai ugniai pirmiausia teks prasibrauti pro tinko barjerą.

Jungtinėse Amerikos Valstijose statinys šiaudinis tinkuotomis sienomis priskiriamas F119 gaisringumo klasei (t. y. ugniai parsiskverbti į statinio vidų prireiks daugiau nei 1 val. laiko). Ši gaisringumo klasė priskiriama mažos rizikos grupei [54].

Šiaudinių namų pagrindinės savybės:

- *Sveika aplinka.* Specialistų stebėjimais, tinkamiausia žaliava statybai – ruginiai šiaudai. Jie turi antiseptinių savybių. Geras pasirinkimas - ekologinių ūkių šiaudai. O tokių šiaudų stogas tarnauja apie 50 metų. Moliu tinkuotos sienos neskleidžia kancerogeninių, toksinių elementų, biologiškai atsparios, nerezonuojančios elektromagnetinių laukų. Absorbcinių ir dispersinių molio savybių dėka patalpoje palaikomas žmogui palankus mikroklimatas.
- *Ekologiškumas.* Statybai naudojami atsinaujinantys vietiniai ištekliai (šiaudai, molis, medis). Tuo pačiu sumažinamas atmosferos teršimas, nes šiaudai panaudojami sienoms, o ne sudeginami kaip nereikalingos atliekos. Statyboje nenaudojami sintetiniai priedai, statybinės atliekos nekenkia aplinkai.
- *Šiluminės savybės.* Viena svarbiausių priežasčių, kodėl žmonės renkasi statybą iš šiaudų t.y. šiaudų briketų, šilumos savybės. Palyginkite: įprasto namo (iš plytų, silikatinių blokelių) apšildymas kainuoja 75 proc. brangiau nei šiaudinio. Šiaudų briketų namai išsiskiria labai didele šilumine varža — 8-10 $m^2 \cdot K/W$, o tai gerokai sumažina namo apšildymo išlaidas.
- *Garso izoliacinės savybės.* Šiaudų briketai pasižymi itin gera garso izoliacija.. Storos šiaudinės sienos sugeria didžiąją dalį išorinio triukšmo.

- *Priešgaisrinės savybės.* Pastatai iš šiaudų briketų ypač atsparūs ugniai. Šiaudų sienos, užtinkuotos 25-75 mm gipso ar molio tinku, daug atsparesnės ugniai negu medinės ar karkasinės sienos. Eksperimentai parodė, jog ugnis negali prasiskverbti į šiaudų briketo vidų dėl mažo oro kiekio supresuotuose šiauduose ir apanglėjusio sluoksnio, kuris susidaro ugnies pusėje [15].

2.2.5. Sienos iš molio

Pastatų, kurių konstrukcijoms buvo naudojamas nedegtas molis, statybos istorija siekia net priešistorės laikus. Molis buvo naudojamas visur, kur tik jo buvo aptinkama. Mesopotamijoje, kur yra daug molio, smėlio ir nendrių, visi pastatai buvo moliniai. Vokietijos teritorijoje nedaug miškų, todėl ten paplito fachverkiniai pastatai su molio užpildu.

Susidomėjimas nedegto molio namais Lietuvoje buvo padidėjęs tarpukario laikotarpiu, kai miško medžiagos brango. Tuomet buvo ieškoma alternatyvių statybos būdų. Buvo susisteminti statybos iš molio būdai, išspausdintos rekomendacijos, daugiausia orientuojantis į kaimo žmogų. Tuo metu Europoje vis labiau įsigalėjo pramoninės statybos būdai. Pirmenybė buvo atiduodama naujoms, dažnai net kenksmingoms sveikatai medžiagoms.

Išgaunant ir apdorojant molį, sunaudojama nedaug energijos, todėl į atmosferą patenka mažesnis teršalų kiekis. Medžiaga dažnai iškasama tame pačiame sklype. Molis turi stabilią drėgnumo pusiausvyrą, todėl labai gerai apsaugo jame esančias medines konstrukcijas, jų nereikia chemiškai apdoroti. Molis su atitinkamais priedais yra gera šilumos ir garso izoliacija sienoms, luboms bei stogui. Molis puikiai reguliuoja drėgmę patalpose: sugeria, kai jos per daug, ir išskiria, kai trūksta. Molis akumuliuoja šilumą, neutralizuoja kvapus. Taip sukuriamas geras patalpų mikroklimatas. Molis yra ekologiška medžiaga, tad moliniu skiediniu galima tinkuoti vidines sienas, netgi pastatytas iš kitų medžiagų.

Molis yra patvari medžiaga. Gerai apdorotas ir panaudotas jis išsilaiko tūkstantmečius. Molį galima naudoti daug kartų. Paimtas iš seno pastato jis paprasčiausiai sudrėkinamas ir vėl naudojamas statybose. Molines konstrukcijas labai paprasta remontuoti, jose lengvai paklojamos įvairios komunikacijos (vamzdžiai, laidai). 2.6 paveikle pavaizduotas namas iš molio.

Statyba iš molio. Iškastas molis retai tinka statybai, nes dėl nevienalytės sudėties molinė siena džiūstant pleišėja, todėl molio masę reikia paruošti. Atsižvelgiant į statybos būdą, koreguojama molio sudėtis, jis minkomas. Paruoštą molio masę galima krėsti į klojinius 10 cm storio sluoksniais. Taip sluoksnis po sluoksnio keliamos sienos, paliekant tik durų angas. Iš pradžių negalima apkrauti perdangos ir formuoti stogo konstrukcijų. Reikia palaukti mažiausiai mėnesį, kol sutvirtės sienos. Gyvenamam namui tokia lauko siena netiks, nes ją reikės papildomai šiltinti.

Šiluminė varža. Pagal molio masės paruošimą galime išskirti molio be priedų ir molio su organiniais ar mineraliniais priedais technologijas. Organiniai priedai – tai šiaudai, nendrės, spaliai,

spygliai, pelai, medžio pjuvenos, skiedros, šakos. Mineraliniai užpildai – tai smėlis, žvyras, skalda, keramzitas ir kt. Priedai padidina termoizoliacines savybes, tvirtumą, sukibimą, sumažina molio masės nusėdimą, eižėjimą, ištižimą. Statant 55 cm storio sieną, šiluminė varža būtų 3,47 m^2K/W. Tokia siena gali būti tik save laikanti.

2.6 pav. Namas iš molio [63]

Kaip priedas dažniausiai naudojami šiaudai. Iš pradžių molis maišomas su šiaudais, po to suverčiamas į klojinius ir suslegiamas (2.7 pav.). Nors moliniai namai yra pigiausi (dėl žaliavos savikainos), tačiau statyba užtrunka, nes gana ilgas džiūvimo laikotarpis, todėl tenka daryti pertraukas. Dar keletas minusų: jei sienos daromos storos ir šiltos (nedidelis tankis), jos gali pradėti pelyti, todėl reikia parinkti tinkamą mišinio sudėtį ir sienų storį. Sienų sėdimas priklauso nuo mišinio kokybės. Paprastai sienos sėda 2,5-8 cm.

2.7 pav. Molio siena su šiaudų užpildu [10]

Vertėtų atkreipti dėmesį į molio ir pjuvenų technologiją. Molis maišomas su pjuvenomis ar skiedromis (be medžio žievės priemaišų), supilamas į klojinius ir lengvai spaudžiamas. Jei dirbant

laikomasi technologijos, namas beveik nesėda, džiūvimo laikas gana trumpas. Vokietijoje ši technologija plačiai įsisavinta: ji naudojama tiek statant naujus, tiek renovuojant senus pastatus.

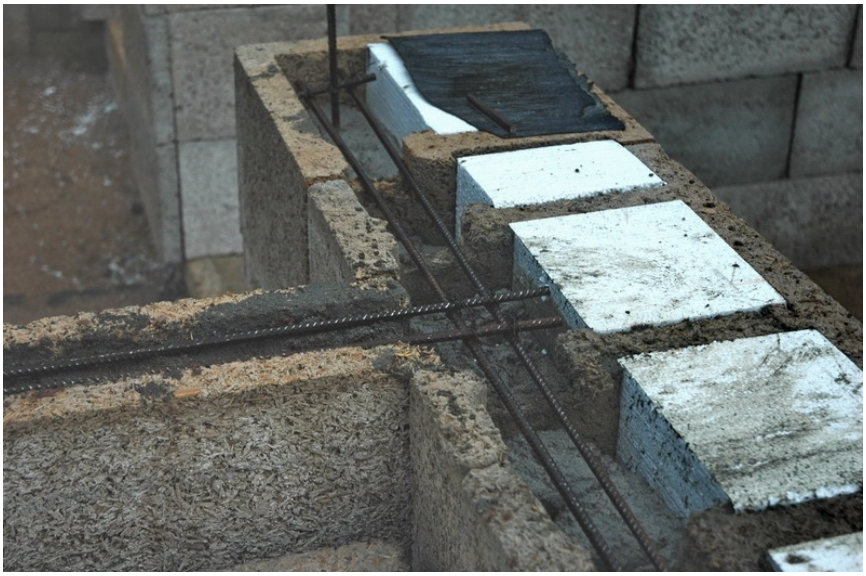
Alternatyvūs užpildai. Molis su mineraliniais priedais yra brangesnis. Toks mišinys susideda iš molio, smėlio, mineralinių šilumą izoliuojančių medžiagų (keramzitas, pemza) ir mineralinės rišamosios medžiagos (kalkės). Statyba gana greita, džiūstant mišiniui visiškai nemažėja mišinio tūris. Atsparumas gniuždymui yra toks didelis, kad šis mišinys tinka ir grindims.

Specialistų yra suskaičiuota, jog statant molinį namą tik jo sienų kaina yra maždaug 30% mažesnė už kitokių sienų kainą. Visų kitų namo elementų, kurių negalima pasigaminti pačiam, kaina yra įprasta. Nereikėtų įsivaizduoti, kad šis statybos būdas yra paprastas ir primityvus. Molis yra pakankamai įnoringa medžiaga. Nusprendus dirbti patiems, būtų labai pravartu konsultuotis, susipažinti su literatūra, išsiaiškinti, kas, kada ir kaip turi būti daroma, kokią konstrukciją geriausia būtų rinktis [45].

2.2.6. Medžio cementinių blokų sienos

Ekologiški medžio cementiniai blokai yra „sauso mūro“ statybinė sistema, atitinkanti visus modernios ir ekologiškos statybos reikalavimus. Šie blokai buvo pagaminti Olandijoje jau prieš 70 metų ir sparčiai populiarėja ne tik Europoje, bet ir visame pasaulyje. Jie pasižymi gera šilumos ir garso izoliacija, taip pat vertinamas jų savaiminis kvėpavimas, tvirtumas, paprastas ir greitas statymas [56].

Pagrindinė medžio cementinių blokų medžiaga - skaldytas medis (eglė), sudarantis net 90 procentų viso bloko ir 10 procentų cemento su mineraliniais priedais (2.8 pav.). Pastarieji suteikia gaminiui atsparumą vandeniui, druskoms ir ugniai, o skaldytas medis - garso izoliacines savybes ir išlaiko šilumą. Dėl mineralinių priedų blokai, veikiami tiesioginės liepsnos, neužsidega apie keturias valandas [25].



2.8 pav. Medžio cementiniai blokai [25]

Blokai yra tvirti, puikiai pritaikyti prie drėgno ir šalto klimato bei ilgaamžiai. Gali būti su polistireno sluoksniu ir be jo, priklausomai nuo to, kokio šiltumo sieną norima statyti. Sausai dedant juos vieną ant kito ir užpylus betonu, gaunama medžio betono statybų sistema, skirta statyti sieninėms konstrukcijoms. Tokiu pat būdu gaminami ir perdangoms skirti blokai. Iš jų, naudojant specialią, bet paprastą metodiką, galima sumontuoti vientisą neribotų gabaritų perdangą [56].

Gaminamų ekologiškų medžio cementinių blokų savybės atitinka visus modernios ir ekologiškos statybos reikalavimus. Žemos energetinės sąnaudos gaminant blokus, gamyba be atliekų (statybos metu nesunaudotos atliekos grąžinamos antriniam apdirbimui) leidžia išvengti bet kokį neigiamą poveikį aplinkai, naudojant šiuos blokus statyboje. Blokai pasižymi geromis garsą slopinančiomis savybėmis (išorinės sienos – daugiau kaip 60 Db, vidinių bei pertvarinių sienų – daugiau kaip 50 Db) [1].

Didelis blokų formatas lemia statybos technologijas – leidžia pagreitinti sienų pastatymą: pastatas gali kilti iki 1 metro per dieną per visa jo perimetrą, įskaitant išorines, laikančiąsias ir pertvarines sienas. Pagrindinės medžio cementinių blokų savybės:

Šilta siena. Siena iš šių blokų pasižymi aukšta šilumine varža (net 5.21 m²K/W). Joje nėra šilumos tiltelių, o tai leidžia išvengti papildomų šilumos nuostolių. Statant iš medžio cementinių blokų, užtikrinama optimali aplinka patalpos viduje, nes žiemą sukaupta šiluma sulaikoma ir lieka patalpoje, o vasarą - priešingai - namuose palaikoma vėsi temperatūra.

Visiškai sausa siena. Medžio cementinių blokų sienos konstrukcija užtikrina puikų vandens garų pralaidumą ir teigiamai veikia vandens difuzijos procesus. Ši savybė kuo puikiausiai leidžia vykdyti statybas ir lyjant lietui, nes blokas greitai išdžiūna. Bloko vidaus sienelė susijungia su lauko sienele, o tai leidžia sienoms „kvėpuoti“ ir užtikrina, kad namuose nesikaups drėgmė.

Gera garso izoliacija. Namo sienos garsą ne atmuša, o sugeria, o tai garantuoja komfortišką ir apsaugotą nuo išorinio triukšmo namų aplinką.

Atsparumas aplinkos poveikiui ir ilgaamžiškumas. Medžio cementiniai blokai yra puikiai pritaikyti prie drėgno ir šalto klimato, kas Lietuvos vartotojui yra ypač aktualu. Savo ilgaamžiškumu medžio cementiniai blokai išsiskiria iš daugelio kitų statybinių medžiagų.

Greita ir nebrangi statyba. Medžio cementiniai blokai yra paprasta ir greita statybos sistema. Ji nereikalauja papildomų apšiltinimo medžiagų, jų pritvirtinimo detalių bei darbo sąnaudų tai padaryti; leidžia labai paprastai išvedžioti elektros instaliaciją, vandentiekio vamzdynus; užtikrina puikią garų difuziją ir pastate sukuria sveiką klimatą; labai gerai izoliuoja triukšmą. Kadangi statybos metu naudojamas betonas, įgaunamos geros šilumos akumuliacinės savybės, taip sutaupoma iki 25 % šilumos sąnaudų šildymo sezono metu. Pastatyti namą, naudojant medžio cementinius blokus, galima žymiai greičiau ir pigiau negu iš tradicinių statybinių medžiagų [25].

2.3. Ekologiško namo stogo dangos konstrukcijų variantų analizė

Namo stogas - viena iš pagrindinių pastato sudėtinių dalių tiek techniniu, tiek pastato išvaizdos atžvilgiu. Stogas saugo pastato konstrukcijas, elementus, atskiras pastato dalis, vidaus įrangą, gyventojus nuo lietaus, vėjo, sniego, saulės ir kitų veiksnių. Dėl šios priežasties stogai turi būti patikimi ir ilgaamžiai.

Pagrindiniai kriterijai, kuriais vadovaujantis reiktų rinktis stogo danga:

Stogo ilgaamžiškumas. Stogas sudaro apie 20-25 proc. gyvenamojo namo kainos, todėl investicijos į jį turi būti labai kruopščiai apgalvotos. Parenkama tokia stogo konstrukcija ir stogo danga, kuri tarnautų kiek įmanoma ilgiau;

Stogo kaina. Stogo kaina yra vienas iš svarbesnių faktorių būsimo namo savininkui pasirenkant stogo dangą. Ji susideda iš kelių sudedamųjų dalių: stogo dangos kainos, paviršiaus paruošimo dengimui kainos, įvairios paskirties plėvelių kainos, darbo jėgos sąnaudų ir reikalingų mechanizmų ir iš stogo dangos atliekų kiekio. Skaičiuojant stogo kainą būtina įvertinti visas sudedamąsias kainos dalis;

Stogo dangos atsparumas ugniai. Kalbant apie atsparumą ugniai, būtina atkreipti dėmesį ne tik į tai, ar stogo danga tenkina priešgaisrines normas ir taisykles bet ir į tai, su kokiomis problemomis gaisrininkai susiduria gesindami degančius stogus, kai stogo dangą sunku nuardyti;

Stogo dangos poveikis stogo konstrukcijai. Didelis rūpestis dengiant stogus - dangą laikančių konstrukcijų vėdinimas, be kurio dėl kondensato atsiradimo rizikuojame supūdyti grebėstus ar ištisinį paklotą po stogo danga;

Stogo estetika. Stogas lemia apie pusę namo vaizdo, todėl jo išvaizda labai svarbi. Taip pat svarbi stogo spalva bei jos derėjimas prie sienų ir aplinkos;

Ekologiškumas. Stogo plotas dažniausiai atitinka naudingą namo plotą, todėl svarbu, kad jo danga būtų ekologiška ir nekenktų nei žmogui, nei aplinkai [65].

Toliau apžvelgiamos ekologiškos stogų dangos:

- molio čerpių stogas;
- skiedrų stogas;
- šiaudų ir nendrių stogas;
- apželdintas stogas;
- Akmeninis stogas;

2.3.1. Čerpinis stogas

Čerpės turi senas tradicijas Lietuvoje, iki šiol sutinkami daugiau kaip 100 metų senumo molio ir betono čerpių stogai. Kadangi medžiagos, iš kurių gaminamos čerpės, ir toliau išlieka beveik nepakitusios, nėra priežasčių baimintis, kad naujosios dangos galėtų tarnauti trumpiau.

Čerpės gaminamos iš molio ir smėlio mišinio, vandens, oro ir ugnies pagalba. Keraminės čerpės - tai natūralus, ekologiškai švarus, mažinantis radiacijos poveikį produktas. Čerpinis kilimas padengia namą puošniu šarvu, sunkiu ir kartu elastingu, kurio nereikia dažyti ar remontuoti. Kokybiškos čerpės tarnauja iki 150 metų (gamintojai duoda garantiją 30 ir daugiau metų). Dėl to, kad čerpės dengia namą kaip žvynai, jos lengvai praleidžia orą. Dėl savo mažų matmenų jas lengva pritaikyti prie įvairiausių stogo formų. Jos nedegios, nekaupia statinės elektros, tvirtos ir ekologiškai švarios. Palyginus su kitomis stogų dangomis, čerpės karštu metų laiku neįkaista, vasarą būti po tokiu stogu yra vėsu, o žiemą šilta. Be to, čerpinis stogas gerai sugeria triukšmą lietaus ar net krušos metu. Kalbant apie estetinę pusę reikėtų pabrėžti, kad tokie stogai yra elegantiški, puikiai tinkantys prie gamtinės aplinkos, pagyvinantys namo išorę

Čerpių stogas tinka visiems namams – mažiausias leistinas stogo nuolydis yra 11 laipsnių, o didžiausias – 90 laipsnių. Čerpių stogui dengti nereikia specialių instrumentų, be to, betoninės čerpės užmaskuoja apatinės stogo konstrukcijos trūkumus, atsiradusius statybos metu. Čerpes galima naudoti pakartotinai, nuimant jas nuo senojo stogo ir uždengiant naująjį. Dengiant stogą labai svarbu darbus atlikti kokybiškai ir panaudoti geras medžiagas.

Natūralios molinės čerpės sendamos gražėja, jos savaime keičia spalvą. Molinės čerpės priduoda statiniui solidumo. Teisingai pasirinkus stogo dangą ne tik pagerės namo išorė, bet ir padidės jo vertė [7].

2.3.2. Skiedrų stogas

Daugelyje šalių stogas dengtas skiedromis yra populiarus pasirinkimas tarp statytojų. Tai patvari, „kvėpuojanti“, lengva ir ilgaamžė danga, šilumine varža ir kitomis savybėmis nenusileidžianti šiuolaikinėms stogų dangoms. Danga taip pat yra ekologiška, nes gaminama iš atsinaujinančių medžiagų, gamybos metu sunaudojama nedaug energijos, skiedros neišskiria jokių kenksmingų medžiagų. Skiedromis dengiami šlaitiniai stogai. Ši stogo danga gerai izoliuoja garsą, nekaupia kondensato. Tai lengva medžiaga, todėl jai nereikia sudėtingų ir sunkių stogo konstrukcijų [5].

Vakarų Europoje ir visame pasaulyje mediniai stogai šiuo metu labai populiarūs. Gerai įrengti skiedrų stogai išsilaiko 40 metų ir ilgiau. Skiedrų stogai Lietuvoje buvo labiau paplitę, nes skiedroms pagaminti reikia mažiau ir prastesnės medienos, nereikia sudėtingų įrengimų, todėl skiedrų gamyba paprastesnė ir pigesnė negu kitų medinių stogo denginių. Skiedromis dengtas namo stogas pavaizduotas 2.9 paveiksle.

Skiedros paprastai drožiamos iš nešakotos, neįvijos eglės, pušies ir drebulės, rečiau - iš liepos ir juodalksnio. Skiedroms drožti netinka sausa ir šakota mediena, iš tokios negalima pagaminti kokybiškų skiedrų, nes jos lūžta, trupa, trūkinėja, gaunasi skylėtos.

2.9 pav. Skiedrų stogas [5]

Mediniai stogai yra lengvi, todėl jiems nereikia sudėtingų ir sunkių stogo konstrukcijų. Jie atsparūs žiemos šalčiams, apledėjimui, vasaros karščiams ir rudens vėjams. Gerai izoliuoja garsą, ypač lyjant smarkiam lietui ir pučiant stipriam vėjui. Mediniai stogai, kaip natūralios medžiagos konstrukcija, gerai dera su supančia gamtine aplinka, pabrėžia kiekvieno pastato grožį ir individualumą.

Neigiama medinių stogų savybė yra ta, kad jie neatsparus medienos kenkėjams, drėgmei ir ugniai. Tačiau šiuo metu yra daug nekenksmingų aplinkai ir žmogui medžiagų, kurias panaudojus stogai būna atsparūs tiems neigiamiems veiksniams.

Stogo nuolydžio kampas priklauso nuo stogo dangos medžiagos, pastato paskirties ir pastato stogo formos. Kuo mažesnis gegnių nuolydžio kampas, tuo mažesnis pastato tūris ir statybinių medžiagų sąnaudos. Rečiau daromas didesnis negu 45° stogo nuolydis, nes kuo didesnis stogo nuolydis, tuo daugiau reikia statybinių medžiagų ir sunkiau atlikti stogo statybos darbus. Skiedrų, gontų ir lentelių stogams rekomenduojamas mažiausias nuolydžio kampas pagal įvairius literatūros šaltinius - 33°-39°.

Skiedros drožiamos iš žalio medžio, tada jos būna kokybiškos. Geriausias metų laikas skiedroms drožti - pavasaris ir vasaros pradžia. Jei medis padžiuvęs, prieš drožiant jį reikia išmirkyti vandenyje.

Paprastai skiedros drožiamos 500-700 mm ilgio, 80-150 mm pločio ir 3-6 mm storio. Skiedromis stogai dengiami dviem būdais: be pamušalo ir su pamušalu. Be pamušalo stogai gali būti dengiami dviem, pustrečio, trimis, keturiais ir net penkiais skiedrų sluoksniais. Dažniausia dengiama trimis, rečiau - keturiais sluoksniais. Dviem sluoksniais dengiami tik mažiau svarbūs pastatai, pvz., pavėsinės ir kt.

Stogo dengimas su pamušalu yra geresnis būdas. Todėl pastarasis naudojamas dažniau. Dengiant su pamušalu, pastogė geriau apsaugojama nuo pripustymo, sutaupoma medžiagų, nes rečiau reikia grebėstuoti. Dengiant šiuo būdu, vienas skiedrų sluoksnis (pamušalas) klojamas atskirai, užleidžiant ties grebėstais kalamos eilės skiedrų galus ant jau prikaltos eilės vos per keletą

centimetrų. Pamušalo, kaip ir kitų sluoksnių, skiedros klojamos ne viena greta kitos, bet užleidžiant šonais viena ant kitos maždaug 30-40 mm. Paklojus pamušalą, ant jo du arba trys skiedrų sluoksniai dengiama taip pat, kaip ir be pamušalo stogo apdengti reikalingi skiedrų (110 mm pločio) ir kitų medžiagų kiekiai bei grebėstų išdėstymo žingsnis, dengiant su pamušalu [18].

Skiedrų stogo paviršius yra sudarytas lyg iš mažų atskirų plaušų, kurie veikia panašiai kaip žmogaus plaučiai. Esant drėgnam orui skiedros plaušai priglunda, todėl dangos paviršius būna lygus kaip slidės apačia. Ši savybė lyg uždaro stogą ir padeda jam neįsileisti drėgmės. Dar labiau būti atsparesnei vandeniui dangai padeda šiuolaikiniais antiseptikais užpildytos jos poros. Šios medžiagos yra netoksiškos ir bekvapės. Vos orai ima sausėti, dangos paviršius pasišiaušia. Pro atsivėrusius plaušus išgaruoja drėgmės perteklius. Taigi danga tarsi plaučiai kvėpuoja iki kito lietaus. Kita medienos savybė užtikrina, kad net karščiausią vasaros dieną pastogėje bus vėsu, o vakare jaukiai šilta [64].

2.3.3. Šiaudų, nendrių stogas

Šiaudinis stogas – tai geras mikroklimatas visame pastate, nes stogas „kvėpuoja“. Stogui dengti naudojami ruginiai šiaudai, juose nesiveisia graužikai. Gerai uždengto stogo danga laiko 50 ir daugiau metų. Šiaudus nuo puvimo saugo geras stogo nuolydis. Šiaudai yra natūrali ekologinė žaliava, gerai izoliuojanti triukšmą bei šilumą. Šiaudų šiluminis laidumas keturis kartus mažesnis už medžio ir septynis kartus už plytų (2.10 pav.).

Prieš dengiant stogą, šiaudai impregnuojami molyje. Tokiu būdu apdoroti šiaudai tampa labai atsparūs aukštai temperatūrai. Nebūtina naudoti antipirenų, kurie labai brangiai kainuoja ir po kelių metų jais šiaudus apdoroti reikia iš naujo [68].

2.10 pav. Šiaudų stogas [4]

Nendriniai stogai – ekologiška, šimtmečių patikrinta stogo danga. Ji savo ilgaamžiškumu nenusileidžia nei vienai stogo dangai. Nendrinis stogas tarnauja nuo 50 iki 100 metų, todėl išliko iki

šių dienų. Nendriniai stogai nuo seno yra naudojami namų statyboje ne vien dėl savo svorio, bet ir dėl estetinio grožio. Tokio tipo danga papuošia namą ir suteikia jam išskirtinumo, jaukumo. Gerai suprojektuotas ir profesionaliai uždengtas nendrinis stogas namą padarys jaukesnį ir gražesnį.

Nendrinis stogas tinka ne tik mediniam namui. Jis taip pat puikiai dera prie tinkuotų bei klinkerio plytų fasadų. Suderinus spalvas ir pritaikius stogo konstrukciją namui, gausime puikų rezultatą, kurį bus sunku pasiekti naudojant kitas stogo dangas. Ruošiant stogo konstrukciją nendriniam stogui, ypatingų reikalavimų nėra. Svarbiausia, kad stogo nuolydis būtų ne mažesnis nei 35 laipsniai. Galimas net 90 laipsnių konstrukcijų dengimas nendre. Stogas gali būti tiek tiesus, tiek laužytas (banguotas). Naudojant naujausias technologijas ir medžiagas, galima pagaminti tokį stogą, kuris tiktų kiekvienam užsakovui.

Nendrinių stogų klojimo procesą sudaro 60 cm apimties pėdelių išdėstymas, jų perpjovimas, išskleidimas ant grebėstų ir išplūkimas, norint suteikti reikiamą pavidalą. Po to prispaudžiama 5 mm cinkuota viela ir sutvirtinama 1,2 mm cinkuota ar 1,2 mm nerūdijančio plieno viela. Į 30 cm storio nendrių stogą vanduo įsigeria tik iki 8 cm. Nendrės yra klojamos taip, kad vanduo nutekėtų pačiais nendrių galiukais. Nendrinio stogo kraigą galima užbaigti keliais variantais, tačiau populiariausi du – medinis ir viržinis. Stogą galima apsaugoti ir nuo ugnies. Paklojus dangą, ji gali būti impregnuojama specialiu impregnantu, kuris apsaugo nendres nuo gaisro.

Nendriniai stogai pasižymi puikiomis akustinėmis savybėmis. Kadangi nendrių dangos storis 30 cm ir pati nendrė yra porėta, ji puikiai sugeria ir slopina garsą, nepraleisdama jo į namo vidų. Be to, nendrės turi mažiausią iš visų žinomų termoizoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientą. 30 cm storio nendrinis stogas prilygsta 10 cm storio mineralinės vatos [58].

2.3.4. Apželdintas stogas

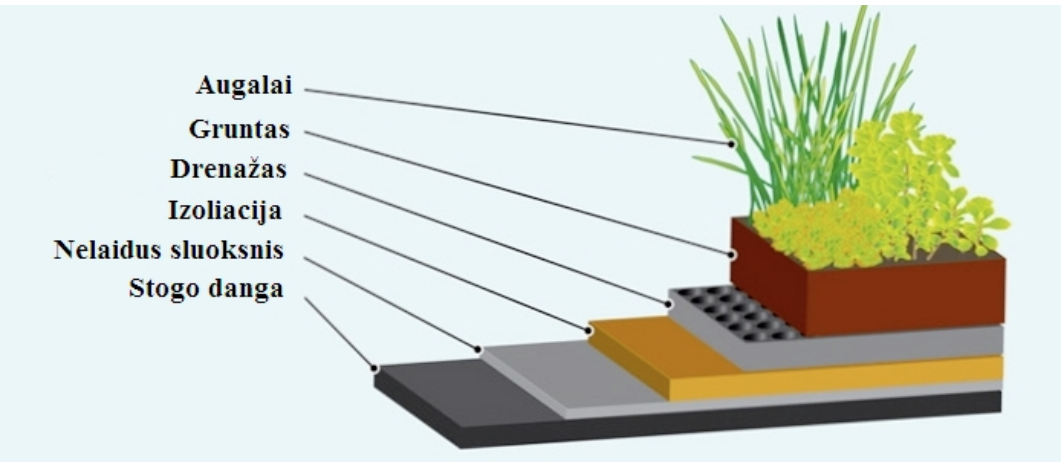
Sodai terasose ir želdiniai ant stogų žinomi gana seniai, kai šie nepakartojami agrotechniniai kūriniai buvo įrengiami Asirijoje ir Babilone. Semiramidės sodai buvo priskirti septyniems pasaulio stebuklams.

Galima išskirti dvi stogų apželdinimo rūšis – ekstensyvų ir intensyvų. Ekstensyvi apželdinimo sistema - tai gana paprastas ir nesudėtingas žalio stogo įrengimas, minimaliai prižiūrimas, įrengiamas ant sutapdintų stogų ir šlaitinių stogų iki 45º nuolydžio. Tokiam stogui parenkami augalai, kuriems reikia minimalios priežiūros. Ekstensyvus apželdinimas taikomas pramoniniams pastatams, prekybos centrams, gyvenamiesiems namams, garažams.

Intensyvi apželdinimo sistema labiau tinka verslo centrų, kotedžų stogams, elitiniams namams su antstatais. Naudojant intensyvų apželdinimą ant stogo substrato sluoksnis gali būti net iki 1 metro, o augalai turi būti parinkti labai kruopščiai ir nuolat prižiūrimi. Teisingai įrengto

želdiniais (veja, samanos, gėlynas) apželdinto stogo sistema vidutiniškai sveria 35 kg/m², po intensyvaus lietaus svoris padidėja iki 53 kg/m² [11].

Pagrindiniai ant plokščiojo stogo auginamų augalų poreikiai – vanduo ir deguonis, kurių turi būti dirvoje. Tačiau taip pat svarbu atsižvelgti ir į tai, kokias apkrovas gali atlaikyti konstrukcija. Augalams augti reikia nuo 30 iki 100 cm žemės. Kadangi jos svoris labai didelis, gamintojai siūlo specialią žemę stogui želdinti. Tai maždaug keturis kartus lengvesnės žemės, dėl jose esančių stambių keramzito, medžio žievės ar kitų dalelių, jos nesukrinta, taigi sugeba išlaikyti pakankamą deguonies kiekį. Kadangi dirvožemis gaminamas specialiai paželdintiems stogams, užtenka vos 8–30 cm storio dirvos sluoksnio. Siekiant aprūpinti želdinius vandeniu ir apsaugoti juos nuo per didelio kritulių kiekio, naudojama speciali drenuojamoji plėvelė, savyje galinti sukaupti nuo 20 iki 100 l vandens, o perteklių paprasčiausiai pašalinti specialiais nutekamaisiais grioveliais [79, 80]. Apželdinto stogo schema pateikta 2.11 paveiksle.



2.11 pav. Apželdinto stogo schema [9]

Apželdinto stogo privalumai:

- Apželdintas stogas slopina triukšmą iki 50 dB, sumažinamas triukšmo patekimas tiek iš pastato vidaus, tiek iš išorės;
- Apželdintas stogas ilgiau eksploatuojamas dėl mažesnio ekstremalių temperatūrų svyravimo bei ultravioletinių spindulių bei cheminio poveikio;
- Geresnė šilumos izoliacija, leidžianti taupyti energiją. Grunto sluoksnis atlieka šilumos akumuliacinio sluoksnio vaidmenį – garuojanti drėgmė aušina pastatą dienos karščių metu, o naktį grunto šiluma neleidžia jam greitai atvėsti;
- Įrengus apželdintą stogą maždaug 20-30% sumažėja išlaidos, skiriamos patalpų šildymui ir kondicionavimui;
- Žaliąjį stogą galima laikyti „kietąja hidroizoliacine sistema“, kuri gaisro atveju apsaugo pastatą nuo ugnies išplitimo taip pat gerai kaip stogas su žvyro skalda;

- Augalinis substratas arba gruntas sugeria lietaus vandenį, dėl to mažiau apkraunamos kanalizacijos ir lietaus nuvedimo sistemos;
- Stogo dangos paviršiaus įšilimas mažesnis nei įprasto paviršiaus 2-3 kartus;
- Moksliškai įrodyta, kad apželdintas stogas apsaugo nuo elektromagnetinio spinduliavimo;

Apželdinto stogo trūkumai:

- Stogui reikalinga priežiūra ir brangesnis remontas;
- Turi būti tvirtesnės konstrukcijos, nes stogas turi atlaikyti žymiai didesnį svorį;
- Kuo intensyvesnė apželdinimo forma, tuo reikalinga didesnė stogo priežiūra bei papildomi ergonominiai įrengimai;
- Apželdinimui tinka ne visi regione augantys augalai [74].

Daugelis Lietuvoje susidarę nuomonę, kad apželdintas stogas yra nepatikimas, nes vanduo būtinai ims varvėti, augalų šaknys prasiverš net pro stipriausią izoliacinį sluoksnį. Manoma, kad apkraunamos stogo konstrukcijos, reikia daug priežiūros, augalus būtina laistyti, ravėti, be to, augalams augti reikia daug žemės. Šis mitas trukdo realiai suprasti apželdinto stogo įrengimo niuansus ir privalumus. Apželdinti stogai labai populiarūs Skandinavijos šalyse, kur tradicijos stogus dengti vietiniais skalūnais, želdinti samanomis išties senos.

2.3.5. Akmeninis stogas

Neseniai Lietuvos statybinių medžiagų rinkoje pasirodžiusi naujovė − akmeninė stogų danga. Tokios stogo dangos idėja atkeliavo iš Ispanijos, Portugalijos, Italijos, Prancūzijos bei kitų šio regiono kalnuotų teritorijų. Čia tokia stogo danga naudojama nuo seniausių laikų ir išlieka itin populiari iki mūsų dienų. Minėtose teritorijose galime pamatyti skelto akmens plokštėmis dengtų ne tik viduramžių pilių, bet ir privačių būstų stogų. Šiose šalyse tokia tradicija puoselėjama ir tobulinama, tačiau tai ne vien prisirišimas prie tradicijų − tai visų pirma praktiškumas ir, be abejo, estetika (2.12 pav.).

Šiuolaikiniai skalūno stogo dangos gamintojai suteikia net 100 metų garantiją. Tokia stogo danga šiuose regionuose pradėta naudoti dėl didelio temperatūrų svyravimo. Dieną akmuo sulaiko saulės spindulius, absorbuoja šilumą ir apsaugo patalpą nuo karščio, o naktį susikaupusi šiluma neleidžia patalpoms atšalti. Tie patys privalumai vertinami ir šiandien. Be to, skalūnas išsiskiria nepaprastu architektūriniu paklusnumu. Naudojant šį akmenį, galima sukurti neįtikinamiausias stogų formas, ko neįmanoma įgyvendinti stogą dengiant čerpėmis. Nereikėtų pamiršti ir to, jog geros, kokybiškos „prancūziškos“ čerpės kainuoja daugiau, o jų konstrukcija ganėtinai sunkesnė. Svarbu ir tai, kad mūsų šalies statiniams dėl klimato sąlygų labiausiai tinka pilkos spalvos skalūnas.

Trimis sluoksniais dengtas stogas atlaiko bet kokius temperatūros svyravimus. Akmens danga prie stogo tvirtinama specialiais nerūdijančio plieno kabliukais. Kitaip nei tradicinė čerpių

danga, ji nereikalauja jokių priedų, montuojama kelis kartus greičiau ir paprasčiau, todėl pasirinkus šią stogo dangą sutaupoma dalis lėšų [3].

2.12 pav. Akmeninis stogas [73]

Natūralaus akmens stogų plokštelių yra įvairių formų ir matmenų, jos gali būti ir pusapvaliais galais arba netaisyklingų formų. Akmens plokštės karpomos specialiomis staklėmis. Akmeninės danga tvirtinama variniais nerūdijančio plieno vinimis, kabliukais, nes dangos tarnavimo laikas labai ilgas. Atlikti bandymai testas rodo kad akmeninė danga atlaiko 200 šalčio ciklų. Panašios faktūros akmens stogo plokštelės gali būti derinamos prie pastato fasado. Ši medžiaga yra palyginti sunki, todėl konstrukciniai stogo skaičiavimai - labai svarbus momentas, nes į 1 kv. m slegia 35-45 kg dangos.

Akmeninės dangos pranašumas nepakartojama estetinė išvaizda, prabangumas, ekologiškumas, lietui lyjant mažas triukšmingumas, tačiau silpnoji pusė - medžiagų kaina [11].

2.4. Ekologiškų šilumą izoliuojančių medžiagų analizė

Tinkamų pastato apšiltinimo medžiagų pasirinkimas – tai viena dažniausiai pastatų savininkams iškylančių problemų. Šiltinant pastatą tiek rankomis, tiek pučiant izoliaciją paprastai išlieka labai didelė klaidų bei broko galimybė. Labai svarbu, kad darbus atliktų tinkamos kvalifikacijos darbininkai ir būtų naudojamos tik aukštos kokybės medžiagos. Todėl prieš renkantis šiltinimo būdą, svarbu apsvarstyti, kuris iš jų būtų praktiškiausias, ekonomiškiausiais ir ekologiškiausias [59].

Ekonominis pastatų renovacijos efektyvumas priklauso nuo energiją taupančių priemonių įgyvendinimo. Pastatų sienų šiltinimas yra viena iš geriausių ir efektyviausių priemonių energijos taupymo požiūriu. Pastatų sienų šiltinimo variantai skiriasi vienas nuo kito pagal medžiagas, darbo sąnaudas ir pan. Nuo to priklauso renovacijos kaina. Kriterijai, atspindintys skirtingus sienų šiltinimo variantus, gali turėti įvairių reikšmių. Gali skirtis jų kitimo kryptys, t. y. vienų kriterijų reikšmių didėjimas padėtį gerina, kitų – blogina. Kompromisiniam variantui pasirinkti padeda daugiakriterio vertinimo metodai [27].

2.4.1. Pūstoji kamštiena

Kamštiena gaunama apdorojus kamštinio ąžuolo apsauginį sluoksnį, kuris gali būti periodiškai šalinamas nuo jo kamieno ir šakų. Kamštinio ąžuolo žievės struktūra skiriasi nuo daugumos medžių žievės struktūros. Kiekvienas 1 cm^2 ąžuolo žievės turi apie 40 mln. akučių. Kamštinio ąžuolo žievė sudaryta iš sumedėjusių celiuliozės ląstelių, kurias sudaro oras ir siberinas – kamštienos pagrindas.

Akutės sienelės sudarytos iš 5 sluoksnių – du sluoksniai yra kamieniniai, du – tankūs riebaliniai sluoksniai, nepraleidžiantys vandens, ir vienas – pluoštinis sluoksnis, suteikiantis šios medžiagos akutėms kietumo ir stiprumo.

Kamštienos gaminiai yra ilgaamžiški. Iš visų organinių medžiagų kamštiena labiausiai atspari puvimui ir pelijimui. Dėl akytos struktūros ir tam tikrų sluoksnių išsidėstymo kamštiena yra viena iš geriausių termoizoliacinių medžiagų. Dauguma jos gaminių gali būti perdirbami, deginami ir gaminama energija.

Vidutinis kamštienos gaminių tankis yra maždaug 240-260 kg/m^3. Termoizoliacinių gaminių tankis – maždaug perpus mažesnis – nuo 110-130 kg/m^3. Tokių gaminių šilumos laidumo koeficientas yra nuo 0,031 W/m·K iki 0,04 W/m·K. Be gerų termoizoliacinių savybių, pūstoji kamštiena turi ir puikių stipruminių savybių. Gniuždomasis stipris – apie 200 kPa, lenkiamasis stipris – 140 kPa. Termoizoliacinės kamštienos eksploatavimo temperatūra nuo -200 °C iki +120 °C. Ši medžiaga absoliučiai ekologiška ir 100 % gaminama iš natūralių žaliavų.

Iš kamštinio ąžuolo apsauginio sluoksnio parengiama granuliuota kamštiena, gaunama smulkiai trupinant, malant kamštienos dalis arba apdorotą kamštieną. Termoizoliacinėms medžiagoms gaminti naudojama pūstoji kamštiena, gaunama iš susmulkintos granuliuotosios kamštienos, išpūstos ir sujungtos tik jos pačios natūraliu rišikliu, išsiskiriančiu iš kamštienos žievės ląstelių sienelių kaitinant padidėjusiu vandens garų slėgiu. Terminio apdirbimo metu naudojama 250–300 °C temperatūra. Veikiant aukštai temperatūrai dervingosios dalelės išsiskiria iš ląstelių ir tam tikri grūdeliai susilydo į vientisą masę. Kaitinant dėl įkaitusio oro ir vandens garų uždarose kamštienos akutėse kamštienos tūris padidėja iki 30 % tūrio. Gauti monolitiniai blokai supjaustomi į reikiamų matmenų plokštes [24].

2.4.2. Natūralaus medienos pluošto vata

Europoje žymi kasmet gaminamos energijos dalis naudojama pastatams šildyti, pvz., Vokietijoje ši dalis siekia beveik 30%, – skaičius, akivaizdžiai pabrėžiantis svarbią kokybiškos pastatų šiluminės izoliacijos reikšmę.

Medžio pluošto izoliacinės medžiagos siūlo žymiai daugiau nei tik komfortą ir šilumą žiemą: dėl jų gerų izoliacinių savybių jos padeda gerokai sumažinti šildymo išlaidas. O jų geros

difuzinės savybės skatina sveikatai palankaus mikroklimato ir nuolatinės oro drėgmės palaikymą patalpose. Išskiriamos šios Medžio pluošto vatos pagrindinės savybės:

Apsaugo nuo karščio vasarą. Tai – medienos plaušų plokščių savybių, suteikianti joms pranašumo lyginant su įprastomis izoliacinėmis medžiagomis. Vasaros termoizoliacijos užduotis yra atidėti šilumos skverbimąsi pro konstrukciją. Medienos pluošto vatos izoliacinių medžiagų šilumos kaupimo geba, – 2100 J/kgK, o, pvz., mineralinio pluošto gaminių šilumos kaupimo geba yra 1000 J/kgK. Šis dydžių skirtumas leidžia net didžiausio vasaros karščio metu pasiekti patalpose žmogaus buvimui tinkamą bei komfortinę temperatūrą.

Priešgaisrinė apsauga. Statyboje priešgaisrinė apsauga visada yra svarbiausias tikslinis veiksnys. Visos medienos pluošto izoliacinės medžiagos atitinka Europos klasifikaciją DIN EN 13501-1. Taip pat patenkinami ir atitinkamų galiojančių Statybinių taisyklių reikalavimai.

Apdorojimo paprastumas. Turėdama daugelį įvairių pranašumų, mediena yra natūrali statybinė medžiaga, kuri per amžius sėkmingai mus lydi konstruojant sienas, stogus ir perdangas. Medžio pluošto vata vertinama už išskirtines izoliacines savybes, naudojimo patogumą bei natūralų grožį. Šiuolaikinė statyba remiasi optimizuotomis laikančiosiomis konstrukcijomis ir sveikatai nekenksmingomis statybinėmis medžiagomis.

Pagrindinė žaliava, naudojama medienos plaušų plokštėms gaminti yra natūralus pluoštas, nedirginantis odos. Apdorojimo metu susidarančios dulkės nekenkia sveikatai. Apdorojimas nereikalauja ypatingų saugos priemonių, o dėl vienalytės visų izoliacinių medžiagų struktūros neprireikia ir specialių įrankių.

Ekologiškumas ir patvarumas. Ekologija – tai mokslas, tiriantis ryšius tarp žmonių gyvenimo veiklos ir aplinkos bei jų tarpusavio priklausomumą. Ekologišku laikome visa tai, kas duoda naudos mums, žmonėms ir kartu kuo mažiau veikia aplinką.

Medienos pluošto produkcija daugeliu atžvilgių yra ekologiška. Izoliacinės medžiagos padeda sutaupyti brangiai kainuojančią energiją, tuo pačiu mažindamos poveikį aplinkai, atsirandantį gaminant energiją. Be to, natūralūs produktai pranašesni ir tuo, kad juos gaminant naudojama žymiai mažiau energijos nei gaminant įprastas izoliacines medžiagas, todėl tokie gaminiai yra pranašesni poveikio aplinkos energetiniam balansui atžvilgiu.

Medienos plaušų izoliacijos ekologiškos savybės pasireiškia ir po montavimo. Iš natūralių plaušų pagamintos izoliacinės medžiagos yra difuziškai atviros, todėl gali kaupti santykinai didelį drėgmės kiekį ir vėliau reguliuoja oro drėgnumą pastatuose bei palaiko sveikatai palankų mikroklimatą.

Medienos plaušų izoliacijos ekologiškumo priežiūra nesibaigia jos pagaminimu ir panaudojimu, ji apima visą jos egzistavimo laikotarpį – iki patekimo į atliekas. Tuo metu kai daugelis mineralinio pluošto izoliacinių medžiagų pašalinama į atliekas pagal griežtas direktyvas,

reglamentuojančias pašalinimo į atliekas procesą bei susijusias su sveikatos apsauga, medienos pluoštų izoliacinės medžiagos nedideliais kiekiais gali būti nesunkiai perdirbamos komposto gamybai [22, 76].

2.4.3. Šilumos izoliacija iš celiuliozės

Pastaruoju metu ir Lietuvoje po truputį ėmė plisti gana naujas šiltinimo būdas – tai pastatų šiltinimas ekologiškomis medžiagomis. Celiuliozės pagrindu gaminama šilumos izoliacija tai natūrali bei ekologiška termoizoliacinė medžiaga. Ši šilumos izoliacija turi tarptautinį pripažinimą Europos Sąjungoje – tai patvirtina ir gautasis EOTA CE sertifikatas. Vokietijoje ši medžiaga vadinama „Izoflok“, Suomijoje – „Ekovila“, o Lietuvoje ši pastatų šiltinimo medžiaga jau trylika metų žinoma pavadinimu „Ekovata“ [71].

Šilumos izoliacija iš celiuliozės yra organinė termoizoliacinė medžiaga, kuri yra gaminama iš celiuliozės pluošto. Šis celiuliozės pluoštas yra prisotintas netoksinėmis mineralinėmis druskomis. Pati „ekovata“ yra pilka arba balta smulkiapluoštė vatos pavidalo medžiaga, susidedanti iš mechaniškai susmulkintos makulatūros boro rūgšties ir borakso mišinio. Ji priklauso sunkiai užsiliepsnojančių degių medžiagų grupei. Dėl „ekovatos“ sudėtyje esančių antipireninių priedų (boro junginių) „ekovata“ sunkiai užsiliepsnoja ir apsaugo nuo užsiliepsnojimo ja padengtas medines konstrukcijų detales. Taigi, namo šiltinimas ekovata taip pat užtikrina ir didesnį pastato saugumą.

Geras „ekovatos savybes“ lemia būtent tai, jog ji yra gaminama iš celiuliozės pluošto – taip ji įgauna medienai būdingas teigiamas savybes. Kitas faktorius – ekovatos struktūroje esantis nejudrus oras, kuris dažnai sudaro iki 85 % viso medžiagos tūrio. Smulkiapluoštė ekovatos struktūra lemia ir mažą oro pralaidumą. O pagrindinė ir svarbiausia šios termoizoliacinės medžiagos savybė yra mažas pralaidumas šilumai. Taip pat ši medžiaga puikiai izoliuoja garsą, todėl sumažina nepageidaujamus pašalinius iš aplinkos sklindančius garsus.

Pagrindinės šilumos izoliacijos savybės:

- Tai – ekologiška termoizoliacija;
- Skirtingai nuo mineralinių šilumos izoliacinių medžiagų priima ir atiduoda drėgmę. Tai apsaugo medines konstrukcijas nuo nepageidaujamos drėgmės;
- „Ekovata“ yra apdirbta boru, todėl jos nemėgsta graužikai ir ji yra nedegi;

Vienas pagrindinių privalumų, šiltinant pastatą „ekovata“, yra tai, jog nereikia gadinti sienų ar stogo apdailų – vata yra tiesiog įpučiama į vidų (2.13 pav.). Ji užpildo visas tuščias ertmes, net siauriausius plyšelius, todėl nelieka siūlių – tai leidžia pasiekti geresnę šilumos varžą. Taip mažinamos patalpų šildymo bei vėsinimo išlaidos. Kitas labai didelis privalumas yra gera garso izoliacija.

2.13 pav. Šilumos izoliacija iš celiuliozės [23]

Celiuliozės šilumos izoliacija skiriasi nuo akmens ar stiklo vatos tuo, jog šiltinant pastatus akmens ir stiklo vata, yra būtina dėti drėgmę izoliuojančias plėveles. Jeigu to nepadarome, tuomet žiemos metu šiluma kartu su garais skverbiasi į vidų, o susidūrusi su lauko šaltais paviršiais kondensuojasi ir taip termoizoliacinė medžiaga tampa ledo gabalu. Šiltinant pastatą celiuliozės šilumos izoliacija, tokių drėgmę izoliuojančių plėvelių dėti nereikia, kadangi ši vata, skirtingai nuo mineralinių akmens bei stiklo vatų nekaupia drėgmės. Taip nutinka dėl to, jog „ekovata“ turi organinį medžio-celiuliozės plaušą [71].

Dėl izoliacijoje esančios boro ir borakso druskos celiuliozės pluošto izoliacija priskiriama sunkiai degių medžiagų grupei (B1 klasė), todėl ji tiek medines, tiek metalines konstrukcijas saugo nuo tiesioginio ugnies poveikio ir aukštos temperatūros. Įkaitusios boro ir borakso druskos išskiria kristalizacinę drėgmę ir pristabdo deguonies patekimą į gaisro vietą, taip neleisdamos plisti ugniai ir vėsindamos izoliacijos sluoksnį. Dėl boro junginių celiuliozės pluošto vata nedega ir nesilydo. Yra apskaičiuota, kad tinkamai eksploatuojant pastatą vata išlieka funkcionali 50 metų [14].

2.4.4. Kanapių pluošto vata

Kanapės – daugiametis augalas, puikiai pasisavinantis saulės energiją ir sumažinantis anglies dioksido dujų išmetimą į atmosferą. Kanapės pluošto izoliacinės medžiagos apsaugo nuo karščio, šalčio ir triukšmo. Be to, jos leidžia taupyti energiją ir išlaidas už šildymą. Kadangi pagamintos iš natūralių medžiagų, jos yra ypač ekonomiškos.

Produktas tinkamas naudoti apšiltinant:

- Stogus;
- Perdangas;
- Sienas ir pertvaras.

Kanapės – vienos seniausių kultūrinių augalų pasaulyje. Iš jų gaminami drabužiai, aliejus, kuras, maistas, degalai ir kita. Per 100-120 dienų kanapės užauga iki 4 m aukščio. Augalai išdygsta ir užauga labai greitai, taip užkirsdami kelią piktžolių augimui. Todėl kanapių nereikia purkšti jokiais pesticidais. Be to, 1 kg kanapių augimo metu sugeria 4 kg anglies dioksido.

Sudėtis:

- 82-85 % kanapių pluoštas;
- 10-15 % poliesteris;
- 3-5 % soda, kuri apsaugo nuo ugnies.

Kanapių pluošto izoliacija yra natūralus produktas be papildomų kenksmingų medžiagų. Dėl kanapėse esančios natūralios karčiosios medžiagos jos negraužia jokie vabzdžiai ir kenkėjai. Iš kanapių ir šiandien dar gaminami laivų lynai, nes ši medžiaga yra atspari ir drėgmei.

Tiek gaminant, tiek montuojant kanapių pluošto šilumos izoliaciją nėra jokio kenksmingo poveikio žmogaus sveikatai. Montavimo metu neišsiskiria jokios kenksmingos medžiagos, nedirginama oda, taip pat nėra jokių dulkių. Medžiagų likučiai ar pasenusi vata taip pat neteršia aplinkos, nes ji yra perdirbama.

Privalumai:

- Jokio kenksmingo poveikio žmogaus sveikatai;
- Atspari ugniai;
- Negraužia kenkėjai;
- Nedirgina odos;
- Galimybė perdirbti;
- Augimo metu sugeria anglies dioksidą;
- Neišskiria jokių nuodingų garų.

Trūkumai:

- Sudėtingesni kompostavimas ir perdirbimas dėl vatoje esančio poliesterio;
- Nesunkiai gali užsiliepsnoti.

Be visų šių privalumų, kanapių pluošto vata pasižymi labai geromis techninėmis ir šilumą izoliuojančiomis savybėmis. Ekologiška vata gerai apsaugo šaltą žiemą nuo šalčio, o šiltą vasarą patalpos išlieka vėsios. Kanapių pluošto vata yra dukart sunkesnė nei kitos šilumą izoliuojančios medžiagos, pavyzdžiui, 1 m^3 kanapių pluošto vatos sveria 30 kg, o stiklo vata tik 12 kg. Tai lemia ir tai, kad didesnio tankio šilumos izoliacija pagerina ne tik šilumos izoliacines savybes, tačiau ir sugeria geriau garsą, nei kitos izoliacinės medžiagos [30].

Geros difuzinės vatos savybės reguliuoja natūralų patalpų drėgnumą, todėl patalpoje jaučiamas malonus ir sveikas mikroklimatas. Patalpose esanti drėgmė gali laisvai difunduoti. Perteklinę drėgmę sugeria pluoštai, ją sulaiko ir, priklausomai nuo patalpų mikroklimato, ji patenka

į patalpas arba pašalinama į lauką. Todėl kartų su kanapių pluošto izoliacija turi būti naudojama ir difuzinė plėvelė.

Pagrindinės savybės:

- Geros šilumą izoliuojančios savybės;
- Geros garso izoliacinės savybės;
- Užtikrinamas tiek šilumos išsaugojimas žiemą, o vasarą – apsauga nuo karščio;
- Geros drėgmę reguliuojančios savybės;
- Greitai ir lengvai montuojama bei apdorojama;
- Geros difuzinės savybės t.y. tiek drėgmės pasisavinimas, tiek jos atidavimas [49].

2.4.5. Avies vilnos šilumos izoliacija

Vilna - unikalus pačios gamtos sukurtas aukšto kokybės produktas. Nuo cheminės ir fizikinės sudėties priklauso vilnos unikalumas – vilnos plauko susisukimas į garbanėles, elastingumas ir unikali galimybė sugerti drėgmę (2.14 pav.).

Keletas faktų apie vilnos izoliaciją:

- Vilna apsaugo ir nuo šalčio, ir nuo karščio;
- Vilna kvėpuoja. Viršutinis vilnos sluoksnis (cuticula) susideda iš mažyčių mikroporų, kurios leidžia jai kvėpuoti;
- Vilna yra atspari ugniai [40].

2.14 pav. Vilnos pluošto šilumos izoliacija [13]

Jau tūkstančius metų žmogus žino avies vilnos naudą. Iš vilnos gaminami siūlai, audiniai, drabužiai, patalai, šilumos izoliacija ir kiti gaminiai. Populiariausia yra avių vilna. Ji nuolat auga, yra kerpama, perdirbama, nepadarant jokios žalos gyvūnui. Perdirbtas avies pluoštas yra labai ilgaamžis ir gali išsilaikyti šimtmečius. Nebenaudojama vilna lengvai kompostuojama ir taip patenka į natūraliai gamtai būdingą gyvavimo ciklą.

Gamta yra išskirtinė šios šilumos izoliacijos tiekėja. Vatą sudaro gryna avies vilna, boraksas (boro junginys, mineralas) ir natūralus kaučiukas.

Šilumos izoliacijos gamyba nėra sudėtinga. Pirmiausia vata yra nuriebalinama, mirkant ir valant ją sodos ir muilo tirpale. Toliau, naudojant specialią technologiją, ji apdorojama su boraksu ir kaučiuku. Išdžiovinus vilna, iš jo pašalinamos likusios nereikalingos liekanos ir toliau ji veliama į austinį. Iš austinio suformuojamas šilumos izoliacijos rulonas, kuris yra supakuojamas ir paruoštas montavimui.

Vilnos vatos geros šilumos izoliacinės savybės išlieka net ir tada, kai ji sudrėgsta. Vata greitai sugeria drėgmė, bet taip pat greitai ją išgarina. Vykstant šiam procesui slopinama aukšta temperatūra vasarą, o žiemą šiluma saugoma. Vata labai gerai išlaiko savo pradinę formą. Tai lemia vilnos plaukelių struktūra, tad suspaudus vilnos vatą, jį po kiek laiko grįžta į pradinę formą.

Vilna pasižymi nedegiomis savybėmis. Taip yra dėl cheminės vilnos plaušelių sudėties, taip pat dėl gebėjimo iš aplinkos iki 30% savo svorio sugerti vandens. Vilnos vata užsidega tik pasiekusi 600 °C temperatūrą. Pagal ugnies atsparumo Europos standartus EN 13501-1 ši medžiaga priskiriama E klasei.

Didžiausias pavojus vilnai yra vabzdžiai ir kenkėjai, tačiau šilumos izoliacija gamybos metu yra specialiai apdirbama, todėl šis pavojus yra visiškai panaikintas. Šilumos izoliacijos gamybos metu nedaroma jokio žala nei gamtai, nei žmogui. Visos naudojamos medžiagos yra tik natūralios kilmės. Vokietijoje atlikus testą „Ekotest“ (Öko-Test) nustatytą, kad ši medžiaga gamybos metu suvartoja labai nedaug energijos, todėl užima pirmąją vietą tarp šilumos izoliacijų.

Svarbi savybė, į kurią vartotojai dažnai nekreipia dėmesio yra ta, kad ši medžiaga ne tik puikiai izoliuoja šilumą, bet ir garsą. Dėl šios savybės vilnos šilumos izoliacija naudojama ir kaip paklotas po grindimis [13].

2.4.6. Linų pluošto izoliacija

Jau keletą metų Vokietijoje linų pluoštas naudojamas ne tik tekstilės gaminiams, bet ir šilumą izoliuojančioms plokštėms gaminti. Gamybos metu pluoštai tarpusavyje jungiami panaudojant krakmolą, o apsaugai nuo ugnies dedama natūrali boro druska. Dėl savybės reguliuoti drėgnumą patalpose natūralaus lino šilumos izoliacija sukuria malonią gyventi aplinką (2.15 pav.).

Panaudojimo sritys:

- Šilumos izoliacija tarp gegnių;
- Izoliacija karkasinėse konstrukcijose;
- Grindų, lubų šilumos izoliacija;
- Šilumos izoliacija pertvarose.

Pagrindinės savybės:

- Gerai izoliuoja. Vatos plokštės saugo žiemą nuo šalčio, o vasarą nuo karščio. Šilumos laidumo koeficientas yra 0,038 W/mK;

- Elastingumas. Linų pluošto vata yra elastinga, todėl lengvai gali būti montuojama tarp gegnių ar tvirtinama smeigėmis. Vatos storis nuo 40-200 mm, gali būti gaminama ir ritiniais;
- Montavimas. Vata nedirgina odos, lengvai pjaustoma ir montuojama;
- Garso izoliacija. Linų pluošto vata pertvarinėse konstrukcijose gerai izoliuoja garsą;
- Ekologiškumas. Firmos „Flachshaus“ linų vatos plokštėms oficialiai suteiktas Vokietijoje pripažintas ekologinis „Ekotest“ (Öko-Test) ženklas [12].

2.15 pav. Linų pluošto šilumos izoliacija [12]

Privalumai:

- Vienkartinis ir organiškai skaidomas visiškai sveikatai nekenkiantis pluoštas;
- Nekenksminga aplinkai:
  - ✓ Neteršia oro ir vandens;
  - ✓ Neskleidžia į aplinką kenksmingų chemikalų (pvz. formaldehidų, izocianidų ir kt.).
- Ritinio forma sumažina siūlių skaičių (išvengiama šalčio tiltų) ir pagreitina įrengimo procesą;
- Įrengiant nereikia vilkėti nepatogių apsauginių priemonių, nes medžiaga nesukelia jokių akių, odos ar plaučių dirginimų;
- Įrenginėjimo metu nereikalinga speciali patalpų ventiliacija;
- Taupo energiją;
- Linų pasėliai yra neišsenkantys ištekliai, ne tik nedarantys įtakos globaliniam atšilimui, bet ir augimo metu kenksmingas CO_2 dujas paverčiantys deguonimi [72].

Trūkumai:

- Brangi;
- Mažai paplitusi rinkoje.

2.5. Šildymo sistemų analizė

Šiuo metų sparčiai daugėja tiek „ekologiškų namų“, tiek besidominčių ekologiškomis medžiagomis. Individualių namų rinka užtvindyta pasiūlymų, klientams yra daug galimybių rinktis ir čia vienu svarbiausių veiksnių tampa gyvenimo kokybė. Nusprendus statyti ekologišką namą, vienas svarbiausių namo funkcionavimo elementų – šildymas ir karšto vandens aprūpinimas.

Žemiau išvardintos šildymo sistemos, kurios yra nekenksmingos aplinkai arba naudoja atsinaujinančią energija:

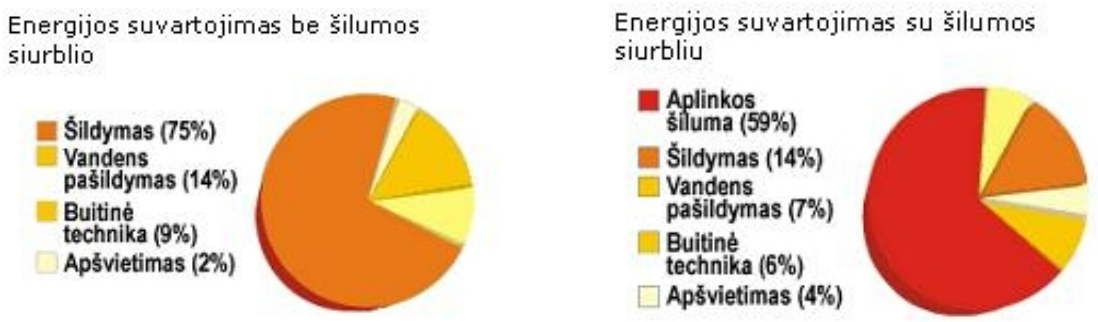
- Geoterminis šildymas;
- Infraraudonųjų spindulių plokštės;
- Joninė šildymo sistema;
- Biokuro katilas.

2.5.1. Geoterminis šildymas

Statant namą ar modernizuojant šildymo sistemą visada reiktų pagalvoti apie tai, kad ir mūsų vaikams bei anūkams išliktų aplinka, atitinkanti gerą, sveiką gyvenseną. Todėl labai svarbu yra CO_2 ir „šiltnamio“ efekto mažinimas.

Saulės ir žemės gelmių energija sukaupiama mus supančioje aplinkoje dideliais kiekiais – ore, vandenyje ir grunte. Naudojant šilumos siurblius galima išgauti tą sukauptą energiją ir panaudoti ją patalpų šildymui bei karštam vandeniui ruošti.

Naudojant šilumos siurblį gaunama iki 80% energijos nemokamai, kiti 20% yra reikalingi siurblio funkcionavimui užtikrinti (2.16 pav.). Šilumos siurblio pilnai pakanka tiek šildymui, tiek karštam vandeniui paruošti, jokių papildomų šilumos įrengimų nereikia. O ir išlaidos lyginant su kitais šildymo įrengimais kur kas mažesnės, be to yra kiti svarbūs privalumai – nereikia sandėliavimo patalpų, nėra jokio kvapo, CO_2 išsiskyrimo, gaisro, sprogimo pavojaus, sistemos valdymas paprastas, bet tuo pačiu efektyvus, nereikalaujantis pastovaus įsikišimo. Dabartinės technologijos leidžia naudoti geoterminį šildymą ir didelius plotus turintiems pastatams [20].



2.16 pav. Energijos suvartojimo palyginimas [20]

Saulės spinduliams pasiekus žemę, šiluma yra akumuliuojama paviršiniame žemės sluoksnyje. Todėl tokią energiją šildymui praktiška naudoti namuose, prie kurių yra dideli žemės sklypai. Kuo vandeningesnis yra gruntas, tuo išgaunamos energijos kiekis bus didesnis. Šiluma paimama iš žemės per požeminį plastiko vamzdyną. Vamzdynu cirkuliuoja aplinkai nepavojingas neužšąlantis skystis, kuris perduoda surinktą šilumą į šilumos siurblį. Šilumos siurblys šią šilumą paverčia aukštų parametrų šiluma, kuri naudojama šildymui bei karšto vandens ruošimui [17].

Žemės gruntas visų metų laiku (išskyrus patį paviršinį sluoksnį) išlaiko daugmaž vienodą temperatūrą, kurią panaudojant šilumos siurblius galima pakelti iki reikiamo lygio. Žemės šiluma išgaunama dviem būdais:

1. Šalia statomo namo 1,5 m gylyje įrengiamas horizontalus kolektorius. Jame cirkuliuojantis specialus skystis apsorbuoja žemėje esančią šilumą, kurios temperatūrą šilumos siurblys pakelia ir perduoda šildymo sistemai. Atidavęs šilumą skystis grąžinamas į kolektorių, kur ciklas pradedamas iš naujo.

2. Šalia namo išgręžiamas vertikalus zondas (arba keli, priklausomai nuo namo ploto) - nuo 30 iki 100 metrų gylio. Funkcionavimo principas toks pat kaip ir horizontalaus kolektoriaus. Kokį būdą pasirinkti apsprendžia turimas prie namo žemės plotas ir jame esantys (planuojami) statiniai.

Privalumai:

- Ekologiškas būdas apsišildyti namus. Deginant dujas ar kietąjį kurą į aplinką išsiskiria CO_2 dujos. Įsirengus geoterminį šildymą 1 kilovatas elektros pagamina maždaug 5 kilovatus šilumos. CO_2 išmetimų skaičius gerokai sumažėja;
- Geoterminio šildymo sistema yra ilgaamžė t.y. teisingai eksploatuojant ji tarnaus 20 ir daugiau metų.

Trūkumai:

- Didelė tokio šildymo sistemos kaina.

Galimi pavojai:

- Netinkamai parinkta sistema šildymo išlaidas gali padidinti dvigubai ar net trigubai. Kai kurioms diegiančioms kompanijoms trūksta kompetencijos. Reikalingas tiek geologo, tiek inžinieriaus darbas. O kompanijos neretai turi vieną iš šių specialistų. Nėra šios veiklos sertifikavimo sistemos [2].

Geoterminis šildymas – tai sistema, kur kiekviena sistemos dalis turi būti apskaičiuota, suprojektuota atsižvelgiant į konkretų atvejį ir išpildyta siekiant optimizuoti sistemos darbą. Šilumos siurblys vasaros metu gali dirbti ir kaip šaldymo įrenginys. Šilumos siurblys žymiai efektyviau dirba su grindinio šildymo sistema. Esant tokiai sistemai patalpose nesimato jokių vamzdžių ar kitų įrenginių, šiluma pasiskirsto tolygiai po visą patalpą, be to užtikrina geresnį pojūtį – kojoms šilta, galvai vėsiau [20].

2.5.2. Infraraudonųjų spindulių plokštės

Infraraudonasis spinduliavimas yra natūralus ir svarbus šilumos perdavimo būdas. Tai efektyvi šiuolaikinė technologija gyvenamųjų ir negyvenamųjų patalpų šildymui, nenaudojant katilų, radiatorių ir vamzdžių.

Šiluma perduodama trimis būdais:

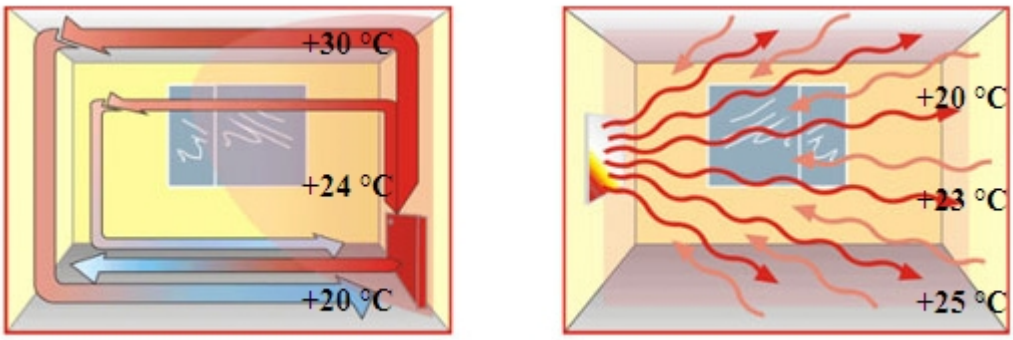
1. Laidumu arba kitaip vadinama kondukcija (šilumos perdavimas kūno viduje arba tarp dviejų besiliečiančių kūnų);
2. Konvekcija (šilumos perdavimas tarp kieto kūno paviršiaus ir skysčio arba dujų);
3. Spinduliavimu (infraraudonaisiais spinduliais).

Patalpų šildymui labiausiai paplitęs ir geriausiai žinomas konvekcinis šildymas. Šiuo metu vis plačiau yra taikomas spindulinis šilumos perdavimo būdas. Esminiai skirtumai tarp konvekcinio ir spindulinio šildymo pateikti 2.1 lentelėje [69].

2.1 lentelė. Konvekcinio ir spindulinio šildymo palyginimas [69]

	Konvekcinis šildymas	**Spindulinis šildymas**
Šildoma	Patalpos oras, nuo kurio įšyla patalpos kūnai	Patalpos kūnai, nuo kurių įšyla patalpos kūnai
Patalpos oras	Sausėja	Nesausėja
Žmogaus juntama šiluma	2-3° C žemesnė už patalpos oro temperatūrą	3-4° C aukštesnė už patalpos oro temperatūrą
Šilumos pajutimas įjungus šildymą	Pradedama jausti tik kai įšyla šildymo sistema ir patalpos oras	Pradedama jausti praėjus keletui minučių po įjungimo
Dalies patalpos šildymas (dalis ploto, dalis patalpos aukščio)	Negalimas	Galimas
Skirtingų temperatūrų palaikymas vienoje patalpoje (temperatūrinis zonavimas)	Negalimas	Galimas
Šilumos nuostoliai vėdinant patalpas	Dideli, nes šiluma pašalinama kartu su oru	Maži, nes šiluma lieka įšilusiuose kūnuose
Vertikali temperatūros gradientė (temperatūros pasiskirstymas vertikaliai)	1,2 - 2,5 °C/m	0,2 - 0,4 °C/m
Oro ir dulkių judėjimas	Sukelia	Nesukelia
Patalpos drėgmė	Kaupiasi sienose, grindyse ir kt. konstrukcijose, apdailos medžiagose, nes jos šaltesnės už patalpos orą	Šalinama iš sienų, grindų ir kt. konstrukcijų, apdailos medžiagų nes jos šiltesnės už patalpos orą
Galimybė šildyti atvirą erdvę (pvz. terasą, balkoną)	Negalima	Galima

Konvekcija ir spinduliavimas paprastai naudojami šildant patalpą. Šildant konvekcija, pradžioje sušildomas šilumos nešėjas (tarpininkas) skystis ar dujos (oras). Šildant infraraudonaisiais spinduliais, tarpininkas nebereikalingas – šiluma atiduodama tiesiogiai kūnams, kurie vėliau atiduoda šilumą aplinkai (2.17 pav.).



2.17 pav. Radiatorinės ir infraraudonųjų spindulių šildymo sistemų palyginimas [33]

Infraraudonieji spinduliai sušildo žmogaus odą, ir šiluma tiesiai per kraują pasklinda po kūną. Tai leidžia pajusti šilumą, net esant pakankamai žemai aplinkos temperatūrai. Pavyzdžiui, žiemą esant vėsiam orui, išėjus į saulės spindulius kūnas pajunta malonią šilumą. Šildant infraraudonaisiais spinduliais, temperatūra patalpoje bus, pavyzdžiui, 20 °C, o ji bus juntama, tarsi būtų 23-24 °C. Gaunamas žymus energijos taupymas [69].

Infraraudonųjų spindulių plokštės pasižymi trimis pagrindiniais pranašumais, kurie lemia šios šildymo sistemos sėkmę lyginant su įprastomis konvekcinėmis sistemomis:

1. *Ekonomiškumas.* Šildymo sistema nereikalauja jokios priežiūros. Kadangi nereikalinga katilinė, katilas, kaminas, ortakiai ar vamzdžiai ir jų priežiūra – sutaupoma daug pinigų ir laiko. Taip pat spindulinio šildymo dėka ženkliai sumažinami šilumos nuostoliai, o tuo pačiu ir išlaidos. Šildymo plokštės suteikia greitą ir efektyvią šilumą taip leisdamos sutaupyti net iki 50% šilumos energijos.
2. *Ekologiškumas.* Infraraudonųjų spindulių šildymo plokštės šildo paviršius, bet ne orą. Todėl sienos išlieka sausos ir priešingai nei šildant konvekciniu būdu, patalpose nesiformuoja pelėsis. Sausos ir šiltos sienos leidžia jaustis jaukiai prie žemesnės patalpos temperatūros.
3. *Novatoriškumas.* Tik 2,5 cm storio plokštė sutaupo daug vietos namuose ar biure. Plokštės naudojimui tereikia elektros lizdo. Nereikalingi vamzdynai, katilinės ar kuro saugojimo patalpos. Plokštės gali būti naudojamos kaip pagrindinė ar papildoma šildymo sistema bute, name, sodyboje, biure ir pan.

Trūkumai:

- šildytuvas greitai atšąla;
- galima lengvai sudaužyti infraraudonuosius spindulius skleidžiančią prietaiso lempą arba nusideginti [32].

2.5.3. Elektroninė - joninė šildymo sistema

Vienas iš prioritetų energijos sričiai Lietuvoje vystyti yra elektros energijos taupymas. Nesant galimybės panaudoti kitas energijos rūšis kartais lieka vienintelis – naudoti elektros

energiją. Panaudojus tam joninius šildytuvus galime sutaupyti iki 30% elektros energijos naudojamos įprastiniais šildytuvais.

Judant elektronams nuo vieno elektrodo prie kito, aplinkos terpė jonizuojama, šio proceso metu išsiskiria šiluma. Taigi toks šilumos gavimo būdas vadinamas – „joniniu“ arba „elektroniniu“.

Pagal kaštus vienam kvadratiniam metrui gyvenamo ploto išlaikyti joninis šildymas užimtų vietą po dujinio šildymo gamtinėmis dujomis. Taigi ten kur gamtinių dujų nėra tikslinga taikyti šį šildymosi būdą [21]. Tradicinės ir joninės sistemų šildymo kainų palyginimas pateiktas A priede.

Katilas veikia jonizacijos principu, naudojant specialų, nenuodingą, neužšąlantį skystį. Sąveikaujant elektrai ir šiam skysčiui, vyksta jonizacijos procesas, kurio metu išsiskiria 2–4 kartus daugiau šilumos, negu naudojant įprastas tradicines technologijas. Sistemoje įmontuota valdymo sistema, kuri automatiškai palaiko temperatūrą visą parą, pagal išankstinį nustatymą. Galimas katilinės valdymas mobiliuoju telefonu (tai ypač patogu, kai šeimininkai yra išvykę, užmiesčio sodyboms. Mobiliuoju telefonu iš anksto yra galimybė įjungti katilinę. Todėl šeimininkai po kelių valandų, atvykę į savo namus ar sodybą, randa jau šiltas patalpas [70]. Sistemos privalumai:

- Palyginti nedidelė įrenginio kaina su minimaliomis eksploatacinėmis išlaidomis;
- Užima labai mažiai vietos lyginant su kitomis esamomis sistemomis (pvz., namui iki 600 kv. m užima apie 1x1x0,2 m);
- Nereikalingas dūmtraukis;
- Saugi gaisro atveju sistema palyginus su suskystintomis dujomis ar skystu kuru;
- Nedaro poveikio gruntui ar giluminiams vandenims lyginant su geotermine sistema;
- Kadangi montuojant naujas sistemas naudojamas neužšąlantis šilumnešis visoje sistemoje, maža tikimybė sugadinti sistemą dėl užšalimo;
- Nereikia ypatingos priežiūros;
- Nereikia projektų;
- Nereikia priduoti katilinės atitinkamoms institucijoms;
- Katilinė įrengiama per 1 dieną [21, 70].

Sistemos trūkumai:

- Įjungus elektros srovę reikia laiko spiralei, izoliaciniam ir apsauginiam paviršiams įkaitinti;
- Santykinai mažas paviršiaus plotas nepakankamai greitai perduoda šilumą šilumnešiui;
- Pasiekus temperatūrą 90-95 ^{o}C dėl CO_2 burbuliukų atsiradimo ant šildomo elemento paviršiaus šilumos atidavimas dar labiau pablogėja;
- Šildomo elemento paviršius eksploatacinio periodo metu pasidengia kalkių ir metalų oksido sluoksniu taip pat mažinančiu šilumos atidavimą [39].

3. EKOLOGIŠKO BŪSTO KONSTRUKCIJŲ DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ IR PRAKTINIS MODELIO REALIZAVIMAS

3.1. Daugiakriterės analizės pradiniai duomenys

Vienas svarbiausių ekologiško būsto proceso daugiakriterės analizės etapų – alternatyvas apibūdinančių kriterijų reikšmių ir reikšmingumų nustatymas. Apskaičiavus kriterijų reikšmingumus ir taikant projektų daugiakriterės analizės metodus, nesunku nustatyti lyginamųjų variantų prioritetiškumą.

Kiekybinių ir kokybinių kriterijų reikšmingumai nustatomi visam ekologiško būsto projektui. Naudojantis rekomendacijomis, kainynais, internetinėmis duomenų bazėmis, straipsniais, nagrinėjamais projektais ir kitais informacijos šaltiniais parenkamos kiekybinių kriterijų reikšmės. Kriterijų reikšmingumai dažniausiai apskaičiuojami remiantis ekspertiniais metodais [55].

Lyginamų alternatyvų analizės rezultatai pateikiami sprendimų priėmimo matricos pavidalu, kur stulpeliai išreiškia nagrinėjamus *n* alternatyvius ekologiško būsto konstrukcijų variantus, o eilutėse pateikiama kiekybinė ir koncepcinė informacija, išsamiai apibūdinanti nagrinėjamas alternatyvas. Ekologiško būsto alternatyvas aprašant kiekybine ir koncepcine formomis, pateikiama įvairius aspektus (ekonominius, techninius, technologinius, kokybinius) apibūdinanti informacija. Kiekybinė informacija apima kiekybinių kriterijų reikšmes ir pradinius reikšmingumus. Aprašant ekologišką būstą koncepcine forma, koncepcinė informacija apie ekologiško būsto konstrukcijų alternatyvas ir jas išsamiai apibūdinančius kriterijus pateikiama nuotraukomis, paveikslais ir tekstu (jų aprašymas, priežastys ir pagrindimas, kuriais remiantis buvo nustatyti kriterijų sistema, reikšmės ir reikšmingumai, taip pat pateikiama informacija apie variantinio projektavimo galimybes). Koncepcinė informacija reikalinga norint išsamiau ir tiksliau įvertinti nagrinėjamas alternatyvas. Naudojant koncepcinę informaciją galima tiksliau sudaryti kriterijų sistemą ir posistemius, nustatyti kriterijų reikšmes ir reikšmingumus.

Sprendimų priėmimų matricoje kriterijai grupuojami į dvi grupes: kiekybinius ir kokybinius. Tokiu atveju lengviau atlikti variantų daugiakriterę analizę, taip pat geriau matoma fizinė skaičiavimų prasmė. Ekologiško būsto racionalaus varianto daugiakriterės analizės metu dažniausia operuojama didelės apimties informacija, todėl ją racionalu apdoroti matriciniu būdu. Šiuo atveju nagrinėjamos alternatyvos, jas apibūdinanti kiekybinė ir koncepcinė informacija grupuojamos tam tikra tvarka, t. y. paruošiama ekologiško būsto konstrukcijų daugiakriterės analizės sugrupuota sprendimų priėmimų matrica [41].

Norint išrinkti efektyviausią ekologiško būsto konstrukcijų alternatyvą, reikia, sudarius sugrupuotą sprendimų priėmimo matricą (3.1 lentelė), atlikti daugiakriterę alternatyvų analizę.

Efektyviausia ekologiško būsto konstrukcijų alternatyva išrenkama lyginant nagrinėjamų variantų kriterijų reikšmes ir reikšmingumus, analizuojant koncepcinę informaciją. Nagrinėjamas ekologiško būsto konstrukcijas galima apibūdinti tik remiantis daugelį skirtingą prasmę ir dimensijas turinčių kriterijų sistema.

3.1 lentelė. Ekologiško būsto konstrukcijų daugiakriterės analizės sprendimų priėmimų matrica [67]

Kiekybinė informacija, apibūdinanti ekologiško būsto konstrukcijų alternatyvas									
Nagrinėjami kriterijai	*	Reikš-mingu-mas	Matavimo vienetai	Nagrinėjamos ekologiško būsto konstrukcijų alternatyvos					
				1	2	...	j	...	n
Kiekybiniai kriterijai	$\check{z}_1$	q_1	m_1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1j}	…	x_{1n}
	$\check{z}_2$	q_2	m_2	x_{21}	x_{22}	…	x_{2j}	…	x_{2n}
	...	...	...	...	...	…	...	…	...
	$\check{z}_i$	q_i	m_i	x_{i1}	x_{i2}	…	x_{ij}	…	x_{in}
	$\check{z}_t$	q_t	m_t	x_{t1}	x_{t2}	…	x_{tj}	…	x_{tn}
Kokybiniai kriterijai	$\check{z}_{t+1}$	q_{t+1}	m_{t+1}	x_{t+11}	x_{t+12}	…	x_{t+1j}	…	x_{t+1n}
	$\check{z}_{t+2}$	q_{t+2}	m_{t+2}	x_{t+21}	x_{t+22}	…	x_{t+2j}	…	x_{t+2n}
	...	...	...	...	...	…	...	…	...
	$\check{z}_i$	q_i	m_i	x_{i1}	x_{i2}	…	x_{ij}	…	x_{in}
	$\check{z}_m$	q_m	m_m	x_{m1}	x_{m2}	…	x_{mj}	…	x_{mn}
				K_1	K_2	…	K_j	…	K_n

** Ženklas + (-) parodo, kad atitinkamai didesnė (mažesnė) kriterijaus reikšmė labiau atitinka užsakovo reikalavimus*

3.2. Ekologiško namo konstrukcijų variantinio projektavimo ir daugiakriterės analizės metodas

Nagrinėjamų ekologiško būsto konstrukcijų sudėtinių dalių alternatyvų prioritetiškumas, reikšmingumas ir naudingumo laipsnis skaičiuojami šešiais etapais. Šiuo metodu nagrinėjamų variantų prioritetiškumas ir reikšmingumas tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo alternatyvas adekvačiai apibūdinančių kriterijų sistemos, kriterijų reikšmių ir reikšmingumų dydžių. Kriterijų sistemą nustato, o kriterijų reikšmes ir pradinius reikšmingumus pateikia autorius. Visą šią informaciją gali pakoreguoti suinteresuotos grupės (užsakovas, vartotojai ir pan.), atsižvelgdamos į savo siekiamus tikslus ir galimybes. Todėl alternatyvų įvertinimo rezultatai atspindi autoriaus ir suinteresuotų grupių bendrai pateiktus pradinius duomenis. Viso pastato variantinis projektavimas ir jo daugiakriterė analizė atliekama tolesniais šešiais etapais [29].

Nagrinėjant ekologiškų namų konstrukcijas yra racionalu išnagrinėti visus galimus derinius. Kad sudarytumėme galimus derinius, reikia išanalizuoti atskirų ekologiškų namų konstrukcijų bei sistemų efektyvumą. Šių atskirų pastato konstrukcijų elementų efektyvumas nustatomas per pirmus penkis etapus.

1 etapas. Sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų priėmimo matrica D (3.2 lentelė). Šio etapo tikslas – iš lyginamų rodiklių gauti bedimensius (normalizuotus) įvertintus dydžius. Žinant bedimensius įvertintus dydžius, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų rodiklius.

2 etapas. Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių (jų mažesnė reikšmė yra geresnė (medžiagų kaina, ekologiškumas ir kt.)) S_{-j} ir maksimizuojančių (jų didesnė reikšmė yra geresnė (šilumos varža, darbų atlikimo sezoniškumas ir kt.)) S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos.

3 etapas. Lyginamų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+j} ir neigiamomis S_{-j} savybėmis.

4 etapas. Nustatomas alternatyvų prioritetiškumas. Juo didesnis Q_j, tuo varianto efektyvumas (prioritetiškumas) yra didesnis.

Išanalizavus pateiktą metodą galima padaryti išvadą, kad juo remiantis gana paprasta įvertinti, po to ir išrinkti racionaliausias ekologiško namo konstrukcijų alternatyvas, aiškiai matant šio proceso naudą.

Santykinis alternatyvos reikšmingumas Q_j rodo suinteresuotų grupių tikslų ir poreikių pasiekimo projekte lygį. Efektyviausio varianto reikšmingumas Q_{max} visada bus didžiausias. Visų kitų likusių variantų reikšmingumai yra mažesni už racionaliausią, t. y. visų suinteresuotų grupių tikslai ir poreikiai tenkinami blogiau negu geriausiame projekte.

3.2 lentelė. Namo ekologiškų konstrukcijų alternatyvų daugiakriterės analizės rezultatai [67]

Kiekybinė informacija apibūdinanti alternatyvas									
Nagrinėjami kriterijai	*	Reikš–mingu -mas	Matavi-mo vienetai	Nagrinėjami pastato renovacijos variantai					
				1	2	…	j	…	n
x_1	$ž_1$	q_1	m_1	d_{11}	d_{12}	…	d_{1j}	…	d_{1n}
x_2	$ž_2$	q_2	m_2	d_{21}	d_{22}	…	d_{2j}	…	d_{2n}
x_3	$ž_3$	q_3	m_3	d_{31}	d_{32}	…	d_{3j}	…	d_{3n}
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
x_i	$ž_i$	q_i	m_i	d_{i1}	d_{i2}	…	d_{ij}	…	d_{in}
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
x_m	$ž_m$	x_m	x_m	d_{m1}	d_{m2}	…	d_{mj}	…	d_{mn}
Maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma (konstrukcijų „pliusų“)				S_{+1}	S_{+2}	…	S_{+j}	…	S_{+n}
Minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma (konstrukcijų „minusų“)				S_{-1}	S_{-2}	…	S_{-j}	…	S_{-n}
Alternatyvos reikšmingumas				Q_1	Q_2	…	Q_j	…	Q_n
Alternatyvos prioritetiškumas				P_1	P_2	…	P_j	…	P_n
Alternatyvos naudingumo laipsnis				N_1	N_2	…	N_j	…	N_n

** Ženklas + (-) parodo, kad atitinkamai didesnė (mažesnė) kriterijaus reikšmė labiau atitinka užsakovo reikalavimus*

Tačiau praktiškai suinteresuotas grupes labiau domina ne nagrinėjamų projektų santykinis reikšmingumas ir prioritetiškumas, bet tai, koks yra projektų naudingumo laipsnis ir kokia iš to išeinanti jų vertė. Kitaip sakant, suinteresuotas grupes labiausiai domina projektas, kuris geriausiai patenkins jų poreikius ir tikslus, mažiausiai kainuos ir mažiausiai pažeis kitų suinteresuotų grupių poreikius ir tikslus. Šio įvertinimo rezultatams išreikšti vartojamos projekto naudingumo laipsnio sąvoka.

Siekiant tiksliau įvertinti analizuojamų ekologiškų namų konstrukcijų variantų gerąsias ir blogąsias savybes, reikia jas palyginti su suinteresuotų grupių poreikiais bei tikslais ir visa tai suderinti su kaina, būtina nustatyti alternatyvų naudingumo laipsnį.

Konstrukcijų alternatyvų naudingumo laipsnis tiesiogiai priklauso nuo alternatyvas apibūdinančios kiekybinės ir koncepcinės informacijos. Jei pagal vieną konstrukcinį variantą gauti geriausi ekologiškumo, ilgaamžiškumo, kainos rodikliai, o pagal kitą – eksploataciniai, ir atlikus konstrukcijų daugiakriterį įvertinimą gautas vienodas jų reikšmingumas, tai ir nagrinėjamų alternatyvų naudingumo laipsniai yra vienodi. Didėjant (mažėjant) nagrinėjamos konstrukcijos elemento reikšmingumui, didėja (mažėja) ir jo naudingumo laipsnis. Nustatant konstrukcijų naudingumo laipsnį, geriausia juos lyginti su racionaliausiu variantu. Tokiu atveju visi gauti alternatyvų naudingumo laipsniai bus nuo 0 (blogiausias variantas) iki 100% (geriausias variantas). Taip bus lengviau vizualiai įvertinti konstrukcijų efektyvumą.

5 etapas. Nustatomas renovacijos varianto a_j naudingumo laipsnis N_j.

6 etapas. Visų ekologiško namo konstrukcijų elementų reikšmingumo, naudingumo laipsnio ir prioritetiškumo nustatymas. Toliau kartojami pirmi penki etapai tol, kol nustatomi visų ekologiško namo konstrukcijų elementų reikšmingumai, naudingumo laipsnis ir prioritetiškumas.

Atlikdami ekologiško namo konstrukcijų alternatyvų variantinį projektavimą ir daugiakriterę analizę, susiduriame su gausybe informacijos, kurią reikia kompleksiškai įvertinti. Galimų alternatyvų skaičius gali siekti dešimtis tūkstančių [29]. Kiekviena alternatyva apibūdinama kiekybine ir koncepcine informacija. Alternatyvų daugiakriterį variantinį projektavimą atlieka kompiuterinė sistema.

3.3. Ekologiško namo konstrukcijų alternatyvos ir jų kriterijai

Pagrindiniai ekologiško namo konstrukcijų kriterijai parenkami atsižvelgiant į kiekvieną alternatyvą. Darbe nagrinėjamos namo sienų, stogo, šilumos izoliacijos ir šildymo sistemos alternatyvos. Visos alternatyvos apibūdinamos kiekybiniais ir kokybiniais kriterijais.

Pagrindiniai kriterijai, apibūdinantys nagrinėjamas alternatyvas, yra kaina ir ekologiškumas. Kainos kriterijus parenkamas atsižvelgiant į šiuo metu rinkoje vyraujančias nagrinėjamų medžiagų

vidutines kainas. Ekologiškumas yra subjektyvus dydis, todėl nustatant šio kriterijaus reikšmes yra atsižvelgiama į aplinką tausojančios statybos ypatumus:

Aplinką tausojančios statybos ypatumai:

- naudojamos operacijos ir medžiagos, duodančios mažai atliekų, ypač neperdirbamų;
- naudojamos medžiagas, kurių gamyba reikalauja mažai išteklių;
- naudoja atsinaujinančius energijos išteklius (saulės, vėjo energiją ar kt.);
- į patalpas ir aplinką iš konstrukcijų neišsiskiria kenksmingos medžiagos;
- statiniai harmoningai susilieja su aplinka;
- eksploatacija reikalauja mažai energijos;
- eksploatavimo atliekos neteršia aplinkos [15].

Įvertinus visus šiuos ypatumus, nustatomas ekologiškumo kriterijus, kuris įvertinamas balais nuo 1 iki 5. Kuo aukštesnis balas, tuo žemesnis ekologiškumo laipsnis. Visos alternatyvos išvardintos ir detaliau aprašytos 2 skyriuje.

3.3 lentelėje pateikiamos sienų alternatyvos ir jas apibūdinantys kriterijai. Nagrinėjamos šie sienų iš ekologiškų medžiagų variantai:

- rastų sienos;
- karkasinės sienos;
- skydinės sienos;
- šiaudų sienos;
- sienos iš molio ir šiaudų mišinio;
- sienos iš medžio cementinių blokų.

3.3 lentelė. Ekologiško namo sienų alternatyvas apibūdinantys rodikliai [67]

Nr.	Sienų kriterijai	*	Mato vnt.	Reikš-min-gumas	Sienų alternatyvos					
					Rąstų	Karka-sinės	Skydi-nės	Šiau-dų	Molio	Medžio cementi-niai blokai
1	Ekologiškumas	-	Balai	0,20	2	3	4	1	1	5
2	Kaina	-	Lt/m^2	0,20	420	210	310	100	120	165
3	Sienos storis	-	mm	0,05	240	250	290	500	550	420
4	Šilumos varža	+	m^2·K/W	0,14	5,1	6,75	5,37	8,5	3,5	5,21
5	Darbų atlikimo sezoniškumas	+	Balai	0,05	4	4	4	2	3	3
6	Papildomi apdailos darbai	+	Balai	0,09	3	2	2	2	1	1
7	Ilgaamžiškumas	+	Metai	0,09	70	50	50	70	80	80
8	Statybos trukmė (150 m^2)	-	d.d.	0,10	60	75	18	90	150	100
9	Rekonstrukcijos galimybės	+	Balai	0,08	1	2	2	1	1	2

Analizei pasirinkti šie kiekybiniai ir kokybiniai kriterijai: *kaina*, *ekologiškumas* (balai nuo 1-5), *sienos storis*, *šilumos varža*, *darbų atlikimo sezoniškumas* (balai nuo 1 iki 4 t.y. atitinkamai darbų atlikimo sezonų skaičius per metus), ar reikalingi *papildomi apdailos darbai* (1-reikalingi, 2-nedideli, 3-nereikalingi), *konstrukcijų ilgaamžiškumas*, *statybos trukmė* ir *rekonstrukcijos galimybės balais* (1-sudėtinga atlikti, 2-nesudėtinga).

Dalis kriterijų yra maksimizuojamieji (šilumos varža, darbų atlikimo sezoniškumas, ar reikalingi papildomi apdailos darbai, konstrukcijų ilgaamžiškumas, rekonstrukcijos galimybės), kiti – minimizuojamieji (kaina, ekologiškumas, sienos storis, statybos trukmė).

Remiantis pateiktomis kokybinių ir kiekybinių kriterijų reikšmėmis, atliekama daugiakriterė ekologiškų namo konstrukcijų analizė, kurios tikslas – parinkti geriausią sienos alternatyvą.

Stogo konstrukcijų analizei pasirinkti šie variantai:

- molio čerpių stogas;
- skiedrų stogas;
- šiaudų arba nendrių stogas;
- apželdintas stogas;
- stogas iš akmens plokštelių.

Ekologiško būsto konstrukcijų alternatyvas apibūdinanti kiekybinė ir kokybinė informacija bei rodikliai pateikti 3.4 lentelėje. Kiekybiniai rodikliai: *kaina, ilgaamžiškumas, svoris, minimalus nuolydžio kampas, statybos trukmė, atstumas tarp gegnių*. Kokybiniai rodikliai: *darbų atlikimo sezoniškumas* (balai nuo 1 iki 4 t.y. atitinkamai darbų atlikimo sezonų skaičius per metus), *stogo priedai* (1-reikalingi, 2-nereikalingi), *šilumos izoliacinės savybės* (1-geros, 2-vidutinės, 3-menkos), *priežiūra* (1-minimali, 2-reikalinga) ir *ekologiškumas.*

3.4 lentelė. Ekologiško namo stogo alternatyvas apibūdinantys rodikliai [67]

Nr.	Stogo kriterijai	*	Mato vnt.	Reikš-min-gumas	Stogo tipų alternatyvos				
					Čerpių	Skiedrų	Šiaudų, nendrių	Apžel-dintas	Akme-ninis
1	Kaina	-	Lt/m^2	0,16	150	80	150	180	150
2	Ilgaamžiškumas	+	Metai	0,18	100	40	50	10	100
3	Svoris	-	kg/m^2	0,08	50	10	35	75	110
4	Minimalus nuolydžio kampas	-	Laipsn.	0,07	18	33	30	1	25
5	Statybos trukmė (150 kv.m)	-	d.d.	0,1	7	10	15	30	10
6	Darbų atlikimo sezoniškumas	+	Balai	0,03	4	3	2	2	4
7	Stogo priedai	+	Balai	0,04	1	1	2	1	2
8	Atstumas tarp gegnių	+	m	0,04	0,6	1	1	0,4	0,3
9	Šilumos izoliacinės savybės	-	Balai	0,06	3	3	1	2	3
10	Priežiūra	-	Balai	0,04	1	1	1	2	1
11	Ekologiškumas	-	Balai	0,2	3	1	1	1	2

Toliau ekologiško namo konstrukcijų analizėje nagrinėjamos šilumos izoliacijos alternatyvos: akmens vata, medžio pluošto vata, celiuliozės, kanapių, vilnos ir linų pluošto vata.

Šilumos izoliacijos alternatyvos vertinamos remiantis kiekybinių ir kokybinių kriterijų sistema. Nagrinėjami tokie rodikliai: *kaina, ekologiškumas, šilumos laidumo koeficientas, tankis, atsparumas slėgimui, savitoji orinė varža, degumo klasė* (1-A, 2-B, 3-C, 4-D, 5-E)*, oro laidumo koeficientas, garso sugertis* ir *vandens įmirkis*. Šilumos izoliaciją apibūdinantys rodikliai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Ekologiško namo šilumos izoliacijos alternatyvas apibūdinantys rodikliai [67]

Nr.	Šilumos izoliacijos kriterijai, kai izoliacijos storis 100mm	*	Mato vnt.	Reikš-min-gumas	Šilumos izoliacijos alternatyvos					
					Akmens vata	Medžio pluošto vata	Celiu-liozės vata	Kanapių pluošto vata	Vilnos pluošto vata	Linų pluošto vata
1	Kaina	-	Lt/m^3	0,19	105	220	170	280	410	440
2	Ekologiškumas	-	Balai	0,19	5	4	3	1	1	2
3	Šilumos laidumo koeficientas	-	λ_D [W/(m*K)]	0,19	0,037	0,038	0,039	0,040	0,039	0,038
4	Tankis	+	kg/m3	0,08	35	50	28	40	55	30
5	Atsparumas slėgimui	+	kPA	0,05	2	1	1	1	3,2	1,8
6	Savitoji orinė varža	+	$kPa*s/m^2$	0,08	5	5	6,1	2	3	
7	Degumo klasė	-	Balai	0,06	1	5	2	5	5	5
8	Oro laidumo koeficientas	-	$m^3/m*s*Pa$	0,05	$130*10^{-6}$	$120*10^{-6}$	$120*10^{-6}$	$120*10^{-6}$	$115*10^{-6}$	$125*10^{-6}$
9	Garso sugertis	+	α_w	0,07	0,95	0,8	0,78	0,8	0,98	0,8
10	Vandens įmirkis	-	kg/m^2	0,04	1	1,5	1,5	1,3	1,8	1,3

Ekologiško namo šildymo sistemos nagrinėjamos alternatyvos: geoterminis šildymas, infraraudonųjų spindulių plokštės, joninė-elektrinė šildymo sistema ir kieto kuro katilas. Taip pat nagrinėjami šie kriterijai: *kaina, ekologiškumas, katilinės dydis, atsipirkimo laikas, papildomi šildymo prietaisai* (1-reikalingi, 2-nereikalingi), *darbo rėžimai* (1-šildymas, 2-šildymas, šilto vandens ruošimas, 3-šildymas, šilto vandens ruošimas, vėdinimas), *aptarnavimas* (1-nereikalingas arba minimalus, 2-reikalingas), *dūmtraukis* (1-reikalingas, 2-nereikalingas). Šildymo sistemą apibūdinantys rodikliai pateikti 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Ekologiško namo šildymo sistemos alternatyvas apibūdinantys rodikliai [67]

Nr.	Šildymo sistemos kriterijai	*	Mato vnt.	Reikš-mingumai	Šildymo sistemos alternatyvos			
					Geoter-minis	Infraraudonų-jų spindulių plokštės	Joninė-elektroninė	Kieto kuro katilas
1	Kaina	-	Lt	0,24	28000	17000	7920	4500

3.6 lentelės tęsinys

2	Ekologiškumas	-	Balai	0,24	1	3	3	3
3	Katilinės dydis	-	m^2	0,08	6	0	1	6
4	Atsipirkimo laikas	-	Metai	0,14	13	10	8	3
5	Papildomi šildymo prietaisai	+	Balai	0,08	1	2	1	1
6	Darbo rėžimai	+	Balai	0,08	3	1	2	2
7	Aptarnavimas	-	Balai	0,07	1	1	1	2
8.	Dūmtraukis	+	Balai	0,07	2	2	2	1

3.4. Sprendimų paramos sistema ir jos sudedamosios dalys

Sprendimų paramos sistema - tai informacinė sistema, kuri kaupia duomenis ir žinias iš įvairių šaltiniu, juos apdoroja; naudodama įvairius matematinius ir loginius modelius, sprendimų priėmėjui teikia informaciją reikalingą galimų sprendimų alternatyvoms analizuoti, sudaryti ir įvertinti, priimti sprendimą; gautus rezultatus išvesti ir saugoti.

Analitinių informacinių sistemų tipas, apimantis duomenų, modeliavimo ir žinių bazių valdymo sistemas, suteikiantis vartotojui įvairiais pjūviais apdorotą informaciją, pateikiantis uždavinių sprendimo būdus ir pasekmes, vadinamas sprendimų paramos sistema (toliau – SPS), o jei šioje sistemoje realizuoti dirbtinio intelekto metodai, SPS vadinama intelektine.

Taigi sprendimų paramos sistema, galinti remtis įvairių šaltinių duomenimis, turi leisti vartotojams transformuoti milžinišką neapdorotą duomenų kiekį į sprendžiamos problemos analizei ir sprendimo priėmimui reikalingus informacinius pranešimus [26, 42].

Ekologiškų namų konstrukcijų racionalaus varianto parinkimo sprendimų paramos sistema (ENKRVPSPS) sieja duomenų ir modelių bazes, kurias per vartotojo sąsają valdo sistemos vartotojas. Sistemą sudaro:

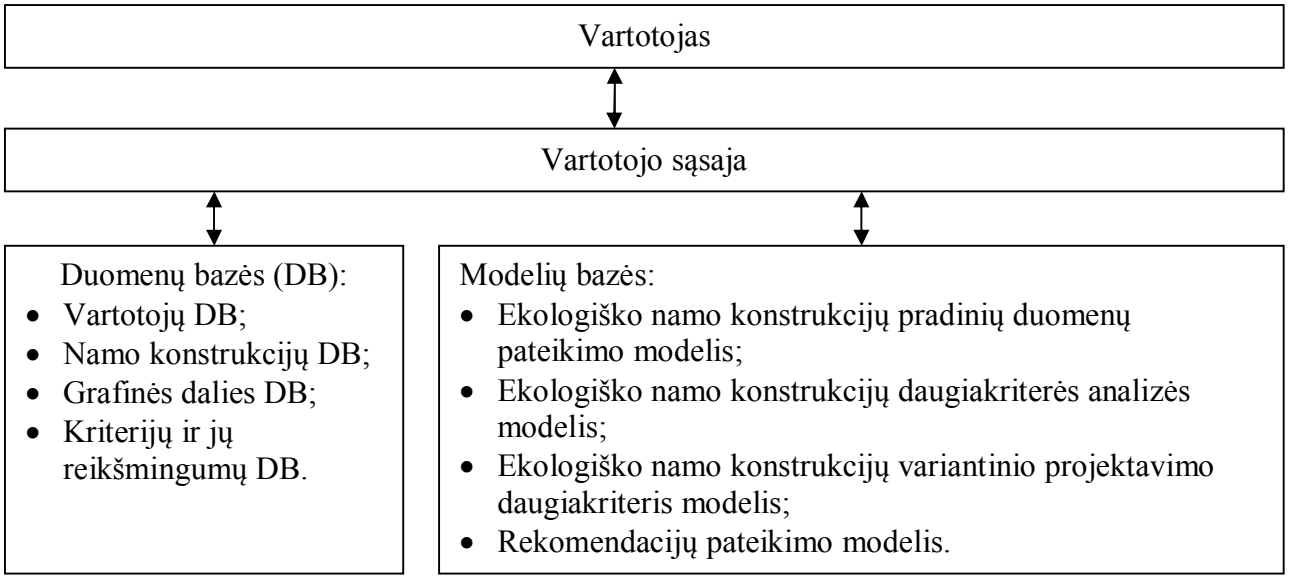
- duomenų bazės ir jų valdymo sistemos,
- modelių bazė ir jų valdymo sistemos,
- vartotojo sąsaja.

Šios sudedamosios dalys yra glaudžiai susijusios ir sieja smulkesnes sudedamąsias sistemos dalis. Pavyzdžiui, modelių bazę sudaro ekologiško namo konstrukcijų sudedamųjų dalių (toliau ENKSD) pradinių duomenų pateikimo modelis, ENKSD elementų naudingumo laipsnio ir prioritetiškumo nustatymo modelis, ENKSD variantinio projektavimo daugiakriteris modelis, rekomendacijų pateikimo modelis ir kt., o duomenų bazės sudarytos iš vartotojų, intelektinės aplinkos ir kitų duomenų bazių lentelių (3.1 pav.).

ENKRVPSPS skirta naudotis internete. Todėl vartotojo sistema yra racionali, paprastai naudojama ir prieinama skirtingo išsilavinimo bei žinių vartotojams. Sistemoje naudojama mišri vartotojo sąsaja – skirtingiems uždaviniams spręsti naudojami skirtingi sąsajos tipai.

Siekiant maksimaliai užtikrinti ekologiškų namų konstrukcijų variantų racionalų pasirinkimą, sprendimai turi būti priimami remiantis ekologiško būsto konstrukcijas ir elementus apibūdinančia kriterijų sistema, sprendimų paramos sistema privalo kuo geriau perteikti vartotojo reikalavimus. Sistemoje pateikiami duomenys turi būti realūs ir nesunkiai atnaujinami. Šiam tikslui pasiekti naudojamos internetinės technologijos, daugiakriterio vertinimo metodai, remiamasi ekologiško namo konstrukcijų projektavimo ir statybos principais ir reikalavimais.

Remiantis atlikta sprendimų paramos sistemų analize ir siekiant nustatyti efektyviausią ekologiško namo konstrukcijų ir elementų variantą, buvo sukurta ekologiškų namų konstrukcijų racionalaus varianto parinkimo sprendimų paramos sistema.



3.1 pav. SPS sudedamosios dalys [55]

3.5. Praktinis ekologiško būsto konstrukcijų modelio realizavimas

Ekologiškų namų racionalaus varianto modelis buvo praktiškai realizuojamas tokiais pagrindiniais etapais:

1 etapas. Apžvelgiama ekologiškos ir darnios statybos samprata ir architektūra.

2 etapas. Apžvelgiamos ir plačiau aprašomos tiek Lietuvoje, tiek pasaulyje ekologiškai statybai naudojamos medžiagos ir namo konstrukciniai elementai.

3 etapas. Remiantis analizuota literatūra ir ekspertiniais metodais, parenkama ir sudaroma kriterijų sistema bei nustatomi jų reikšmingumai, aprašantys ekologiškų namų racionalaus varianto konstrukcijas.

4 etapas. Atliekama daugiakriterė ekologiškų namų racionalaus varianto analizė ir

parenkamos efektyviausios alternatyvos.

Remiantis atliktu ekologiško būsto konstrukcijų racionalaus varianto modelio ir jo sudėtinių dalių aprašu, kiekybine ir koncepcine formomis sudaroma kompleksinė duomenų bazė, išsamiai apibūdinanti nagrinėjamą objektą ir sudaranti sąlygas atlikti jo variantinį projektavimą bei daugiakriterę analizę. Naudojant kompleksinę duomenų bazę galima efektyviau suderinti visų projekte dalyvaujančių suinteresuotų grupių tikslus ir priimamus sprendimus bei kompleksiškai didinti projekto efektyvumą. Alternatyvūs ekologiško būsto konstrukcijų modelio variantai charakterizuojami ekologiškumo, ilgaamžiškumo, medžiagų priežiūros ir kitomis charakteristikomis. Skirtingos suinteresuotos grupės dažniausiai šiems kriterijams teikia nevienodą prioritetiškumą, o kokybiniams kriterijams – ir kitokias reikšmes.

Siekiant išspręsti minėtas problemas, buvo sudaryta kompleksinė duomenų bazė. Šioje kompleksinėje duomenų bazėje alternatyvūs variantai aprašomi kiekybine (kriterijų matavimų vienetai, reikšmės ir reikšmingumai) ir koncepcine (tekstas, paveikslėliai, nuotraukos, grafikai), formomis (3.2 pav.). Šių duomenų visuma išsamiai apibūdina nagrinėjamą objektą.

3.2 pav. Koncepcinės informacijos pateikimas sistemoje

Kompleksinė duomenų bazė sudaryta iš tokių sudėtinių dalių:

- *Pradinių duomenų lentelių*. Šiose duomenų lentelėse įvairios suinteresuotos grupės mato pradinius duomenis, kuriais remiantis atliekamas kompleksinis projektavimas. Prisijungus prie sistemos šiuos duomenis galima keisti, papildyti.
- *Įvertinimo lentelių*, t. y. lentelių, kuriose pateikiama išsami kiekybinė ir koncepcinė informacija, išsamiai apibūdinanti alternatyvius ekologiškų namų konstrukcijų variantus. Remiantis įvertinimo lentelėmis atliekama daugiakriterė analizė.
- *Variantinio projektavimo lentelių*, t. y. lentelių, kuriose pateikiama kiekybinė ir koncepcinė

informacija apie galimas alternatyvių sprendimų tarpusavio derinių kombinacijas [77].

Sistema sudaro ir išanalizuoja tūkstančius alternatyvių variantų, kai kiekvieną iš jų apibūdina dešimtys kriterijų su konkrečiomis reikšmėmis ir reikšmingumais, taip pat pateikiama ir koncepcinė informacija, tad šiems variantams spręsti pasirinkta automatizuota kompiuterinė sistema. Siekiant atlikti ekologiškų namų konstrukcijų variantinį projektavimą, nustatyti sudarytų alternatyvų naudingumo laipsnį ir prioritetiškumą buvo sukurtas ekologiškų namų daugiavariančio projektavimo ir daugiakriterės analizės modelis [29, 55].

Norint pradėti darbą su ekologiškų namų konstrukcijų daugiakritere sprendimų paramos sistema reikia paleisti interneto naršyklę. Pagrindinis sistemos langas yra suskirstytas į keturias dalis:

1. Sistemos antraštė
2. Meniu juosta;
3. Langas, kuriame pateikiama pagrindinė informacija;
4. Prisijungimo modulis (3.3 pav.).

3.3 pav. Pagrindinis kompiuterinės sistemos langas

Meniu juostoje pateikiami šeši punktai:

1. *Pagrindinis puslapis*. Kaskart suaktyvinus šį meniu punktą grįžtama į pagrindinį kompiuterinės sistemos puslapį.

2. *Ekologiško namo konstrukcijos, jų alternatyvos ir kriterijai*; Paspaudus šį meniu punktą galimi keturi (sienų, stogo dangos, šilumos izoliacijos ir šildymo sistemos) pasirinkimai. Kaskart išsirinkus vieną iš pateiktų variantų, parodomos konkrečios ekologiško namo konstrukcijų alternatyvos ir jas apibūdinantys kriterijai. Pele suaktyvinus bet kurią alternatyvą, pateikiama kiekvienos alternatyvos koncepcinė informacija (3.4 pav.).

Log in | Register

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Solutions considered

Please select solution under consideration

Stogas

Qualitative and quantitative description of the alternatives

Quantitative and qualitative information pertinent to alternatives								
Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Compared alternatives				
				Čerpių	Skiedrų	Šiaudų, nendrių	Apželdintas	Akmeninis
Kaina	-	Lt/m2	0,16	150	80	150	180	150
Ekologiškumas	-	Points	0,2	3	1	1	1	2
Ilgaamžiškumas	+	Year	0,18	100	40	50	10	100
Minimalus nuolydžio kampas	-	degree	0,07	18	33	35	1	25
Statybos trukmė (150 m2)	-	days	0,1	7	10	15	30	10
Darbų atlikimo sezoniškumas	+	Points	0,03	4	3	2	2	4
Stogo priedai	+	Points	0,04	1	1	2	1	2
Atstumas tarp gegnių	+	m	0,04	0,6	1	1	0,4	0,3
Svoris	-	kg/m2	0,08	50	10	30	75	110
Šilumos izoliacinės savybės	+	Points	0,06	3	3	1	2	3
Priežiūra	-	Points	0,04	1	1	1	2	1

3.4 pav. Ekologiško namo konstrukcijos, jų alternatyvos ir kriterijai

3. *Daugiakriterės analizės rezultatai*. Pele suaktyvinus šį punktą (3.5 pav.), ENKRVPSPS paleidžia ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterės analizės modulius konkrečiam namo elementui (sienos, stogo danga, šilumos izoliacija ar šildymo sistema). Atlikus analizę nustatomas kiekvienos alternatyvos prioritetiškumas ir naudingumo laipsnis. Visi rezultatai pateikti B priede.

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Results of multiple criteria evaluation of the alternatives

Please select solution under consideration

Sienos

Quantitative and qualitative information pertinent to alternatives									
Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Compared alternatives					
				Rastu sienos	Karkasinės	Skydinės	Šiaudų	Molio	Medžio cementiniai blokai
Kaina	-	Lt/m2	0,2	0,0634 AVG MIN	0,0317 AVG MIN	0,0468 AVG MIN	0,0151 AVG MIN	0,0181 AVG MIN	0,0249 AVG MIN
Sienos storis	-	mm	0,05	0,0053 AVG MIN	0,0056 AVG MIN	0,0064 AVG MIN	0,0111 AVG MIN	0,0122 AVG MIN	0,0093 AVG MIN
Šilumos varža	+	m2*K/W	0,14	0,0207 AVG MIN	0,0274 AVG MIN	0,0218 AVG MIN	0,0346 AVG MIN	0,0142 AVG MIN	0,0212 AVG MIN
Darbų atlikimo sezoniškumas	+	Points	0,05	0,01 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,005 AVG MIN	0,0075 AVG MIN	0,0075 AVG MIN
Papildomi apdailos darbai	+	Points	0,09	0,0245 AVG MIN	0,0164 AVG MIN	0,0164 AVG MIN	0,0164 AVG MIN	0,0082 AVG MIN	0,0082 AVG MIN
Ilgaamžiškumas	+	Year	0,09	0,0158 AVG MIN	0,0112 AVG MIN	0,0112 AVG MIN	0,0158 AVG MIN	0,018 AVG MIN	0,018 AVG MIN
Statybos trukmė (150 kv.m)	-	days	0,1	0,0122 AVG MIN	0,0152 AVG MIN	0,0037 AVG MIN	0,0183 AVG MIN	0,0304 AVG MIN	0,0203 AVG MIN
Rekonstrukcijos galimybės	+	Points	0,08	0,0089 AVG MIN	0,0178 AVG MIN	0,0178 AVG MIN	0,0089 AVG MIN	0,0089 AVG MIN	0,0178 AVG MIN
Ekologiškumas	-	Points	0,2	0,025 AVG MIN	0,0375 AVG MIN	0,05 AVG MIN	0,0125 AVG MIN	0,0125 AVG MIN	0,0625 AVG MIN
The sums of weighted normalized maximizing (projects 'pluses') indices of the alternative				0,0799	0,0828	0,0772	0,0807	0,0568	0,0727
The sums of weighted normalized minimizing (projects 'minuses') indices of the alternative				0,1059	0,09	0,1069	0,057	0,0732	0,117
Significance of the alternative				0,166	0,1765	0,1585	0,2166	0,1587	0,1402
Priority of the alternative				3	2	5	1	4	6
Utility degree of the alternative (%)				76,63%	81,48%	73,17%	99,99%	73,26%	64,72%

3.5 pav. Daugiakriterės analizės rezultatų pateikimas

4. *Variantinis projektavimas*. Šiame punkte atilikus automatizuotą ekologiškų namų konstrukcijų daugiakriterę analizę, sudaromi ir pateikiami geriausi alternatyvų variantų deriniai. Šiam tikslui taikomas alternatyvų daugiakriterinio variantinio projektavimo metodas. Sistema atrenka visus galimus alternatyvų derinius ir ieško racionaliausio. ENKRVPSPS naudodamasi daugiakriterės analizės ir projektų naudingumo laipsnio nustatymo modeliais bei remdamasi iki tol atliktais skaičiavimais, nustato viso ekologiško namo konstrukcijų variantų prioritetiškumus ir naudingumo laipsnius. Kuo naudingumo laipsnis didesnis, tuo alternatyvų deriniai yra racionalesni. Geriausi alternatyvų deriniai pateikti 3.6 paveiksle.

Log in | Re

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Computer-aided development of the feasible alternatives

Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Rąstų sienos Čerpių Akmens vata Geoterminis	Rąstų sienos Čerpių Akmens vata Infraraudonųjų spindulių plokštės	Rąstų sienos Čerpių Akmens vata Joninis-elektroninis	Rąstų sienos Čerpių Akmens vata Kieto kuro katilas	Rąstų sienos Čerpių Medžio pluošto vata Geoterminis	Rąstų sienos Čerpių Medžio pluošto vata Infraraudonųjų spindulių plokštės	Rąstų sienos Skiedrų Medžio pluošto vata Joninis-elektroninis	Rąstų sienos Skiedrų Medžio pluošto vata Kieto kuro katilas	Rąstų sienos Skiedrų Celiuliozės vata Geoterminis	Rąstų sienos Skiedrų Celiuliozės vata Infraraudonųjų spindulių plokštės	Rąstų sienos Skiedrų Celiuliozės vata Joninis-elektroninis	Rąstų sienos Skiedrų Celiuliozės vata Kieto kuro katilas
Kaina	-	Lt/m2	0,2	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
Sienos storis	-	mm	0,05	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Papildomi šildymo prietaisai	+	Points	0,08	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Dūmtraukis	+	Points	0,07	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1
The sums of weighted normalized maximizing (projects 'pluses') indices of the alternative				0,0021	0,0021	0,0021	0,002	0,0021	0,0021	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0017
The sums of weighted normalized minimizing (projects 'minuses') indices of the alternative				0,0043	0,0039	0,0038	0,0039	0,0044	0,004	0,0035	0,0035	0,0037	0,0033	0,0033	0,0033
Significance of the alternative				0,0058	0,006	0,006	0,0058	0,0055	0,0059	0,006	0,0059	0,0057	0,0061	0,006	0,0059
Priority of the alternative				224	101	101	224	465	153	101	153	304	65	101	153
Utility degree of the alternative (%)				86,64%	89,63%	89,63%	86,64%	82,16%	88,13%	89,63%	88,13%	85,14%	91,12%	89,63%	88,13%

3.6 pav. Geriausių alternatyvų deriniai

5. *Rekomendacijos vartotojui*. Šiame punkte pateikiamos rekomendacijos vartotojui. Kiekvienai alternatyvai išskiriami pagrindiniai trys objekto kriterijai, kurių pagerinimas turės didžiausią įtaką bendram įvertinimui (3.7 pav.).

Rąstų sienos			
Position	*Criteria describing the alternative*	*Kiek % galima pagerinti nagrinėjamą kriterijų*	*Kiek % padidės alternatyvos rinkos vertė*
1	Kaina	76%	15%
2	Ekologiškumas	50%	10%
3	Šilumos varža	67%	9%

Karkasinės			
Position	*Criteria describing the alternative*	*Kiek % galima pagerinti nagrinėjamą kriterijų*	*Kiek % padidės alternatyvos rinkos vertė*
1	Ekologiškumas	67%	13%
2	Kaina	52%	10%
3	Statybos trukmė (150 kv.m)	76%	8%

3.7 pav. Rekomendacijos vartotojui

Suvedus į duomenų bazę visas ekologiško namo konstrukcijų alternatyvas ir jas apibūdinančius rodiklius, gauti kiekvienos alternatyvos geriausi pasirinkimo variantai. Nustačius alternatyvų prioritetiškumą galima pamatyti, kur ir kokius konstrukcinius variantus geriausia panaudoti statant ekologišką namą (3.7 lentelė). Iš gautų duomenų matyti, kad racionaliausias variantas yra namas iš šiaudų sienų, skiedrų stogo dangos, apšiltintas celiuliozės vata ir šildomas infraraudonųjų spindulių plokštėmis.

3.7 lentelė. Sprendimų geriausių alternatyvų prioritetiškumas [29]

Nagrinėjami sprendimai	**Sprendimų geriausių alternatyvų prioritetiškumas**					
	1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**
Sienų variantai	Šiaudų	Karka-sinės	Rąstinės	Molio	Skydinės	Medžio cemen-tinių blokų
Stogo variantai	Skiedrų	Čerpių	Šiaudų-nendrių	Akmeninis	Apželdintas	
Šilumos izolia-cijos variantai	Celiuliozės vata	Akmens vata	Kanapių pluošto vata	Medžio pluošto vata	Vilnos pluošto vata	Linų pluošto vata
Šildymo siste-mos variantai	Infraraudo-nųjų spindulių plokštės	Joninė	Geoterminis šildymas	Kieto kuro katilas		

Kad sistema būtų naudinga, ji turi būti tobulinama ir atnaujinama. Todėl ENKRVPSPS vartotojai prisiregistravę prie sistemos, gali nesunkiai papildyti alternatyvas, keisti kriterijų reikšmes. Taip sistema gali būti pritaikyta prie kiekvieno poreikių. Įvedus apribojimus, galima išvengti nelogiškų ekologiško namo konstrukcijų derinių.

ENKRVPSP sistema gali naudotis įvairios mokymosi institucijos, įmonės, ekspertai, besidomintys ekologiškomis statybomis ir kitos suinteresuotos grupės. Ši sistema yra universali ir gali būti taikoma įvairiems teoriniams ir praktiniams uždaviniams spręsti – tiek susijusiais su ekologiškomis medžiagomis, tiek su kitomis statybinėmis medžiagomis.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Apžvelgus literatūrą, prieita prie išvados, kad ekologiško namo samprata apima ne tik nekenksmingų žmogui ir aplinkai statybinių medžiagų naudojimą, bet ir ekologišką būsto vidinę ir išorinę aplinką.
2. Atlikus teorinės literatūros analizę, nustatyta, kad Lietuvoje vyrauja tradicinis namų statybos būdas: namai statomi iš mūro, betono ar metalo, šiltinami mineraline vata ar polistireniniu putplasčiu.
3. Šiuo metu ekologiškų statybinių medžiagų naudojimas namų statybai po truputį populiarėja, tačiau praktiškai yra gana sunkiai įgyvendinamas. Didžiausias sunkumas, su kuriuo susiduria namų statytojai, yra informacijos stoka ir, lyginant su tradicinėmis, žymiai aukštesnės tokių medžiagų kainos.
4. Europoje, o ypač Vakarų Europos šalyse, ekologiškų medžiagų naudojimas yra įprastas reiškinys. Kasmet šių medžiagų rinka plečiasi ir auga apie 10 %.
5. Lietuvoje ekologiškų statybinių medžiagų, tokių kaip šiaudai, molis ar kt., panaudojimui labiausiai trukdo menkas valstybės indėlis, žmonių uždarumas informacijai, konservatyvus požiūris, specialistų trūkumas ir nusistovėję klaidingi mitai, todėl reikalinga teigiama valstybės ir visuomenės iniciatyva situacijai pakeisti.
6. Aplinkai nekenksmingų statybinių medžiagų pasirinkimo problemai spręsti siūloma originali autoriaus sudaryta sistema, kuri naudodama daugiakriterį vertinimą pateikia racionaliausius ekologiško namo konstrukcijų variantus.
7. Darbe atlikta ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterė analizė. Buvo nagrinėjami keturi pagrindiniai namo konstrukciniai elementai: sienos, stogas, šilumos izoliacija ir šildymo sistema. Kiekvienam konstrukciniam elementui nagrinėtos 4-6 galimos alternatyvos, kurioms apibūdinti parinkti 8-11 kiekybiniai ir kokybiniai kriterijai. Atlikus tyrimą nustatyta, kad racionaliausia alternatyva renkantis konstrukcijas yra: sienoms – šiaudų, stogui – skiedrų, šilumos izoliacijai – celiuliozės vata ir šildymo sistemai – infraraudonųjų spindulių plokštės.
8. Efektyvus išteklių naudojimas ir aplinkos tausojimas ateityje dar labiau lems verslo sėkmę. Valstybės ir žmonių tikslas turėtų būti sujungti ekonomiką ir ekologiją, siekiant efektyvesnių gamybos procesų, ir gaminti bei tiekti naujus, ekologiškus ir geresnius gaminius ar paslaugas už konkurencingą kainą. Be to, ekologiškumo supratimas tampa vis artimesnis tiek politikams, tiek verslininkams ir galų gale visuomenei bei galutiniams vartotojams. Pagrindinės ateities statybos strategijos kryptys yra efektyvus išteklių ir statybinių medžiagų panaudojimas, o tai lemia verslo sėkmės modelio pagrindą, švaresnę ir sveikesnę aplinką.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. 11 priežasčių, kodėl verta rinktis Izoblok. [žiūrėta 2010-02-24]. Prieiga per internetą: <http://www.era-izoblok.com/Produktai/Apieprodukt%C4%85/tabid/60/Default.aspx>.
2. Adomaitytė, I. 2009. Ar ekologiškas šildymas apsimoka? Lietuvos sveikata, Nr. 6 (794): 16-19.
3. Akmeninis stogas. 2008. *APS*. [žiūrėta 2009-12-29]. Prieiga per internetą: <http://www.spec.lt/lt/Egzotiskas_pasiulymas_Lietuvos_stogu_rinkai>.
4. An example of how thatching and stonework make a beautiful combination. [žiūrėta 2009-12-28]. Prieiga per internetą: <http://www.sidson-craftworks.ie/>.
5. Benson, J. 2009. Eco-friendly cedar shake roofing. [žiūrėta 2010-03-28]. Prieiga per internetą: <http://www.greenstrides.com/2009/04/02/eco-friendly-cedar-shake-roofing/>.
6. Bergthaller, H. 2004. Ökologie zwischen Wissenschaft und Weltanschauung. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn. p 348.
7. Betoninės ir molinės čerpės. Privalumai ir trūkumai. 2008. *Mediniai namai*. Nr. 2 (6): p. 22-25.
8. Binz, A.; Lehmann, G.; Erb, B. 2008. Ökologische Nachhaltigkeit im Wohnungsbau. Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie. [žiūrėta 2010-05-12]. Prieiga per internetą: <http://www.empa-ren.ch/Internet-Files/Programm/Aktuelles/aktualitaeten/Status-Seminar/pdf-files/binz-a..pdf>.
9. Boucher, C. P. 2010. Green roofs: save energy, save money, look beautiful. [žiūrėta 2009-02-21]. Prieiga per internetą: <http://prince-services.com/?p=178>.
10. Building Our Earthen Home & Guest House from cob, straw bale, adobe. 2007. [žiūrėta 2010-03-20]. Prieiga per internetą: <http://riverbendcobhouse.blogspot.com/>.
11. Čeikauskas, V. 2006. Kad stogas tarnautų ilgai, stogo konstrukcija ir dangos. *Statyk*. 2006. Nr. 7-8 (37) p. 18-22.
12. Dämmplatten aus Flachs. 2009. Lignatec Zimmerei GmbH. [žiūrėta 2010-04-10]. Prieiga per internetą: <http://www.flachsdaemmung.de/default.htm>.
13. Dämmstoff aus Schafschurwolle. [žiūrėta 2010-04-09]. Prieiga per internetą: <http://www.alchimea.de/feedback.htm>.
14. Dämmstoff aus Zellulosefaser. 2010. Thermofloc. [žiūrėta 2010-03-21]. Prieiga per internetą: <http://www.thermofloc.com/kontakt/>.
15. Drevernos projektas. [žiūrėta 2010-03-21]. Prieiga per internetą: <http://www.ecologic.lt/node/25>.
16. Ekologiška architektūra – ne mitas. 2007. *Statyba ir architektūra*. Nr. 07. p. 16-18.
17. Erich, M.; Burkhard, S.; Sauer, K. M. 2003. Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany. European Geothermal Conference 2003, vol 32. p. 589-602.
18. Ekologiški skiedrų stogai: apie tai kas mus slegia ar apsaugo. IĮ „Sakalų svetainė. [žiūrėta 2009-09-28]. Prieiga per internetą: <http://www.sakalai.lt/senas/skiedros-apie.htm>.

19. Ekologiškos medžiagos: brangios ir madingos. 2007. [žiūrėta 2010-05-06]. Prieiga per internetą: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/index/article/84>.
20. Ekologiškos šildymo sistemos. [žiūrėta 2010-04-02]. Prieiga per internetą: <http://www.klasteris.lt/is.php?modulioid=295&id=1>.
21. Elektroninė – joninė šildymo sistema. 2010. UAB „Polimeras“. [žiūrėta 2010-04-09]. Prieiga per internetą: <http://www.polimeras.lt/produktai/jonine-sildymo-sistema>.
22. Environmentally-friendly building products from renewable resources. 2009. [žiūrėta 2009-09-21]. Prieiga per internetą: <http://merodax.com/en/why-steico/ecology.html>.
23. Fowler, T. J. 2008. Cellulose Insulated Attic Makes For a Cozy Home. [žiūrėta 2010-03-23]. Prieiga per internetą: <http://econewmexico.com/attic-cellulose-insulation>.
24. Gailius, A.; Vėjelis, S. Termoizoliacinės medžiagos ir jų gaminiai. Vilnius: Technika. 2009. p. 247.
25. Gamtinės statybinės medžiagos. UAB „Ekoblokai“. [žiūrėta 2010-02-24]. Prieiga per internetą: <http://www.ekoblokai.lt/index.html>;
26. Garšva, G.; Merkevičius, E. 2005. Intelektinės sprendimų paramos sistemos architektūra grįstas kredito rizikos vertinimo sistemos modelis. *Informacijos mokslai*. Kaunas. p. 150–157;
27. Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Raslanas, S. 2008. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods. *Journal of civil engineering and management* 14 (4): 217–226;
28. Glücklich, D. 2010. Informationsnetz im Ökologischen Bauen. Bauhaus-Universität Weimar. [žiūrėta 2010-10-10]. Prieiga per internetą: <http://www.ecobine.de/>;
29. Gulbinas, A. 2005. Visuomeninių pastatų renovacijos daugiakriterinė internetinės sprendimų paramos sistema. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. Vilnius. p. 179.
30. Hanf - Baustoff der Zukunft. [žiūrėta 2010-04-10]. Prieiga per internetą: <http://www.bauladen-kirchheim.de/text/produkte.htm>.
31. History of Modular Homes & Buildings [žiūrėta 2010-04-11]. Prieiga per internetą: <http://www.modulartoday.com/modular-history.html>.
32. Infraraudonųjų spindulių plokštės. 2010. UAB „Rubisolis“. [žiūrėta 2010-04-09]. Prieiga per internetą: <http://www.ekosildytuvai.lt/kur-mus-rasti.htm>.
33. Infrared heating. 2009. [žiūrėta 2010-04-07]. Prieiga per internetą: <http://www.sunnyheat.com/en/infrared-heating.htm>.
34. Inovacinė koncepcija pagal Ekopolio modelį. [žiūrėta 2010-04-09]. Prieiga per internetą: <www.litexpo.lt/repository/resta/ekopolis/ECOPOLIS%20I.pdf>.
35. Integrated Environment Protection Concept. 2010. Lebenszyklus der Baustoffe. [žiūrėta 2010-11-14]. Prieiga per internetą: <http://ecologic-architecture.org/main/index.php?id=206/>.

36. Yeats, A. A guide to making homes more sustainable with tips on what you can do. [žiūrėta 2010-02-21]. Prieiga per internetą: <http://web.onetel.net.uk/~johndecarteret/home.htm>.
37. Jaruševičius, P. 2008. Ekologiškų, draugiškų žmogaus sveikatai namų statybos galimybės Lietuvoje. *APS*. Nr. 17. 23-25.
38. Jasinskaitė, J. 2008. Karkasinių namų statyba. [žiūrėta 2009-09-21]. Prieiga per internetą: <http://www.pabaltijonamai.lt/straipsniai/statyba3.html>.
39. Joninė šildymo sistema. 2009. [žiūrėta 2010-05-10]. Prieiga per internetą: <http://www.sildymas.lt/index.php?id=7776>.
40. Joos, L. 2004. Energieeinsparung in Gebäuden. Essen: Vulkan Verlag. p. 491.
41. Kaklauskas, A.; Gulbinas, A.; Krutinis, M; Naimavičienė, J.; Šatkauskas, G. 2007. Mokymo procese naudojamų pasirenkamųjų modulių daugiavariantės analizės metodai. Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas, 13(3): 253–258.
42. Kaklauskas, A; Zavadskas, E. K. 2002. *Internetinė sprendimų parama*. Vilnius: Technika, p. 291.
43. Kamičaitytė-Virbašienė, J.; Gražulevičiūtė-Vileniškė, I. 2009. Darnios architektūros kūrimo urbanizuotoje aplinkoje prielaidos, *Urbanistika ir architektūra*. Vilnius: Technika, t. 33, Priedai, p. 363-373.
44. Karkasiniai namai. 2008. UAB „IKS“. [žiūrėta 2010-02-22]. Prieiga per internetą: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/280/1/0/1/article/2723>.
45. Kilišauskas, A. 2003. Namai iš nedegto molio. [žiūrėta 2010-03-20]. Prieiga per internetą: <http://anastasija.lt/forum/viewtopic.php?t=543>.
46. Kibert, C. 1994. Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction. In Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction, Tampa, University of Florida, 6–9 November 1994.
47. Liesionis, V.; Pilienė, L. 2009. Ekologiškumo poveikis vartotojo pasirinkimui. Organizacijų vadyba: sisteminiai tyrimai, Nr. 52. Kaunas: VDU. p. 75-77.
48. Lohmus, A.; Kraut, A. 2010. Stand structure of hemiboreal old-growth forests: Characteristic features, variation among site types, and a comparison with FSC-certified mature stands in Estonia. Department of Zoology, Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu.
49. Markendämmstoff Thermo-Hanf. [žiūrėta 2010-04-08]. Prieiga per internetą: <http://www.thermo-hanf.de/front_content.php?idcat=46>.
50. McCullum, K. The green log home. [žiūrėta 2010-04-11]. Prieiga per internetą: <http://www.loghome.com/naturally_green_log_homes/articles/2862>.
51. Medinis skydinis namas – jauku, individualu, šilta. 2007. UAB „Skydmedis“. [žiūrėta 2010-04-10]. Prieiga per internetą: <http://www.skydmedis.lt/LT/12/Skydinis-namas.htm>.

52. Milutiene, E.; Jürmann, K; Keller, L. 2007. Straw bale building – reaching energy efficiency and sustainability in northern altitudes. *International conference „North Sun“* may 30 - june 1. 2007, Ryga.
53. Mišliutė, J. 2007. Kodėl verta statyti namus iš šiaudų briketų. [žiūrėta 2010-01-11]. Prieiga per internetą: <http://www.siaudunamai.lt/downloads/Kodel%20verta%20statyti%20siaudu%20nam us.doc>.
54. Morrison, A. 7 Essential Steps To Straw Bale Success. [žiūrėta 2010-03-28]. Prieiga per internetą: <http://www.strawbale.com/lesson1-af.html>.
55. Naimavičienė, J. 2008. Intelektinė žiniomis ir prietaisais paremta gyventi palanki mus supanti aplinka. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, Vilnius: Technika. p. 133.
56. Narušis, M. 2007. Eko blokai komfortiškam ir sveikam būstui. [žiūrėta 2010-02-20]. Prieiga per internetą: <http://ekostatyba.blogspot.com/2007/06/ekologikas-bstas.html>.
57. Narvydaitė, M. 2008. Ekologiškos statybos: madinga tendencija ar būtinybė? [Žiūrėta 2010-04-03]. Prieiga per internetą: <http://www.city24.lt/client/city24client?rnd=198713&pageI%20d=15&objId=NewsObject&stateId=NewsInitial&eventId=NewsArticleEvent&articleId=48684>.
58. Nendriniai stogai - išskirtinė stogo danga. 2008. *Mediniai namai*. Nr. 2 (6): p. 26-28.
59. Ökologische Baustoffe. 2009. Holz Herbst GmbH. [žiūrėta 2010-03-26]. Prieiga per internetą: <http://www.holzherbst.de/seiten/produkte/oeko_baustoffe/oekologische_baustoffe.htm>.
60. Pearson, D. 1991. Ekologiškos statybos. [The natural house book.- London] [žiūrėta 2010-04-10]. Prieiga per internetą: <http://www.plp.lt/index.php?option=com_content&view=article&id=28:ekologikos-statybos&catid=20:7-kategorija&Itemid=43>.
61. Purcell, A. Zero-carbon eco home is light years ahead [Aktyvusis namas: pastatas su ekologiškai orientuota sąžine] The Guardien: 2009.
62. Sakaitis, M. 2008. Skydinių namų statyba. [žiūrėta 2009-10-20]. Prieiga per internetą: <http://www.pabaltijonamai.lt/straipsniai/statyba4.html>.
63. Shaw, R. 2009. Creating a sustainable, off-grid, safe community. [žiūrėta 2010-03-28]. Prieiga per internetą: <http://utahsafehaven.ning.com/forum/topics/community-center-design?groupUrl=buildingdesignteam&xg_source=activity>.
64. Skiedriniai stogai. UAB „Jonostata“. [žiūrėta 2009-09-28]. Prieiga per internetą: <http://www.klasteris.lt/is.php?modulioid=239&id=1>.
65. Stogo dangos pasirinkimo kriterijai. UAB „Interaktyviosios komunikacijos sprendimai“. [žiūrėta 2010-03-24]. Prieiga per internetą: <http://www.asa.lt/stogas/s01.php?iq=25>.
66. Šaparauskas, J. 2010. Darnios statybos samprata. Subalansuota teritorijų plėtra ir planavimas. [žiūrėta 2009-11-14]. Prieiga per internetą: <e-stud.vgtu.lt/users/files/dest/4382/iv_oji_paskaita_naujas.ppt>.

67. Šarka, V. 2008. *Sprendimų paramos sistema statyboje taikant daugiakriterinius sintezės metodus*. Vilnius: Technika. p. 97.
68. Šiaudiniai stogai. UAB „Ąžuolytė“. [žiūrėta 2009-10-28]. Prieiga per internetą: <http://www.azuolyte.lt/siaudiniai-stogai>.
69. Šildymas infraraudonaisiais spinduliais. 2009. UAB „Skaidula“. [žiūrėta 2010-04-07]. Prieiga per internetą: <http://www.skaidula.lt/lt/sildymo_sistemos/sildymas_ir_spinduliais>.
70. Šilti ir jaukūs namai su Beril. 2008. UAB „Beril“. <http://www.build.lt/new/readnews.php?news_id=460>.
71. Šiltinimo medžiagos iš celiuliozės. 2008. UAB „Gera vata“. [žiūrėta 2010-03-22]. Prieiga per internetą: <http://www.geravata.lt/siltinimas-ekovata.htm>.
72. The natural choice for insulation. 2010. Oy Isolina. [žiūrėta 2010-04-02]. Prieiga per internetą: <http://www.isolina.com/gb/insulation-products.cfm>.
73. Traditional stone roof. [žiūrėta 2010-03-26]. Prieiga per internetą: <http://www.eb-rs.com/examples.htm>.
74. U. S. Department of Energy. Green roofs. p. 12-13 [žiūrėta 2009-12-28]. Prieiga per internetą: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36060.pdf>.
75. Vitkauskaitė, J. 2008. Ekonamas – įprastas pasirinkimas ar dar tikateitis? *Ozonas* 2008/7 (11).
76. Wanqing, S.; Johansson, C.; Sundbäck, U. 1996. Assessment of the sound insulation of a wood joist construction due to different types of impact sources. Applied Acoustics, vol 48, p. 195-203.
77. Zavadskas, E. K.; Simanauskas, L.; Kaklauskas, A. 1999. *Sprendimų paramos sistemos statyboje*. Vilnius: Technika.
78. Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z.; Ambrasas, G.; Kutut, V. 2005. Daugiabučių gyvenamųjų namų išorės sienų sprendinių efektyvumo vertinimas daugiakriterinės analizės metodais. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymasis.* vol XI, No 1, p. 59-68.
79. Zhang, Y.; Feng, C.; Meng , Q. 2009. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*, vol 42, Issue 6, p. 959-965.
80. Želdintų stogų atgimimas. 2008. *APS*. [žiūrėta 2009-12-29]. Prieiga per internetą: <http://www.spec.lt/lt/Zeldintu_stogu_atgimimas>.

PRIEDAI

A priedas

A.1 lentelė. Joninio šildymo sistemos palyginimas su tradicine [21]

Pateikiame namo surenkamos Alytaus skydinių namų konstrukcijos, apie 100 kv. m. metinės elektros energijos sąnaudos
Namas nerenovuotas. Gyvena trijų asmenų šeima. Šildymui naudoja "Stafor" konstrukcijos katilą, sumontuotą UAB "POLIMERAS"

Data	2008.07.29					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	7623	7519	104	kwh	0.32	33,28 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	7186	7115	71	kwh	0.18	12,78 Lt
					Suma	**46,06 Lt**
Data	2008.08.29					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	7702	7623	79	kwh	0.32	25,28 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	7261	7186	75	kwh	0.18	13,50 Lt
					Suma	**38,78 Lt**
Data	2008.09.26					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	7791	7702	89	kwh	0.32	28,48 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	7347	7261	86	kwh	0.18	15,48 Lt
					Suma	**43,96 Lt**
Data	2008.11.28					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	8684	7791	893	kwh	0.32	285,76 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	8688	7347	1341	kwh	0.18	241,38 Lt
					Suma	**527,14 Lt**
Data	2008.12.24					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	9636	8684	952	kwh	0.32	304,64 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	10102	8688	1414	kwh	0.18	254,52 Lt
					Suma	**559,16 Lt**

A priedo tęsinys

Data	2009.01.20					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	10966	9636	1330	kwh	0.32	425,60 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	11979	10102	1877	kwh	0.18	337,86 Lt
					Suma	**763,46 Lt**
Data	2009.02.27					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	12354	10966	1388	kwh	0.36	499,68 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	13706	11979	1727	kwh	0.22	379,94 Lt
					Suma	**879,62 Lt**
Data	2009.03.30					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	13500	12354	1146	kwh	0.36	412,56 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	15736	13706	2030	kwh	0.22	446,60 Lt
					Suma	**859,16 Lt**
Data	2009.04.27					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	13821	13500	321	kwh	0.36	115,56 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	16455	15736	719	kwh	0.22	158,18 Lt
					Suma	**273,74 Lt**
Data	2009.05.28					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	13931	13821	110	kwh	0.36	39,60 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	16682	16455	227	kwh	0.22	49,94 Lt
					Suma	**89,54 Lt**

A priedo pabaiga

Data	2009.06.30					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	14052	13931	121	kwh	0.36	43,56 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	16954	16682	272	kwh	0.22	59,84 Lt
					Suma	**103,40 Lt**
Data	2009.07.31					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	14179	14052	127	kwh	0.36	45,72 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	17153	16954	199	kwh	0.22	43,78 Lt
					Suma	**89,50 Lt**
Data	2009.08.28					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	14275	14179	96	kwh	0.34	32,64 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	17316	17153	163	kwh	0.20	32,60 Lt
					Suma	**65,24 Lt**
Data	2009.09.28					
Paslauga	**Skaitiklis iki**	**Skaitiklis nuo**	**Skirtumas**	**Mato vnt.**	**Tarifas**	**Suma**
l.Elektra	14397	14275	122	kwh	0.34	41,48 Lt
2.Elektra (naktį, šešt.,sekm.)	17526	17316	210	kwh	0.20	42,00 Lt
					Suma	**83,48 Lt**

B priedas

B.1 pav. Ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterės vertinimos sistemos sienų alternatyvų rezultatai

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Results of multiple criteria evaluation of the alternatives

Please select solution under consideration

Sienos

Quantitative and qualitative information pertinent to alternatives									
Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Compared alternatives					
				Rastu sienos	Karkasinės	Skydinės	Šiaudų	Molio	Medžio cementiniai blokai
Kaina	-	Lt/m2	0,2	0,0634 AVG MIN	0,0317 AVG MIN	0,0468 AVG MIN	0,0151 AVG MIN	0,0181 AVG MIN	0,0249 AVG MIN
Sienos storis	-	mm	0,05	0,0053 AVG MIN	0,0056 AVG MIN	0,0064 AVG MIN	0,0111 AVG MIN	0,0122 AVG MIN	0,0093 AVG MIN
Šilumos varža	+	m2*K/W	0,14	0,0207 AVG MIN	0,0274 AVG MIN	0,0218 AVG MIN	0,0346 AVG MIN	0,0142 AVG MIN	0,0212 AVG MIN
Darbų atlikimo sezoniškumas	+	Points	0,05	0,01 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,005 AVG MIN	0,0075 AVG MIN	0,0075 AVG MIN
Papildomi apdailos darbai	+	Points	0,09	0,0245 AVG MIN	0,0164 AVG MIN	0,0164 AVG MIN	0,0164 AVG MIN	0,0082 AVG MIN	0,0082 AVG MIN
Ilgaamžiškumas	+	Year	0,09	0,0158 AVG MIN	0,0112 AVG MIN	0,0112 AVG MIN	0,0158 AVG MIN	0,018 AVG MIN	0,018 AVG MIN
Statybos trukmė (150 kv.m)	-	days	0,1	0,0122 AVG MIN	0,0152 AVG MIN	0,0037 AVG MIN	0,0183 AVG MIN	0,0304 AVG MIN	0,0203 AVG MIN
Rekonstrukcijos galimybės	+	Points	0,08	0,0089 AVG MIN	0,0178 AVG MIN	0,0178 AVG MIN	0,0089 AVG MIN	0,0089 AVG MIN	0,0178 AVG MIN
Ekologiškumas	-	Points	0,2	0,025 AVG MIN	0,0375 AVG MIN	0,05 AVG MIN	0,0125 AVG MIN	0,0125 AVG MIN	0,0625 AVG MIN
The sums of weighted normalized maximizing (projects 'pluses') indices of the alternative				0,0799	0,0828	0,0772	0,0807	0,0568	0,0727
The sums of weighted normalized minimizing (projects 'minuses') indices of the alternative				0,1059	0,09	0,1069	0,057	0,0732	0,117
Significance of the alternative				0,166	0,1765	0,1585	0,2166	0,1587	0,1402
Priority of the alternative				3	2	5	1	4	6
Utility degree of the alternative (%)				76,63%	81,48%	73,17%	99,99%	73,26%	64,72%

- The sign "" indicates that a greater (less) criterion value corresponds to a greater significance for a user (stakeholders)

B priedo tęsinys

B.2 pav. Ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterės vertinimos sistemos stogo dangos alternatyvų rezultatai

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Results of multiple criteria evaluation of the alternatives

Please select solution under consideration

Stogas

Quantitative and qualitative information pertinent to alternatives								
Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Compared alternatives				
				Čerpių	Skiedrų	Šiaudų, nendrių	Apželdintas	Akmeninis
Kaina	-	Lt/m2	0,16	0,0338 AVG MIN	0,018 AVG MIN	0,0338 AVG MIN	0,0406 AVG MIN	0,0338 AVG MIN
Ekologiškumas	-	Points	0,2	0,075 AVG MIN	0,025 AVG MIN	0,025 AVG MIN	0,025 AVG MIN	0,05 AVG MIN
Ilgaamžiškumas	+	Year	0,18	0,06 AVG MIN	0,024 AVG MIN	0,03 AVG MIN	0,006 AVG MIN	0,06 AVG MIN
Minimalus nuolydžio kampas	-	degree	0,07	0,0113 AVG MIN	0,0206 AVG MIN	0,0219 AVG MIN	0,0006 AVG MIN	0,0156 AVG MIN
Statybos trukmė (150 m2)	-	days	0,1	0,0097 AVG MIN	0,0139 AVG MIN	0,0208 AVG MIN	0,0417 AVG MIN	0,0139 AVG MIN
Darbų atlikimo sezoniškumas	+	Points	0,03	0,008 AVG MIN	0,006 AVG MIN	0,004 AVG MIN	0,004 AVG MIN	0,008 AVG MIN
Stogo priedai	+	Points	0,04	0,0057 AVG MIN	0,0057 AVG MIN	0,0114 AVG MIN	0,0057 AVG MIN	0,0114 AVG MIN
Atstumas tarp gegnių	+	m	0,04	0,0073 AVG MIN	0,0121 AVG MIN	0,0121 AVG MIN	0,0048 AVG MIN	0,0036 AVG MIN
Svoris	-	kg/m2	0,06	0,0145 AVG MIN	0,0029 AVG MIN	0,0087 AVG MIN	0,0218 AVG MIN	0,032 AVG MIN
Šilumos izoliacinės savybės	-	Points	0,06	0,015 AVG MIN	0,015 AVG MIN	0,005 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,015 AVG MIN
Priežiūra	-	Points	0,04	0,0067 AVG MIN	0,0067 AVG MIN	0,0067 AVG MIN	0,0133 AVG MIN	0,0067 AVG MIN
The sums of weighted normalized maximizing (projects 'pluses') indices of the alternative				0,081	0,0478	0,0575	0,0205	0,083
The sums of weighted normalized minimizing (projects 'minuses') indices of the alternative				0,166	0,1021	0,1219	0,153	0,167
Significance of the alternative				0,2178	0,2274	0,2034	0,1419	0,1993
Priority of the alternative				2	1	3	5	4
Utility degree of the alternative (%)				95,77%	99,99%	89,44%	62,39%	87,63%

B priedo tęsinys

B.3 pav. Ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterės vertinimos sistemos šilumos izoliacijos alternatyvų rezultatai

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Results of multiple criteria evaluation of the alternatives

Please select solution under consideration

Šilumos izoliacija

Quantitative and qualitative information pertinent to alternatives									
Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Compared alternatives					
				Akmens vata	Medžio pluošto vata	Celiuliozės vata	Kanapių pluošto vata	Vilnos pluošto vata	Linų pluošto vata
Kaina	-	Lt/m3	0,19	0,0123 AVG MIN	0,0257 AVG MIN	0,0199 AVG MIN	0,0327 AVG MIN	0,0479 AVG MIN	0,0514 AVG MIN
Ekologiškumas	-	Points	0,19	0,0594 AVG MIN	0,0475 AVG MIN	0,0356 AVG MIN	0,0119 AVG MIN	0,0119 AVG MIN	0,0238 AVG MIN
Šilumos laidumo koeficientas	-	λD[W/(m*K)]	0,19	0,0304 AVG MIN	0,0313 AVG MIN	0,0321 AVG MIN	0,0329 AVG MIN	0,0321 AVG MIN	0,0313 AVG MIN
Tankis	+	kg/m3	0,08	0,0118 AVG MIN	0,0168 AVG MIN	0,0094 AVG MIN	0,0134 AVG MIN	0,0185 AVG MIN	0,0101 AVG MIN
Atsparumas slėgimui	+	kPA	0,05	0,01 AVG MIN	0,005 AVG MIN	0,005 AVG MIN	0,005 AVG MIN	0,016 AVG MIN	0,009 AVG MIN
Savitoji orinė varža	+	kPA*s/m2	0,08	0,0166 AVG MIN	0,0166 AVG MIN	0,0202 AVG MIN	0,0066 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,01 AVG MIN
Degumo klasė	-	Points	0,06	0,0026 AVG MIN	0,013 AVG MIN	0,0052 AVG MIN	0,013 AVG MIN	0,013 AVG MIN	0,013 AVG MIN
Oro laidumo koeficientas	-	m3/m*s*Pa	0,05	0,0037 AVG MIN	0,0034 AVG MIN	0,0034 AVG MIN	0,0034 AVG MIN	0,0326 AVG MIN	0,0035 AVG MIN
Garso sugertis	+	αw	0,07	0,013 AVG MIN	0,011 AVG MIN	0,0107 AVG MIN	0,011 AVG MIN	0,0134 AVG MIN	0,011 AVG MIN
Vandens įmirkis	-	kg/m2	0,04	0,0048 AVG MIN	0,0071 AVG MIN	0,0071 AVG MIN	0,0062 AVG MIN	0,0086 AVG MIN	0,0062 AVG MIN
The sums of weighted normalized maximizing (projects 'pluses') indices of the alternative				0,0514	0,0494	0,0453	0,036	0,0579	0,0401
The sums of weighted normalized minimizing (projects 'minuses') indices of the alternative				0,1132	0,128	0,1033	0,1001	0,1461	0,1292
Significance of the alternative				0,1693	0,1605	0,1763	0,1669	0,1532	0,1496
Priority of the alternative				2	4	1	3	5	6
Utility degree of the alternative (%)				96,01%	91,02%	99,98%	94,65%	86,88%	84,84%

- The sign "" indicates that a greater (less) criterion value corresponds to a greater significance for a user (stakeholders)

B priedo pabaiga

B.4 pav. Ekologiško namo konstrukcijų daugiakriterės vertinimos sistemos šildymo sistemos alternatyvų rezultatai

Computer-aided multivariant design and multiple criteria analysis of intelligent Eco-friendly houses alternatives

Main page | Description of the alternatives | Results of multiple criteria evaluation of the alternatives | Computer-aided development of the feasible alternatives | Multiple criteria analysis of the developed feasible alternatives | Recommendations for user

Results of multiple criteria evaluation of the alternatives

Please select solution under consideration

Šildymo sistema

Quantitative and qualitative information pertinent to alternatives							
Criteria describing the alternatives	*	Measuring units	Weight	Compared alternatives			
				Geoterminis	Infraraudonuju spinduliu plokštės	Joninis-elektroninis	Kieto kuro katilas
Ekologiškumas	-	Points	0,24	0,0267 AVG MIN	0,0533 AVG MIN	0,08 AVG MIN	0,08 AVG MIN
Kaina	-	Lt	0,24	0,117 AVG MIN	0,0711 AVG MIN	0,0331 AVG MIN	0,0188 AVG MIN
Katilinės dydis	-	m2	0,08	0,0369 AVG MIN	0 AVG MIN	0,0062 AVG MIN	0,0369 AVG MIN
Atsipirkimo laikas	-	Year	0,14	0,0535 AVG MIN	0,0412 AVG MIN	0,0329 AVG MIN	0,0124 AVG MIN
Darbo rėžimai	+	Points	0,08	0,03 AVG MIN	0,01 AVG MIN	0,02 AVG MIN	0,02 AVG MIN
Aptarnavimas	-	Points	0,07	0,014 AVG MIN	0,014 AVG MIN	0,014 AVG MIN	0,028 AVG MIN
Papildomi šildymo prietaisai	+	Points	0,08	0,016 AVG MIN	0,032 AVG MIN	0,016 AVG MIN	0,016 AVG MIN
Dūmtraukis	+	Points	0,07	0,02 AVG MIN	0,02 AVG MIN	0,02 AVG MIN	0,01 AVG MIN
The sums of weighted normalized maximizing (projects 'pluses') indices of the alternative				0,066	0,062	0,056	0,046
The sums of weighted normalized minimizing (projects 'minuses') indices of the alternative				0,2481	0,1796	0,1662	0,1761
Significance of the alternative				0,2538	0,2857	0,2798	0,2513
Priority of the alternative				3	1	2	4
Utility degree of the alternative (%)				88,84%	100,01%	97,95%	87,97%

- The sign "" indicates that a greater (less) criterion value corresponds to a greater significance for a user (stakeholders)