



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO KATEDRA

Gediminas Kananavičius

**MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ NAUDOJIMO PLĖTOJANT TVARIĄ
STATYBĄ LIETUVOJE GALIMYBIŲ ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING CROSS-LAMINATED
TIMBER IN DEVELOPING SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN
LITHUANIA**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Artūras Kaklauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Gediminas Kananavičius

**MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ NAUDOJIMO PLĖTOJANT TVARIĄ
STATYBĄ LIETUVOJE GALIMYBIŲ ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING CROSS-LAMINATED
TIMBER IN DEVELOPING SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN
LITHUANIA**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Artūras Kaklauskas

(Vardas, pavardė)

2021-05-24

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2019-09-19 Nr.

Vilnius

Studentui (ei)

Gediminas Kananavičius

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema:

**MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ NAUDOJIMO PLĖTOJANT TVARIĄ STATYBĄ
LIETUVOJE GALIMYBIŲ ANALIZĖ**

patvirtinta 2021m. kovo 09 d. dekanu potvarkiu Nr. 81 st.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2021m. gegužės 30 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išnagrinėti medžio masyvo plokščių taikymo šiuolaikinėje statyboje aspektus. Atlikti medžio masyvo plokščių technologinių ir konstrukcinių charakteristikų analizę. Apžvelgti medžio masyvo plokščių naudojimo tvarioje statyboje galimybes ir patirtį ES šalyse. Atlikti skirtingų tipų medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriterį vertinimą. Ištirti medžio masyvo plokščių naudojimo galimybes plėtojant tvarią statybą Lietuvoje.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Lietuvių kalbos konsultantė: lekt. Lina Rutkienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

.....

(Paraša)

...doc. dr. Darius Kalibatas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

Gediminas Kananavičius

(Vardas, pavardė)

2019-11-08

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Medžio masyvo plokščių naudojimo plėtojant tvarią statybą Lietuvoje galimybių analizė**

Autorius **Gediminas Kananavičius**

Vadovas **Darius Kalibatas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Magistro baigiamajame darbe tiriamos teorinės ir praktinės medžio masyvo plokščių naudojimo Lietuvoje, plėtojant tvarią statybą, galimybės. Rengiant magistro baigiamąjį darbą, buvo išnagrinėti medžio masyvo plokščių taikymo aspektai plėtojant tvarią statybą. Remiantis įvairiais moksliniais tyrimais atlikta CTL naudojimo tvarioje statyboje galimybių ir patirties ES šalyse analizė. Praktinėje dalyje atliktas skirtingų tipų CTL plokščių techninių charakteristikų daugiakriterijinis vertinimas. Ištirtos CTL plokščių naudojimo galimybės plėtojant tvarią statybą Lietuvoje. Nustatyta, kad CTL yra perspektyvi medžiaga, kuri gali būti naudojama plėtojant tvarią statybą Lietuvoje. Remiantis tyrimų rezultatais pateikiamos rekomendacijos CTL naudojimo skatinimui Lietuvoje siekiant plėtoti tvarią statybą.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, mokslinės literatūros apžvalga, tiriamos problemos analizė ir formulavimas, medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriteris vertinimas ir naudojimo Lietuvos statybos sektoriuje galimybių analizė tvarios statybos kontekste, išvados ir siūlymai, literatūra. Darbo apimtis – 90 puslapių teksto be priedų, 57 iliustracijos, 16 lentelės, 60 bibliografinių šaltinių. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: medžio masyvo plokštė, darnus vystymasis, tvari statyba, medinės konstrukcijos, kombinuotosios konstrukcijos.

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Civil Engineering Department of Construction Management and Real Estate	ISBN ISSN Copies No. Date-.....-.....
Master Degree Studies Construction Technologies and Management study programme Master's thesis Title Analysis of Possibilities to Use Solid Wood Panels in Developing Sustainable Construction in Lithuania Author Gediminas Kananavičius Academic supervisor Darius Kalibatas	
Thesis language: Lithuanian	
Annotation The master 's thesis investigates the theoretical and practical possibilities of using CTL panels in Lithuania in the development of sustainable construction. During the preparation of the master 's thesis, the aspects of the application of solid wood panels in the development of sustainable construction were examined. An analysis of the possibilities and experiences of using CTL in sustainable construction in EU countries has been carried out on the basis of various scientific studies. In the practical part, a multicriteria evaluation of the technical characteristics of different types of CTL plates was performed. Possibilities of using CTL boards in developing sustainable construction in Lithuania have been investigated. It has been established that CTL is a promising material that can be used in the development of sustainable construction in Lithuania. Based on the research results, recommendations are provided for the promotion of the use of CTL in Lithuania in order to develop sustainable construction. Structure: introduction, review of scientific literature, analysis and formulation of the researched problem, multi-criteria evaluation of technical characteristics of solid wood panels and analysis of possibilities of use in the Lithuanian construction sector in the context of sustainable construction, conclusions and suggestions, literature. Thesis consists of: 90 pages of text without appendixes, 57 illustrations, 16 tables, 60 bibliographical entries. Work appendices are attached separately.	
Keywords: solid wood panel, sustainable development, sustainable construction, wooden structures, combined structures.	

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Gediminas Kananavičius, 20185896

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-19

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

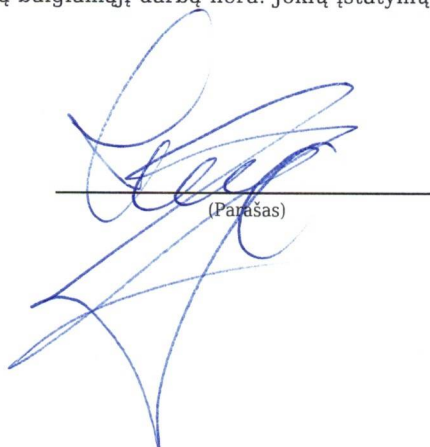
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2021 m. gegužės 16 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Medžio masyvo plokščių naudojimo plėtojant tvarią statybą Lietuvoje galimybių analizė“ patvirtintas 2021 m. kovo 09 d. dekanų potvarkiu Nr. 81st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas docentas daktaras Darius Kalibatas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Gediminas Kananavičius

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

SANTRUMPOS.....	8
ĮVADAS.....	9
1. MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ NAUDOJIMO PLĖTOJANT TVARIĄ STATYBĄ TEORINIAI ASPEKTAI	11
1.1. Tvarios statybos koncepcija ir jos svarba ES statybos sektoriui.....	11
1.2. Medinės konstrukcijos tvarioje statyboje	14
1.3. Medžio masyvo plokštės ir jų taikymas šiuolaikinėje statyboje.....	17
1.3.1. Medžio masyvo plokštės samprata ir raida	17
1.3.2. Medžio masyvo plokštės kaip statybos sistema.....	20
1.4. Medžio masyvo plokščių technologinių ir konstrukcinių charakteristikų analizė.	23
1.4.1. Medžio masyvo plokščių gamybos technologija ir sertifikavimas.....	23
1.4.2. Medžio masyvo plokščių tipologija ir techninių charakteristikų analizė.....	26
1.4.3. Medžio masyvo plokščių konstrukcijos ypatybių analizė.....	30
1.5. Medžio masyvo plokščių naudojimas tvarioje statyboje.....	34
1.5.1. Medžio masyvo plokščių panaudojimo tvarioje statyboje galimybių analizė..	34
1.5.2. Medžio masyvo plokščių naudojimo tvarioje statyboje privalumai ir trūkumai, barjerai.....	37
2. MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ TECHNINIŲ CHARAKTERISTIKŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS IR NAUDOJIMO LIETUVOS STATYBOS SEKTORIUJE GALIMYBIŲ ANALIZĖ TVARIOS STATYBOS KONTEKSTE.....	42
2.1. Medžio masyvo plokščių naudojimo ES šalių pastatų statyboje patirtis.....	42
2.2. Skirtingų tipų medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriteris vertinimas.....	49
2.2.1. Daugiakriterio vertinimo metodika.....	49
2.2.2. Daugiakriterio vertinimo rezultatai.....	52
2.3. Medžio masyvo plokščių naudojimo galimybių plėtojant tvarią statybą Lietuvoje tyrimas	53
2.3.1. Ekspertinio tyrimo metodika.....	53
2.3.2. Ekspertinio tyrimo rezultatai.....	56
2.3.3. Ryšių tarp tvarios statybos principų įgyvendinamų statybos įmonėje ir elementų ir tvarios statybos reikalavimų užtikrinimo naudojant CTL gyvenamojoje statyboje analizė .	78
2.4. Tvarios statybos skatinimas Lietuvoje plėtojant medžio masyvo plokštės naudojimą.....	81
IŠVADOS IR SIŪLYMAI.....	83
NAUDOTOS LITERATŪROS IR KITŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	86

SANTRUMPOS

CTL – Cross-Laminated Timber (Kryžminė mediena)

FFTT technologija – Miškas per medžius (angl. Forest Through the Trees)

JT- Jungtinių Tautų organizacija

ISO - Tarptautinė Standartizacijos Organizacija (angl. International Organization for Standardization)

LCA - Gyvavimo ciklo vertinimas (angl. Life Cycle Assessment)

LVL - Laminuota faneruota mediena (angl. Laminated Veneer Lumber)

MHM - Massiv-Holz-Mauer (prekės ženklo pavadinimas)

USGBC - JAV žaliųjų pastatų taryba (angl. U.S. Green Building Council)

XLAM – technologija numatanti statybinių plokščių kryžminį sluoksniavimą.

IVADAS

Darbo aktualumas. Statybos sektorius yra vienas didžiausių energijos ir išteklių vartotojų pasaulyje, darantis didelį poveikį planetos taršai ir klimato kaitai. Sikras (2017) nurodo, kad Didžiosios Britanijos žaliosios statybos tarybos duomenimis, statybos sektoriaus tarša sudaro 23 proc. atmosferos taršos, 40 proc. geriamojo vandens taršos, šis sektorius sukuria daugiau nei 50 proc. atliekų, kurios nėra perdirbamos. Remiantis naujais statybos tinklaraščio „Bimhow“ tyrimais, statybos sektorius sudaro 23 proc. oro taršos, 50 proc. klimato pokyčių, 40 proc. geriamojo vandens ir 50 proc. sąvartynų atliekų. Atlikus atskirus JAV žaliųjų pastatų tarybos (USGBC) tyrimus, nustatyta, kad statybos pramonė sunaudoja 40 proc. viso pasaulio energijos kiekio, apskaičiuota, kad iki 2030 m. komercinių pastatų išmetamų teršalų kiekis padidės 1,8 proc. (Sikra, 2017). Smirnova ir Larionova (2020) nurodo, kad statybos procese sąlygojamas ekosistemų griovimas vietinėse vietovėse. Didžiulė statybos sektoriaus tarša formuoja poreikį ieškoti būdų optimizuoti statybos procesą, naudoti ekologiškas ir lengvai perdirbamas medžiagas. Vienas iš tokių sprendimų medžio masyvo plokščių naudojimas.

Medžio masyvo plokštė (CTL) – daugiasluoksnė konstrukcija, kurią sudaro tarpusavyje suklijuotos juostelės, sujungtos keliais sluoksniais, kurių skaičius priklauso nuo gamybos technologijos (Dementev, 2020, p. 96).

XXI a. ištobulinta medžio masyvo plokščių gamybos technologija atveria plačias jų taikymo statyboje galimybes. Nepaisant to, medžio masyvo plokščių naudojimas statybos sektoriuje nėra masinis. Tačiau medžio masyvo plokščių naudojimas gyvenamojoje ir komercinėje statyboje atvertų naujas galimybes skatinti tvarią statybą Lietuvoje, mažinti taršą ir užtikrinti spartesnę statybos procesą. Atsižvelgiant į tai yra aktualu analizuoti medžio masyvo plokščių panaudojimo Lietuvos statybos sektoriuje galimybes.

Darbo problema susijusi su nepakankamu medžio masyvo plokščių naudojimu Lietuvos statybos sektoriuje. Pastaruosius penkiolika metų Lietuvos statybos sektorius sparčiai vystosi, diegiamos naujos technologijos, intensyviai ieškoma būdų, kaip padidinti darbo našumą. Tačiau pagrindinis dėmesys skiriama ekonominiams statybos aspektams neatsižvelgiant į aplinkosaugą. Šiandieną medžio masyvo plokštės, kaip ir kitos ekologiškos statybinės medžiagos, Lietuvoje naudojamos pavieniais atvejais, daugeliu atvejų individualių namų savininkų iniciatyva. Daugiaaukščių gyvenamųjų ir komercinių pastatų statyboje ir toliau aktyviai naudojamos tradicinės, ekologiškai neefektyvios statybinės medžiagos. Daroma prielaida, kad medžio masyvo plokščių naudojimą Lietuvos statybos sektoriuje

riboja ne tik technologinių ir konstrukcinių charakteristikų naujumas bei specifiškumas, kaina, bet ir nusistovėjusios tradicijos bei inovacijų baimė.

Problemų ištirtumas. Išanalizavus mokslinius tyrimus 2015–2020 m. laikotarpiu galima teigti, kad mokslininkų dėmesys medžio masyvo plokščių naudojimui sparčiai didėja. Vienas pirmųjų tyrimų, pagrindžiančių medžio masyvo plokščių naudojimo efektyvumą, buvo atliktas Kolbo (Kolb, 2008). Autorius analizavo medžio masyvo plokščių naudojimo statybos sektoriuje galimybes ir ypatybes, nustatė plačias taikymo galimybes. Karacabeylis ir Douglas (2013) atliko detalią medžio masyvo plokščių naudojimo statybos sektoriuje analizę, o Borgströmas ir Fröbelis (2019) atliko CTL, kaip daugiavienės statybinės medžiagos, analizę, šias plokštes įvertindami ir tvarios statybos aspektu tvarios statybos aspektą. Kosovas (Kosov, 2019) analizavo CTL naudojimo viešųjų pastatų statyboje galimybes, o Reshetnikovas ir Makaridze (Reshetnikov ir Makaridze, 2019) tyrė CTL statybos technologijas. Lysenko (2018), Mahamidas (Mahamid, 2020) tyrė CTL masinės gamybos, standartizavimo ir sertifikavimo bei kokybės užtikrinimo klausimus. Atlikti tyrimai pagrindė CTL naudojimo statybos ekonominį, ekologinį ir socialinį naudingumą. Lietuvoje CTL naudojimo problematika nėra pakankamai ištirta, neatskleisti CTL naudojimo naudingumo aspektai, nenustatyti veiksniai, lemiantys CTL naudojimo šalies statybos sektoriuje ribotumus. Tai formuoja papildomą poreikį tirti CTL naudojimo Lietuvos statybos sektoriuje galimybes.

Darbo objektas – medžio masyvo plokščių naudojimas Lietuvos statybos sektoriuje.

Darbo tikslas – ištirti teorines ir praktines medžio masyvo plokščių naudojimo Lietuvoje, plėtojant tvarią statybą, galimybes.

Darbo uždaviniai:

1. Išnagrinėti medžio masyvo plokščių taikymo šiuolaikinėje statyboje aspektus;
2. Atlikti medžio masyvo plokščių technologinių ir konstrukcinių charakteristikų analizę;
3. Apžvelgti medžio masyvo plokščių naudojimo tvarioje statyboje galimybes ir patirtį ES šalyse;
4. Atlikti skirtingų tipų medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriterį vertinimą;
5. Ištirti medžio masyvo plokščių naudojimo galimybes plėtojant tvarią statybą Lietuvoje.

Tyrimo metodai: teorinė studija; teisės aktų analizė; statistinių duomenų analizė; specialistų anketinė apklausa, daugiakriteris vertinimas.

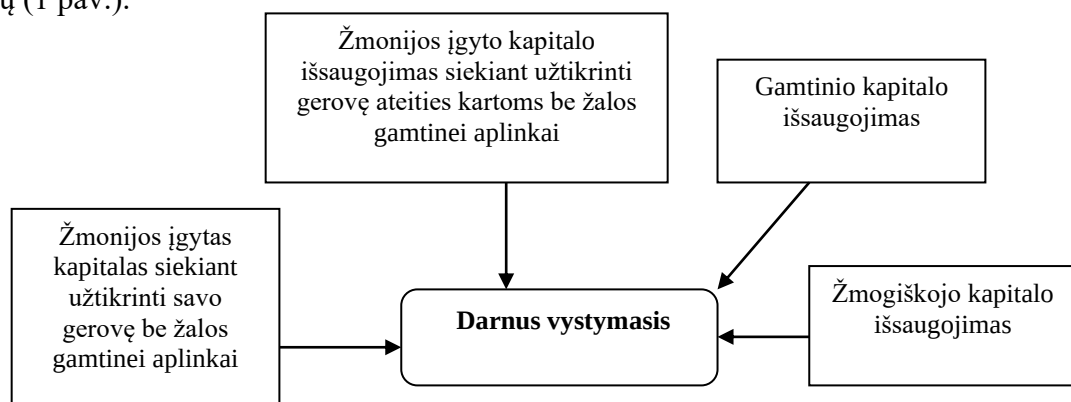
Darbo struktūra. Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, mokslinės literatūros apžvalga, tiriamos problemos analizė ir formulavimas, medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriteris vertinimas ir naudojimo Lietuvos statybos sektoriuje galimybių analizė tvarios statybos kontekste, išvados ir siūlymai, literatūra.

1. MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ NAUDOJIMO PLĖTOJANT TVARIĄ STATYBĄ TEORINIAI ASPEKTAI

1.1. Tvarios statybos koncepcija ir jos svarba ES statybos sektoriui

Darnus vystymasis – tai savotiškas kompromisas tarp ekonominių, aplinkosauginių ir socialinių visuomenės tikslų, leidžiantis siekti visuotinės gerovės sau ir ateinančioms kartoms, neviršijant leistinų poveikio aplinkai ribų (Dementjeva, 2011). Remiantis Jungtinių Tautų (JT) Pasaulinės aplinkos apsaugos ir plėtros komisijos pateikiama samprata, „darnus vystymasis apibūdinamas kaip vystymasis, tenkinantis dabartinio laikotarpio poreikius, nesudarant pavojaus būsimoms kartoms juos tenkinti, t. y. ekonomikos plėtra atitinka aplinkosauginius reikalavimus“ (Domarkas, Juknevičienė ir Kareivaite, 2012, p. 463). Prielaidos tvarios statybos vystymusi buvo suformuotos po Rio de Žaneire vykusios JT aplinkos apsaugos konferencijos ir „Darnaus vystymosi“ koncepcijos priėmimo, po to įvyko tarptautinės konferencijos „Tvari statyba“ (Tampa, JAV, 1994), „Statyba ir aplinka“ (Paryžius, 1997) ir kt. konferencijos, kuriose „tvarios statybos“ sąvoka buvo apibrėžta kaip sveikos dirbtinės gyvenimo aplinkos sukūrimas ir atsakingas palaikymas, pagrįstas efektyviu gamtos išteklių naudojimu ir aplinkosaugos principais (Tam ir Le, 2019; Chun, Claisse, Naik ir Ganjian, 2020). Tvaraus vystymosi problemas mokslininkai visada nagrinėja aplinkosaugos problemų kontekste (Абрамян ir Оганесян, 2016).

XX a. antroje pusėje sparčiai vystantis statybos sektoriui, susirūpinta jo daroma žala aplinkai, pradėta ieškoti neigiamo poveikio mažinimo galimybių. Sprendžiant šią problemą darnaus vystymosi kontekste imtas taikyti terminas „tvari statyba“ (Das ir Neithalath, 2018). Šis terminas apibūdina požiūrį, remiantis kuriuo statybos procesas turėtų būti vykdomas minimizuojant neigiamą poveikį aplinkai. Darnaus vystymosi koncepcijos taikymas statybos sektoriuje susideda iš keturių pagrindinių elementų (1 pav.).



1 pav. Tvarios statybos elementai darnaus vystymosi kontekste (Абрамян ir Оганесян, 2016, p.204)

Tvarios statybos koncepcija apima skirtingus elementus. Iš vienos pusės, siekiama įgyti kapitalą žmonijos gerovei užtikrinti, nedarant neigiamo poveikio gamtai ir užtikrinant jo išlaikymą. Iš kitos pusės, yra siekis išlaikyti gamtinį ir žmogiškąjį kapitalą. Realizuojant tvarios statybos koncepciją siekiama suderinti visus šiuos elementus.

Pagrindiniuose statybos sektoriaus postulatuose teigiama, kad statybos procesas yra tvarus, jei integruoto statybos ciklo metu, t. y. vykstant gavybai ir perdirbimui, naudojami darnios miesto teritorijos plėtros principai, kurie realizuojami žaliavų, pastatų projektavimo ir statybos, jų rekonstrukcijos ir atliekų tvarkymo srityse (Murzin, 2019). Remiantis Tamu ir Le (Tam ir Le, 2019), tvarios statybos koncepcija numato gamtos ir sukurtos aplinkos harmonijos palaikymą, statomų objektų integravimą į gamtinę aplinką, ekonominio teisingumo skatinimą. Vadovaujantis tvarios statybos koncepcija jau projektavimo procese siekiama taupumo, naudingumo, ilgaamžiškumo ir patogumo principų realizavimo, taip pat maksimalaus atsinaujinančios energijos šaltinių panaudojimo (Goodhew, 2016).

Pastatuose, statomuose pagal tvarios statybos principus, naudojamos aplinkai nekenksmingos medžiagos ir atsinaujinanti energija, iš augalų ir medžių sukuriama žaliosios struktūros, kaupiamas ir naudojamas atmosferos vanduo ir kt. Dėl to energijos suvartojimas sumažėja maždaug ketvirtadaliu, o vandens suvartojama trečdaliu (Murzin, 2019). Mokslininkai Chunas su bendraautoriais (Chun, Claisse, Naik ir Ganjian, 2020), Tamas ir Le (Tam ir Le, 2019) tvarią statybą suvokia kaip sistemą, kurioje suderinami ekologiniai, ekonominiai ir socialiniai principai integruojami į bendrą visumą.

Tvarios statybos sistemos organizavimas apima šių metodų įgyvendinimą (Murzin, 2019, p. 14):

1. Tvarus statybvietės projektavimas:

1.1. Minimalus vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimas.

1.2. Didesnio miestų plėtros intensyvumo, rekonstruojant miestus ir atnaujinant senus pastatus, išlaikymas.

1.3. Teritorijos ekologinės vertės išsaugojimas, atliekant išsamų statybvietės tyrimą.

1.4. Projektavimo ir statybos derinys, orientuotas į gamtinės aplinkos, esančios statybos vietoje, sunaikinimo minimizavimą, gyvenamosios aplinkos išsaugojimą ir atkūrimą.

2. Vandens kokybė ir naudojimo sumažėjimas:

2.1. Esamo vandens ciklo išsaugojimas, projektavimas ir statyba, priartinant juos prie natūralių hidrologinių sistemų.

2.2. Sumažinti neefektyvų vandens naudojimą statybvietėje, užtikrinamas vandens valymas ir pakartotinas panaudojimas, taip pat naudojamas lietaus, drenažo vanduo.

3. Energija ir aplinka:

3.1. Siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai optimizuojama statybvietė, taikomi tvarūs pastato projektavimo sprendimai, pasirenkamos ekologiškos medžiagos ir aktyviai taupoma energija.

3.2. Užtikrinamas maksimalus atsinaujinančių ir kitų žemo potencialo energijos šaltinių naudojimas.

4. Patalpų aplinkos kokybė:

4.1. Užtikrinamas sveikas, patogus patalpų klimatas.

4.2. Projektuojant pastatus, atsižvelgiama į patalpų oro kokybę, vėdinimo, šiluminio komforto, natūralaus vėdinimo ir natūralios šviesos parametrus, veiksmingą aplinkos parametrų kontrolę.

5. Medžiagos ir ištekliai:

5.1. Mažinant neatsinaujinančių statybinių medžiagų ir kitų išteklių naudojimą efektyviai projektuojama ir šalinamos statybinės atliekos.

5.2. Maksimaliai panaudojamos perdirbtos ir modernios išteklius taupančios medžiagos, taip pat medžiagos sukurtos biologiniu pagrindu.

Tvarios statybos principų įgyvendinimas grindžiamas vadinamųjų „žaliųjų technologijų“ naudojimu, kurios reiškia novatoriškus sprendimus, pagrįstus darnaus vystymosi, išteklių minimizavimo ir pakartotinio naudojimo principais. Pagrindinės žaliųjų technologijų plėtros kryptys apima teršalų susidarymo gamybos procese mažinimo technologinius aspektus, naujų medžiagų kūrimą, išteklius ir energiją taupančius gamybos procesus, atsinaujinančių žaliavų naudojimą, nanotechnologinių sprendimų plėtrą (Murzin, 2019).

Saugių statybinių medžiagų pasirinkimas naujoms statyboms ir restauravimui laikomas viena iš efektyviausių aplinkos apsaugos priemonių siekiant sumažinti statybos sektoriaus neigiamą poveikį gamtai. Renkantis statybines medžiagas, aplinkosaugos reikalavimai taikomi užtikrinant aplinkos komfortą, atsižvelgiant į garso izoliaciją, izoliaciją nuo įsiskverbiančio radono, atsisakymą naudoti sveikatai pavojingas medžiagas (stengiamasi išvengti asbesto, PVC ir kitų statybinių medžiagų, turinčių sveikatai pavojingų medžiagų) (Chun, Claisse, Naik ir Ganjian, 2020; Das ir Neithalath, 2018; Goodhew, 2016).

Įgyvendinant tvarios statybos koncepciją ypatingą reikšmę įgyja statybinės medžiagos, gaminamos iš atsinaujinančių gamtinių išteklių, neturinčios neigiamo poveikio aplinkai ir tinkamos antriniam perdirbimui. Viena tokių medžiagų yra medžio masyvo plokštės.

Apibendrinant galim ateigti, kad darnus vystymasis numato ekonominių, aplinkosauginių ir socialinių visuomenės tikslų derinimą siekiant visuotinės gerovės sau ir ateinančioms kartoms,

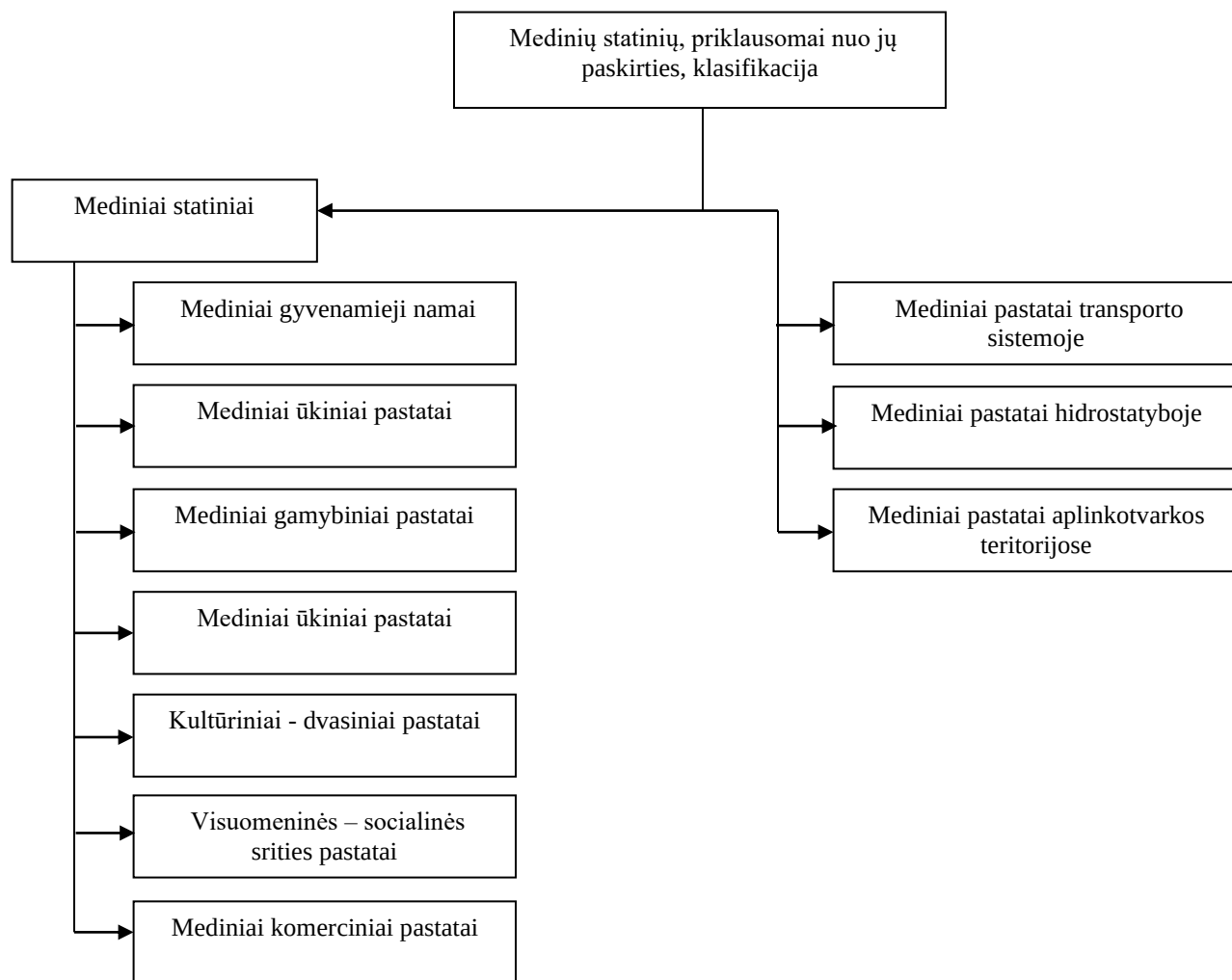
neviršijant leistinų poveikio aplinkai ribų. Darnus vystymosi principai statyboje realizuojami koncepcijoje „tvari statyba“, kuri numato, kad statybos procesas turėtų būti vykdomas minimizuojant neigiamą poveikį aplinkai. Statybos procesas yra tvarus, jei integruoto statybos ciklo metu naudojami darnios miesto teritorijos plėtros principai, kurie realizuojami žaliavų, pastatų projektavimo ir statybos, jų rekonstrukcijos ir atliekų tvarkymo srityse.

1.2. Medinės konstrukcijos tvarioje statyboje

Realizuojant tvarios statybos koncepciją labai svarus vaidmuo tenka medinėms konstrukcijoms ir medienos, kaip pagrindinės statybinės medžiagos, naudojimui. Mokslininkai, pvz., Das ir Neithalathas (Das ir Neithalath, 2018), Ščiogoliova (Щеголева, 2017), Chunas ir kt. (Claisse, Naik ir Ganjian 2020), išreiškia bendrą nuomonę, kad medinių pastatų ir konstrukcijų statyba yra vienas iš tvarios statybos, kaip postindustrinės architektūros ir statybos pramonės raidos etapų, leidžianti sumažinti trumpalaikę ir ilgalaikę taršą tiek statybos procese, tiek statinio eksploatacijos metu. Remiantis Jelinojumi (Елина, 2017), galima teigti, kad medinės konstrukcijos prisideda prie tvarios statybos ir leidžia realizuoti praktikoje tvaraus pastato koncepciją, sumažinančią neigiamą poveikį aplinkai ir žmonėms per visą gyvavimo ciklą, nuo pastato projektavimo iki utilizavimo.

Medinis pastatas taip pat yra žaliasis pastatas – viena iš aktualiausių pasaulinių tendencijų, atėjusių į architektūros ir statybos pramonę per pastarąjį dešimtmetį, ir tuo pat metu svarbus tvarios plėtros koncepcijos komponentas (Ostryakova ir Timofeeva, 2019). Žaliųjų pastatų statyba leidžia realizuoti ekologinę statybą. Ekologinė statyba yra minimalaus poveikio aplinkai pastatų statybos ir eksploatavimo rūšis, kurios tikslas – sumažinti energijos ir materialinių išteklių suvartojimą per visą pastato eksploatavimo ciklą. Ekologiškos statybos pagrindas yra toks procesas, kai gamtos išteklių naudojimas, investicijų ir inovacijų kryptis yra tarpusavyje suderinamos orientuojantis į dabarties ir ateities kartų poreikių tenkinimą (Грахов, 2013). Kubbos (2016) manymu, ekologinė statyba yra vienas svarbiausių žingsnių užtikrinant perėjimą prie tvarios statybos ir žaliųjų technologijų naudojimo statybos procese. „Žalioji“ technologija yra tokia galutinio produkto sukūrimo technologija, kurią įgyvendinus, remiantis vientisu rodikliu, įvertinančiu jo sudėtinius parametrus, galima gauti geriausius energijos vartojimo efektyvumo, saugumo, nešvaistymo ir komforto rodiklius per visą gyvenimo ciklą, esant specifinėms vidaus ir išorės aplinkos sąlygoms.“ (Telichenko, 2017, p.366). Žaliųjų technologijų naudojimas leidžia mažinti taršą visuose statybos proceso etapuose, įskaitant ir konstrukcinių elementų gamybą.

Šiuolaikinės technologijos leidžia pramoniniu būdu gaminti medines konstrukcijas, iš kurių surenkamas medinis statinys. Ostryakova ir Timofeeva (2019) nurodo, kad medinės konstrukcijos sėkmingai taikomos ne tik gyvenamojoje statyboje, bet ir kitokios paskirties statinių statyboje (2 pav.).



2 pav. Medinių pastatų klasifikacija, atsižvelgiant į jų taikymo sritį (Ostryakova ir Timofeeva, 2019)

2 paveiksle pateiktoje klasifikacijoje matyti, kad medinės konstrukcijos gali būti efektyviai naudojamos gamybinių, ūkinių, visuomeninių, komercinių ir kt. statinių statyboje. Tačiau medinių konstrukcijų naudojimas praktikoje susiduria su rimtomis kliūtimis. Pagrindinė kliūtis yra nusistovėjusios tradicijos statybos sektoriuje, lemiančios mažą medinių konstrukcijų paklausą rinkoje. Tai lemia vartotojų persiorientavimas į būstą, pastatytą naudojant kitas technologijas. Šiuo metu egzistuojanti medinių konstrukcijų gamyba neatlaiko technologinės konkurencijos su kitomis statybinėmis medžiagomis, nėra tinkama daugiaaukščių pastatų statybai, atsilieka ir kitais parametrais: ilgaamžiškumu ir konstrukcinėmis galimybėmis. Mažą medinių konstrukcijų paklausą lemia

palengvinti urbanizacijos procesai ir didmiesčių plėtra įsisavinant priemiesčiuose esančias teritorijas (Ostryakova ir Timofeeva, 2019; Kubba, 2016). Daugelis statybos bendrovių ir statybininkų yra kompetentingi montuoti gelžbetonio ir metalines konstrukcijas, ir tai leidžia pasiekti didelį darbo našumą ir produktyvumą, užtikrinti statinių ilgaamžiškumą, o tai yra labai aktualu ir užsakovams. Gyvenamojo būsto pirkėjai taip pat nėra pakankamai susipažinę su medinėmis konstrukcijomis, todėl yra linkę teikti pirmenybę būstui, kurio statyboje naudojamos tradicinės medžiagos. Toks požiūris riboja tvarios statybos plėtojimą (Chun, Claisse, Naik ir Ganjian, 2020). Tenka pažymėti, kad šiandieną yra sukurtos ir praktikoje naudojamos įvairios medinės konstrukcijos, leidžiančios statyti ir daugiaaukščius medinius statinius. Afoninas (Afonin, 2018) atliko medinių konstrukcijų analizę ir išskyrė du konstrukcijų tipus: vien medinių pastatų konstrukcijos ir kombinuotosios konstrukcijos (žr. A priede).

Visiškai medinių pastatų konstrukcijos yra tokios, kurių visi pastato konstrukcijos atraminiai elementai yra pagaminti iš medžio arba jo pagrindu pagamintų medžiagų. Tai apima karkasinių plokščių konstrukcijas, CLT konstrukcijos sistemą, stulpelių ir sijų sistemas, FFTT technologiją iki 12 aukštų, vamzdinius karkasinius pastatus (Afonin, 2018).

Kombinuotosios konstrukcijos yra tokios, kurių laikančiosios sistemos projektuojamos derinant medieną su kitomis medžiagomis, siekiant optimaliai paskirstyti apkrovas ir sumažinti medžiagų sąnaudas. Šios sistemos apima medžio-metalo ir medžio-betono kombinacijas.

Medinėms-plieninėms konstrukcijoms priskiriamos tokios kombinacijos, kuriose naudojamos medinės konstrukcijos su metaliniais junginiais, taip pat statiniai su plieniniu branduoliu, FFTT technologija, skirta pastatams, turintiems daugiau nei 12 aukštų. Medžio-betono sistemoms priskiriami pastatai, kurių gelžbetonio šerdys yra pagamintos iš gelžbetonio konstrukcijų, taip pat mediniai statiniai, kurių karkasas pagamintas iš betoninių junginių.

Atlikta medinių konstrukcijų analizė leidžia teigti, kad technologiniu aspektu visiškai medinės ir kombinuotosios konstrukcijos leidžia realizuoti įvairius daugiaaukščių ir pramoninių pastatų sprendinius.

Apibendrinant teigtina, kad medinių pastatų ir konstrukcijų statyba yra vienas iš tvarios statybos, kaip postindustrinės architektūros ir statybos pramonės raidos etapų, leidžianti sumažinti trumpalaikę ir ilgalaikę taršą. Medinės konstrukcijos prisideda prie tvarios statybos ir leidžia realizuoti praktikoje tvarus pastato koncepciją. Medinės konstrukcijos gali būti sėkmingai taikomos ne tik gyvenamojoje statyboje, bet ir kitokios paskirties statinių statyboje. Šiandieną yra sukurtos ir praktikoje naudojamos įvairios medinės konstrukcijos, leidžiančios statyti ir daugiaaukščius medinius statinius. Pagrindinė

kliūtis yra nusistovėjusios tradicijos statybos sektoriuje, lemiančios mažą medinių konstrukcijų paklausą rinkoje.

1.3. Medžio masyvo plokštės ir jų taikymas šiuolaikinėje statyboje

1.3.1. Medžio masyvo plokštės samprata ir raida

Medžio masyvo plokštė (CLT – angl. *Cross laminated timber*) – daugiasluoksnė konstrukcija, kurią sudaro tarpusavyje suklijuotos lamelės, sujungtos tarpusavyje keliais sluoksniais, kurių skaičius priklauso nuo gamybos technologijos (Exova, 2017). CTL plokštės buvo sukurtos Austrijoje 1990 m. viduryje ir vadinamos CLT (kryžminė laminuota mediena), o tai reiškia „suklijuota mediena“ (Tetenov ir Argatov, 2020).

CLT plokštė yra aukštos kokybės medienos gaminy, puikiai tinkantis įvairioms konstrukcijoms. CLT sudėtis ir gamybos metodas suteikia didžiules panaudojimo statyboje galimybes, nes plokštę galima klijuoti ir apdoroti išgaunant beveik bet kokią formą ir dydį. Kadangi žaliava yra visiškai atsinaujinanti, CLT pasižymi maža aplinkos tarša (Borgström ir Fröbel, 2019).

CTL gamyba pradėta XX a. dešimtojo dešimtmečio viduryje Europoje. Buvo sukurtos kelios CTL, skirtų sienoms, gamybos technologijos, kurios numatė CTL sluoksnių sutvirtinimą aliumininėmis kabėmis, vinimis, klėjais, metaliniais laikikliais.

CLT plokštės priklauso konstrukcinėms statybinėms medžiagoms, jos prilyginamos plytoms, akytajam betonui, betonui, gelžbetoniui ir kt. Esami reikalavimai ir normos statyboje leidžia šias plokštes naudoti mažaaukščių ir vidutinio aukščio gyvenamųjų namų statybai, administraciniais, sporto ir žemės ūkio pastatams bei statiniams (Kosov, 2019).

Proveržį CTL gamyboje pasiekė ir įmonė Massiv-Holz-Mauer (MHM), kuri sukūrė unikalią CTL technologiją, kuri leido gaminti iš medžio masyvo atskiras pastatų komponentų dalis.

2005 m. MHM technologija buvo užpatentuota ir pastatyti pirmieji 20 namų. 2006 m. spalio mėn. jau buvo pastatytas 250-asis namas. 2011 m. pradžioje MHM užbaigė statyti 1800 metrų ilgio pastato statybą Vokietijoje (Lysenko, 2018). 1995 m. ir 2009 m. buvo užpatentuotos CTL gamybos technologijos Rusijoje.

Borgströmas ir Fröbelis (Borgström ir Fröbel, 2019), išanalizavę CLT plokštės raidos tendencijas ES, išskiria pagrindinius raidos etapus, kurie pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. CLT raida Europoje (Borgström ir Fröbel, 2019, p.12)

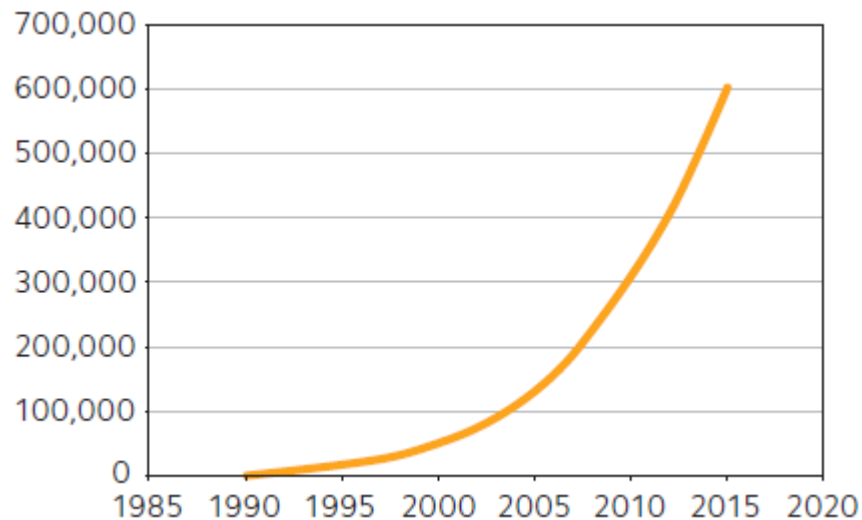
Metai	Įvykiai
1990–1995	Europos prekybos žurnaluose pateikiamos koncepcijos, patentai ir pasiūlymai.
1996–2000	Švedijos rinkai sukurti prototipai ir komponentai.
2000–2004	Pirmieji nedidelio masto projektų pristatymai Švedijoje.
2004–2005	Švedijoje pastatyti pirmieji aukštesni mediniai pastatai naudojant CLT.
2005–2014	Vis daugiau projektų, pastatytų naudojant CLT.
2015–2020	CLT plokštės naudojamos įvairių pastatų, daugiausiai gyvenamųjų, statyboje.

Esami statybos standartai ir reikalavimai leidžia CLT plokštę naudoti statant mažaaukščius ir vidutinio aukščio gyvenamuosius pastatus ir statinius (1–10 aukštų), socialinės paskirties pastatus (mokyklas, ligonines, parduotuves ir kitus administracinius pastatus), sporto objektus, pramonės taip pat žemės ūkio pastatus.

CLT plokštės taip pat gali būti naudojamos tiltų ir kitų statinių statyboje, kur reikalingos ilgos konstrukcinės medžiagos (Kosov, 2019). CLT plokštės gamybos ir taikymo technologija nuolatos tobulinama, todėl 2015–2020 m. CLT vis plačiau naudojamos ne tik mažaaukščių gyvenamųjų pastatų ir kt. nedidelių pastatų statyboje, bet ir įgyvendinant daugiaaukščių pastatų statybos projektus. Užsienio šalyse – Kanadoje, Vokietijoje, Skandinavijos šalyse – jau yra įgyvendinta daugiaaukščių pastatų projektų, kurių statyboje naudojama CLT plokštė kaip pagrindinės statybinė medžiaga (Mahamid, 2020).

Nepaisant to, kad Lietuvoje CLT plokštės naudojimas statyboje yra naujovė, ES ši medžiaga taikoma vis plačiau, tai patvirtina nuo 1990 m. stabiliai augančios gamybos apimtys (3 pav.).

Kaip matyti iš pateiktų duomenų, 2020 m. CLT plokštės gamybos apimtys ES perkopė 600 000 m³, lyginant su 2010 m., jos padvigubėjo. Augančios gamybos apimtys rodo, kad didėja CLT plokštės paklausa. Svarbu pažymėti ir tai, kad 2010–2020 m. buvo pokrizinis laikotarpis, 2020 m. – ekonominė krizė, kas turėjo neigiamą poveikį statybos sektoriaus plėtrai. Todėl galima teigti, kad, jei ne šie neigiami veiksniai, CLT plokščių gamybos apimtys ir paklausa galėjo būti dar didesnė.



3 pav. CLT plokštės gamybos apimtys ES (m³) (Borgström ir Fröbel, 2019, p.12)

Pasaulinė CLT rinka 2019 m. buvo įvertinta 773 mln. USD ir tikimasi, kad iki 2025 m. ji išaugs iki 1,6 mlrd. USD. CLT plokštės gamyba šiuo metu koncentruojasi keliuose šalyse, apytiksliai 65 proc. visų CLT plokščių pagaminama Italijoje, Čekijoje, Vokietijoje, Austrijoje ir Šveicarijoje (Smiley, 2020).

Pagrindinė žaliava, naudojama CTL gamybai, yra medinės lentos. Specialiai apdirbtos lentos klijuojamos ar kitaip sutvirtinamos sluoksniais, taikant kryžminio klijavimo technologiją (Kosov, 2019).

Kryžminė laminuota mediena pasižymi puikiais stiprumo ir standumo savybėmis, o tai reiškia, kad CLT plokštės gali konkuruoti su kitomis labiau tradicinėmis konstrukcinėmis medžiagomis aukštybiniuose pastatuose. Kalbant apie jų pačių svorį, CLT plokščių laikomoji galia yra didesnė nei daugumos kitų statybinių medžiagų, todėl dideles konstrukcijas galima pastatyti taip, kad atlaikytų didelę apkrovą. Kadangi skerspjūvis gali įgyti bet kokią formą, o plokštės geometrija gali būti įvairi, netgi sulenkta į plokštumos kreivę, yra plačios galimybės medieną naudoti nauju būdu (Borgström ir Fröbel, 2019, p.12).

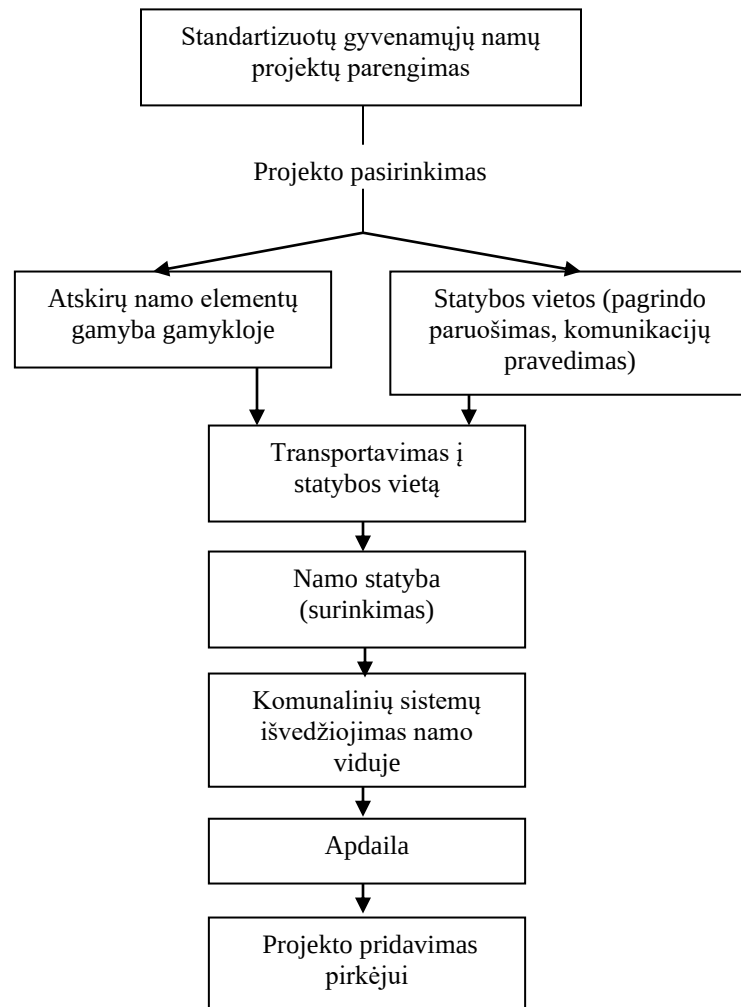
Apibendrinant galima daryti išvadą, kad CLT plokštės – tai aukštos kokybės medienos gaminy, puikiai tinkantis įvairioms konstrukcijoms. Esami statybos standartai ir reikalavimai leidžia CLT plokštes naudoti mažaaukštėje ir daugiaaukštėje, gyvenamojoje, viešojoje ir pramoninėje statyboje.

1.3.2. Medžio masyvo plokštės kaip statybos sistema

Brangstanti darbo jėga, augantys kiti statybos kaštai lemia poreikį didinti statybos proceso efektyvumą ir darbo našumą. Dėl to šiandieną ieškomi įvairių sisteminių sprendinių, leidžiančių užtikrinti greitą pastato statybos procesą surenkant pastato konstrukciją iš anksto pagamintų elementų.

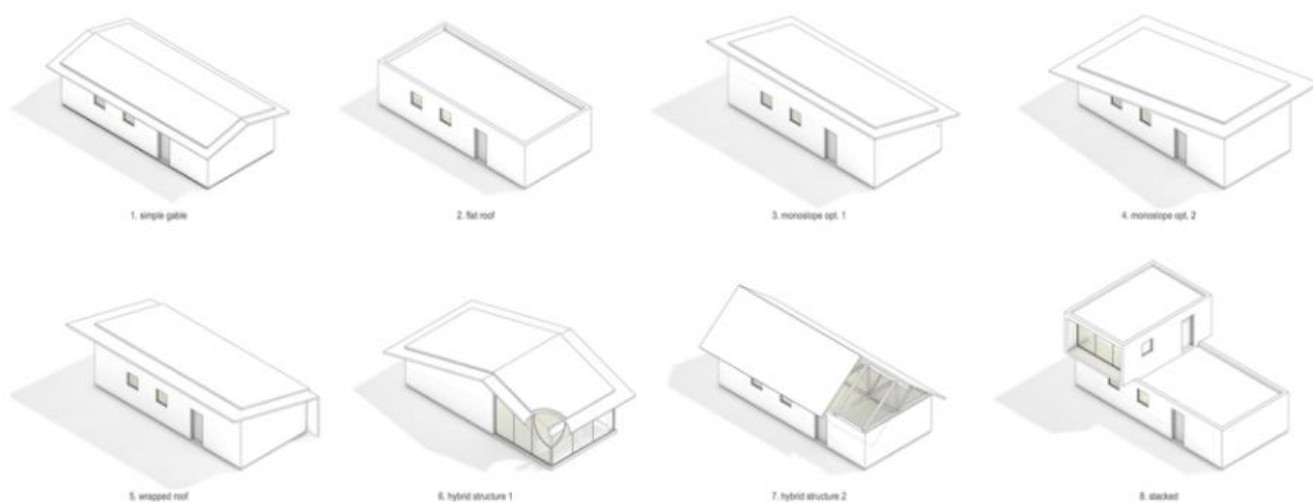
Medžio masyvo plokštės kaip statybos sistemos koncepcija buvo efektyviai realizuota JAV XXI a. pradžioje įgyvendinant standartinių gyvenamųjų namų kvartalinę statybą. Gyvenamosios kvartinės statybos projektų vystytojai ieškojo sprendinių, leidžiančių padidinti darbo našumą ir pasiekti masto ekonomiją statybos procese (Mahamid, 2020).

CLT plokštės kaip statybos sistemos koncepcija sudaro standartizuotą procesą, susidedantį iš 8 etapų (4 pav.).



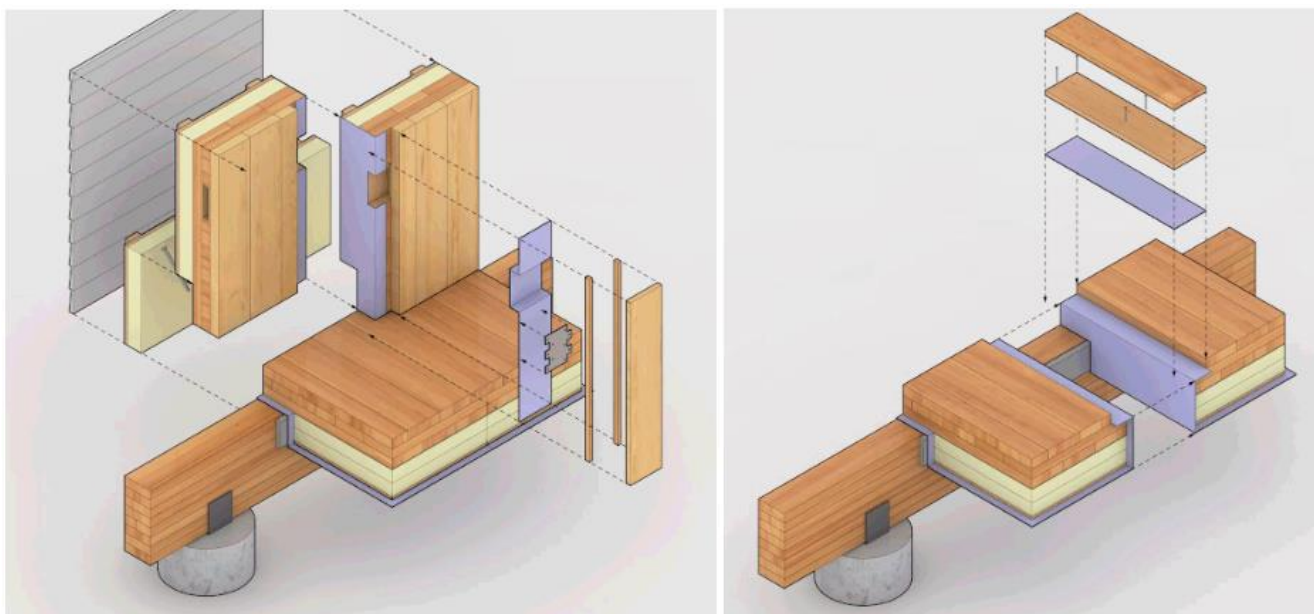
4 pav. CLT statybos sistemos principas (sudaryta remiantis Exova, 2017; Mahamid, 2020)

Medžio masyvo plokštės kaip statybos sistemos koncepcijoje plokštės naudojamos kaip pagrindinė statybinė medžiaga, įskaitant atraminių ir stogo konstrukcijų, taip pat sienų konstrukcijų gamybą. Visa namo konstrukcija gaminama iš plokštės atskirų konstrukcinių elementų pavidalu. Gamyba vykdoma pagal standartinius gyvenamųjų namų projektus (5 pav.).



5 pav. Standartiniai gyvenamųjų namų iš medžio masyvo plokštės projektai (Checkwitch Poiron Architects Inc., 2021)

Pastatas konstruojamas iš atskirų konstrukcinių elementų, suprojektuotų taip, kad juos surinkti būtų lengva ir patogiu (6 pav.).



6 pav. Konstrukciniai gyvenamojo namo elementai (Checkwitch Poiron Architects Inc., 2021)

Medžio masyvo plokštės konstrukcinių elementų surinkimas atliekamas pagal projektą numatytu eiliškumu, naudojant sunkiąją statybos techniką, kas užtikrina greitą darbų atlikimą (žr. B priede). Montuojant CTL plokščių konstrukcijas reikia tik grupės darbininkų, turinčių dailidės įgūdžių ir žinių apie elektrinius įrankius, lengvus elektros prietaisus ir kraną. Vieno skydo montavimas trunka apie 20 minučių, atsižvelgiant į montavimo komplekto sudėtingumą. Kadangi didžioji dalis darbų atliekama gamykloje, statybos procesas tampa saugesnis (Kosov, 2019, Mahamid, 2020).

Pagal projektą gamykloje, skyduose išpjaušamos durų ir langų angos, kanalai komunalinėms paslaugoms. Kadangi CTL plokštės į statybą atkeliauja jau sunumeruotos ir pristatomos pagal pastato montavimo planą, surinkimas vyksta per rekordiškai trumpą laiką (Kosov, 2019).

Gamybos ir statybos proceso standartizacija leidžia pasiekti ne tik didelį darbo našumą, bet ir užtikrinti efektyvų kaštų valdymą ir aiškiai apibrėžiamą rezultatą.

Praktikoje realizuotas CLT statybos sistemos principas sulaukė mokslininkų dėmesio kaip tvarios statybos plėtojimo galimybės. Įvairūs mokslininkai tyrinėjo CLT sisteminio naudojimo galimybes plėtojant tvarią statybą. Karacabeyli ir Douglas (2013), Crespellis ir Gagnonas (Crespell ir Gagnon, 2011) nustatė, kad ekologiškumo, taip pat montavimo bei demontavimo aspektais CLT turi akivaizdų pranašumą prieš betoną ar plieną. CLT, kaip pastato sistema, leidžia montuoti didelio ploto konstrukcinius elementus, pasiekiant didelį darbo našumą ir mažinant taršą statybos procese. Tyrėjai Mahamidas (Mahamid, 2020), Exova (2017), akcentavo, kad CLT plokštės pasižymi plačiu konstrukciniu efektyvumu, CLT plokštės gali būti naudojamos kaip atraminės konstrukcijos, sienos, grindys, lubos ir kiti pastato konstrukcijos elementai. Be to, skirtingai nuo medinių karkasų sistemos, CLT konstrukcijos sukuria ribotas paslėptas erdves, o tai sumažina ugnies plitimą (Craft 2011). Quenneville'is ir Morrisas (Quenneville ir Morris, 2007) tyrinėjo seisminį CLT atsparumą. Eksperimento metu iš CLT plokščių pastatytas pastatas buvo veikiamas į stipraus žemės drebėjimą panašiais judesiais, lygiaverčiais 7,2 pagal Richterio skalę. CLT parodė puikų seisminį atsparumą, kai didžiausias tarpueilių nukrypimas siekė 1,5 colio, o šoninė deformacija buvo mažesnė nei 12 colių. CLT plokštės nesusitraukia, netrūkinėja ar nesideformuoja. Gamykloje iš džiovintos medienos klijuota medinė monolitinė plokštė nereikalauja tinkavimo, todėl sutrumpėja apdailos darbų laikotarpis ir pastato eksploatavimo terminai (Kosov, 2019).

Daugybė teigiamų CLT plokščių savybių ir sėkmingas praktinis jų naudojimas statant gyvenamuosius pastatus, gamyklas ir kitokius statinius atskleidė šios technologijos potencialą, kuris neapsiriboja vien mažaaukščių pastatų statybomis. Europoje, JAV, Kanadoje atsirado ir buvo pradėti

įgyvendinti 6, 9 ir 10 aukštų pastatų, esančių miesto plėtroje, projektai. Taip pat sėkmingai realizuoti logistikos sandėlių, pramoninių pastatų, transporto įrenginių, sporto objektų projektai (Kosov, 2019).

Šiuolaikinės daugiasluoksnių medinių konstrukcijų gamybos technologijos yra rimtai svarstomos kaip reali gelžbetonio alternatyva, skirta mažinti atmosferos taršą, sumažinti energijos sąnaudas ir sukurti sveiką patalpų klimatą. Tam daugelyje šalių buvo pradėti keisti statybos kodeksai, siekiant padidinti maksimalų medinių pastatų aukštų skaičių (Kosov, 2019).

Apibendrinant teigtina, kad medžio masyvo plokštės kaip statybos sistemos koncepcija sudaro standartizuotas procesas susidedanti iš 8 etapų: standartizuotų gyvenamųjų namų projektų parengimas; atskirų namo elementų gamyba gamykloje; statybos vietos (pagrindo paruošimas, komunikacijų pravedimas); transportavimas į statybos vietą; namo statyba (surinkimas); komunalinių sistemų išvedžiojimas namo viduje; apdaila; projekto pridavimas pirkėjui. Gamybos ir statybos proceso standartizacija leidžia pasiekti ne tik didelį darbo našumą, bet ir užtikrinti efektyvų kaštų valdymą ir aiškiai apibrėžiamą rezultatą užtikrinant mažą aplinkos taršą trumpalaikėje ir ilgalaikėje perspektyvoje.

1.4. Medžio masyvo plokščių technologinių ir konstrukcinių charakteristikų analizė

1.4.1. Medžio masyvo plokščių gamybos technologija

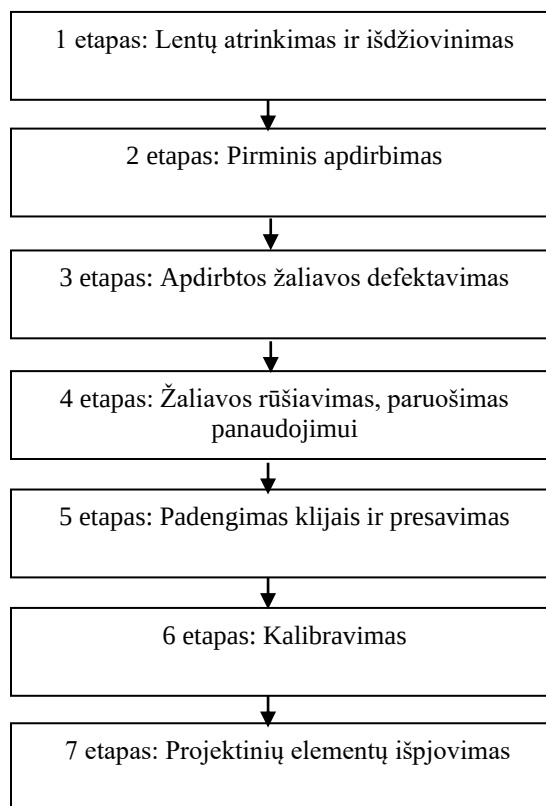
CLT plokščių kokybė labai priklauso nuo daugelio technologinių operacijų, visų pirma nuo presavimo būdo ir klijų sistemos tipo (Bidakov, Raspopov, Pustovoitova ir Strashko, 2020). Šiandieną plačiausiai taikomas CLT plokščių gamybos procesas susideda iš tokių pagrindinių etapų (7 pav.). 1 etapas: Lentų atrinkimas ir išdžiovinimas. Gamybai naudojama išdžiovinta mediena. Šiuolaikinė gamyba leidžia gaminti CTL, naudojant įvairių rūšių medieną: lapuotį - skirtą namų išorės apdailai, siekiant apsaugoti namo konstrukciją nuo natūralių oro sąlygų. Vidaus apdailai gali būti naudojamas ąžuolas, tikas, raudonmedis, alksnis. Estetikai ir dizaino sprendimams praktiškai nėra jokių apribojimų. CTL turi aukštos kokybės paviršių, lengvai tinkuojama ir apdailinama įvairiomis medžiagomis (Kosov, 2019).

2 etapas: Pirminis apdirbimas, kurio metu sukuriami aiški geometrija ir atskleidžiami vidiniai defektai.

3 etapas: Apdirbtos žaliavos defektavimas, kurio metu nustatomi ir pašalinami medienos defektai;

4 etapas: Žaliavos rūšiavimas, paruošimas panaudojimui vidinių ar išorinių CTL plokščių sluoksnių gamyboje, t.y. sujungiami ir supjaustomi būsimo sluoksnio matmenimis.

5 etapas: Padengimas klėjais ir presavimas.



7 pav. CLT plokščių gamybos procesas (sudaryta autoriaus remiantis Bidakov, Raspopov, Pustovoitova ir Strashko, 2020, Timbersol, 2020, Kosov, 2019)

6 etapas: po presavimo, pagaminta plokštė perkeliama į kalibravimo cechą, kur atliekamas jos apdorojimas išilgai plokštumos, kad būtų gauti tikslūs storio matmenys ir pašalinami klijų nubėgimai.

7 etapas: Projektinių elementų išpjovimas. Pagal poreikius CLT plokštės iš kart gali būti gaminamos konkrečiam statomam objektui pagal projektinius matmenis. Plokščių matmenys gali siekti 24 m ilgio, 3,5 m pločio ir iki 300 - 400 mm storio. Gamybos procese gali būti išpjaunamos reikiamos angos, suteikiamos specialios formos (8 pav.).

CLT plokštės gamybos procesas yra pilnai automatizuotas, didžiausias produktyvumas pasiekiamas tuomet, kai gaminama didelės kvadratūros ar vienodos architektūros pastatams. Tuomet sumažinamas įrangos derinimo ir nustatinėjimo laikas, gamyba organizuojama atskiromis elementų partijomis.



8 pav. CLT plokštės gamybos procesas (Timbersol, 2020)

CLT plokštės sertifikavimas. Gamintojai privalo sertifikuoti gaminamas CLT plokštes pagal atitinkamus ISO standartus. ES pagrindiniai ISO standartai nustatantys CLT plokštės sertifikavimą yra šie (2 lentelė).

2 lentelė. ISO standartai nustatantys CLT plokštės sertifikavimą (ISO 16696-1:2019)

NR.	Pavadinimas lietuviškai	Originalus pavadinimas
EN 16351	Medinės konstrukcijos - Kryžminė laminuota mediena. Reikalavimai	angl. Timber structures — Cross laminated timber — Requirements
ISO/IEC 3130	Mediena - Drėgmės kiekio nustatymas atliekant fizinius ir mechaninius bandymus	angl. Wood — Determination of moisture content for physical and mechanical tests
ISO 10983	Mediena - jungtys. Minimalūs gamybos reikalavimai ir bandymo metodai	angl. Timber — Finger joints — Minimum production requirements and testing methods
ISO/IEC 12460	Medienos plokštės. Formaldehido išsiskyrimo nustatymas (visoms dalims)	angl. Wood-based panels — Determination of formaldehyde release
ISO/IEC 13910	Konstruktinė mediena. Mėginių ėmimas, kompleksiniai bandymai ir atsparumo medienai būdingų verčių vertinimas	angl. Structural timber — Sampling, full-size testing, and evaluation of the characteristic values of strength graded timber
ISO/IEC 16979	Medienos plokštės. Drėgmės kiekio nustatymas	angl. Wood based panels — Determination of moisture content
ISO 20152-1	Medinės konstrukcijos. Klijų sukibimas. 1 dalis. Pagrindiniai reikalavimai	angl. Timber structures — Bond performance of adhesives — Part 1: Basic requirements
ISO 20152-2:2011	Medinės konstrukcijos. Klijų sukibimas. 2 dalis. Papildomi reikalavimai	angl. Timber structures — Bond performance of adhesives — Part 2: Additional requirements

Šie reikalavimai CLT plokštės gaminiams yra vienodi visoje ES. Nustatytus reikalavimus atitinkantys gaminiai žymimi „CE“ ženklu, kuris suteikia leidimą CLT plokštę pažymėtą CE ženklu parduoti Europos ekonominėje erdvėje (EEE - 28 ES šalyse, taip pat Norvegijoje, Islandijoje ir Lichtenšteine) be jokių papildomų dokumentų. „CE“ ženklas ant gaminio rodo, kad gamintojas laikėsi pagrindinių reikalavimų, nustatytų ES direktyvose, reglamentuojančiose šią sritį. 2017 – 2018 m. buvo sukurtas bendras CLT plokštės gamybos standartas SS-EN 16351 (Borgström ir Fröbel, 2019).

Apibendrinant, CLT plokštės gamybos proceso automatizavimas leido užtikrinti didelį darbo našumą ir kaštų optimizavimą. Šiandieną CLT plokštės gamybos procesą sudaro 7 pagrindiniai etapai: Lentų atrinkimas ir išdžiovinimas; Pirminis apdirbimas; Apdirbtos žaliavos defektavimas; Žaliavos rūšiavimas, paruošimas panaudojimui; Padengimas klėjais ir presavimas; Kalibravimas; Projektinių elementų išpjovimas.

1.4.2. Medžio masyvo plokščių tipologija ir techninių charakteristikų analizė

XXI a. ištobulinta CTL gamybos technologija atveria plačias, jų taikymo statyboje, galimybes. Tačiau tai yra pakankamai nauja technologija reikalaujanti unikalaus statybos proceso sukūrimo iš ištobulinimo, taip pat optimalių architektūrinių sprendimų leidžiančių maksimaliai išnaudoti CTL technines ir eksploatacines charakteristikas.

CLT plokštės yra monolitinė kryžminių klijuočių lentų sluoksnių struktūra, pasuktą 90 ° viena kitos atžvilgiu. Šiandieną gaminamos įvairių sluoksnių CLT plokštės, plačiausiai naudojama trijų sluoksnių plokštė, kurią sudaro trys sluoksniai juostelių, klijuojamų daugiakrypčiais pluoštais. Daugiaaukščių pastatų statyboje vis plačiau naudojamos penkių ir septynių sluoksnių CLT skydai. Dvylika yra maksimalus sluoksnių skaičius CLT plokštėje (Borgström ir Fröbel, 2019; Tetenov ir Argatov, 2020).

Kryžminis klijavimas leidžia pašalinti vidinį įtempimą tarp sluoksnių, suteikia CLT plokštėms padidintą tvirtumą, atsparumą suspaudimui ir įtempimą. 7 – 12 sluoksnių CLT plokštės naudojamos kaip laikančiosios atramos ir sijos, 3 -5 sluoksnių CLT - kaip grindų plokštės ir sienų plokštės, išorinės ir vidinės, įskaitant aukštą apdailos laipsnį - su iškirptomis angomis durims ir langams (Borgström ir Fröbel, 2019).

Šiandieną patikimiausiomis ir plačiausiai naudojamomis laikomos 5 tipų CTL (Воякин, 2018; Karacabeyli ir Douglas, 2013; Reshetnikov ir Makaridze, 2019):

- CLT;

- „Massive Holz Mauer“;
- „Thoma Holz“;
- „Drevoblok“;
- „Unipanel“.

Viena plačiausiai naudojamų yra Cross Laminated Timber (CLT) - skersai laminuotos medienos technologija, kuri 2015 – 2019 m. plačiai naudojama JAV ir Europoje gyvenamųjų namų statyboje. CLT plokštė yra masyvi daugiasluoksnė konstrukcija, kurioje juostelės klojamos sluoksniais ir klijuojamos tarpusavyje statmena kryptimi (kryžmine laminuota mediena), nes mediena yra anizotropinė medžiaga - t.y. medžiaga, turinti skirtingas kryptines savybes), todėl kryžminis klijavimas lemia statybinės medžiagos gamybą, kuri pasižymi maksimaliai didelėmis atraminėmis (laikančiomis) savybėmis, aukštu stabilumu transportavimo, statybą metu ir eksploatuojant pastatą (Воякин, 2018) (žr. C priede).

CLT technologija leidžia sumažinti medinių konstrukcijų trūkumus, tokius kaip išsiplėtimas ar susitraukimas esant didelei drėgmei ar kaitrai, taip pat minkštumas ir t.t.

CLT medžio plokštės pasižymi eile privalumų, kurie leidžia gamykloje gaminti CLT plokštes kaip tikslus statinio elementus, kurie iš kart gali būti montuojami užtikrinant greitą atraminių pastato sienų statybą.

Laminated Veneer Lumber (LVL) technologija. LVL plokštės yra statybinė medžiaga, pagaminta iš spygliuočių medienos, susmulkinant žaliavą ir po to klijuojant veikiant išoriniam mechaniniam slėgiui (Karacabeyli ir Douglas, 2013).

Gamybos procese susmulkinta mediena sudaro apie 3 mm. storio fanerą, kuri yra klijuojama. Galutinio produkto storis priklauso nuo sluoksnių skaičiaus ir svyruoja nuo 18 iki 102 mm. LVL juostos sluoksnių skaičius gali siekti 24. Statyboje vidutiniškai naudojamos 9–12 sluoksnių storio klijuotos medžio plokštės.

Pagal šią technologiją gaminami balkiai ir įvairių matmenų plokštės, kurių plotis yra nuo 100 iki 1800 mm, o ilgis, atsižvelgiant į standartą, yra iki 18,0 metrų.

Tarp pagrindinių LVL privalumų (išskyrus ilgaamžiškumą) galima įvardinti paprastą montavimą, mažą savikainą objektų statybai, palyginti su kitomis medžiagomis. Dėl lengvumo sijos ir balkiai gaminami pagal LVL technologiją efektyviai panaudojami statant įvairias konstrukcijas seismiškai pavojingose vietose. Kitas LVL privalumas, CTL dega prastai, nes juos nėra porų, įsidegimas vyksta žymiai lėčiau nei kitų medienos medžiagų (Reshetnikov ir Makaridze, 2019).

„Massiv-Holz-Mauer Technology“ (MHM) technologija. Pastaruoju metu labai populiari namų statyboje. Holz Mauer (MNM) CTL gaminamos naudojant kryžminį medienos sluoksnių sujungimą be klijų. Taikant MHM technologiją, pagamintos sienos yra ekologiškos, visiškai nekenksmingos tiek žmonėms, tiek aplinkai, nes jose naudojama tik mediena, nenaudojant jokių lipnių kompozicijų. MHM technologija gamybos procese nenaudoja jokios cheminės medienos apsaugos. Šiluminiu būdu džiovinant iki 9–10 proc. drėgmės, užkertamas kelias biologiniam medienos pažeidimui. Sienų plokštėms, kurių drėgmė yra 9–10 proc., nereikia papildomų antiseptikų (Mahamid, 2020; Reshetnikov ir Makaridze, 2019).

Pagal MHM technologiją gaminamos medžio masyvo plokštės susideda iš daugybės skirtingų pločių 20–23 mm sausų lentų sluoksnių, kryžminiū būdu sujungtų tarpusavyje tvirtu kaiščiu su tam tikra užlaida. Kiekvienoje plokštėje, jos kraštuose yra specialios užlaidos leidžiančios ją sujungti su kita plokšte. MHM medžio masyvo plokštės turi ir kitą svarbią konstrukcinę ypatybę, specialius griovelius esančius ant priekinės lentos pusės (9 pav.).



9 pav. MHM medžio masyvo plokštė su specialiais grioveliais apsaugančiais plokštę nuo galimo deformacijos (MHM-Massivholzmauer, 2019)

2x3 mm dydžio išilginiai grioveliai padeda pagerinti sienos plokštės šilumos laidumą ir pralaidumą orui (Reshetnikov ir Makaridze, 2019).

Plokščių storis gali būti nuo 120 mm iki 340 mm. Dėl medienos dirbtinės drėgmės sudarančios 9-10proc., ji turi aukštas izoliacines savybes. Pagal MHM technologiją gaminamos CTL pasižymi geromis šilumos ir garso izoliacijos savybėmis, kurias užtikrina medienos savybės ir išilginis bei skersinis plokštės sluoksnių išdėstymo. MHM yra atsparios seisminiam aktyvumui, stipriam vėjui, aukšto dažnio radiacijai. Esant didelei drėgmei ore, jos nesitraukia ir jų forma išlieka stabili (Reshetnikov ir Makaridze, 2019).

„Unipanel“ technologijoje taip pat naudojamas kryžminės klijuotos medienos principas. Tačiau „Unipanel“ ir MHM medžio masyvo plokščių gamybos procese naudojamos lentos turinčios gilius išilginius pjūvius iš abiejų plokštumų, todėl plokštės profilis įgauna daug kartų pasikartojančios raidės S ornamentą (10 pav.).



10 pav. „Unipanel“ medžio masyvo plokštės (Building-tech, 2019)

Tokiu būdu plokštė tampa panaši į armoniką, kuri esant didelėms apkrovoms galės nežymiai susispausti ar išsitempti be rizikos atsirasti įtrūkimams. Įpjovimai leidžia pašalinti bet kokią įtampą atsirandančią tiek atskiroje lentoje (pavyzdžiui, dėl šakelių), tiek visoje plokštėje suklijuotoje iš tokių lentų. Be to, susidariusios tuštumos (oro tarpai) daro plokštę šiltesnę ir atsparesnę drėgmei.

Visos analizuojamos, skirtingomis technologijomis pagamintos, CTL yra taikomos daugiaaukščių namų statyboje. Jos pasižymi bendrais privalumais, tokiais, kaip pakankamai didelė atraminė galia, santykinis lengvumas, konstrukcijos surinkimo patogumas, geros šilumos izoliacijos savybės ir t.t.

Analizuojamos skirtingų gamintojų CTL skiriasi ir pagal juostelių sujungimo būdą CLT ir „Drevoblok“ bei „Unipanel“ naudoja klijus, kurie užtikrina papildomą tvirtumą, tačiau tokios plokštės yra mažiau ekologiškos. „Massive Holz Mauer“ sujungimui naudojamos specialios aliuminės jungtys, tuo tarpu ekologiškiausios yra „Thoma Holz“, nes jų konstrukcijoje sujungimui naudojami mediniai kaiščiai.

Bidakovas, Raspopovas, Pustovoitova ir Strashkovas (2020) tyrėjai analizavę įvairių gamintojų CTL plokščių tvirtumą nustatė, kad dabartiniame plokščių kūrimo etape visos plokštės turi tą pačią stiprumo klasę, o tai labai supaprastina skaičiavimus ir padidina plokščių homogeniškumą.

Atlikta CTL techninių charakteristikų analizė leidžia teigti, kad visų gamintojų plokštės pasižymi bazinėmis, gana geromis techninėmis charakteristikomis. Konkrečios technologijos pasirinkimas turėtų būti grindžiamas statinio ir jo eksploatacijos specifikos įvertinimu. Didelių daugiaaukščių pastatų statybai tikslinga naudoti CLT, „Unipanel“ plokštės. Siekiant pastatyti ekologišką pastatą tikslinga naudoti „Thoma Holz“. Statant daugiaaukščius namus, kurie stovės atvirose vietose, kur pučia stiprus vėjas, didelė drėgmė - tikslingiausia rinktis „Massive Holz Mauer“. MHM taip pat tikslinga rinktis statant daugiaaukščius namus seisminiame aktyvumo zonose. „Drevoblok“ ir CLT pasižymi gera izoliacija, kas yra aktualu statant pastatus miestuose.

1.4.3. Medžio masyvo plokščių konstrukcijos ypatybių analizė

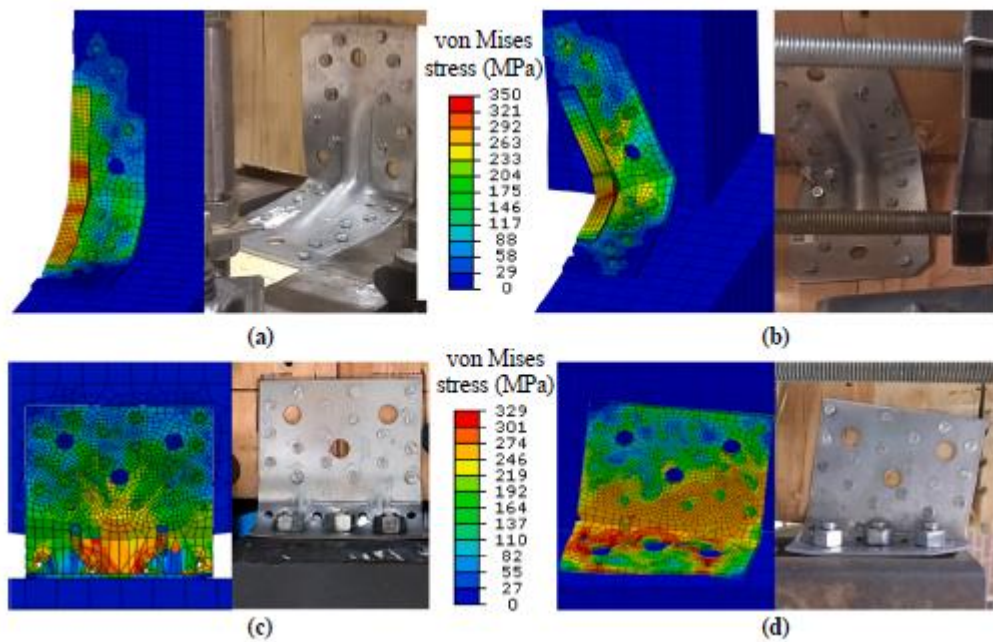
Vienas pagrindinių CLT plokščių konstrukcinių ypatumų yra jų montavimas naudojant įvairias jungtis. CLT plokštės montuojamos naudojant įvairias jungčių konstrukcijas, kurios nuolat tobulinamos siekiant užtikrinti didesnę jų tvirtumą ir palengvinti montavimo procesą. Remiantis Borgstrumu ir Frbeliu (2019) išskiriami tokie pagrindiniai CLT plokščių jungčių montavimo tipai (3 lentelė).

3 lentelė. CLT plokščių jungčių montavimo tipai (Borgström ir Fröbel, 2019)

Jungčių tipas	Charakteristika
Medsraigčiai, varžtai ir kaiščiai	Sujungimai, naudojantys specialius medvaržčius, universalius varžtus arba medžio konstrukcijos varžtus, yra paprasti sprendimai, plačiai naudojami CLT tvirtinimui. Medinių varžtų populiarumą iš dalies lemia jų gebėjimas atlaikyti dideles tempimo jėgas, bei jų paprastumas montavimo procese. Medsraigčiai gaminami nuo 4 mm iki 13 mm skersmens ir iki 1 000 mm ilgio. Jie suprojektuoti atsižvelgiant į jų naudojimo sritį.
Tvirtinimo plokštės ir kampuočiai	CLT tvirtinimui plačiai naudojamos standartinės metalinės plokštės ir kampuočiai. Plačiausiai taikomi sujungiant grindų ir sienų CLT plokštes.
CLT plokštumos jungtys	Jungtys tarp CLT plokščių gali būti atliekamos keliais skirtingais būdais: sujungimas su laisvu kaiščiu, vienguba arba dviguba dangčio plokšte, vienguba ir kryžmine jungtimi. Jungtys gali būti medinės arba plieninės. Jungtis susukamos varžtais, sukamos vinimis ar sutvirtinamos mediniais kaiščiais.
Specialios spynos	2020 m. pradėtos taikyti specialios spynos, kurios integruojamos į CLT sujungimus.

Finansiniu požiūriu paprastai geriausia naudoti sujungimo sprendimus, kuriuose naudojamos tvirtinimo detalės ir plokštės iš standartinio asortimento. Viena naujausių tyrimų, atliktų Salgadu ir

Guneriu (2021), analizuojamas įvairių CLT tvirtinimo jungčių atsparumas spaudimo ir tempimo jėgoms (11 pav.).



11 pav. Kompiuterinis projektavimas ir mechaninis CLT tvirtinimo jungčių atsparumo spaudimo (a/c) ir tempimo jėgoms (b/d) (Salgado ir Guner, 2021, p.5)

Bandymais nustatyta, kad jungtys gerai atlaiko dideles spaudimo jėgas, ypač tuomet kai naudojami didesnio skersmens ir ilgio medvaržčiai bei varžtai. Užfiksuoti didžiausi jungčių pažeidimai esant šoninėms tempimo jėgoms. Tyrejai nustatė, kad seismiškai aktyviuose regionuose turėtų būti naudojama CLT tvirtinimo jungčių, kurios turėtų būti padidinto tvirtumo, įskaitant ir medvaržčius bei varžtus.

Analizuojant CTL plokščių konstrukcijų montavimo ypatumus, aktualus yra Tokio universiteto tyrėjų atliktas tyrimas, kurio tikslas išanalizuoti tempiamųjų varžtų jungčių CLT konstrukcijos stiprumo savybes. Kėjaus, Kendžio ir Kendžio (Kei, Kenji ir Kenji, 2016) atlikta analizė atskleidė, kad dideliuose statiniuose jungčių varžtai patiria dideles apkrovas ir tempimo jėgas, kas gali lemti jų defektus išprovokuojančius jungčių susilpnėjimą. Atsižvelgiant į tai tyrėjai siūlo jungtims naudoti tik sertifikuotus varžtus, ypatingą dėmesį skirti montavimo technikai, užtikrinti, kad montavimų darbų jungtys ir varžtai nebus deformuoti.

Medžio masyvo plokščių konstrukcijos ypatybės labai svarbu atkreipti dėmesį į drėgmės apsaugą. Wahlstrumas (Wahlstrøm, 2019) nurodo, kad drėgmė gali patekti į CTL plokštės jungtis statybos

proceso bei statinio eksploatacijos metu. Šią problemą tyrinėjo Estijos mokslininkai, kurie nustatė, kad neužtikrinus reikiamos apsaugos nuo drėgmės, gali būti pažeidžiamos CTL plokštės jungtys (12 pav.).



12 pav. Išorinės pastato CTL plokštės pažeidimai atsiradę jungtyje tarp sienos ir pamato (Kalbe, Kukk ir Kalamees, 2020, p. 3)

Kalbis, Kukas ir Kalamesas (Kalbe, Kukk ir Kalamees, 2020) atlikę praktinius tyrimus nustatė, kad ši problema aktualiausia yra Rytų Europos ir Skandinavijos šalių regionuose, kuriuose vyrauja drėgnas klimatas. Šoninis vėjas lemia tai, kad lyjant vanduo prasiskverbia į jungtį. Labiausiai pažeidžiama jungtis tarp namo išorinių sienų ir pamato. Nuolatinis drėgmės kaupimasis lemia CTL plokštės pažeidimus ir pelėsio atsiradimą. Tyrėjai nepasiribojo problemos identifikavimu, pasiūlė kompleksinius projektinius sprendimus kaip apsaugoti CTL plokštės konstrukcines jungtis.

CTL plokštės ir pamato jungties apsaugojimui siūloma naudoti termoizoliacinę plėvelę bei specialius lovelius, kurie neleidžia kauptis drėgmei pačioje jungtyje. Projekciniai sprendimai pateikiami 1a priede.

b) Sienų ir lubų, iš CTL plokštės, jungčių apsaugai taip pat siūloma naudoti termoizoliacinę plėvelę ir apsauginę juostą, kuria užfiksuojami plėvelės kampai. Tokiu būdu esant šoniniam vėjui ir lietaui, ar kaupiantis drėgmei, vanduo nelieta jungtyse (žr. 1b priede.).

Tyrėjai taip pat nustatė, kad kita drėgmės pažeidžiama vieta yra stoglangio anga. Siekiant sumažinti drėgmės kaupimąsi šiose jungtyse, Kalbis, Kukas ir Kalamesas (Kalbe, Kukk ir Kalamees, 2020) suprojektavo dvigubas izoliacinės plėvelės užlaidas, kurios fiksuojamos su apsaugine juosta (žr.

1c priede.). Papildomai tyrėjai rekomenduoja jungtis apdirbti hermetiku, kuris neleistų prasiskverbti ir laikytis drėgmei juose.

Kiti tyrėjai taip pat analizavo drėgmės problemą CTL plokščių konstrukcijose, Olssonas (Olsson, 2020) nustatė, kad nenaudojant papildomos apsaugos nuo vėjo ir drėgmės, didėja drėgmės prasiskverbimo per jungtis grėsmė (13 pav.).



13 pav. Lietaus vandens prasiskverbimas per jungtis į patalpų vidų (Olsson, 2020, p.4)

Olssonas (Olsson, 2020) analizavo drėgmės prasiskverbimo atvejus Švedijoje statomose statiniuose. Nustatė, kad dar statybos procese patenkanti drėgmė į patalpų vidų sudaro prielaidas atsirasti pelėsiui, kuris padaro žalą ne tik konstrukcijai, bet ir daro neigiamą poveikį mikroklimatui. Tyrėjas atliko 200 mėginių ir nustatė, kad daugiau nei pusėje jų jau buvo mikroorganizmų sukeliančių pelėsį. Taigi, montuojant CTL plokščių konstrukcijas turi būti iškart atliekami jungčių sandarinimo darbai, o pačios konstrukcijos dengiamos apsaugine plėvele siekiant sumažinti drėgmės patekimą. Wahlstrumas (Wahlstrøm, 2019) nurodo, kad CTL plokščių montavimo procese tikslinga naudoti apsauginę plėvelę, užkertant kelią lietaus vandens patekimui.

Atlikta medžio masyvo plokščių konstrukcijos ypatybių analizė atskleidė, kad montavimo darbai turėtų būti atliekami laikantis tam tikrų reikalavimų, naudojant sertifikuotas medžiagas (ypatingai jungtis), papildomai turėtų būti montuojamos jungčių apsaugos skirtos mažinti drėgmės patekimui į jas. Atlikti moksliniai turimai leidžia teigti, kad konstrukcijų statyba iš CTL plokščių turėtų būti vykdoma pagal nustatytus reikalavimus. Tai formuoja poreikį kurti specialų vadovą, kuriame būtų pateikiami visi techniniai reikalavimai.

1.5. Medžio masyvo plokščių naudojimas tvarioje statyboje

1.5.1. Medžio masyvo plokščių panaudojimo tvarioje statyboje galimybių analizė

XXI a. atsinaujinančių išteklių naudojimas, taip pat neigiamo poveikio gamtai padarinių mažinimas statybos sektoriuje yra aktualesnis nei bet kada. Spari klimato kaita, anomaliniai temperatūrų svyravimai rodo, kad gamtinėje aplinkoje vyksta neigiami procesai, tai reikalauja radikalių sprendimų leidžiančių mažinti taršą visose veiklos srityse. Statybos sektoriuje CLT plokštė yra vertinama kaip vienas iš efektyviausių sprendimų mažinti taršą ne tik statybos procese, bet ir pastato eksploatacijoje.

CLT plokščių naudojimas statyboje pasižymi eile privalumų, tačiau vertinant tvaros statybos aspektu, didžiausias privalumas yra ekologiškumas, lyginant su kitomis statybos medžiagomis betonu, plytomis, plienu, stiklu, plastikais, kurie išskiria toksines medžiagas įrėmo metu, CLT aplinkos tarša yra minimali (Nakano et al., 2020). Espinozas ir kt. (Espinoza et al., 2016) nustatė, kad CLT aplinkosauginio veiksmingumo savybės daugiausia lemia pagrindinės medienos savybės, kurios, kaip parodė daugelis gyvavimo ciklo vertinimų, yra labai palankios. Tokiu būdu masinis CLT naudojimas statyboje leistų sumažinti anglies dvideginio emisiją.

Tyrėjai, (Nakano et al., 2020, Poteschkin ir Graf, 2019), nustatė, kad palyginti su kitomis medžiagomis, tokiomis kaip betonas ar plienas, CLT naudojimas statybose užtikrina ženkliai mažesnę taršą tiek statybos procese, tiek viso statinio eksploataavimo cikle. Robertsonas ir kt. (Robertson ir kt., 2012), Chenas (Chen, 2012), Durlingeris ir kt. (Durlinger ir kt., 2013) lygino iš CLT ir iš betoninių konstrukcijų pastatytų daugiaaukščių pastatų aplinkosauginį veiksmingumą. Tyrime nustatyta, kad CLT pastatų energija buvo mažesnė už betoninių pastatų energiją, o ozono sluoksnio mažinimo, globalinio atšilimo potencialo ir eutrofikacijos požiūriu, palyginti su betonu ir plienu, tarša buvo mažesnė (John ir kt. 2012; Durlinger ir kt., 2013). Kanadoje atlikti tyrimai parodė, kad CLT lakieji organiniai junginiai ir formaldehido išmetimai gali būti mažesni už nustatytus standartus (Robertson et al. 2012).

CLT plokštės ir visi jų pagrindu pagaminti produktai priklauso ekologiškoms technologijoms, ekologiškam pastatui. Pagrindinė ekologiško pastato idėja yra sukurti kokybišką, saugų žmonėms ir gamtos nekilnojamąjį turtą (Poteschkin ir Graf, 2019).

Pagrindinis ekologiško pastato tikslas yra sumažinti išteklių (energijos ir medžiagų) suvartojimo lygį per visą pastato gyvavimo ciklą: nuo vietos pasirinkimo, projektavimo ir statybos darbų iki eksploataavimo, remonto ir nugriovimo (Klippel ir Schmid, 2017). Tyrėjai Borgstrumas ir Erbelis

(Borgström ir Fröbel, 2019) nurodo, kad medžio masyvo plokštės naudojimas statyboje leidžia užtikrinti pilną eko- ciklą laikantis pagrindinių tvarios statybos principų.

Ekologinį ciklą sudaro du etapai. Vienas susijęs su mišku, kitas - su produktais. Miškas savo gyvybingumą įgauna iš saulės. Vykdamas fotosintezę, saulės energija absorbuojama ir reaguoja su anglies dioksidu (CO₂), gamindama maistines medžiagas augantiems medžiams. Miško gaminiuose yra anglies (C), kurią medžiai absorbavo anglies dioksido pavidalu. Produktų ekologinis ciklas apima pakartotinį naudojimą, taisymą ir perdirbimą. Šiems produktams pasibaigus, anglies dioksidas išsiskiria į atmosferą, nes atliekos skyla arba yra perdirbamos kaip bioenergija. Anglies dioksidą medžiai vėl surenka ir paverčia maistinėmis medžiagomis bei naujais jų augimo elementais (Borgström ir Fröbel, 2019) (žr. D priede).

CLT plokščių gamyboje gaunami šalutiniai produktai (medžio drožlės ir medienos atliekos) naudojami energijai gaminti, kuri naudojama, džiovinimo krosnims šildyti, taip sumažinant iškastinės energijos poreikį gamybos metu. CLT plokštės gaminamos pagal konkretaus statinio projektą, kas sumažina nepanaudotos CLT plokštės likučių kiekius.

CLT plokščių likučiai atsiradę transportavimo ir statybos procesuose gali būti panaudojami pakartotinai (pvz. paletės, dėžės) arba perdirbami. Pasibaigus statinio eksploatavimo ciklui, jis yra demontuojamas, panaudotos CLT plokštės, jų konstrukcijos ir mediniai baldai panaudojami šilumos energijos gaminimui. Energijos gamybos procese liekantys pelenai panaudojami trąšų gamyboje, kurios naudojamos miško atsodinime. Tokiu būdu užtikrinamas pilnas ekologinis ciklas, nes CLT plokščių naudojimas statyboje leidžia sumažinti neigiamą statybos poveikį aplinkai, užtikrina atsinaujinančių išteklių naudojimą ir efektyvią eksploataciją užtikrinant CLT plokščių maksimalų panaudojimą, įskaitant ir perdirbimą, tuo pat metu tausojant išteklius ir mažinant aplinkos taršą. Tokiu būdu mažinama tarša ne tik statybos procese bet ir visą pastato eksploatacijos ciklą LCA (Life Cycle Assessment) (Akshov, 2021).

Tai patvirtina ir Murzino (2019) atlikta analizė, kuri leido nustatyti, kad CLT plokštė atitinka daugelį tvarios statybos reikalavimų (4 lentelė).

Remiantis Murzinu (2019), Akshovu (2021) CLT plokštė kaip statybinė žaliava ir iš jos pastatyti statiniai atitinka daugelį tvarios statybos reikalavimų. Galima teigti, kad iš CLT plokštės gali būti statomi ne tik gyvenamosios paskirties statiniai, bet ir viešosios, komercinės ir gamybinės paskirties statiniai užtikrinant jų atitikimą tvarios statybos reikalavimus. Tai patvirtina įgyvendinti įvairūs statybos projektai visame pasaulyje.

4 lentelė. Statinio iš CLT plokštės rodikliai atitinkantys tvarios statybos reikalavimus (Murzin, 2019, p.15)

Ekologiniai rodikliai	Ekonominiai rodikliai	Socialiniai rodikliai
Pirminės energijos suvartojimas	Galimybė prisitaikyti	Darbo ir gyvenimo kokybė patalpose
Vandens suvartojimas	Techninio aptarnavimo paprastumas	Nekenksmingos darbo sąlygos
Medžiagos	Vietinių medžiagų naudojimas	Vizualinis komfortas
Atliekų susidarymas		Temperatūrinis komfortas
Galimybė mažinti visuotinį atšilimą	Objekto vertės padidėjimas	Akustinis komfortas
Ekologinė objekto vertė	Statinio panaudojimo našumo didinimas	Viešųjų paslaugų prieinamumas
Miesto grunto panaudojimas	Būsto prieinamumas ir komercinis rentabilumas	Prieinamumas vartotojams turintiems ribotas finansines galimybes
Išteklių išsekimas	Tarnavimo laikas	Prieinamumas prie viešojo transporto
Fotocheminio ozono susidarymo potencialas	Eksploatacijos ciklo kaina	Vartotojų poreikių atitikimas
Nebiologinis išsekimas	Lankstumas, dydis, forma	Orientacija į individualius poreikius
Biologinis išsekimas		Eksplotavimo priimtumas
Toksiškumas žmogui		Apsauga nuo nelaimingų atsitikimų
Toksiškumas gamtinei aplinkai		

Gyvenamoji statyba: 2010 – 2020 m. laikotarpyje CLT plokštė buvo panaudota kaip pagrindinė statybinė medžiaga įgyvendinant gyvenamosios statybos projektus:

Daugiabučiai gyvenamieji namai: Vidurio Europos ir Šiaurės Amerikos šalyse plačiai taikoma medinių karkasinių gyvenamųjų namų statybos technologija. Daugiabučių namų projektavimas ir statyba pagal CLT plokštės atitinka bendrą kultūros tradiciją, nes savo esme tai yra tas pats karkasas, tačiau pagamintas iš medžio ir atlaiko didesnes apkrovas nei tradicinis lengvas medinis karkasas (Dementev, 2020).

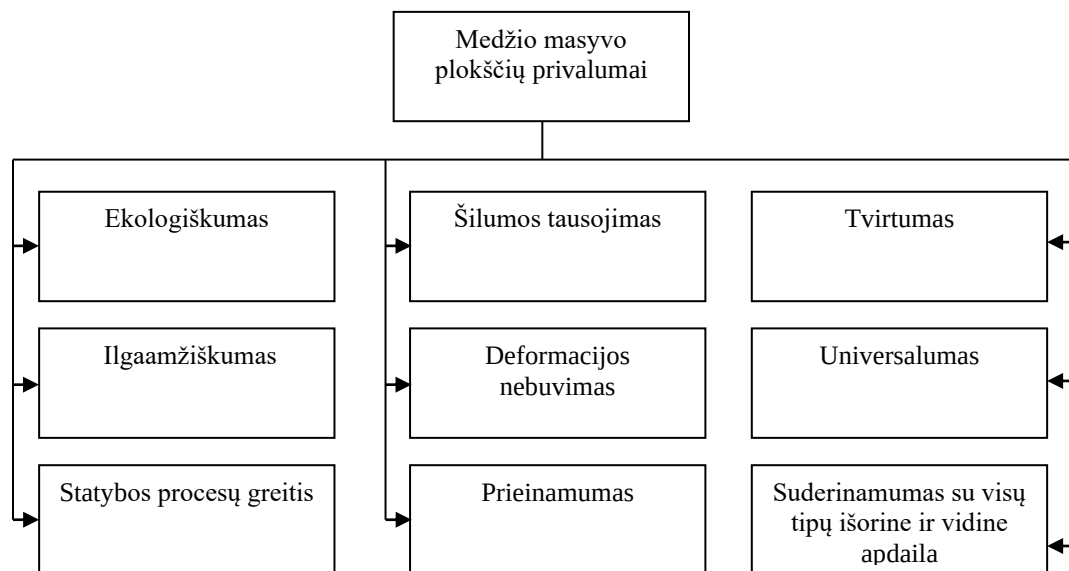
Nuo CTL technologijos atsiradimo pradžios pagrindinis dėmesys buvo kreipiamas į mažaaukštę statybą, tačiau vystantis šiai technologijai, per pastaruosius dešimtį metų įsisavinta daugiaaukštė statyba.

Vienas didžiausių projektų įgyvendintų pastaraisiais metais, naudojant CLT plokštes yra „Tallwood House“ daugiaaukštis pastatas Vankuveryje (Kanadoje) (žr. E priede. 2 pav.). Bendras „Tallwood House“ aukštis sudaro beveik 58 m., jame yra įrengti 305 butai.

Apibendrinant galima teigti, kad medžio masyvo plokštės naudojimas statinių statyboje leidžia užtikrinti pilną eko- ciklą ir praktiškai realizuoti tvarios statybos ir darnaus vystymosi koncepciją, nes CLT plokščių gamybos ir naudojimo šalutiniai produktai gali būti efektyviai perdirbami, jos pasižymi maža aplinkos tarša, o pasibaigus statinio eksploatacijos laikotarpiui, jis demontuojamas, CLT plokštės ir jų konstrukcijos panaudojamos energijos gavyboje. Šio proceso metu išskiriamas CO₂ yra absorbuojamas augančio miško. Tokiu būdu užtikrinamas uždaras eko – ciklas, kuris leidžia realizuoti tvarios statybos koncepciją.

1.5.2. Medžio masyvo plokščių naudojimo tvarioje statyboje privalumai ir trūkumai, barjerai

Klijuoto medžio masyvo plokščių naudojimas daugiaaukščių pastatų statyboje pasižymi eile privalumų, kurie pateikiami 14 paveiksle.



14 pav. Medžio masyvo plokščių privalumai (sudaryta remiantis Lysenko, 2018; Kolb, 2008; Mahamid, 2020)

Kolbas (2008) nagrinėdamas šiuos privalumus, akcentuoja privalumų kompleksą, kurį sudaro tokie pagrindiniai privalumai kaip konstrukcijų lengvumas ir didelė atraminė (laikomoji galia). Mažas plokščių svoris palengvina transportavimą, sumažina pamato apkrovą ir pagreitina montavimo procesą.

Atsižvelgiant ir į laiką, skirtą gamybai, ir į tiesioginį surinkimo laiką statybvietėje, tai naudojant CTL, statybos laikas sutrumpėja dvigubai nei statant pagal tradicines sistemas.

Vienas pagrindinių CTL privalumų yra ekologiškumas. Aplinkosaugos požiūriu CTL pasižymi puikiomis savybėmis gaminant, montuojant, eksploatuojant ir net nugriauant iš jų pastatytus pastatus. Medžio masyvo plokščių šilumos laidumas yra labai žemas, todėl namai, pastatyti naudojant šią technologiją, yra geriausias sprendimas įgyvendinant „pasyvių namų“, kuriems nereikia išorinių šildymo šaltinių, idėją, net regionuose, kuriuose yra šaltas klimatas (Lysenko, 2018, p. 49).

Vienas naujausių tyrimų, susijusių su CLT naudojimo motyvais ir barjeriais buvo atliktas tyrėjų Wahlstrumo, Gullbrekkeno ir Elvebako (Wahlstrøm, Gullbrekken ir Elvebak, 2020), kurie siekė ištirti statybos specialistų, architektų, nekilnojamo turto vystytojų patirtį naudojant CLT. Taikant kiekybinį tyrimo metodą, naudojant standartizuotą apklausą buvo apklausti 25 ekspertai. Tyrime nustatyta, kad Norvegijoje pagrindinis motyvas pasirinkti CLT yra šios medžiagos draugiškumas aplinkai, minimali medžiagos tarša. Dėl šios priežasties CLT dažniausiai naudojama viešųjų pastatų projektuose (Borgström ir Fröbel, 2019). Kolbas (2008) akcentuoja, kad vienas iš svarbiausių CLT naudojimo motyvų yra paprastas jų montavimas, tačiau Wahlstrumo, Gullbrekkeno ir Elvebako (2020) tyrimas šį CLT naudojimo motyvą paneigia, nes laiko sąnaudos ir produktyvumas tiesiogiai priklauso nuo statomo pastato tipo ir taikomų architektūrinių sprendimų. Mokslininkų atliktas tyrimas patvirtina šiuos teiginius, jo metu nustatyta, kad CLT yra racionali statybos sistema, leidžianti pasiekti didelį darbo našumą statant standartizuotus pastatus.

Kitas medžio masyvo plokščių privalumas - jos gaminamos iš atsinaujinančių gamtinių išteklių, o gamybos atliekos naudojamos šilumos energijai, trąšoms ir kitokioms reikmėms. Taip pat paminėtinas perdirbimo aspektas, nes medžio masyvo plokštės pasibaigus jų tarnavimo laikui gali būti perdirbtos taip mažinant aplinkos taršą ir atliekų kiekį sąvartynuose. Atlikta analizė leidžia teigti, kad medžio masyvo plokščių naudojimas statybos sektoriuje atveria naujas galimybes mažinti taršą ir neigiamą poveikį aplinkai ne tik statybos procese, bet ir tolimesniuose statinio eksploatacijos ciklo stadijose (Telichenko, 2017; Tetenov ir Argatov, 2020).

JSC „Skonto Group“ (Latvija) besispecializuojanti pastatų statyboje iš CLT plokščių apskaičiavo CLT naudojimo privalumus tvarios statybos kontekste (žr. F priede). Skonto Group (2021) analitikų vertinimu CLT naudojimas leidžia 30 proc. sutrumpinti statybos laikotarpį, 50 proc. sumažinti atliekų kiekį, 28 proc. sumažinti statybos kaštus. 200 proc. padidinti tvarios statybos kriterijų įgyvendinimą lyginant su įprastiniu statybos procesu.

Medžio masyvo plokščių naudojimo gyvenamojoje ir komercinėje statyboje barjerai:

ankstesnėse darbo dalyse buvo nustatytos plačios medžio masyvo plokščių naudojimo statyboje galimybės, nauda plėtojant tvarios statybos koncepciją praktiniame lygmenyje. Nepaisant to medžio masyvo plokštė nėra taip plačiai naudojama, kaip kitos statybinės medžiagos. Šis faktas leidžia teigti, kad CLT plokštės naudojimas statyboje susiduria su tam tikrais barjerais, kurie moksliniame lygmenyje nėra pakankamai išanalizuoti.

Wahlstrumas, Gullbrekkenas ir Elvebakas (2020) analizuojant medžio masyvo plokštės naudojimą Norvegijoje išskiria tris pagrindinius barjerus – visuomenės nuomonė, naujovės efektas, nepakankamai įsisavinta šios medžiagos naudojimo technologija. Tačiau tai nėra vieninteliai medžio masyvo plokštės naudojimo barjerai. Svarbų tyrimą šioje srityje atliko autorių kolektyvas Espinoza ir kt. (2016), pagrindinis tikslas - ištirti Europos inžinierių kompetenciją CLT naudojimo srityje bei identifikuoti pagrindines kliūtis įsisavinant CLT. Viena iš tyrimo instrumentarijaus (anketos) klausimų grupių buvo skirta nustatyti pagrindinius barjerus ribojančius platesnį CLT naudojimą statybos sektoriuje. Tyrimo rezultatai atskleidė naujus CLT naudojimo barjerus, kurių neidentifikavo kiti tyrėjai. Vienas pagrindinių barjerų yra suderinamumo su statybos kodeksu problemos. Sunkumai su CLT naudojimu įgyvendinant statybos projektus daugiau nei pusei respondentų yra didelis barjeras, motyvuojantis naudoti kitas statybines medžiagas. Nustatyta, kad statybos inžinieriams ir statybininkams trūksta informacijos apie CLT naudojimą (38,8 proc.). Pakankamai reikšmingi yra kiti nustatyti CLT naudojimo barjerai - neteisingas supratimas apie CLT (nusistovėjusi neigiama nuomonė) (32,7 proc.), CLT kaina taip pat kai kuriems respondentams yra CLT naudojimo barjeras (29,2 proc.). Tačiau 60,9 proc. respondentų nurodė, kad CLT, kaip statybinės medžiagos, naudojimo kliūtys gali būti įveikiamos (Espinoza et al., 2016, p. 288).

Šio tyrimo rezultatai gali būti palyginami su panašaus, ilgalaikio tyrimo, vykdyto 2014 – 2015 m. rezultatais. Laguardas-Mallo ir Espinozas (2015) atliko tyrimą, buvo apklausti JAV architektai. Tyrimo tikslas - nustatyti architektų žinias apie CLT ir jos naudojimo galimybes statyboje. Šio tyrimo rezultatai, taip pat atskleidė, kad pagrindiniu CLT naudojimo barjeru JAV architektai laiko statybos kodeksų suderinamumo klausimus. CLT naudojimą JAV riboja ir kiti barjerai, tokie kaip informacijos stoka, technologinės patirties trūkumas, taip pat didelės priežiūros išlaidos ir degumas. Šis tyrimas taip pat atskleidė CLT kaip statybinės medžiagos prieinamą problemą. Ne visose valstijose ar regionuose galima įsigyti reikiamus CLT, o jos transportavimas dideliais atstumais lemia ženklų galutinės kainos padidėjimą ir papildomas laiko sąnaudas. Atliktas tyrimas leidžia teigti, kad CLT naudojimas JAV yra

atskirų statybos įmonių ar nekilnojamo turto projektų vystytojų iniciatyva, tačiau nėra plačiai paplitusi visoje šalyje.

Tyrėjai iš Norvegijos, Wahlstrumas, Gullbrekkenas ir Elvebakas (2020), atlikę statybos ekspertų apklausą, nustatė, kad CLT naudojimas nesukelia daugiau problemų nei kitokių statybinių medžiagų bei konstrukcijų naudojimas. Pagrindiniais barjerais yra nepakankama statybininkų patirtis dirbant su CLT, techninės literatūros ir kitokios reikalingos informacijos ribotas prieinamumas. Nustatyta, kad Norvegijoje pagrindinė CLT naudojimo kliūtis yra priešgaisrinės saugos ir akustikos taisyklių laikymasis. Wahlstrumo, Gullbrekkeno ir Elvebako (2020) nuomone priešgaisrinės saugos ir akustikos problemai moksliniame lygmenyje nėra skirta pakankamai dėmesio, todėl iki šiol ji nėra išspręsta, nors technologiniame lygmenyje tam nėra priežasčių.

Vienas iš pagrindinių CLT plokštės naudojimo barjerų visuomenėje yra susijęs su jos mažu atsparumu ugniai ir aukštomis temperatūroms (Wahlstrøm, 2019). Analizuojant šio barjero pagrįstumą yra aktualus Dúbravská, Tereňová ir Štefková (2020) tyrimas, kurio metu buvo tiriamas vertikalios CLT plokštės atsparumas ugniai atliekant specialius bandymus. Tyrimui panaudotas keramikos spinduliuotės skydas kaip šilumos šaltinį, kurio maksimali paviršiaus temperatūra siekia 935 ° C. Eksperimento tikslas buvo įvertinti eksperimento mėginį, jo atitikimą šiluminės izoliacijos ir vientisumo reikalavimus esant šiluminiam 30 min. poveikiui. Atlikus bandymą nustatyta, kad konstrukcija atlaikė šilumos poveikį 30 minučių ir išlaikė pastebėtus atsparumo ugniai kriterijus. Uždegtas CLT plokštės sluoksnis, sukurtas ant atviros pusės paviršiaus, 20 mm storio, slopino šilumos perdavimą į kitus konstrukcijos sluoksnius (Dúbravská, Tereňová ir Štefková, 2020, p. 605). Atliktas tyrimas patvirtina pakankamą CLT plokštės atsparumą auštomis temperatūroms ir mažą šilumos laidumą veikiant tiesioginiai liepsnai.

Analizuojant CLT naudojimo tvarioje statyboje barjerus, kyla klausimas: ar CLT naudojimo statyboje barjerai gali būti įveikti? Vienas pagrindinių barjerų yra visuomenės ir kai kurių specialistų įsitikinimas, kad CLT konstrukcijos yra ne tokios tvirtos kaip betono ar geležinės. 2019 – 2021 m. šios problemos sprendimui buvo atlikti keli tyrimai, kurie padėjo įveikti šį barjerą technologiniame lygmenyje. Dementevas (2020) kartu su „Architectural workshop of Totan Kuzembaev“ specialistais atliko skaičiavimus, kurie leido nustatyti, kad CLT konstrukcija gali būti ženkliai sustiprinta naudojant betoninį pagrindą ir karkasą. Mokslininkų komanda iš Lavalio universiteto Kanadoje eksperimentiškai įrodė naudą naudojant šias dvi medžiagas kartu. Jungiant medieną su betonu, gaunama efektyvesnė konstrukcija, atsižvelgiant į stiprumą, standumą, vibraciją ir garso izoliaciją. Tokios konstrukcijos vadinamos medžio-betono kompozicinėmis plokštėmis. Naujieji elementai efektyviai naudojami abiejų

medžiagų pranašumais: medinė dalis atlaiko tempimo jėgas, o betoninė - gniuždymo jėgas (Akshov, 2021). Atlikti tyrimai įrodė, kad CLT naudojimui tvarios statybos plėtojimui, statant įvairaus dydžio ir paskirties pastatus, nėra techninių kliūčių. Egzistuojantys konstrukciniai sprendimai jau dabar leidžia užtikrinti kombinuotų CLT konstrukcijų tvirtumą prilygstantį betono ir kitokių apdailos medžiagų konstrukciniams deriniams.

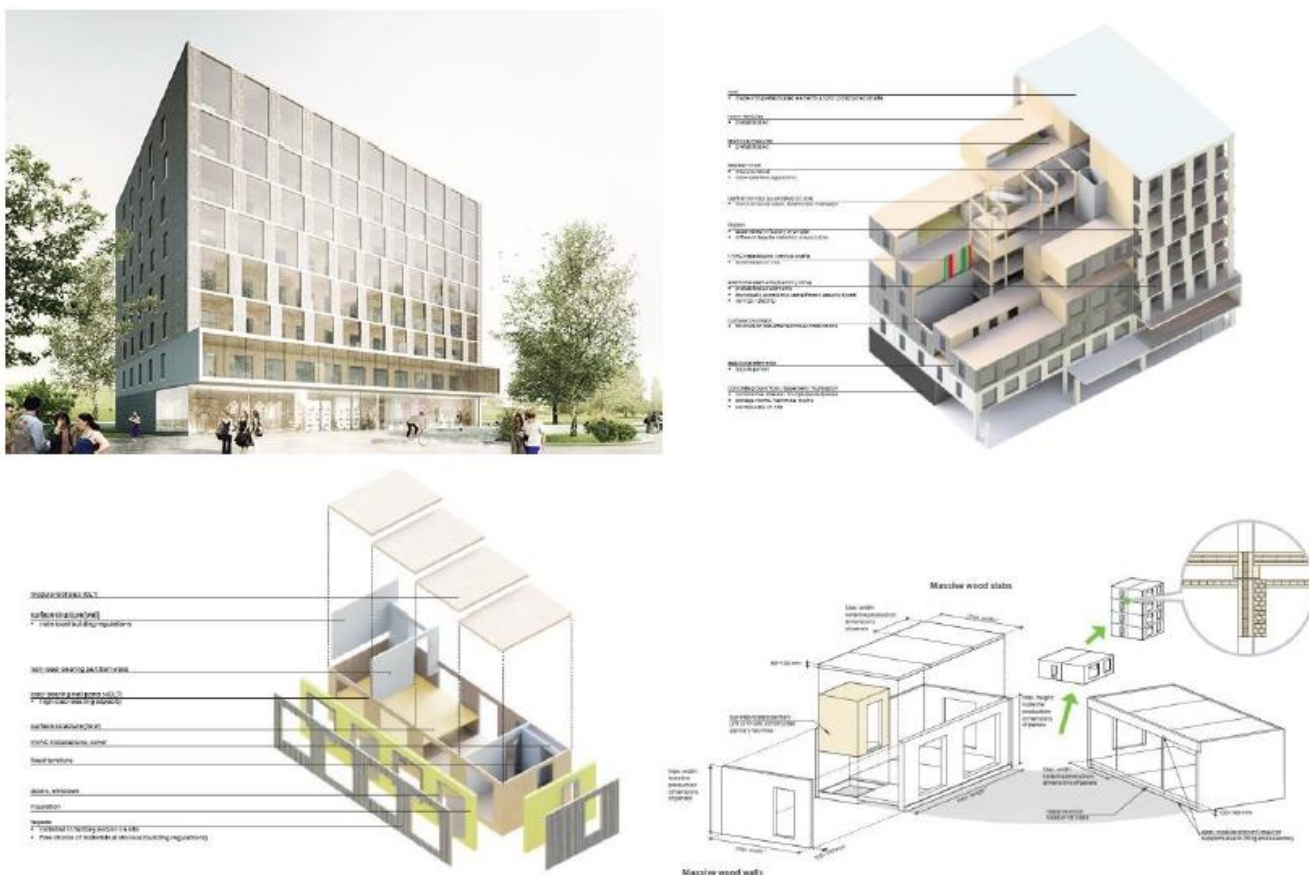
Įvairiuose analizuotuose tyrimuose nustatyta, kad CLT naudojimą riboja technologinės informacijos stoka. Wahlstrumas (Wahlstrøm, 2020a) nurodo, kad ši problema yra aktuali daugelyje šalių, tame tarpe ir Norvegijoje, kur CLT naudojimas užtikrinant tvarią statybą smarkiai pažengė į priekį per 2015 – 2020 m. laikotarpį. Tačiau ir šioje šalyje informacija apie CLT naudojimą yra pasenusi, neatitinka šiandieninių statybos technologijų galimybių. Eliminuoiant šį barjerą Wahlstrumas (2020a) rekomenduoja parengti techninį CLT naudojimo statybose vadovą. Tuo tikslu tyrėjas atliko 19 kokybinių interviu su ekspertais ir gavo daugiau nei 400 dokumentų iš 12 CLT projektų. Remiantis gauta informacija, buvo parengtas CLT statybos vadovas, kuriame daugiausia dėmesio skiriama drėgmės saugos projektavimui ir racionaliai gamybai, o jo kokybę užtikrino 16 pramonės ir mokslininkų bendruomenės ekspertų. Svarbu yra tai, kad vadovas buvo rengiamas konsultuojantis su ekspertais įgyvendinančiais CLT statybos projektus, taip pat mokslininkais. Tokiu būdu jame pateikiama praktinė, Norvegijai aktuali, CLT naudojimo statybose informacija. Ši Norvegijos patirtis galėtų būti efektyviai pritaikoma ir Lietuvoje skatinant CLT naudojimą tvarios statybos koncepcijos ribose.

Apibendrinant apžvelgtus tyrimus išskiriami tokie pagrindiniai CLT naudojimo privalumai: ekologiškumas, ilgaamžiškumas, statybos procesų greitis, šilumos tausojimas, deformacijos nebuvimas, prieinamumas, tvirtumas, universalumas. Pagrindiniais CLT naudojimo barjeriais galima laikyti šiuos: visuomenės nuomonė, naujovės efektas, nepakankamai įsisavinta naudojimo technologija, suderinamumo su statybos kodeksu problemos, prieinamumo problemos, abejonės dėl atsparumo ugniai ir aukštomis temperatūroms, techninės informacijos apie CLT stoka.

2. MEDŽIO MASYVO PLOKŠČIŲ TECHNINIŲ CHARAKTERISTIKŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS IR NAUDOJIMO LIETUVOS STATYBOS SEKTORIJE GALIMYBIŲ ANALIZĖ TVARIOS STATYBOS KONTEKSTE

2.1. Medžio masyvo plokščių naudojimo ES šalių pastatų statyboje patirtis

2010-2021 m. laikotarpyje ES daugėja CLT plokščių naudojimo iniciatyvų įvairių statinių statyboje. Didžiausia pažanga yra pasiekta mažaukštėje ir daugiaaukštėje gyvenamųjų namų statyboje. Kompanija StoryEnso, besispecializuojanti daugiaaukščių gyvenamųjų namų statyboje, sukūrė standartizuotą 3 – 8 aukštų gyvenamųjų namų statybos procesą naudojant CLT plokštes (15 pav.).

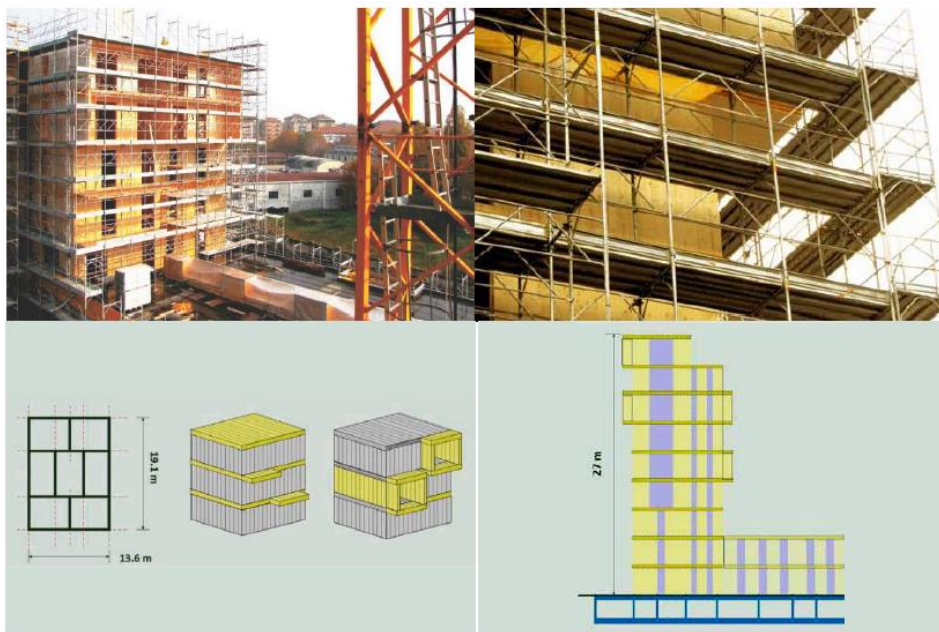


15 pav. Kompanijos „StoryEnso“ daugiabučių gyvenamųjų namų statybos sistema naudojant CLT plokštės (Lysenko, 2018, p. 49)

„StoryEnso“ sistema grindžiama atraminių konstrukcijų gamyba iš CLT plokščių gamykloje ir surinkimu statybos vietoje. Surinkimui naudojama sunkioji technika leidžianti pasiekti labai didelį

darbo našumą. Kiekvienas daugiabutis namas turi savo surinkimo procesą leidžianti užtikrinti maksimalų darbo tempą ir mažą broko procentą.

Analogišku principu veikia XLAM technologija, taikant ją gaminamos atraminės ir vidinės sienos, kurios iš kart montuojamos statybvietyje. Pagrindinis technologijos privalumas, besiūlis plokščių sujungimas užtikrinant aukštą šiluminės izoliacijos koeficientą. Vienas tokių pavyzdžių, 9 aukštų gyvenamasis namas Milane, Via Kenni gatvėje (16 pav.).



16 pav. Devynių aukštų pastatas iš CLT plokščių Milane, pastatytas pagal XLAM technologiją (Lysenko, 2018, p. 50)

XLAM technologijos esmė labai greita pastato statyba, langų sudėjimas ir apdailos uždėjimas išnaudojant tuos pačius stelažus ir gamybinius pajėgumus. Tokiu būdu užtikrinama maksimali kaštų ekonomija, kas leidžia pasiūlyti labai patrauklią būtų kainą daugiabučiuose esančiuose miesto centre.

Šiandieną nagrinėjant CLT plokščių panaudojimo klausimus daugiaaukščių pastatų statyboje, pagrindinės diskusijos yra susijusios su galimu pastatų aukščiu. Skeptikai dažniausiai kalba apie nepakankamą medžio masyvo plokščių tvirtumą ir tinkamumą daugiaaukščiai statybai. Tačiau praktika rodo kitaip. 2015 m. Bergene (Norvegijoje) buvo baigtas statyti 14 aukštų daugiabutis „Treet“ (17 pav.).

49 m. aukščio daugiabutis „Treet“ pasižymi unikaliais sprendimais užtikrinančiais greitą statybos procesą ir žemus eksploatacinius kaštus, nes pastatas visą dieną yra šildomas saulės spindulių, žemas šilumos atidavimas ir atsparumas vėjui, užtikrina nedidelius šildymo kaštus net ir žiemą.



17 pav. 14 aukštų daugiabutis Bergene (Norvegijoje) pastatytas iš CLT plokščių (WSP, 2018)

Kitas daugiaaukštis pastatas yra pastatytas Melburne (18 pav.).



18 pav. „Forté“ 32 metrų aukščio daugiafunkcinis pastatas iš CLT plokščių (WSP, 2018)



19 pav. „Stadthaus (Murray Grove)“ daugiafunkcinis pastatas iš CLT plokščių Londone (Stadthaus, London, 2001)

„Forté“ aukštis sudaro 32 metrus, tačiau jis turi laikančiąją struktūrą pagaminta iš metalo sijų ir gelžbetonio perdengimų, atraminės ir vidinės sienos pagamintos iš CLT plokščių. „Forté“ yra butai, apartamentai su mansardomis, parduotuvės ir kavinė. Daugelis būtų turi savo balkonus. Panašios konstrukcijos pastatas yra užbaigtas statyti Londone „Stadthaus“ (Murray Grove) (19 pav.).

CLT ES vis plačiau naudojamos vidutinio dydžio kelių ir daugiau aukštų gyvenamųjų namų statyboje dėl ekologiškumo, greito statybos proceso ir sąlyginai nedidelių kaštų bei galimybės sukurti originalų dizainą (20 pav.).



20 pav. Daugiaaukštis gyvenamasis namas pastatytas iš CLT plokščių (Natürlich wohnen ohne Leim und Chemie, 2018)

Individualių gyvenamųjų namų statyboje CLT plokštė naudojamas įgauna pagreitį statant ekonominės ir vidutinės klasės, standartizuotus namus, kas leidžia užtikrinti priimtina kainą ir greitą statybos procesą (21 pav.).



21 pav. Gyvenamieji namai iš CLT plokščių Corfield (2018)

D.Britanijoje, Norvegijoje atsiranda vis daugiau specializuotų statybos kompanijų siūlančių įsigyti standartinį gyvenamąjį namą iš CLT plokščių, kuris pastatomas ir įrengiamas per trumpą laiką. Teikiamas pilnas paslaugų paketas „nuo pamatų iki rakto“.

Tačiau praktinės CLT plokščių taikymo galimybės yra žymiai didesnės. Dengleris Katzenwald Zischler architektenas Fellbacho mieste įgyvendino unikalų projektą, iš CLT plokščių pastatė vyno daryklą (22 pav.).



22 pav. Vyno gamykla pastatyta pagal Massiv-Holz-Mauer technologiją (Lysenko, 2018, p. 49)

Šios gamyklos gabaritai yra netipiniai, sudaro 40x33 m. Joje be standartinių patalpų, taip pat yra degustacijos salės, viešbutis ir restoranas.

Wahlstrumas, Gullbrekkenas ir Elvebakas (2020) nurodo, kad Norvegijoje CLT plokštės vis plačiau naudoja viešųjų pastatų statyboje. Vienas tokių pastatų yra daugiaviešbutinis statinys pavadinimu „Inovacinio projektavimo iš medžio centras“, kurio aukštis siekia 29,5 m, bendras plotas 4820 m² (23 pav.).



23 pav. Inovacinio projektavimo iš medžio centras (Dementev, 2020, p. 98)

Statinys pastatytas iš CLT plokštės, turi karkasinę struktūrą su šerdimi pastato viduje, kurioje įrengtos lifto šachtos, ventiliacija, komunikacinės angos.

Komer ciniai pastatai (verslo centrai, logistikos sandėliai): 2014 – 2020 m. įgyvendinami komercinės paskirties projektai naudojant CLT plokštes. Komer ciniai pastatai iš CLT plokštės yra būdas prisidėti prie klimato atšilimo mažinimo, formuoti teigiamą verslo įvaizdį. Dažniausiai statomi klasikinio dizaino pastatai, siekiant optimizuoti statybos kaštus ir laiką. Tačiau CLT plokštės naudojimas leidžia sukurti unikalią architektūrą, vienas tokių pavyzdžių UAB „Holzbau Unterrainer“ administracinis pastatas (24 pav.).

2017 – 2020 m. Europoje, Japonijoje iš CLT plokštės statomi verslo centrai, viešbučiai, administraciniai pastatai, taip pat logistikos centrai.



24 pav. UAB „Holzbau Unterrainer“ administracinis pastatas (Italija) (Guzely, 2020)

Paminėti projektai yra vieni iš nedaugelio. CLT plokščių naudojimo praktika įsisavinama ES šalyse įgyvendinant įvairius statybinius projektus. CLT plokščių naudojimas atveria plačias galimybes sumažinti neigiamą statybos poveikį aplinkai užtikrinant antrinę CLT plokščių perdirbimą pasibaigus jų eksploatacijos ciklui.

Atlikta medžio masyvo plokščių panaudojimo ES daugiaaukščių pastatų statyboje analizė leidžia teigti, kad šiandieną gaminamos medžio masyvo plokštės, pagal savo technines charakteristikas pilnai gali būti naudojamos daugiaaukštėje statyboje. Siekiant sustiprinti statinio konstrukciją, medžio masyvo plokštės gali būti kombinuojamos su gelžbetonio konstrukcijomis, perdengimais. Tačiau reikia pažymėti, kad CLT naudojimas statyboje ES yra vykdomas atskirų statybos projektų lygmenyje. CLT dar nėra masiškai naudojama statybinė medžiaga, nėra iki galo ištirtos ilgalaikio jos naudojimo savybės. Tai formuoja poreikį tirti platesnio CLT panaudojimo galimybes.

2.2. Skirtingų tipų medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriteris vertinimas

2.2.1. Daugiakriterio vertinimo metodika

Tyrimo metodas- daugiakriterinis vertinimo SAW metodu.

Vertinamos alternatyvos. Tyrime vertinamos šios medžio masyvo plokštės:

- CLT;
- „Massive Holz Mauer“
- „Thoma Holz“
- „Drevoblok“
- „Unipanel“

Daugiakriterinio vertinimo kriterijai ir jų reikšmingumo vertinimas. Vertinimo kriterijai parinkti remiantis Lysenko (2018) kriterijais:

- Šilumos laidumas
- Šilumos talpa
- Pasipriešinimas šilumos atidavimui
- Atsparumas difuzijai
- Garso izoliacija
- Perdegimo greitis

Vertinama kiek plokštės pagal šiuos kriterijus yra tinkamos Lietuvos klimatinėms sąlygoms: .

- Šilumos laidumo tinkamumas Lietuvos sąlygomis
- Šilumos talpos tinkamumas Lietuvos sąlygomis
- Pasipriešinimo šilumos atidavimui tinkamumas Lietuvos sąlygomis
- Atsparumo difuzijai tinkamumas Lietuvos sąlygomis
- Garso izoliacijos tinkamumas Lietuvos sąlygomis
- Perdegimo greičio tinkamumas Lietuvos sąlygomis

Kriterijų reikšmingumas įvertinamas atliekant ekspertinį tyrimą. Ekspertu apklausai yra sudaryta dešimties ekspertų komanda. Šiam tyrimui atlikti yra parinkti ekspertai, turintys aukštąjį išsilavinimą ir ne mažesnę nei 2 metų patirtį statybos inžinerijos srityje. Ekspertų duomenys pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Ekspertų duomenys

Ekspertai	Pareigos	Darbo patirtis, metai
Ekspertas 1	vyr. inžinierius	3
Ekspertas 2	inžinierius	4
Ekspertas 3	inžinierius	5
Ekspertas 4	inžinierius	6
Ekspertas 5	statybos darbų vadovas – inžinierius	6
Ekspertas 6	Statybos inžinierius	10
Ekspertas 7	vyr. inžinierius	12
Ekspertas 8	inžinierius	15
Ekspertas 9	inžinierius	8
Ekspertas 10	inžinierius	3

Kriterijų reikšmingumus nustato ekspertai vertindami svarbą skaitinėje skalėje nuo 0 iki 5 (1 balų– labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – vidutiniškai svarbu, 4 – nestipriai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Kriterijų svoriai nustatyti ekspertiniais metodais rodo, kiek vienas kriterijus svarbesnis už kitą.

Ekspertų atsakymai pateikti 6 lentelėje. Nustatytas ekspertizės patikimumas apskaičiuojant konkordacijos koeficientą, išreiškianti ekspertų nuomonių suderinamumą (6 lentelė).

6 lentelė. Kriterijų reikšmingumo vertinimas, konkordacijos koeficientas

Kriterijai	Ekspertai , balai (1-5)										Nuo- krypis	Nuo- krypio kvadra- tas	Vidur- kis	Reikš- min- gumai
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Šilumos laidumo tinkamumas Lietuvos sąlygomis	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	2	2,420	4,7	0,17
Šilumos talpos tinkamumas Lietuvos sąlygomis	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	2	2,420	4,2	0,16
Pasipriešinimo šilumos atidavimui tinkamumas Lietuvos sąlygomis	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0,000	5,0	0,19
Atsparumo difuzijai tinkamumas Lietuvos sąlygomis	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	2	2,420	4,8	0,18

6 lentelės tęsinys														
Garso izoliacijos tinkamumas Lietuvos sąlygomis	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0,000	5,0	0,19
Perdegimo greičio tinkamumas Lietuvos sąlygomis	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	2	2,420	3,2	0,12
Nuokrypio kvadratų suma												9,7	26,9	1,00
Konkordancijos koeficientas												0,734		

Konkordancijos koeficientas siekia 0,734, t.y. $>0,7$, tai reiškia, jog ekspertų nuomonės suderinamumas pakankamas, o tyrimo rezultatus galima laikyti patikimais.

Alternatyvų pradiniai duomenys. Pradiniai alternatyvų duomenys yra pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. Alternatyvų rodiklių reikšmės

	CLT	„Massive Holz Mauer“	„Thoma Holz“	„Drevoblok“	„Unipanel“
Šilumos laidumas (λ), W / (m ° C)	0,1	0,093	0,088	0,1	0,087
Šiluminė talpa (-os), J / (kg ° C)	1,60	1,7	1,6	1,6	1,6
Pasipriešinimas šilumos atidavimui (R), esant h = 100 mm	0,87	1,02	0,93	0,87	0,97
Atsparumas difuzijai (μ), mikronai	62	65	37	40	35
Garso izoliacija, dB (h = 205 mm)	60	53	41	60	60
Perdegimo greitis, mm / min	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7

Duomenys rodo, jog visų tipų CTL naudojama spygliuočių ir lapuočių 1–3 rūšies mediena. Geresnėmis techninėmis charakteristikomis pasižymi CTL turinčios griovelius lamelėse. Tokius griovelius turi tik „Massive Holz Mauer“ ir „Unipanel“. Gamybos technologija leidžia gaminti įvairaus storio CTL, tačiau plačiausią storio variacijų įvairovę suteikia „Unipanel“ (30–1000 mm) ir CLT (57–500 mm). Vertinant pagal gaminamų plokščių dydį, plačiausios dydžio variacijas galimos

įsigyjant CLT arba „Unipanel“ CTL, jų dydis gali siekti 2,95x16 arba 3,3x12 m. Didžiausiu tankiu (kg / m³) pasižymi „Drevoblok“ (570) ir CLT (500) CTL. Mažiausiu šilumos laidumu pasižymi „Unipanel“ (0,087) ir „Thoma Holz“ (0,088) CTL. Geriausia garso izoliacija būdinga CLT, „Drevoblok“, „Unipanel“ CTL, ji sudaro 60 dB. Atlikus skirtingų gamintojų CTL techninių charakteristikų analizę galima teigti, kad pagal bendras technines charakteristikas išsiskiria CLT, „Thoma Holz“ ir „Unipanel“ CTL. Tačiau vertinant pagal montavimo patogumą ir laiko sąnaudas, išsiskiria CLT ir „Massive Holz Mauer“. Pagal ekologiškumo kriterijus - „Thoma Holz“, CTL.

2.2.2. Daugiakriterio vertinimo rezultatai

Taikant SAW metodiką, alternatyvos kriterijų reikšmės yra normalizuojamos, pateiktos 8 lentelėje.

8 lentelė. Vertinamų alternatyvų normalizuotos reikšmės

Rodikliai	Mato vnt.	min/ max rodiklis	Reikšmin- gumo rodikliai				Reikšmės	
				CLT	„Massive Holz Mauer“	„Thoma Holz“	„Drevoblok“	„Unipanel“
Šilumos laidumo tinkamumas Lietuvos sąlygomis	W / (m ° C)	max	0,17	0,1	0,093	0,088	0,1	0,087
Šiluminės talpos tinkamumas Lietuvos sąlygomis	J / (kg ° C)	max	0,16	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6
Pasipriešinimo šilumos atidavimui tinkamumas Lietuvos sąlygomis	(m ² ·°C) esant h = 100 mm	max	0,19	0,87	1,02	0,93	0,87	0,97
Atsparumo difuzijai tinkamumas Lietuvos sąlygomis	(μ), mikronai	max	0,18	40	65	37	40	35
Garso izoliacijos tinkamumas Lietuvos sąlygomis	dB (h = 205 mm)	max	0,19	60	53	41	60	60
Perdegimo greičio tinkamumas Lietuvos sąlygomis	mm / min	max	0,12	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7

Galutinių reikšmių matrica gaunama kiekvieną alternatyvos stulpelio nario reikšmę dauginant iš kriterijaus reikšmingumo rodiklio. Nustačius reikšmių sumas, surašoma prioritetų rangų eilutė (9 lentelė).

9 lentelė. Alternatyvų įvertinimo rodikliai

Rodikliai	Reikšmin- gumo rodikliai	Naudingumo vertinimai (reikšmė* reikšmingumo rodiklis)				
		CLT	„Massive Holz Mauer“	„Thoma Holz“	„Drevoblok“	„Unipanel“
Šilumos laidumo tinkamumas Lietuvos sąlygomis	0,17	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Šiluminės talpos tinkamumas Lietuvos sąlygomis	0,16	0,25	0,27	0,25	0,25	0,25
Pasipriešinimo šilumos atidavimui tinkamumas Lietuvos sąlygomis	0,19	0,16	0,19	0,17	0,16	0,18
Atsparumo difuzijai tinkamumas Lietuvos sąlygomis	0,18	11,60	10,50	6,60	7,14	6,25
Garso izoliacijos tinkamumas Lietuvos sąlygomis	0,19	11,15	9,85	7,62	11,15	11,15
Perdegimo greičio tinkamumas Lietuvos sąlygomis	0,12	0,10	0,08	0,11	0,10	0,08
Suma		23,28	20,91	14,77	18,81	17,93
Prioritetų rangai		I	II	V	III	IV

Tyrimo rezultatai rodo, jog tinkamiausia alternatyva yra CLT, antroje vietoje „Massive Holz Mauer“ plokštės, trečioje vietoje „Drevoblok“ plokštės.

2.3. Medžio masyvo plokščių naudojimo galimybių plėtojant tvarią statybą

Lietuvoje tyrimas

2.3.1. Ekspertinio tyrimo metodika

Siekiant ištirti medžio masyvo plokščių naudojimo galimybes plėtojant tvarią statybą Lietuvoje, atliekamas kiekybinis tyrimas taikant daugiakriterio vertinimo metodiką.

Kiekybinio tyrimo metodas. Siekiant atlikti tyrimą, svarbu išsiaiškinti, kaip Lietuvoje veikiančios statybos įmonės taiko tvarios statybos principus ir metodus savo veikloje. Taip pat nustatyti medžio masyvo plokščių naudojimo galimybes plėtojant tvarią statybą Lietuvoje, įvertinti kokiomis techninėmis charakteristikomis turėtų pasižymėti šalies klimatinėmis sąlygomis naudojamos medžio

masyvo plokštės. Siekiant šių uždavinių tikslinga apklausti didesnę skaičių specialistų ir gauti jų įvertinimą. Todėl tinkamiausias metodas yra kiekybinis. Šio metodo pasirinkimą pagrindžia ir tai, kad dėl COVID-19 pandemijos įvesti judėjimo apribojimai tarp savivaldybių, kas apsunkina fizinį kontaktavimą su respondентаis.

Tyrimo anketos pagrindimas: Tyrimui atlikti parengiama speciali anketa, kuri sudaryta remiantis iškeltais mokslinėje literatūroje analizėje išskirtais kriterijais ir vertinimo skalėmis. Tyrimo anketos pagrindimas pateikiamas 10 lentelėje.

10 lentelė. Tyrimo anketos klausimų pagrindimas (sudaryta autoriaus)

Tyrimo uždaviniai	Klausimai	Pagrindimas
Nustatyti tvarios statybos plėtojimo ypatumus tiriamose statybos įmonėse	1. Kaip Jūs vertinate tvarios statybos plėtojimo poreikio aktualumą Lietuvoje? 2. Įvertinkite tvarios statybos įgyvendinimo mastą Jūsų organizacijoje: 3. Kokie tvarios statybos elementai yra taikomi Jūsų organizacijoje?	Murzinas (2019) Chunas, Claisseas, Naikas ir Ganjianas (2020) Tamas ir Le (2019)
Įvertinti kas paskatintų tyrime dalyvaujančias statybos įmones aktyviau taikyti tvarios statybos principus	4. Ar artimiausių penkerių metų perspektyvoje Jūsų organizacija numato skirti daugiau dėmesio tvarios statybos principų diegimui savo veikloje? 5. Kas paskatintų jūsų organizaciją aktyviau diegti tvarios statybos principus savo veikloje?	Chunas, Claisseas, Naikas ir Ganjianas (2020) Tamas ir Le (2019),
Nustatyti, kaip tyrimo dalyviai vertina medžio masyvo plokštės (CLT) naudojimo galimybes Lietuvoje gyvenamųjų namų statyboje	6. Kaip Jūs vertinate medžio masyvo plokštės (CLT) naudojimo galimybes Lietuvoje gyvenamųjų namų statyboje? 7. Kokius pagrindinius CTL privalumus išskirtumėte? 8. Įvertinkite medžio masyvo plokščių naudojimo tinkamumą mažaukščių ir daugiaaukščių pastatų statyboje? 9. Įvardinkite pagrindines medžio masyvo plokščių naudojimo Lietuvoje kliūtis?	
Įvertinti techninius reikalavimus medžio masyvo plokštėms naudojant jas Lietuvos klimatinėmis sąlygomis gyvenamųjų namų statyboje	10. Kokio gamintojo medžio masyvo plokštės yra tinkamiausias naudoti Lietuvos klimatinėmis sąlygomis? 11. Kokios medienos medžio masyvo plokštės tikslinga naudoti Lietuvoje? 12. Kokios medienos rūšis turėtų būti naudojama medžio masyvo plokštės gamyboje? 13. Jūsų vertinimu koks optimaliausias medžio masyvo plokštės lentos storis, mm. 14. Jūsų vertinimu koks tinkamiausias juostelių sujungimo būdas medžio masyvo plokštėse? 15. Jūsų nuomone medžio masyvo plokštėje turėtų būti grioveliai? 16. Kokios optimaliausios medžio masyvo plokščių storio (mm) variacijos tinkamiausias gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje?	Lysenko (2018) Bidakovas, Raspopovas, Pustovoitova ir Strashkovas (2020) Borgstrumas ir Fröbelis (2019) Tetenovas ir Argatovas (2020)

	17.Kokie minimalūs ir maksimalūs medžio masyvo plokštės dydžiai (m) būtų optimalūs gyvenamųjų namų statybos procese Lietuvoje? 18.Koks optimalus medžio masyvo plokščių tankis (kg / m³) tinkamiausias gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje? 19.Koks optimalus medžio masyvo plokščių šilumos laidumas (λ), W / (m ° C) tinkamiausias gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje? 20.Kokia optimali medžio masyvo plokščių šilumos talpa (-os) (J / (kg ° C)) tinkamiausia gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje? 21.Koks optimalus medžio masyvo plokščių pasipriešinimas šilumos atidavimui (R), ((m²•°C)/Vt esant h = 100 mm) tinkamiausias gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje? 22.Koks optimalus medžio masyvo plokščių atsparumas difuzijai (μ) (mikronai) tinkamiausias gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje? 23.Kokia optimali medžio masyvo plokščių garso izoliacija (dB (h = 205 mm)) tinkamiausia gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje? 24.Koks optimalus medžio masyvo plokščių perdegimo greitis (mm / min) tinkamiausias gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje?	
Įvertinti kokius tvarios statybos reikalavimus leistų užtikrinti statinio iš medžio masyvo plokštės statybos sistema	25.Įvertinkite kokius tvarios statybos reikalavimus leistų užtikrinti statinio iš medžio masyvo plokštės statyba?	Murzinas (2019) Borgstrumas ir Fröbelas (2019)
Socialiniai klausimai	26. Kokia Jūsų lytis? 27. Koks Jūsų amžius? 28. Kokios Jūsų užimamos pareigos įmonėje? 29. Kokia Jūsų darbo patirtis su medžio masyvo plokštėmis?	

Anketą sudaro 29 uždaro tipo klausimai, jos forma pateikiama G priede.

Tyrimo imtis. Atlikus žvalgybinį tyrimą medžio masyvo plokštės Lietuvoje naudoja 45 statybos įmonės, kurių specialistai turi sukaupę tam tikrą kompetenciją šioje srityje ir gali atlikti vertinimą. Tai sudaro generalinė tyrimo imtis. Imtis skaičiuojama pagal Kardelio (2007) formulę:

$$1 / (0,05 * 0,05 + 1 / 45) = 40 \text{ respondentai.}$$

Tyrimo vieta: kadangi medžio masyvo plokštės naudojimas nėra labai paplitęs Lietuvoje, tyrimas vykdomas visoje šalyje.

Tyrimo laikas: tyrimas vykdytas 2021 m. kovo mėn. 20 d. – balandžio mėn. 19 d.

Respondentai: Tyrimo metu apklausti architektai, statybos darbų vadovai, brigadininkai. Pagrindiniai duomenys apie tyrimo dalyvius pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė. Medžio masyvo plokščių techninės charakteristikos naudojimui gyvenamųjų namų statybai Lietuvoje (sudaryta remiantis kiekybinio tyrimo duomenimis)

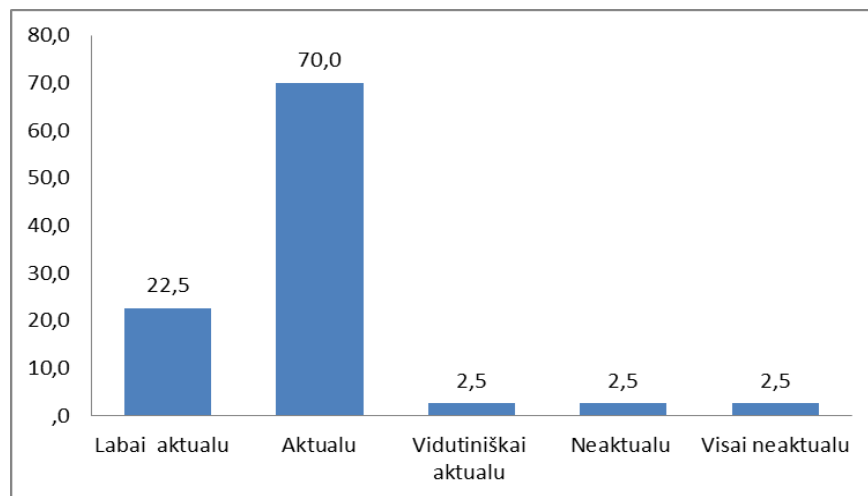
Respondentų lytis:	Vyras	92,5
	Moteris	7,5
Amžius	20-25 m.	5,0
	26 -30 m.	12,5
	31 - 40 m.	62,5
	41- 50 m.	15,0
	51 - 60 m.	5,0
Užimamos pareigos įmonėje	Architektas	10,0
	Statybos vadovas	60,0
	Inžinierius	20,0
	Techninis specialistas	10,0
Darbo patirtis su medžio masyvo plokštėmis	Iki 3 m.	47,5
	4 – 5 m.	21,0
	Daugiau nei 6 m.	31,5

Tyrimo metu buvo apklausiami respondentai turintys darbo su CTL patirtį ir susipažinę su šios medžiagos naudojimu gyvenamųjų ir kitokių statinių statyboje praktika.

2.3.2. Ekspertinio tyrimo rezultatai

Vykdamas tyrimo duomenų analizę, jų grupavimas ir pateikimas atliekamas vadovaujantis 10 lentelėje pateiktu grupavimu.

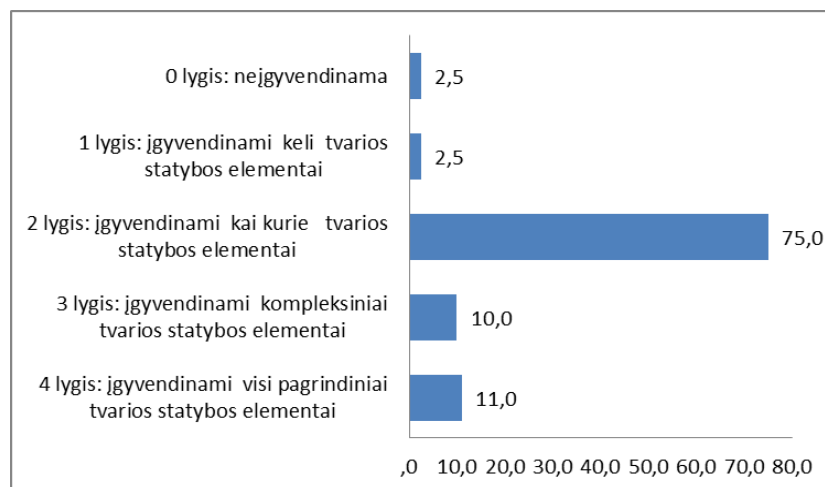
Tvarios statybos plėtojimo ypatumų tiriamose statybos įmonėse įvertinimas: Mokslinės literatūros ir ankstesnių tyrimų analizė atskleidė, kad tvarios statybos plėtra pasaulyje yra labiau susijusi su atskirų statybos įmonių iniciatyvomis ir įgyvendinamais projektais. Todėl tyrime pirmoji klausimų grupė skirta nustatyti kaip tyrime dalyvaujančios įmonės įgyvendina tvarios statybos principus. Nustatyta, kad daugelis (92,5 proc.) respondentų suvokia tvarios statybos plėtojimo poreikio aktualumą Lietuvoje (25 pav.).



25 pav. Tvarios statybos plėtojimo poreikio aktualumą Lietuvoje įvertinimas (proc.)

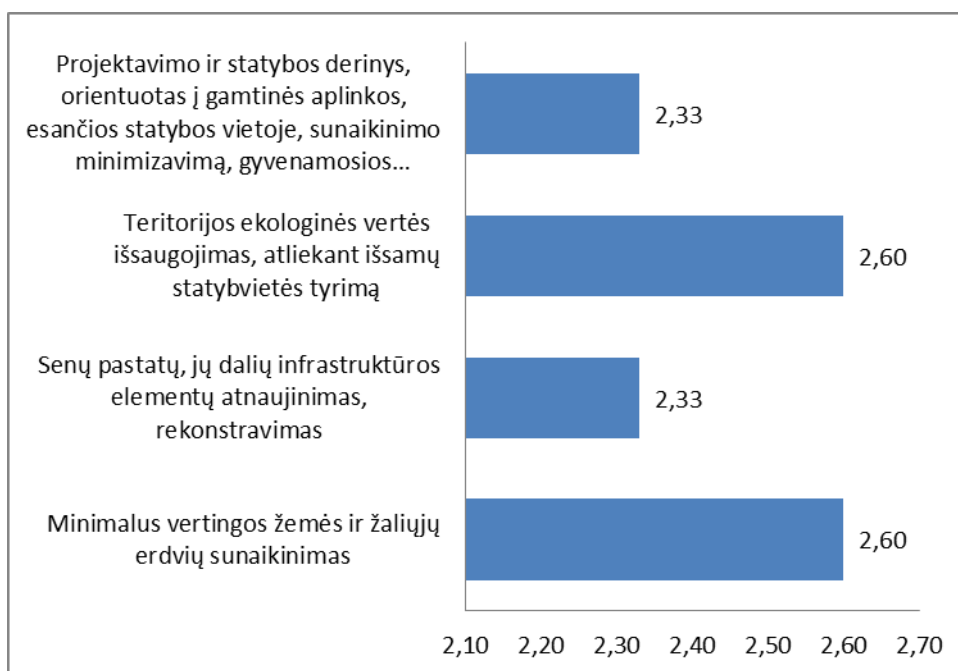
Tyrimo duomenys leidžia formuoti prielaidą, kad tiriamų įmonių vadovai ne tik žino apie tvarią statybą, bet ir suvokia jos plėtojimo reikšmingumą. Taip pat, pagal galimybes, stengiasi statybos įgyvendinti tvarios statybos principus savo organizacijose (26 pav.).

Tvarios statybos įgyvendinimo masto organizacijose įvertinimas atskleidžia, jog daugelyje (70 proc.) tiriamų įmonių yra pasiektas 2 lygis, kuomet įgyvendinami kai kurie tvarios statybos elementai. Lyginant su Erikssono ir Lindrooso (Eriksson ir Lindroos 2014) atliktu tyrimu, kur analizuojamas tvarios statybos įgyvendinimas Skandinavijos šalyse, tiriamos Lietuvos įmonės šioje srityje atsilieka. Skandinavijos statybos įmonės skiria daugiau dėmesio tvarios statybos principų įgyvendinimui. Jų veikloje aktyviau įgyvendinami kompleksiniai tvarios statybos elementai, kai kurios įmonės įgyvendina visus pagrindinius tvarios statybos elementus.



26 pav. Tvarios statybos įgyvendinimo masto organizacijose įvertinimas (proc.)

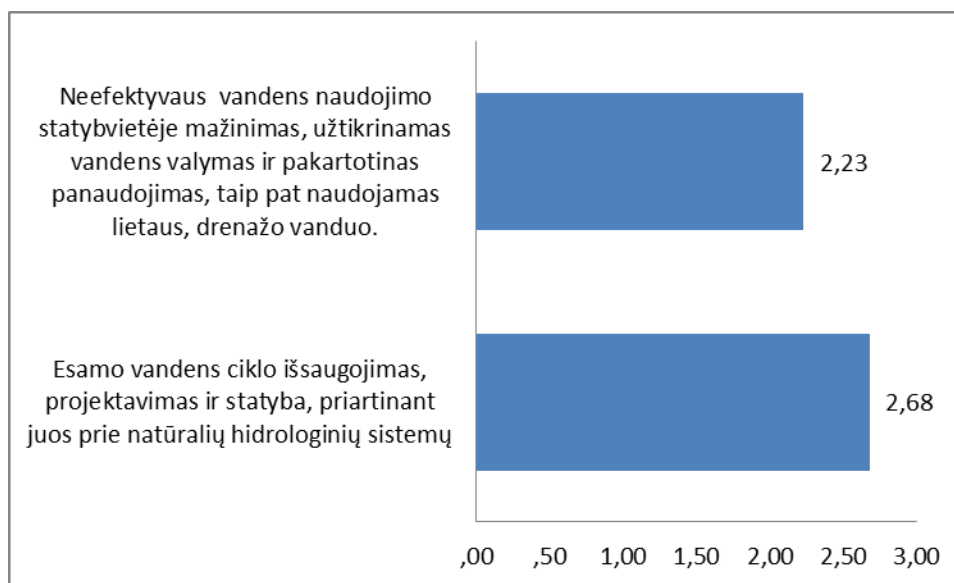
Tiriamose įmonėse plačiausiai taikomi keli tvarios statybos elementai, siekiama minimalaus vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimo bei teritorijos ekologinės vertės išsaugojimo, atliekant išsamų statybvietės tyrimą (27 pav.).



27 pav. Tvarios statybos elemento „Tvarus statybvytės projektavimas“ užtikrinimo tiriamose organizacijose įvertinimas (vidurkis)

Analizės rezultatai leidžia manyti, kad tiriamos įmonės įgyvendina tvarios statybos elementus tiek kiek tai reikalauja nustatyta tvarka ar jų taikymas nesukuria papildomų veiklos kaštų. Tvarios statybos elementų užtikrinimas nėra traktuojamas kaip veiklos tikslas, turintis prioritetą ekonominės naudos, užsakovo interesus.

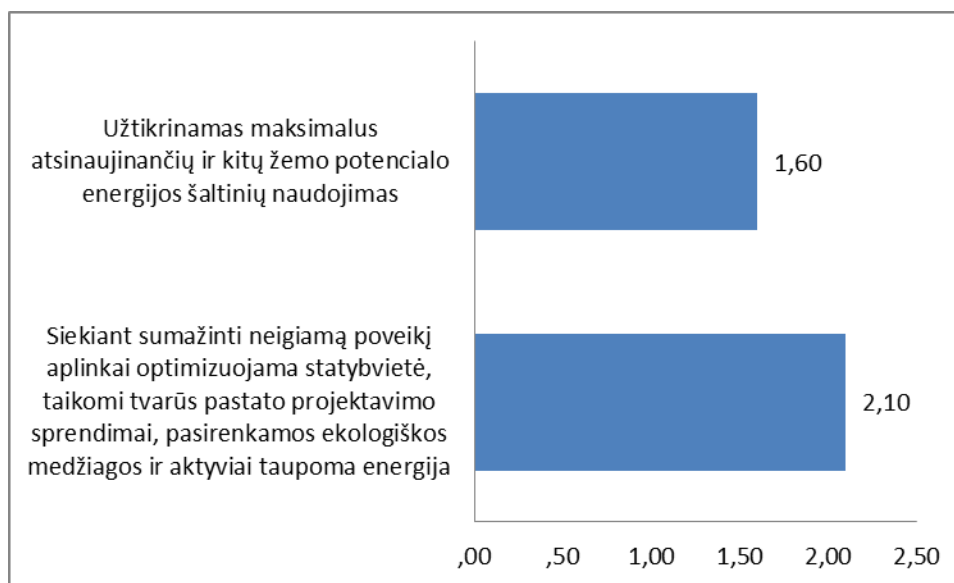
Galima teigti, kad tiriamose įmonėse nesiekama vandens telkinių kokybės išsaugojimo ir statybos procese naudojamo vandens kiekio sumažinimo diegiant vandens lietaus surinkimo sistemas ar naudojant gerta esančių vandens telkinių vandenį (28 pav.).



28 pav. Tvarios statybos elemento „Vandens kokybė ir naudojimo sumažėjimas“ užtikrinimo tiriamose organizacijose įvertinimas (vidurkis)

Nustatyta, kad mažuma tirtų įmonių vykdo esamo vandens ciklo išsaugojimą, projektavimą ir statybą, priartinant juos prie natūralių hidrologinių sistemų (2,68 vidurkis). Dažniausiai toksai projektavimas ir statyba vykdoma dėl vietos unikalumo o ne siekiant tvarios statybos. Taip pat nustatyta, kad reta įmonės siekia neefektyvus vandens naudojimo statybvietėje mažinimo. Nėra užtikrinamas vandens valymas ir pakartotinas panaudojimas, retai naudojamas lietaus, drenažo vanduo (2,23 vidurkis). Kadangi šio tvarios statybos elemento užtikrinimas neatneša statybos įmonėms apčiuopiamos ekonominės naudos, jo užtikrinimo motyvacija yra žema.

2015 – 2021 m. laikotarpyje Lietuvoje griežtinami reikalavimai naujos statybos pastatams. 2021 m. įsigaliojo A++ energinio naudingumo klasės reikalavimas visiems naujiems pastatams. Šių reikalavimų įgyvendinimas prisideda prie tvarios statybos plėtojimo Lietuvoje. Tačiau tuo pat metu turi ir ribojantį poveikį, nes statybos įmonės ir užsakovai, siekdami sumažinti veiklos kaštus, linkę atsisakyti kitų tvarios statybos elementų įgyvendinimo, kurio nenumato LR teisės aktai (29 pav.).

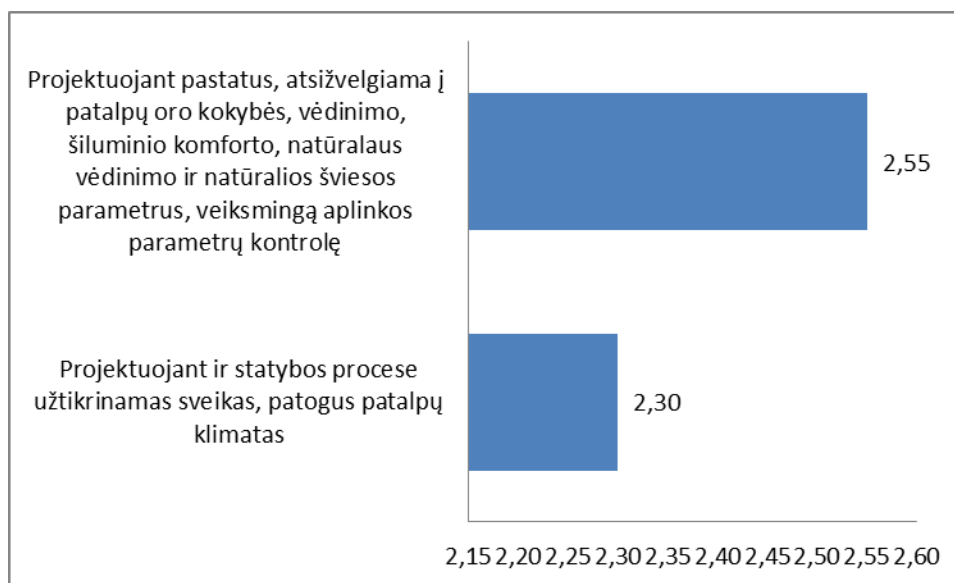


29 pav. Tvarios statybos elemento „Energija ir aplinka“ užtikrinimo tiriamose organizacijose įvertinimas (vidurkis)

Nustatyta, kad tiriamose įmonėse siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai nėra optimizuojama statybvietė, taikomi tvarūs pastato projektavimo sprendimai, pasirenkamos ekologiškos medžiagos ir aktyviai taupoma energija (1,6 vidurkis). Tenka pripažinti, kad statybvietėse labai paplitusi praktika, kuomet likęs ar senas statybos laužas, įvairiausios medžiagos panaudojamas kaip pagrindas ar palaiduojamas po dirvožemio sluoksniu.

Kita nustatyta tvarios statybos kliūtis yra žemas atsinaujinančių ir kitų žemo potencialo energijos šaltinių naudojimas statybos procese. Lietuvoje nėra paplitusi praktika statybos procese naudoti atsinaujinančių šaltinių energiją (2,10 vidurkis). Šias tendencijas taip pat galima paaiškinti tuo, kad šių tvarios statybos elementų įgyvendinimas reikalauja ne tik techninių sprendimų, investicijų, bet ir laiko sąnaudų. Visa tai atsispindi bendruose statybos kaštuose (30 pav.).

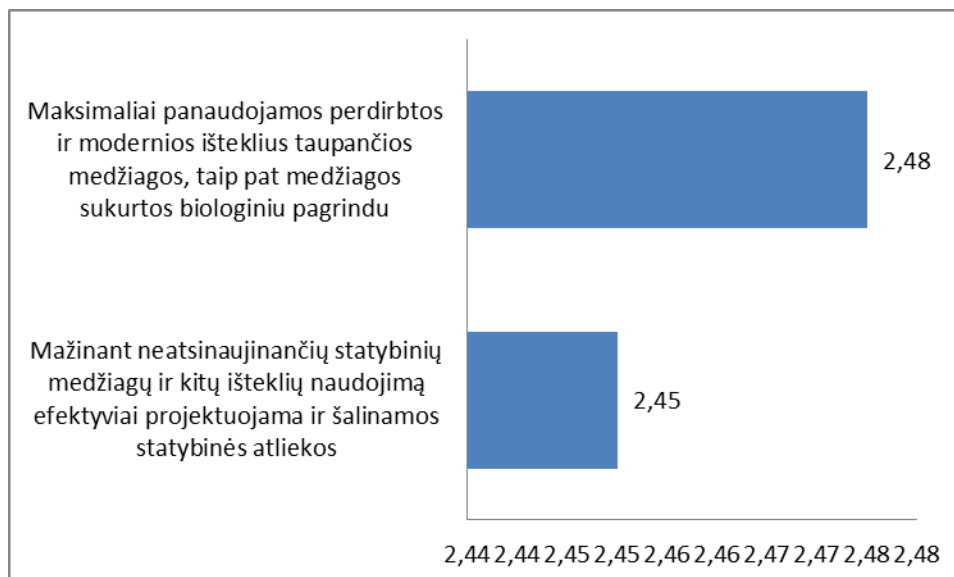
Tvarios statybos elemento „Patalpų aplinkos kokybė“ užtikrinimas tiriamose įmonėse taip pat yra žemesnis nei vidutinis. Nustatyta, kad tiriamose įmonėse nėra skiriama pakankamai dėmesio projektavimo ir statybos procese užtikrinti sveikam, patogiam patalpų klimatui (2,30 vidurkis). Dažnai darbuotojai dirba nepalankiomis sąlygomis esant žemai temperatūrai, didelei dulkių koncentracijai.



30 pav. Tvarios statybos elemento „Patalpų aplinkos kokybė“ užtikrinimo tiriamose organizacijose įvertinimas (vidurkis)

Projektuojant pastatus, dalinai atsižvelgiama į patalpų oro kokybės, vėdinimo, šiluminio komforto, natūralaus vėdinimo ir natūralios šviesos parametrus, veiksmingą aplinkos parametrų kontrolę (2,55 vidurkis). Tačiau tai daroma jei yra palankios galimybės. Miestų teritorijose vis dažniau vykdomos statybos nedideliuose laisvuose žemės sklypuose, kuomet naujai projektuojami ir statomi statiniai stovi šešėlyje, neturi natūralaus vėdinimo sistemų.

Viešojoje erdvėje plačiai diskutuojama apie ekologiškas ir natūralias statybos medžiagas, tačiau tyrimo rezultatai atskleidžia kitokias tendencijas (31 pav.).

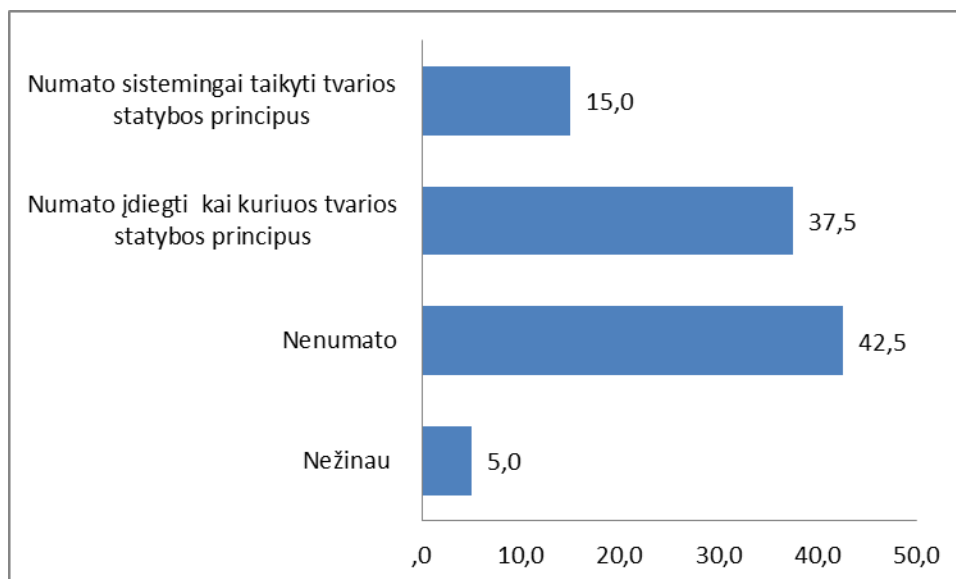


31 pav. Tvarios statybos elemento „Medžiagos ir ištekliai“ užtikrinimo tiriamose organizacijose įvertinimas (vidurkis)

Nustatyta, kad tiriamų įmonių praktikoje nėra siekiama mažinti neatsinaujinančių statybinių medžiagų ir kitų išteklių naudojimą. Nėra efektyviai projektuojamas ir vykdomas statybinių atliekų šalinimas (2,45 vidurkis). Nėra maksimaliai panaudojamos perdirbtos ir modernios išteklius taupančios medžiagos, taip pat medžiagos sukurtos biologiniu pagrindu (2,48 vidurkis). Tokių medžiagų naudojimas labiau sietinas su jų kainos, funkcionalumo ir kt. kriterijais, kurie sukuria ekonominį pagrindą turinčią naudojimo motyvaciją.

Apibendrinant tvarios statybos elementų taikymą tiriamose organizacijose nustatyta, kad statybos procese šių lementų taikymas yra išreikštas silpniau nei vidutiniškai. Aktyviausiai taikomi tvarios statybos elementai yra minimalus žaliųjų erdvių sunaikinimas bei teritorijos ekologinės vertės išsaugojimas, atliekant išsamų statybvietės tyrimą, taip pat esamo vandens ciklo išsaugojimas, projektavimas ir statyba, priartinant juos prie natūralių hidrologinių sistemų. Pažymėtina, kad šių tvarios statybos elementų įgyvendinimas yra labiau susietas ne su tvaria statyba, kiek su siekiu sukurti didesnę pridėtinę vertę statybos projektui.

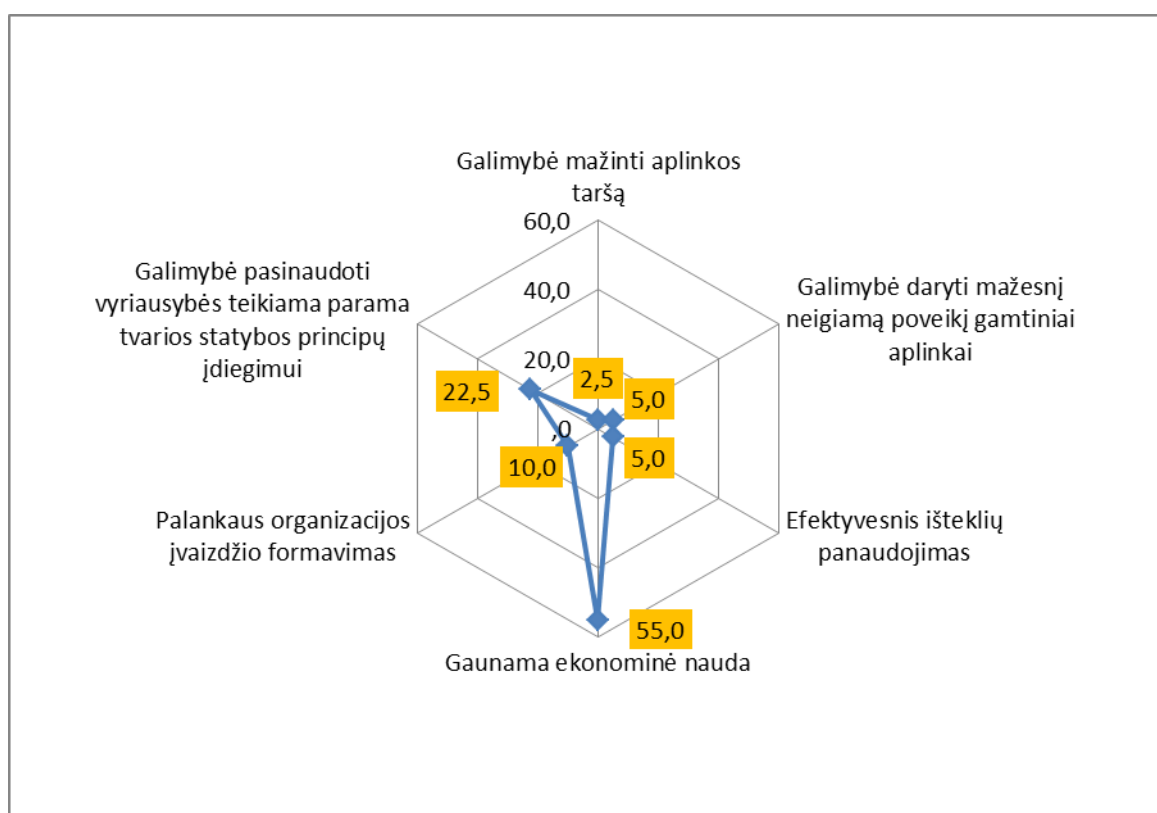
Veiksnių, skatinančių statybos įmones aktyviau taikyti tvarios statybos principus, įvertinimas: Vertinant ar artimiausių penkerių metų perspektyvoje tiriamos organizacijos numato skirti daugiau dėmesio tvarios statybos principų diegimui savo veikloje, nustatytos labai skirtingos pozicijos (32 pav.).



32 pav. Organizacijos siekių skirti daugiau dėmesio tvarios statybos principų diegimui savo veikloje artimiausių penkerių metų perspektyvoje įvertinimas (vidurkis)

Didesnė dalis (42,5 proc.) respondentų nurodė, kad jų organizacijos nenumato skirti daugiau dėmesio tvarios statybos principų diegimui savo veikloje artimiausių penkerių metų perspektyvoje. 37 proc. respondentų pažymėjo, kad jų organizacijos numato įdiegti kai kuriuos tvarios statybos principus. Mažuma (15,0 proc.) tyrime dalyvavusių organizacijų numato sistemingai taikyti tvarios statybos principus. Tai leidžia manyti, kad statybos įmonės turi skirtingas galimybes diegti tvarios statybos principus.

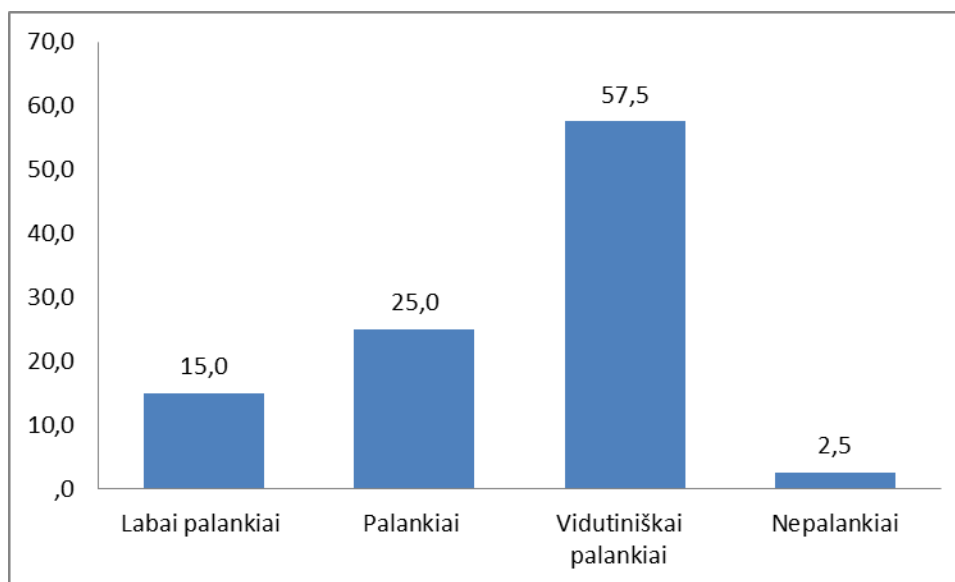
Vertinant veiksnius skatinančius, tiriamas įmones, aktyviau diegti tvarios statybos principus savo veikloje nustatyta, kad dominuojantis veiksnys yra gaunama ekonominė nauda (55,0 proc.) (33 pav.).



33 pav. Veiksnių skatinančių aktyviau diegti tvarios statybos principus įvertinimas (vidurkis)

Analizė atskleidžia ženklūs skirtumus tarp veiksnių skatinančių tvarios statybos principų diegimą tiriamų įmonių veikloje. Ekonominės naudos siekimas yra reikšmingiausias veiksnys daugiau nei pusei tirtų įmonių. Galimybė pasinaudoti vyriausybės teikiama parama tvarios statybos principų įdiegimui paskatintų 22,5 proc. respondentų. Tuo tarpu iniciatyvos susijusios su galimybe mažinti aplinkos taršą (2,5 proc.), daryti mažesnę neigiamą poveikį gamtiniai aplinkai (5,0 proc.) ar efektyvesniu išteklių panaudojimu (5,0 proc.) respondentų vertinami kaip mažai reikšmingi.

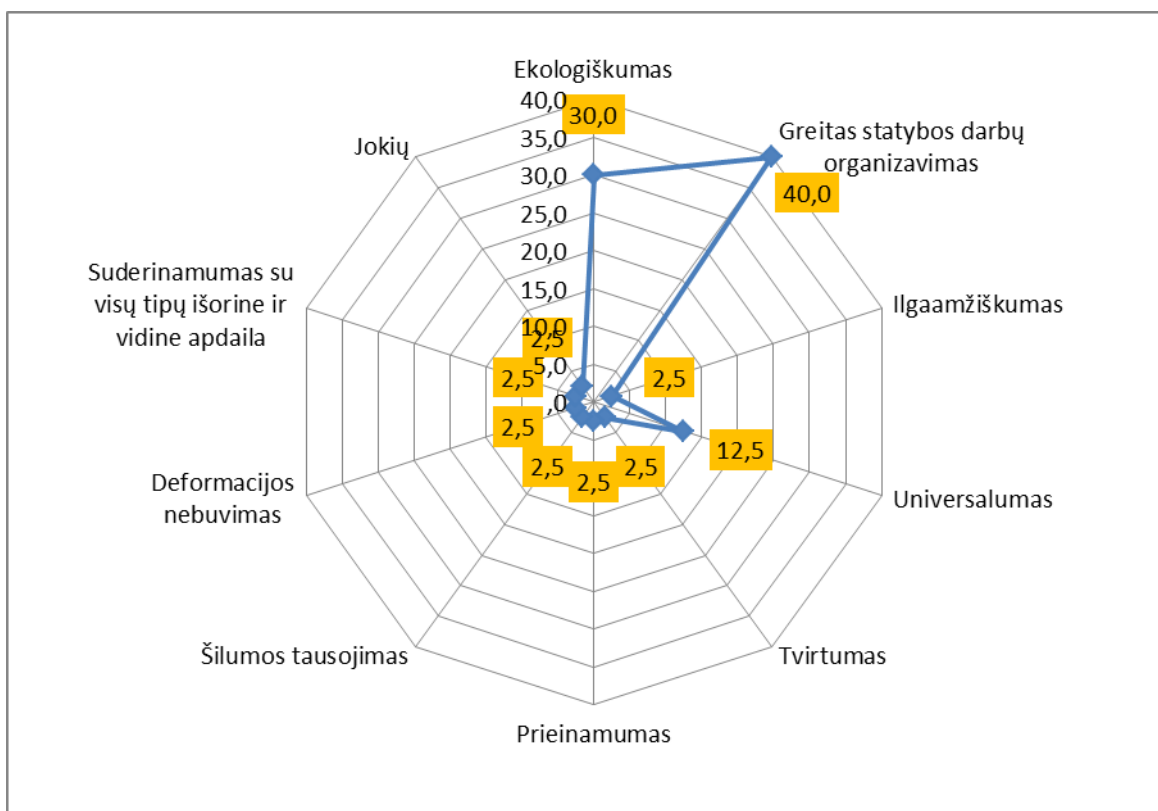
Medžio masyvo plokštės (CLT) naudojimo galimybių gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje, įvertinimas: remiantis teorine analize nustatyta, kad medžio masyvo plokštės gali būti laikoma statybine medžiaga leidžianti organizuoti tvarų statybos procesą. CLT plokštės užsienio šalyse taikomos įvairių statinių statyboje. Respondentai medžio masyvo plokštės (CLT) naudojimo galimybes Lietuvoje gyvenamųjų namų statyboje vertina vidutiniškai palankiai (75 proc.) (34 pav.).



34 pav. Medžio masyvo plokštės (CLT) naudojimo galimybių Lietuvoje, gyvenamųjų namų statyboje, įvertinimas (vidurkis)

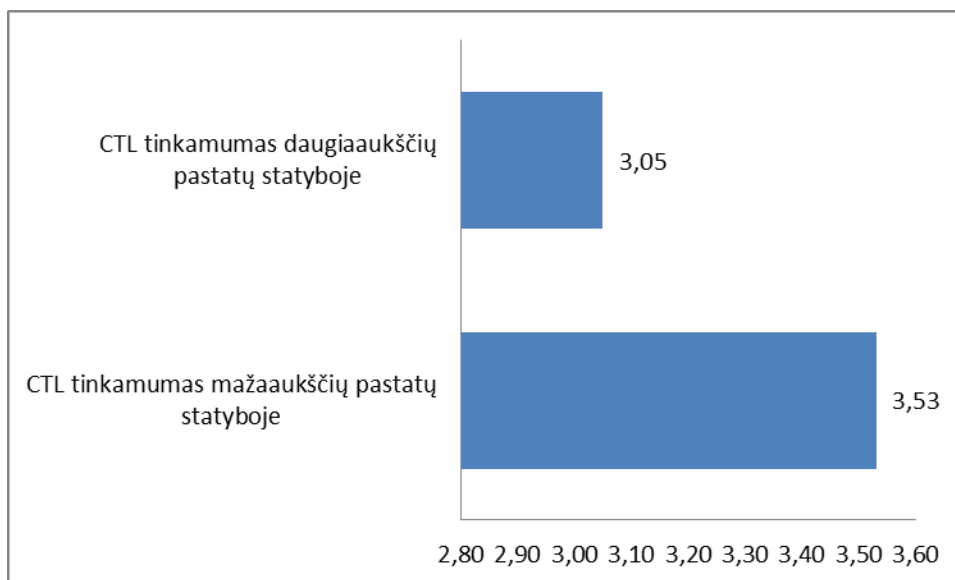
Respondentų nuomone, CLT atveria naujas galimybes, tačiau šiandieninėmis sąlygomis jų taikymas masinėje gyvenamojoje statyboje, susiduria su daugybe iššūkių. Pagrindiniai CTL privalumai yra greitas statybos darbų organizavimas (40 proc.) ir ekologiškumas (30 proc.) (35 pav.).

Vertinant CTL privalumus gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje, respondentams abejonių kelia šios medžiagos ilgaamžiškumas, tvirtumas, suderinamumas su visų tipų išorine ir vidine apdaila. Taip pat aktualia problema tampa CLT prieinamumas. Šiandieną rinkoje CLT pasirinkimas nėra labai platus, kas lemia ekonomiškumo problemą.



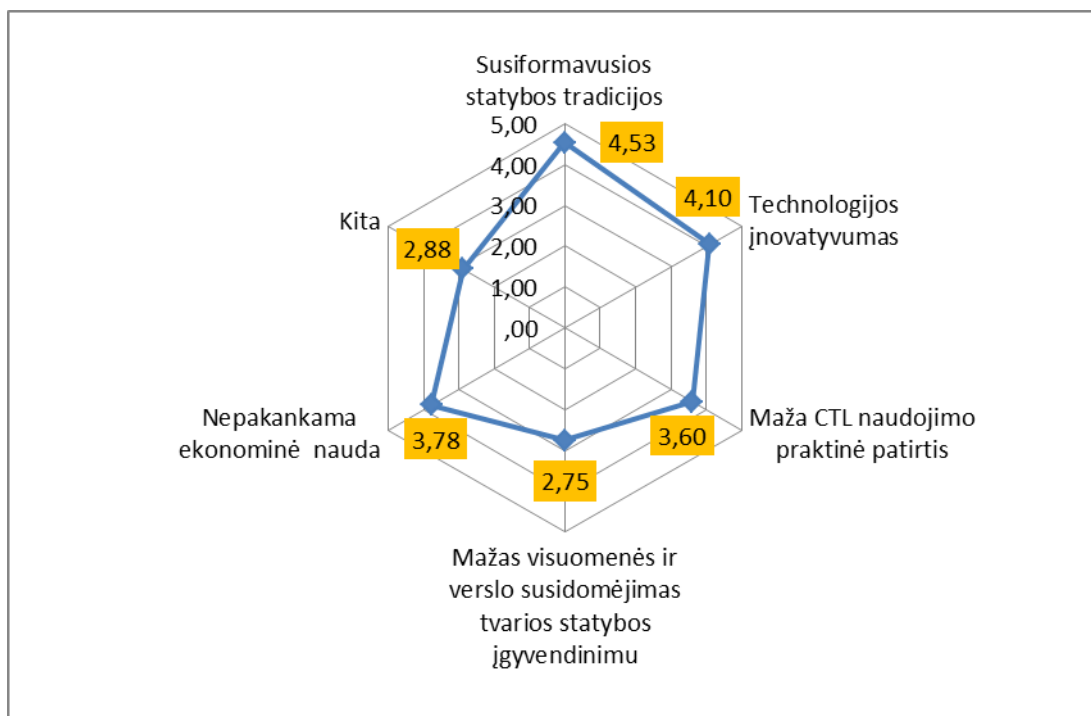
35 pav. CTL privalumų gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje įvertinimas (proc.)

Remiantis tyrimo rezultatais galima daryti prielaidą, kad respondentai disponuoja nepakankama informacija apie CLT savybes ir šios medžiagos naudojimą šalies klimatinėmis sąlygomis. Todėl tarp respondentų vyrauja nuomonė jog medžio masyvo plokštės nėra pati tinkamiausia medžiaga mažaaukščių ir daugiaaukščių pastatų statyboje (36 pav.).



36 pav. Medžio masyvo plokščių naudojimo tinkamumo mažaaukščių ir daugiaaukščių pastatų statyboje įvertinimas (vidurkis)

Respondentų vertinimu CTL tinkamumas mažaaukščių pastatų statyboje yra stipresnis nei vidutinis. Tuo tarpu CTL tinkamumas daugiaaukščių pastatų statyboje vertinamas kaip vidutinis. Tokį vertinimą lemia nustatytos medžio masyvo plokščių naudojimo Lietuvoje kliūtys (37 pav.).

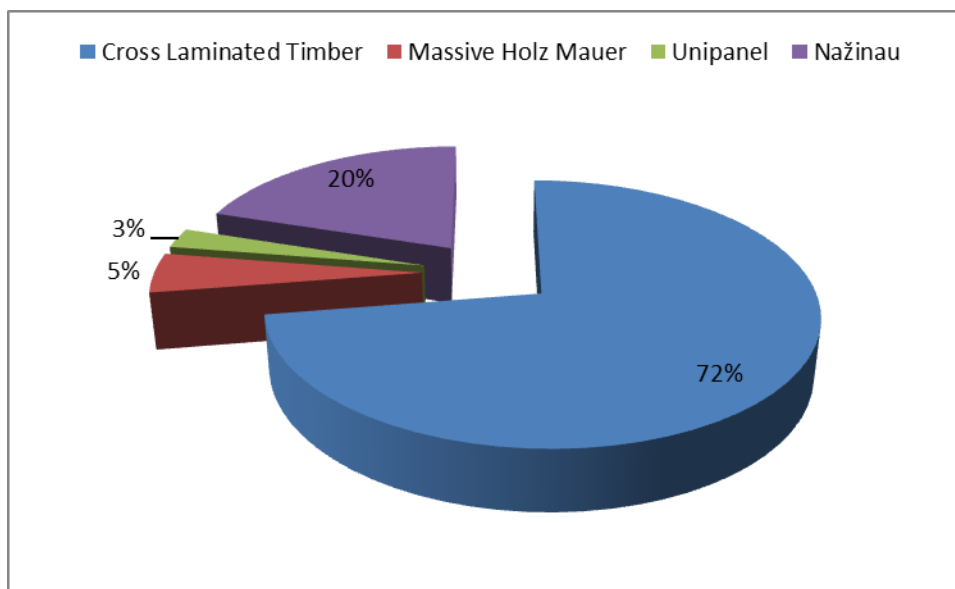


37 pav. Medžio masyvo plokščių naudojimo Lietuvoje kliūtys (proc.)

Medžio masyvo plokščių naudojimą Lietuvoje riboja kliūčių visuma, kurių pagrindą sudaro susiformavusios statybos tradicijos (4,53 vidurkis) ir technologijos inovatyvumas (4,10 vidurkis). Statybos įmonės yra įardžiusios tradicinius statybos būdus ir technologijas kas leidžia užtikrinti spartų darbų procesą ir kontroliuojamus kaštus, nesukelia teikimo ir kokybės kontrolės problemų. CTL inovatyvumas lemia tai, kad reikalinga įgyti reikiamas kompetencijas, organizuoti tiekimą, susiduriama su tiekimo, kokybės ir kaštų užtikrinimo iššūkiais. Prisiimti šiuos iššūkius daugelis tiriamų įmonių nenori. Maža CTL naudojimo praktinė patirtis (3,60 vidurkis) neleidžia apibrėžti ilgalaikio statinio eksploatavimo proceso. Salgado ir Guner (2021) atlikti tyrimai atskleidžia CTL jungčių deformacijos problemas, tuo tarpu Kalbe, Kukk ir Kalamees (2020), Olsson (2020) nustatė, kad tuo atveju jei statybos procese į CTL jungčių tarpus patenka drėgmė, kyla pelėsio atsiradimo pavojus. Šios ir kitos problemos mažina motyvą statybos įmones naudoti CTL gyvenamųjų namų statyboje.

Techninių reikalavimų medžio masyvo plokštėms, naudojant jas Lietuvos klimatinėmis sąlygomis gyvenamųjų namų statyboje, įvertinimas: Aktualus CTL naudojimo Lietuvoje klausimas

yra susijęs su jų gamybos technologija. Šiuo metu pasaulyje yra kelios skirtingos gamybos technologijos. Lietuvoje nėra atlikta tyrimų pagrindžiančių tinkamiausias CTL charakteristikas atsižvelgiant į klimatinės sąlygas šalyje (38 pav.).

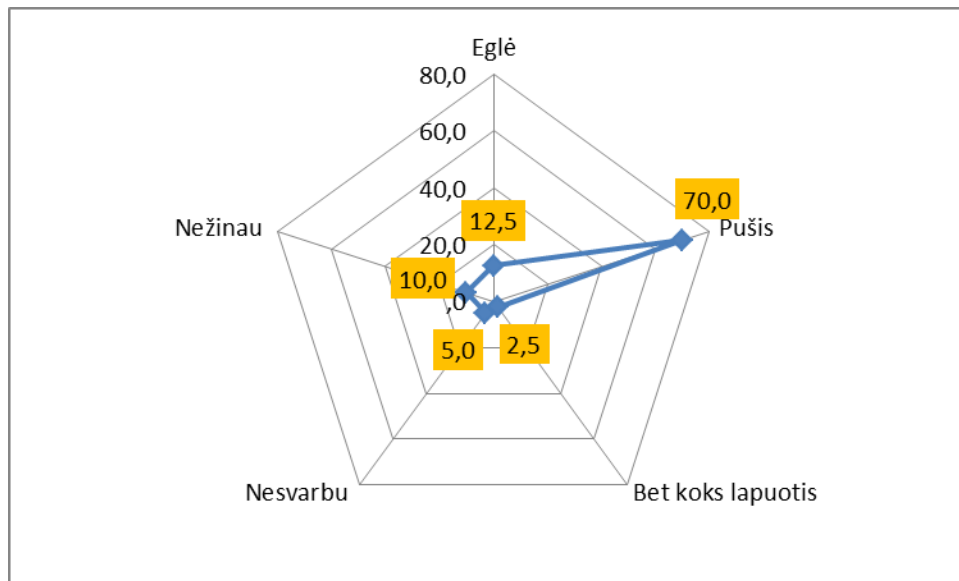


38 pav. Tinkamiausios naudoti, Lietuvos klimatinėmis sąlygomis, medžio masyvo plokštės įvertinimas (pagal gamintoją) (proc.)

Respondentų nuomone, Lietuvos klimatinėmis sąlygomis tinkamiausia yra pagal Cross Laminated Timber technologiją gaminamos medžio masyvo plokštės. Ši technologija yra pirmoji sukurta medžio masyvo plokštės gamybos technologija iš kurios ir kilo bendrinis trumpinys CTL. Ji plačiai taikoma Skandinavijos šalyse.

Atsižvelgiant į šalies klimatinės sąlygas yra svarbios įvairios CTL techninės charakteristikos. Vertinant pagal medienos tipą tinkamiausios CTL plokštės Lietuvos sąlygomis, 70 proc. respondentų išskyrė pušį (39 pav.).

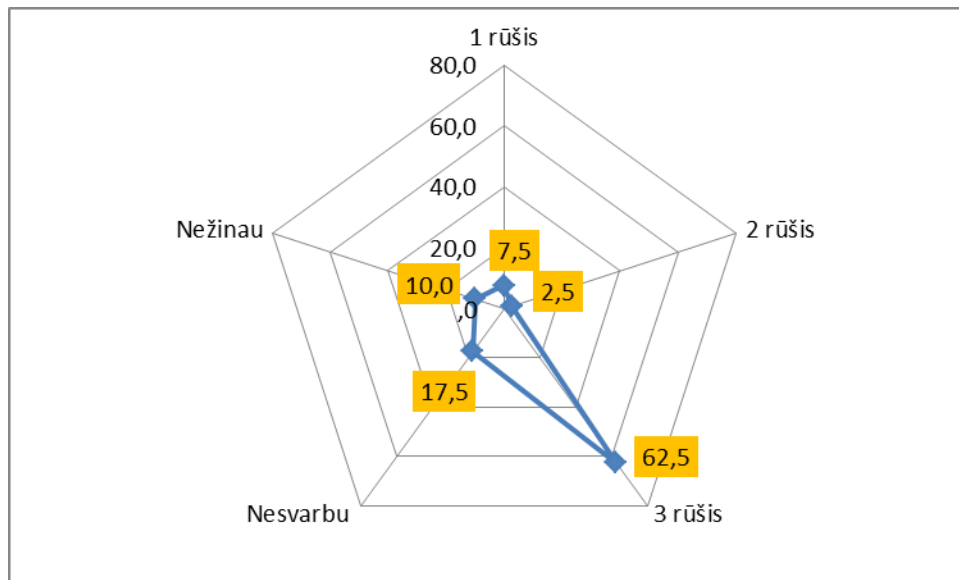
Tikėtina, kad pušinių CTL išskyrimą lėmė tai, kad ši mediena yra viena pigiausių Lietuvoje, pasižymi sąlyginai nedideliu svoriu, ilgaamžiškumu, didesniu atsparumu atmosferos pokyčiams ir trūkinėjimu.



39 pav. Tinkamiausios CTL plokštės Lietuvoje pagal medienos tipą (proc.)

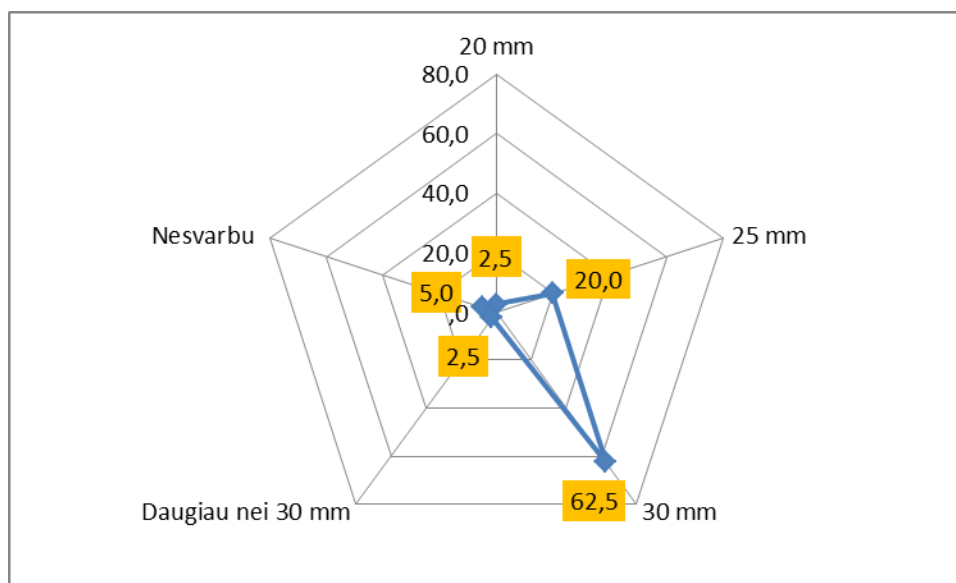
Medienos minkštumas lemia mažesnius gamybos kaštus, kas užtikrina pušinių CTL kainos patrauklumą lyginant su plokštėmis gaminamos iš kietmedžio.

Respondentų nuomone, CTL gamyboje tinkamiausia 3 rūšies mediena (40 pav.).



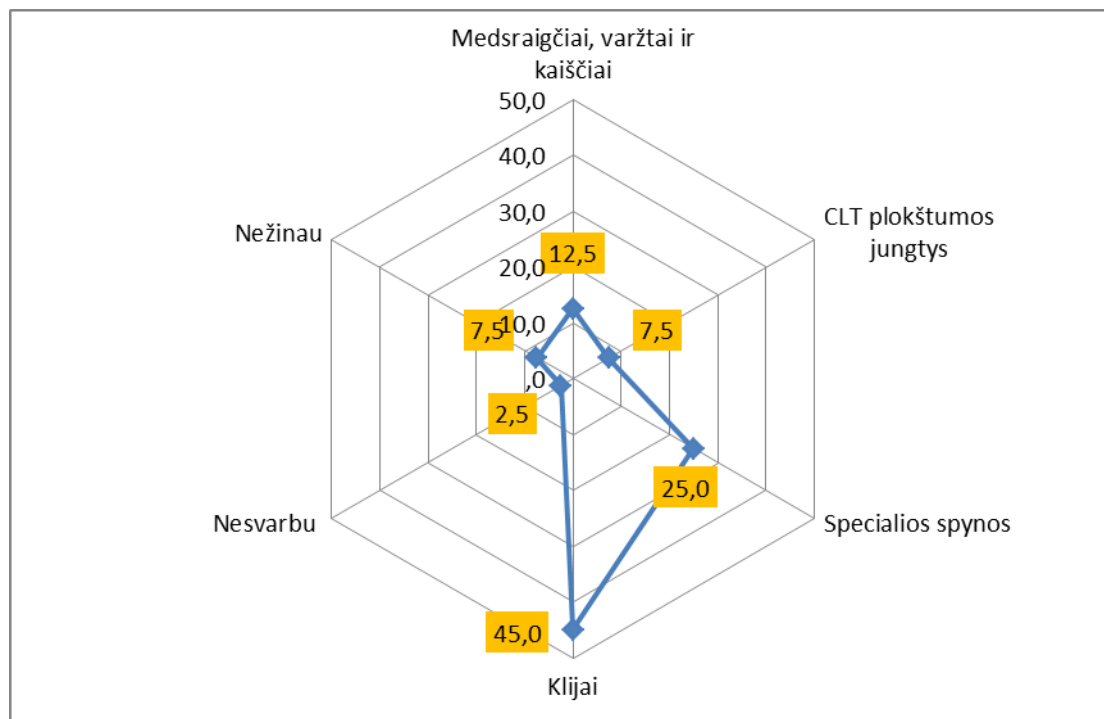
40 pav. Tinkamiausios CTL plokštės Lietuvoje pagal medienos rūšį (proc.)

Respondentai taip pat išskyrė aiškius reikalavimus optimaliausiam medžio masyvo plokštės lentos storiui. 62,5 proc. respondentų nuomone, tinkamiausias storis sudaro 30 mm (41 pav.).



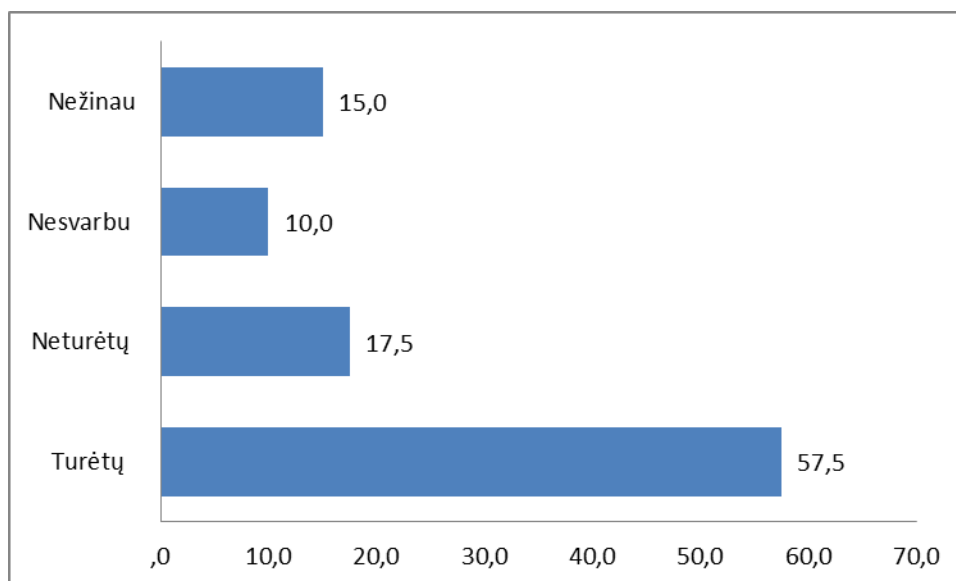
41 pav. Tinkamiausios CTL plokštės Lietuvoje pagal lentos storį (proc.)

20,0 proc. respondentų nurodė, kad CTL plokštės lentos storis gali būti ir 25 mm. Lentos storis tiesiogiai lemia jos tvirtumą, tačiau tam turi didelį poveikį ir juostelių sujungimo būdas. Mokslinės literatūros analizė atskleidė, kad šiandieną praktikoje yra naudojamos įvairūs juostelių sujungimo būdai medžio masyvo plokštėse (42 pav.).



42 pav. Tinkamiausio juostelių sujungimo būdo medžio masyvo plokštėse įvertinimas (proc.)

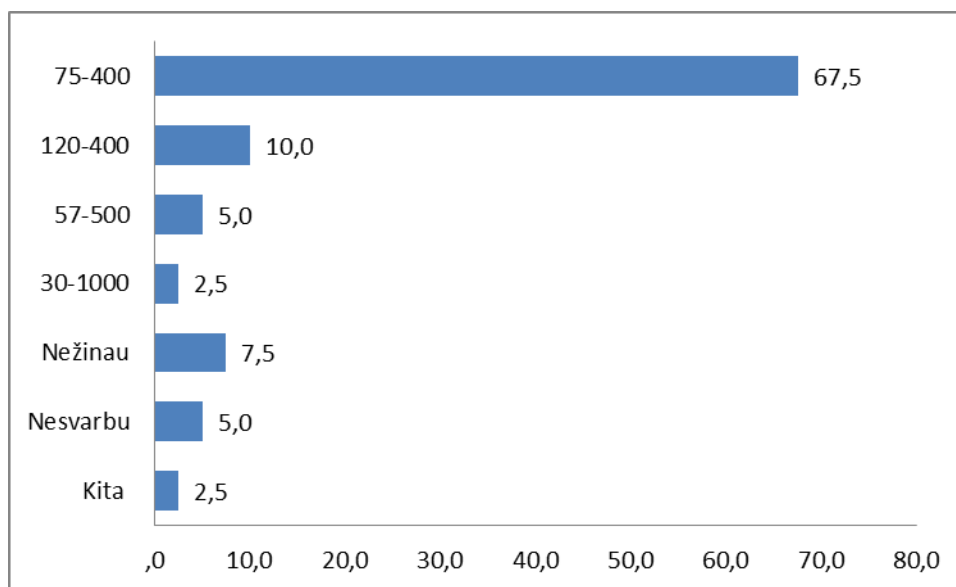
Daugelis respondentų pirmenybę teikia Cross Laminated Timber technologijoje naudojamam lemelių sujungimui kljais. Salgado ir Guner (2021) atliktas tyrimas atskleidė, kad efektyviausias sujungimo būdas yra su kljais ir specialiomis spynomis. Tačiau toks būdas lemia didesnius gamybos kaštus ir galutinę kainą. Kai kuriose CTL plokštėse gamintojai numato specialius griovelius, kurie skirti sumažinti deformaciją. Šios technologijos praktiškumą patvirtino Borgstrumo ir Fröbelo (2019) tyrimai. Deformacijos klausimas yra aktualus ir Lietuvos klimatinėmis sąlygomis, nes žiemos metu būdingi reguliarūs temperatūros svyravimai. 57,5 proc. respondentų nuomone, medžio masyvo plokštėje turėtų būti grioveliai (43 pav.).



43 pav. Griovelių poreikio medžio masyvo plokštėje įvertinimas (proc.)

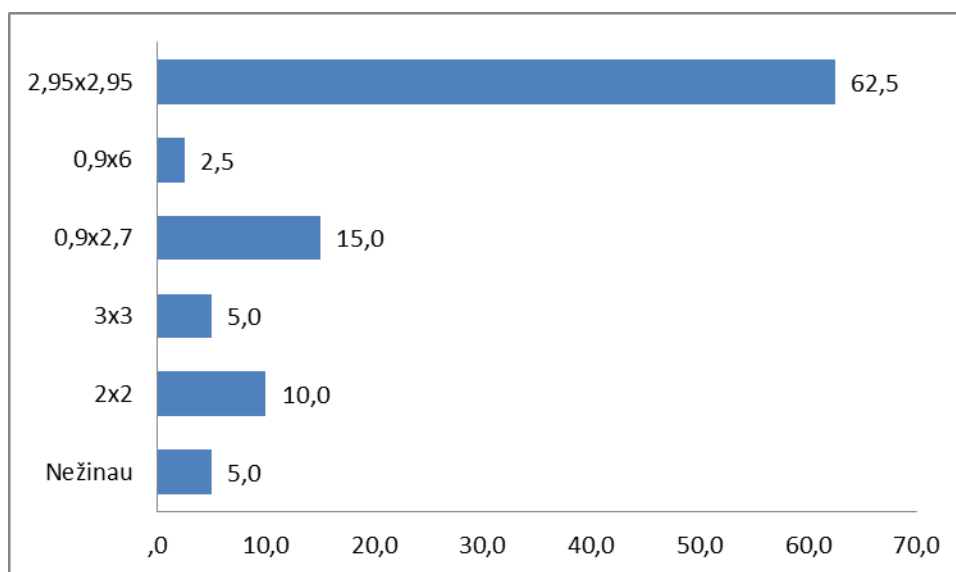
Papildomai galima pažymėti tai, kad dėl didelės drėgmės koncentracijos ore ir kritulių gausos, svarbu užtikrinti tinkamą CTL padengimą.

Kai kurie tyrėjai, Borgstrumas ir Fröbelas (2019), mano, kad CTL laikančiųjų konstrukcijų storis turėtų būti parenkamas atsižvelgiant į klimatinės sąlygas. Didžioji dauguma respondentų su tokia nuomone nesutinka, optimaliausiu medžio masyvo plokščių storio (mm) variacija laiko 75–400 mm (44 pav.).



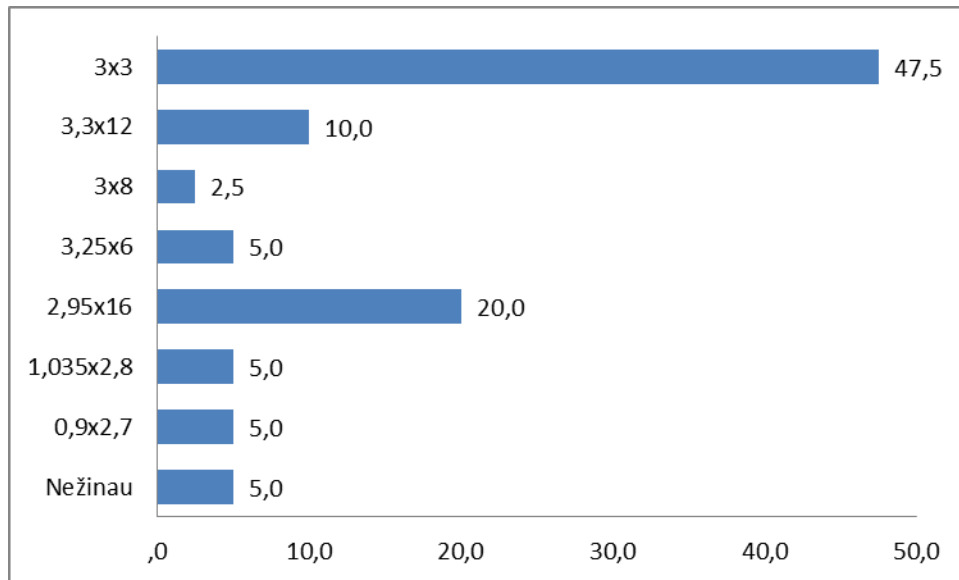
44 pav. Optimaliausių medžio masyvo plokščių laikančiųjų konstrukcijų storio (mm) variacijų, įvertinimas (proc.)

Respondentų vertinimu labai svarbūs yra ir CTL didžiai. Daugelis apklausos dalyvių pirmenybę teikia CTL elementams, kurių minimalus dydis yra 2,95x2,95 m (62,5 proc.) (45 pav.).



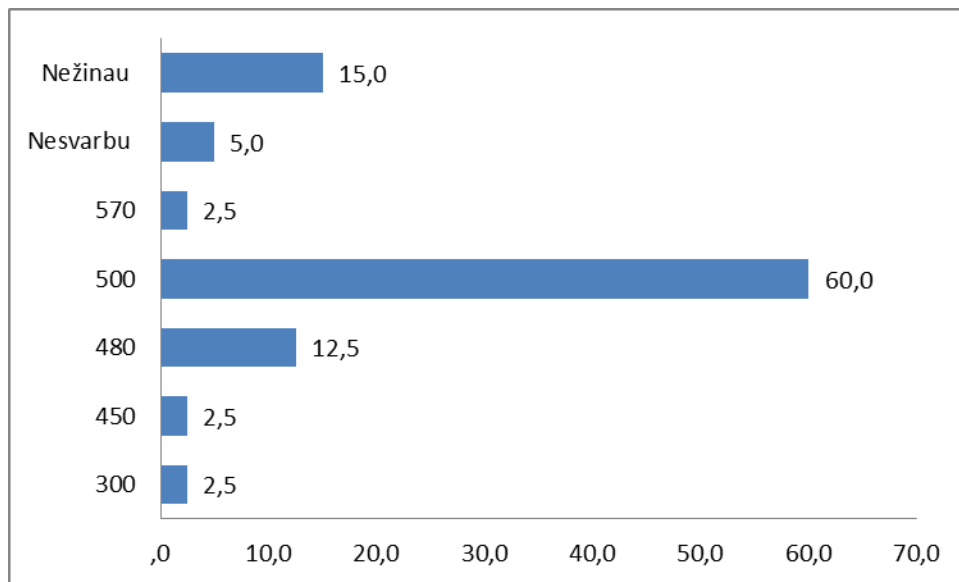
45 pav. Minimalių medžio masyvo plokštės dydžių (m) gyvenamųjų namų statybos procese Lietuvoje, įvertinimas (proc.)

47,5 proc. respondentų norėtų dirbti su ne didesnėmis kaip 3x3 m CTL (46 pav.). 20,0 proc. respondentų norėtų dirbti su didelėmis CTL, kurių ilgis siekia iki 16 m., kas užtikrintų greitą statybos procesą. Tačiau jų naudojimas suformuotų transportavimo iššūkius. Miesto teritorijoje specialus transportas ne visur galėtų įvažiuoti.



46 pav. Maksimalių medžio masyvo plokštės dydžių (m) gyvenamųjų namų statybos procese Lietuvoje, įvertinimas (proc.)

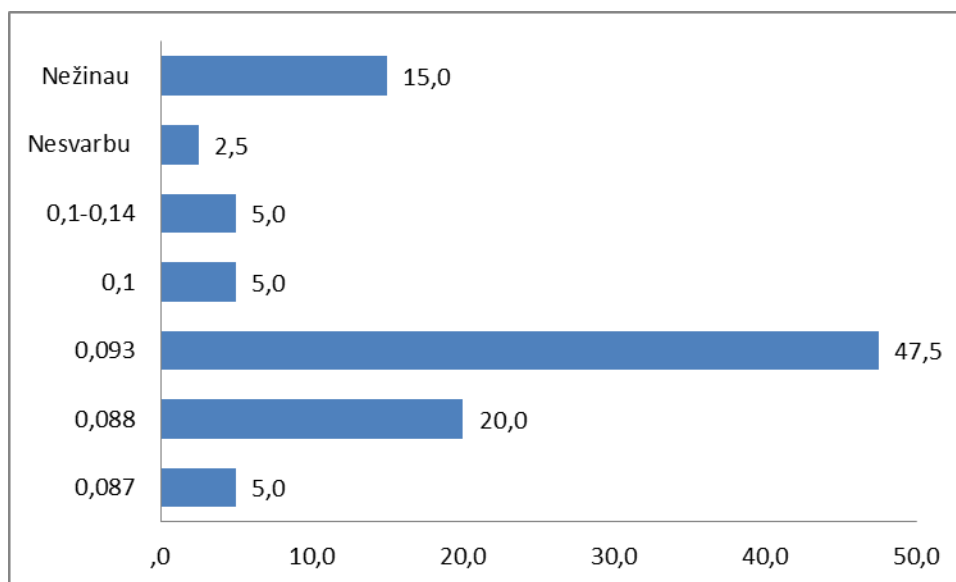
Nustatyta, kad optimalus CTL segmento dydis gyvenamųjų namų statyboje yra 2,95 (3) x 2,95 (3) m. Apklaustų respondentų vertinimu gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje tikslingiausia naudoti medžio masyvo plokštes, kurių tankis siekia 500 (kg / m³) (60 proc.) (47 pav.).



47 pav. Optimalaus medžio masyvo plokštės tankio (kg / m³) gyvenamųjų namų statybos procese Lietuvoje, įvertinimas (proc.)

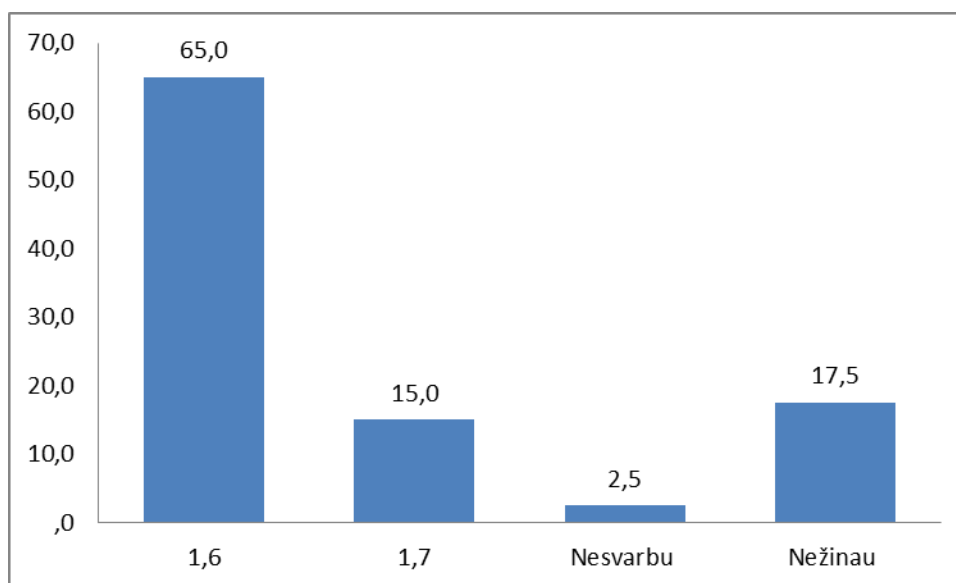
Didelis tankis tiesiogiai lemia CTL atsparumą mechaniniams pažeidimams, tempimui ir neigiamoms išoriniam aplinkos poveikiui, atitinkamai didina bendrą eksploatacijos laiką. Vertinant

optimalų medžio masyvo plokščių šilumos laidumą (λ), W / (m ° C), respondentų nuomonės išsiskyrė (48 pav.).



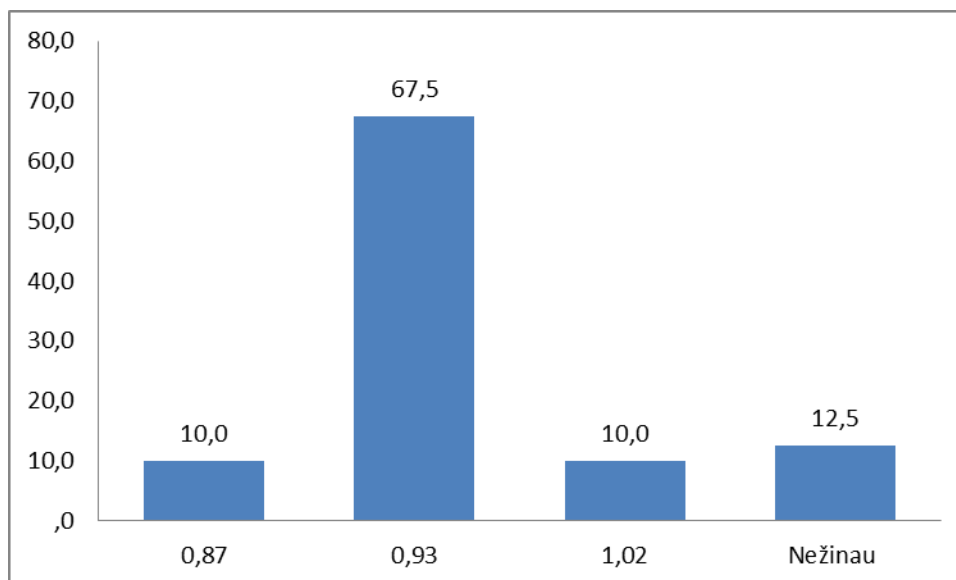
48 pav. Optimalaus medžio masyvo plokščių šilumos laidumo (λ), W / (m ° C), įvertinimas (proc.)

47,5 proc. respondentų nuomone, tikslinga pasirinkti CTL, kurių šilumos laidumo sudaro 0,093 (λ), W / (m ° C), 20 proc. respondentų nurodo, kad šilumos laidumas gali sudaryti ir 0,088 (λ), W / (m ° C). 65 proc. apklaustų respondentų mano, kad optimali medžio masyvo plokščių šilumos talpa (-os) 1,6 (J / (kg ° C)) (49 pav.).



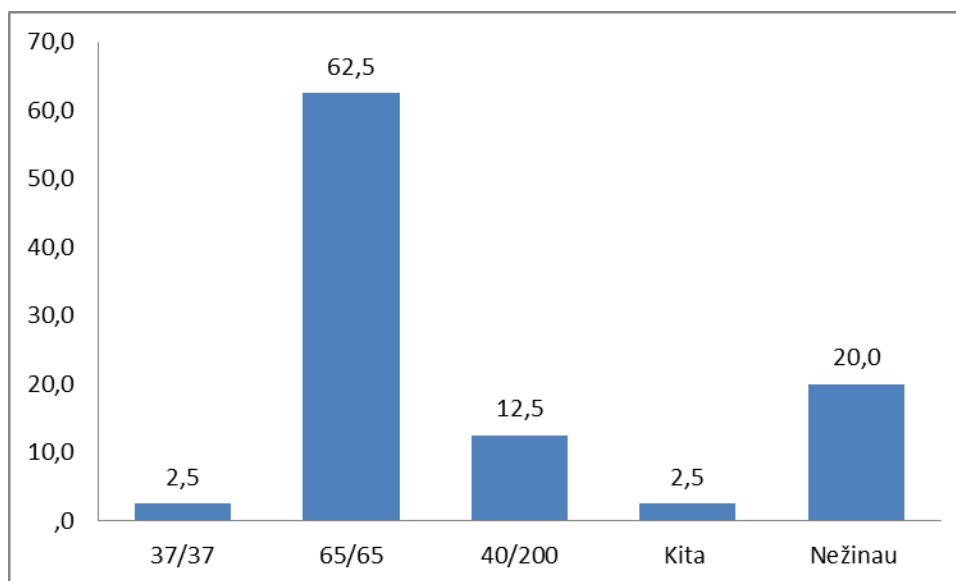
49 pav. Optimaliausios, medžio masyvo plokščių šilumos talpos (-os) (J / (kg ° C)), įvertinimas (proc.)

Optimalus medžio masyvo plokščių pasipriešinimas šilumos atidavimui yra 0,93 (R), $((m^2 \cdot ^\circ C)/Vt$ esant $h = 100 \text{ mm}$) (50 pav.).



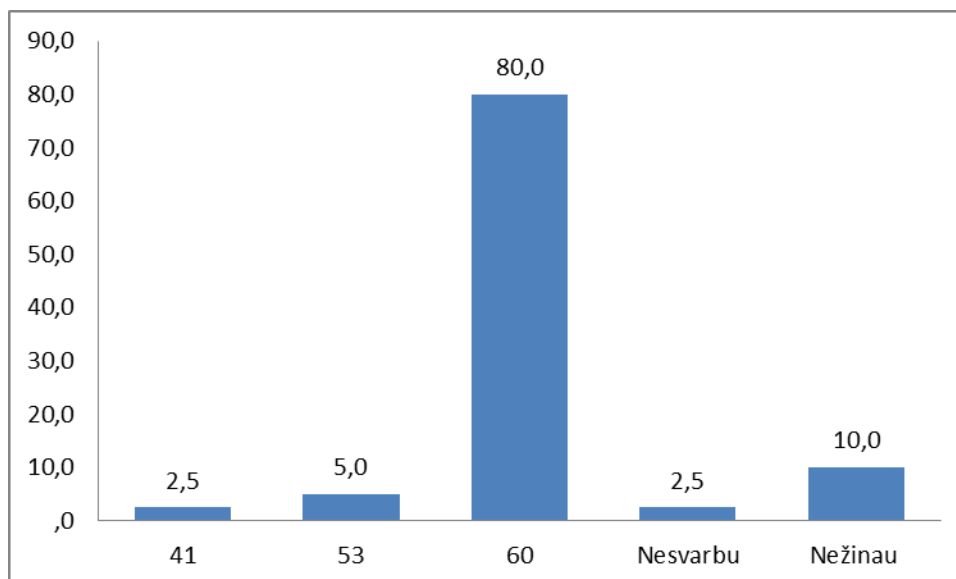
50 pav. Optimaliausio, medžio masyvo plokščių pasipriešinimo šilumos atidavimui (R), $((m^2 \cdot ^\circ C)/Vt$ esant $h = 100 \text{ mm}$), įvertinimas (proc.)

Daugelio (62,5 proc.) respondentų nuomone, optimalus medžio masyvo plokščių atsparumas difuzijai turtų sudaryti 65/65 (μ) (mikronai) (51 pav.).



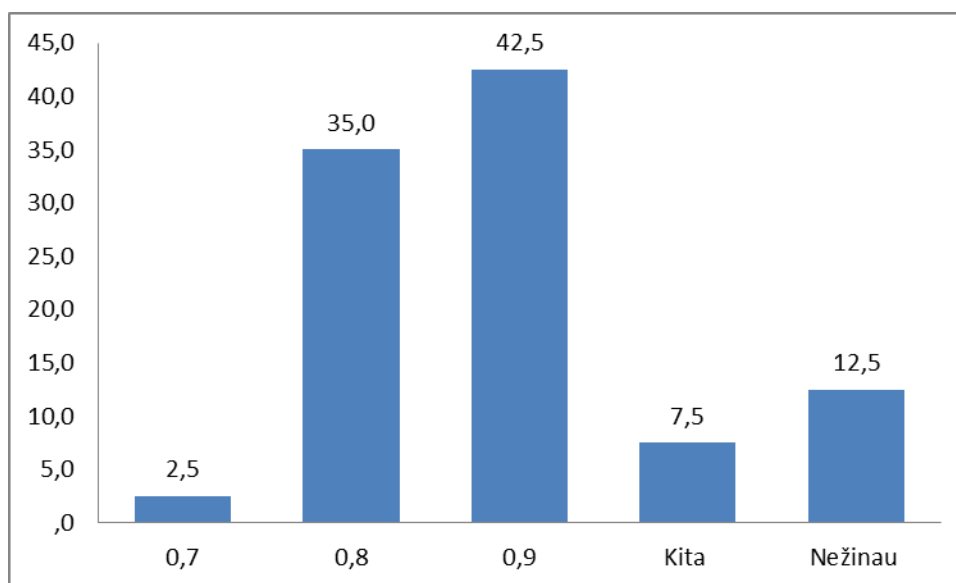
52 pav. Optimaliausio, medžio masyvo plokščių atsparumo difuzijai (μ) (mikronai), įvertinimas (proc.)

Respondentai taip pat kelia pakankamai didelius reikalavimus medžio masyvo plokščių garso izoliacijai (52 pav.).



52 pav. Optimaliausios, medžio masyvo plokščių garso izoliacijos (dB (h = 205 mm)), įvertinimas (proc.)

80 proc. respondentų vertinimu medžio masyvo plokščių garso izoliacija turėtų siekti 60 (dB (h = 205 mm)). Taip pat CTL turėtų pasižymėti pakankamu atsparumu ugniai (53 pav.).

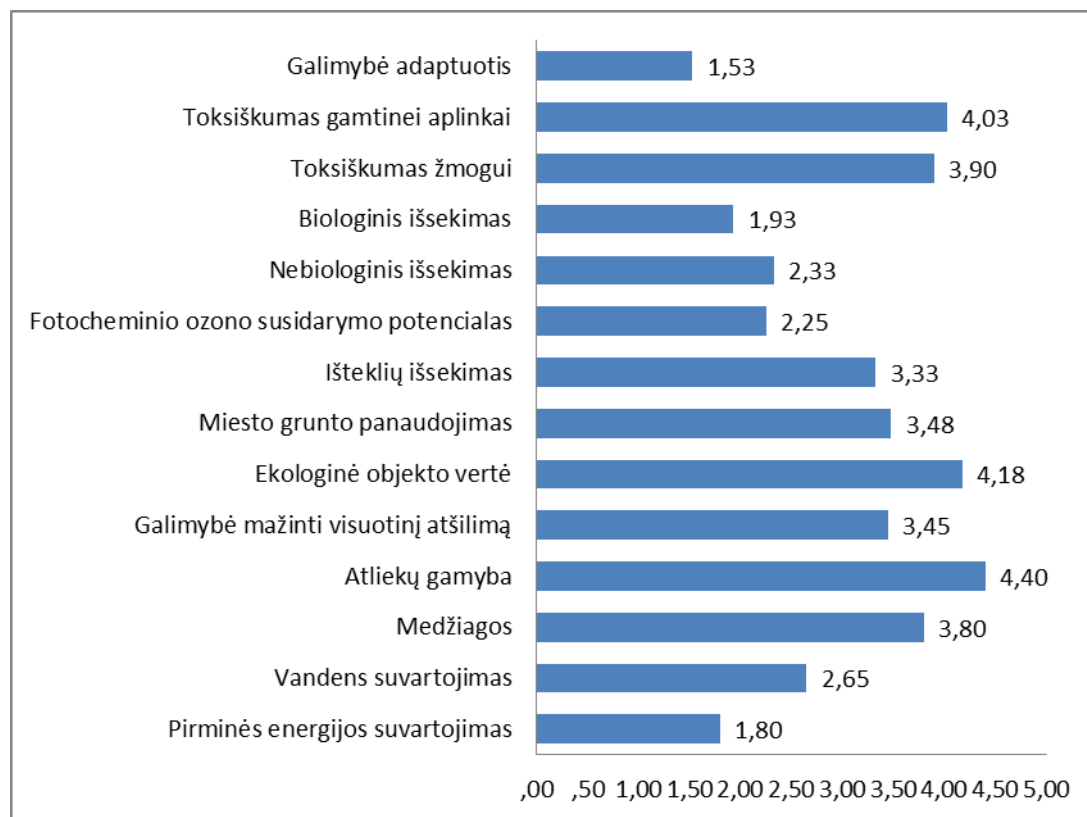


53 pav. Optimaliausio, medžio masyvo plokščių perdegimo greičio (mm / min), įvertinimas (proc.)

42,5 proc. respondentų medžio masyvo plokščių perdegimo greitis turėtų sudaryti 0,9 (mm / min), 35,0 proc. respondentų nurodė kiek didesnę greitį 0,8 (mm / min).

Tvarios statybos reikalavimų, kuriuos leistų užtikrinti statinio iš medžio masyvo plokštės statybos sistema, įvertinimas: vertinimas atliekamas pagal išskirtas 3 tvarios statybos dimensijas - ekologinę, socialinę ir ekonominę.

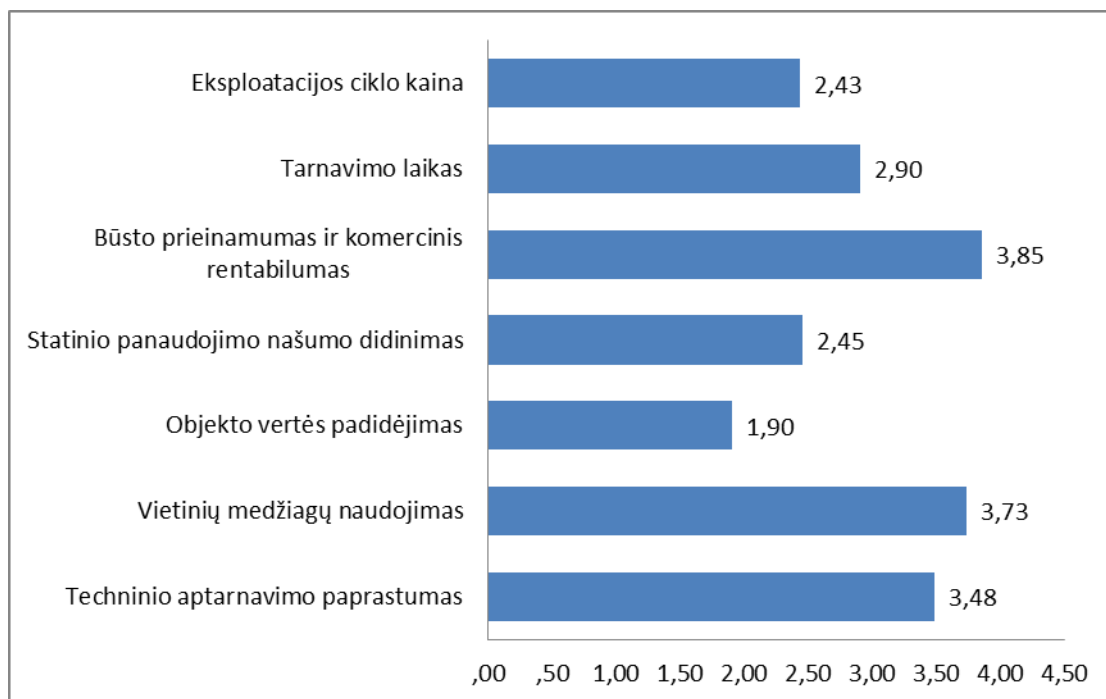
Ekologinės dimensijos vertinime analizuojama kokią poveikį CTL naudojimas turės aplinkai ir žmonėms (54 pav.).



54 pav. Ekologinių tvarios statybos reikalavimų užtikrinimo, naudojant CTL gyvenamųjų namų statybai, įvertinimas (vidurkis)

Nustatyta, kad CTL naudojimas gyvenamųjų namų statyboje leistų pasiekti ženklų ekologinį efektą, kuris pasireikštų atliekų gamybos apimčių sumažėjimu (4,40 vidurkis), nes CTL yra pilnai perdirbama ir gali būti pakartotinai naudojama šilimos gamybai, likę pelenai gali būti naudojami trąšų gamybai. Iš CTL statomų namų ekologinė vertė išaugs (4,18 vidurkis), užtikrinamas mažas toksiškumas gamtinei aplinkai (4,03 vidurkis) lyginant su kitomis statybinėmis medžiagomis ir naudojamais statybos būdais. Svarbu ir tai, kad CTL yra gaminama iš atsinaujinančių medžiagų (3,80 vidurkis). Taigi CTL naudojimo gyvenamųjų namų statyboje poveikis vertinamas teigiamai.

Ekonominės dimensijos vertinime analizuojama kokią poveikį CTL naudojimas turės gyvenamo statinio funkcionalumui, rentabilumui, eksploatavimui (55 pav.).

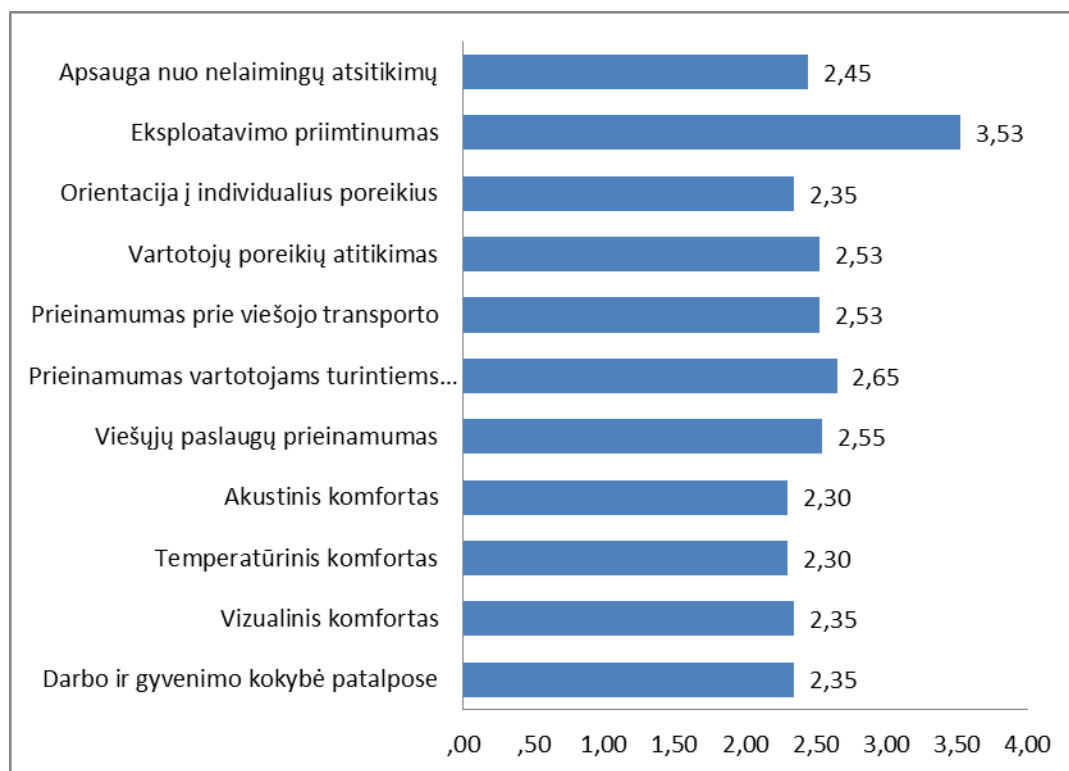


55 pav. Ekonominių tvrios statybos reikalavimų užtikrinimo, naudojant CTL gyvenamųjų namų statybai, įvertinimas (vidurkis)

Nustatyta, kad CTL naudojimo gyvenamųjų namų statyboje ekonominis naudingumas nėra taip stipriai išreikštas kaip ekologinis. Galima daryti prielaidą, kad tai lemia duomenų nepakankamumas, nes Lietuvoje nėra nei vieno statinio iš CTL, kurio eksploatacijos ciklas yra ištirtas pilnai.

Respondentų vertinimu CTL naudojimas leistų padidinti būsto prieinamumą ir komercinį rentabilumą (3,85 vidurkis) statant standartizuotus gyvenamuosius namus vienoje vietoje užtikrinant masto ekonomiją. Ši praktika plačiai taikoma JAV. Vystant CTL gamybą Lietuvoje galėtų būti naudojama vietinė mediena, taip optimizuojant gamybos kaštus (3,73 vidurkis). CTL naudojimas leistų siekti techninio aptarnavimo paprastumo (3,48 vidurkis). Tačiau respondentų nuomone, CTL naudojimas Lietuvoje neleistų pasiekti eksploatacijos ciklo kainos sumažinimo ar pastatyto objekto vertės padidėjimo.

Socialinės dimensijos vertinime analizuojama kokią poveikį CTL naudojimas turės gyvenimo kokybei, komfortui, įvairių gyventojų poreikių patenkinimui (56 pav.).



56 pav. Socialinių tvaros statybos reikalavimų užtikrinimo, naudojant CTL gyvenamųjų namų statybai, įvertinimas (vidurkis)

Nustatyta, kad CTL naudojimas gyvenamųjų namų statyboje nesukurs ypatingų socialinių naudų lyginant su kitomis medžiagomis. Respondentų nuomone vizualinis, temperatūrinis, akustinis komfortas standartiniame gyvenamajame name nebus geresnis nei pastatytame iš blokelių ar plytų. Taip pat gyvenamieji namai iš CTL nebus labiau prieinami vartotojams turintiems ribotas finansines galimybes (2,65 vidurkis). Vartotojų poreikių patenkinimą lems ne CTL medžiagų naudojimas, bet architektūriniais, techniniais sprendimais, komforto sistemų integravimas, kuris galimas bet kokiame šiuolaikiniame name.

Apibendrinant tyrimo duomenis galima teigti, kad CTL yra perspektyvi medžiaga, kuri gali būti naudojama plėtojant tvarią statybą Lietuvoje.

2.3.3. Ryšių tarp tvaros statybos principų įgyvendinamų statybos įmonėje ir elementų ir tvaros statybos reikalavimų užtikrinimo naudojant CTL gyvenamojoje statyboje analizė

Siekiant nustatyti ryšius tarp tiriamose organizacijose taikomų tvaros statybos elementų ir tvaros statybos reikalavimų užtikrinimo naudojant CTL gyvenamojoje statyboje apskaičiuota Pearson koreliacija (12 lentelė).

12 lentelė. Tvarios statybos principo „Minimalus vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimas” ir kitų kintamųjų koreliaciniai ryšiai

	Minimalus vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimas
Teritorijos ekologinės vertės išsaugojimas, atliekant išsamų statybvietės tyrimą	0,867**
Esamo vandens ciklo išsaugojimas, projektavimas ir statyba, priartinant juos prie natūralių hidrologinių sistemų	0,771**
Statinio panaudojimo našumo didinimas	0,778**
Tarnavimo laikas	0,608**
Eksplotacijos ciklo kaina	0,683**
Lankstumas, dydis, forma	0,637**
Prieinamumas prie viešojo transporto	0,618**
Eksplotavimo priimtumas	0,693**

Pastaba: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$;

Nustatyta, kad statybos įmonėje taikomas tvarios statybos principas „Minimalus vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimas” ir kitų kintamųjų koreliaciniai ryšiai yra statistiškai svarbūs ($p < 0,01$). Lentelėje pateikiami tik svarbiausi ryšiai. Nustatyta stiprūs ryšiai minimalaus vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimo ir teritorijos ekologinės vertės išsaugojimo, atliekant išsamų statybvietės tyrimą ($r = 0,867^{**}$), taip pat esamo vandens ciklo išsaugojimo ($r = 0,771^{**}$), statinio panaudojimo našumo didinimo ($r = 0,778^{**}$). Tai leidžia teigti, kad įmonė siekdama užtikrinti minimalų vertingos žemės ir žaliųjų erdvių sunaikinimą, taip pat stengiasi daryti minimalų poveikį gamtiniai aplinkai. Atitinkamai jai yra priimtinas CTL naudojimas gyvenamojoje statyboje siekiant tvarios statybos principų realizavimo. Nustatyti ryšiai leidžia manyti, kad statybos įmonė, kuri savo veiklą grindžia tvarios statybos principais, statybos procese naudodama CTL sugebės įgyvendinti eilę tvarios statybos reikalavimų dėka unikalių CTL charakteristikų.

Nustatyta, kad tvarios statybos principas „Senų pastatų, jų dalių infrastruktūros elementų atnaujinimas, rekonstravimas” koreliuoja su tokiais elementais kaip projektavimo ir statybos derinys, orientuotas į gamtinės aplinkos išsaugojimą ($r = 0,854^{**}$) ir perdirbtų medžiagų naudojimas statybos procese ($r = 0,655^{**}$) (13 lentelė).

13 lentelė. Tvarios statybos principo „Senų pastatų, jų dalių infrastruktūros elementų atnaujinimas, rekonstravimas” ir kitų kintamųjų koreliaciniai ryšiai

	Senų pastatų, jų dalių infrastruktūros elementų atnaujinimas, rekonstravimas
Projektavimo ir statybos derinys, orientuotas į gamtinės aplinkos, esančios statybos vietoje, sunaikinimo minimizavimą, gyvenamosios aplinkos išsaugojimą ir atkūrimą	0,854**
Maksimaliai panaudojamos perdirbtos ir modernios išteklius taupančios medžiagos, taip pat medžiagos sukurtos biologiniu pagrindu	0,655**

Pastaba: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$;

Ryšiai tarp šių kintamųjų yra statistiškai svarbūs ir stiprūs. Tai leidžia teigti, kad statybos įmonė orientuota į senų pastatų, jų dalių infrastruktūros elementų atnaujinimą, rekonstravimą, savo veikloje taiko ir kitus tvarios statybos elementus. Tokiai įmonei priimtina naudoti CTL siekiant užtikrinti jos perdirbimą pasibaigus pastato eksploatacijos ciklui.

Teritorijos ekologinės vertės išsaugojimo principas pasižymi stipriais ryšiais su tvarios statybos reikalavimais naudojant CTL (14 lentelė).

14 lentelė. Tvarios statybos principo „Teritorijos ekologinės vertės išsaugojimas” ir kitų kintamųjų koreliaciniai ryšiai

	Teritorijos ekologinės vertės išsaugojimas, atliekant išsamų statybvietės tyrimą
Statinio panaudojimo našumo didinimas	0,769**
Tarnavimo laikas	0,676**
Eksploatacijos ciklo kaina	0,671**
Lankstumas/adaptyvumas	0,643**
Apsauga nuo nelaimingų atsitikimų	0,714**

Pastaba: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$;

Nustatyta, kad statybos įmonės orientuotos į teritorijos ekologinės vertės išsaugojimą naudojant CTL gali siekti statinio panaudojimo našumo didinimo ($r = 0,769^{**}$), tarnavimo laiko prailginimo ($r = 0,676^{**}$), eksploatacijos ciklo kainos sumažinimo ($r = 0,671^{**}$), apsaugos nuo nelaimingų atsitikimų užtikrinimo ($r = 0,714^{**}$).

Principas „Projektavimo ir statybos derinys, orientuotas į gamtinės aplinkos, esančios statybos vietoje, sunaikinimo minimizavimą, gyvenamosios aplinkos išsaugojimą ir atkūrimą“ statistiškai reikšmingais ryšiais susijęs su tvarios statybos reikalavimais patenkinamais naudojant CTL (15 lentelė).

15 lentelė. Tvarios statybos principo „Projektavimo ir statybos derinys, orientuotas į gamtinės aplinkos, esančios statybos vietoje, sunaikinimo minimizavimą, gyvenamosios aplinkos išsaugojimą ir atkūrimą” ir kitų kintamųjų koreliaciniai ryšiai

	Projektavimo ir statybos derinys, orientuotas į gamtinės aplinkos, esančios statybos vietoje, sunaikinimo minimizavimą, gyvenamosios aplinkos išsaugojimą ir atkūrimą
Vietinių medžiagų naudojimas	0,668**
Būsto prieinamumas ir komercinis rentabilumas	0,621**
Tarnavimo laikas	0,710**

Pastaba: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$;

Pearson koreliacija leido nustatyti stiprius ryšius su vietinių medžiagų naudojimu ($r = 0,668^{**}$), būsto prieinamumo ir komercinio rentabilumo užtikrinimu ($r = 0,621^{**}$) ir tarnavimo laiku ($r = 0,710^{**}$).

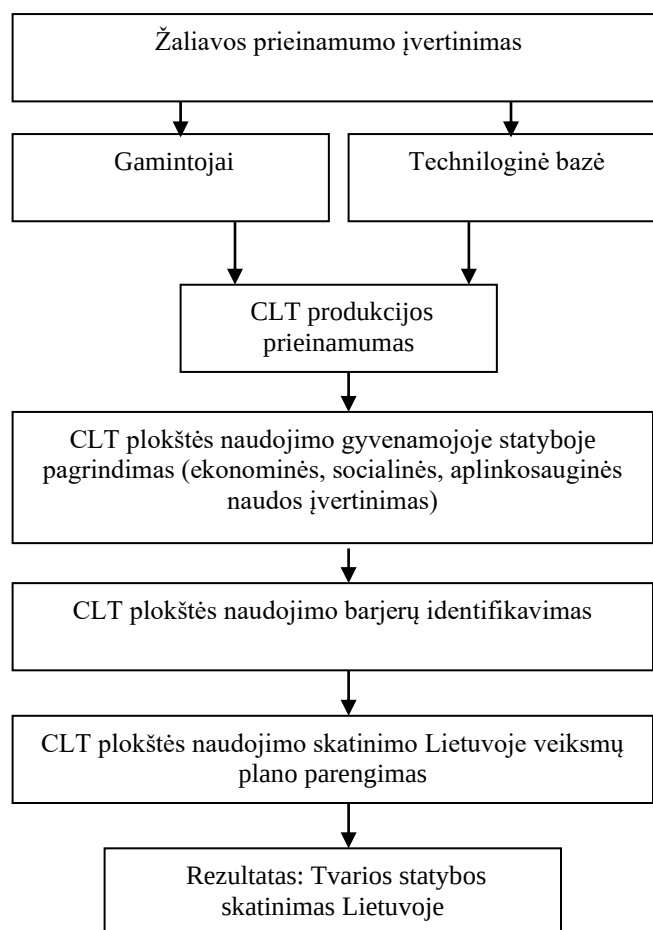
Pearson koreliacijos apskaičiavimas leido nustatyti statistiškai svarbius ryšius tarp tvarios statybos principų taikymo statybos įmonėje ir CTL naudojimo gyvenamojoje statyboje siekiant užtikrinti tvarios statybos reikalavimų. Šie ryšiai leido nustatyti, kad statybos įmonės, kurioms aktualūs tvarios statybos principai, bus suinteresuotos taikyti CTL gyvenamojoje statyboje ir sieks išnaudoti CTL savybes projektavimo, statybos ir eksploatacijos procesuose. Tai leidžia teigti, kad CTL naudojimas Lietuvoje gyvenamųjų namų statybai labai priklausys nuo statybos įmonių vadovybės požiūrio į tvarią statybą ir ekonominės naudos, kuris leis pasiekti CTL kaip statybos sistemos naudojimas.

2.4. Tvarios statybos skatinimas Lietuvoje plėtojant medžio masyvo plokštės naudojimą

Apibendrinant atliktą teorinę analizę bei praktinius tyrimus galima teigti, kad CLT, kaip statybinės medžiagos naudojimas užtikrinant tvarios statybos principų įgyvendinimą Lietuvoje turi plačias galimybes. Technologinė CLT analizė atskleidžia, kad CLT gali būti efektyviai naudojama tiek

mažaaaukštėje, tiek daugiaaukštėje gyvenamojoje, viešojoje ir komercinėje statyboje Lietuvoje. Tai patvirtina ES šalyse jau įgyvendinti projektai. Greitas CLT montavimas ir atsparumas deformacijoms leidžia užtikrinti mažesnius statybos ir pastato aptarnavimo eksploatacijos metu kaštus. Tačiau didžiausia CLT plokštės naudojimo nauda pasiekama mažinant aplinkos taršą statybos procese ir visame pastato eksploatacijos cikle. Tai patvirtina atlikto tyrimo rezultatai. Nustatyta, kad statiniai pastatyti iš CLT plokštės, gali atitikti daugumą tvarios statybos kriterijų, kas formuoja poreikį skatinti CLT plokštės naudojimą Lietuvoje.

Remiantis atliktais tyrimais parengiamas CLT plokštės naudojimo Lietuvoje, tvarios statybos kontekste, skatinimo modelis (57 pav.).



57 pav. CLT plokštės naudojimo skatinimo Lietuvoje, tvarios statybos kontekste, modelis (sudaryta darbo autoriaus remiantis Abramyan, 2017)

Pirmas ir antras modelio etapai skirti įvertinti žaliavos CTL gamybai prieinamumo įvertinimui, gamintojų ir techniloginės bazės analizei. Tuomet analizuojama CLT produkcija Lietuvoje. Remiantis gautais duomenimis atliekamas CLT plokštės naudojimo gyvenamojoje statyboje pagrindimas

(ekonominės, socialinės, aplinkosauginės naudos įvertinimas). Toliau vykdomas tyrimas siekiant identifikuoti CLT plokštės naudojimo barjerus. Remiantis gautais rezultatais rengiamas CLT plokštės naudojimo skatinimo Lietuvoje veiksmų planas. Siekiamas rezultatas: Tvarios statybos skatinimas Lietuvoje.

Atlikta medžio masyvo plokščių naudojimo gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje charakteristikų įvertinimas atskleidė, kad CTL turėtų pasižymėti tam tikromis padidinto atsparumo charakteristikomis, kurių pagrindinės pateikiamos 16 lentelėje.

16 lentelė. Medžio masyvo plokščių techninės charakteristikos naudojimui gyvenamųjų namų statybai Lietuvoje (sudaryta remiantis kiekybinio tyrimo duomenimis)

Gamybos technologija	Cross Laminated Timber
Medienos tipas	Pušis
Medienos rūšis	3
Lentos storis, mm	30
Juostelių sujungimo būdas	Klijai
Griovelių buvimas juostelėse	Turi būti
Bendras plokštės storis, mm	75–400 mm
Minimalus plokštės dydis, m	2,95x2,95
Maksimalus plokštės dydis, m	3x3
Tankis, kg / m ³	500
Šilumos laidumas (λ), W / (m ° C)	0,093
Šilumos talpa (-os), J / (kg ° C)	1,60
Pasipriešinimas šilumos atidavimui (R), (m ² ·°C) esant h = 100 mm	0,93
Atsparumas difuzijai (μ), mikronai	65/65
Garso izoliacija, dB (h = 205 mm)	60
Perdegimo greitis, mm / min	0,8-0,9

Šių techninių charakteristikų užtikrinimas leistų pagaminti CLT atitinkančią Lietuvos klimatinės sąlygas, pasižyminčią didesniu atsparumu drėgmei nei mechaniniam susidėvėjimui. Pušies naudojimas gamybos procese leistų sumažinti CLT savikainą, kas padidintų jos naudojimo motyvą Lietuvos statybos sektoriuje.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Darnus vystymasis numato ekonominių, aplinkosauginių ir socialinių visuomenės tikslų derinimą siekiant visuotinės gerovės sau ir ateinančioms kartoms, neviršijant leistinų poveikio aplinkai ribų. Darnus vystymosi principai statyboje realizuojami koncepcijoje „tvari statyba“, kuri numato, kad statybos procesas turėtų būti vykdomas minimizuojant neigiamą poveikį aplinkai. Medinių pastatų ir konstrukcijų statyba yra vienas iš tvarios statybos etapų, leidžiantis sumažinti trumpalaikę ir ilgalaikę taršą. CLT plokštė - daugiasluoksnė konstrukcija, kurią sudaro tarpusavyje suklijuotos juostelės. Esami statybos standartai ir reikalavimai leidžia CLT plokštę naudoti mažaaukštėje ir daugiaaukštėje, gyvenamojoje, viešojoje ir pramoninėje statyboje. CLT kaip statybos sistemos koncepcija leidžia pasiekti ne tik didelį darbo našumą, bet ir užtikrinti efektyvų kaštų valdymą ir aiškiai apibrėžiamą rezultatą užtikrinant mažą aplinkos taršą. CLT naudojimas statinių statyboje leidžia užtikrinti pilną eko- ciklą ir praktiškai realizuoti tvarios statybos ir darnaus vystymosi koncepciją, nes CLT plokščių gamybos ir naudojimo šalutiniai produktai gali būti efektyviai perdirbami, jos pasižymi maža aplinkos tarša, o pasibaigus statinio eksploatacijos laikotarpiui, jis demontuojamos. Išskiriami tokie pagrindiniai CLT naudojimo privalumai: ekologiškumas, ilgaamžiškumas, statybos procesų greitis, šilumos tausojimas, deformacijos nebuvimas, prieinamumas, tvirtumas, universalumas. Pagrindiniais CLT naudojimo barjeriais galima laikyti šiuos: visuomenės nuomonė, naujovės efektas, nepakankamai įsisavinta naudojimo technologija, suderinamumo su statybos kodeksu problemos, prieinamumo problemos, abejonės dėl atsparumo ugniai ir aukštomis temperatūroms, techninės informacijos apie CLT stoka.

2. Atlikta medžio masyvo plokščių panaudojimo ES daugiaaukščių pastatų statyboje analizė leidžia teigti, kad šiandieną gaminamos CLT, pagal savo technines charakteristikas pilnai gali būti naudojamos daugiaaukštėje ir mažaaukštėje statyboje. CLT naudojimas statyboje ES yra vykdomas atskirų statybos projektų lygmenyje. Tačiau jau dabar yra įgyvendinti ne tik gyvenamosios statybos, bet ir viešosios bei komercinės paskirties statinių projektai.

3. Skirtingų tipų medžio masyvo plokščių techninių charakteristikų daugiakriterijinis vertinimas atskleidė, kad tinkamiausia alternatyva yra CLT, antroje vietoje „Massive Holz Mauer“ plokštės, trečioje vietoje „Drevoblok“ gamintojų plokštės.

4. Išanalizavus medžio masyvo plokščių naudojimo galimybių plėtojant tvarią statybą Lietuvoje tyrimo rezultatai leido suformuoti tokias pagrindines išvadas: tvarios statybos plėtojimo ypatumų

tiriamose statybos įmonėse įvertinimas atskleidė, kad statybos procese šių lementų taikymas yra išreikštas silpniau nei vidutiniškai. Aktyviausiai taikomi tvarios statybos elementai yra minimalus žaliųjų erdvių sunaikinimas bei teritorijos ekologinės vertės išsaugojimas, atliekant išsamų statybvietės tyrimą. Pagrindiniai veiksniai skatinantys tirtas įmones aktyviau diegti tvarios statybos principus savo yra gaunama ekonominė nauda, galimybė pasinaudoti vyriausybės teikiama parama. Respondentai medžio masyvo plokštės (CLT) naudojimo galimybes Lietuvoje gyvenamųjų namų statyboje vertina vidutiniškai palankiai, CLT atveria naujas galimybes, tačiau šiandieninėmis sąlygomis jų taikymas masinėje gyvenamojoje statyboje, susiduria su daugybe iššūkių. Pagrindiniai CTL privalumai yra greitas statybos darbų organizavimas ir ekologiškumas. CTL naudojimą Lietuvoje riboja kliūčių visuma, svarbiausios jų susiformavusios statybos tradicijos ir technologijos inovatyvumas. Atlikta medžio masyvo plokščių naudojimo gyvenamųjų namų statyboje Lietuvoje charakteristikų įvertinimas atskleidė, kad CTL turėtų pasižymėti tam tikromis padidinto atsparumo charakteristikomis. CTL naudojimas gyvenamųjų namų statyboje leistų pasiekti ženklių ekologinį efektą, kuris pasireikštų atliekų gamybos apimčių sumažėjimu, padidėtų iš CTL statomų namų ekologinė vertė išaugs, būtų užtikrinamas mažas toksiškumas gamtinei aplinkai. Ekonominis naudingumas nėra taip stipriai išreikštas kaip ekologinis. CTL naudojimas leistų padidinti būsto prieinamumą ir komercinį rentabilumą. CTL naudojimas gyvenamųjų namų statyboje nesukurs ypatingų socialinių naudų lyginant su kitomis medžiagomis.

5. Remiantis tyrimų rezultatais pateikiamos sekančios rekomendacijos:

- Rekomenduojama skatinti CTL gamybą ir naudojimą Lietuvoje;
- Tikslinga organizuoti informacijos apie CLT sklaidą statybos versle ir visuomenėje;
- Rekomenduojama sukurti CLT techninių parametrų reglamentą užtikrinantį kokybiškos produkcijos importą ir gamybą.

NAUDOTOS LITERATŪROS IR KITŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Abramyan, S.G. (2017). Construction industry and sustainable development concept, *Science*, 9, (5), 1-12.
2. Afonin, V.S. (2018). Periods in the formation of world multi-storey timber construction. *AMIT*, 2 (43), 41-61.
3. Akshov, E. (2021). Technological Features of Glued Wooden Structures. *Architecture and Modern Information Technologies*, 1(54), 156–164.
4. Borgström, E. & Fröbel, J. (2019) *The CLT Handbook CLT structures – facts and planning*. Swedish Wood's investment.
5. Bidakov, A., Raspopov, E., Pustovoitova, O. & Strashko, B. (2020). The influence of clt panel production technology on their strength and rigidity. *Municipal economy of cities*, 1, 165 – 171.
6. Building-tech, 2019. Modern technologies of construction of wooden houses - advantages and disadvantages. Prieiga internetu: <https://building-tech.org/sovremennye-tehnologii-stroitelstva-derevyannyh-domov-preimushhestva-i-nedostatki/>
7. Checkwitch Poiron Architects Inc. (2021). CLT Building System. Prieiga internetu: <https://www.cparch.ca/clt-building-system>
8. Chen, Y. (2012). *Comparison of environmental performance of a five-storey building built with cross-laminated timber and concrete*. Sustainable Building Science Program, University of British Columbia - Department of Wood Science, Vancouver, BC, Canada.
9. Chun, Y., Claisse, P., Naik, T. R. & Ganjian, E. (2020). *Sustainable Construction Materials and Technologies: Proceedings of the Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies Coventry United Kingdom*. CRC Press.
10. Corfield, A. (2018). Building your home with cross laminated timber (CLT). Prieiga internetu: <https://acarchitects.biz/building-home-cross-laminated-timber-clt/>
11. Craft, S. (2011). *Fire performance of CLT assemblies*. Cross Laminated Timber Symposium, FPInnovations, Vancouver, BC, Canada.
12. Crespell, P. & Gagnon, S. (2011). *Cross-laminated timber: A primer*. FPInnovations, Vancouver, BC, Canada.
13. Das, B.B. & Neithalath, N. (2018). *Sustainable Construction and Building Materials: Select Proceedings of ICSCBM 2018*. Springer.

14. Dementjeva, J. (2011). Tiesioginių užsienio investicijų poveikis žinių visuomenės kūrimui darnaus vystymosi kontekste. *Management theory and studies for rural business and infrastructure development*, 1 (25), 1-9.
15. Dementev, D. (2020). Modern Experience of Multi-Apartment Wooden Houses Construction in Foreign Countries. *Architecture and Modern Information Technologies*, 1(50), 95–108.
16. Domarkas, V., Juknevičienė, V. ir Kareivaitė R. (2012). Institucinės dimensijos vaidmuo darnaus vystymosi koncepcijoje. *Viešojo politika ir administravimas*, 11, 461–472.
17. Durlinger, B., Crossin, E. & Wong, J. (2013). *Life cycle assessment of a cross laminated timber building. Market Access, Forest and Wood Products Australia*. Melbourne, Australia.
18. Espinoza, et al. (2016). Cross-laminated timber. *BioResources*, 11(1), 281-295.
19. Exova, B. (2017). *Cross-laminated Timber: Design and Performance*. BM Trada.
20. Goodhew, S. (2016). *Sustainable Construction Processes: A Resource Text*. John Wiley & Sons.
21. Guzely, E. (2020). Something wooden, something massive, something curved! Prieiga internetu: https://www.timber-online.net/timber_construction/2020/12/something-wooden--something-massive--something-curved-.html
22. ISO 16696-1:2019(en). Timber structures — Cross laminated timber — Part 1: Component performance, production requirements and certification scheme. Prieiga internetu: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16696:-1:ed-1:v1:en>
23. John, S. et al. (2012). *Environmental impacts of multi-storey buildings using different construction materials*. University of Canterbury - Department of Civil and Natural Resources Engineering, Christchurch, New Zealand.
24. Kalbe, K., Kuk, V. & Kalamees, T. (2020). Identification and improvement of critical joints in CLT construction without weather protection. *E3S Web of Conferences*, 172, 1-8.
25. Karacabeyli, E. & Douglas, B. (2013). *CLT hand-book: cross-laminated timber*. U.S. ed. 572 p.
26. Kei, S., Kenji, K. & Kenji, A. (2016). Estimation of strength properties of tensile bolt joint for CLT construction. *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)* 81(726):1289-1298.
27. Kolb, J. (2008). *Systems in Timber Engineering: Loadbearing Structures and Component Layers*. Springer Science & Business Media.
28. Kosov, I. I. (2019). Wooden CLT panels in the construction of public buildings. *Integral*, 2, 253-259

29. Laguarda-Mallo, M. F. & Espinoza, O. (2015). "Awareness, perceptions and willingness to adopt cross-laminated timber in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 94, 198-210.
30. Lysenko, A.O. (2018). Review of russian and foreign technology of Multi-layered wood panel manufacture. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 18 (4): 44–52.
31. Mahamid, M. (2020). Cross-Laminated Timber Design: Structural Properties, Standards, and Safety. McGraw-Hill Education.
32. MHM-Massivholzmauer, 2019. Prieiga internetu: <https://www.facebook.com/Massivholzmauer/photos/a.1789729114394941/2767015609999615/?type=3&theater>
33. Murzin, A. D. (2019). Sustainable building as a tool for urban development greening. *Economy and ecology of territorial formations*, 3, 13–19.
34. Nakano, K. et al. (2020). Environmental impacts of cross-laminated timber production in Japan. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 1-8.
35. Natürlich wohnen ohne Leim und Chemie. Massiv-Holz-Mauer Massiv wie Stein, aber trocken, warm und gesund. 2018. Prieiga per internetą: <https://docplayer.org/40531650-Natuerlich-wohnen-ohne-leim-und-chemie-massiv-holz-mauer-massiv-wie-stein-aber-trocken-warm-und-gesund.html>
36. Olsson, L. (2020). Moisture safety in CLT construction without weather protection – Case studies, literature review and interviews. *E3S Web of Conferences*, 172:10001, 1-8
37. Ostryakova, J. & Timofeeva, E. (2019). Wooden construction as a direction of ecological construction. *Image*, 1, 29-30.
38. Poteschkin, V. & Graf, J. (2019). Recycling of Cross-Laminated Timber Production Waste. *Research Culture in Architecture*, 12, 101 -112.
39. Reshetnikov, A.V. & Makaridze, G.D. (2019). Modern technologies of wood house building. solid wood panels. *Colloquium-journal*, 13 (37), 48-53.
40. Robertson, A. B., Lam, F. C. F. & Cole, R. J. (2012). A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of mid-rise office building construction alternatives: Laminated timber or reinforced concrete. *Buildings*, (2), 245-270.
41. Salgado, R. & Guner, S. (2021). Characterization of the out-of-plane behavior of CLT panel connections. *Engineering Structures*, 6, 1 – 11.

42. Sikra, S. (2017). How Does Construction Impact the Environment? Prieiga internetu: <https://gocontractor.com/blog/how-does-construction-impact-the-environment/>
43. Skonto Group (2021) The benefits of using CLT in the context of sustainable construction. Prieiga internetu: <https://www.crosstimbersystems.com/>
44. Smirnova, E. & Larionova, Y. (2020). Problem of environmental safety during construction (analysis of construction impact on environment). *Web of Conferences*, 164, 1 -9.
45. Stadthaus, London (2021) Prieiga internetu: <https://architizer.com/projects/stadthaus-london/>
46. Tam, V.Y. & Le, K. N. (2019). *Sustainable Construction Technologies: Life-Cycle Assessment Butterworth-Heinemann*. Springer.
47. Telichenko, V.I. (2017). Green technologies of living environment: concepts, terms, standards. *MGSU Bulletin*, 4 (103), 364-372.
48. Tetenov, A. Yu. & Argatov, I. V. (2020). Justification for the use of clt panels for the construction of stables. *StudNet*, 10, 2-6.
49. Tereňová, L., Dúbravská, K. & Štefková, J. (2020). CLT construction performance under thermal loading. *Wood Research*, 65, 605 – 614.
50. Timbersol (2020) CTL panel production technology. Prieiga internetu: <https://www.timbersol.ru/technology/glued-wooden-building-constructions/production-technology-of-clt-panels/>
51. Wahlstrøm, S. (2019). *Anvisning for massivtrebygging. Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk*. Veileder: Tore Kvande.
52. Wahlstrøm, S., Gullbrekken, L. & Elvebakk K. (2020). Experiences with CLT Construction in Norway, *E3S Web of Conferences*, 172, 1-8.
53. Wahlstrøm, S. (2020a). Methods for creating CLT Construction Guidelines. *E3S Web of Conferences*, 10005, 1-7.
54. WSP , 2018. Tall timber: How high can clt go? Prieiga per internetą: <https://www.wsp.com/en-RO/insights/tall-timber-how-high-can-clt-go>
55. Quenneville, P. & Morris, H. (2007). Japan Kobe earthquake shake table simulation -The earthquake performance of multi-storey cross laminated timber buildings. *New Zealand Timber Design Journal*, 15(4), 3-8.
56. Абрамян, С. Г. & Оганесян, О. В. (2016). Устойчивое развитие и экологическая безопасность строительства зданий и сооружений: техногенные факторы, воздействующие на атмосферу. Часть I. *Вестник Волгоградского государственного*

- архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*, 42(61), 202-222.
57. Елина, В.Д. (2017). Деревянное домостроение как вклад в устойчивое строительство. *World science: problems and innovations*, 2, 177-179.
58. Грахов, В.П. (2013) «Зеленое» строительство как фактор перехода к устойчивому развитию. *Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых*, 1, 183–186.
59. Щеголева, Э.В. (2017). Экологическое строительство с применением древесины в качестве основного строительного материала. *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инновации в строительстве*, 3, 142-149.
60. Воякин, А. (2018). Многослойные панели из древесины – деревянная альтернатива бетону. *Деловой журнал «Лесная индустрия»*, 8, 16-25.