



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Karkasinio pastato laikančiosios sienos stiprio tyrimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Saulius Valeika

Studentas

asist. dr. Dainius Vaičiulis

Vadovas

Panevėžys, 2025



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Karkasinio pastato laikančiosios sienos stiprio tyrimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Integruotas projektavimo ir statybos valdymas (6211EX076)

Saulius Valeika

Projekto autorius

asist. dr. Dainius Vaičiulis

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2025



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Saulius Valeika

Karkasinio pastato laikančiosios sienos stiprio tyrimas

Akademinių sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Saulius Valeika

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Sauliui Valeikai**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba) Karkasinio pastato laikančiosios sienos stiprio tyrimas

Baigiamojo projekto tema (anglų kalba) Strength Study of the Load-Bearing Wall of a Frame Building

Patvirtinta 2024 m. lapkričio 19 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-27

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2025 m. sausio 6 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrime tirti vieno aukšto gyvenamo karkasinio namo laikančiąsias sienas. Namų gabaritiniai matmenys: 17×6×5,2 m (sienos aukštis 3m), stogas dvišlaitis. Namai bus statomi Plungės rajone, neužstatytoje teritorijoje.

Baigiamasis magistro projektas turi atitikti KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto baigiamųjų projektų rengimo metodinius reikalavimus.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

1. Išnagrinėti Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktus tyrimus susijusius su pastatų laikančiųjų sienų stiprumu.
2. Nustatyti nešančiosios sienos (jos pagrindinių sudedamųjų dalių) geometrinių rodiklių ir naudojamų medžiagų mechaninių savybių įtaką sienos stiprumui.

Vadovas

asist. dr. Dainius Vaičiulis

(konsultanto pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau

Saulius Valeika

(studento vardas, pavardė, parašas)

2024 m. lapkričio 25 d.

Valeika, Saulius. Karkasinio pastato laikančiosios sienos stiprio tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas asist. dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): statybos inžinerija, technologijos mokslai (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: karkasinis pastatas, laikančiosios sienos stipris, įtempiai, gniuždymas.

Panevėžys, 2025. 58 p.

Santrauka

Didėjanti klimato kaitos problema bei griežtėjantys aplinkosaugos reikalavimai skatina statybos sektoriaus atstovus mąstyti ir ieškoti tvarių, ekologiškų, atsinaujinančių, mažas atliekas generuojančių sprendimų. Vienas iš tokių galimų variantų yra mediniai karkasiniai pastatai. Šio magistrinio darbo tikslas – ištirti karkasinio pastato laikančiųjų sienų stiprį.

Darbo pirmojoje dalyje nagrinėjamos Lietuvos ir užsienio mokslininkų interpretacijos, susijusios su karkasinių pastatų samprata bei esminiais konstrukciniais sprendiniais. Apžvelgiami ekologiški, karkasinių pastatų konstrukcijų apšiltinimo pasirinkimo variantai iš greitai atsinaujinančių alternatyviųjų statybinių medžiagų, žemės ūkio produkcijos bei perdirbimo šalutinių produktų. Apibūdinami svarbiausi karkasinio pastato statybos etapai, įvardijamos esminės karkasinių pastatų statybos proceso technologijos ir optimizavimas. Nagrinėjami mokslininkų atlikti tyrimai, susiję su pastatų laikančiųjų sienos stiprumo savybėmis bei funkcijomis.

Antrojoje darbo dalyje pristatoma karkasinio skydo projektavimo metodika, kurioje apibūdinamos karkaso skydo sieną veikiančios apkrovos, pateikiami ekscentriškai gniuždomi elementai ir įvardijama jų atitiktis Lietuvoje galiojantiems statybos techniniams reglamentams.

Trečiojoje dalyje pristatomas tiriamasis modelis – sienos elementų stiprumo tyrimas, kuris parengiamas naudojant „SolidWorks“ programinę įrangą. Siekiant įvertinti karkasinio pastato stiprumą, tvirtumą, ilgaamžiškumą, atliekama karkasinio pastato laikančiosios sienos elementų stiprio analizė ir ekscentriškai tempiamų bei gniuždomų elementų skaičiavimai. Tyrimo pradžioje įvertinamos laikančiosios sienos skydą veikiančios apkrovos, pasirenkamos specifinės karkasinio skydo elementų fizikinės bei mechaninės savybės, pagal kurias, programiniu paketu „SolidWorks“ sumodeliuojami laikančios sienos karkaso elementai. Karkasinio pastato sienos stiprumo analizė grindžiama, vertinant gautus skaičiavimo rezultatus pagal tam tikrus pasirinktus ir keičiamus parametrus. Darbe keičiami bei įvertinami šie parametrai: sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties, plokščių storio, plokštės dygio aukščio, nuo statramsčių išdėstymo žingsnio ir statramsčių skerspjuvio aukščio.

Valeika, Saulius. Investigation of the Strength of Load-Bearing Walls in a Timber-Frame Building. Master's Final Degree Project / supervisor assist. dr. Dainius Vaičiulis; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Civil Engineering, Technological Sciences (Engineering Sciences)

Keywords: timber-frame building, strength of load-bearing walls, stresses, compression.

Panevėžys, 2025. 58 pages.

Summary

The growing problem of climate change and stricter environmental requirements are driving the construction sector to think and look for sustainable, environmentally friendly, renewable and low-waste solutions. One such option is timber frame buildings. The aim of this master thesis is to investigate the strength of the load-bearing walls of a timber frame building.

The first part of the thesis deals with the interpretations of Lithuanian and foreign scientists concerning the concept of frame buildings and the essential structural solutions. It looks at environmentally friendly options for the insulation of framed building structures using rapidly renewable alternative building materials, agricultural production and recycling by-products. It describes the key stages of the construction of a framed building and identifies the key technologies and optimization of the construction process for framed buildings. Research carried out by scientists on the strength properties and functions of load-bearing walls of buildings is examined.

The second part of the thesis presents the design methodology of the framed panel, describing the loads acting on the wall of the framed panel, presenting the eccentrically compressible elements and their compliance with the technical building regulations in Lithuania.

The third part presents the research model, the Wall Element Strength Study, which is developed using SolidWorks software. In order to assess the strength, stiffness and durability of the framed building, an analysis of the strength of the load-bearing wall elements of the framed building analysis is carried out and special calculations of the eccentrically tensile and compressive elements are performed. The study starts with an assessment of the loads acting on the load-bearing wall panel, the selection of the specific physical and mechanical properties of the framing panel elements, and the modelling of the load-bearing wall frame elements in SolidWorks software package. The strength analysis of the framed building wall is based on the evaluation of the obtained calculation results for a set of selected and modifiable parameters. The parameters to be varied and evaluated are these: the dependence of the strength and stiffness of the wall on the position of the panel joints, the thickness of the panels, the height of the panel thickness, the spacing of the struts and the height of the strut cross-section.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas.....	11
Įvadas	12
1. Mokslinės literatūros analizė.....	14
1.1. Karkasinių pastatų samprata ir esminiai konstrukciniai sprendiniai	14
1.2. Ekologiški karkasinių pastatų konstrukcijų apšiltinimo pasirinkimo variantai.....	16
1.3. Karkasinio pastato statybos proceso etapai	17
1.4. Karkasinių pastatų statybos technologijų apžvalga	18
1.5. Karkasinių pastatų statybos proceso optimizavimas	24
1.6. Laikančiųjų sienų funkcijos ir stiprumo pagrindinės savybės.....	25
2. Karkasinio skydo projektavimo metodika.....	28
2.1. Karkasinio skydo sieną veikiančios apkrovos	28
2.2. Ekscentriškai gniuždomi elementai	29
3. Sienos elementų stiprumo tyrimas.....	31
3.1. Tiriamasis modelis.....	31
3.2. Laikančios sienos skydą veikiančios apkrovos	33
3.3. Karkasinio skydo statramsčių fizikinės ir mechaninės savybės	33
3.4. Sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties ir plokščių storio	39
3.5. Sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties ir sujungimo dygio aukščio	44
3.6. Sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo statramsčių išdėstymo žingsnio ir statramsčių skerspjuvio aukščio.....	51
3.7. Ekscentriškai tempiamų ir gniuždomų elementų analizė	54
Išvados	55
Literatūros sąrašas	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Laikančios sienos skydą veikiančios vertikalios apkrovos	33
2 lentelė. Laikančios sienos skydą veikiančios apkrovos į išorinius paviršius	33
3 lentelė. Laikančios sienos skydo medinių konstrukcijų fizikinės ir mechaninės savybės [13]	33
4 lentelė. Laikančios sienos skydo plokščių fizikinės ir mechaninės savybės [44]	34
5 lentelė. Ekscentriškai tempiamų ir gniuždomųjų rodiklių, koeficientų ir sąlygų suvestinė [13] ...	54

Paveikslų sąrašas

1 pav. Bendras karkasinio pastato konstrukcijos vaizdas [11]	15
2 pav. Tradicinio karkasinio pastato konstrukcinė schema [12]	16
3 pav. Karkasinio pastato statybos etapai [16]	17
4 pav. Karkasinio pastato pavyzdys [19].....	19
5 pav. Karkasinio pastato skydo elemento (išorės sienų) pavyzdys [19].....	20
6 pav. Karkasinio pastato skydo (apkrovas laikančių ir pertvarinių vidinių sienų) pavyzdys [19] ..	21
7 pav. Karkasinio pastato skydo elemento (perdangos skydų) pavyzdys [19].....	21
8 pav. Karkasinio pastato skydo elemento (perdangos skydų) pavyzdys [19].....	22
9 pav. Karkasinio pastato 3D vaizdas	31
10 pav. Karkasinio pastato stogo jungties detalė su išorės siena	31
11 pav. Karkasinio skydo skaičiavimo schema	32
12 pav. Karkasinio skydo vaizdas „SolidWorks“ aplinkoje.....	34
13 pav. Karkasinio skydo sienos plokštės jungtis (M10:1).....	34
14 pav. Karkasinio skydo sienos baigtinių elementų modelio tinklelis (M10:1).	35
15 pav. Karkasinio skydo sienos atramos ir suvaržymai (M10:1).	35
16 pav. Karkasinio skydo statramstyje kylantis įtempių intensyvumas (deformavimo mastelis M5:1)	36
17 pav. Karkasinio skydo sienoje kylantis įtempių intensyvumas (deformavimo mastelis M10:1). 36	
18 pav. Karkasinio skydo įlinkis nuo veikiančių apkrovų (deformavimo mastelis M5:1)	37
19 pav. Karkasinio skydo įlinkis nuo veikiamų apkrovų (deformavimo mastelis M5:1)	37
20 pav. Karkasinio skydo plokštės įlinkis nuo veikiančių apkrovų (deformavimo mastelis M5:1) .	38
21 pav. Karkasinio skydo apatinėje lentoje kylantis įtempių intensyvumas (deformavimo mastelis M5:1)	38
22 pav. Laikančiosios sienos statramsčiuose įtempių intensyvumo $\sigma_{iST, max}$ priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties x/B (žr. 11 pav.): ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm.....	39
23 pav. Plokštės storio d įtaka laikančiosios sienos statramsčių įtempiams esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	40
24 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštėse kylančių didžiausių įtempių intensyvumo $\sigma_{iPL, max}$ priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties x/B (žr. 11 pav.) ir plokščių storio d : ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm.....	40
25 pav. Plokštės storio d įtaka laikančiosios sienos plokščių įtempiams esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	41
26 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių didžiausių vietinių įlinkių $y_{PL, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm.....	42
27 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės storio d įtaka plokštės vietiniam įlinkiui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	42
28 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių jungties didžiausių įlinkių $y_{PL, max}$ (viduryje tarp statramsčių) priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm	43
29 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės storio d įtaka plokščių jungties didžiausiems įlinkiams $y_{PL, max}$ (viduryje tarp statramsčių) priklausomai nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	44

30 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštėse kylančių didžiausių įtempių intensyvumo $\sigma_{iPL, max}$ priklausomybė nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio ir sujungimo padėties x/B (žr. 11 pav.): ■ – $S_3 = 6$ mm; ■ – $S_3 = 9$ mm; ■ – $S_3 = 12$ mm; ■ – $S_3 = 15$ mm; ■ – $S_3 = 18$ mm.....	45
31 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 įtaka plokštės įtempiams esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	46
32 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių didžiausių vietinių įlinkių $y_{PLS, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.) nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio (žr. 11 pav.): ■ – $S_3 = 6$ mm; ■ – $S_3 = 9$ mm; ■ – $S_3 = 12$ mm; ■ – $S_3 = 15$ mm; ■ – $S_3 = 18$ mm.....	47
33 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 įtaka plokštės vietiniam įlinkiui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	48
34 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių didžiausių vietinių įlinkių $y_{PL, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 10 pav.) nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio (žr. 11 pav.): ■ – $S_3 = 6$ mm; ■ – $S_3 = 9$ mm; ■ – $S_3 = 12$ mm; ■ – $S_3 = 15$ mm; ■ – $S_3 = 18$ mm.....	49
35 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 įtaka plokščių jungties didžiausiems įlinkiams $y_{PL, max}$ (viduryje tarp statramsčių) priklausomai nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$	50
36 pav. Laikančiosios sienos skydo statramsčių išdėstymo įtempių priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių (žr. 11 pav.) $\sigma_{iST, max}$, MPa: ■ – $h_1 = 150$ mm; ■ – $h_1 = 175$ mm; ■ – $h_1 = 200$ mm; ■ – $h_1 = 225$ mm; ■ – $h_1 = 250$ mm.....	51
37 pav. Laikančiosios sienos skydo apatinės lentos didžiausių įtempių priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių skydo apatinėje lentoje (žr. 11 pav.) $\sigma_{iAPL, max}$, MPa: ■ – $h_1 = 150$ mm; ■ – $h_1 = 175$ mm; ■ – $h_1 = 200$ mm; ■ – $h_1 = 225$ mm; ■ – $h_1 = 250$ mm.....	52
38 pav. Laikančiosios sienos skydo statramsčių išdėstymo įtempių priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių (žr. 11 pav.) $\sigma_{i/f_{e,d}}$ %: ■ – $h_1 = 150$ mm; ■ – $h_1 = 175$ mm; ■ – $h_1 = 200$ mm; ■ – $h_1 = 225$ mm; ■ – $h_1 = 250$ mm.....	53
39 pav. Laikančiosios sienos skydo apatinės lentos laikomosios galios (gniuždant skersai pluoštų) išnaudojimo rodiklio priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių $\sigma_{iAL}/f_{e,d}$ % ■ $h_1 = 150$ mm; ■ $h_1 = 175$ mm; ■ $h_1 = 200$ mm; ■ $h_1 = 225$ mm; ■ $h_1 = 250$ mm.....	53

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

SIM – statinio informacinis modeliavimas

BEM – baigtinių elementų metodas

Terminai:

Karkasinis pastatas – efektyvios konstrukcijos statinys. Šio pastato konstrukcinė sistema grindžiama karkaso principu, kur laikančiąją funkciją atlieka rėminės konstrukcijos elementai, pavyzdžiui, statramsčiai, kolonos, sijos, santvaros.

Laikančioji siena – tai svarbus konstrukcijos elementas, priimantis ir perduodantis pastato apkrovas, įskaitant jo savąjį svorį, stogo ir perdangų apkrovas, bei papildomas išorines apkrovas (vėją, sniegą) į pamatus. Laikančiosios sienos konstrukcinės savybės yra griežtai reglamentuojamos, siekiant užtikrinti pastato stiprumą, ilgaamžiškumą, stabilumą, mechaninį bei fizikinį patvarumą ir atsparumą.

Karkasinio pastato laikančiosios sienos stipris – tai karkasinio pastato laikančiosios sienos gebėjimas atlaikyti nuolatinės ir kintamos apkrovas. Stipris tiesiogiai priklauso nuo fizikinių bei mechaninių medžiagų savybių, geometrinių parametru ir veikiamų apkrovų.

Saugos ribinis būvis – tai pastato būvis, kuriame konstrukcija, praradusi savo mechaninį stabilumą tampa nebetinkama eksploatuoti dėl jos laikančiųjų savybių degradacijos. Šio ribinio būvio pažeidimas (pvz. pastato griūtis, stabilumo praradimas ar pernelyg didelė deformacija), kelia grėsmę žmonių gyvybei ar turtui.

Tinkamumo ribinis būvis – tai pastato būvis, paprastai nekeliantis grėsmės konstrukcijos saugumui, bet gali turėti įtakos jos naudojimo komfortui ar ilgaamžiškumui. Šiame būvyje konstrukcija gali tapti neveiksminga dėl didelių deformacijų, vibracijų, įtrūkimų ar kitų eksploatacinių savybių pablogėjimo.

Nuolatinės apkrovos – pastoviai ir nekintančiai konstrukciją veikiančios apkrovos. Nuolatinių apkrovų pavyzdžiai: konstrukcijos elementų svoris, apdailos medžiagos, inžinerinės komunikacijos ir kitos statinio sudedamosios dalys. Tai pagrindinis veiksnys, į kurį atsižvelgiama projektuojant konstrukcijas.

Kintamos apkrovos – tai apkrovos, kurios gali pasikeisti priklausomai nuo aplinkos, oro sąlygų ar laiko. Kintamų apkrovų pavyzdžiai: sniegas, vėjas, žmonių arba transporto priemonių judėjimas pastate. Šios apkrovos įvertinimas taip pat reikalauja didelio dėmesio projektavimo metu, nes kintamų apkrovų intensyvumas ir pasiskirstymas gali būti nepastovūs.

Ekscentriškai tempiami ir gniuždomi elementų skaičiavimai – tai fizikinių ir mechaninių konstrukcijos elementų įtakos įvertinimas, siekiant užtikrinti pakankamą stabilumą ir pastato stiprį. Gali būti vertinami šių elementų papildomi įtempiai tempimo, gniuždymo lenkimo momentu.

Ivadas

Problematika ir aktualumas. Dabartiniame pasaulyje ypač svarbu sumažinti / pristabdyti klimato kaitą, kuo labiau išsaugoti gamtos išteklius, rasti atsinaujinančių šaltinių bei mažinti atliekų susidarymą. Statybos sektorius atlieka itin svarbų vaidmenį šiame aplinkosaugos kontekste. Šiandieninėje nuolat skubančioje aplinkoje yra svarbus greitas bei tvarus statybos rezultatas, generuojantis mažiau atliekų statybvietėse. Karkasinių pastatų statyba gali puikiai prisidėti prie ekologijos išsaugojimo bei plėtros ideologijos, kadangi tokio tipo statiniai pasižymi ilgaaamžiškumu, energiją taupančiu efektyvumu, šilumos izoliacinėmis savybėmis.

Statybų sektorius yra vienas didžiausių klimato kaitos pokyčių sukėlėjų (CO_2 emisija į aplinką, įskaitant statybinių iškastinių medžiagų naudojimą bei statybos proceso eigą, siekia net apie 30 proc.) [1]. Žaliasis ES kursas visas ES nares įpareigoja susivienyti bendram tikslui, t. y. iki 2050 m. turėti neutralų klimatą Europoje. Todėl šiuolaikinėje socialine atsakomybe grindžiamoje gyvenimo terpėje vis sparčiau auga ir su statybos sektoriumi susijusios ekologinės tendencijos (pvz., pastato ilgaaamžiškumas, energiją taupantis efektyvumas, šilumos izoliacija) [1].

Statybos pramonė sunaudoja daug įvairių išteklių. Kadangi sparčiai didėja būsto paklausos poreikis, spartėja urbanizacijos procesas, siekiama vis labiau užtikrinti ekologišką bei tvarų vystymąsi, didelis dėmesys skiriamas naudojamoms statybinėms medžiagoms. Būtent todėl statyboje naudojama vis daugiau atsinaujinančių, ekologiškų medžiagų ir taip prisidedama prie mažiausio įmanomo aplinkos poveikio planetai [2].

Europos Sąjungos mastu fiksuojama, jog pastatai suvartoja didžiausią energijos kiekį ir yra vienas didžiausių anglies dvideginio išmetimo šaltinių. Bendras pastatų energijos suvartojimo rodiklis siekia 40 proc., o šiltnamio efektą sukeliančių dujų – 36 proc. Šių rodiklių vertės dažniausia kyla dėl statybos, naudojimo, renovacijos ir griovimo darbų [3].

Pagrindiniai pastato energijos vartojimo efektyvumo aspektai tokie kaip beveik nulinės energijos pasyvaus pastato projektavimas, mažai energijos naudojančių statybinių medžiagų panaudojimas pastato statybos proceso metu, energiją taupančios įrangos naudojimas ir atsinaujinančios energijos technologijų integravimas įvairioms statybos proceso reikmėms įgyja didžiulę reikšmę energijos taupymo kontekste šiuolaikiniame pasaulyje [4].

Vienas iš galimų statybinių medžiagų pasirinkimo variantų yra mediena. Ji itin patraukli dėl to, kad yra paslanki, lengvai apdirbama, ekologiška bei atsinaujinanti medžiaga. Ši gamtoje natūraliai susiformuojanti žaliava gali būti naudojama statybose visoms laikančiosioms konstrukcijoms be neigiamų pasekmių aplinkai [5].

Tikslinga akcentuoti, kad dabartinėje skubančioje modernioje technologijų eroje yra labai svarbus laikas, per kurį įgyvendinama suplanuota pastato statyba. Mediniai karkasiniai pastatai yra vienas iš tokių populiarejančių statybinių projektų pasirinkimo variantų, kadangi medinių karkasinių pastatų konstrukcijos gali būti surenkamos karkasinių namų gamybinėje įmonėje, o tai ypač pagreitina statybos procesą. Surenkamosios gamybos metu sumažinamas medžiagų atliekų darbo vietoje ir montavimo laikas. Dėl šių sumažinimų padidėja saugumas bei sumažėja išlaidos [6]. Bendrame tvaraus vystymo kontekste svarbų vaidmenį atlieka ir tai, kad surenkamųjų karkasinių elementų gamybos metu didėja medinės statybos pramonės našumas ir efektyvumas, todėl galima teigti, jog statybų sektorius skatinamas pereiti į modernesnę, labiau automatizuotą sektorių [7].

Medinių karkasinių pastatų statybos svarbiu aspektu išlieka laikančiųjų sienų stipris, kurį būtina įvertinti siekiant užtikrinti nepriekaištingą tokio tipo pastato kokybę.

Tyrimų objektas – karkasinio pastato laikančiosios sienos stipris.

Pasirinkto tyrimo bendras **tikslas** – ištirti karkasinio pastato laikančiųjų sienų stiprį.

Pasirinkto tyrimo **uždaviniai**:

1. išnagrinėti Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktus tyrimus, susijusius su pastatų laikančiųjų sienų stiprumu;
2. nustatyti nešančiosios sienos (jos pagrindinių sudedamųjų dalių) geometrinių rodiklių ir naudojamų medžiagų mechaninių savybių įtaką sienos stiprumui

Duomenų rinkimo metodai – mokslinės literatūros ir statybos techninių reglamentų metodologinė analizė

Duomenų analizės metodai – SolidWorks programinis paketas, SolidWorks Simulation modeliavimas, Sema modeliavimo programa, gautų rezultatų analizė Excel programa.

Baigiamojo projektą sudaro: baigiamojo magistro projekto užduotis, akademinio sąžiningumo deklaracija, dvi santraukos (lietuvių ir anglų kalbomis), lentelių, paveikslų, terminų bei santrumpų sąrašai, įvadas, 3 skyriai, išvados ir literatūros sąrašas. Baigiamojo projekto darbo apimtis 58 p. Iš viso darbe yra 4 lentelės ir 39 paveikslai.

Konferencijoje skaitytas pranešimas

Pranešimo tema – Karkasinio pastato išorinių sienų skydo stiprumo ir standumo tyrimas. Autorius – Saulius Valeika. Studentų mokslinė konferencija „Technologijų ir verslo aktualijos - 2024“. Panevėžys: Kauno technologijos universitetas, 2024 m. lapkričio 22 d.

1. Mokslinės literatūros analizė

1.1. Karkasinių pastatų samprata ir esminiai konstrukciniai sprendiniai

Navaratnam'as ir kiti [8] mokslinėje publikacijoje įvardija, jog pastaruoju metu tūrinių surenkamųjų pastatų statyba vis populiarėja išsivysčiusiose šalyse. Pavyzdžiui, Švedijoje daugiau nei 80 proc. dalies būstų pramonės rinkoje užima surenkamosios pastatų sistemos, kai tuo tarpu Australijoje tik maždaug 3–4 proc. naujų pastatų per metus sudaro surenkamųjų pastatų modeliai. Pagrindinės kliūtys naudoti surenkamąsias konstrukcijas statybose Australijoje yra šios:

- surenkamųjų pastatų konstrukcinės sistemos yra kuriamos itin komercinėmis ir konfidencialiomis sąlygomis;
- yra itin mažai viešai prieinamų mokslinių tyrimų šia tematika;
- trūksta kompetentingų sertifikuotojų, reguliuotojų, inžinierių ir akademinės bendruomenės, kuri galėtų teikti nepriklausomą informaciją apie surenkamų pastatų sistemų veikimą, pranašumus ir trūkumus;
- nepriklausomi projektuotojai ir statybos inžinieriai yra linkę pasitikėti konstrukcinio ir nekonstrukcinio elemento tvirtumu, taip pat surenkamų pastatų sistemų jungtimis. Šis stiprumas įvertinamas gamintojams atliekant atskirų komponentų „komercinio patikimumo“ testą, tačiau akivaizdu, jog dėl tokio pobūdžio testo gali atsirasti nepageidaujamų projektavimo rezultatų.

Išsivysčiusiose pasaulio šalyse didžiąją dalį individualios gyvenamosios statybos sudaro mediniai karkasiniai pastatai. Karkasinių pastatų statyba yra lanksti, kadangi tokį pastatą ateityje galima padidinti, t. y. papildyti naujomis patalpomis. Tačiau labai svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad neužbaigtų statyti (pvz., be langų ir / arba durų) karkasinių pastatų negalima palikti keletą metų pastovėti. Tad itin svarbu prieš statybas tiksliai įsivertinti pastato užbaigtumo galimybes bei pasiskaičiuoti lėšas [9].

Bahrami's ir kiti [10] atliko tyrimą Švedijoje, jie nustatė ir įvardijo teigiamus ir neigiamus veiksnius, galinčius turėti įtakos medinių karkasų pasirinkimui daugiaaukščių pastatų statyboje. Vienas iš pagrindinių tyrimo metu nustatytų neigiamų veiksnių yra tai, jog statant daugiaaukščius namus iš medinių karkasų, trūksta kompetencijų darbuotojams. Kaip esminę tokio trūkumo priežastį šio tyrimo mokslininkai įvardija tai, jog inžinerijos mokymo programose nėra išsamių medžio statybos mokymo studijų. Taip pat kaip labai reikšmingi veiksniai, trukdantys didinti medinių karkasų statybą, buvo pateikti dideli kaštai, akustikos ir drėgmės problemos. Tačiau, atsižvelgdami į šiandieninę klimato kaitos tendenciją, aplinkosauginius aspektus, mokslininkai taip pat išskyrė veiksnius, kurie yra gyvybiškai svarbūs bei lemia respondentų teigiamus pasirinkimo motyvus, tokius kaip mažas klimato pėdsakas ir gamybos pranašumai.

Karkasinis pastatas yra efektyvios konstrukcijos statinys, kuris sumontuotas iš medinių kolonų, medinių santvarų, grebėstų, spyrių ir apdangos (žr. 1 pav.).

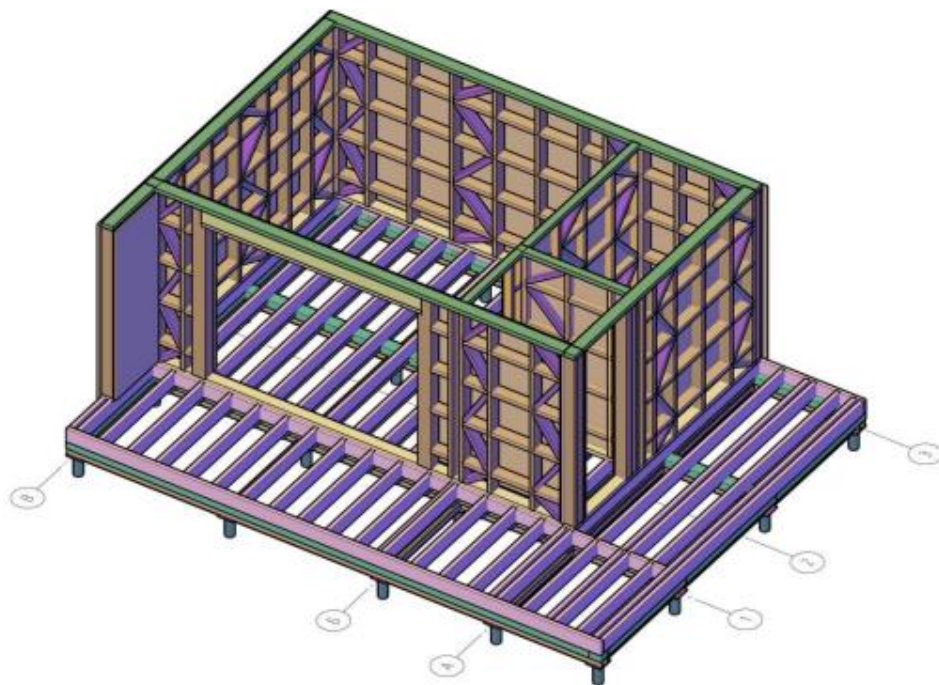


1 pav. Bendras karkasinio pastato konstrukcijos vaizdas [11]

Vienas iš svarbiausių konstrukcinių elementų karkasinių pastatų statyboje yra stačiakampė medžio kolona. Prie šių kolonų, kurios yra įmontuotos žemėje, tvirtinamos medinės santvaros. Kolonos ir santvaros sudaro atsparias lenkimui pertvaras. Siekiant padaryti itin stangrą karkasinio pastato rėmą, šis elementas sustiprinamas kitais konstrukciniais elementais. Tokio tipo karkasinio pastato konstrukcija atspari gamtos poveikiams (vėjo ir sniego apkrovoms) [11].

Dmitrieva, T. L. ir kiti įvardija karkasinių pastatų svarbiausias sudedamųjų dalių sritis (žr. 2 pav.), tokias kaip:

- laikantys elementai bei konstrukcijos, veikiami pagrindinių eksploatacinių apkrovų ir užtikrinantys pastato patikimumą bei saugumą (pvz. statramsčiai, perdangos sijos, atramos);
- atitvariniai elementai ir konstrukcijos, apsaugantys pastatą nuo temperatūros pokyčių, vėjo, kritulių ir kt.;
- apsauginės, dekoratyvinės detalės, naudojamos kaip pastatų vidaus ir išorės elementai;
- pagalbinės dalys – konstrukciniai elementai, užtikrinantys jų vientisumą (pvz. apdailos elementai, vėjo ryšiai ir kt.) [12].



2 pav. Tradicinio karkasinio pastato konstrukcinė schema [12]

Standartinė medinė karkasinė konstrukcija yra sudėtinga konstrukcija, susidedanti iš laikančiųjų elementų (viršutinės bei apatinės juostos, statramsčiai, grindų sijos) konstrukcijų, užtikrinančių erdvinį standumą ir stabilumą (atramos, vėjo ryšiai), vidinių, išorinių apdailos elementų [12].

Medinių konstrukcijų ilgaamžiškumas turi būti užtikrintas konstrukcinėmis priemonėmis, svarbu atsižvelgti į konstrukcijos paskirtį, galimas eksploataavimo sąlygas, medžiagų savybes, elementų ir detalių formą. Taip pat būtina imtis priemonių, užtikrinančių apsaugą nuo drėgmės, biologinio pažeidimo ir užsidegimo. Medinės konstrukcijas galima projektuoti tik tokiais aplinkos sąlygomis, kuriose temperatūra neviršija $+35^{\circ}\text{C}$ elementams iš klijuotosios medienos ir $+50^{\circ}\text{C}$ elementams iš vientisosios medienos. Statinio projekte turi būti nurodytos medinių konstrukcijų gamybai reikalingos medienos stiprumo klasės, klijų ir kitų jungimo priemonių rūšys, taip pat kiti būtinieji reikalavimai [13].

1.2. Ekologiški karkasinių pastatų konstrukcijų apšiltinimo pasirinkimo variantai

Aplinką tausojančiame statybos procese tvarių, ekologiškų, greitai atsinaujinančių alternatyviųjų statybinių medžiagų pasirinkimas yra vienas iš svarbesnių aspektų. Taip pat ne mažiau aktualūs ir šių medžiagų gamybos, paruošimo ar apdorojimo procesai, kurių metu būtų sunaudojama kuo mažiau energijos. Siekiant sumažinti CO_2 emisiją atmosferoje, kuo puikiau statybinių medžiagų gamybai gali būti panaudojami žemės ūkio produkcijos bei perdirbimo šalutiniai produktai (pvz., šiaudai, pluoštinių kanapių dariniai ir kiti alternatyvūs augalinės kilmės produktai) [14].

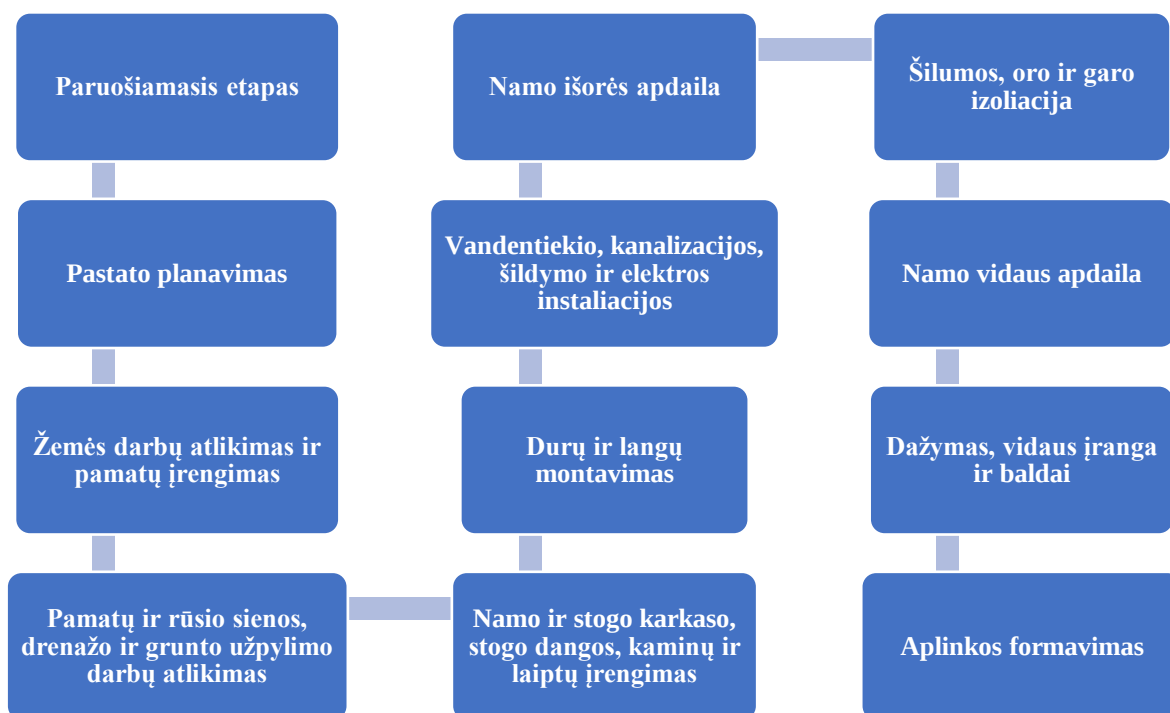
Šiaudai yra puikus alternatyvus atsinaujinantis išteklis, kuris žemės ūkio produkcijos gamyboje gaunamas kaip šalutinis produktas, o tvarioje statyboje gali būti panaudojamas kaip žaliava statybinių medžiagų gamybai. Karkasinio pastato statyboje presuoti šiaudų ryšuliai dažnai naudojami išorinių sienų konstrukcijose, taip pat šiaudų naudojimo paskirtis gali būti ir perdangoms bei stogui šiltinti [15].

Svarbu paminėti, jog šilumą izoliuojančių produktų energinis efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo šilumos laidumo koeficiento λ ir medžiagos sluoksnio storio atitvaroje. Ramukevičius ir kt. [14] šiaudus įvardija kaip efektyvią šilumą izoliuojančią medžiagą, kuri savo šilumos laidumo verte nežymiai skiriasi nuo dažniausiai naudojamų šilumą izoliuojančių medžiagų. Šie autoriai įvardija, jog sausųjų presuotų šiaudų, kurių tankis 70–150 kg/m³, šilumos laidumo koeficiento vertė yra 0,04–0,06 W/(m·K), o jei šiaudai yra eksploatacinio orasausio drėgnio, tuomet vertė siekia 0,05–0,07 W/(m·K).

Šiaudai yra ekologiškas pasirinkimas bei aplinkai draugiška natūrali žaliava, kuri gali būti užauginama pakankamai arti statomo objekto vietos, o nugriovus šį pastatą po jo eksploatacijos, lieka tik biodegraduojančios atliekos. Šiaudai nėra pavojingi žmogaus sveikatai, nekelia neigiamo poveikio aplinkai, o priešingai – mažina pastato šilumos nuostolius, o tai yra vienas iš svarbesnių tvariosios statybos principų [15].

1.3. Karkasinio pastato statybos proceso etapai

Karkasinio pastato statybos procesas susideda iš esminių 12 etapų (žr. 3 pav.).



3 pav. Karkasinio pastato statybos etapai [16]

Vidutinio dydžio (apie 150 m²) karkasinio pastato statybos procesas susideda iš šių kruopščiai suplanuotų ir suderintų etapų:

- paruošiamasis etapas (brėžinių parengimas, finansavimo gavimas ir leidimų išdavimas). Šiame etape svarbus akcentas yra laikas, per kurį parengiami brėžiniai, paskaičiuojama pastato sąmatinė vertė, organizuojamas finansavimas bei įvairių leidimų gavimas, privažiavimo prie statybos aikštelės įrengimo darbų vykdymas, aprūpinimas elektros energija. Šių įvardytų paruošiamojo etapo procesų įgyvendinimo laikas skiriasi skirtinguose šalies rajonuose.

- Pastato suplanavimas. Šio etapo metu matininkai nustato ir apibrėžia linijas nuo žemės sklypo ribas. Labai svarbus aspektas yra teisingas pamatų duobės gylio ir dydžio nustatymas pagal brėžinius.
- Žemės darbų atlikimas ir pamatų įrengimas. Atlikus pastato suplanavimo darbus, statybos aikštelėje tikslinga pradėti kasti pamatų duobę, griovius, kurie yra reikalingi inžineriniams tinklams tiesti, montuoti pamato padą, betonuoti, planuoti pamatų sienas ir kolonas bei pasiruošti betonuoti pamatų sienas.
- Pamatų ir rūšio sienos, drenažo ir grunto užpylimo darbai.
- Namų ir stogo karkaso, stogo dangos, kaminų ir laiptų įrengimas.
- Durų ir langų montavimas. Dailidė – apdailininkas yra atsakingas už apdailą lauko pusėje aplink rėmus, šilumos, oro bei garo izoliacijos meistrai atlieka vidinį sandarinimą aplink duris ir langus.
- Vandentiekio, kanalizacijos, šildymo ir elektros instaliacijos etapai pradedami tik tada, kai yra pabaigti karkaso įrengimo darbai. Prie lauko tinklų ir naudojimo taškų prijungiami kanalizacijos ir vandentiekio vidiniai tinklai. Montuojamos dušo kabinos, vonios, įrengiamos šildymo, ventiliacijos, elektros sistemų bei komunikacijų instaliacijos, priešgaisrinės signalizacijos, televizijos ir kompiuteriniai tinklai.
- Namų išorės apdaila. Šio etapo metu svarbu pakloti vėjo izoliacinę plėvelę (nors išskirtiniais atvejais ši plėvelė gali būti paklojama ir karkaso įrengimo metu), atlikti mūrijimo ir tinkavimo, kraštų apdailos darbus, įrengti dailylentes, įrengti karnizo latakus ir lietvamzdžius, užsandarinti durų ir langų blokus. Šiame etape gali būti atliekami dažymo darbai.
- Šilumos, oro ir garo izoliacijos darbai gali būti vykdomi drauge su lauko apdailos darbais, bet tik tuo atveju, jeigu darbo metu šilumos izoliacija yra apsaugota nuo lietaus.
- Namų vidaus apdailos metu įrengiamos lubos, grindys ir sienos.
- Dažymo, vidaus įrangos ir baldų montavimo darbai. Atlikus dažymo ir nulakavimo darbus įrengiamos spintos ir kiti baldai, klojamos sienų keraminės plytelės. Taip pat svarbu šiame etape galutinai prijungti / instaliuoti vandentiekio įrenginius, kištukinius lizdus, jungiklius, šviestuvus ir priešgaisrines signalizacijos linijas, šildymo elektros įrenginius, vandens šildytuvus, ventiliatorius, skalbimo bei džiovinimo mašinas, orinio šildymo sistemas, vėdinimo groteles, karšto vandens ar elektrinius radiatorius, šaldytuvus, virykles, indaploves.
- Aplinkos formavimas yra paskutinis su karkasinių namų statyba susijęs etapas, apimantis sklypo planavimo, privažiavimo kelių, laiptelių ir takelių įrengimo, augalinio grunto užpylimo, krūmų ir medžių sodinimo darbų pagrindinius aspektus. Taip pat vykdomi aikštelės, pavėsinės ir tvoros įrengimo darbai, vandentiekis prijungiamas prie lauko tinklų [16].

1.4. Karkasinių pastatų statybos technologijų apžvalga

Pagrindiniai karkasinių namų technologijų kūrimo atstovai yra suomiai ir kanadiečiai. Karkasinių pastatų statybos technologijos pagrindą sudaro rėmas, kuris apdorojamas medžiagomis, apsaugančiomis nuo degimo, puvinio, graužikų ir pan. Medinių karkasinių namų statyba tampa vis populiareesnė dėl statybos organizavimo lankstumo. Tai ekonomišką, ekologišką statybos būdą pasirinkimas iš didelės architektūrinių formų įvairovės, išlaikant aukštą pastato kokybės lygį (žr. 4 pav.) [17].



4 pav. Karkasinio pastato pavyzdys [19]

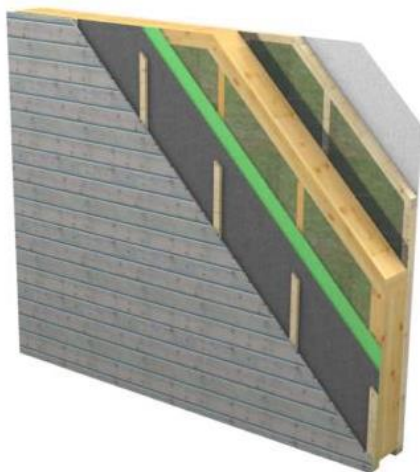
Pagrindinės karkasinio pastato statybos technologijų rūšys yra klasikinė (pastatų statyba vyksta statybų aikštelėje) arba modulinė (gamykloje surenkant atskiras namo dalis – modulinio būdu). Klasikinių karkasinių pastatų statybos proceso metu statybinė mediena montuojama viena prie kitos. Teigiamos šio tipo pusės yra tokios, kad visos statybų eigos metu galima eksperimentuoti (pvz., įdėti papildomą angą) ir pastatą beveik pasistatyti pačiam, nes nereikia nešti sunkių konstrukcijų. Tačiau itin svarbu paminėti, kad statybininkai turi turėti patirties, nes kitu atveju pastate gali atsirasti oro tarpų, per kuriuos švilptų vėjas, o žiemą – sklistų šaltis [18].

Modulinė – surenkamųjų karkasinių pastatų technologija yra greitesnė ir saugesnė, padedanti tiksliau įvertinti gamybos projekto užbaigtumo perspektyvą, sukurti aukštesnę kokybę, reikalaujanti mažiau darbuotojų vietoje, todėl mažiau eikvojama išteklių ir yra ekologiškesnis sprendimas nei įprastas statybos procesas, nes susidaro mažiau atliekų. Šie išvardijami privalumai suteikia galimybę sumažinti išlaidas. Surinkti moduliai ciklinio, seisminio, sprogimo, gaisro ir ilgalaikės nuolatinės apkrovos metu puikiai atlaiko statinį, dinaminį poveikį [20, 6].

Modulinių karkasinių pastatų statybos proceso metu namo skydinės arba modulinės konstrukcijos specialiu kranu yra pristatomos į statybų aikštelę, todėl namas pastatomas gerokai greičiau bei efektyviau. Pagal oro sąlygas, statant karkasinį namą, galima varijuoti jų šiltinimo medžiagų parametrais [17].

Gali būti išskiriamos trys surenkamųjų konstrukcijų klasės: 1D vieno elemento, 2D skydinė sistema ir 3D tūrinė sistema. Skydinė bei tūrinė konstrukcija (t. y. modulinė konstrukcija) yra pati efektyviausia surenkamųjų konstrukcijų klasė, nes ji leidžia 70–95 proc. pastato pagaminti gamykloje prieš transportuojant jį surinkti vietoje [21].

Gaminant skydinių – modulinių namų konstrukcinius elementus įmonėje, didelė dalis darbų atliekama be žmogaus įsikišimo ir leidžia sumažinti žmogiškojo faktoriaus klaidų galimybę. Darbai vyksta žymiai greičiau, nes procesas yra automatizuotas, o tai leidžia pageidaujamą objektą pastatyti vos per kelias dienas. Gamykloje pagal specialius parametrus pagaminami specialūs atskirų konstrukcinių elementų skydai (apkrovas laikančios išorinės ir vidinės sienos, pertvarinės sienos, perdangos skydai, stogo skydai (Žr. 5, 6, 7, 8 pav.).



- Fasado išorės apdaila – dailylentė apdaila
 - Vėdinamas oro tarpas/ tašeliai, žingsnis 600mm
 - Difuzinė plėvelė
 - Vėjo izoliacinė gipskartonio plokštė KTS
 - Medinis karkasas, žingsnis 600mm
 - Šilumos izoliacija
 - Garo/oro izoliacinė plėvelė
 - Mediniai tašeliai, žingsnis 600mm
 - Šilumos izoliacija
 - Gipso kartono plokštė
- Projektinis šilumos laidumo koeficientas $U = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$

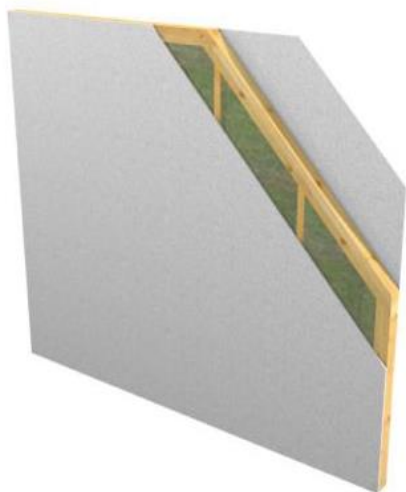
5 pav. Karkasinio pastato skydo elemento (išorės sienų) pavyzdys [19]

Karkasinio pastato skydo elemento (išorės sienų) konstrukcinių elementų pavyzdys pateiktas 5 pav. Šią konstrukciją sudaro keli sluoksniai, atliekantys specifines funkcijas, užtikrinančias konstrukcijos ilgaamžiškumą, padedantys taupyti ir išsaugoti energiją, bei išlaikyti atsparumą aplinkos veiksniams. Konstrukcijoje numatytas šilumos izoliacijos, apsaugos nuo vėjo ir drėgmės bei atitinkamas ventiliacijos sluoksnis.

Pradedant nuo išorės sluoksnių, konstrukciją sudaro šie sluoksnių elementai:

1. **Fasado išorės apdaila** – dailylentės arba kita dekoratyvinė apdaila, apsauganti nuo išorės aplinkos poveikio.
2. **Vėdinamas oro tarpas** – sluoksnis, užtikrinantis drėgmės pašalinimą ir pagerinantis konstrukcijos šilumines savybes. Įrengiamas tarp tašelių, kurių žingsnis yra 600 mm.
3. **Difuzinė plėvelė** – apsauga nuo drėgmės prasiskverbimo į vidinius sluoksnius, leidžianti išgaruoti susikaupusiai drėgmei.
4. **Vėjo izoliacinė gipso kartono plokštė (KTS)** – sluoksnis, veikiantis kaip vėjo barjeras, padedantis sumažinti šilumos nuostolius ir pagerinti konstrukcijos standumą.
5. **Medinis karkasas** – pagrindinė laikančioji konstrukcija, kurios tašelių žingsnis yra 600 mm.
6. **Šilumos izoliacija** – sluoksnis, užpildantis tarpą tarp medinio karkaso elementų, užtikrindamas šilumos sulaikymą ir mažindamas šilumos nuostolius.
7. **Garo/oro izoliacinė plėvelė** – apsauga nuo drėgmės skverbimosi iš vidaus į šilumos izoliacinį sluoksnį, užtikrinantis konstrukcijos „kvėpavimą“.
8. **Mediniai tašeliai** – sluoksnis, sukuriantis tvirtą pagrindą vidiniams sienos sluoksniams, taip pat padedantis užtikrinti oro tarpą.
9. **Gipso kartono plokštė** – elementas, užtikrinantis estetinę ir praktinę vidaus apdailos funkciją, veikiantis kaip paskutinis sienos sluoksnis iš vidaus.

Techninės charakteristikos: Konstrukcijos projektinis šilumos laidumo koeficientas, atitinkantis energetinio efektyvumo reikalavimus, yra $U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.



- Gipso kartono plokštė
- Medinis karkasas, žingsnis 600mm
- Garso izoliacija
- Gipso kartono plokštė

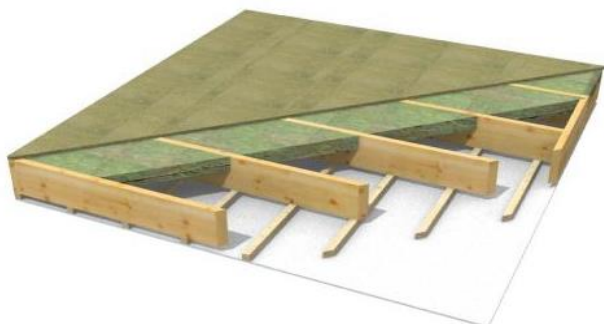
6 pav. Karkasinio pastato skydo (apkrovas laikančių ir pertvarinių vidinių sienų) pavyzdys [19]

Karkasinio pastato vidinės sienos (apkrovas laikančios arba pertvarinės) skydo konstrukcijos sistema pateikta 6 pav. Konstrukcija suprojektuota siekiant užtikrinti gerą garso izoliaciją, konstrukcinį stabilumą ir praktišką vidaus apdailą.

Konstrukcija yra sudaryta iš šių elementų sluoksnių (pradedama nuo išorinio sluoksnio):

1. **Gipso kartono plokštė** – vidaus apdailos sluoksnis, kuris suteikia sienai estetinę išvaizdą bei papildomą apsaugą.
2. **Medinis karkasas** – pagrindinė laikančioji konstrukcija, kurios tašelių žingsnis yra 600 mm. Tokio tipo konstrukcija suteikia sienai stabilumą ir tvirtumą.
3. **Garso izoliacija** – sluoksnis, skirtas užpildyti tarpą tarp medinio karkaso elementų, tam, kad užtikrindama efektyvų garso slopinimą tarp patalpų.
4. **Gipso kartono plokštė** – tam tikroje sienos pusėje įrengtas apdailos sluoksnis, padedantis užtikrinti vientisą ir estetišką apdailą.

Ši konstrukcija lengvai pritaikoma vidinių sienų sistemoms, kuriose svarbu užtikrinti ne tik konstrukcinį tvirtumą, bet ir geras garso izoliacines savybes.



Perdangos Skydai

- „Durelis“ plokštė
- Medinis karkasas, žingsnis 600mm
- Garso izoliacija
- Mediniai tašeliai, žingsnis 400mm
- Gipso kartono plokštė

7 pav. Karkasinio pastato skydo elemento (perdangos skydų) pavyzdys [19]

Karkasinio pastato skydo elemento (perdangos skydų) konstrukcijos pavyzdys pateiktas 7 pav. Tokio tipo elementų konstrukcija padeda užtikrinti konstrukcinį tvirtumą, efektyvią garso izoliaciją ir energetinį efektyvumą. Ją sudaro keli sluoksniai, kurie atlieka specifines, esmines funkcijas šiuolaikiniams pastatams.

Konstrukcija yra sudaryta iš šių elementų sluoksnių (pradedant nuo viršaus):

1. **„Durelis“ plokštė** – apsauginis ir atlaikomasis sluoksnis, kuris padeda išlaikyti viršutines apkrovas bei užtikrinti konstrukcijos stabilumą.
2. **Medinis karkasas** – pagrindinė laikomoji dalis, kurios tašelių žingsnis yra 600 mm. Tokio tipo karkasas suteikia perdangai standumą bei apkrovos paskirstymą.
3. **Garso izoliacija** – sluoksnis, įrengiamas tarp medinio karkaso elementų, siekiant sumažinti triukšmo perdavimą tarp skirtingų pastato aukštų.
4. **Mediniai tašeliai** – tašeliai, kurie montuojami 400 mm žingsniu, siekiant sustiprinti apatinį perdangos sluoksnį bei palaikyti gipso kartono plokštes.
5. **Gipso kartono plokštė** – apatinės perdangos apdailos elementas, užtikrinantis vientisą estetinę išvaizdą ir gali būti papildomai apdirbamas vidaus apdailai.

Tokio tipo konstrukcija, leidžianti optimaliai paskirstyti apkrovas, padeda užtikrinti garso izoliaciją tarp aukštų ir atlaikyti numatytas eksploatacines apkrovas. Pateiktame pavyzdyje atspindimi šiuolaikinių karkasinių pastatų sprendimai, padedantys suderinti praktiškumą ir energetinį efektyvumą.



8 pav. Karkasinio pastato skydo elemento (perdangos skydų) pavyzdys [19]

Karkasinio pastato skydo elemento (perdangos skydų) konstrukcijos pavyzdys pateiktas 8 pav. Tokio tipo konstrukcinė sistema, padeda užtikrinti ne tik aukštą energetinį efektyvumą, garso izoliaciją, bet ir konstrukcinį stabilumą. Tokio tipo sprendimas (t. y. sandara iš kelių sluoksnių) kartu atlieka šilumos izoliacijos, apkrovos paskirstymo ir apsaugos nuo drėgmės funkcijas.

Konstrukcija yra sudaryta iš šių elementų sluoksnių (pradedant nuo viršaus):

1. **„Durelis“ plokštė** – viršutinis sluoksnis, padedantis užtikrinti stabilumą bei atsparumą mechaninėms apkrovoms.
2. **Vėdinamas oro tarpas** – sluoksnis, dedamas tarp tašelių, įrengtų 600 mm žingsniu, kuris leidžia drėgmei efektyviai pasišalinti ir pagerina šilumos izoliacines savybes.
3. **Difuzinė plėvelė** – sluoksnis, skirtas apsaugoti konstrukciją nuo drėgmės prasiskverbimo, leidžiantis susikaupusiai drėgmei išgaruoti.

4. **Steico sijos** – karkasinė dalis, kurios žingsnis yra 600 mm, padedanti užtikrinti perdangos konstrukcijos tvirtumą ir apkrovų paskirstymą.
5. **Šilumos izoliacija** – sluoksnis, įrengiamas tarp Steico sijų, siekiant efektyviai sumažinti šilumos nuostolius ir padidinti pastato energinį efektyvumą.
6. **Garso/oro izoliacinė plėvelė** – elementas, skirtas apsaugoti nuo drėgmės migracijos iš vidaus į šilumos izoliacinį sluoksnį, taip užkertamas kelias izoliacijos veiksmingumo sumažėjimui.
7. **Mediniai tąseliai** – elementai, montuojami 400 mm žingsniu. Taip užtikrinamas apatinio sluoksnio tvirtinimas ir papildomas konstrukcinį stabilumą.
8. **Gipso kartono plokštė** – apatinis sluoksnis, skirtas vidaus apdailai, suteikiantis sienai estetinį vaizdą bei atliekantis garso izoliacijos funkciją.

Techninės charakteristikos. Pateikiamas projektinis šilumos laidumo koeficientas $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, atitinkantis aukštus energetinio efektyvumo standartus bei užtikrinantis mažus šilumos nuostolius. Tokio tipo konstrukcija yra optimalus sprendimas šiuolaikiniams karkasiniams pastatams, kuriems yra reikalingas efektyvus energijos taupymas, garso izoliacija, tvirtumas ir ilgaamžiškumas.

Surenkamasis karkasinis pastatas populiarėja dėl automatikos pramonės pažangos, sumažėjusių išteklių, įskaitant laiką, darbą ir atliekas bei ekonomiškumą masinėje gamyboje [22, 23].

Tinkamai prižiūrima mediena yra atsinaujinantis natūralus šaltinis, kuriam apdirbti reikia minimalaus kiekio energijos. Karkasinių pastatų konstrukcijos yra tinkamos daugeliui klimato sąlygų. Išskirtinis šių pastatų pranašumas – didelė šiluminė varža išlaikant santykinai mažą sienelių storį [24].

Karkasinės statybos proceso metu svarbu užtikrinti tokius pagrindinius kokybinius-technologinius parametrus:

- šilumos, garo ir vėjo izoliacijos, kurios turi būti įrengtos nepriekaištingai, kitu atveju lengvos skydinės dangos gali išsipūsti, garso izoliacija bus itin prasta arba dėl vėjo pralaidumo gali būti šalta;
- įrengta gera ventiliacija, kad mikroklimatas netaptų panašus į tokį, koks būtų lyg gyvenant užrištame polietileniame maišelyje;
- medienos drėgmės balansas, t. y. mediena turi būti išdžiovinta ir impregnuota, nes kitu atveju ji gali deformuotis (pvz., pradės suktis, sugadins visą apdailą arba gali persikreipti net pats namas) [9];
- medienos klasė, kuri karkasinėje konstrukcijoje turi didelę įtaką konstrukcijos naudojimui, (statinio objekto gyvavimo ciklas tinkamai eksploatuojant). Kiekviena sija turi antspaudą, nurodantį jo atsparumo klasę. Rekomenduojama naudoti C27 klasės medieną, kurios atsparumas lenkimui yra ne mažesnis kaip 27 MPa [25];
- medienos rūšies parinkimas, pvz., pastatų karkasų gamyboje, naudojant masinės medienos gaminius, tokius kaip kryžminė laminuota mediena, kurios gamybos, transportavimo ir statybos metu sunaudojama mažiau iškastinio kuro nei alternatyviems plieniniams ar betoniniams pastato komponentams [26]. Kryžminė laminuota mediena (angl. *cross-laminated timber CLT*) yra inžinerinis medienos produktas, kuris gaminamas Europoje, siekiant panaudoti žemos kokybės medieną. Šis gaminys pasižymi dideliu anglies kaupimosi ir mažu anglies dvideginio išmetimu. Mediniai namai, statomi iš kryžminės laminuotos medienos, turi tokius privalumus, kaip šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimas,

- sutrumpintas statybos laikotarpis dėl surenkamųjų ir modulinį konstrukcijų, pagerintos izoliacijos savybės bei sandarumas, daugiaaukščio medinio namo realizavimas [27];
- papildomo užpildo panaudojimas, statant karkasinius pastatus rizikingoje išorinėje aplinkoje. Karkasinių pastatų technologijoje galima sutikti ir mišrių statybos technologijos variantų, tokių kaip, pvz., mūru užpildyti karkasiniai pastatai, kurie dažnai statomi Rumunijoje, Haityje, Turkijoje, Graikijoje, Italijoje, Portugalijoje, Pakistane, Mianmare. Toks mūro užpildo pasirinkimas grindžiamas kylančiais seisminiais įvykiais išvardytose šalyse. Pastarųjų dviejų dešimtmečių seisminiai įvykiai pagrindžia, kad ši tipologija yra atspari žemės drebėjimams ir net jeigu ji yra pažeidžiama, ji retai kada griūva. Todėl besivystančioms šalims šis mūro užpildo sprendimas gali net apsaugoti vietos gyventojų gyvybę [28];
 - karkasinės konstrukcijos apkrovos pasiskirstymas, kuriam daro įtaką atstumas tarp elementų bei tvirtinimo detalių (pvz., stogo santvaros, grebėstai, apkalų tvirtinimo detalės ir kt.), elementų ir jų jungčių standumas, fasadų sijos, stogo dangos tipas, orientacija ir kt. Todėl, siekiant įvertinti karkasinio pastato konstrukcijos atsaką, pvz., į vėjo audras, būtina projektavimo stadijoje saugiai perkelti vėjo apkrovas nuo stogo ir sienų į pamatus per jų tarpusavio jungtis [29].

Modulinių konstrukcijų reikalavimai, susiję su projektavimu ir brėžinių rengimu, yra žymiai sudėtingesni palyginti su klasikinių karkasinių pastatų statybos dokumentacijos rengimo reikalavimais. Rengiant modulinį konstrukcijų techninę dokumentaciją, itin svarbu, jog būtų padaryta kuo mažiau su žmogiškuoju faktoriumi susijusių klaidų, kadangi klasikinės karkasinių pastatų statybos metu, pastebėjus klaidą, kartais galima ją ištaisyti statybvietyje, o modulinį pastatų statybos atveju brėžinių interpretacijos statybos vietoje nėra toleruojamos [30].

1.5. Karkasinių pastatų statybos proceso optimizavimas

Architektūros inžinerijos ir statybos pramonė dėl padidėjusio karkasinių pastatų užsakymų skaičiaus susiduria su vis labiau sudėtingų projektų valdymu įmonės pagrindinėje veikloje. Įmonės vadovai siekdami pagerinti savo gamybinį našumą, tvarumą ir kokybę turi glaudžiai bendradarbiauti su klientais, savininkais, investuotojais, galutiniais vartotojais, įrenginių valdytojais, architektais, inžinieriais ir rangovais, kad tiksliai per apibrėžtą laiką galėtų užbaigti projektą [23].

Siekiant optimizuoti, efektyvinti karkasinių pastatų statybos procesą gali būti taikoma statinio informacinio modeliavimo (toliau – SIM) (angl. *building information modelling*) metodologija. Ši metodologija tampa vis aktualesnė visame pasaulyje.

SIM metodologijos taikymas išreiškiamas per kokybės, ekonominių rodiklių, laiko bei kitų teigiamų projekto rezultatų parametrus. Taikant SIM metodą statybiniuose procesuose, tiksliau apibrėžiant medžiagų reikalavimus, galima susiaurinti ne tik klaidų diapazoną užsakymuose, bet taip pat žymiai sumažinti statybinių atliekų kiekį bei viso statybos proceso trukmę [31].

Zigmund'as, Antuchevičienė ir Migilinskas [32] įvardija SIM technologiją, kaip šiuolaikinės skaitmeninės statybos nuosekliųjų procesų derinį, leidžiantį sėkmingai įvykdyti užduotį ir sujungti atskirus projektus į vieną projektavimo procesą. Siekiant užtikrinti sklandų BIM technologijos metodu grindžiamą statybos valdymo procesą, kiekviename projektavimo etape nuolat vykdoma informacijos mainų komunikacija tarp įvairių projekto dalyvių (nuo medžiagų tiekėjų iki generalinio rangovo), atliekami ekonominiai palyginimai ir numatomos prognozės.

Borrmann'as ir kiti [33] statinio informacinį modelį (SIM) apibūdina kaip išsamų skaitmeninį pastatyto objekto vaizdą su dideliu informacijos gyliu. Ši sritis apima pastato komponentų trimatę geometriją tam tikru detalumo lygiu, nefizinius objektus (pvz., erdvės, zonos, hierarchinės projektų struktūros arba tvarkaraščiai). Objektai dažniausiai yra susieti su tiksliai apibrėžtu semantinės informacijos rinkiniu, pvz., komponento tipu, medžiagomis, techninėmis savybėmis arba sąnaudomis, taip pat ryšiais tarp komponentų ir kitų fizinių ar loginių objektų.

Sinkevič'ius [34] savo apklausos tyrimo metu atskleidžia, kad populiariausias SIM technologijų taikymas yra vykdomas projektavimo etapo metu, o mažiausiai naudojamas eksploatacijos etape. Kaip svarbiausią reikšmingumo rodiklį tyrimo autorius išskiria pardavimo pelną (reikšmingumo vertė 37,50 proc.), antroje vietoje pagal svarbą fiksuojama statybos kaina (26,10 proc.), trečioje – statybos trukmė (15,4 proc.), ketvirtoje – naudingasis pastato plotas (11,7 proc.), penktojoje – konstrukcinis technologinis paprastumas (4,7 proc.), šeštojoje – sunaudotas laikas, projektuojant SIM modelį (2,3 proc.), o mažiausią reikšmingumo vertę (2,20 proc.) skiriama sklypo užstatymo plotui. Pagal pateiktus duomenis pastebima, kad SIM technologijų taikymas gali būti naudingas visoms su projektu susijusioms suinteresuotosioms šalims – tiek užsakovui (kaina bei trukmė), tiek rangovui (tikslesnė ateities pelno ir darbų savikainos prognozė).

Statinio informacinis modeliavimas (SIM) gali palengvinti modulinių karkasinių pastatų projektavimą ir gamybos projektavimo automatizavimą. Nepaisant to, kad Alwisy's ir kt. [30] sutinka su idėja, kad SIM gali optimizuoti projektavimo procesą, tačiau jie taip pat siūlo atkreipti dėmesį ir į kelis itin svarbius SIM diegimą bei naudojimą ribojančius aspektus, trukdančius išnaudoti visas SIM galimybes. Į ribojančių aspektų sąrašą patenka tokie rodikliai kaip didelės pradinės išlaidos, reikalingos žinios ir šiuo metu turimų programinių įrangų apribojimai.

Chen'as ir kiti [35], atlikę Leishenshan ligoninės statybos proceso apžvalgos tyrimą, teigia, jog, siekiant sumažinti lauko operacijų darbo krūvį ir sutaupyti daug laiko, inžinerinėse konstrukcijose tikslinga naudoti modulinių kompozitinių pastatų gamybos bei statinio informacinio modeliavimo (SIM) technologijų derinį, kuri padeda atlikti projektavimo ir statybos darbus, kad šie atitiktų greitus statybos reikalavimus. Šių mokslininkų grupė įvardija, jog modulinė konstrukcija statybos greitį gali padidinti daugiau nei 50 proc., ir kartu gali būti sumažinamos išlaidos. Kadangi vienu metu galima atlikti įvairias statybos užduotis, žymiai padidėja statybos proceso našumas.

1.6. Laikančiųjų sienų funkcijos ir stiprumo pagrindinės savybės

Sienų funkcija pastate yra atskirti patalpas nuo išorinės erdvės (išorinės) arba nuo kitų patalpų (vidinės) ir taip atlikti atitvėrimo funkciją. Svarbu paminėti, kad kai kurios sienos gali laikyti ne tik savo, bet ir stogo, perdangų bei kitų statybinių konstrukcinių elementų svorį.

Laikančiosiomis sienomis vadinamos sienos, kurios be savo svorio atlaiko dar ir kitų konstrukcijų svorį bei perduoda tą svorį pamatams. Tik save laikančiomis sienomis yra vadinamos sienos, besiremiančios į pamatus ir perduodančios jiems savo masę, tačiau kitų pastatų elementų (pvz., perdangų) svorio neperimančios. Laikančiosios konstrukcijos paskirtis taip pat yra užtikrinti patvarumą ir stabilumą, todėl šioms konstrukcijoms naudojamos tankios ir didelio stiprio medžiagos [36, 37].

Medinės karkasinės sienos yra pripažįstamos kaip labai efektyvi ir patikima konstrukcija. Šių sienų standumas padidėja, kai jos sujungiamos su medienos plokštėmis. Projektuojant medinės karkasines

konstrukcijas, svarbu išspręsti vieną iš svarbiausių problemų, t. y. įvertinti / patikrinti medienos sandūrų įtempių būklės vertes bei jų tinkamumą medinių statramsčių ir slenksčio plokštės sandūrose. Medienos laikomoji galia gali būti modifikuojama pagal tokius veiksnius kaip drėgmės kiekis, medienos rūšis ir apkrovos atvejis. Janusx'as ir kiti [38] teigia, kad medienos laikomoji galia priklauso nuo gniuždymo stiprio, statmeno pluošto krypties. Slenksčių plokščių ir statramsčių sandūrose statmenai pluošto suspaudimo įtempiai yra dideli ir turi lemiamą įtaką viso medinio karkaso stiprumui. Daugeliu projektavimo situacijų tai gali būti pavojinga, nes sumažina konstrukcinių elementų saugos lygį.

Stiprumo ir standumo parametrai yra apibrėžiami remiantis atliktų bandymų rezultatais (gautais taikant įrašas, kurios medžiagą veiks konstrukcijoje) arba remiantis lyginimu su panašiomis medienos rūšimis, klasėmis bei gerai žinomais skirtingų savybių sąryšiais [39].

Siekdami atitikti Europos Sąjungos politikos tvarumo lūkesčius bei prisidėti prie mažesnės anglies dvideginio emisijos į aplinką energetinio tvarumo sektoriuje Georgescu's ir kiti [40] atliko tyrimą su medinėmis karkasinių sienų konstrukcijomis. Eksperimentinės sienos buvo išbandytos su penkiomis skirtingomis konfigūracijomis, naudojant tris ABS (angl. *acrylonitrile butadiene styrene*) vatos termoizoliacines plokštes. Šios plokštės buvo išdėstomos vienodu atstumu sienos viduje ir naudojami specialūs užpildai, tokie kaip medienos pluoštas, šlifluotas popierius, vata, ABS atliekos ir nendrės. Laboratoriniai tyrimai buvo atliekami HFM 436 lambda šilumos srauto matuokliu, nustačius vidaus ir lauko temperatūros sąlygas. Gautos šiluminės varžos (R) vertės buvo naudojamos šilumos laidumo (U) vertėms apskaičiuoti. Visose šiame tyrime tirtose penkiose struktūrose užfiksuotos šilumos laidumo vertės (U) nuo 0,20 W/(m²K) iki 0,35 W/(m²K) (kai tuo tarpu pagal išduotus pasyvųjų namų kriterijus žemyninei vidutinio klimato zonai rekomenduojama išorinių sienų šilumos laidumo vertė (U) svyruoja tarp 0,30 W/(m²K) ir 0,50 W/(m²K)). Apibendrinant atliktą tyrimą, galima teigti, jog medinių karkasinių sienų konstrukcijoje naudojami tyrime įvardyti gamtos ištekliai, perdirtos atliekos atitinka Europos Sąjungos politikos tvarumo tikslą, taip pat prisideda prie mažo anglies dvideginio emisijos ir energetinio tvarumo plėtos šiame sektoriuje. Karkasinių pastatų izoliacijos procesuose gali būti naudojamos natūralios medžiagos (pvz., medienos plaušas, vata, nendrės, popierius), kurios ne tik nekenksmingos aplinkai bei pasižymi puikiais šiluminėmis savybėmis, bet ir prisideda prie sveikos patalpų aplinkos, leidžiančios sienoms „kvėpuoti“. Tačiau reikalinga atkreipti dėmesį į tai, jog šias medžiagas rekomenduojama naudoti tik tinkamai jas apdorojus, nes jos turi higroskopinių savybių, žemą priešgrybelinę apsaugą bei mažą atsparumą ugniai.

Farnaz'as ir kt atliko vidutinio aukščio pastatų lengvosios medienos karkasinės sienos laikomosios galios eksperimentinį tyrimą. Tyrimo metu nustatyta, jog naudojant tam tikras sutvirtinimo metodikas ir medžiagas, galima žymiai pagerinti medinių karkasinių konstrukcijų gniuždomąją laikomąją galią. Kaip efektyviausią laikomosios galios didinimo sprendimą tyrėjai įvardina – sujungimo sistemą „smeigė su smeige“, pašalinant horizontalius elementus apkrovos kelyje. Taip pat svarbu paminėti, jog tyrimo metu nustatyta, kad naudojant kryžminio (sloksniuotojo) laminuotojo medžio (angl. Cross Laminated Timber *CLT*), kipariso ar Viktorijos uosio plokštės vietoje tradicinės mašininio rūšiavimo pušies (MGP10), laikomąją galią galima padidinti atitinkamai iki 136 kN/m, 130 kN/m ir 91 kN/m. Nors MGP10 išlieka ekonomiškai patraukli, jos laikomoji galia atitinkamai gali padidėti iki 37,9 kN/m, naudojant varžtus. Trečiasis efektyvumą liudijantis faktas priklauso nuo sienos plokštės standumo. Didesnis sienos plokštės standumas trumpina smeigės efektyvų ilgį ir didina jos laikomąją galią. Tuo tarpu silpnesnės atramos padidina pažeidžiamumo riziką. Pasirinktos medžiagos ir sujungimo sprendimai gali būti taikomi projektuojant net iki 10 aukštų medinius pastatus, tačiau

svarbu įvertinti bei atsižvelgti į grindų sistemos apribojimus bei ekonominius veiksnius. Eksperimento rezultatai liudija, jog tinkamas medžiagų parinkimas bei jungimo technologijų taikymas, leidžia ne tik padidinti konstrukcijų laikomąją galią, bet ir užtikrinti jų ilgaamžiškumą [41].

Piloto ir kt. atliko tyrimą, kurio metu analizavo lengvų medinių karkasinių sienų laikomąją galią, esant skirtingiems gaisro poveikio laikotarpiams (30, 60, 90 ir 120 minučių). Eksperimento metu buvo analizuojamas vieno ir dviejų gipso sluoksnių priešgaisrinės apsaugos sistemų skirtumas. Tyrimo modelio rezultatai parodė, jog lengvų medinių karkasinių sienų laikomoji galia mažėja, didėjant gaisro poveikio laikui. Taip pat svarbu paminėti ir tai, jog apsaugos nuo ugnies sluoksnių skaičius reikšmingai sumažina medienos apanglėjimą bei padidina laikomąją galią. Pavyzdžiui, po 30 minučių pirmojo (1) bandinio laikomoji galia siekė 53,5 %, o antrojo (2) bandinio – 47,5 %.

Tyrimo metu atskleista, tai, jog medinės sienos apanglėjimo greitis svyruoja nuo 0,7 iki 3,8 mm/min, priklausomai nuo priešgaisrinės apsaugos lygio (vieno ar dviejų gipso sluoksnių) ir gaisro poveikio trukmės. Rezultatai patvirtinto, kad didesnis priešgaisrinės apsaugos lygis ne tik mažina apanglėjusio sluoksnio storį, bet ir apsaugo konstrukcijas nuo ankstyvo gedimo [42].

2. Karkasinio skydo projektavimo metodika

Medinių konstrukcijų statiniai, kurių statyboje naudojama apvalioji, pjautinė, vientisoji ar klijuotoji mediena, taip pat plokštės, pagamintos naudojant medieną, turi atitikti medinių konstrukcijų projektavimo reikalavimus, nurodytus statybos reglamente STR 2.05.07:2005 „Medinių konstrukcijų projektavimas“ [13].

Pagal įvairias apkrovų situacijas, medžiagų savybes ir geometrinių matmenų reikšmes projektuojamos konstrukcijos privalo atitikti saugos (mechaninio atsparumo ir patvarumo) bei tinkamumo ribinius būvius. Konstrukcijų patikimumas užtikrinamas, taikant dalinių koeficientų metodą, kuris leidžia įvertinti individualių komponentų įtaką konstrukcijos stabilumui ir atsparumui.

Siekiant užtikrinti saugos ir tinkamumo ribinių būvių atitikti medinių konstrukcijų projektavimo metu, reikalinga nustatyti poveikių ir apkrovų įvairių situacijų skaičiuotines reikšmes. Šis procesas vykdomas dauginant jų charakteristines reikšmes iš atitinkamų dalinių patikimumo koeficientų. Šios charakteristinės reikšmės, taip pat jų dalinių patikimumo koeficientų reikšmės, susijusios su ribiniais būviais, yra pateikiamos statybos techniniame reglamente [43].

Konstrukcijų charakteristinės medžiagų savybės turi būti nustatomos pagal atitinkamus standartus, o skaičiuotinės reikšmės apskaičiuojamos dauginant šias charakteristines reikšmes iš atitinkamų dalinių koeficientų, kurie įvertina apkrovos veikimo pobūdį, trukmę bei konstrukcijos eksploatacines sąlygas. Geometrinių konstrukcijų matmenų skaičiuotinė reikšmė laikoma lygi nominaliajai reikšmei, nurodytai atitinkamuose standartuose.

2.1. Karkasinio skydo sieną veikiančios apkrovos

Šiame darbe sudaromi nuolatinių (pastovių) ir kintamų apkrovų skirtingi skaičiuotiniai deriniai. Pastovios apkrovos yra (stogo savasis svoris, karkasinio skydo savasis svoris), kintamosios apkrovos (vėjas ir sniegas).

Kintamųjų apkrovų (vėjo ir sniego) vertinimo sąlygos, metodikos, įvardijamos atitinkamų koeficientų vertės bei skaičiavimo formulės, aktualios vėjo ir sniego apkrovoms, naudojamos pagal nurodytus reikalavimus statybos reglamente STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ [43].

Vidutinė slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius dedamoji w_{me} apskaičiuojama, taikant išraišką:

$$w_{me} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e \quad (2.1)$$

čia: c_e – išorinio slėgio aerodinaminis koeficientas,

Slėgis į vidinius konstrukcijos paviršius w_i apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$w_i = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_i \quad (2.2)$$

čia: c_i – vidinio slėgio koeficientas

Koeficientai $c(z)$ įvertinantys vėjo slėgio pokytį pagal aukštį (12.1 lentelė) ≤ 5 priimamas vietovės tipas A 0,75.

Sniego apkrovos į stogo horizontaliąją projekciją dydis nustatomas taikant išraišką

$$s = \mu_t \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2.3)$$

Sniego apkrovos rajonas II, Sniego antžeminės apkrovos s_k charakteristinės reikšmė $1,6 \text{ kN/m}^2$

Sniego apkrovos į stogo horizontaliąją projekciją dydis nustatomas taikant išraišką

$$s = \mu_t \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2.4)$$

čia: s_k sniego dangos ant 1 m^2 žemės paviršiaus svorio charakteristinė reikšmė (žr. 52 p.); μ_t stogo sniego apkrovos formos koeficientas (žr. 53 p.); C_t terminis koeficientas, priklausantis nuo šilumos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos, dažniausiai lygus 1 esant normaliems šiluminės izoliacijos standartams. C_t koeficiento reikšmę leidžiama naudoti mažiau nei 1,0, bet ji turi būti pagrįsta pastogės ir stogų formų šiluminio laidumo savybėmis; C_e sniego apkrovos atodangos koeficientas, kurio reikšmė paprastai lygi 1,0. C_e koeficiento reikšmė gali būti sumažinta, priimant griežtesnes vėjo sąlygas.

2.2. Ekscentriškai gniuždomi elementai

Medinių konstrukcijų statinių ekscentriškai gniuždomi elementai, turi atitikti medinių konstrukcijų projektavimo reikalavimus, nurodytus statybos reglamente STR 2.05.07:2005 „Medinių konstrukcijų projektavimas“ [13].

Vientisinio ir klijuotinio skerspjūvio elementų liaunis nustatomas pagal formulę: (7.6)

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \quad (2.5)$$

čia: l_{ef} – skaičiuojamasis elemento ilgis, kuris nustatomas pagal Reglamento 58 p. ir 132 p. reikalavimus; i – minimalus skerspjūvio inercijos spindulys atitinkamai y ir z ašių atžvilgiu.

Klupumo koeficientas φ nustatomas pagal formules:

kai elemento liaunis $\lambda \leq 70$

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad (2.6)$$

kai elemento liaunis $\lambda > 70$

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} \quad (2.7)$$

Staciakampio skerspjūvio lenkiamiesiems elementams, lanksčiai įtvirtintiems nuo slinkties iš lenkimo plokštumos ir įtvirtintiems atraminiuose pjūviuose nuo posūkio aplink išilginę ašį, koeficientas φ_M nustatomas taip: (7.28)

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_d h} k_M \quad (2.8)$$

čia: l_d – atstumas tarp elemento atraminių pjūvių, o gniuždomą briauną įtvirtinus nuo poslinkio iš lenkimo plokštumos tarpiniuose taškuose – atstumas tarp šių taškų; b – skerspjūvio plotis; h – maksimalus l_d ruože skerspjūvio aukštis; k_M – koeficientas, priklausantis nuo elemento lenkiamųjų momentų diagramos formos l_d ruože, nustatomas pagal Reglamento 1 priedo 2 lentelės formules.

Ekscentriškai gniuždomųjų elementų plokščiosios formos pastovumas tikrinamas taip:

$$\frac{N_{c,d}}{\varphi A f_{c,0,d}(f_{c,0,g,d})} + \left(\frac{M_{d,mod}}{\varphi_M W_{df_{m,d}}(f_{m,g,d})} \right)^n \leq 1 \quad (2.9)$$

čia: A – maksimalaus aukščio l_d ruože skerspjūvio plotas bruto; W_d – žr. Reglamento 51 p.;

$n = 2$ – elementams, neturintiems tempiamosios zonos įtvirtinimų (ryšių) iš deformuojamosios plokštumos, ir $n = 1$ – elementams, turintiems tokius įtvirtinimus; φ – klupumo koeficientas elemento, kurio skaičiuotinis ilgis l_d , imamas tarp įtvirtinimų iš deformuojamosios plokštumos, nustatomas pagal (7.5) formulę; φ_M – koeficientas, nustatomas pagal (7.28) formulę.

3. Sienos elementų stiprumo tyrimas

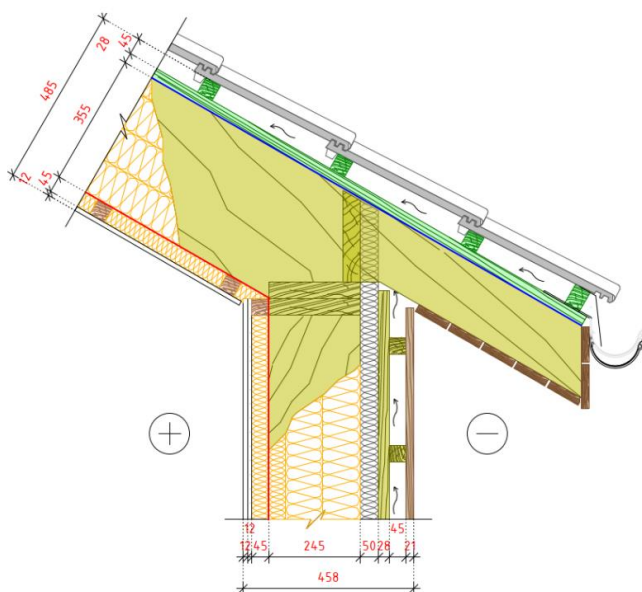
3.1. Tiriamasis modelis

Šiame darbe tiriamas vieno aukšto gyvenamo karkasinio namo laikančiosios sienos stipris. Namo gabaritiniai matmenys: $17 \times 6 \times 5,2$ m (sienos aukštis 3 m), stogas dvišlaitis. Namas bus statomas Plungės rajone, neužstatytoje teritorijoje.



9 pav. Karkasinio pastato 3D vaizdas

Sema modeliavimo programa suprojektuotas užduotyje nurodytas karkasinis pastatas. (žr. 9 pav.). Karkasinio pastato sienas sudaro C24 stiprumo klasės mediena. Sienų statramsčiai išdėstyti 600 mm žingsniu. Virš langų ir durų angų numatytos sėramos, kurios perima nuo stogo ateinančias apkrovas. Stogo atramai sumodeliuota GL28h klijuotos medienos klasės 140×280 mm skerspjūvio sija. Stogo gegnės, kurių skerspjūvis 45×355 mm, išdėstytos 600 mm žingsniu, pagamintos iš GL28h klijuotos medienos stiprumo klasės.

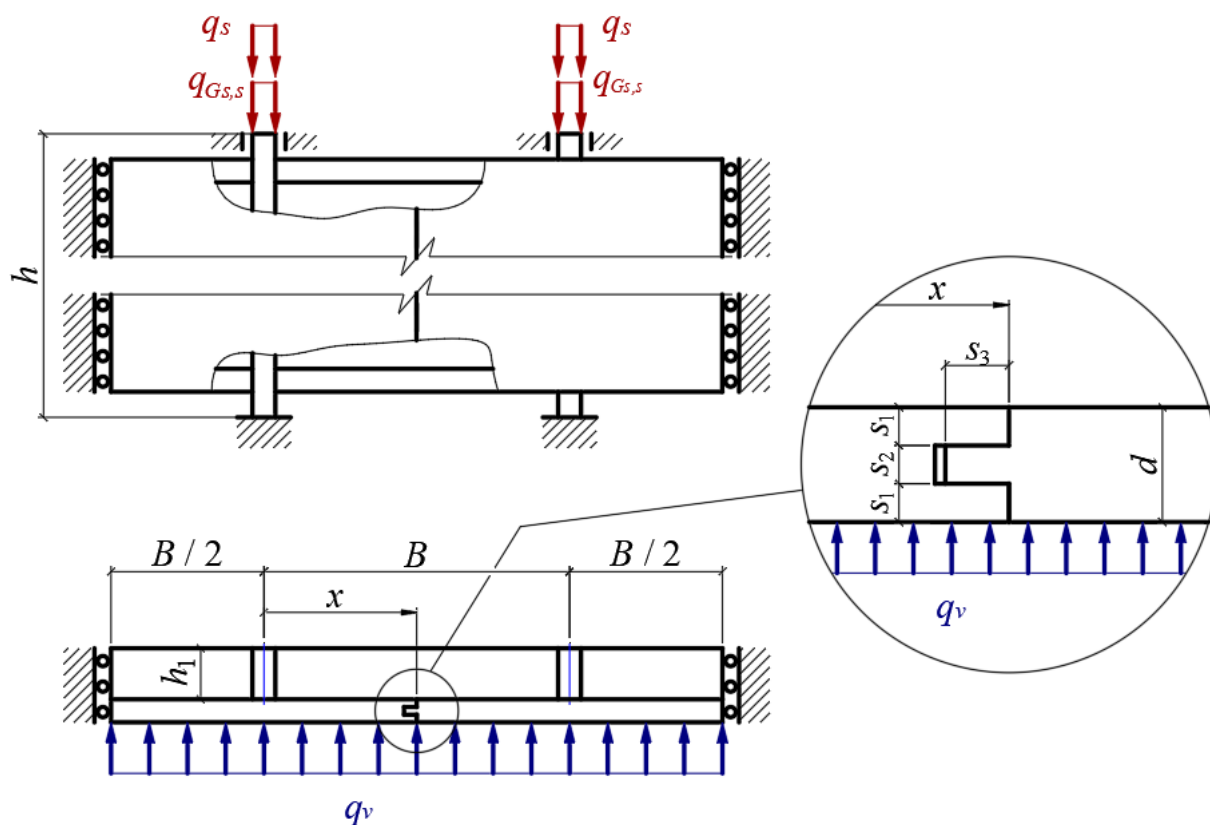


10 pav. Karkasinio pastato stogo jungties detalė su išorės siena

Karkasinio pastato stogo elementus sudaro stogo danga, grebėstai, ventiliacijos tašeliai, difuzinė plėvelė, gegnės, apšiltinimo medžiaga, garo izoliacinė plėvelė, vidiniai tašeliai, vidaus apdaila (žr. 10 pav.).

Karkasinio pastato sienų elementus sudaro vertikalios apdailos lentelės, horizontalūs tašeliai, vertikalūs ventiliaciniai tašeliai, priešvėjinė plokštė, atstumas tarp medienos karkaso statramsčių – 600 mm, apšiltinimo medžiaga, garo izoliacinė plėvelė, vidiniai tašeliai, vidaus apdaila (žr. 10 pav.).

Karkasinio skydo sienos segmento medienos stiprumo klasė C 24. Parengtoje šio segmento skaičiavimo schemeje (žr. 11 pav.) pavaizduota: 45mm karkasinės sienos skydo segmento statramsčiai, h_1 parametras kinta kas 25 mm nuo 150 mm iki 250 mm dydžio, sienos aukštis $h = 3000$ mm, statramsčių žingsnis $B = 600$ mm, plokštės storis $d = 20$ mm (kinta kas 5mm iki 40 mm), plokštės jungties briaunų profiliai $S_2 = 10$ mm. Plokštės dygio parametras $S_3 = 6$ mm ir kintamas kas 3 mm iki 18 mm.



11 pav. Karkasinio skydo skaičiavimo schema

Sienos konstrukciją veikia šio tipo apkrovos: pastovios (stogo savasis svoris, karkasinio skydo savasis svoris) bei kintamos (vėjo apkrova bei sniego apkrova).

Tyrimui pasirenkamas pavojingiausias vėjo rajonas (II, su apkrovos koeficientu kintamiems poveikiams 1,35, vėjo slėgis į išorinius paviršius $q_v = 662$ N / m²) bei jį atitinkantis sniego rajonas (II sniego rajonas, kurio kintama apkrova $q_s = 2700$ N). Nuolatinė stogo konstrukcijų apkrova su nuosavu svoriu vertinama $q_{Gs,s} = 1823$ N į statramstį.

3.2. Laikančios sienos skydą veikiančios apkrovos

Laikančios sienos skydo veikiančių apkrovų vertikalioji kryptimi analizė atliekama priimant, kad skydą veikia stogo elementų savasis svoris (su nuolatinės apkrovos koeficientu) bei kintamų apkrovų (sniego apkrova) su kintamų apkrovų koeficientu. Skydą veikiančios apkrovos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Laikančios sienos skydą veikiančios vertikalios apkrovos

Eil. Nr.	Stogo apkrovos	Apkrovos dydis, kN/m^2	Apkrovos dydis, kN/m	Koeficientas saugos ribiniam būviui
1	Nuolatinė, konstrukcinė	1,2	-	1,35
3	Nuolatinė apkrova į statramstį, $q_{Gs, s}$	-	1823	-
4	Kintama apkrova (II sniego rajonas)	1,6	-	1,5
5	Kintama apkrova į statramstį, q_s	-	2700	-

Apkrovų poveikių koeficientai ir poveikių vertės parinkti vadovaujantis [43].

2 lentelė. Laikančios sienos skydą veikiančios apkrovos į išorinius paviršius

Eil. Nr.	Savybė	Vertė
1	Tankis ρ , kg / m^3	1,2
3	Vėjo greičio atskaitinė reikšmė (II vėjo rajonas) v_{ref} , m/s	1,25
4	Kintamų apkrovų koeficientas	1,35
5	Kintama apkrova į sienos skydą, q_v , N / m^2	662

Apkrovų poveikių koeficientai ir poveikių vertės parinkti vadovaujantis [43].

3.3. Karkasinio skydo statramsčių fizikinės ir mechaninės savybės

Karkasinio skydo medinių konstrukcijų fizikinių ir mechaninių savybių charakteristinių rodiklių reikšmės pateiktos 3 lentelėje

3 lentelė. Laikančios sienos skydo medinių konstrukcijų fizikinės ir mechaninės savybės [13]

Ištisinės medienos stiprumo klasė	Charakteristinis Tempimas išilgai pluoštų $f_{t,0,k}$, MPa	Charakteristinis Gniuždymas išilgai pluoštų $f_{c,0,k}$, MPa	Charakteristinis Gniuždymas skersai pluoštų $f_{c,90,k}$, MPa	Vidutinis tamprumo išilgai pluošto modulis $E_{o, mean}$, MPa	Vidutinis medžiagos tankis ρ_k , kg/m^3
C24	14	21	5,3	11 000	420

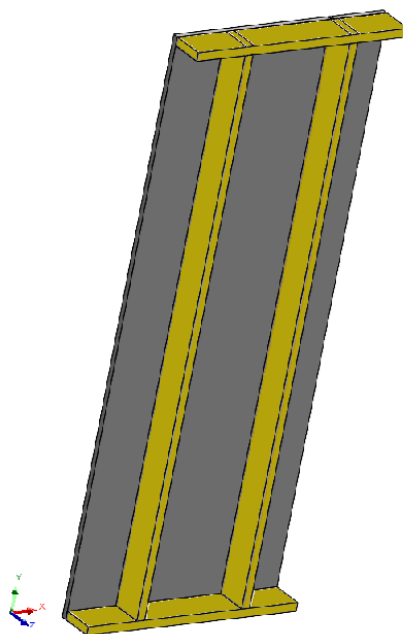
Programiniu paketu „SolidWorks“ sumodeliuojami laikančios sienos mediniai karkaso elementai, kuriems parinktos atitinkamos fizikinės bei mechaninės savybės (žr. 1 pav. ir 3 lentelę).

Skydo plokštės taip pat sumodeliuojamos, joms parinktos atitinkamos fizikinės bei mechaninės savybės (žr. 1 pav. ir 4 lentelę).

4 lentelė. Laikančios sienos skydo plokščių fizikinės ir mechaninės savybės [44]

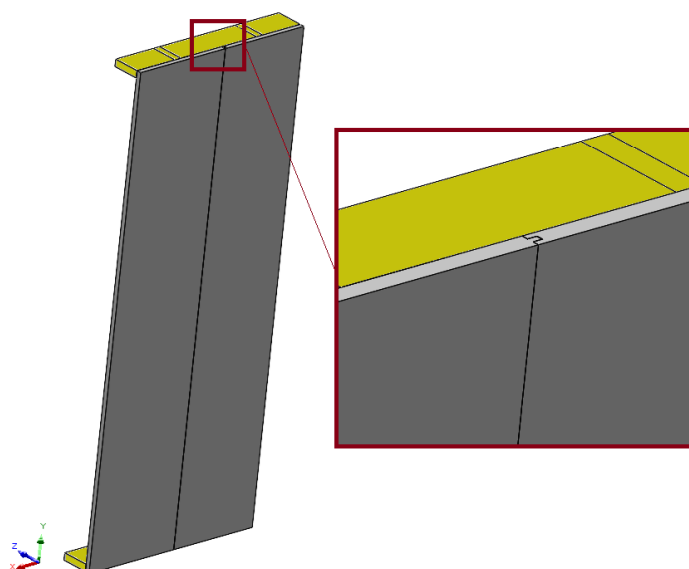
Eil. Nr.	Savybė	Vertė
1	Medžiagos tankis, MPa	270
2	Vidutinis tamprumo modulis, kg/m ³	2,20
3	Puasono koeficientas	21

Plokštės jungtis su statramsčiais įvertintos kaip standžios jungtys (žr. 11 ir 12 pav.).



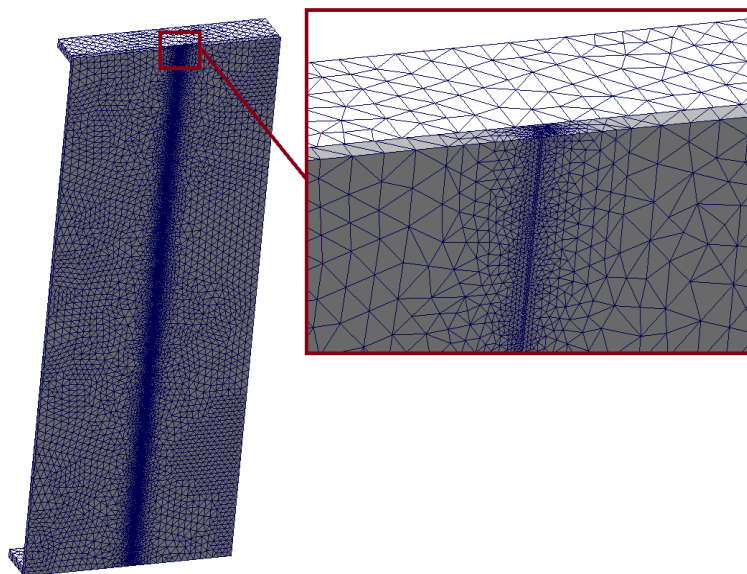
12 pav. Karkasinio skydo vaizdas „SolidWorks“ aplinkoje

Karkasinio skydo sienos modelyje pavaizduota plokštės jungtis (žr. 11 ir 13 pav.).



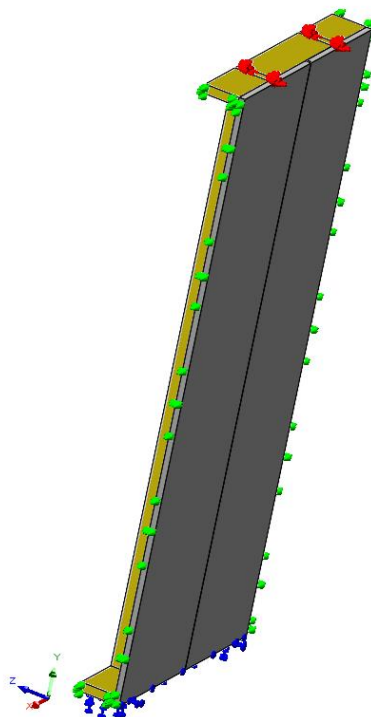
13 pav. Karkasinio skydo sienos plokštės jungtis (M10:1)

Karkasinį skydą veikia kintamos ir pastovios apkrovos (žr. 11 pav.). Karkasinio skydo sienos modelio baigtinių elementų tinklelis pateiktas (žr. 14 pav.). Baigtinių elementų dydis (baigtinio elemento briaunos ilgis) yra 45 mm, o sutankinimo vietose (plokštės jungties išdrožoje ir dygyje) 3 mm.



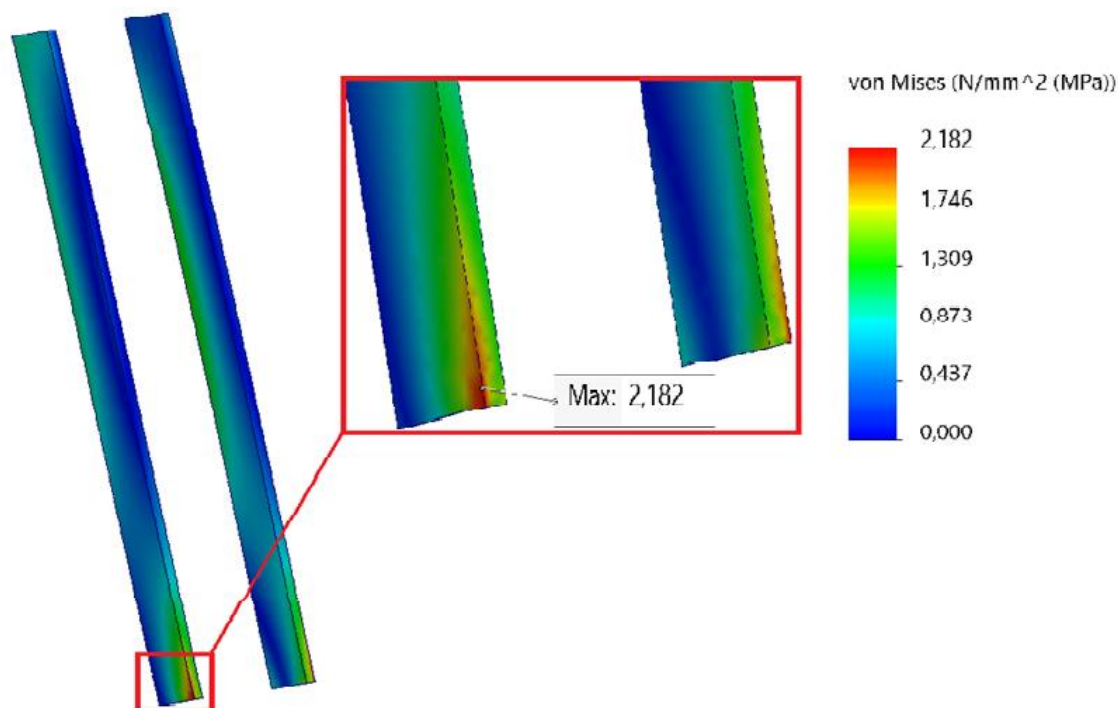
14 pav. Karkasinio skydo sienos baigtinių elementų modelio tinklelis (M10:1).

Karkasinio skydo statramsčių galuose nurodomi suvaržymai, imituojantys įtvirtinimą: apatinėje dalyje standus statramsčio briaunų įtvirtinimas, statramsčių briaunų viršutinėje dalyje poslinkiai suvaržyti Z ir X ašių kryptimis, o ne suvaržyti vertikalia kryptimi. Karkasinio skydo vertikaliuose kraštų kraštuose imituotos palaidos simetrijos atramos (žr. 11 ir 15 pav.).



15 pav. Karkasinio skydo sienos atramos ir suvaržymai (M10:1).

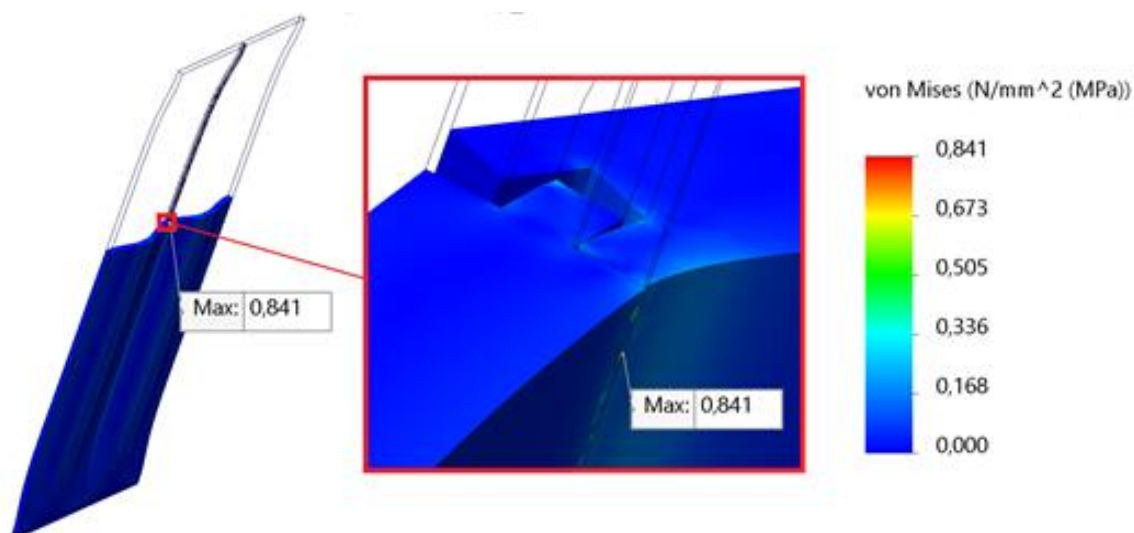
Tyrimui naudojama kompiuterinė programa *SolidWorks Simulation*. Nustatytas sienos statramsčių ir skydo stiprumas bei standumas.



16 pav. Karkasinio skydo statramstyje kylantis įtempių intensyvumas (deformavimo mastelis M5:1)

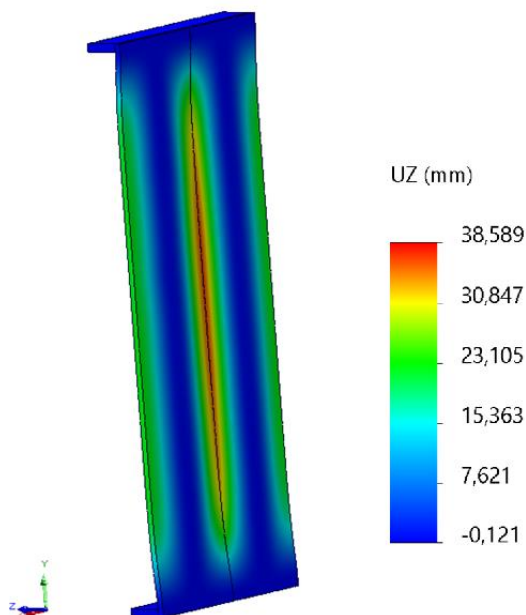
Karkasinio skydo statramstyje įtempių intensyvumas priklauso nuo apkrovos pasiskirstymo, statramstį veikiančių jėgų tipo (gniuždymo, lenkimo, tempimo ar jų derinio), jo geometrijos ir medžiaginių savybių. Statramstis dažnai veikia kaip vertikalus struktūrinis elementas, perduodantis apkrovas nuo viršutinių konstrukcijos dalių žemyn.

Skydo plokščių sujungimo srityje kylantis įtempių intensyvumas (įtempiai apskaičiuoti taikant vonMizeso kriterijų) neviršija 1 MPa (žr. 16 ir 17 pav.).



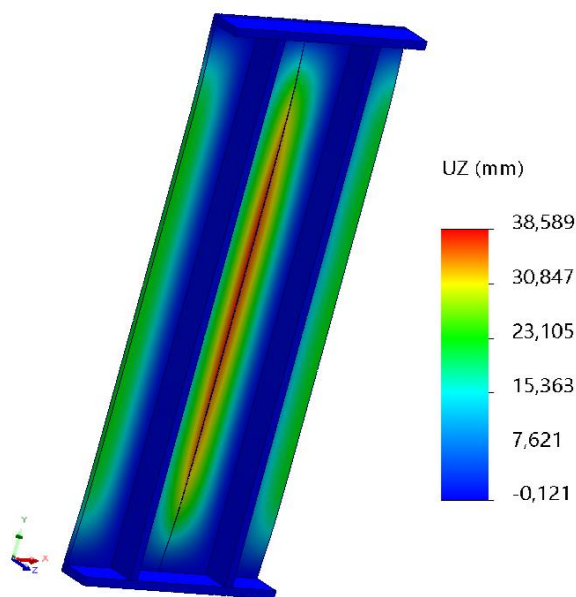
17 pav. Karkasinio skydo sienoje kylantis įtempių intensyvumas (deformavimo mastelis M10:1)

Karkasinio skydo sienoje įtempių intensyvumas priklauso nuo konstrukcijos medžiagų, apkrovų pobūdžio, geometrijos ir tvirtinimo sąlygų. Kylantis įtempimas dažniausiai pasireiškia tose vietose, kur koncentruojasi apkrovos, pvz., kampuose, jungtyse ar skydo kontaktuose su kitomis konstrukcijos dalimis. Naudojant programinę įrangą SolidWorks Simulation, atliekamas baigtinių elementų metodų (BEM) modeliavimas, leidžiantis tiksliai nustatyti įtempių pasiskirstymą karkasinio skydo sienelėje ir identifikuoti pavojingas sritis.



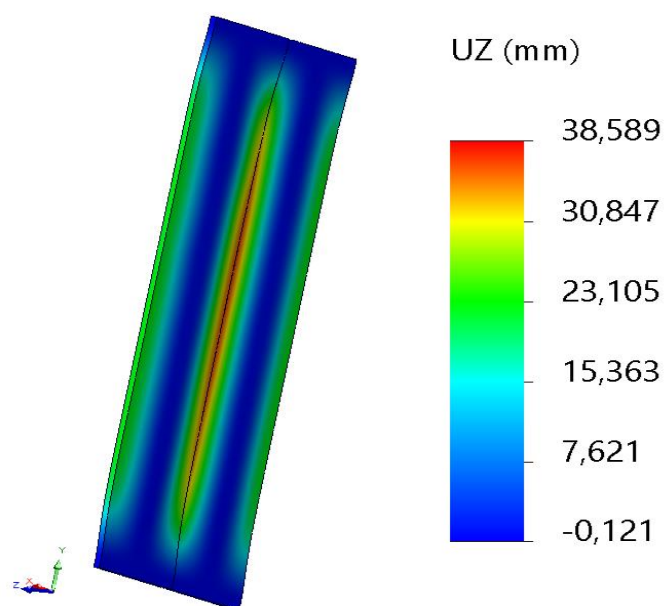
18 pav. Karkasinio skydo įlinkis nuo veikiančių apkrovų (deformavimo mastelis M5:1)

Karkasinio skydo įlinkis nuo veikiančių apkrovų pateiktas 18 pav.

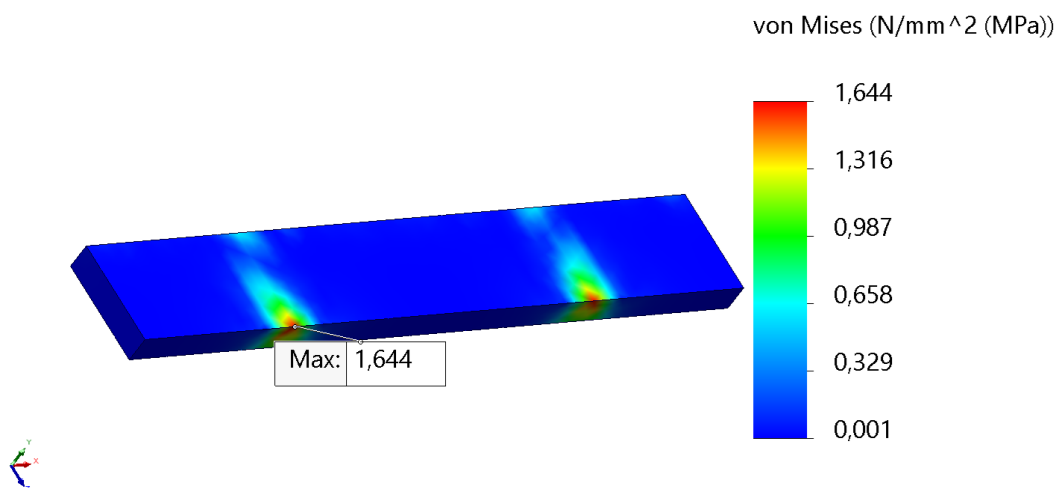


19 pav. Karkasinio skydo įlinkis nuo veikiančių apkrovų (deformavimo mastelis M5:1)

Karkasinio skydo plokštės įlinkis nuo veikiamų apkrovų atsiranda dėl mechaninio medžiagos paslankumo ir konstrukcijos geometrijos sąveikos su taikomomis apkrovomis. Tai yra esminis rodiklis, siekiant įvertinti konstrukcijos tinkamumą eksploatacijai, ypač esant ilgalaikėms ar dinaminėms apkrovoms. Didžiausias įlinkis pastebimas plokščių jungties vietoje, atstume tarp statramsčių, o įlinkio deformacija neviršija 39 mm (žr.19, 20 pav.).



20 pav. Karkasinio skydo plokštės įlinkis nuo veikiančių apkrovų (deformavimo mastelis M5:1)



21 pav. Karkasinio skydo apatinėje lentoje kylantis įtempių intensyvumas (deformavimo mastelis M5:1)

Didžiausias apatinės lentos įtempių intensyvumas yra pastebimas jungtyje su karkasinio skydo statramsčių jungtimi. Įtempių intensyvumas neviršija 1,7 MPa (žr. 21 pav.).

3.4. Sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties ir plokščių storio

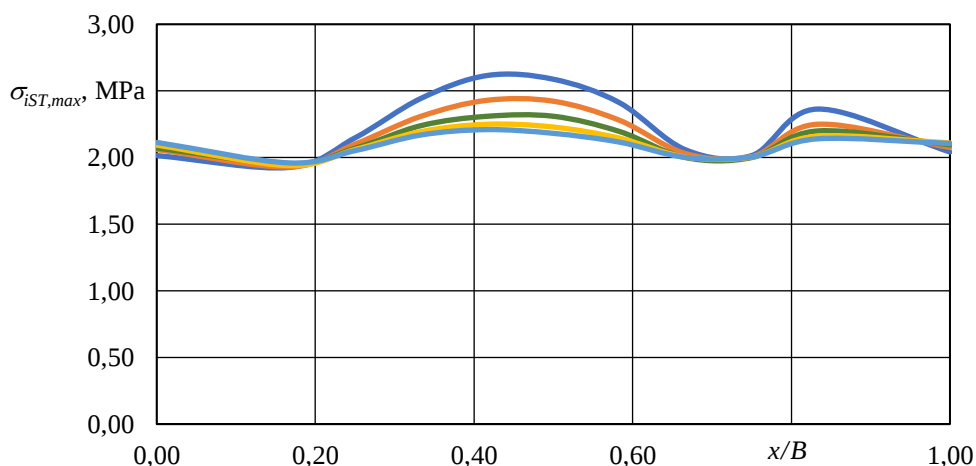
Šiame poskyryje atliekama sienos stiprumo ir standumo priklausomybės nuo plokščių sujungimo padėties bei plokščių storio skaičiavimo rezultatų analizė.

Skaičiavimai atliekami, kai statramsčių žingsnis $B = 600$ mm, o plokštės storis d kinta nuo 20 mm iki 40 mm kas 5 mm.

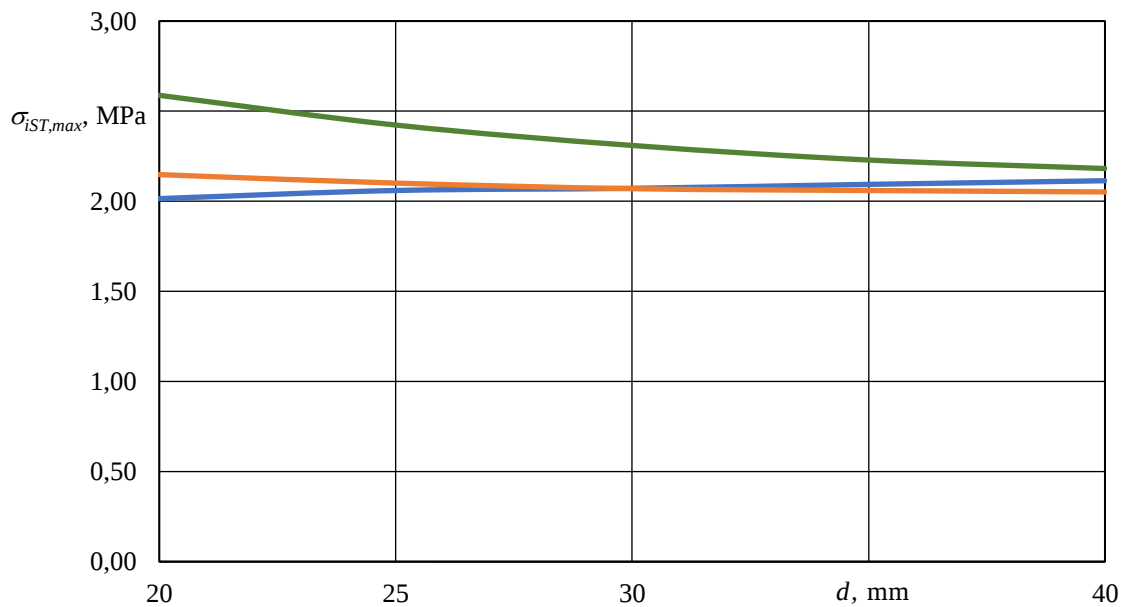
Labiausiai apkrauta statramsčio sritis, kurioje kyla didžiausi įtempių intensyvumai, (nepriklausomai nuo skydo plokščių sujungimo padėties), yra statramsčio kontakto su apatine skydo lenta srityje (žr. 21 pav.). Labiausiai apkrauta skydo plokštės sritis yra tarpo tarp statramsčių viduryje (žr. 20 pav.).

Statramstyje ir skyde kylančių didžiausių įtempių intensyvumo priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties pateikiama 22 pav.

Laikančiosios sienos statramstyje didžiausias įtempių intensyvumas $\sigma_{iST,max}$ kyla, kai skydo plokščių sujungimas yra tarpo tarp statramsčių viduryje (čia santykis $x/B \approx 0,5$; žr. 11 pav.). Šioje srityje dėl plokščių sujungimo padėties poveikio apkrovos koncentruojasi, o didžiausias įtempių intensyvumas stebimas plonesnėms plokštėms (20 mm ir 25 mm). Plokščių sujungimui tolstant nuo $x/B \approx 0,5$ srities $\sigma_{iST,max}$ mažėja ir mažiausias vertes įgyja, kai $x/B \approx 0,25$ arba $x/B \approx 0,75$ (priklausomai nuo laikančiosios sienos skydo plokštės storio d , žr. 11 pav.). Mažesnių plokštės storio ($d = 20$ mm) atveju įtempių kitimas ryškesnis, o didesnių storio ($d = 35$ mm ir 40 mm) kreivės yra žymiai tolygesnės ir rodo mažesnius įtempių intensyvumo pokyčius. Toliau plokščių sujungimui artėjant prie statramsčių, įtempiai $\sigma_{iST,max}$ vėl pradeda didėti. Įtempiai $\sigma_{iST,max}$, kai plokščių sujungimas ties $x/B \approx 0,5$, yra apie 30 proc. didesni, nei atveju, kai plokščių sujungimas yra ties $x/B \approx 0,17$ arba 0,75. Rezultatai rodo, kad kai plokštės storis yra intervale nuo 35 mm – 40 mm, galima užtikrinti mažesnę įtempių intensyvumą bei tolygesnę jų pasiskirstymą visame skydo ilgyje. Tad, siekiant sumažinti įtempių koncentraciją bei užtikrinti laikančiosios sienos skydo stabilumą, rekomenduojama naudoti didesnio storio plokštės nuo 35 mm.

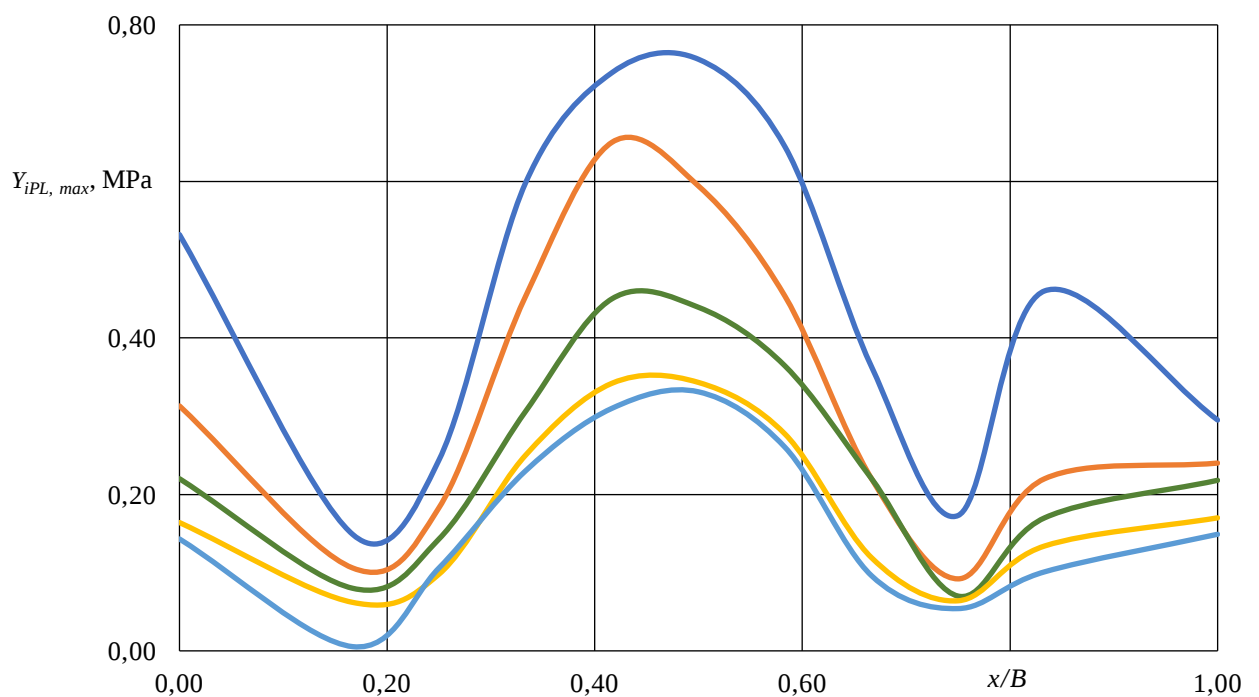


22 pav. Laikančiosios sienos statramsčiuose įtempių intensyvumo $\sigma_{iST,max}$ priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties x/B (žr. 11 pav.): ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm



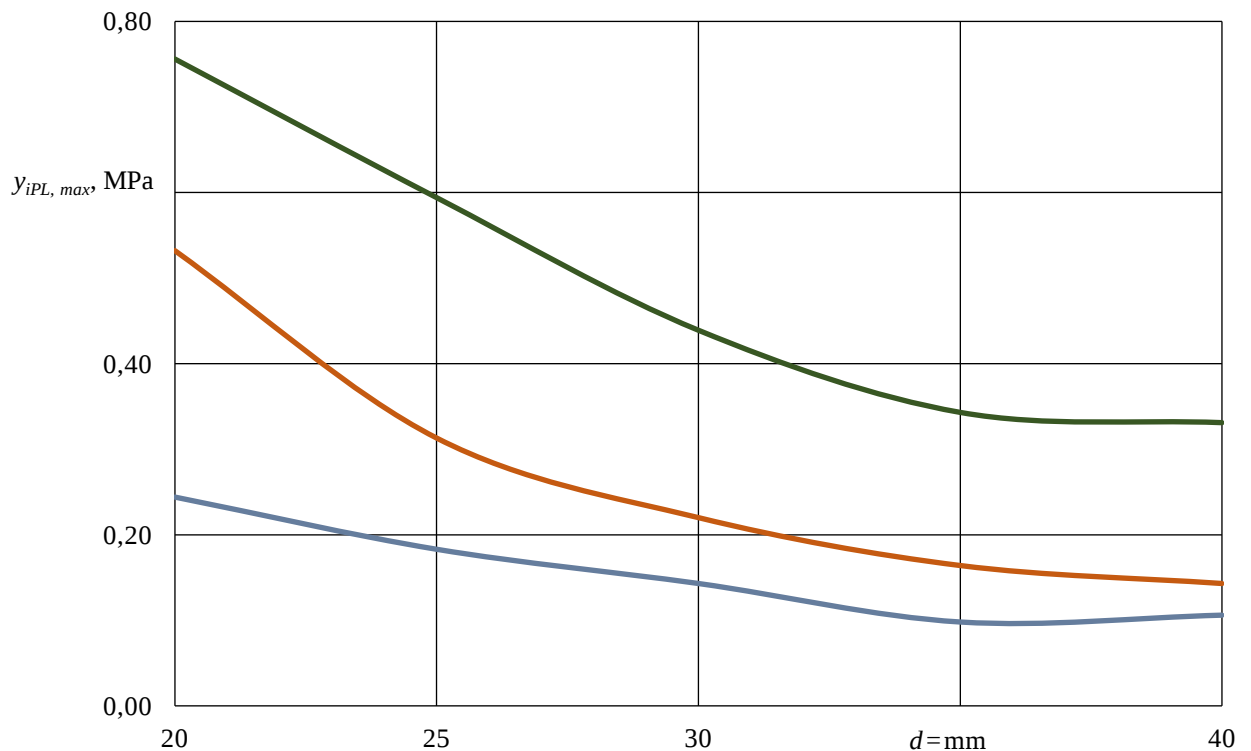
23 pav. Plokštės storio d įtaka laikančiosios sienos statramsčių įtempiams esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

Plokštės storio d įtaka laikančiosios sienos statramsčių įtempiams, esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui, pateikta 23 pav., kai plokštės storių intervalas nuo 20 mm iki 40 mm. $x/B = 0,5$ kreivėje pastebima įtempių $\sigma_{iST,max}$ mažėjimo tendencija, didėjant plokštės storiui. Tuo tarpu kita kreivė ($x/B = 0$) išlieka gana stabili visame plokštės storio intervale. Kreivė $x/B = 0,25$ rodo įtempių didėjimą (nors ir nežymų), didėjant plokštės storiui.



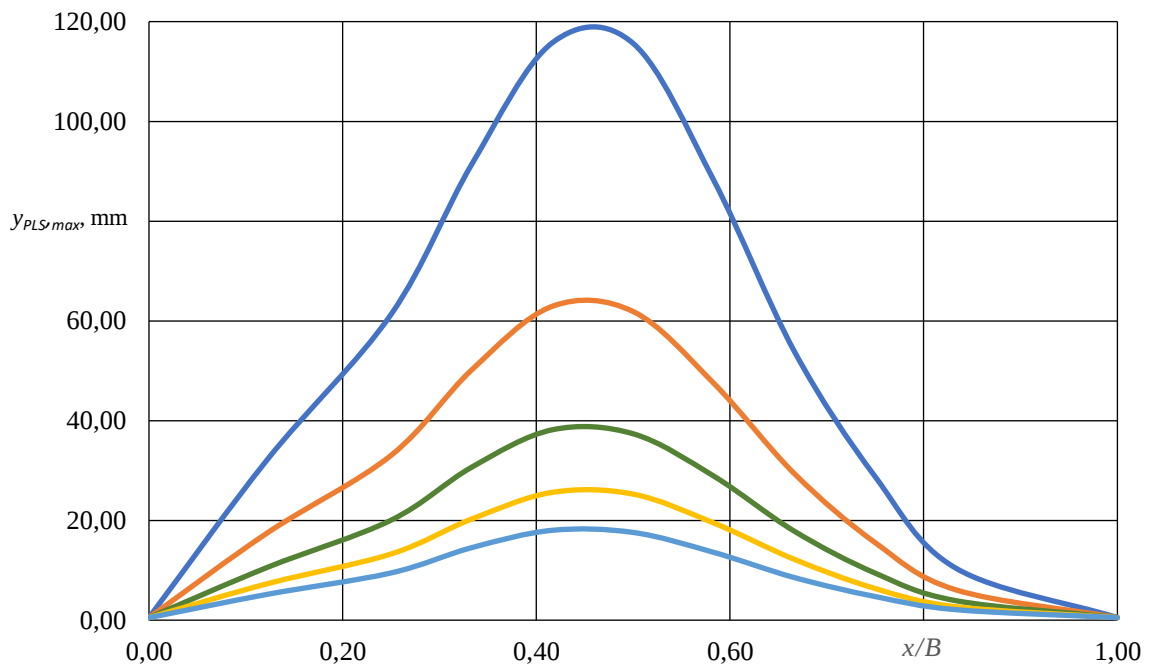
24 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštėse kylančių didžiausių įtempių intensyvumo $y_{iPL,max}$ priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties x/B (žr. 11 pav.) ir plokščių storio d : ■ – $d = 20\text{mm}$; ■ – $d = 25\text{mm}$; ■ – $d = 30\text{mm}$; ■ – $d = 35\text{mm}$; ■ – $d = 40\text{mm}$

Laikančiosios sienos skydo plokštėse didžiausias įtempių intensyvumas $y_{iPL\ max}$ kyla, kai skydo plokščių sujungimas yra apie vidurį tarp statramsčių (čia santykis $x/B = 0,50$; (žr. 24 pav.). Plokščių sujungimui artėjant prie statramsčių srities įtempiai $y_{iPL\ max}$ mažėja ir įgyja mažiausias vertes, kai $x/B = 0,17$ arba $x/B = 0,75$ (priklausomai nuo laikančiosios sienos skydo plokštės storio d , žr. 24 pav.). Kai plokščių sujungimas yra ties $x/B = 0,17$ arba $x/B = 0,75$, įtempiai yra apie 5 kartus mažesni, nei atveju, kai plokščių sujungimas yra ties $x/B = 0,5$.



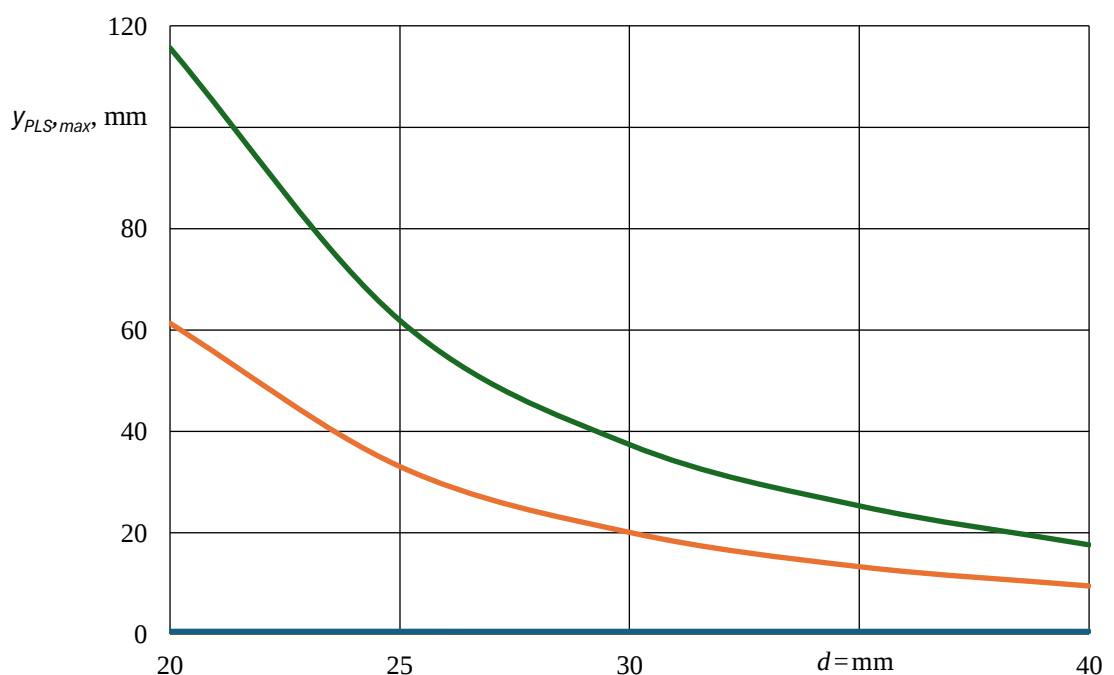
25 pav. Plokštės storio d įtaka laikančiosios sienos plokščių įtempiams esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

25 pav. stebimas laikančiosios sienos plokščių įtempių kitimas, keičiantis plokščių sujungimo padėties x/B santykinio atstumo reikšmėms, plokštės storio intervale nuo 20 mm iki 40 mm. Pastebima aiški tendencija: $x/B = 0,5$ kreivė rodo reikšmingą laikančiosios sienos plokščių įtempių mažėjimą, didėjant plokštės storiui, o šis pokytis ryškiausias intervale tarp 20 mm ir 30 mm. Kai plokštės storis yra nuo $d \approx 35$ mm, pastebima plokščių įtempių reikšmių stabilizacija, t. y. nuo šios plokštės storio vertės plokščių storio didėjimas turi nežymią įtaką plokščių įtempiams. $x/B = 0$ kreivė taip pat atspindi mažėjimo tendenciją, tačiau šis pokytis yra mažesnis nei $x/B = 0,5$ kreivės atveju. Didėjant plokštės storiui, $x/B = 0$ kreivė rodo tolygesnį, bet nuoseklų plokščių įtempių reikšmių mažėjimą. Tuo tarpu $x/B = 0,25$ kreivė pasižymi mažiausiais plokščių įtempių pokyčiais didėjant plokštės storiui. Įtempiai nežymiai mažėja, jie išlieka gana stabilūs, ypač plokštėms, kurių storis yra didesnis nei 35 mm. Didėjant plokštės storiui, įtempiai mažėja, o reikšmės stabilizuojasi, kai plokštės storis yra didesnis nei 35 mm.



26 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių didžiausių vietinių įlinkių $y_{PLS, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm

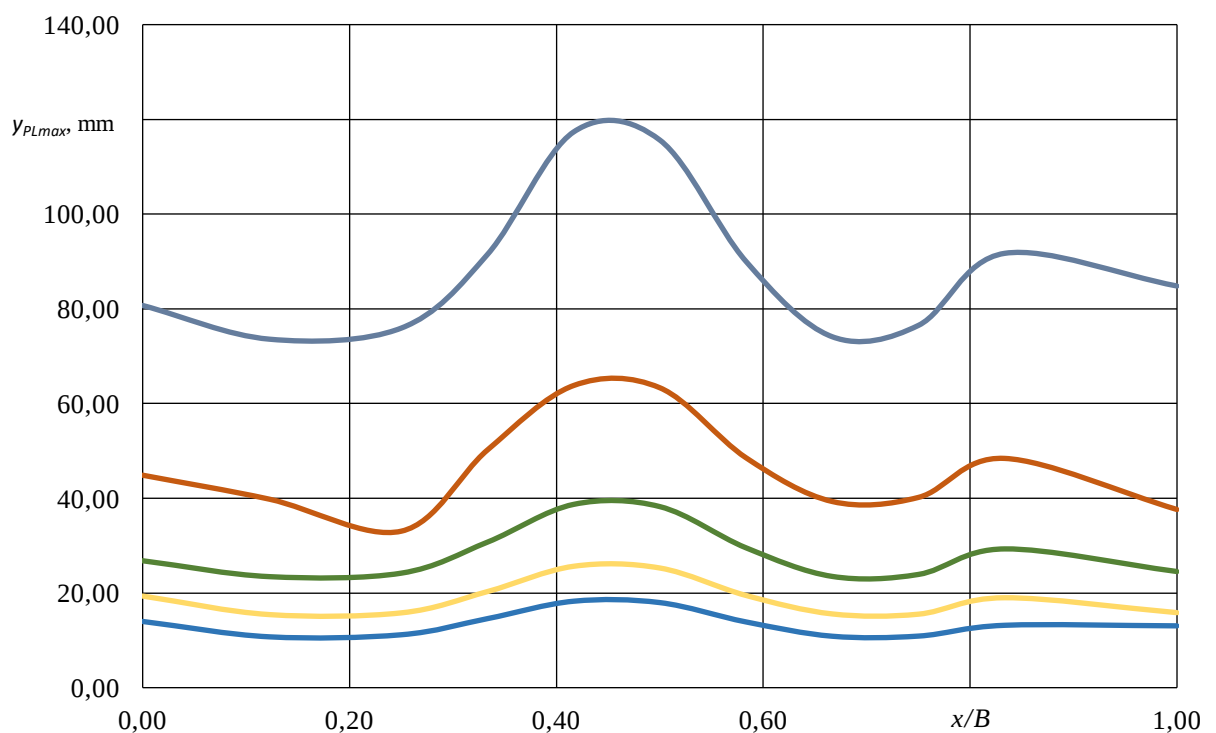
Laikančiosios sienos skydo plokščių sujungimo sritys didžiausias vietinis įlinkis $y_{PLS, max}$ kyla, kai skydo plokščių sujungimas yra tarpo tarp statramsčių viduryje ($x/B = 0,5$). Plokščių sujungimui tolstant nuo šios sritys, $y_{PLS, max}$ vertės mažėja ir tampa lygios nuliui, kai $x/B = 0$ arba $x/B = 1$ (žr. 26 pav.).



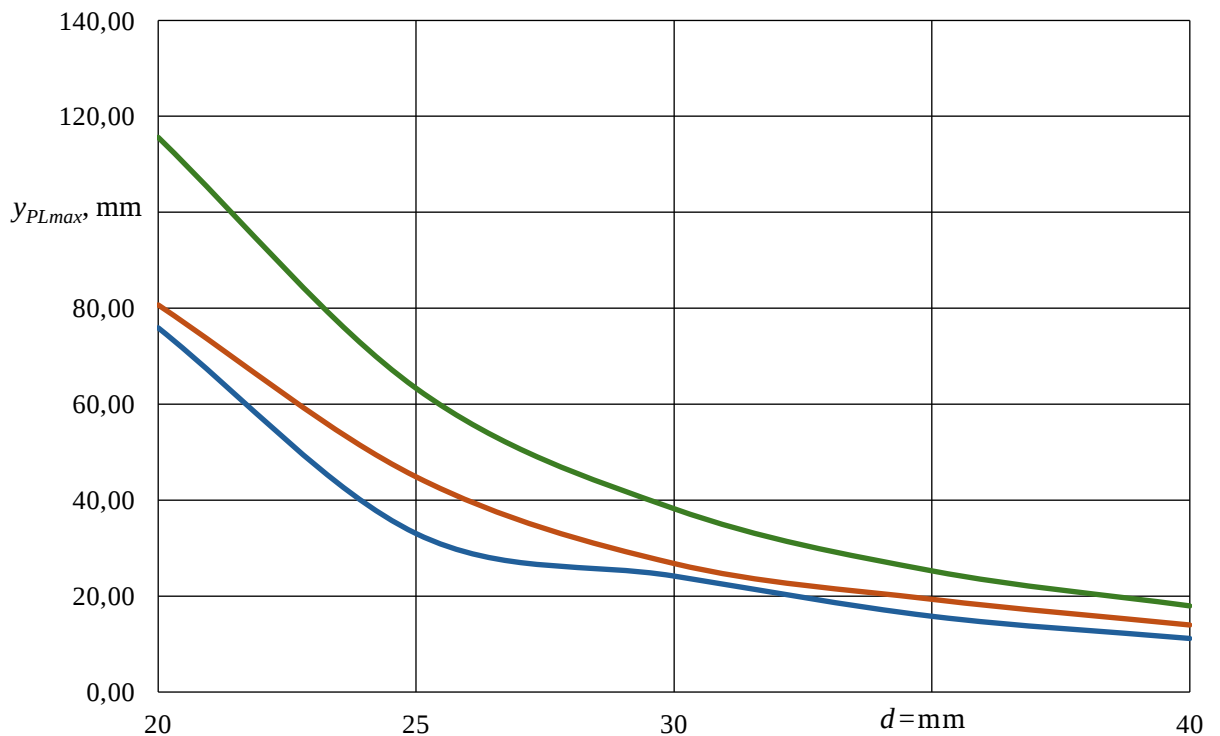
27 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės storio d įtaka plokštės vietiniam įlinkiui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

Didėjant sienos skydo plokštės storiui intervale nuo 20 mm iki 40 mm, plokštės vietinis įlinkis mažėja (žr. 27 pav.). $x/B = 0,5$ kreivė aiškiai parodo, kad, didėjant plokštės storiui, vietinis įlinkis reikšmingai mažėja. Pradinėje fazėje, kai plokštės storis yra $d \approx 20$ mm, vietinio įlinkio reikšmė yra didžiausia. Toliau didėjant plokštės storiui iki $d \approx 30$ mm, vietinio įlinkio reikšmės reikšmingai sumažėja. Pasiekus plokštės storį $d \geq 35$ mm, vietinio įlinkio pokytis tampa mažiau reikšmingas ir kreivė artėja prie stabilizacijos. $x/B = 0$ kreivė taip pat rodo vietinio įlinkio mažėjimą, tačiau šis pokytis yra mažesnis nei $x/B = 0,5$ kreivėje. Vietinis įlinkis išlieka didesnis visame storio intervale, nors tendencija yra nuosekli – įlinkis mažėja su plokštės storio didėjimu. $x/B = 0,25$ kreivė rodo itin mažas įlinkio reikšmes visame plokštės storio intervale, kurios praktiškai nekinta. Tai rodo, kad plokštėms su dideliu standumu vietinis įlinkis tampa minimalus nepriklausomai nuo plokštės storio. Apibendrinant, rezultatai rodo, kad plokštės storio didinimas yra efektyvus būdas mažinti vietinį įlinkį. Siekiant užtikrinti laikančiosios sienos skydo stabilumą ir sumažinti vietinį įlinkį, optimalus plokštės storis turėtų būti ne mažesnis kaip 35 – 40 mm.

Laikančiosios sienos skydo plokštėse didžiausias įlinkis y_{max} kyla, kai skydo plokščių sujungimas yra tarpo tarp statramsčių viduryje (čia santykis $x/B = 0,50$). (žr. 28 pav.) Plokščių sujungimui tolstant nuo šios srities y_{max} mažėja ir mažiausias vertes įgyja, kai $x/B = 0,12$ arba $x/B = 0,67$. Kai $x/B = 0,42$, įlinkis yra 1,6 kartų didesnis nei $x/B = 0,12$ atstume. Tačiau šiame paveiksle pastebima tai, jog plokštės storis vaidina itin svarbų vaidmenį dėl įlinkio vertės dydžio. Kai $x/B = 0,50$, plokštės storis yra 20 mm įlinkio vertė yra apie 6,4 karto didesnė negu esant plokštės storiui 40 mm tame pačiame santykiname atstume $x/B = 0,5$.



28 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių jungties didžiausių įlinkių $y_{PL, max}$ (viduryje tarp statramsčių) priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $d = 20$ mm; ■ – $d = 25$ mm; ■ – $d = 30$ mm; ■ – $d = 35$ mm; ■ – $d = 40$ mm



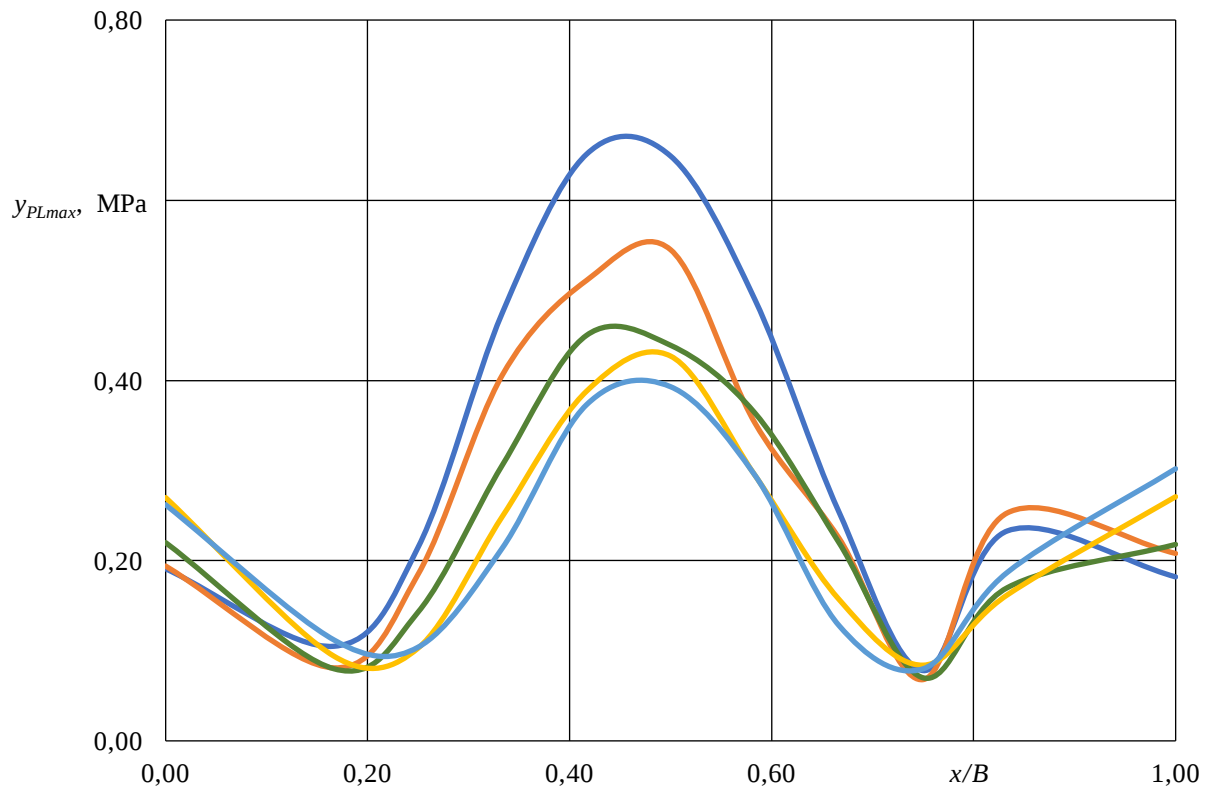
29 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės storio d įtaka plokščių jungties didžiausiems įlinkiams $y_{PL, max}$ (viduryje tarp statramsčių) priklausomai nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

Didėjant sienos skydo plokštės storiui intervale nuo 20 mm iki 40 mm, plokštės vietinis įlinkis mažėja (žr. 29 pav.). Nagrinėjamame paveiksle matomos trys kreivės, rodančios vietinio įlinkio kitimą priklausomai nuo plokštės storio d . $x/B = 0,5$ kreivė atspindi didžiausius pradinio įlinkio rodiklius, kai plokštės storis $d = 20$ mm. Tolstant nuo šios reikšmės ir didėjant plokštės storiui, įlinkis reikšmingai mažėja, ypač intervale nuo 20 mm iki 30 mm. Vėliau mažėjimo tempas sulėtėja, o pasiekus plokštės storio vertę 35 – 40 mm kreivė artėja prie stabilizacijos. $x/B = 0$ kreivė taip pat rodo mažėjantį įlinkį, tačiau jo vertės išlieka mažesnės nei $x/B = 0,5$ kreivės visame storio intervale. Didėjant plokštės storiui, įlinkio mažėjimo tendencija yra nuosekli ir reikšminga. $x/B = 0,25$ kreivė rodo mažiausius vietinio įlinkio rodiklius pradiniam intervale, o didėjant plokštės storiui, įlinkis tolygiai mažėja. Mažiausios reikšmės pasiekiamos, kai plokštės storis yra 40 mm. Remiantis tyrimo duomenimis, galima teigti, jog plokštės storio didinimas yra efektyviausias būdas mažinti vietinį įlinkį. Didžiausias įlinkio mažėjimo efektas stebimas tarp $d = 20$ mm ir 30 mm, o tolimesnis storio didinimas iki $d = 40$ mm, padeda stabilizuoti vietinį įlinkį. Plokštės storis, užtikrinantis minimalų vietinį įlinkį, yra 35 – 40 mm.

3.5. Sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo plokščių sujungimo padėties ir sujungimo dygio aukščio

Šiame poskyryje pateikiami sienos stiprumo bei standumo priklausomybės nuo plokščių sujungimo padėties, sujungimo dygio aukščio skaičiavimo rezultatai ir jų analizė.

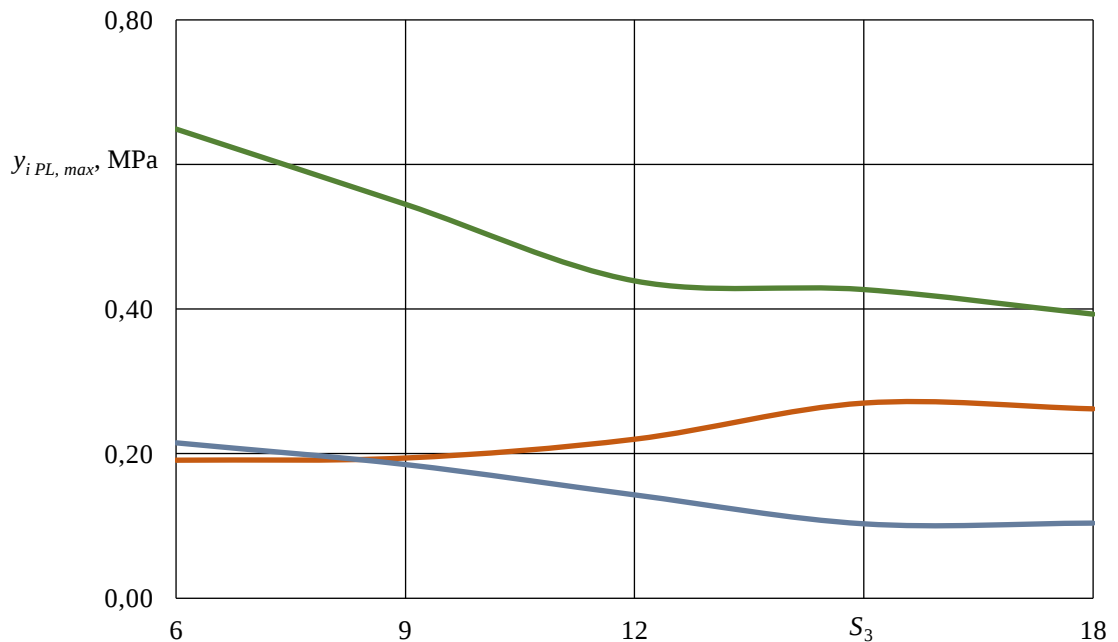
Skaičiavimai atliekami, kai statramsčių žingsnis $B = 600$ mm, o plokštės dygio aukštis S_3 kinta nuo 6 mm iki 18 mm kas 3 mm.



30 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštėse kylančių didžiausių įtempių intensyvumo $y_{iPL, max}$ priklausomybė nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio ir sujungimo padėties x/B (žr. 11 pav.): ■ – $S_3 = 6$ mm; ■ – $S_3 = 9$ mm; ■ – $S_3 = 12$ mm; ■ – $S_3 = 15$ mm; ■ – $S_3 = 18$ mm

Didžiausių įtempių intensyvumo $y_{iPL, max}$ kitimo tendencija laikančiosios sienos skydo plokštėse, priklausomai nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio ir sujungimo padėties x/B , pateikta 30 pav.

Tikslinga akcentuoti, jog visoms plokščių sujungimo išdrožos reikšmėms didžiausi įtempiai pasiekiami $x/B \approx 0,5$, t. y. skydo vidurio padėtyje. Šioje padėtyje įtempiai koncentruojasi dėl sujungimo išdrožos poveikio. Didžiausi įtempiai kyla plokštėse su mažiausia išdroža $S_3 = 6$ mm. Didinant išdrožos dydį, įtempių intensyvumas mažėja. Tolstant nuo vidurio padėties ir artėjant prie kraštinių padėčių ($x/B \approx 0,25$ ir $x/B \approx 0,75$), įtempių intensyvumas reikšmingai mažėja. Šis mažėjimas yra labiausiai ryškus plokštėms su mažesnėmis išdrožomis $S_3 = 6$ mm ir $S_3 = 9$ mm. Atkreiptinas dėmesys į tai, jog didesnių išdrožų ($S_3 = 15$ mm ir $S_3 = 18$ mm) atveju įtempių mažėjimas yra tolygesnis. Didinant išdrožos dydį nuo 6 mm iki 18 mm, įtempių intensyvumas visose sujungimo padėtyse mažėja. Remiantis rezultatais, matoma, jog didesnės išdrožos sumažina įtempių koncentraciją, todėl galima teigti, jog įtempių intensyvumas tampa mažesnis ir tolygesnis per visą skydo ilgį. Mažesnės išdrožos ($S_3 = 6$ mm ir $S_3 = 9$ mm) sukelia didesnius įtempius ties vidurio padėtimi, o didesnės išdrožos ($S_3 = 15$ mm ir $S_3 = 18$ mm) užtikrina mažesnę įtempių intensyvumą bei tolygesnę jų pasiskirstymą.



31 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 įtaka plokštės įtempiams esant santykiniam sujungimo padėties x/B kitimui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

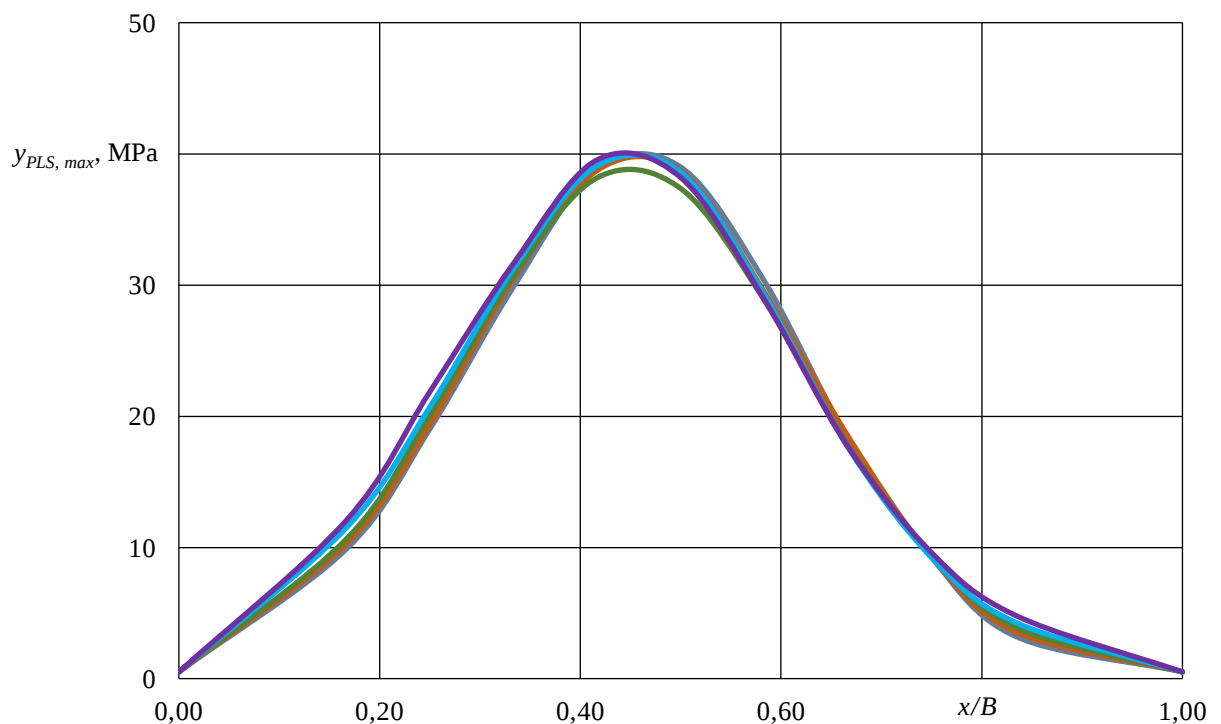
Grafike (žr. 31 pav.) pavaizduojamas didžiausių įtempių intensyvumo $\sigma_{i PL, max}$ kitimas priklausomai nuo sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 ir santykinės sujungimo padėties x/B . Siekiant įvertinti, kaip skirtingi plokštės storiai veikia įtempių intensyvumą skirtingose padėtyse, nagrinėjami trys santykinio sujungimo padėties skirtingi atvejai: $x/B = 0$; $x/B = 0,25$; $x/B = 0,5$.

$x/B = 0,5$ kreivė parodo, jog didinant plokštės dygio aukštį nuo 6 mm iki 18 mm, didžiausių įtempių intensyvumas $\sigma_{i PL, max}$ reikšmingai mažėja. Įtempis, kai plokštės dygio aukštis $S_3 = 6$ mm, yra didžiausias. Didinant laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukštį, įtempio intensyvumo reikšmės mažėja tolygiai ir stabilizuojasi, kai plokštės dygio aukštis nuo 15 mm iki 18 mm.

$x/B = 0$ kreivė rodo, kad įtempis, kai plokštės dygio aukštis $S_3 = 6$ mm, yra mažiausias, o didinant plokštės dygio aukštį, įtempių intensyvumas pradeda nežymiai didėti. Remiantis tokio tipo kaitos tendencija, galima teigti, kad ši padėtis yra mažiau jautriai reaguojanti į plokštės dygio aukščio pokyčius.

$x/B = 0,25$ kreivė vaizduoja mažiausius įtempio intensyvumo rodiklius visose nagrinėjamose plokštės dygių aukščių ribose nuo $S_3 = 6$ mm iki $S_3 = 18$ mm. Pastebima tai, jog įtempiai mažėja tolygiai ir pasiekama mažiausia įtempio vertė, kai plokštės dygio aukštis yra $S_3 = 18$ mm. Todėl, galima teigti, jog ši padėtis yra labiausiai atspari t. y. mažiausiai veikiama plokštės storio pokyčių.

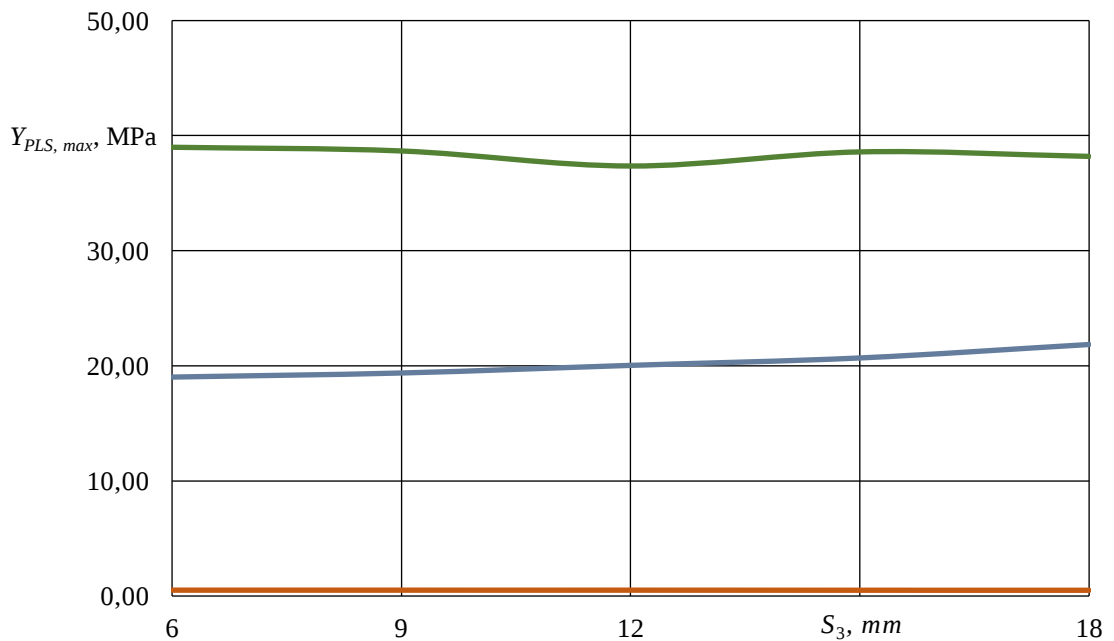
Didinant plokštės dygio aukštį, didžiausių įtempių intensyvumas $\sigma_{i PL, max}$ ryškiausiai mažėja, kai santykinė sujungimo padėtis yra $x/B = 0,5$. Kitose sujungimo padėtyse įtempių intensyvumo kaitos poveikis yra žymiai mažiau reikšmingai kintantis: mažėjantis (atveju, kai $x/B = 0$) arba didėjantis (atveju, kai $x/B = 0,25$). Todėl, siekiant užtikrinti mažesnę įtempį ir laikančiosios sienos skydo konstrukcijos stabilumą, labiausiai efektyvu būtų pasirinkti plokštės dygio aukštį nuo $S_3 = 15$ mm iki $S_3 = 18$ mm santykiniam vidurio atstume ($x/B = 0,5$).



32 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių didžiausių vietinių įlinkių $y_{PLS, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.) nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio (žr. 11 pav.): ■ – $S_3 = 6$ mm; ■ – $S_3 = 9$ mm; ■ – $S_3 = 12$ mm; ■ – $S_3 = 15$ mm; ■ – $S_3 = 18$ mm

Grafike (žr. 32 pav.) pateikiama didžiausių vietinių įlinkių $y_{PLS, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B ir skirtingų sujungimo išdrožų dydžių S_3 . Matoma, kad visoms nagrinėjamos išdrožoms didžiausia vietinio įlinkio vertė pasiekama, kai $x/B = 0,5$ t. y. skydo vidurio padėtyje. Šioje srityje įlinkiai susikoncentruoja dėl jungties ir išdrožos poveikio. Nors visų išdrožų kreivės beveik sutampa arba yra labai panašios kai plokščių jungimo padėtis yra viduryje statramsčių atžvilgiu. Atkreiptinas dėmesys į tai, jog didžiausios vietinio įlinkio reikšmės pasiekiamos esant mažiausioms išdrožoms $S_3 = 6$ mm, 9 mm. Tolinant atstumą nuo vidurio padėties ir artinant prie kraštų ($x/B = 0$ ir $x/B = 1$), visų nagrinėjamų išdrožų įlinkiai reikšmingai sumažėja. Tiek mažesnių ($S_3 = 6$ mm, 9 mm), tiek didesnių ($S_3 = 15$ mm, 18 mm) išdrožų įlinkių reikšmės beveik sutampa (susilygina) kraštinėse padėtyse.

Visų nagrinėjamų išdrožų dydžių, įlinkio intensyvumas vidurio padėtyje ($x/B = 0,5$) pradeda mažėti. Tai parodo, jog didesnės išdrožos ($S_3 = 15$ mm arba 18 mm) padeda sumažinti vietinių įlinkių koncentraciją ir užtikrinti tolygesnį įtempio verčių pasiskirstymą per visą skydo ilgį. Mažesnės išdrožos ($S_3 = 6$ mm arba 9 mm) sukelia didesnius vietinius įlinkius ties vidurio padėtimi, o tai gali lemti didesnę deformacijų tikimybę. Apibendrinant galima teigti, jog, kuo didesnės išdrožos, tuo efektyviau paskirstomos apkrovos ir mažėjančios vietinių įlinkių reikšmės, ypač ties skydo vidurio padėtimi. Todėl konstrukcijų stabilumui rekomenduojama naudoti išdrožas, kurių dydis yra $S_3 \geq 15$.



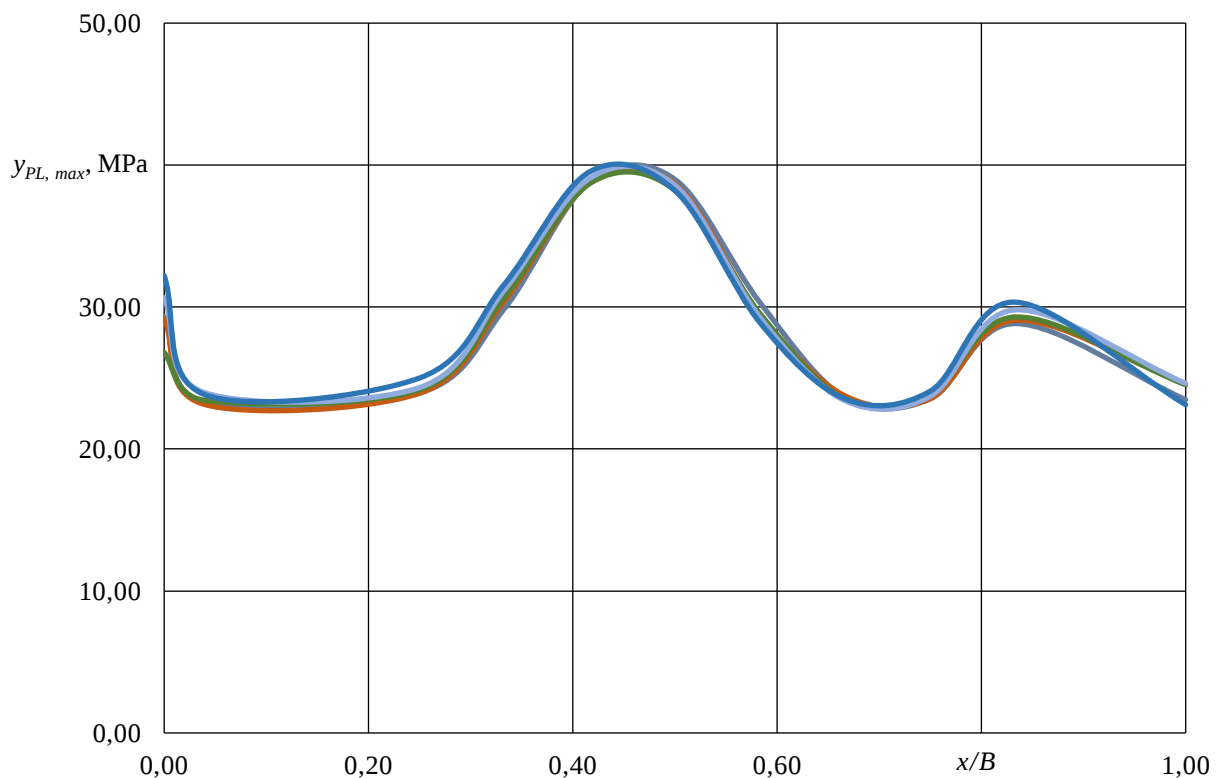
33 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 įtaka plokštės vietiniam įlinkiui: ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

Grafike (žr. 33 pav.) pateikiama plokštės vietinio įlinkio $y_{PLS, max}$ priklausomybė nuo sienos skydo plokštės storio d bei santykinės sujungimo padėties x/B . Nagrinėjama įtaka trijuose skirtinguose santykinės sujungimo padėties taškuose ($x/B = 0$, $x/B = 0,25$, $x/B = 0,5$). Pateiktų rezultatų kaitos analizė atvaizduoja, kaip skirtingos plokštės storio reikšmės veikia vietinį įlinkį įvairiose skydo padėtyse.

$x/B = 0,5$ kreivėje pastebima, jog lyginant su kitomis padėtimis, vidurio padėtyje vietinio įlinkio reikšmės yra didžiausios. Didėjant plokštės storiui (nuo 20 mm iki 40 mm), įlinkio reikšmės kinta nežymiai ir praktiškai reikšmių kaita stabilizuojasi, kai laikančiosios sienos skydo plokštės storis yra 35 mm – 40 mm intervale. Tai parodo, jog vietinis įlinkis yra mažai jautrus plokštės storio pokyčiams vidurio padėtyje.

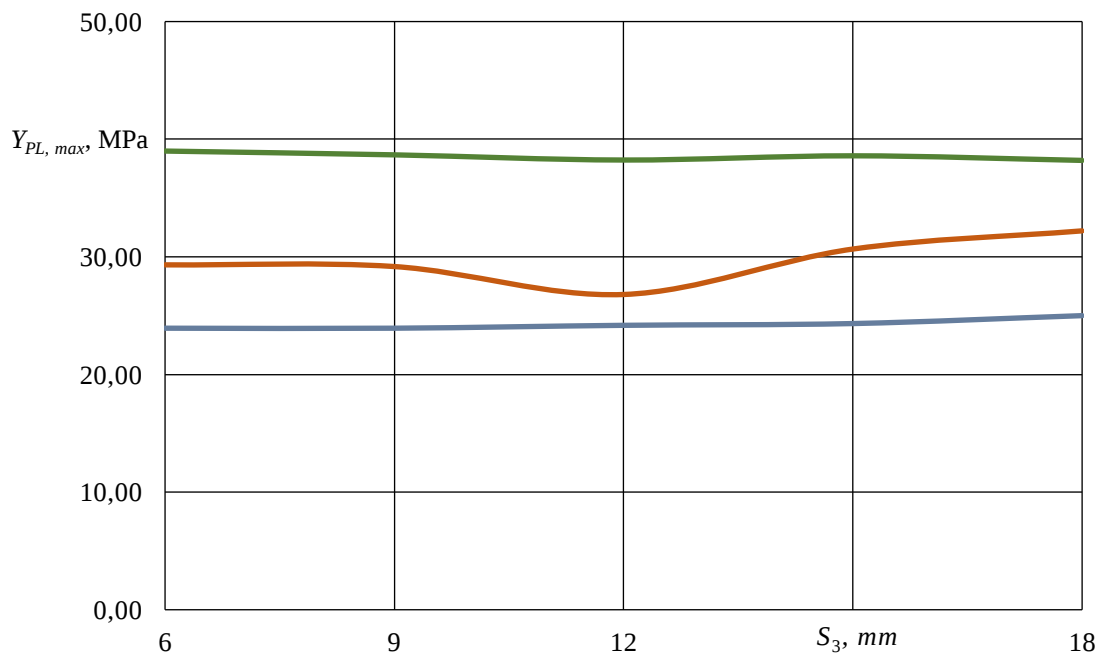
$x/B = 0,25$ kreivė perteikia vietinio įlinkio pokytį. Didinant plokštės storį, šioje padėtyje esantis vietinis įlinkis nežymiai didėja. Tikslinga paminėti, jog vietinio įlinkio reikšmės išlieka gana stabilios ir mažai kintančios visame nagrinėjamame plokštės storio intervale.

$x/B = 0$ kreivė atvaizduoja mažiausius vietinio įlinkio rodiklius visame plokštės storio intervale. Ši padėtis pasižymi itin mažu vietinio įlinkio jautrumu, kai keičiamos plokštės storių vertės, kadangi reikšmės beveik nekinta nepriklausomai nuo to kaip keičiamas plokštės storis. Remiantis $x/B = 0$ kreivės rezultatų verčių parametrais, galima teigti, kad plokštės storio didinimas turi minimalią įtaką vietinio įlinkio pokyčiams visose nagrinėjamose padėtyse. Tuo tarpu vidurio padėtyje ($x/B = 0,5$) vietinio įlinkio reikšmės yra didžiausios, o kraštinėje padėtyje ($x/B = 0$) – mažiausios. Verčių stabilumas visame plokštės storio intervale rodo, jog plokštės standumas (minimalūs vietiniai įlinkiai) yra pakankamai stabilus netgi esant skirtingiems storių parametrams. Apibendrinant, galima teigti, jog optimalus plokštės storis yra 35 mm – 40 mm ir jis padeda užtikrinti tolygesnę įlinkio stabilizaciją, ypač vidurio padėtyje ($x/B = 0,5$).



34 pav. Laikančiosios sienos skydo plokščių didžiausių vietinių įlinkių $y_{PL, max}$ priklausomybė nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 10 pav.) nuo plokščių sujungimo išdrožos S_3 dydžio (žr. 11 pav.): ■ – $S_3 = 6$ mm; ■ – $S_3 = 9$ mm; ■ – $S_3 = 12$ mm; ■ – $S_3 = 15$ mm; ■ – $S_3 = 18$ mm

Grafike (žr. 34 pav.) pateikiama didžiausių vietinių įlinkių $y_{PL, max}$ kitimo tendencija laikančiosios sienos skydo plokštėse, priklausomai nuo jungties padėties santykio x/B bei skirtingų plokščių sujungimo išdrožos dydžių S_3 . Analizuojami išdrožos dydžiai yra 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm, 18 mm. Remiantis grafiniu atvaizdavimu, matoma, kad visoms išdrožos reikšmėms didžiausi vietiniai įlinkiai pasiekiami, kai jungties padėties santykis yra $x/B = 0,5$, t. y. skydo vidurio padėtyje. Šioje padėtyje dėl jungties poveikio susikoncentruoja apkrovos. Pastebima, jog visų išdrožų kreivės vidurio padėtyje yra labai panašios, tačiau šiek tiek didesni įlinkių pokyčiai pastebimi mažesnėms išdrožoms ($S_3 = 6$ mm, $S_3 = 9$ mm). Didinant išdrožos dydį, įlinkių reikšmės tampa tolygesnės ir pastebima netgi jų mažėjimo tendencija. Tolinant atstumą nuo vidurio padėties ir artėjant prie kraštinių ($x/B = 0$ ir $x/B = 1$), visų nagrinėjamų išdrožų vietiniai įlinkiai mažėja. Tiek mažesnio dydžio išdrožos, tiek didesnės rodo panašias įlinkių reikšmes kraštinėse padėtyse, tačiau didesnės išdrožos užtikrina mažesnius ir tolygesnius įlinkius. Grafike matoma, kad mažesnės išdrožos ($S_3 = 6$ mm bei $S_3 = 9$ mm) sukelia didesnius vietinius įlinkius ties vidurio padėtimi ($x/B = 0,5$), o didesnės išdrožos ($S_3 = 15$ mm $S_3 = 18$ mm) padeda užtikrinti tolygesnį vietinio įlinkio pasiskirstymą visame skydo ilgio diapazone. Akivaizdu yra tai, jog didesnės išdrožos efektyviai mažina vietinių įlinkių intensyvumą bei padeda užtikrinti skydo stabilumą. Todėl, siekiant sumažinti vietinius įlinkius ir užtikrinti konstrukcijos stabilumą, rekomenduojama naudoti išdrožas, kurių dydis yra $S_3 \geq 15$ mm.



35 pav. Laikančiosios sienos skydo plokštės dygio aukščio S_3 įtaka plokščių jungties didžiausiems įlinkiams $Y_{PL, max}$ (viduryje tarp statramsčių) priklausomai nuo plokščių jungties padėties statramsčių atžvilgiu x/B (žr. 11 pav.): ■ – $x/B = 0$; ■ – $x/B = 0,25$; ■ – $x/B = 0,5$

Grafike (žr. 35 pav.) pateikiamas plokščių jungties didžiausių įlinkių $Y_{PL, max}$ kitimas, priklausomai nuo sienos skydo plokštės storio d ir santykinės jungties padėties x/B . Nagrinėjami trys santykinės jungties padėties variantai: $x/B = 0$, $x/B = 0,25$, $x/B = 0,5$.

$x/B = 0,5$ kreivėje pastebima, jog šioje padėtyje didžiausias įlinkis, išliekantis beveik pastovus visame plokštės storio intervale. Didžiausios įlinkių vertės pastebimos, kai plokštės storis yra 20 mm, tačiau svarbu akcentuoti tai, jog didėjant plokštės storiui įlinkių reikšmės stabilizuojasi ir kinta minimaliai.

$x/B = 0$ kreivėje atvaizduojanti didžiausio įlinkio pokyčius, kai santykinė jungties padėtis yra $x/B = 0,25$ pastebima, kitokio pobūdžio tendencija nei santykinėje jungties padėtyje $x/B = 0,5$. Pradžioje, kai plokštės storių vertės yra 20 mm ir 25 mm įlinkiai nežymiai mažėja, tačiau tolimesniame storio intervale ($d \geq 30$ mm) įlinkiai pradeda šiek tiek didėti. Tokia reiškinių tendencija rodo, jog tarpinė padėtis yra žymiai jautresnė plokštės storio pokyčiams, lyginant su kraštine ir vidurio padėtimi.

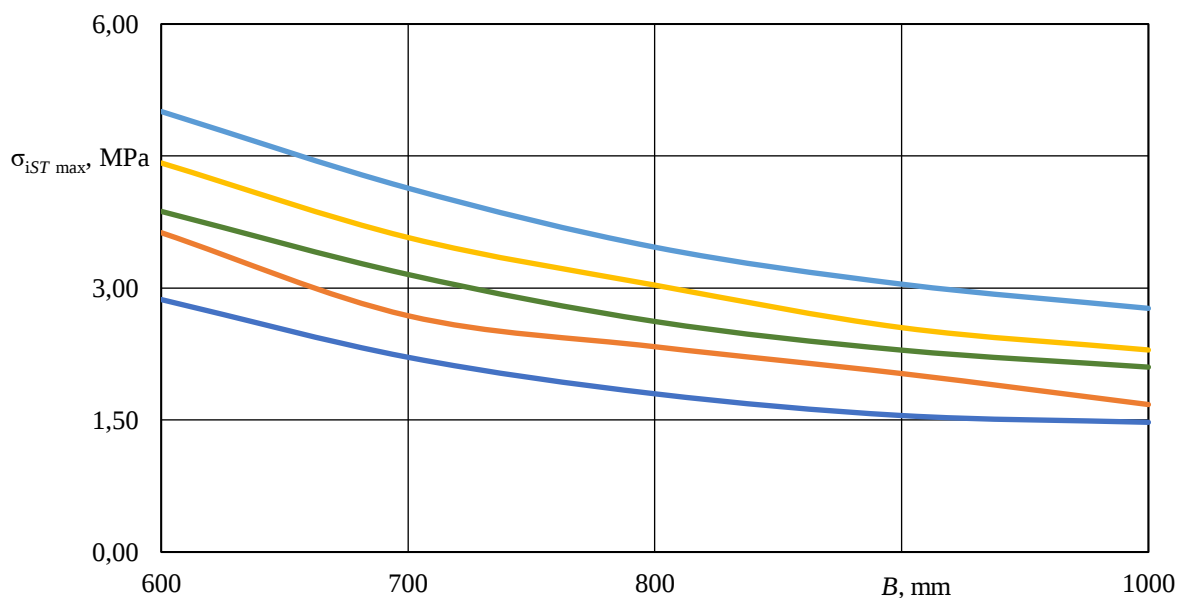
$x/B = 0,25$ perteikia mažiausias įlinkio reikšmes, kurios išlieka stabilios ir yra mažai priklausomos nuo plokštės storio. Didinant plokštės storį nuo 20 mm iki 40 mm, įlinkių pokyčiai yra nežymūs.

Pastebima, kad vidurio padėtyje ($x/B = 0,5$) didžiausi įlinkiai išlieka beveik stabilūs visame plokštės storio intervale. Kraštinėje padėtyje ($x/B = 0$) įlinkiai yra mažiausi ir beveik nekintantys. Didinant plokštės storį, pastebimas nedidelis įlinkių padidėjimas vidurinėje santykinėje jungties padėtyje ($x/B = 0,25$). Apibendrinant galima teigti, jog optimaliausias plokštės storis yra 35 mm – 40 mm intervale, kuris padeda užtikrinti tolygesnius įlinkius per visas santykinės jungties padėtis ir stabilumą vidurio padėtyje.

3.6. Sienos stiprumo ir standumo priklausomybė nuo statramsčių išdėstymo žingsnio ir statramsčių skerspjūvio aukščio

Šiame poskyryje pateikiami sienos stiprumo bei standumo priklausomybės nuo statramsčių išdėstymo žingsnio, statramsčių skerspjūvio aukščio skaičiavimo rezultatai ir jų analizė.

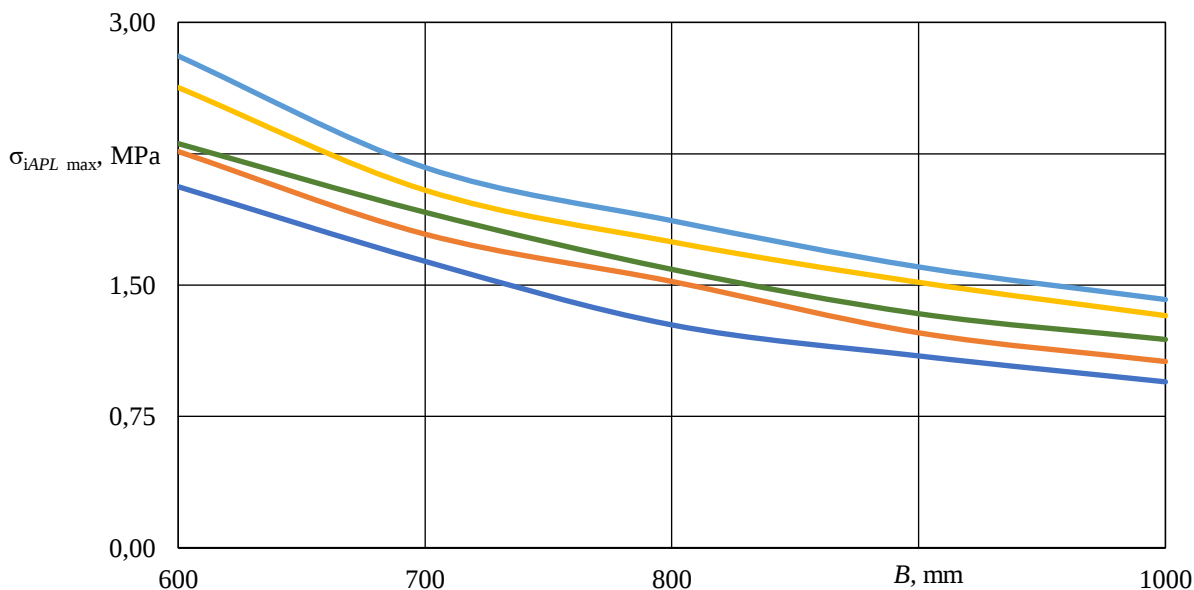
Skaičiavimai atliekami, kai statramsčių žingsnis B kinta nuo 600 mm iki 1000 mm kas 100 mm, o statramsčio skerspjūvio aukštis h_1 kinta nuo 150 mm iki 250 mm kas 25 mm. Skydo plokštės jungtis tarpo tarp statramsčių viduryje ($x/B = 0,5$).



36 pav. Laikančiosios sienos skydo statramsčių išdėstymo įtempių priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių (žr. 11 pav.) $\sigma_{IST, \max}$, MPa: ■ – $h_1 = 150$ mm; ■ – $h_1 = 175$ mm; ■ – $h_1 = 200$ mm; ■ – $h_1 = 225$ mm; ■ – $h_1 = 250$ mm

Grafike (žr. 36 pav.) pateikiama didžiausių įtempių $\sigma_{IST, \max}$ priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių B ir statramsčių aukščio h_1 . Analizei pasirenkamos penkios skirtingos statramsčių aukščio reikšmės: $h_1 = 150$ mm, $h_1 = 175$ mm, $h_1 = 200$ mm, $h_1 = 225$ mm, $h_1 = 250$ mm. Visais nagrinėjamais aukščių atvejais pastebima bendra įtempių kaitos tendencija, kad, didėjant atstumui tarp statramsčių nuo 600 mm iki 1000 mm, įtempiai mažėja. Šis mažėjimas yra ryškiausias mažesnio aukščio statramsčiams ($h_1 = 150$ mm), kuriems pradinis įtempių lygis yra didžiausias ($\sigma_{IST, \max} \approx 4,8$ MPa), kai atstumas tarp statramsčių B 600 mm. Didinant statramsčių skerspjūvių aukštį iki $h_1 = 250$ mm, įtempiai tampa mažesni ir kreivėse atvaizduojamas tolygesnis mažėjimas. Didinant atstumą tarp statramsčių B įtempiai proporcingai mažėja. Didesniuose atstumuose tarp statramsčių (pvz. nuo 900 mm) įtempių vertės yra ne tik mažesnės, bet pastebima ir lėtesnė bei tolygesnė įtempių mažėjimo kaitos tendencija. Tai patvirtina, kad didesni statramsčių skerspjūvių aukščiai padeda sumažinti įtempių koncentraciją ir užtikrina geresnį ir pastovesnį konstrukcijos stabilumą. Grafike taip pat matoma, jog mažesnio aukščio statramsčiai ($h_1 = 150$ mm) yra jautresni atstumo tarp statramsčių B pokyčiams, todėl jų įtempių reikšmės mažėja greičiau. Didesnio aukščio statramsčiai ($h_1 = 250$ mm) padeda užtikrinti ne tik mažesnius įtempius, bet ir tolygesnį jų pasiskirstymą visuose atstumo intervaluose. Apibendrinant galima teigti, jog, siekiant sumažinti įtempio vertes ir užtikrinti tolygesnį konstrukcijos stabilumą, yra tikslinga naudoti didesnio aukščio

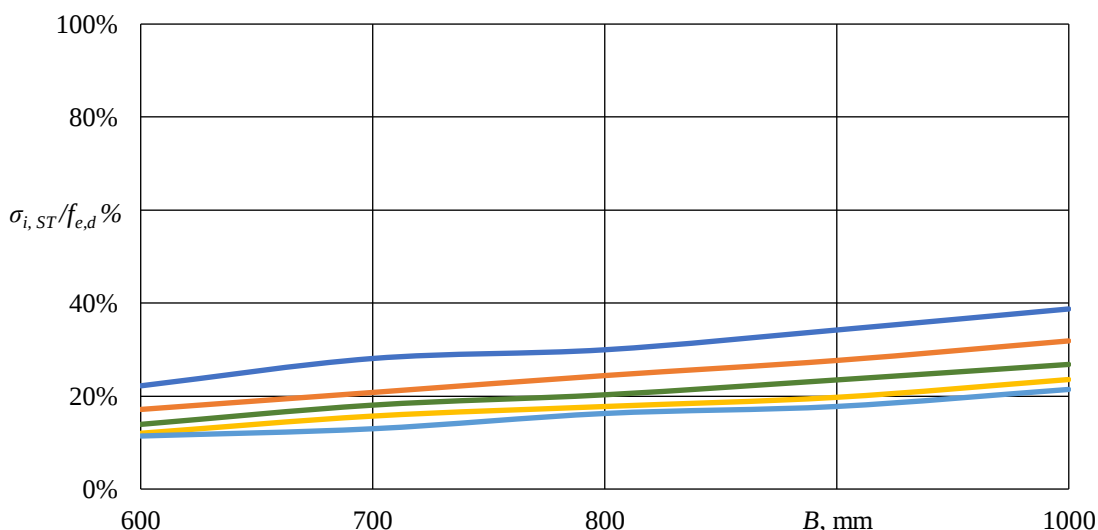
statramsčius ($h_1 \geq 200$ mm). Taip pat svarbu akcentuoti, jog, itin svarbu yra pasirinkti optimalų atstumo tarp statramsčių intervalą nuo 800 mm – 1000 mm, kadangi šis parametras taip pat padeda tolygiau paskirstyti apkrovas ir sumažinti įtempių intensyvumą.



37 pav. Laikančiosios sienos skydo apatinės lentos didžiausių įtempių priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių skydo apatinėje lentoje (žr. 11 pav.) $\sigma_{iAPL, max}$, MPa: ■ – $h_1 = 150$ mm; ■ – $h_1 = 175$ mm; ■ – $h_1 = 200$ mm; ■ – $h_1 = 225$ mm; ■ – $h_1 = 250$ mm

Grafike (žr. 37 pav.) atvaizduojama didžiausių įtempių $\sigma_{iAPL, max}$, priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių B skydo apatinėje lentoje, kai naudojami skirtingi statramsčių aukščiai h_1 . Analizei pasirenkami šie statramsčių aukščiai 150 mm, 175 mm, 200 mm, 225 mm, 250 mm. Šiame paveiksle atvaizduojamo grafiko pagalba galima įvertinti, kaip apkrovos pasiskirstymas ir įtempiai kinta, didėjant atstumui tarp statramsčių, ir keičiant statramsčių aukščius. Matoma, kad visais atvejais, didinant atstumą tarp statramsčių B nuo 600 mm iki 1000 mm, įtempiai mažėja. Mažiausio aukščio statramsčiams ($h_1 = 150$ mm), pradinis įtempis yra didžiausias ($\sigma_{iAPL, max} \approx 1,8 - 2,8$ MPa), kai atstumas tarp statramsčių yra 600 mm. Didinant atstumą tarp statramsčių, įtempiai reikšmingai mažėja, tačiau, kai pasiekama atstumo tarp statramsčių vertė 900 mm, įtempio mažėjimo greitis sulėtėja. Didinant statramsčių aukštį, įtempiai tampa mažesni. Pavyzdžiui, $h_1 = 250$ mm kreivė demonstruoja žemiausią įtempio lygį visame atstumo tarp statramsčių intervale, o pradinė reikšmė, kai atstumo tarp statramsčių vertė 600 mm, yra žymiai mažesnė nei kitų mažesnio aukščio statramsčių. Pastebima, kad mažesnio aukščio statramsčiai ($h_1 = 175$ mm ir $h_1 = 200$ mm) yra jautresni atstumo tarp statramsčių pokyčiams ir jų įtempiai mažėja greičiau. Tuo tarpu didelio aukščio statramsčiai ($h_1 = 250$ mm) padeda užtikrinti mažesnius įtempimus ir jų mažėjimas su atstumo tarp statramsčių didėjimu yra žymiai tolygesnis. Kai atstumo tarp statramsčių vertė pasiekia 1000 mm, įtempių vertės tampa panašios, nepriklausomai nuo statramsčių aukščio. Rezultatai parodo, jog, siekiant sumažinti įtempimus skydo apatinėje lentoje bei užtikrinti konstrukcijos stabilumą, tikslinga naudoti didesnio aukščio statramsčius ($h_1 \geq 225$ mm) ir pasirinkti optimaliausią atstumą tarp jų intervale nuo 900 mm iki 1000 mm. Šie įvardintieji parametrai padeda tolygiau paskirstyti apkrovas ir sumažinti įtempių intensyvumą apatinėje lentoje.

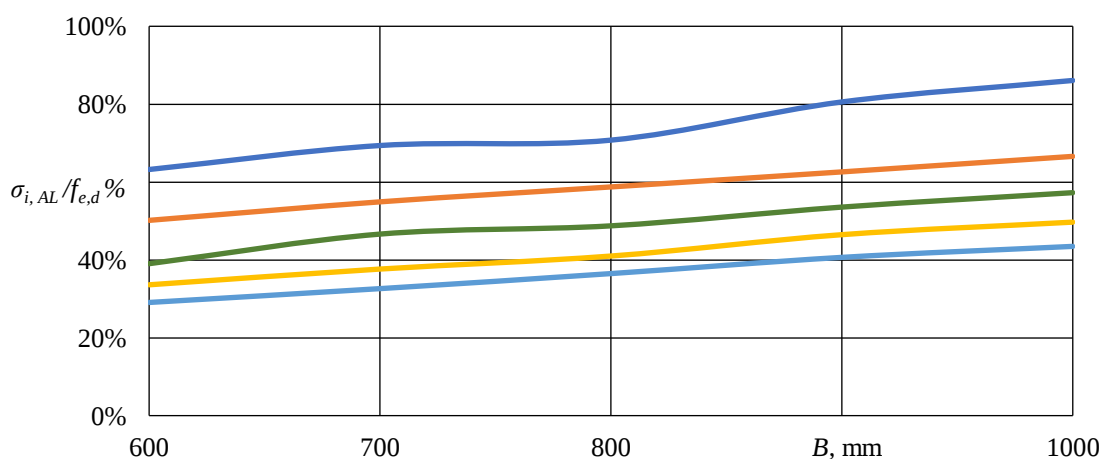
Laikančiosios sienos skydo statramsčių išdėstymo įtempių priklausomybę nuo atstumo (įvertinant skirtingus skerspjūvio plotus) tarp statramsčių parodo išnaudojimo rodiklio vertė ($\sigma_i/f_{e,d}$) (žr. 38 pav.).



38 pav. Laikančiosios sienos skydo statramsčių išdėstymo įtempių priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių (žr. 11 pav.) $\sigma_i/f_{e,d}$ %: ■ – $h_1 = 150$ mm; ■ – $h_1 = 175$ mm; ■ – $h_1 = 200$ mm; ■ – $h_1 = 225$ mm; ■ – $h_1 = 250$ mm

Laikančiosios sienos skydo statramsčių didžiausias įtempis pasiekiamas, kai atstumas tarp statramsčių yra 1000 mm. Atstumui tarp statramsčių mažėjant, mažėja laikančiosios sienos skydo statramsčių įtempis ir mažiausias vertes įgyja, kai atstumas tarp statramsčių yra 600 mm. Pagal išnaudojimo rodiklio $\sigma_i/f_{e,d}$ skaitines reikšmes, pastebima, jog, esant 1000 mm atstumui tarp statramsčių, įtempis yra 3,5 karto didesnis nei esant 600 mm atstumui tarp statramsčių.

Laikančiosios sienos skydo apatinės lentos laikomosios galios (gniuždant skersai pluoštų) priklausomybę nuo atstumo tarp statramsčių parodo išnaudojimo rodiklio vertė $\sigma_{i,AL}/f_{e,d}$ % (žr. 39 pav.)



39 pav. Laikančiosios sienos skydo apatinės lentos laikomosios galios (gniuždant skersai pluoštų) išnaudojimo rodiklio priklausomybė nuo atstumo tarp statramsčių $\sigma_{i,AL}/f_{e,d}$ %
■ $h_1 = 150$ mm; ■ $h_1 = 175$ mm; ■ $h_1 = 200$ mm; ■ $h_1 = 225$ mm; ■ $h_1 = 250$ mm

Grafike (žr. 39 pav.) laikančiosios sienos skydo apatinės lentos laikomoji galia pakankama visais nagrinėjamais atvejais. Atstumui tarp statramsčių mažėjant, mažėja laikančiosios sienos skydo apatinės lentos laikomosios galios išnaudojimo rodiklis ir mažiausias vertes įgyja, kai atstumas tarp statramsčių yra 600 mm. Pagal išnaudojimo rodiklio $\sigma_{iAL}/f_{e,d}$ % skaitines reikšmes, pastebima, jog, esant 1000 mm atstumui tarp statramsčių, įtempis yra 30 % didesnis nei esant 600 mm atstumui tarp statramsčių.

3.7. Ekscentriškai tempiamų ir gniuždomų elementų analizė

Šiame poskyryje analizuojami pagrindiniai ekscentriškai tempiamų ir gniuždomų elementų parametrai. 4 lentelėje pateikiami statramsčio skerspjūvio (45×150 , 45×175 , 45×200 , 45×225 ir 45×250 mm) geometriniai parametrai. Be to, pateikiami klupumo koeficientai ir apkrovos rodikliai, kurie naudojami statramsčio tinkamumo vertinimui.

5 lentelė. Ekscentriškai tempiamų ir gniuždomųjų rodiklių, koeficientų ir sąlygų suvestinė [13]

Statramsčio rodiklis	Žymuo	Mato vnt.	Statramsčio skerspjūvio matmenys, cm, ($B=1000$ mm)				
			45×150	45×175	45×200	45×225	45×250
Skaičiuotinis ilgis	l_{ef}	cm	300	300	300	300	300
Skerspjūvio plotis	b	cm	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Skerspjūvio aukštis	h	cm	15	17,5	20	22,5	25
Skerspjūvio plotas	A	cm ²	67,5	78,75	90	101,25	112,5
Skerspjūvio inercijos momentas	I_x	cm ⁴	1266	2010	3000	4271	5859
Skerspjūvio inercijos spindulys	i_x	cm	4,33	5,05	5,77	6,50	7,22
Statramsčio liaunis	λ	-	69,3	59,4	52,0	46,2	41,6
Klupumo koeficientas	φ_x	-	0,616	0,718	0,784	0,829	0,862
Medžiagos savybės rodiklio dalinis koeficientas	k_M	-	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
Klupumo koeficientas	φ_M	-	0,712	0,610	0,534	0,475	0,427
Santykis: $1/(\min(\varphi_x, \varphi_M))$	-	-	1,623	1,639	1,873	2,107	2,341
Apkrovos rodiklis	-	-	2,663	2,669	2,6636	2,668	2,639
Sąlyga: Apkrovos rodiklis $> 1/(\min(\varphi_x, \varphi_M))$	-	-	Tenkinama	Tenkinama	Tenkinama	Tenkinama	Tenkinama

Apkrovos rodiklis ir sąlyga: Apkrovos rodiklio reikšmės išlieka artimos 2,663 visiems skerspjūviams, kas parodo tinkamumą konstrukcinei apkrovai. Sąlyga „Apkrovos rodiklis“ > 1 yra įvykdyta visais atvejais, o tai reiškia, jog visi analizuojami skerspjūviai atitinka stabilumo reikalavimus.

Išvados

1. Labiausiai apkrauta karkasinio pastato laikančiųjų sienų statramsčio sritis, kurioje kyla didžiausi įtempių intensyvumai, (nepriklausomai nuo skydo plokščių sujungimo padėties), yra statramsčio kontakto su apatine skydo lenta srityje.
2. Tinkamiausios karkasinio pastato laikančiosios sienos plokščių jungimo vietos pozicijos yra ketvirtadalyje atstumo tarp karkaso statramsčių, o atstumai tarp statramsčių turėtų būti 600 mm.
3. Siekiant užtikrinti tolygų apkrovos pasiskirstymą, mažiausias įtempio ir įlinkio vertes bei laikančiosios sienos stabilumą, rekomenduojama naudoti plokštes, kurių storis yra nuo 35 mm iki 40 mm, dygius (išdrožas), didesnius nei 15 mm.
4. Atlikus ekscentriškai tempiamų ir gniuždomų elementų skaičiavimus, galima teigti, jog didesni skerspjūvio matmenys, ypač aukštis, turi lemiamą įtaką skerspjūvio standumui ir stabilumui. Statramstis (kurio matmenys 45 mm × 250 mm) pasižymi mažiausiu liaunumo rodikliu bei didžiausiu atsparumu klupumui, todėl šie matmenys yra optimalūs siekiant užtikrinti konstrukcijos stabilumą.

Literatūros sąrašas

1. EUROPOS KOMISIJA. *Europos žaliasis kursas* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-11-13]. Prieiga per: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_lt.
2. AHMED, S., AROCHO, I. Feasibility assessment of mass timber as a mainstream building material in the US construction industry: Level of involvement, existing challenges, and recommendations. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* [interaktyvus]. 2021, 26.2, 04021008 [žiūrėta 2023-11-13]. Prieiga per: Google Scholar.
3. EUROPEAN COMMISSION. *In Focus: Energy Efficiency in Buildings* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en.
4. CHEL, A., KAUSHIK, G. Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal* [interaktyvus]. 2018, 57.2, 655–669 [žiūrėta 2023-11-10]. Prieiga per: Google Scholar.
5. JOHANIDES, M. et al. Analysis of rotational stiffness of the timber frame connection. *Sustainability* [interaktyvus]. 2020, 13.1, 156 [žiūrėta 2023-11-11]. Prieiga per: Google Scholar.
6. BHANDARI, S. et al. A review of modular cross laminated timber construction: Implications for temporary housing in seismic areas. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2023, 63, 105485 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
7. GASPARRI, E., AITCHISON, M. Unitised timber envelopes. A novel approach to the design of prefabricated mass timber envelopes for multi-storey buildings. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2019, 26, 100898, ISSN 2352-7102 [žiūrėta 2023-11-14] <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100898>. Prieiga per: Science Direct.
8. NAVARATNAM, S., NGO, T., GUNAWARDENA, T., & HENDERSON, D. Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia [interaktyvus]. *Buildings*, 2019, 9.2: 38 [žiūrėta 2024-01-11]. Prieiga per: Google Scholar.
9. KLASTERIS: *Karkasinių namų statyba* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: <http://www.klasteris.lt/is.php?modulioid=294&id=1>.
10. BAHRAMI, A., JAKOBSSON, J., SÖDERROOS, T. Factors influencing choice of wooden frames for construction of multi-story buildings in Sweden [interaktyvus]. *Buildings*, 2023, 13.1: 217 [žiūrėta 2024-01-11]. Prieiga per: Google Scholar.
11. APSTATYBA. *Kolonų karkasiniai pastatai* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-12-09]. Prieiga per: <https://www.apstatyba.lt/kolonu-karkasiniai-pastatai-fermu-saugyklu-gamyklu-sandeliu-ukiniu-pastatu-irengimui-1102>.
12. DMITRIEVA, T. L., et al. Current approaches to the modeling and calculation wood frame building, taking into account the joint work of the load-bearing elements of the frame and cladding. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. p. 012089. (žiūrėta 2024 12 07)
13. Lietuvos Respublikos statybos techninis reglamentas STR 2.05.07:2005. Medinių konstrukcijų projektavimas. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005
14. RAMUKEVIČIUS, D., GURSKIS, V., ŠADZEVIČIUS, R. Aplinkai draugiškų statybinių medžiagų iš atsinaujinančių žaliavų panaudojimo galimybės. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos* [interaktyvus]. 2019, 23. [žiūrėta 2024-01-08]. Prieiga per: Google Scholar.

15. RAMUKEVIČIUS, D., VILIMAS, A. Alternatyvių statybinių medžiagų panaudojimo statyboje galimybės. *Mokslinės konferencijos „pramonės ir verslo sinergija tvariai ateičiai“ recenzuotų straipsnių rinkinys, 14* [interaktyvus]. 2022, 14-17. [žiūrėta 2023-12-09]. Prieiga per: Google Scholar.
16. MNGA. *Karkasiniai namai* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-12-09]. Prieiga per: http://www.mnga.lt/karkasiniai_namai.
17. ZAKHAROVA, N. Y., VLASOVA, I. M., LUKYANOV, R. L. Technologies for decorating the walls' surface in timber-frame housing construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. IOP Publishing, 2020, 022075 [žiūrėta 2023-11-12]. Prieiga per: Google Scholar.
18. KARKASAI: *Karkasinių namų statybos technologijos* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-11-10]. Prieiga per: <https://www.karkasai.lt/karkasiniu-namu-statybos-technologijos/>.
19. KRIAUTĖ. *Karkasinių pastatų pavyzdžiai ir konstrukcijų elementai* [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2024-12-11]. Prieiga per: <https://kriaute.lt/skydiniai-namai/>
20. FERDOUS, Wahid, et al. New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2019, 183, 883–893 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
21. THAI, Huu-Tai, NGO, Tuan, UY, Brian. A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, 1265–1290 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
22. OKTAVIANUS, Y. et al. Structural behaviour of prefabricated load bearing braced composite timber wall system. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2018, 176, 555–568 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
23. POTSELUYKO, L. et al. Game-like interactive environment using BIM-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector. *Automation in Construction* [interaktyvus]. 2022, 142, 104496 [žiūrėta 2023-11-10]. Prieiga per: Google Scholar.
24. MICHÁLKOVÁ, D., ĎURICA, P. Experimental verification of thermal insulation in timber framed walls. *Materials* [interaktyvus]. 2022, 15.6, 2040 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
25. STEPIEN, Anna, et al. Sustainable construction – Technological aspects of ecological wooden buildings. *Energies* [interaktyvus]. 2022, 15.23, 8823 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
26. SCOUSE, Adam, et al. Regional and net economic impacts of high-rise mass timber construction in Oregon. *Sustainable Cities and Society* [interaktyvus]. 2020, 61, 102154 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
27. CHANG, S. J., SEUNGHWAN W., SUMIN K. Thermal bridging analysis of connections in cross-laminated timber buildings based on ISO 10211 [interaktyvus]. *Construction and Building Materials*, 2019, 213: 709-722 [žiūrėta 2024-01-11]. Prieiga per: Google Scholar.
28. DUTU, A., YAMAZAKI, Y., SAKATA, H. Shear spring model proposed for seismic evaluation of a timber framed masonry infilled wall. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2018, 167, 671–682 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
29. NAVARATNAM, S. et al. Effect of roof to wall connection stiffness variations on the load sharing and hold-down forces of Australian timber-framed houses. *Structures* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, 141–150 [žiūrėta 2023-11-10]. Prieiga per: Google Scholar.
30. ALWISY, A., BU HAMDAN, S., BARKOKEBAS, B., BOUFERGUENE, A., & AL-HUSSEIN, M. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for

- modular residential buildings [interaktyvus]. *International Journal of Construction Management*, 2019, 19.3: 187-205 [žiūrėta 2024-01-11]. Prieiga per: Google Scholar.
31. KIAULAKIS, A., VILUTIENĖ, T., MIGILINSKAS, D. Statinio informacinio modeliavimo taikymo efektyvumo vertinimo kriterijai ir atvejo analizė / The criteria for the assessment of building information modeling application efficiency and case study. *Mokslas: Lietuvos ateitis* [interaktyvus]. 2018, 10 [žiūrėta 2023-12-10]. Prieiga per: Google Scholar.
 32. ZIGMUND, V., ANTUCHEVIČIENĖ, J., MIGILINSKAS, D. BIM-M duomenų modelio taikymo analizė. 2021 [žiūrėta 2023-12-10]. Prieiga per: Google Scholar.
 33. BORRMANN, A. et al. *Building information modeling: Why? What? How?* Springer International Publishing, [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2023-12-10]. Prieiga per: Google Scholar.
 34. SINKEVIČ, T. Research of evaluation significance criteria for BIM structural model variants. *Mokslas–Lietuvos ateitis / Science–Future of Lithuania* [interaktyvus]. 2022, 14 [žiūrėta 2023-12-10]. Prieiga per: Google Scholar.
 35. CHEN, L. K., YUAN, R. P., JI, X. J., LU, X. Y., XIAO, J., TAO, J. B., ... & JIANG, L. Z.. Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic [interaktyvus]. *Automation in Construction*, 2021, 124: 103555 [žiūrėta 2024-01-11]. Prieiga per: Google Scholar.
 36. *CONSTRUCTION. Pastato konstrukcijų klasifikacija* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-11-10]. Prieiga per: <https://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/95/1/0/1/article/597/pastato-konstrukciju-klasifikacija>.
 37. SKRIDAILAITĖ, L., KELPŠIENĖ, L., MOCKIENĖ, E. Laikančiųjų konstrukcijų sandūrų termografinis tyrimas. *Jaunųjų mokslininkų darbai* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: Google Scholar.
 38. BROL, J., KUBICA, J., WEGLORZ, M. The problem of compressive strength in direction perpendicular to the grains on example of tests of the load-bearing capacity of the continuously supported timber-frame sill plates. *Materials* [interaktyvus]. 2020, 13.5, 1160 [žiūrėta 2023-11-13]. Prieiga per: Google Scholar.
 39. LST EN 1995-1-1. *Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos Departamentas, 2007.
 40. GEORGESCU, S. et al. A Sustainable approach to build insulated external timber frame walls for passive houses using natural and waste materials. *Forests* [interaktyvus]. 2022, 13.4, 522 [žiūrėta 2023-11-13]. Prieiga per: Google Scholar.
 41. ALINOORI, Farnaz, et al. Experimental investigation on load bearing capacity of full scaled light timber framed wall for mid-rise buildings. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, 231: 117069 [žiūrėta 2024-12-07]. Prieiga per: Google Scholar.
 42. PILOTO, Paulo AG; FONSECA, Elza MM. Load Bearing Capacity of Light Timber Frame Walls Under Fire. *Mathematics in Computer Science* [interaktyvus]. 2022, 16.1: 8 [žiūrėta 2024-12-07]. Prieiga per: Google Scholar.
 43. Lietuvos Respublikos statybos techninis reglamentas STR 2.05.04:2003. *Poveikiai ir apkrovos*. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2003
 44. Steico.com. *Declaration of performance no.01-0015-06* [interaktyvus]. 2018-09-03 [žiūrėta 2024-10-07]. Prieiga:
https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/4028b6097384810e01749636a27639d1/STEICOuniversal_DoP_EN13171_01-0015.pdf