



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Gyvenamosios paskirties konteinerinio modulio konstrukcijos optimizavimas

Baigiamasis magistro projektas

Lukas Juška
Projekto autorius

Lekt. Evaldas Narvydas
Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Gyvenamosios paskirties konteinerinio modulio konstrukcijos optimizavimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Lukas Juška

Projekto autorius

Lekt. Evaldas Narvydas

Vadovas

Doc. Saulius Diliūnas

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lukas Juška

Gyvenamosios paskirties konteinerinio modulio konstrukcijos optimizavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Luko Juškos, baigiamasis projektas tema „Gyvenamosios paskirties konteinerinio modulio konstrukcijos optimizavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

Lukas Juška

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui (-ei) – Lukui Juškai

1. Projekto tema –

Gyvenamosios paskirties konteinerinio modulio konstrukcijos optimizavimas

(Lietuviškai)

The Optimization of Residential Container Module Structure

(Angliškai)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Projekto tikslas – optimizuoti konteinerinio modulio konstrukciją, siekiant sumažinti medžiagų sąnaudas, išlaikant privalomus standartų ir techninių reglamentų reikalavimus.

Uždaviniai:

- 1) Atlikti konteinerinių modulių konstrukcijos analizę.
- 2) Nustatyti apkrovų derinius, veikiančius pasirinktą konstrukciją.
- 3) Identifikuoti optimizuojamus objekto parametrus ir pasirinkti optimizavimo būdą.
- 4) Atlikti galutinės konstrukcijos patikrinamuosius skaičiavimus.

3. Pradiniai projekto duomenys –

Gabaritiniai matmenys, mm: ilgis – 6050, plotis – 2430, aukštis – 2795. Sniego apkrova $s = 1,60$ kN/m² (II – sniego rajonas), vėjo ataskaitinis greitis $v_{ref} = 24$ m/s (I – vėjo greičio rajonas), naudojimo apkrovos: $q_k = 1,5$ kN/m², $Q_k = 2,0$ kN/m², A kategorija.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Apkrovos pagal STR 2.05.04:2003. Naudojama programinė įranga: SolidWorks, Autodesk Robot structural analysis, AutoCAD.

Projekto autorius

Lukas Juška

2020 11 06

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Vadovas

Evaldas Narvydas

2020 11 06

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Krypties studijų
programų vadovė

Regita Bendikienė

2020 11 06

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Juška Lukas. Gyvenamosios paskirties konteinerinio modulio konstrukcijos optimizavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Evaldas Narvydas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: gyvenamasis konteineris, modulinė konstrukcija, konstrukcijų analizė, optimizavimas.

Kaunas, 2021. 55 p.

Santrauka

Kaip pastatų tipas, metaliniai konteineriniai nameliai – moduliai, pasirodė prieš daugiau nei dešimtmetį ir buvo greitai pripažinti tarptautiniu mastu. Pastaruoju metu jų populiarumas vis auga, daugėja ir panaudojimo sričių. Tokio tipo nameliai naudojami laikinose statybvietėse, karių apgyvendinimui tiek vietiniame lygmenyje, tiek, kaip viešieji pastatai ar įmonių ofisai. Konteinerinių namelių konstrukcija yra nusistovėjusi ir ilgą laiką nekintanti, o naujų medžiagų panaudojimas skatina optimizuoti ir namelio konstrukciją. Šia tema nagrinėti tyrimai aprašo ir analizuoja tokių konteinerių pritaikymo galimybes, jų modifikavimą specialioms užduotims, tačiau mažai dėmesio skiriama konstrukcijos atnaujinimui.

Projekto tikslas – optimizuoti konteinerinio modulio konstrukciją, siekiant sumažinti medžiagų, gamybos ir surinkimo kaštus, išlaikant privalomus standartų ir techninių reglamentų reikalavimus.

Magistro baigiamajame projekte apžvelgta su panašiais tyrimais susijusi literatūra, nagrinėjanti konteinerinių gyvenamųjų modulių pritaikymo galimybes ir konstrukcijos ypatumus. Taip pat, apžvelgti apkrovų bei konstrukciniai reikalavimai, taikomi pastatams, nustatyta kokias sniego, vėjo ir naudojimo apkrovas turi atlaikyti namelio konstrukcija. Numatytos konstrukcinių elementų įlinkių ribinės vertės bei patikimumo koeficientai.

Išanalizavus statinio konstrukciją, parinkti optimizuojami elementai. Panaudojant *SolidWorks* programą atlikti atitinkamų elementų stipruminiai skaičiavimai. Gautos ribinės įlinkių ir atsargos koeficientų reikšmės, kurios panaudotos, kaip optimizavimo uždavinio apribojimai. Atlikus elementų skerspjūvio optimizavimą, namelio masė sumažėjo 84 kg. Darbe, taip pat, atlikti templės mazgo parinkimo skaičiavimai.

Gavus galutinius elementų skerspjūvių parametrus, panaudojant programą *Robot Structural Analysis* atlikti visos konstrukcijos patikrinamieji skaičiavimai. Gauti rezultatai parodė, kad visų elementų skerspjūviai atitinka stiprumo ir stabilumo reikalavimus pagal Europos standartų kodą EN 1990:2002.

Juška Lukas. The Optimization of Residential Container Module Structure. Master's Final Degree Project / supervisor lekt. Evaldas Narvydas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: residential container, modular structure, structural analysis, optimization.

Kaunas, 2021. 55 p.

Summary

As a type of building, metal container houses – modules, appeared more than a decade ago and were quickly recognized internationally. Recently, their popularity has grown and also the areas of application are increasing. This type of building is used on temporary construction sites, to accommodate soldiers both locally and during international operations, and is used as public buildings or corporate offices. The structure of container houses has settled and has not changed for a long time. The use of new materials encourages the optimization of the module structure. Research on this topic describes and analyzes the application possibilities of such containers, their modification for special tasks, but little attention is paid for the renewal of the structure.

The aim of this project is to optimize the structure of the container module in order to reduce the costs of materials, production and assembly, while maintaining the mandatory requirements of standards and technical regulations.

In the Master Thesis the literature related to similar research, examining the possibilities of application of residential container modules and structure features is reviewed. Also, an overview of the loads and structural requirements applied to buildings that determine what snow, wind and operational loads the structure of the module must withstand. Deflection limits and reliability coefficients of structural elements are provided.

After analyzing the structure of the building, the optimized elements were selected. Strength calculations of the respective element were performed using SolidWorks. Boundary values of deflection and reserve ratio were obtained and later used as constraints of the optimization task. The weight of the module was reduced by 84 kg after optimizing the cross-section of the elements. The calculations of tension rod node selection were also made.

Verification calculations of the entire structure using Robot Structural Analysis were made after receiving the final cross-sectional parameters of the elements. The obtained results showed that the cross-sections of all elements meet the requirements for strength and stability according to European standard Eurocode EN 1990:2002.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Konteinerinių modulių panaudojimo galimybės	11
1.1. Karinių bazių infrastruktūros įrengimas	11
1.2. Konteinerių panaudojimas pabėgėlių apgyvendinimui	12
1.3. Laikinam žmonių apgyvendinimui stichinės nelaimių paliestuose regionuose.....	12
2. Konteinerinio modulio konstrukcijos analizė.....	13
2.1. Dugno konstrukcija	15
2.2. Stogo konstrukcija	15
2.3. Sienos ir kolonos	16
2.4. Modulių jungimas tarpusavyje	16
2.5. Transportavimas	17
2.6. Pamatų sprendimai	18
2.7. Medžiagos.....	18
3. Apkrovos ir apkrovų deriniai.....	20
3.1. Konstrukcijos savasis svoris	21
3.2. Naudojimo apkrova	21
3.3. Sniego apkrova	21
3.4. Vėjo apkrova	22
3.5. Papildomi komponentai ir skaičiavimai	24
4. Konstrukcijos optimizavimas	25
4.1. Dugno skersinių profilių optimizavimas	25
4.2. Stogo sijos optimizavimas	35
4.3. Templės mazgo parinkimas	44
5. Konstrukcijos patikrinamieji skaičiavimai.....	48
Išvados	52
Literatūros sąrašas	53

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Konteinerių dydžiai	13
2 lentelė. Reikalavimai plieno stipriui [20].....	18
3 lentelė. Klimato agresyvumo klasės.....	19
4 lentelė. Apkrovos ir apkrovų deriniai	21
5 lentelė. Dugno plokščių charakteristikų palyginimas	27
6 lentelė. Dugno komponentų savojo svorio apkrovos skaičiavimas	27
7 lentelė. Z profilio optimizavimo parametrų lentelė.....	30
8 lentelė. Pirminių ir optimizuoto profilio parametrų lentelė	34
9 lentelė. Stogo konstrukcijos elementų savojo svorio skaičiavimas	36
10 lentelė. Sijos optimizavimo parametrų lentelė	40
11 lentelė. Pirminių ir optimizuoto profilio parametrų lentelė	43
12 lentelė. Templės plokštelių palyginimas	47
13 lentelė. Apkrovos atvejų derinių suvestinė	50

Paveikslų sąrašas

1 pav. Standartinis ISO 20 pėdų konteineris.....	13
2 pav. Konteinerinio modulio vizualizacija	13
3 pav. konstrukcinių elementų sujungimo tipai: a) standūs rėmai; b) pilnai šarnyrinis sujungimas	14
4 pav. Konteinerio konstrukcijos principinė schema	15
5 pav. Stogų tipai: a) dvišlaitis; b) vienslaitis	16
6 pav. Modulinį pastatų jungimo tipai: a) koridorinė sistema; b) jungimas demontuojant sienas.....	16
7 pav. Modulinis pastatas iš konteinerių.....	17
8 pav. Pilnai surinkto konteinerio transportavimas.....	17
9 pav. Konteinerių sukrovimas „Transpack“ būdu [8]	18
10 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai [28]	22
11 pav. Vėjo kryptis.....	23
12 pav. Dugno konstrukcijos profilių pavyzdžiai: a) Ω profilis b) Z profilis	26
13 pav. Z profilio kintamieji parametrai	29
14 pav. Z profilio apkrovos schema.....	30
15 pav. Z profilio skerspjūvio parametrai.....	31
16 pav. Z profilio apkrovos ir įtvirtinimai	32
17 pav. Pirminių parametų Z profilio įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas.....	32
18 pav. Pirminių parametų Z profilio poslinkių grafinis vaizdas	32
19 pav. Z profilio optimizavimo parametų lentelė	33
20 pav. Z profilio optimizavimo uždavinio SolidWorks aplinkoje rezultatai.....	33
21 pav. Galutinių parametų Z profilio įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas.....	34
22 pav. Galutinių parametų Z profilio poslinkių grafinis vaizdas	34
23 pav. Stogo apkrovos schema.....	35
24 pav. Gegnės apkrovos schema	37
25 pav. Sijos sukimo momento skaičiuojamoji schema	37
26 pav. Stogo sijos apkrova: a) schema; b) skerspjūvis	38
27 pav. Stogo sijos kintamųjų matmenų schema	39
28 pav. Stogo sijos skerspjūvio parametrai.....	40
29 pav. Stogo sijos apkrovos ir įtvirtinimai	41
30 pav. Pirminių parametų stogo sijos įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas	41
31 pav. Pirminių parametų stogo sijos poslinkių grafinis vaizdas.....	41
32 pav. Stogo sijos optimizavimo parametų lentelė	42
33 pav. Stogo sijos optimizavimo uždavinio SolidWorks aplinkoje rezultatai	42
34 pav. Optimizuotų parametų stogo sijos įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas	43
35 pav. Optimizuotų parametų stogo sijos poslinkių grafinis vaizdas	43
36 pav. Galutinių parametų stogo sijos skerspjūvio parametrai	44
37 pav. Konteinerių kėlimo būdai: a) keturių taškų tvirtinimas; b) skirstytuvas; c) kėlimo rėmas [33] .	45
38 pav. Konstrukcijos schema su templėmis	45
39 pav. Plokštelių tvirtinimo būdai: a) standus; b) šarnyrinis.....	46
40 pav. Standžiai tvirtinamos plokštelės įtempiai.....	46
41 pav. Šarnyriniu būdu tvirtinamos plokštelės įtempiai.....	46
42 pav. Modulio skaičiuojamoji schema.....	48
43 pav. Apkrovos: a) naudojimo ir b) sniego.....	48
44 pav. Vėjo apkrova	49
45 pav. Apkrovos atvejų derinių sudarymas	50
46 pav. Profilių stiprumo ir stabilumo tikrinimo rezultatai	51

Ivadas

ISO (*Tarptautinė standartizacijos organizacija*) konteineris - tai standartizuota daugkartinio naudojimo plieninė dėžė, skirta medžiagoms ir produktams laikyti bei transportuoti pasaulinėje intermodalinio krovinių transporto sistemoje. Šiais laikais ISO konteineriai naudojami ne tik kroviniams gabenti, taip pat, jie panaudojami kaip statybinis elementas. Kaip pastatų tipas, metaliniai konteineriniai nameliai – moduliai (toliau – konteineriniai moduliai) pasirodė prieš daugiau nei dešimtmetį ir buvo pripažinti tarptautiniu mastu [1]. P. Clark'o 1987 metų patentas yra pirmasis oficialus dokumentas, pabrėžiantis konteinerių panaudojimą gyvenamosios patalpoms [2]. Toks šio modulio panaudojimo būdas ypač išaugo per pastaruosius keletą metų.

Panašūs tyrimai apie konteinerių konstrukciją dažniausiai orientuojami į konteinerio technologijos tinkamumą [3, 4]. Kiti tyrimai orientuoti į patį gamybos procesą. Pavyzdžiui, M. Obrecht'o ir M. Knez'o tyrimas dėl paliekamo anglies dioksido pėdsako matavimo konteinerių gamybos metu [5]. Kiti nagrinėti tyrimai buvo labiau orientuoti į konteinerių modifikavimą specialioms funkcijoms atlikti, kaip pavyzdžiui, modulio padengto aliuminio plokštėmis atsparumas sprogimams [6]. Taip pat, analizuoti tyrimai, pabrėžiantys konteinerinių modulių svarbą ir ateities perspektyvas buvo orientuoti į namelių išdėstymo, ir jungimo tarpusavyje galimybes bei įrengiamų stovyklų struktūras [7, 8]. Tačiau pastebėta, kad yra mažai tyrimų, nagrinėjančių konteinerinių modulių konstrukcijas ir tobulinimo galimybes. Pastebėta, kad iš nagrinėtų straipsnių tik vienas magistrantas JAV panaudojo baigtinių elementų metodą jūrinio konteinerio konstrukcijos analizei [9]. Tačiau, kaip aprašoma šiame projekte, jūriniai konteineriai ir gyvenamosios paskirties konteineriniai moduliai skiriasi tiek savo konstrukcija, tiek panaudojimo pobūdžiu. Pasak S. Zhang'o, nepakanka tyrimų apie proceso saugumą, kai konteineriai transformuojami į namus [4]. Šiame projekte didesnis dėmesys skiriamas pačio modulio, naudojamo apgyvendinimui, konstrukcijos analizei, lyginamos moksliniuose straipsniuose aprašytos konstrukcijos su konkrečios įmonės gaminamais moduliais, siekiama sumažinti gamybos ir medžiagų sąnaudas.

Hipotezė – Pritaikant tobulėjančias technologijas ir gamybos procesus galima pagerinti gyvenamojo konteinerinio modulio konstrukciją ir surenkamumą, taip sumažinant gamybos sąnaudas.

Projekto tikslas – optimizuoti konteinerinio modulio konstrukciją, siekiant sumažinti medžiagų sąnaudas, išlaikant privalomus standartų ir techninių reglamentų reikalavimus.

Projekto tikslui įgyvendinti buvo iškelti šie uždaviniai:

1. Atlikti konteinerinių modulių konstrukcijos analizę.
2. Nustatyti apkrovų derinius, veikiančius pasirinktą konstrukciją.
3. Identifikuoti optimizuojamus objekto parametrus ir pasirinkti optimizavimo būdą.
4. Atlikti galutinės konstrukcijos patikrinamuosius skaičiavimus.

1. Konteinerinių modulių panaudojimo galimybės

Konteineriniai moduliai randami visame pasaulyje kaip laikinos statybos aikštelių sistemos, kioskai, sanitariniai mazgai, individualios gyvenamosios patalpos ir t.t. Konteineriniai moduliai dar vadinami, gyvenamaisiais konteineriais, konteinerių sistemomis, konteineriniais moduliais, mobiliais kambariais, metaliniais moduliais. Dėl aiškumo svarbu išsiaiškinti kas yra modulinis pastatas. Pasak, MDI (*Modulinių pastatų instituto*): „modulinis konstravimas yra procesas, kuriame pastatas yra gaminamas už statyb vietės ribų, kontroliuojamomis sąlygomis, naudojant tas pačias medžiagas ir projektuojamus tiems patiems reikalavimams ir standartams, kaip ir įprastiniai statomi pastatai – bet maždaug per pusę laiko“ [10]. Moduliai gaminami gamyklose, o vėliau statyb vietėje jungiami tarpusavyje.

Be įprastų paminėtų panaudojimo sričių, konteineriniai moduliai plačiai naudojami karinių bazių infrastruktūros vystymui, laikinam pabėgėlių apgyvendinimui, žmonių prieglobsčiui stichinių nelaimių paliestuose regionuose. Pagrindinės šį populiarumą lemiančios priežastys yra greitas ir paprastas surinkimas, trumpas gamybos laikas, pakankamas stiprumas, lengvas transportavimas bei sąlyginai mažesnės išlaidos.

Konteinerinių modulių pranašumai:

- **mobilumas.** Konstrukciją sudaro plieninis rėmas, kurį papildo įvairūs elementai, kaip medis, šilumos izoliacinės priemonės ir t.t. Palyginti su įprastais pastatais, kurie negali būti perkelti kai yra pastatomi, konteinerių konstrukcijos yra mobilesnes ir lengvai kilnojamos [11];
- **maža kaina ir greita gamyba gamyklose.** Modulių kainos svyruoja priklausomai nuo įrengimo, patalpų skaičiaus, sanitarinių mazgų, pageidaujamo apdailos medžiagų ir t.t. Vidutinė tokio modulio 1 m² kaina yra apie 350 – 500 €. Palyginimui už senesnės statybos butus 2020 metų pirmoje pusėje sostinėje mokėta vidutiniškai po 1516 €/m², kituose didmiesčiuose po beveik 954 €/m²;
- **modulinis principas.** Konstrukcija suvirinama arba jungiama šarnyriniu būdu. Šie procesai yra greiti statybų metu. Nameliai jungiami tarpusavyje, naudojant standartizuotas specialias tvirtinimo priemones. Jų pagalba galima greitai surinkti įvairių formų pastatus;
- **gera šiluminė izoliacija.** Modulių šiltinimui naudojamos įvairios medžiagos: mineralinė vata, poliuretano putos, poliuretano plokštės, daugiasluoksnės izoliacinės plokštės „Sandwich“. Šilumos izoliacija yra efektyvi, patalpos greitai prišildomos įvairiais būdais. Šiluminė izoliacija yra geresnį lyginant su tradiciniais mūro konstrukcijos namais [11];
- **personalizuotas ir lengvai keičiamas patalpų išdėstymas.** Konteinerių viduje lengva atlikti sienų montavimo korekcijas, dažnai be profesionalų pagalbos;
- **Atsparumas vėjui, žemės drebėjimams ir kitoms nelaimėms,** todėl yra naudojami pavojinguose regionuose nuolatiniam ar laikinam apgyvendinimui po nelaimių [11].
- **mažas pamatų spaudimas.**

1.1. Karinių bazių infrastruktūros įrengimas

Tarptautinės taikos palaikymo operacijos reikalauja didelio įrangos ir personalo kiekio, kuris turi būti gabenamas į labai nestabilius pasaulio regionus. Kariniai daliniai labiausiai pažeidžiami ilgalaikių stovyklaviečių įkūrimo proceso metu, todėl būtina kuo greičiau gauti reikiamą apsaugą. Kadangi daugeliu atvejų, apgyvendinimo sistemos yra pervežamos tolimais atstumais, konstrukcijos svoris

yra kritinis parametras. Dėl šios priežasties apgyvendinimui dažniausiai naudojami konteineriniai, kurie remiasi lengvasvorių konstrukcijų principais ir yra lengvai transportuojami. Įprasti moduliai neatitinka būtinų saugumo reikalavimų, todėl yra papildomai apsaugomi arba modifikuojami. Moduliniai konteineriniai pastatai statomi ne tik konfliktų zonose, tai populiaru alternatyva kareivių apgyvendinimui ir išsivysčiusiose valstybėse, taip pat, Lietuvoje. Tokie pastatai stovi Rukloje „Didžiojo Lietuvos etmono Jonušo Radvilos mokomajame pulke“, Tauragėje „Kęstučio motorizuotame pėstininkų batalione, Pajūryje, kur įsikurs „Motiejaus Pečiulionio artilerijos batalionas. Panašių kareivinių projektai vystomi ir kituose daliniuose.

1.2. Konteinerių panaudojimas pabėgėlių apgyvendinimui

Virš milijono pabėgėlių ir imigrantų užplūdo Graikiją nuo 2015 m. pabėgėlių krizės pradžios [12]. Europos Sąjunga ėmėsi spręsti didžiulę pabėgėlių apgyvendinimo problemą. Siekiant užtikrinti pagrindinius žmogiškuosius pabėgėlių poreikius, reikia greitai gaminamo, patogaus ir svarbiausia pigaus būsto. Stovyklas siūloma statyti ar rekonstruoti per modulinę sistemą, kadangi šiuos reikalavimus atitinka konteineriniai gyvenamieji pastatai [13]. Pirmiausia, stovyklas galima itin greitai įrengti tose vietose kur didžiausi srautai, nes moduliai greitai transportuojami ir montuojami. Pasikeitus poreikiams stovyklas galima perkelti iš vienos vietos į kitą. Antra, labai svarbus stovyklose gyvenančių žmonių skaičius. Imigrantų šeimose žmonių skaičius svyruoja nuo dviejų iki šešiolikos [13]. Atsižvelgiant į pabėgėlių psichologinę būklę, yra svarbu šeimas apgyvendinti kartu. Moduliai per trumpą, iki kelių valandų laikotarpį, labai paprastai sujungiami tarpusavyje, taip padidinant arba sumažinant patalpas, kas svarbu norint apgyvendinti šeimas kartu. Projektuojant stovyklavietes, analizuojamos pabėgėlių socialinės struktūros ir santykiai tarp klanų ar genčių. Todėl tradiciškai, UNHCR (*United Nations High Commissioner for Refugees*) laikosi modulinių teritorijų planavimo principo, pradedant nuo šeimos, kaip mažiausio planavimo vieneto [14].

1.3. Laikinam žmonių apgyvendinimui stichinės nelaimių paliestuose regionuose

Stichinės nelaimės, nepaisant pažangių technologijų, išlieka neišvengiamu pavojumi žmonėms. Potvyniai, žemės drebėjimai, uraganai ir t.t pasaulį kamuoja nuolat ir įvyksta netikėtai, todėl reikalauja greito atsako ir veiksmų. Dauguma tokių nelaimių sugriauna žmonių namus. Po tokių nutikimų daug žmonių lieka be savo namų ir ieško prieglobsčio. Šiai problemai naudojami laikini būstai ar stovyklavietės. Laikini būstai būna įvairių tipų. Dažniausiai naudojami surenkami namai, metalinių karkasų namai, konteineriniai ar palapinės. Palyginti su metaliniais rėmais ir surenkamais namais, konteineriniai moduliai turi daug privalumų :surinkimo paprastumas, palyginti trumpas statybos laikotarpis, ir mažos išlaidos [15]. Didžiausias pranašumas lyginant su kitais laikinų pastatų tipais yra unikalus daugiaaukštis konstrukcinis pranašumas, gaunamas naudojant konteinerinius modulius [9]. Tai yra būtina, kai yra ribotas stovyklos žemės plotas. Be to, didelius kiekiu modulių konteinerių galima greitai jūra nugabenti į bet kurią pasaulio vietą. Konteineriniai yra priimtini, netgi prioretizuojami kaip prieglauda po stichinės nelaimės, bet kaip trumpalaikis sprendimas [7]. Pavyzdžiui, daugiau nei 50% žmonių apklaustų žmonių Indijoje jaučiasi saugiau gyvendami konteineriniame modulyje nei kito tipo laikiname name [16]. Konteineriniai, taip pat, ir Korėjoje naudojami kaip pirminis laikinas būstas nelaimių paveiktose vietose [15]. Kaip modulinė architektūra, konteineriniai nameliai atitinka būtinus reikalavimus, kurie reikalingi laiku suteikti laikiną būstą.

2. Konteinerinio modulio konstrukcijos analizė

Tarptautiniai jūrinių konteinerių dydžiai matuojami pėdomis. Dažniausiai pasitaikantys jūrinių konteinerių dydžiai yra 20 pėdų ir 40 pėdų. Pasitaiko ir kitokių dydžių konteinerių, pavyzdžiui, 10 ar 30 pėdų. Dauguma Europos įmonių, gaminančių gyvenamuosius konteinerius, taip pat, laikosi panašios sistemos [17]. Jūrinių konteinerių ir tokių pat gyvenamosios ar kitos paskirties analogų matmenys gali skirtis. Kai kurie gamintojai prisitaiko prie ISO standartinių matmenų, tačiau dauguma tuos matmenis pritaiko savo gamybos ypatumams, dažnai net gamina pagal individualius užsakymus. Standartiniai ISO 20 pėdų jūrinio konteinerio matmenys 6058x2438x2591 mm [11, 15, 18]. Toks 20 pėdų analoginis konteinerinis modulis įvairių Lietuvos ir užsienio įmonių siūlomas 6050x2430x(2600 – 2900) mm matmenų. Pastebima, kad aukštis skiriasi daug labiau. Skirtingų gamintojų siūlomas aukštis svyruoja nuo 2600 iki 2900 mm. Matyti, kad modulio ilgis ir plotis nuo standartinio ISO 20 pėdų konteinerio skiriasi tik 8 milimetrais. Taip siekiama supaprastinti gamybą, rišantis prie metrinės matavimo sistemos. Tačiau modulio aukštis skiriasi apie 200 mm, norint naudotojui suteikti erdvumą ir patogumą, sumontavus apšvietimo instaliaciją ir apdailas. Padidintas konteinerio aukštis suteikia erdvės vartotojui, neženkliai didina sąnaudas bei nedaro pastebimos įtakos konstrukcijos stiprumui. Dažniausiai užsakomų modulių dydžiai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Konteinerių dydžiai

Gabaritiniai matmenys, mm		
Ilgis	Plotis	Aukštis
3000	2430	2795
6050	2430	2795
6050	3200	2795
7200	3200	2795

Šiame darbe analizuojamas 20 pėdų konteinerį, kadangi daugelis gamintojų priima šį konteinerį kaip standartinių matmenų [19]. Daugumos įmonių siūlomų konteinerių matmenys nežymiai skiriasi. Standartiniai jūriniai konteineriai (1 pav.) yra sudaryti iš šaltojo formavimo kolonų ir sijinių elementų rėminės konstrukcijos.

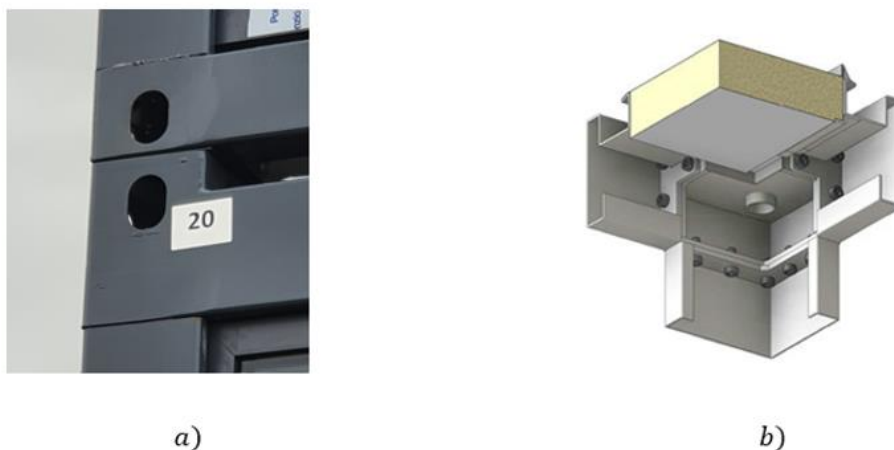


1 pav. Standartinis ISO 20 pėdų konteineris



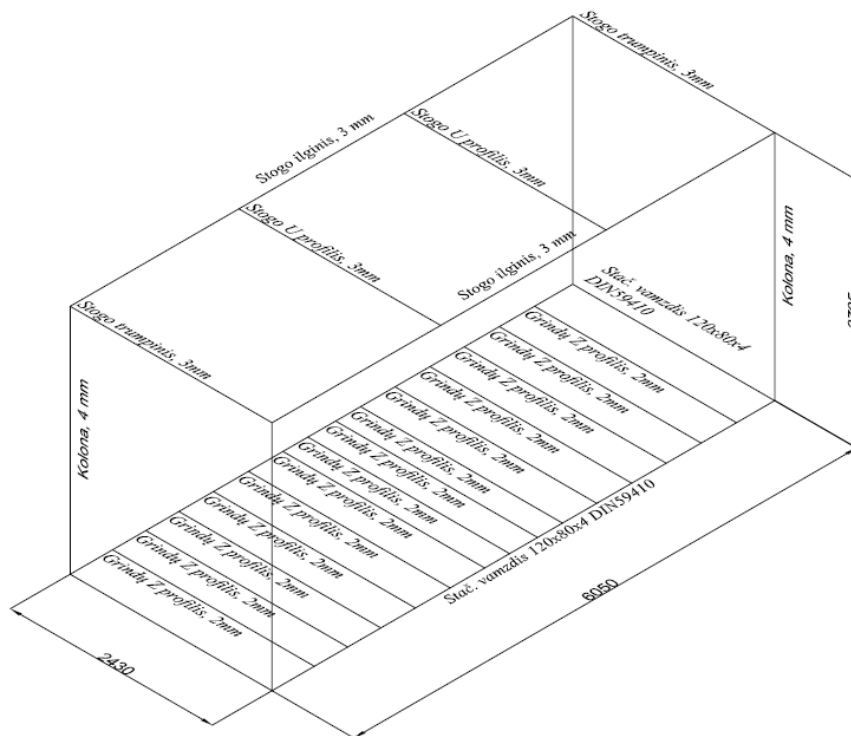
2 pav. Konteinerinio modulio vizualizacija

Grindys formuojamos iš priekinės, galinės ir dviejų išilginių sijų bei 16 vienodais atstumais išskirstytų tarpinių grindų sijų, kurios privirintos prie išilginių. Stogo konstrukcija sudaryta iš tuščiavidurių kvadratinių profilių išilgai konteinerio. C tipo profiliai panaudojami trumpuose galuose. Šiuos dugno ir stogo rėmus jungia keturios kampinės kolonos [18]. Jūrinių konteinerių sienos virinamos tiesiai prie rėmo konstrukcijos ir sudarytos iš gofruoto plieno lakštų. Gyvenamųjų modulių sienos dažniausiai būna iš atskirų surinkimo metu jungiamų blokų, kaip „*Sandwich*“ plokštės, ar mediniai standartizuoti blokai. Taip pat, gali būti suformuojamos, renkant iš pilnų karkasinių sienų. Tokios sienos suteikia konteineriui anksčiau minėtus privalumus lyginant su kitais laikinos paskirties objektais. Sienų surinkimo skirtumai lemia ryškius skirtumus ir rėmo konstrukcijoje. Tokiu būdu sumontuotos sienos perima tik labai mažą dalį stogo apkrovos, tačiau labai išlengvina namelį ir pačios yra šiltintos, todėl surinkus namelį, jo nereikia papildomai šiltinti. Konteinerinių gyvenamųjų modulių (2 pav.) konstrukcija ganėtinai skiriasi nuo jūrinių konteinerių. Jų gamyba remiasi lengvasvorių konstrukcijų principais. Visas rėmas susideda iš metalinių profiliuotųjų ir šaltai lenktų profilių konstrukcijų sujungtų varžtais [17]. Konstrukcijos vyrauja dviejų tipų: 1) kai suformuojami standūs dugno ir stogo rėmai, kurie sujungiami kolonų pagalba (3 pav. a); 2) kuomet tiek kolonos, tiek stogo ir dugno elementai jungiami šarnyrinėmis jungtimis prie tam tikrų kampinių elementų (3 pav. b). Plačiausiai naudojamas pirmasis metodas, antruoju būdu renkami konteineriai dažniau pastebimi Kinijos rinkoje.



3 pav. konstrukcinių elementų sujungimo tipai: a) standūs rėmai; b) pilnai šarnyrinis sujungimas

Konteineriniai moduliai gali būti dviejų tipų – standūs (suvirinti), jei iš jų formuojamas didelis pastatas, kad užtikrintų bendrą pastato standumą, ir standartiniai (šarnyriniai). Standžių modulių visos dalys (dugnas, kolonos, stogo rėmas) suvirinti tarpusavyje. Standartinio modulio kolonos su dugno ir stogo rėmais sujungti varžtinėmis jungtimis. Konteinerinio modulio konstruktyvą galima išskirti į tris pagrindinius mazgus: dugną, stogą ir kolonas. Žinoma, jie susideda iš smulkesnių mazgų, tokių kaip dugno ir stogo kampai, kitaip dar vadinami „dėžutėmis“, tačiau jie yra nekintantys, keičiantis namelio matmenims. Namelio konstrukcijos principinė schema pateikta 4 paveikslėlyje.



4 pav. Konteinerio konstrukcijos principinė schema

2.1. Dugno konstrukcija

Dugnas konstruojamas, kad atlaikytų savąjį, konstrukcijos patalpų baldų ir naudotojų svorį [1]. svarbu, kad konstrukciniai elementai atitiktų reikalavimus ir neviršytų leistinų įlinkio normų tiek pastačius naudojimui, tiek perkėlimo ar transportavimo metu. Šilumos izoliacinis sluoksnis formuojamas išnaudojant dugno profilių erdvę, taip siekiant užtikrinti maksimalų vidinį konteinerio aukštį, nekeičiant išorinio aukščio. Dažniausiai tarp gamintojų pasirenkamas vamzdinius profilius dugno rėmo gamybai, o standumui užtikrinti ir kitiems elementams tvirtinti naudojami įvairaus tipo lankstiniai. Standartiškai šiltinimui naudojama 100 mm storio mineralinė vata, todėl išoriniam perimetrui suformuoti puikiai tinka 120 mm aukščio stačiakampis vamzdis, kadangi pakanka vietos tiek šiltinamai medžiagai, tiek dangoms. Tarpinėms sijoms naudojami įvairūs šaltai lenkti profiliai, kurie gali būti Z, Ω ar kitos formos. Grindys formuojamos iš drėgmei atsparios medienos drožlių plokštės arba cemento drožlių plokštės.

2.2. Stogo konstrukcija

B. Lan'as aprašo, kad lubos konstruojamos pasitelkiant plieninius šaltojo formavimo lankstinius, skirtus montuoti dekoratyvines plokštes ir pripildyti šilumos izoliaciniu sluoksniu [1]. Straipsnyje nurodoma, kad luboms patalpose naudojama gipso kartono arba faneros plokštė, o šilumos izoliacinė medžiaga – mineralinė vata. Praktikoje, taip pat, teko susidurti su panašios konstrukcijos stogais, kurie remiasi, lengvasvorių konstrukcijų principu. Stogo konstrukcijai naudojami C profilio lankstiniai, iš 3 mm plieninio lakšto. Projektuojamas šiltas stogas su minimaliu iki 1° nuolydžiu. Stogo vidinės santvaros medinės gegnės C24 45x95 mm. Šilumos izoliacijai naudojama t=100 mm storio mineralinė vata, kurios šilumos laidumo koeficientas $\lambda=0,035 W/mK$. Garo izoliacijai naudojama izoliacinė plėvelė STROLEX AL-150. Stogo dangai naudojama 0,6 mm storio valcuota skarda. Pagal individualius užsakymus yra galimybė suformuoti dvišlaičius (5 pav. a) ir vienslaičius

(5 pav. b) stogus. Paviniams nameliams retai konstruojami tokie stogai. Dažniau tai daroma bendrai iš modulių suformuoto pastato konstrukcijai.



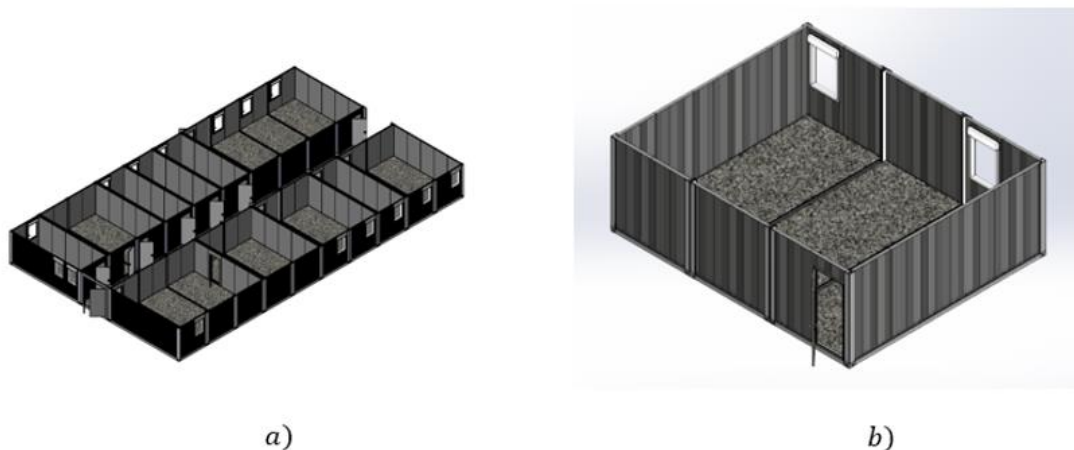
5 pav. Stogų tipai: a) dvišlaitis; b) vienslaitis

2.3. Sienos ir kolonos

Sienos formuojamos iš „Sandwich“ tipo plokščių, medinio karkaso blokų ar tiesiog formuojamas karkasas per visą sieną. Dažniausiai naudojamos $t=80\text{ mm}$ storio „Sandwich“ plokštės su šilumos laidumo koeficientu $\lambda=0,038\text{ W/mK}$. Tokiu atveju sienos svoris į kvadratinį metrą – $9,6\text{ kg/m}^2$. Kolonų konstrukcija ganėtinai paprasta. Joms pagaminti naudojamas šaltai lenktas profilis iš 4 mm plieno lakšto, kuriame privirinami mazgai, montavimui prie dugno ir stogo rėmų. Šios kolonos gali būti papildomai modifikuojamos, kuomet namelio konstrukcijoje atsiranda nestandartinių elementų: vitrinos, lietaus sistema ir t.t. Tokiu atveju, atsiradus poreikiui, papildomiems tvirtinimo taškams, kolonose montuojamos papildomos spec. plokštelės.

2.4. Modulių jungimas tarpusavyje

Vienodų matmenų konteineriniai moduliai pasižymi patogiu išdėstymu, jie lengvai montuojami ir sujungiami į bendras erdves bei lengvai pašalinami. Viena iš populiarumo savybių yra jų paprastas visomis kryptimis. Tam konteinerių kampuose naudojamos ISO standartizuotos konteinerių kampinės detalės - „dėžutes“. Konteineriai tarpusavyje gali būti sujungti per koridorinę sistemą (6 pav. a) arba sujungti tiesiog į vieną patalpą (6 pav. b). Taip sujungti konteineriai apdirbami medine apdaila arba skardos lankstiniais. 7 paveikslėlyje pateiktas vienas iš įgyvendintų projektų.



6 pav. Modulių pastatų jungimo tipai: a) koridorinė sistema; b) jungimas demontuojant sienas



7 pav. Modulinis pastatas iš konteinerių

Konteinerių išdėstymas ribojamas tik vertikalia kryptimi. Horizontaliomis kryptimis jis priklauso tik nuo teritorijos erdvės, paruošimo ir aplinkos sąlygų. Vertikalia kryptimi konteineriai negali būti sukrauti į daugiau kaip 8 aukštus [8]. Tačiau net tiek aukštų naudojami labai retai, dažniausiai pakanka dviejų ar trijų aukštų darinio. Be to, dauguma įmonių siūlo tik iki trijų aukštų pastatus, nes net trijų aukštų pastatai reikalauja papildomų standinimo elementų [19]

2.5. Transportavimas

Konteinerius gali būti transportuojami keliais būdais. Dažniausiai jie pervežami ir pristatomi pilnai surinkti, (8 pav.), tačiau esant kliento poreikiui galima juos gabenti išardytus ir supakuotus (angl. *Transpack*) (9 pav.). Tokiu būdu galima sukrauti ir gabenti iki 10 konteinerinių modulių viena sunkvežimiu [19]. Lengvas transportavimas yra, galbūt, pagrindinis šių konteinerių privalumas. Darbų perkėlimas į specializuotus cechus, skirtus būtent tokių kilnojamųjų daiktų gamybai leidžia sutrumpinti statybos laiką, užtikrinti efektyvų našumą bei patikrinti gaminio kokybę.



8 pav. Pilnai surinkto konteinerio transportavimas



9 pav. Konteinerių sukrovimas „Transpack“ būdu [8]

2.6. Pamatų sprendimai

Palyginti su tradiciniais pastatais, konteineriniai moduliai pastatai turi geresnę prisitaikymą prie vietovės grunto [11]. Su minimaliais pasiruošimo darbais, konteinerius galima statyti beveik bet kur. Dažniausiai naudojami seklieji pamatai, įrengiami kaip plokštė ant sutankintos skaldos, kurie išardomi pasibaigus eksploatacijos laikotarpiui. Galiausiai, konteineriniai moduliniai pastatai, esant vartotojų poreikiui, gali būti perdislokuojami ar personalizuojami.

2.7. Medžiagos

Konstruktiniai plieno gaminiai

Konteineriniams moduliams retai naudojamas *COR-TEN* plienas, kuris labai efektyviai išnaudojamas jūriniams konteineriams, kadangi jis yra brangesnis nei įprasti plienai. Dažniausiai konteineriniai moduliai statomi sąlyginai sausose vietose, todėl nereikalauja tokios didelės korozinės apsaugos kaip jūriniai konteineriai. Nameliams svarbiausia, kad konstrukcijai naudojamo plieno kokybės klasė ir markė atitiktų LST EN 10027-1:2005 bei LST EN 10025-1:2005 reikalavimus [20]. Pagrindinėms konteinerinio modulio plieninėms konstrukcijoms naudojamo plieno markė turi būti nemažesnė nei S235JR, S235J2 klasės plienas. Reikalavimai plieno stipriui pateikti 2 lentelėje. Metalinės konstrukcijos turi būti naujos, tikslios formos ir be defektų.

2 lentelė. Reikalavimai plieno stipriui [20]

Stipris, (N/mm ²)	Plienas
Pagal takumo ribą f_y	235
Pagal stiprumo ribą f_u	360

Varžtai

Varžtinėms jungtims naudojami plieniniai varžtai, kurių stipruminės mechaninės savybės tenkina LST EN ISO 898-1:2000 reikalavimus [21]. Varžtinėms jungtims naudojami plieniniai neįtempiamieji varžtai arba savisriegiai varžtai.

1. 5.6 klasės:
 - minimali takumo riba 300 N/mm²;
 - minimalus atsparumas tempimui 500 N/mm²;
2. 8.8 klasės:
 - minimali takumo riba 640 N/mm²;
 - minimalus atsparumas tempimui 800 N/mm²;
3. 10.9 klasės:
 - minimali takumo riba 900 N/mm²
 - minimalus atsparumas tempimui 1000 N/mm²;
 - minimali deformacija prie trūkimo 9%.

Konstrukcijų apsauga nuo korozijos

Konteineriniai moduliai apsaugai nuo korozijos gali būti apdorojami keliais būdais, priklausomai nuo oro sąlygų. Jei aplinkos sąlygos nekenksmingos, galimas paprastas namelių dažymas. Esant kenksmingoms sąlygoms nameliai cinkuojami 90% sausais cinko milteliais [2]. Klimato agresyvumo klasės pagal ISO 9223 standartą pateiktos 3 lentelėje [22]. Visoms konstrukcijoms korozijos klasė parenkama pagal klimatinės ir naudojimo sąlygas.

3 lentelė. Klimato agresyvumo klasės

Klimatas				
Agresyvumo klasė	Atsiradimo aplinka	Korozijos greitis pirmaisiais metais		
		ISO 9223 ir EN ISO 12944-2		EN ISO 14713
		Anglinis plienas, μm/metai	Cinkas, μm/metai	Cinkas g/m ²
C1 (labai žema)	Vidaus patalpos: Sausos patalpos	≤1,3	≤0,1	≤0,1
C2 (žema)	Vidaus patalpos: Sandėliavimo patalpos, kondensacijos tikimybė, žemos taršos lygio atmosferos	1,3-25	0,1-0,7	,7-5
C3 Vidutinė	Atviros klimatinės sąlygos	25-50	0,7-2,1	5-15

Dažniausiai metalinių konstrukcijų naudojimo aplinka C2 (žemo agresyvumo), pagal LST EN ISO 12944- 2:2000. Konstrukcijų apsaugai numatytas padengimas antikorozinium gruntu, pagal LST EN ISO 12944-5:2007“. Antikorozinė metalinių paviršių padengimo danga turi būti ilgaamžė, atspari drėgmei, klimatiniams, cheminiams bei mechaniniams poveikiams, turi sudaryti ištisinę dangą, kurioje neturi būti įtrūkimų, pūslelių, nutekėjimų. Danga turi būti gerai sukibusi su pagrindu.

3. Apkrovos ir apkrovų deriniai

Siekiant patikrinti optimizuotos konteinerinio modulio konstrukcijos stiprumą, reikia atlikti konstrukcinius skaičiavimus. K. Giriunas, pasitelkdamas baigtinių elementų metodą, analizavo jūrinio konteinerio konstrukciją [9]. Tam jis naudojosi kompiuterinėmis programomis *SolidWorks*, *Hypermesh* ir *Abaqus/CAE*. Galima naudoti ir kitas modeliavimo ir skaičiavimo programas, kaip *Tekla Structures* ar *Autodesk Robot Structural Analysis*. Dėl turimų žinių ir pakankamo programos lygio, šiame projekte modulio konstrukcijos statiniams skaičiavimams atlikti pasirinktas baigtinių elementų metodas, naudojant kompiuterinę programą *SolidWorks* ir *Autodesk Robot Structural Analysis*. Baigtinių elementų metodas yra skaitmeninis metodas, skirtas realioms inžinerinėms problemoms spręsti virtualioje aplinkoje [23]. Šiame projekte bus skaičiuojami vamzdinių profilių bei lankstinių iš plieno lakšto įlinkiai. Tokio pobūdžio užduotims dažnai naudojamas baigtinių elementų metodas. Pavyzdžiui Sekan'as Guler'as, naudojo baigtinių elementų metodą analizuoti aliuminius vamzdžio profilius [24]. *SolidWorks* yra trimatė (3D) CAD (angl. *Computer Aided Design*) modeliavimo programa, turinti integruotą baigtinių elementų metodo paketą. Paketas suteikia linijinius, nelinijinius statinius ir dinamiškus analizės sprendimus [25]. Konteinerinių modulių paskirtis apibrėžiama kaip laikinų kitos paskirties pastatų ar statinių, todėl statinio kategorija - neypatingas statinys, pagal STR 1.04.04:2017 ir STR 1.01.03:2017 [26, 27]. Konstrukcijų statiniai skaičiavimai turi atitikti reikalavimus keliamus laikinosios paskirties inžineriniams statiniams ir pastatams.

Nors konteinerinis modulis yra kilnojamas daiktas ir jam negalioja statybos reglamentų numatyti reikalavimai, dauguma užsakovų perka juos kaip statinius ir reikalauja, kad apkrovos atitiktų statybų reglamentas. Poveikių ir apkrovų, veikiančių statinio laikančias konstrukcijas, F skaičiuotinė reikšmė F_d bendraja forma apskaičiuojama pagal (1) formulę [28]:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k \quad (1)$$

čia: F_k – poveikio charakteringoji reikšmė; γ_F – poveikio dalinis koeficientas;

Šiame darbe gyvenamosios paskirties konteineriniai moduliai projektuojami kaip laikinosios paskirties pastatai, todėl apkrovos ir poveikiai yra parenkami pagal STR2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ standartą. Skaičiuojant elementų stiprumines savybes bei įlinkius vertinamos šios apkrovos ar apkrovų deriniai (žr. 4 lentelę):

- savasis konstrukcijos svoris;
- naudojimo apkrova;
- sniego apkrova;
- vėjo apkrova.

4 lentelė. Apkrovos ir apkrovų deriniai

Derinio nr.	Apkrova			
	Savasis svoris	Naudojimo apkrova	Sniego apkrova	Vėjo apkrova
1	✓			
2	✓	✓		
3	✓	✓	✓	
4	✓	✓		✓
5	✓	✓	✓	✓

Skaičiavimams pasirenkame, kad statinys statomas Tauragėje, tuomet gauname pagrindines apkrovas ir poveikius.

3.1. Konstrukcijos savasis svoris

Nuolatinės šio namelio apkrovas sudaro konstrukcijos savasis svoris. Savąjį svorį sudaro konstrukcijos laikantieji ir nelaikantieji elementai, įskaitant tvirtinamųjų mechanizmų, taip pat žemės ir balasto svoriai.

Šio modulio konstrukciniai elementai:

- stogo rėmas ir danga;
- grindų konstrukcija ir grindų dangos;
- sienų elementai (šiuo atveju „*Sandwich*“ plokštės);
- šiluminė izoliacija;
- tvirtinamieji elementai (šildymo, ventiliacijos įranga, elektrotechnikos įranga ir t.t.).

3.2. Naudojimo apkrova

Standartinė ir dažniausia modulių paskirtis yra gyvenamoji, todėl standartiškai šį objektą priskirsime kaip gyvenamosios paskirties, tai atitiktų A panaudojimo kategoriją.

- naudojimo apkrovos: $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 2,0 \text{ kN}$, A kategorija.

Čia: q_k – išskirstyta apkrova; Q_k – koncentruota apkrova;

3.3. Sniego apkrova

Sniego antžeminė apkrova s_k . Tai charakteristinė reikšmė, parodanti kokia apkrova tenka 1 m^2 horizontalaus žemės paviršiaus. Lietuvos rajonams sniego antžeminės apkrovos pateiktos STR 2.05.04:2003 1 priedo 1 lentelėje, o patys rajonai parodyti 10 paveikslėlyje. Parenkama sniego apkrovos reikšmė $s_k = 1,60 \text{ kN/m}^2$, II – sniego rajonas. Sniego poveikio dalinis patikimumo koeficientas $\gamma_Q = 1,3$



10 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai [28]

Sniego apkrova veikia vertikaliai ir priskiriama stogo ploto horizontaliajai projekcijai. Sniegas ant stogo gali susikaupti įvairiomis formomis. Tai priklauso nuo stogo geometrijos, jo terminių savybių, paviršiaus nelygumo, per stogą išskiriamo šilumos kiekio, gretimų pastatų artumo, vietovės aplinkos ir vietinio klimato. Didelę reikšmę turi vėjuotumas, temperatūros kintamumas ir krituliai (lietus ar sniegas). Be to, gali būti susikaupę skirtingų krypčių, vieno ar kelių snigimų sniego. Nustatant sniego apkrovą, pirmiausia įprasta pasirinkti tolygiai paskirstytą sniegą, susikaupusį ramaus oro sąlygomis, ir įvertinti stogo formą, sniego pustymą ir tirpimą. Pagal reglamento 154 punktą Sniego apkrovos į stogo horizontaliąją projekciją dydis nustatomas pagal (2) formulę [28]:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2)$$

μ_i – stogo sniego apkrovos formos koeficientas imamas pagal reglamento 2 priedą. Statiniai su vienslaidiais ir dvišlaidiais stogais, kai $\alpha \leq 25^\circ$, $\mu_i = 1$;

C_e – atodangos koeficientas, kurio reikšmė įprastai imama 1,0;

C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo šilumos energijos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos. Jei stogas neturi didelio šiluminio laidumo ($\leq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$) terminis koeficientas $C_t = 1,0$.

Pagal (2) formulę, skaičiuojame sniego apkrovą į stogo horizontaliąją projekciją:

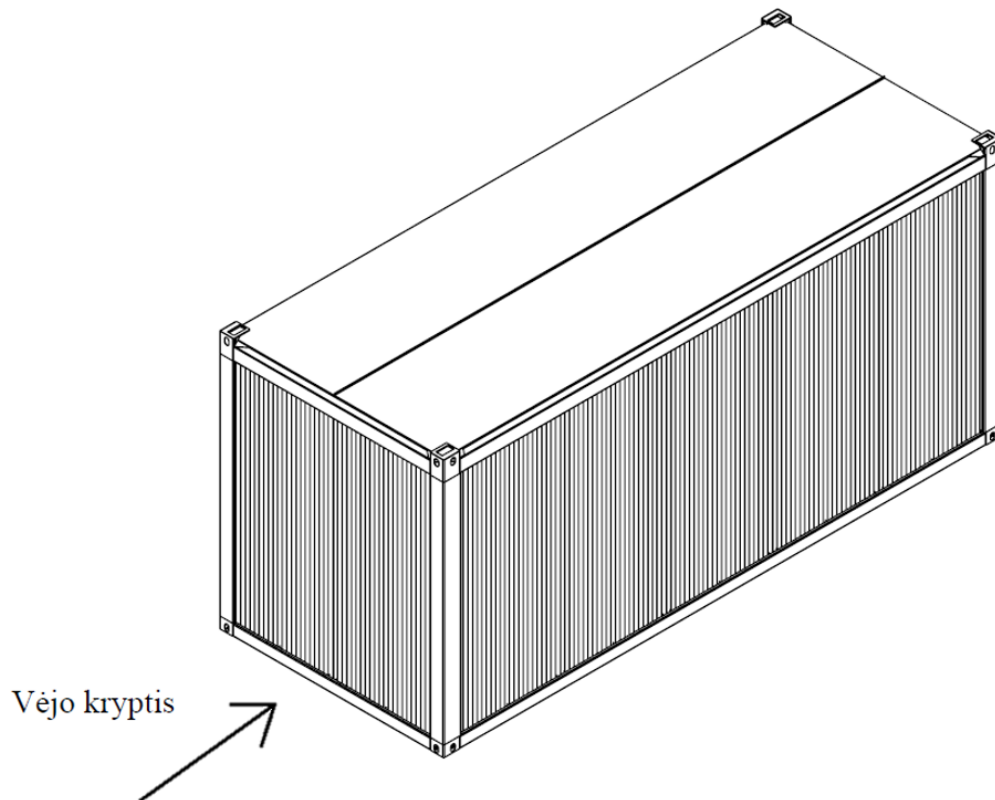
$$s = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

Sniego apkrovos skaičiuojamosios reikšmės skaičiavimas atliekamas pagal (1) formulę:

$$s_d = s \cdot \gamma_Q = 1,6 \cdot 1,3 = 2,08 \text{ kN/m}^2$$

3.4. Vėjo apkrova

Turime stačiakampį pastatą su plokščiu stogu. Pradinė vėjo greičio reikšmė $v_{ref,0} = 24 \text{ m/s}$ nustatoma pagal STR 2.05.04:2003: I – vėjo greičio rajonas, vietovės tipas B – miestų teritorijos. Vėjo kryptis parodyta 11 paveikslėlyje. Vėjo poveikiai, kaip ir sniego, priskiriami kintantiems laisviesiems poveikiams.



11 pav. Vėjo kryptis

Ataskaitinė vėjo greičio reikšmė gaunama pagal (3) formulę:

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{ALT} \cdot c_{TEM} \cdot v_{ref,0} \quad (3)$$

čia $c_{DIR} = 1.0$ – vakarų vėjo krypties koeficientas

$c_{TEM} = 1.0$ – laikotarpio koeficientas

$c_{ALT} = 1.0$ – aukščio virš jūros lygio koeficientas

Pagal (3) formulę apskaičiuojame ataskaitinę vėjo greičio reikšmę:

$$v_{ref} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 24 = 24 \text{ m/s}$$

Vėjo slėgio ataskaitinė reikšmė apskaičiuojama pagal (4) formulę:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 \quad (4)$$

čia $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – oro tankis;

Pagal (4) formulę apskaičiuojame ataskaitinį vėjo slėgį q_{ref} :

$$q_{ref} = \frac{1,25}{2} \cdot 24^2 = 360 \text{ Pa}$$

Vidutinė slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius dedamoji w_{me} apskaičiuojama pagal (5) formulę [28]:

$$w_{me} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e \quad (5)$$

čia c_e – išorinio slėgio aerodinaminis koeficientas. $c_e = 0,8$ vėjo spaudimui;

c_{e2} – išorinio slėgio aerodinaminis koeficientas. $c_{e2} = 0,5$ vėjo siurbimui;

$c(z)$ – koeficientas, priklausantis nuo vietovės reljefo tipo ir aukščio nuo žemės paviršiaus.

Vietovės tipas B – miestų teritorijos. Kai pastato aukštis $h \leq 5$ m, tai $c(z) = 0,5$;

q_{ref} - ataskaitinis vėjo slėgis.

Pagal (5) formulę skaičiuojame tolygiai paskirstyta vėjo apkrova į išorinius konstrukcijos paviršius dedamąsias, tiek spaudimo, tiek išsiurbimo atveju. apskaičiuojama pagal formules:

$$w_{me,1} = q_{ref} \cdot c(z)_{2,8} \cdot c_e = 360 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 144 \text{ Pa}$$

$$w_{me,2} = q_{ref} \cdot c(z)_{2,8} \cdot c_{e2} = 360 \cdot 0,5 \cdot (-0,6) = 10,8 \text{ Pa}$$

Skaičiuotinos ribinės reikšmės [28]:

- pagrindinių pastato laikančiųjų konstrukcijų vertikalūs leistinieji įlinkiai - $l/150-200$;
- lakštinių gaminių, ilgujų valcuotųjų, tuščiavidurių (apvaliųjų keturkampių) statybinių profiliuotųjų medžiagos patikimumo koeficientas – 1.1 ;
- saugos ribinio būvio tikrinimo sąlyga - $E_d < R_d$.

3.5. Papildomi komponentai ir skaičiavimai

Nedidelę dalį konteinerio vertikalios apkrovos dalijasi sienų komponentai, tačiau didžiąją stogo apkrovą laiko tik stogo sijos. Kaip minėta anksčiau, pagrindinių konstrukcinių elementų įlinkis negali būti didesnis nei $l/150-200$. Esant didesniems gabaritiniams matmenims, ypač ilgiui, stogo sijos gali išlinkti viršydamos leistinas normas. Todėl labai svarbus aspektas, kai reikalingi didesnių gabaritų moduliai, nustatyti pagalbinių kolonų vietas, siekiant išvengti stogo sijų įlinkių. Kolonų tvirtinimas apibrėžia saugią apkrovą vertikalia kryptimi [1]. Remiantis, K. Giriunas, tyrimo rezultatais, sienos pašalinimas lems mažesnį konteinerio standumą, o konteinerio atsparumas šoninei apkrovai bus labai paveiktas, jei sienos plokštė palei apkrovimo kryptį bus pašalinta [9]. Nors ISO standartai reikalauja, kad konteinerių grindų stiprumas būtų pakankamas atlaikyti šakinio krautuvo ašies apkrovos svorį, kuris yra 5,460kg [29]. Šis reikalavimas taikytinas tik jūriniams konteineriams, gyvenamosios paskirties moduliams jis neaktualus, nes krautuvai į vidų nepateks. Esant šakinio krautuvo kišenėms, standartai reikalauja paprasto pakėlimo bandymo, kurio apkrova yra 1.6R, kuri turi būti naudojama ant pagrindinių kišenių ir 0,625R apkrova tuščioms kišenėms [29]. Taip pat, svarbios konteinerio stogo, sienų ir grindų konstrukcijų apkrovos. Stogo ir grindų konstrukcijų apkrovos skaičiuojamos tolimesniuose skyriuose. Sienos svoris į kvadratinį metrą – $9,6 \text{ kg/m}^2$, aukštis – 2,46 m, o apkrovos plotis rėmo kolonai – 2,46 m. Priimame, kad kolona ir grindys perima po pusę sienos svorio, tuomet jėga tenkanti kolonai apskaičiuojama pagal (7) formulę:

$$F_k = \frac{1}{2} \cdot 9,6 \cdot 2,46 \cdot 2,46 \cdot \frac{10}{1000} = 0.29 \text{ kN/m}^2 \quad (6)$$

4. Konstrukcijos optimizavimas

Konstrukcijos optimizavimas – modelio kintamųjų reikšmių suradimas, kurioms esant tam tikras kriterijus, vadinamas tikslo funkcija, pasiekia minimalią arba maksimalią reikšmę, dar vadinamą ekstremumu. Kiekvienas optimizuojamas objektas yra aprašomas matematinėmis išraiškomis, kurio sprendiniai yra tų lygčių nežinomieji. Tiriant sistemas galima susidurti su kelių tipų uždaviniais. Jei nežinomųjų yra daugiau nei lygčių, sistema vadinama neapibrėžta – t.y. sprendinio neturi. Jei nežinomųjų tiek pat kiek lygčių, sistema turi tik vieną sprendinį. Jei nežinomųjų daugiau nei lygčių, tai sistema neapibrėžta ir turi begalę sprendinių.

$$\min f(X), \quad X = (x_1, \dots, x_n),$$

$$g_i(X) \leq 0, \quad i = 1, \dots, k,$$

$$g_i(X) = 0, \quad i = k + 1, \dots, m.$$

Šį matematinį modelį sudaro: lygybės – pusiausvyros ir geometrinės lygtys; pirmoji nelygybė – stiprumo ir stabilumo sąlygos; kitos nelygybės – poslinkių. Reiškia funkcijos $f(X)$ minimizavimą leistinoje srityje, apibrėžtoje funkcijų $g_i(X)$ neteigiamumo arba lygybės nuliui reikalavimais. Patenkinantis ribojimus taškas X vadinamas leistinu sprendiniu, o minimumo taškas vadinamas optimaliu sprendiniu. Jei bent viena iš funkcijų yra netiesinė, toks optimizavimo uždavinys vadinamas netiesinio programavimo uždaviniu. Kitaip sakant, optimizacija yra noras rasti geriausią sprendinį, tenkinantį sąlygas. „SolidWorks“ optimizavimo modulis yra puikus būdas patikrinti dizainą prieš ruošiant gamybinius brėžinius. Jis leidžia atlikti detalės ar surinkimo elgesio analizę keičiant įvairius parametrus, taip pat optimizavimą pagal nurodytus kriterijus [30]. Optimizavimo kriterijus gali turėti labai įvairią reikšmę, tai gali būti svoris, plotas, kaina, gabaritai, naudingumo ar atsargos koeficientai ir t.t. Svorio ar medžiagų sunaudojimo sumažinimas neaukojant konstrukcinio vientisumo, leidžia sutaupyti pinigų. Šiame darbe nagrinėjami pavienių tamprių konstrukcijos elementų optimizavimo uždaviniai, siekiant minimizuoti jų tūrį (masę). Optimizavimo metodai iš esmės skirstomi į vienmačius ir daugiamačius. Tai priklauso nuo to kiek kintamųjų turime. Kai paieška vykdoma pagal daugelį parametrų, tai bus daugiamačias metodas, kurį ir atliksime šiame darbe. Parametrinis optimizavimas apima šias sąvokas:

- kintamieji - reikšmės, kurios gali kisti konstrukcijoje;
- suvaržymai arba apribojimai - įvairių parametrų leistos ribos;
- tikslai - paprastai, tai yra optimizuotas parametras. Pavyzdžiui, sumažintas konstrukcijos svoris.

Šiame skyriuje pateikiami mazgai ar detalės, kurios manoma gali būti optimizuojamos, atliekami optimizavimo, stipruminiai ir palyginamieji ekonominiai skaičiavimai bei pateikiamos išvados apie optimizavimo naudos buvimą ar nebuvimą. Optimizuojant atsižvelgiama ne tik į stiprumo, standumo ir stabilumo reikalavimus, suformuluotus nacionaliniame statybos techniniame reglamente [20], bet ir į gamybos technologiją. Skaičiuojamieji modeliai sudaromi taikant baigtinių elementų metodą. Optimizuojamų elementų skerspjuviai projektuojami iš karštai valcuotų plieninių S235 lakštų ir cinkuoto plieno DX51D Z275 lakšto profilių.

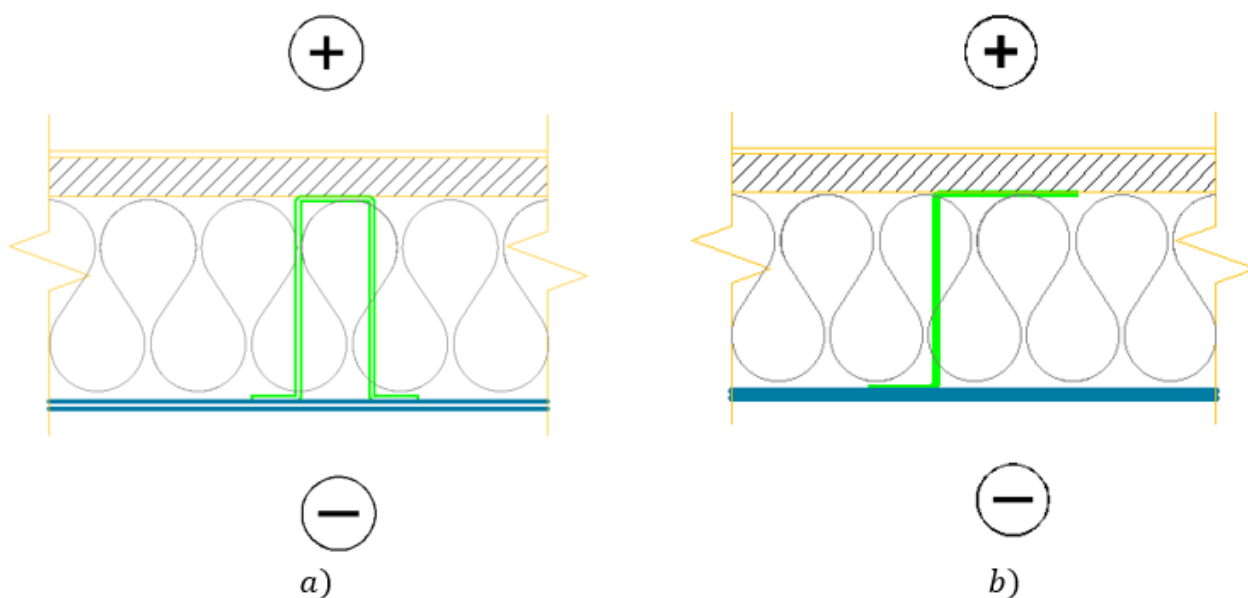
4.1. Dugno skersinių profilių optimizavimas

Dugno skersiniai profiliai atlieka tam tikras funkcijas. Kaip jau minėta, siekiant užtikrinti maksimalų vidinį aukštį, dugno šilumos izoliacinis sluoksnis sudaromas konstrukcijos erdvėje, todėl skersiniai

dugno profiliai sudaro šalčio tiltą. Šalčio tiltas yra vieta, kur šilumos prarandama daugiau nei kitose vietose. Dėl šalčio tilto atsiranda įvairios grėsmės:

- padidėjęs šilumos energijos poreikis dėl atvėsimo per šalčio tiltus;
- žemesnė vidaus sienos paviršiaus temperatūra;
- kondensacija šioje vietoje, dėl kurios gali atsirasti pelėsis.

Konstruojant svarbu parinkti profilį, kuris sudarytų minimalų šalčio tiltą, nes visiškai jo išvengti šioje konstrukcijoje sunku arba tai labai išbrangintų konstrukciją. Dar vienas svarbus aspektas, kad iš apačios prie skersinių profilių tvirtinama skarda. Pagrindinė dugno skersinių profilių funkcija – atrama perdangos plokštei ir grindų apkrovos atlaikymas. Grindų apkrova yra skyrelyje apkrovos nurodyta naudojimo apkrova, kuri parenkama pagal standartus ir priskiriama šiam nameliui. Seniau naudotas omega profilis (12 pav. a.) buvo pakeistas Z formos profiliumi (12 pav. b.) ir pritaikytas naudojimui.



12 pav. Dugno konstrukcijos profilių pavyzdžiai: a) Ω profilis b) Z profilis

Z profilis turi tik vieną sienelę per aukštį, taip minimizuojant šalčio tiltą. Toks Z tipo profilis buvo pritaikytas grindims su cemento drožlių plokšte. Ši plokštė yra lygiais kraštais, todėl jos galuose privalo būti atrama, kas apriboja konstrukcinių elementų išdėstymą. Siekiant pašalinti šį trūkumą ir optimizuoti profilių išdėstymą, taip sumažinant konstrukcijos kainą ir lengvinant surenkamumą. Siūloma grindų plokštę pakeisti į, taip pat, drėgmei atsparią špuntuotą medienos drožlių plokštę. Plokščių palyginimas pateiktas 5 lentelėje.

5 lentelė. Dugno plokščių charakteristikų palyginimas

Charakteristika	Vienetai	Plokštės tipas	
		Cemento drožlių plokštė	Medienos drožlių plokštė
Storis	mm	22	22
Tankis EN323	kg/m ³	1000	680
Atsparumas tempimui, lenkiant EN310	N/mm ²	11,5	14
Tamprumo modulis EN310	N/mm ²	4500	2150
Maksimali išskirstytoji apkrova esant 600 mm atstumui tarp atramų	kN/m ²	4424	4770
Kvadratinio metro kaina	€/m ²	6,3	6,5

Kaip matome pasirinkta drėgmei atspari medienos drožlių savo stipruminėmis savybėmis yra pranašesnė, o plokščių kainų skirtumas minimalus. Kadangi naudojant cemento drožlių plokštę reikia atramų ties plokštės galais, sunku suvienodinti tarpatramių atstumus, dėl ko atsiranda papildomas rankinis darbas pjaustant šiltinamą medžiagą. Siūloma medienos drožlių plokštė yra špuntuota, todėl ties plokštės galais atramos nėra būtinos. Tai leidžia išlaikyti vienodą tarpatramį, kuris mūsų atveju 600 mm. Manoma, kad pakeitus naudojamą plokštę galėsime optimizuoti Z profilio skerspjuvį ir išdėstymą, taip sumažinant konstrukcijos ir gamybos kaštus.

Pirmiausia reikia išsiaiškinti ką laikysime tiriamo objekto optimumu. Šio optimizavimo uždavinio optimumas – svorio minimizavimas. Optimizavimas vyks, keičiant objekto skerspjuvio parametrus. Prieš optimizuodami šį elementą turime išsiaiškinti kokios apkrovos ar apkrovų deriniai veikia šį elementą. Kadangi viso namelio konstrukcijos stipruminėms savybėms dugno skersiniai profiliai reikšmingos įtakos nedaro, optimizuojant šį elementą vertinamos tik šios apkrovos – grindų apkrova (naudojimo apkrova) ir savasis konstrukcijų svoris. Pirmiausia, naudojimo apkrovos, kurios yra $q_k - 1,5 \text{ kN/m}^2$, $Q_k - 2,0 \text{ kN/m}^2$. Kita veikianti apkrova, tai dugno konstrukcijos savasis svoris. Pačio profilio svorį gauname „Solidworks“ programos aplinkoje. Kitų dugno konstrukcijos komponentų savojo svorio apkrovos skaičiavimai pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Dugno komponentų savojo svorio apkrovos skaičiavimas

Pavadinimas	Storis, m	Tankis, kg/m ³	Ploto masė, kg/m ²	Apkrova, kN/m ²
Cinkuota profiliuota skarda, 0,45 mm - AlZn	0,00045	7800	-	$0,00045 \cdot 7800 \cdot \frac{10}{1000} = 0,0351$
Šilumos izoliacijos sluoksnis (100 mm)	0,10	18	-	$0,10 \cdot 18 \cdot \frac{10}{1000} = 0,018$
Barjerinė plėvelė	0,002	-	0,268	$0,268 \cdot \frac{10}{1000} = 0,00268$
Drėgmei atspari medienos drožlių plokštė	0,022	-	15,4	$15,4 \cdot \frac{10}{1000} = 0,154$
Dugno komponentų sudaromos apkrovos suma:				$\sum w_{Dk} = 0,21$

Susumavus naudojimo apkrovą ir konstrukcijos savąjį svorį, gauname dugno konstrukciją veikiančią apkrovą:

$$w_{DN} = \sum w_{Dk} + q_k = 0,21 + 1,5 = 1,71 \text{ kN/m}^2$$

Apkrova tenkanti sijai, apskaičiuojama pagal (7) formulę:

$$q = w \cdot a \tag{7}$$

čia: w – konstrukciją veikianti išskirstytoji apkrova;

a – žingsnis tarp atramų.

Apkrova tenkanti sijai, esant 600 mm žingsniui apskaičiuojama pagal (7) formulę:

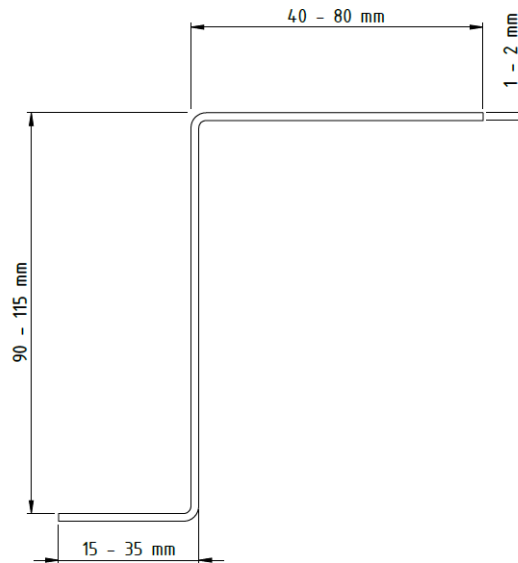
$$q = w_{DN} \cdot a = 1,71 \cdot 0,6 = 1,026 \text{ kN/m}$$

Apkrovos reikšmė suapvalinama $q = 1.03 \text{ kN/m}$.

Dugno Z profilio matmenų kintamieji:

- skardos tvirtinimui dugno apačioje reikalinga bent 15 mm auselė;
- profilio aukštis priklauso nuo šilumos izoliacinės medžiagos ir negali viršyti dugno aukščio. Dažniausiai šiltinimui naudojama mineralinė vata, kurios storis 100 mm. Montuojant mineralinę vatą, rekomenduojama, kad elementų, tarp kurių montuojama vata, aukštis būtų šiek tiek mažesnis nei vatos aukštis. Kadangi naudojame 100 mm vatą, technologiškai optimaliausias elemento aukštis būtų apie 97-99 mm. Skaičiavimams minimalią reikšmę priimsime 90 mm, kad patikrinti ir mažesnio aukščio elemento naudingumą;
- pagrindinis dugno konstrukcinis elementas – kvadratinis vamzdis 120x80x4;
- naudojamos profiliuotos skardos aukštis yra 3 mm;
- lakšto storis – Cinkuotos skardos lakštų storis svyruoja nuo 1 iki 2 mm. Šiuo metu dėl įmonėje naudojamų 2 mm cinkuotos skardos lakštų, Z profiliai gaminami būtent iš jų. Rinkoje cinkuotos skardos lakštai svyruoja nuo 0,5 iki 2 mm. Dėl savo savybių optimizacijos uždavinyje 0,5 mm storio lakšto neskaičiuosime. Pasirenkame lakštus nuo 1-2 mm su 0,5 mm žingsniu.
- Kaip jau minėjome, dugno perdangai vietoj naudojamos cemento drožlių plokštės, kurios tvirtinimui sandūros vietoje reikia 80 mm vietos, pasirinkta naudoti medienos drožlių plokštę, kuriai pakanka mažesnio tvirtinimo paviršiaus, kadangi sandūros vietoje plokštės jungiasi tarpusavyje. Priimame, kad reikalingas 40 mm pločio plotas.

Įvertinę aukščio apribojimo kriterijus gauname $h_z = 120 - 3 - 2 = 115 \text{ mm}$. Įvertinę visus šiuos parametrus, gauname optimizuojamąjį skerspjuvį, kuris pateiktas 13 paveikslėlyje.



13 pav. Z profilio kintamieji parametrai

Konstruktiniai elemento apribojimai

Skaičiuojant konstrukcijų elementų įlinkius (išlinkius) ir poslinkius, turi būti tenkinama sąlyga [28]:

$$d \leq d_{lim}$$

čia: d – konstrukcijos elementų įlinkis (išlinkis), nustatomas įvertinant veiksnius, turinčius įtakos jo reikšmėms, pagal reglamento 9 priedo 1-3 punktus;

d_{lim} – ribinis įlinkis (išlinkis) ir poslinkis nustatomas normose.

Perdangų, o mūsų atveju - grindų konstrukcinių elementų ribiniai įlinkiai, ribojami technologiniais, konstrukciniais ir fiziologiniais reikalavimais, nustatomi nuo išlinkusios ašies, atitinkančios elemento būklę jį apkraunant apkrova, kuriai skaičiuojamas įlinkis. Leistinas vertikalus ribinis įlinkis imamas iš STR 2.05.04:2003 17.1 lentelės: denginių ir perdangų, ant kurių yra galintys supleišėti elementai (lyginamieji sluoksniai, grindys, pertvaros):

$$d_{lim} = l/150 \tag{8}$$

čia: l – sijos ilgis

Kai konteinerio plotis 2430 mm, Z profilio ilgis:

$$l_z = 2430 - 2 \cdot 80 = 2270 \text{ mm}$$

Vertikalus sijos įlinkis apskaičiuojamas pagal (8) formulę:

$$d_{lim} = \frac{2270}{150} = 15,13 \text{ mm}$$

Naudojimo apkrovos patikimumo koeficientas yra 1,35 [28]. Optimizavimo uždavinyje šia reikšmę naudosime kaip atsargos koeficientą.

Visi gauti kintamieji, apribojimai ir tikslai apibendrinami ir surašomi į 7 lentelę:

7 lentelė. Z profilio optimizavimo parametrų lentelė

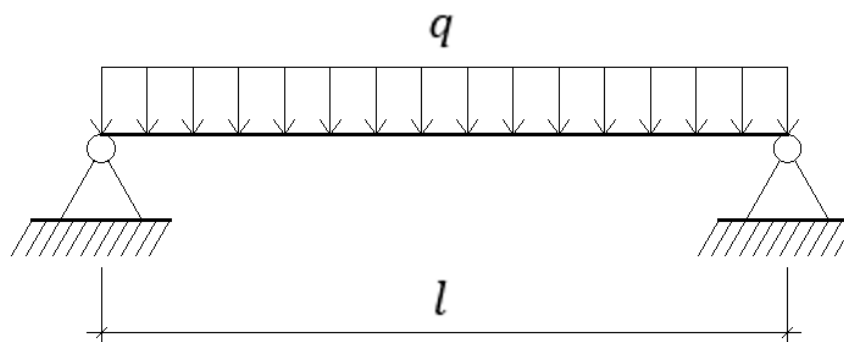
Kintamieji	Diapazonas		Vienetai
	Min	Max	
Aukštis	90	115	mm
Viršutinė kraštinė	40	80	mm
Apatinė kraštinė	15	35	mm
Storis	1	2	mm
Apribojimai			
Sijos įlinkis	<15,13		mm
Atsargos koef.	≥1,35		
Tikslas			
Masė	Minimizuoti		kg

Pradinių parametrų sijos skaičiavimai

14 paveikslėlyje pateikta sijos apkrovos schema. Pavaizduota dvitramė šarnyriniu būdu įtvirtinta sija veikiamą pastovaus intensyvumo išskirstytojo krūvio. Duotuoju atveju veikia anksčiau apskaičiuota išskirstytoji apkrova $q = 1,03 \text{ kN/m}$. Pagal Bernulio hipotezę - sijai deformuojantis, jos skerspjūviai pasislenka, ir pasisuka, bet nesusimėto [31]. Naują skerspjūvio padėtį apibūdina trys parametrai:

- įlinkis - sijos skerspjūvio svorio centro linijinio poslinkio projekcija į atitinkamą skerspjūvio ašį;
- sijos skerspjūvio svorio centro linijinio poslinkio projekcija į sijos ašį;
- sijos skerspjūvio kampinis poslinkis.

Remiantis, „Medžiagų mechanika 1“ vadovėliu [31], galime teigti, kad horizontalaus poslinkio komponentas yra labai mažas, lyginant su kitais dviem komponentais, todėl praktiniuose skaičiavimuose jis nevertinamas.



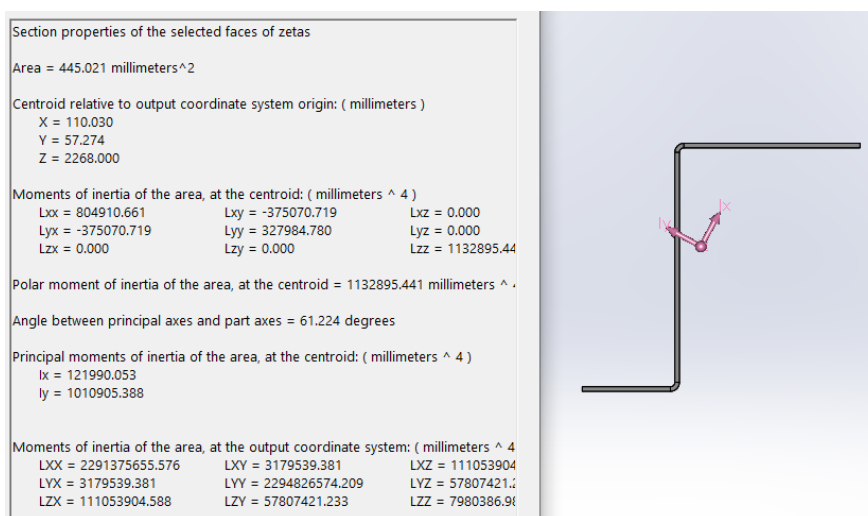
14 pav. Z profilio apkrovos schema

Maksimalus sijos įlinkis skaičiuojamas pagal (9) formulę:

$$d = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (9)$$

čia: d – maksimalus sijos įlinkis; q – išskirstytasis krūvis; l – sijos ilgis; E – tamprumo modulis; I – inercijos momentas

Iš formulės matyti, kad maksimalaus sijos įlinkio skaičiavimams turime įvertinti elemento skerspjūvio parametrus, kurie pateikti 15 paveikslėlyje. Sijos maksimalaus įlinkio skaičiavimams mums aktualus inercijos momentas I , kuris programoje pažymėtas kaip $Lxx = 804911 \text{ mm}^2$. Taip pat, aktualus medžiagos tamprumo modulis. Cinkuotos skardos $DX51D Z275$ tamprumo modulis $E = 210000 \text{ N/mm}^2$.

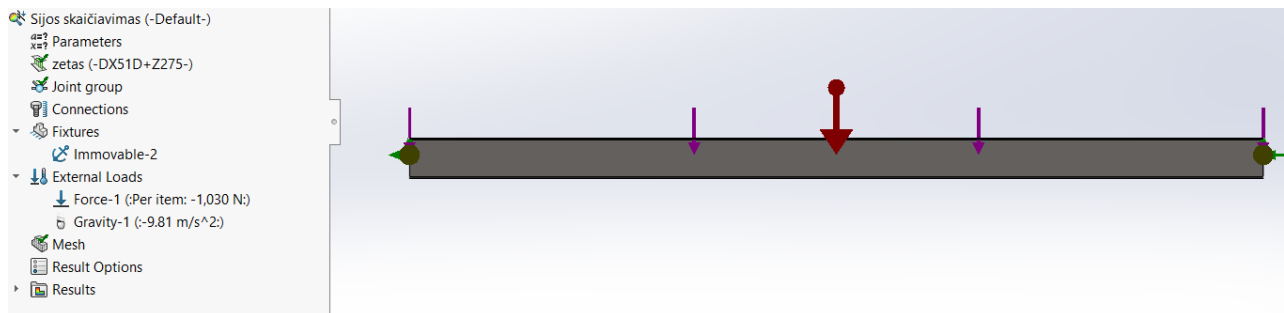


15 pav. Z profilio skerspjūvio parametrai

Pagal (9) formulę apskaičiuojame maksimalų sijos įlinkį:

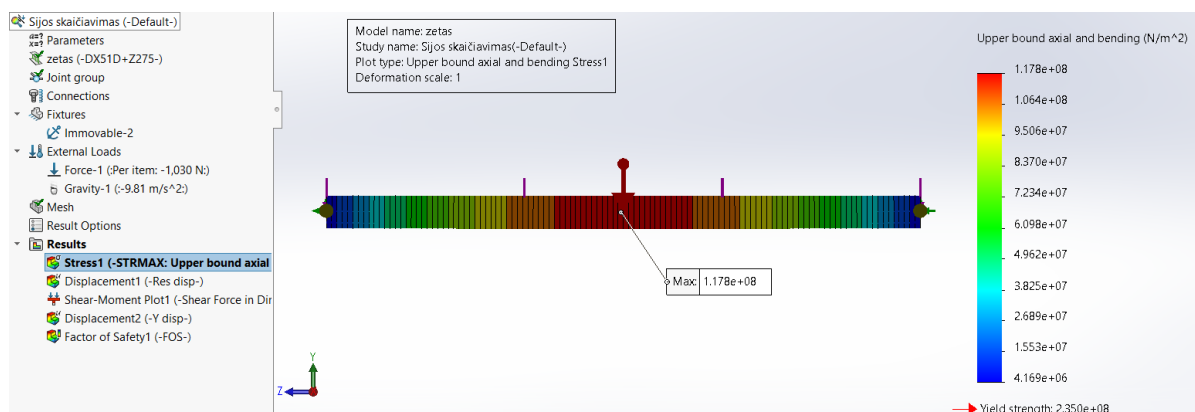
$$d = \frac{5 \cdot 1,03 \cdot 2270^4}{384 \cdot 210000 \cdot 804911} = 2,11 \text{ mm}$$

Skaičiavimus, taip pat, atliekame *SolidWorks* programa. Pirmiausia parenkame, kad elementas yra sija. Kadangi elementas plonasienis ir nėra suvirintas 100% lietimosi paviršiumi, tai mazgo laikyti standžiu negalime, todėl atramas projektuojame šarnyrines. Toliau elementas apkraunamas šiomis apkrovomis: sijos savasis svoris ir apskaičiuotas konstrukcinių elementų bei naudojimo apkrovos išskirstytasis krūvis q . Skaičiavimams paruošta sijos schema pavaizduota 16 paveikslėlyje.

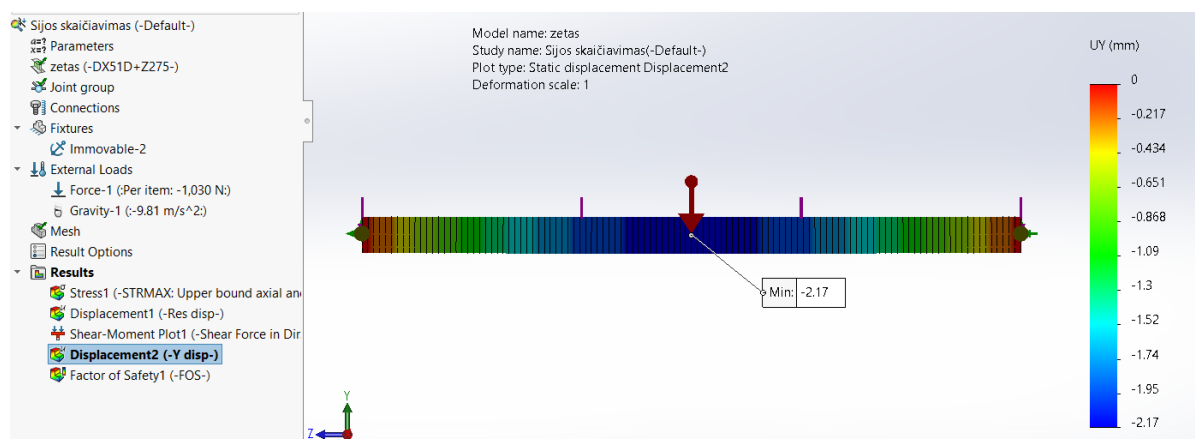


16 pav. Z profilio apkrovos ir įtvirtinimai

Atliktų skaičiavimų gauti įtempiai ir įlinkiai pateikti atitinkamai 17 ir 18 paveikslėliuose. Skaičiavimų metu tikrinama ar įtempiai neviršija takumo ribos, kuri yra viena svarbiausių metalų charakteristikų, rodančių, kokius didžiausius vidinius įtempius gal atlaikyti elementas iki liekamoji deformacija neviršija 0,2%[32]



17 pav. Pirminių parametų Z profilio įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas



18 pav. Pirminių parametų Z profilio poslinkių grafinis vaizdas

Maksimalūs sijos įtempiai yra 117,8 MPa, o maksimalus gautas sijos įlinkis yra beveik toks pat kaip ir paskaičiuotas $d = 2,17 \text{ mm}$. Skirtumas atsiranda dėl to, kad rankiniu būdu atliktuose skaičiavimuose nevertinome horizontalių ašinių įrašų. Maksimalus įlinkis yra mažesnis nei apskaičiuotas vertikalus ribinis įlinkis $d_{lim} = 15,13 \text{ mm}$, o atsargos koeficientas $n = 1,99$, todėl turime galimybę optimizuoti sijos skerspjūvį ir taip sumažinti jos svorį ir kainą. Norėdami patikrinti šią hipotezę, sprendžiame optimizavimo uždavinį:

- 1) **Suformuojame optimizavimo užduotį.** *SolidWorks* aplinkoje surašome anksčiau nustatytus kintamuosius, apribojimus ir tikslus, taip suformuodami optimizavimo uždavinio modelį (19 pav.).

19 pav. Z profilio optimizavimo parametrų lentelė

Kintamiesiems (*Variables*) Aukštis, viršutinė kraštinė, ir apatinė kraštinė užduodamas tik intervalas, o storį apribojame ir intervalu ir žingsniu 0,5 mm, nes lakštus galime gauti tik tam tikrų storių. Apribojimai (*Constraints*) – Sijos įlinkis (*Displacement5*) <15,13 mm; Minimalus atsargos koeficientas (*Minimum factor of safety1*) $\geq 1,35$. Tikslai (*Goals*) – Sumažinti masę (*Mass1*).

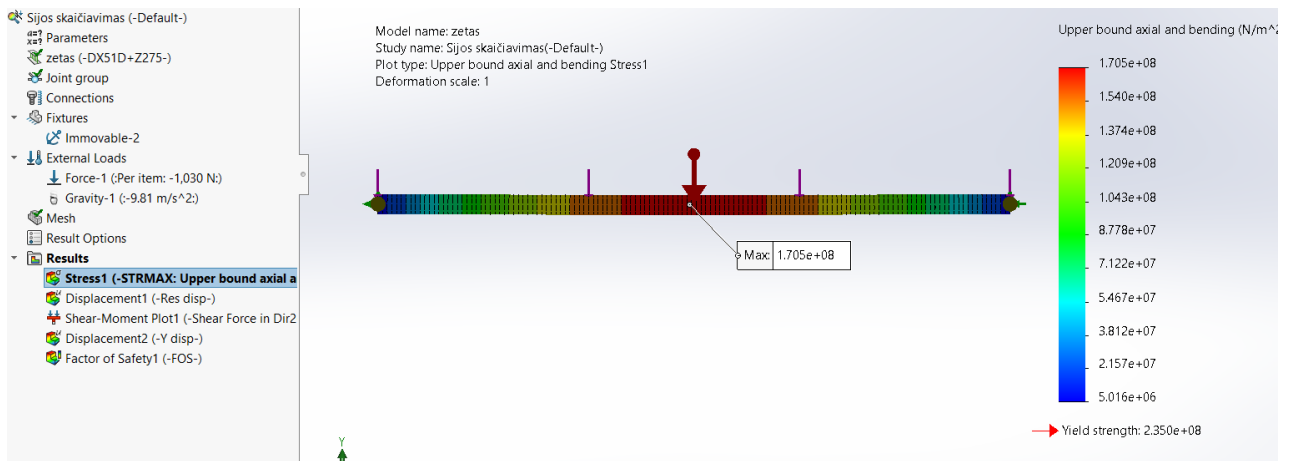
- 2) Atliktame skaičiavimus ir gautus rezultatus pateikiame 20 paveikslėlyje. Viso atliktos 27 iteracijos

27 of 27 scenarios ran successfully. Design Study Quality: High

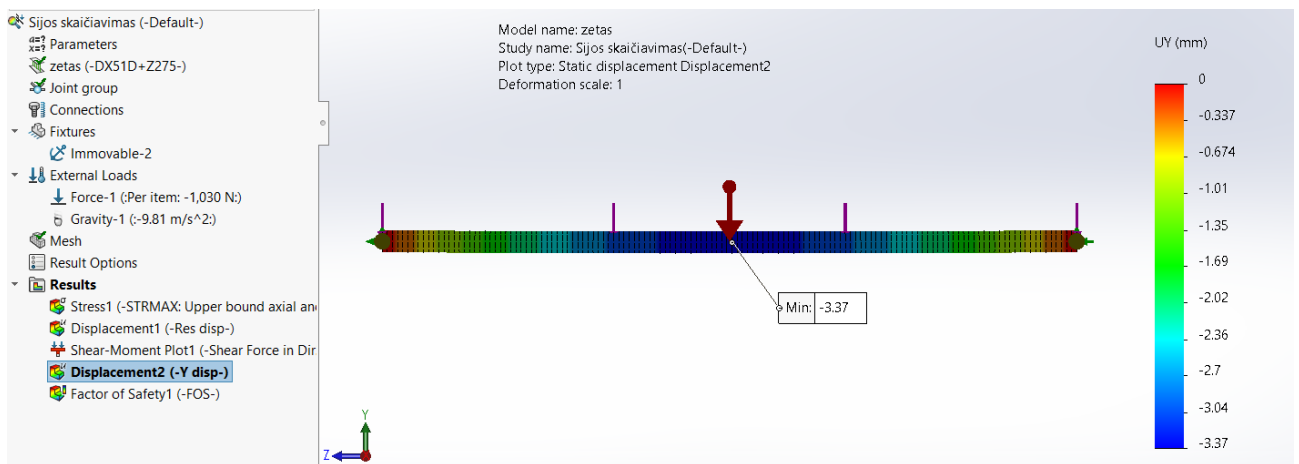
		Current	Initial	Optimal	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3	Iteration 4	Iteration 5	Iteration 6
Aukštis		98.28786mm	105mm	98.28786mm	115mm	115mm	90mm	90mm	102.5mm	102.5mm
Viršutinė kraštinė		40.37025mm	80mm	40.37025mm	80mm	40mm	80mm	40mm	60mm	60mm
Apatinė kraštinė		15.13027mm	40mm	15.13027mm	25mm	25mm	25mm	25mm	35mm	35mm
Storis		1.5mm	2mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm	2mm	1mm
Minimum Factor of Safety1	> 1.350000	1.356912	1.995095	1.356912	2.312298	1.749891	1.604322	1.163354	1.682936	1.682936
Displacement4	< 0.01513m	-0.00346m	-0.00217m	-0.00346m	-0.00207m	-0.00228m	-0.00364m	-0.00432m	-0.00262m	-0.00262m
Mass1	Minimize	5.3531 kg	7.8726 kg	5.3531 kg	7.6957 kg	6.2805 kg	6.8112 kg	5.3959 kg	6.8996 kg	6.8996 kg

20 pav. Z profilio optimizavimo uždavinio SolidWorks aplinkoje rezultatai

- 3) Atlikus skaičiavimus gautas reikšmes suapvaliname į didesnę pusę *aukštis* = 99 mm, *viršutinė kraštinė* = 41mm, *apatinė kraštinė* = 16 mm, *storis* = 1,5 mm. Atliekami gauto skerspjūvio patikrinamieji skaičiavimai. Gautos įtempių ir deformacijų reikšmės atitinkamai pateiktos 21 ir 22 paveikslėliuose.



21 pav. Galutinių parametų Z profilio įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas



22 pav. Galutinių parametų Z profilio poslinkių grafinis vaizdas

Rezultatuose matyti, kad maksimalūs įtempiai yra 171 MPa, o maksimalus gautas sijos įlinkis yra $d = 3,37 \text{ mm}$. Jis yra mažesnis nei apskaičiuotas vertikalus ribinis įlinkis $d_{lim} = 15,13 \text{ mm}$. Atsargos koeficientas $n = 1,38$. Kad būtų paprasčiau lyginti rezultatus, pirminius ir optimizuotus parametrus bei rezultatus surašome į 8 lentelę.

8 lentelė. Pirminių ir optimizuoto profilio parametų lentelė

Parametras	Tipas	Pradinė vertė	Galutinė vertė	Vienetai
Aukštis	Kintamasis	105	99	mm
Viršutinė kraštinė	Kintamasis	80	41	mm
Apatinė kraštinė	Kintamasis	40	16	mm
Storis	Kintamasis	2	1,5	mm
Sijos įlinkis	Apribojimas	2,17	3,37	mm
Atsargos koef.	Apribojimas	1,99	1,38	-
Masė	Tikslas	7,87	5,35	kg

Iš lentelės matome, kad atsargos koeficientas 1,38 priartėjo prie minimalios reikšmės 1,35, o elemento masė sumažėjo $\frac{7,87-5,35}{7,87} = 0,32$ karto. Matome, kad pasiekta maksimali optimizavimo nauda.

Medžiagos sąnaudų vertinimas

Atliktas Z profilio optimizavimas. Kadangi profilio ilgis ir lenkimų skaičius nesikeičia galime palyginti detalių svorį. Priminio Z profilio svoris 7,87 kg, o optimizuoto – 5,35 kg. Vadinasi vienai detalei sutaupoma $7,87 - 5,35 = 2,52 \text{ kg}$ medžiagos. Pakeitus dugno plokštę, pakeitėme plokštės tarpatramį, tai yra profilio žingsnį konstrukcijoje. Kai naudota cemento drožlių plokštė, sijų tarpatramis svyravo nuo 300 iki 425 mm. Parinkus naudoti špuntuotą drėgmei atsparią plokštę, tarpatramį pakeitėme iki technologiškai pritaikyto prie šiltinamos medžiagos pločio – 600 mm. Tokiu būdu vietoj 14 skersinių galime naudoti 9 skersinius. Tuomet dugno konstrukcijai reikalingų Z profilio sijų bendra masė pirminiu ir optimizuotu atveju:

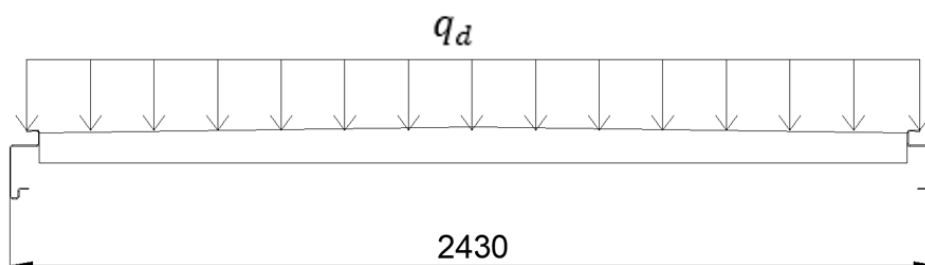
$$m_{z1} = 14 \cdot 7,87 = 110,18 \text{ kg}$$

$$m_{z2} = 9 \cdot 5,35 = 48,15 \text{ kg}$$

Matome, kad vienam nameliui sutaupoma $110,18 - 48,15 = 62,03 \text{ kg}$. Skaičiuojant metiniam pagaminamų namelių skaičiui, gaunama vertė sąlyginai didelė. Apibendrinant medžiagos ir darbo sąnaudų rezultatus, matyti, kad vien šio profilio optimizavimas yra naudingas.

4.2. Stogo sijos optimizavimas

Optimizuojama sija yra kraštinis stogo konstrukcijos elementas. Jos dar sutvirtinamos medinėmis gegnėmis. Ant medinių gegnių pasiskirsto stogo apkrova, todėl jos laikomos antrinėmis, o stogo sija laiko visą stogo konstrukciją, todėl ją laikome pirmine. Principinė stogo apkrovos schema pavaizduota 23 paveikslėlyje



23 pav. Stogo apkrovos schema

Stogo konstrukcija yra veikiama nuolatinių ir kintamųjų apkrovų. Nuolatinė apkrova yra stogo konstrukcijos savasis svoris. Kintamoji apkrova šiuo atveju yra sniego apkrova. Vėjo slėginė apkrova neskaičiuojama, nes stogo nuolydžio kampas $\alpha < 1^\circ$.

Nuolatinė stogo apkrova

Stogo konstrukcijos savojo svorio skaičiavimai pateikti 9 lentelėje. Metalinės konstrukcijos svoris gaunamas *SolidWorks* programoje.

9 lentelė. Stogo konstrukcijos elementų savojo svorio skaičiavimas

Pavadinimas	Storis, m	Tankis, kg/m ³	Ploto masė, kg/m ²	Apkrova, kN/m ²
Valcuota skarda	0,006		0,05	$0,05 \cdot 10/1000 = 0,0005$
OSB plokštė	0,01	650	-	$0,01 \cdot 650 \cdot 10/1000 = 0,065$
Šilumos izoliacijos sluoksnis (100 mm)	0,10	35	-	$0,10 \cdot 35 \cdot 10/1000 = 0,035$
Garo izoliacijos sluoksnis	0,001	-	1	$1 \cdot 10/1000 = 0,01$
Medinės gegnės	-	-	1,84	$1,84 \cdot 10/1000 = 0,0184$
Baldinė plokštė	0,01	600	-	$0,01 \cdot 600 \cdot 10/1000 = 0,06$
Suma				$\sum G_k = 0,189$

Pagal (1) formulę skaičiuotinė stogo apkrova:

$$g_d = \sum G_k \cdot 1,35 = 0,189 \cdot 1,35 = 0,26 \text{ kN/m}^2$$

Suskaičiuota sniego apkrovos skaičiuojamoji reikšmė:

$$s_d = 2,08 \text{ kN/m}^2$$

Maksimalus stogo apkrovimas gaunamas sumuojant sniego ir savojo svorio apkrovą:

$$q_d = g_d + s_d = 0,2555 + 2,08 = 2,34 \text{ kN/m}^2$$

Kraštinės stogo sijos apkrovimas skaičiuojamas pagal (10) formulę:

$$q_{s1} = q_d \cdot \frac{a}{2} \tag{10}$$

čia: a – žingsnis tarp atramų

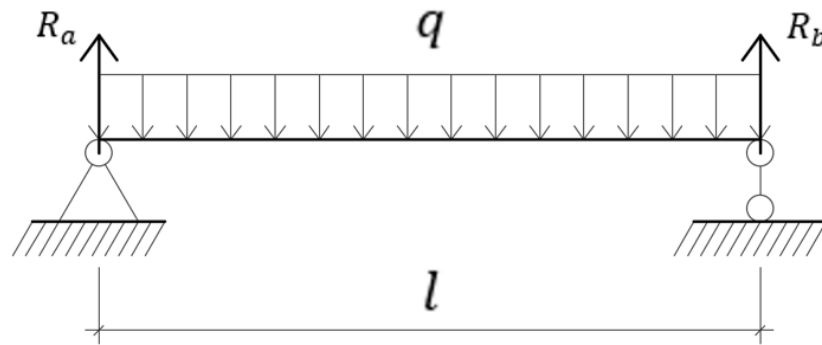
Kai atstumas tarp kraštinių stogo sijų 2,43 m, pagal (10) formulę apskaičiuojame kraštinės sijos apkrovimą:

$$q_{s1} = 2,34 \cdot \frac{2,43}{2} = 2,84 \text{ kN/m}$$

Priešingai nei prieš tai skaičiuotas dugno Z profilis, kurį veikė dviejų tipų įrašos: skersinė jėga ir lenkimo momentas, stogo sija dar yra veikiamą sukimo momento. Nors pirminė sija su medinėmis gegnėmis nėra tvirtinamos standžiai, dėl tvirtinimo padėties ir būdo gegnės bando pasukti pirminę siją apie savo ašį į vidų – tai sukels sukimo momentus pagrindiniame elemente. Vertiname, kad medinės gegnės tvirtinamos šarnyriniu būdu. Sijos sukimą sukelia gegnės atramos reakcijos jėga, kadangi ji nėra tiesiai virš stogo sijos masės centro. Siekiant išsiaiškinti stogo sijos sukimo momentą, pagal (7) formulę apskaičiuojame apkrovą tenkančią gegnei, esant 645 mm žingsniui:

$$q_d = q_d \cdot 0,645 = 2,34 \cdot 0,645 = 1,51 \text{ kN/m}$$

Toliau skaičiuojame medinės gegnės atramos reakcijos apkrovas R_a ir R_b . Schema pateikta 24 paveikslėlyje.

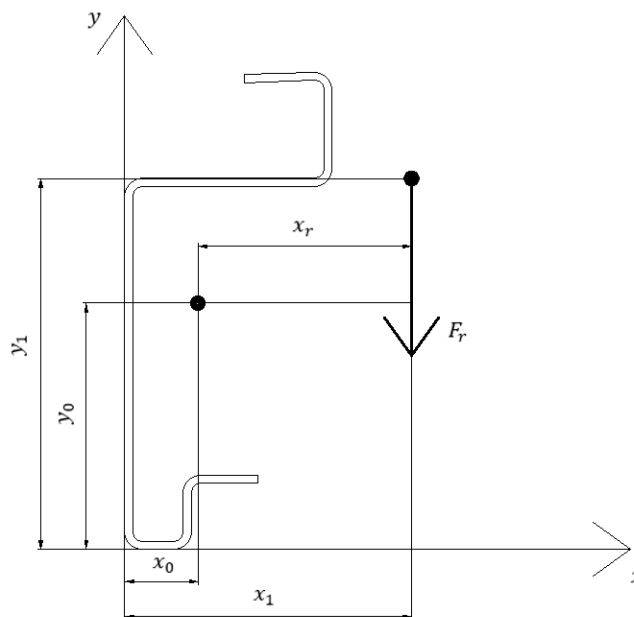


24 pav. Gegnės apkrovos schema

Kuomet sijos vienas galas įtvirtintas šarnyriniu nepaslankiuoju būdu, o kitas paslankiuoju, atramos reakcijos jėga apskaičiuojama pagal (11) formulę:

$$R_a = R_b = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1,51 \cdot 2,27}{2} = 1,71 \text{ kN} \quad (11)$$

Skaičiuojame sijos sukimo momentą. Profilio masės centro koordinatės gauname iš „Solidworks“ programos $x_0 = 28,1 \text{ mm}$, $y_0 = 94,9 \text{ mm}$. Reakcijos jėgos koordinatės: $x_1 = 108 \text{ mm}$, $y_1 = 140 \text{ mm}$. Sudaryta skaičiuojamoji schema pateikta 25 paveikslėlyje.



25 pav. Sijos sukimo momento skaičiuojamoji schema

Sujungimo taške kraštinę stogo siją veikianti jėga F_r :

$$F_r = R_a = 1,71 \text{ kN}$$

Sijos sukimo momentas T yra lygus jėgos momentui M . Pagal (12) formulę jėgos momentas apie ašį skaičiuojamas jėgą dauginant iš artimiausio atstumo nuo ašies iki jėgos veikimo linijos.

$$M = F \cdot l \quad (12)$$

Čia: M – jėgos momentas; F – siją veikianti jėga, duotuoju atveju F_r ; l – artimiausias atstumas nuo jėgos veikimo linijos iki sijos masės centro. Duotuoju atveju $l = x_r$

$$x_r = x_1 - x_0 = 108 - 28,1 = 79,9 \text{ mm} = 0,0799 \text{ m}$$

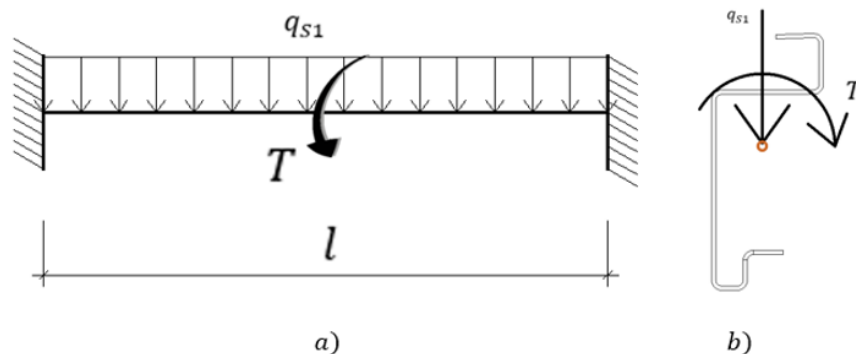
Pagal (12) formulę, sujungimą veikiantis jėgos momentas:

$$T = M_r = F_r \cdot x_r = 1710 \cdot 0,0799 = 136,6 \text{ Nm}$$

Apskaičiuojamas sukimo momentas veikiantis per siją stogo siją:

$$T_1 = 136,6 / 0,645 = 211,8 \text{ Nm/m}$$

Pačios stogo sijos jungtys traktuojamos kaip standžios, užtikrinančios visų trijų jėgos krypčių (F_x , F_y , F_z) ir visų trijų momentų krypčių (M_x , M_y , M_z) apribojimus. Toks elemento deformavimas priskiriamas sudėtingai deformuojamų elementų grupei ir statiškai nėra sprendžiamas, todėl rankiniu būdu šios sijos įlinkio neskaičiuosime. Principinė sijos apkrovimo schema pavaizduota 26 paveikslėlyje.



26 pav. Stogo sijos apkrova: a) schema; b) skerspjūvis

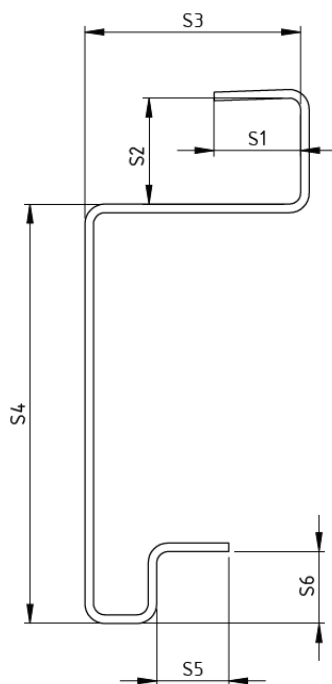
Norint atlikti sijos optimizavimą toliau turime aprašyti sijos matmenų apribojimus. Kadangi sija turi daug matmenų, sudarome schemą (27 pav.) su kintamaisiais matmenimis. Du matmenys nėra pažymėti. Dėl konteinerio gamybos ir surinkimo apatinės kraštinės matmens keisti negalime, o dėl lankstymo staklių ypatumų, lakšto storis turi būti 3 mm.

Stogo profilio matmenų kintamieji:

- Stogo konstrukcijoje, taip pat kaip ir dugne, šiltinamasis sluoksnis montuojamas konstrukcijos ribose, siekiant išlaikyti maksimalų vidinį patalpų aukštį. Tačiau pati konstrukcija sudaryta ir surenkama taip, kad šiltinamojo sluoksnio storis tik minimaliai apriboja sijos aukštį. Nustatyta, kad sijos išorinė kraštinė S4 minimalus matmuo gali būti 125 mm, o maksimalus - 150 mm.
- Stogas uždengiamas valcuota skarda. Norint patogiai prieiti užvalcuoti skardą, minimalūs matmenys S1 ir S2 atitinkamai turi būti 25 mm ir 27 mm. S1 ir S2 maksimalias reikšmes

apriboja namelių montavimo vienas ant kito specifika. S1 maksimali reikšmė negali viršyti 35 mm, o S2 - 45 mm. Gauname matmenų apribojimus: S1 25-35, S2 30-45.

- Matmenį S3 turime minimizuoti, taip sumažintume sukimo momentą apie sijos ašį. Tačiau jį riboja šiltinamos medžiagos sluoksnis. Lankstinio ertmė surinkus konstrukciją yra užpildo mineraline vata. minimalus matmuo gali būti 60 mm. Maksimalų matmenį paliksime tokį, koks naudojamas dabar – 77 mm.



27 pav. Stogo sijos kintamųjų matmenų schema

Konstruktiniai elemento apribojimai

Skaičiuojant konstrukcijų elementų įlinkius (išlinkius) ir poslinkius, turi būti tenkinama sąlyga:

$$d \leq d_{lim}$$

Leistinas vertikalus ribinis įlinkis imamas iš STR 2.05.04:2003 17.1 lentelės [28]:

$$d_{lim} = l/200 \tag{13}$$

Kai konteinerio ilgis 6050 mm, stogo sijos ilgis:

$$l_s = 6050 - 2 \cdot 180 = 5690 \text{ mm}$$

Vertikalus sijos įlinkis apskaičiuojamas pagal (13) formulę:

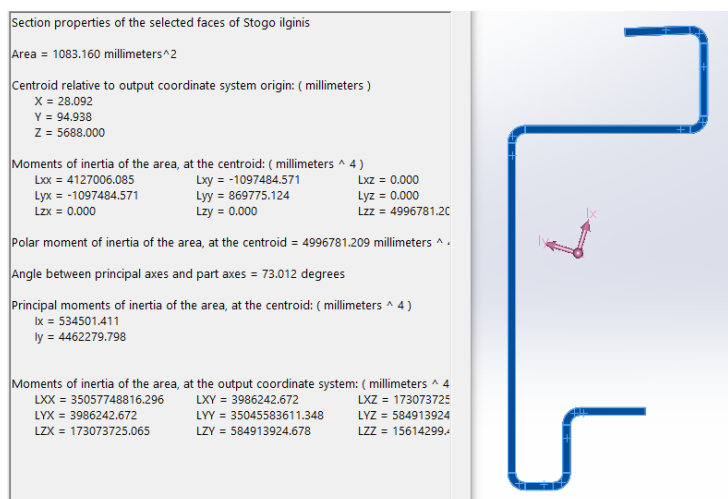
$$d_{lim} = \frac{5690}{200} = 28,45 \text{ mm}$$

Apkrovos nuo stogo svorio dalinis patikimumo koeficientas 1,35 [28]. Optimizavimo uždavinyje jį naudosime kaip minimalią atsargos koeficiento reikšmę. Visi gauti kintamieji, apribojimai ir tikslai apibendrinami ir surašomi į 10 lentelę.

10 lentelė. Sijos optimizavimo parametrų lentelė

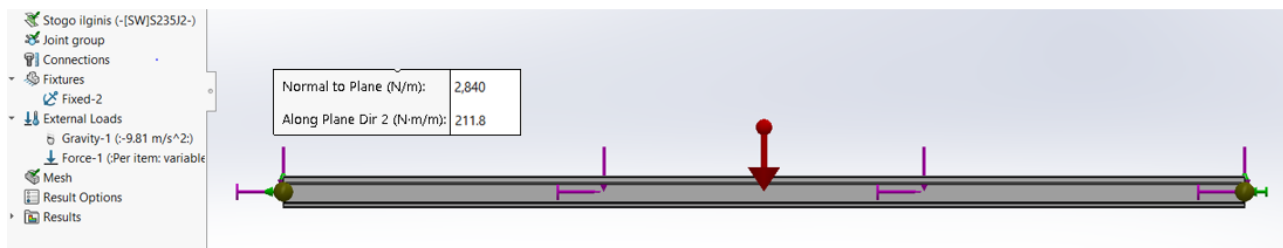
Kintamieji	Diapazonas		Vienetai
	Min	Max	
S1	25	35	mm
S2	30	45	mm
S3	60	77	mm
S4	125	150	mm
S5	25	35	mm
S6	25	40	mm
Apribojimai			
Sijos įlinkis	<28,45		mm
Atsargos koef.	≥1,35		
Tikslas			
Masė	Minimizuoti		kg

Atliekame pradinių parametrų sijos skaičiavimus. Sijos skerspjūvio parametrai pateikti 28 paveikslėlyje. Inercijos momentas $I = Lxx = 4127006 \text{ mm}^2$. Plieno S235 tamprumo modulis $E = 210000 \text{ N/mm}^2$.



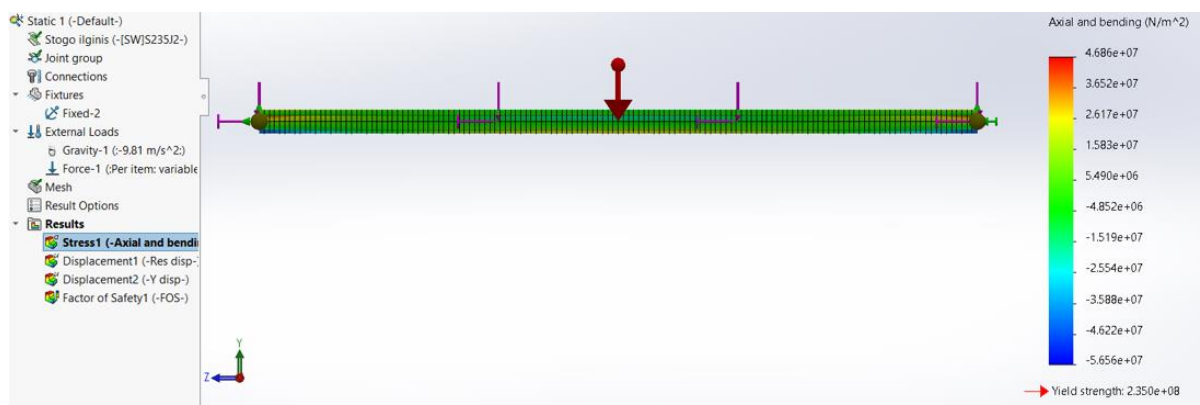
28 pav. Stogo sijos skerspjūvio parametrai

Parenkame, kad elementas yra sija. Nurodome standžias jungtis elemento galuose. Aprašome apkrovas: sijos savasis svoris, apskaičiuotos konstrukcinių elementų bei sniego apkrovos išskirstytasis krūvis q bei sukimo momentas T (29 pav.).

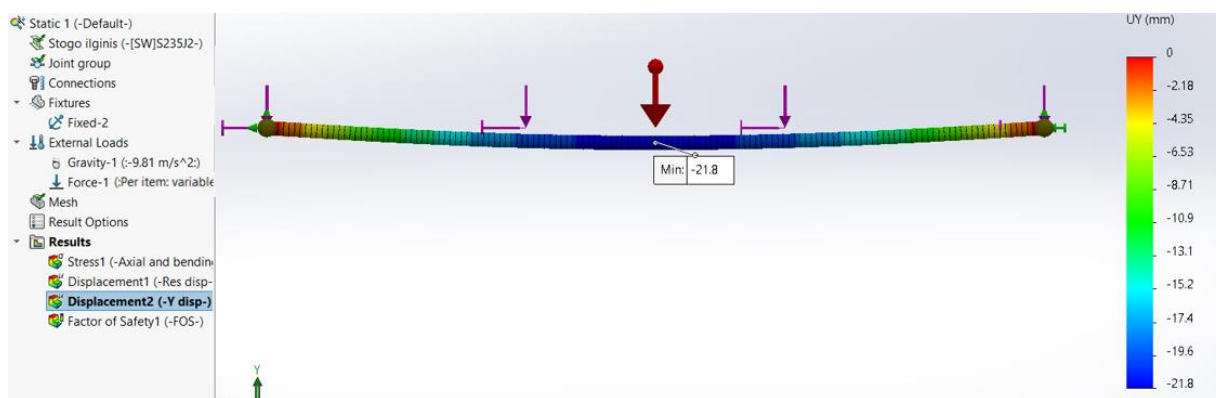


29 pav. Stogo sijos apkrovos ir įtvirtinimai

Gautus įtempius ir įlinkius matome atitinkamai 30 ir 31 paveikslėliuose. Matome, kad maksimalūs įtempiai 46,86 MPa, o didžiausias įlinkis sijos viduryje siekia 21,8 mm. Atsargos koeficientas $n = 2,56$, o vertikalus įlinkis yra mažesnis nei mūsų paskaičiuotas ribinis įlinkis $21,8 \leq 28,45$, todėl turime galimybę optimizuoti sijos skerspjūvį ir taip sumažinti jos svorį ir kainą. Gauti rezultatai leidžia manyti, kad sijos parametrus galima mažinti iki minimalių reikšmių, kad įsitikinti sprendžiamame optimizavimo uždavinyje.



30 pav. Pirminių parametų stogo sijos įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas



31 pav. Pirminių parametų stogo sijos poslinkių grafinis vaizdas

- 1) Suformuojame optimizavimo užduotį (32 pav.) ir atliekame skaičiavimus. Sudarome optimizavimo uždavinio matematinį modelį. Iš 10 lentelės duomenis užduodame programai. Kintamiesiems (*Variables*) $S1, S2, S3, S4, S5$ ir $S6$ užduodamas tik intervalas, Apribojimai (*Constraints*) – Sijos įlinkis (*Displacement3*) $< 28,45$ mm; Minimalus atsargos koeficientas (*Minimum factor of safety4*) $\geq 1,35$. Tikslai (*Goals*) – Sumažinti masę (*Mass1*).

Run Optimization

Variables

S1	Range	Min: 25mm	Max: 35mm
S2	Range	Min: 30mm	Max: 45mm
S3	Range	Min: 60mm	Max: 77mm
S4	Range	Min: 125mm	Max: 150mm
S5	Range	Min: 25mm	Max: 35mm
S6	Range	Min: 25mm	Max: 40mm

[Click here to add Variables](#)

Constraints

Displacement3	is less than	Max: 0.02845m	Static 1
Minimum Factor of Safety4	is greater than	Min: 1.350000	Static 1

[Click here to add Constraints](#)

Goals

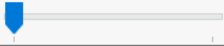
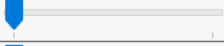
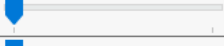
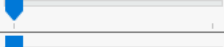
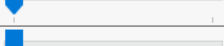
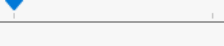
Mass1	Minimize
-------	----------

[Click here to add Goals](#)

32 pav. Stogo sijos optimizavimo parametru lentelė

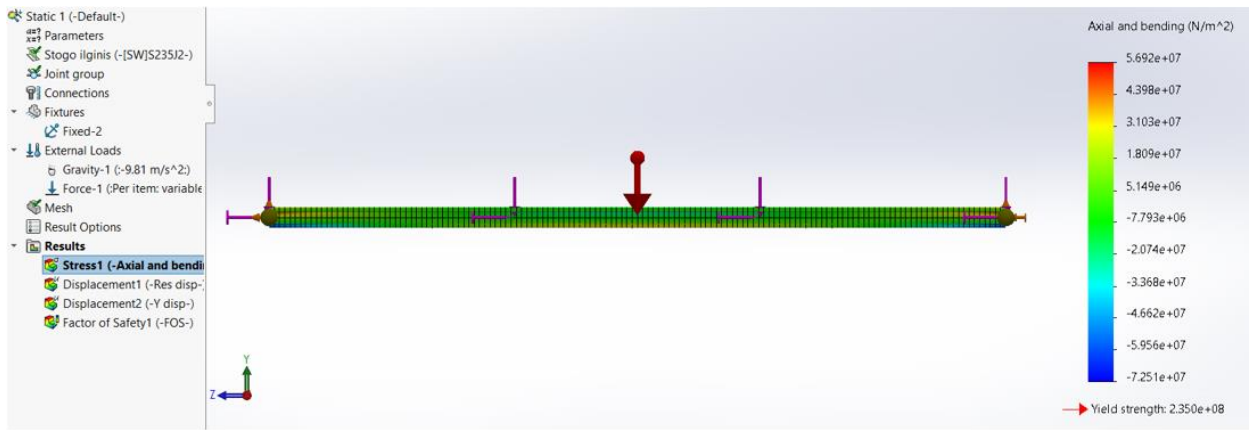
2) Gauti optimizavimo rezultatai pateikti 33 paveikslėlyje. Viso atlikta 51 iteracija. Antrame stulpelyje galime matyti, kad visos reikšmės pasiekė minimalias užduotas reikšmes, kaip ir buvo tikėtasi prieš atliekant skaičiavimus.

51 of 51 scenarios ran successfully. Design Study Quality: High

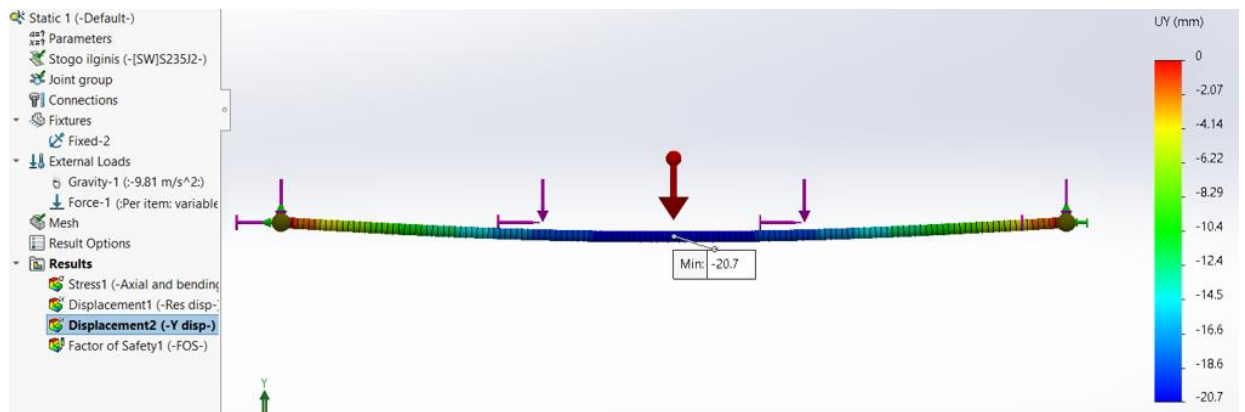
		Current	Initial	Optimal	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3
S1		25mm	30mm	25mm	35mm	35mm	35mm
S2		30mm	37mm	30mm	45mm	45mm	30mm
S3		60mm	77mm	60mm	68.5mm	68.5mm	68.5mm
S4		125mm	146mm	125mm	150mm	125mm	125mm
S5		25mm	30mm	25mm	30mm	30mm	30mm
S6		25mm	30mm	25mm	32.5mm	32.5mm	32.5mm
Displacement3	< 0.02845m	-0.02072m	-0.02177m	-0.02072m	-0.01659m	-0.01782m	-0.02203m
Minimum Factor of Safety4	> 1.350000	2.210653	2.560874	2.210653	2.926061	2.249333	2.198951
Mass1	Minimize	40.06557 kg	48.05193 kg	40.06557 kg	49.51643 kg	46.18895 kg	44.19246 kg

33 pav. Stogo sijos optimizavimo uždavinio SolidWorks aplinkoje rezultatai

Atliekame gautų matmenų skerspjūvio patikrinamuosius skaičiavimus. Gautus įtempius ir įlinkius matome atitinkamai 34 ir 35 paveikslėliuose.



34 pav. Optimizuotų parametų stogo sijos įtempių pasiskirstymo grafinis vaizdas



35 pav. Optimizuotų parametų stogo sijos poslinkių grafinis vaizdas

Kad būtų paprasčiau lyginti pirminių ir galutinių sijos parametų rezultatus, gautas reikšmes surašome į 11 lentelę.

11 lentelė. Pirminių ir optimizuoto profilio parametų lentelė

Parametras	Tipas	Pradinė vertė	Galutinė vertė	Vienetai
S1	Kintamasis	30	25	mm
S2	Kintamasis	37	30	mm
S3	Kintamasis	77	60	mm
S4	Kintamasis	146	125	mm
S5	Kintamasis	30	25	mm
S6	Kintamasis	30	25	mm
Sijos įlinkis	Apribojimas	21,77	20,72	mm
Atsargos koef.	Apribojimas	2,56	2,21	-
Masė	Tikslas	48,051	40,066	kg

Iš lentelės matome, kad elemento masė sumažėjo $\frac{48,051-40,066}{48,051} = 0,17$ karto. Galime matyti, kad sijos įlinkis, sumažėjus sijos parametrams, ne padidėjo, kaip tikėtasi, o sumažėjo. Taip galėjo nutikti, kad

sumažėjus matmenims ir pasikeitus masės centro koordinatėms, padidėjo sijos inercijos momentas (36 pav.). $I_0 = 4127006 \text{ mm}^2 > I_1 = 2521624 \text{ mm}^2$

Centroid relative to output coordinate system origin: (millimeters)		
X =	22.624	
Y =	79.268	
Z =	5688.000	
Moments of inertia of the area, at the centroid: (millimeters ^ 4)		
Lxx =	2521624.358	Lxz = 0.000
Lyy =	-540553.656	Lyz = 0.000
Lzz =	439641.860	Lzx = 0.000
Lxy =	0.000	Lzy = 2961266.21

36 pav. Galutinių parametrų stogo sijos skerspjūvio parametrai

Atsargos koeficiento reikšmė 2,21 yra daug didesnė nei mūsų nurodyta minimali 1,35. Galime daryti išvadą, kad sijos konstrukcija dar gali būti optimizuojama, tačiau tam reiktų keisti visą stogo konstrukciją, kad būtų galima dar labiau mažinti sijos matmenis.

Medžiagos sąnaudų vertinimas

Kadangi profilio ilgis ir lenkimų skaičius nesikeičia galime paskaičiuoti kiek procentais sumažėjo stogo masė, optimizavus stogo siją. Pirmiausia skaičiuojame stogo sijos 1 m masę abiem atvejais:

$$m_{s1} = \frac{48,051}{5,69} = 8,445 \text{ kg/m}$$

$$m_{s2} = \frac{40,066}{5,69} = 7,041 \text{ kg/m}$$

Stoge naudojami viso keturi elementai: du ilginiai ir du trumpiniai, kurių ilgiai atitinkamai 5,69 m ir 2,13 m. Viso bendrą reikalingą ilgį gauname:

$$L_s = (5,69 + 2,13) \cdot 2 = 15,64 \text{ m}$$

Tuomet galime paskaičiuoti bendrą masę:

$$m_1 = 8,445 \cdot 15,64 = 132,08 \text{ kg}$$

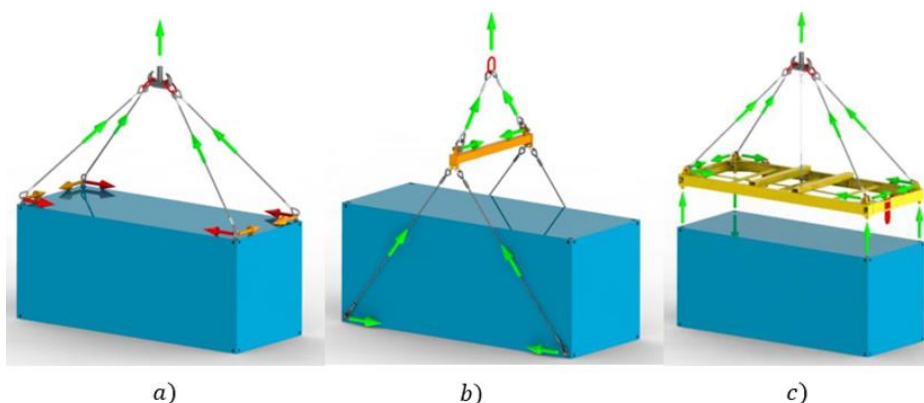
$$m_2 = 7,041 \cdot 15,64 = 110,12 \text{ kg}$$

Lyginant su Z profilio optimizavimo gautais rezultatais, šie nėra tokie ryškūs. Stogo visos konstrukcijos svoris sumažėjo $132,08 - 110,12 = 21,96 \text{ kg}$. Tačiau gauti rezultatai leidžia manyti, kad, keičiant stogo surinkimo ypatumus, stogo siją būtų galima optimizuoti dar labiau, taip dar labiau sumažinant kainą. Tačiau svarbu išsiaiškinti kokią įtaką stogo konstrukcijos keitimas turėtų gamybos ypatumams. Keičiami procesai galėtų išbranginti, o ne atpiginti konteinerinį modulį.

4.3. Templės mazgo parinkimas

Konteineriniai moduliai transportuojami specialiais platforminiais arba kitokiais sunkvežimiais. Norint transportuoti, moduliai pirmiausia turi būti užkelti ant sunkvežimio. Dėl šios priežasties, modulių konstrukcija patiria dideles apkrovas. Nameliai gali būti keliami įvairiais būdais (37 pav.):

a) keturių stropų ar diržų sistema tvirtinama prie viršutinių kampų; b) standartinis skirstytuvas tvirtinamas prie dugno kampų; c) konteinerio kėlimo rėmas.



37 pav. Konteinerių kėlimo būdai: a) keturių taškų tvirtinimas; b) skirstytuvas; c) kėlimo rėmas [33]

Yra ir daugiau kėlimo būdų, tačiau šie yra pagrindiniai ir dažniausiai naudojami. Kėlimas tvirtinant už stogo kampų nėra rekomenduojamas, kadangi tuo metu nameliui tenka didžiausios apkrovos, tačiau realybėje jis dažnai. Modulių kėlimo ir nukėlimo nuo transportavimo mašinų metu, konstrukcija minimaliai išlinksta. Stogo konstrukcija yra standesnė, todėl išlinksta mažiau nei dugno konstrukcija. Dėl šios priežasties yra tikimybė išvirsti sienos konstrukciniais elementams – daugiasluoksnėms plokštėms. Norint to išvengti, namelio konstrukcijoje pridedama papildomų konstrukcinių elementų templeių - varžtais tvirtinamų strypų, kurių paskirtis padaryti sienos konstrukciją standesnę ir suvienodinti dugno ir stogo konstrukcijų išlinkimą (38 pav.).



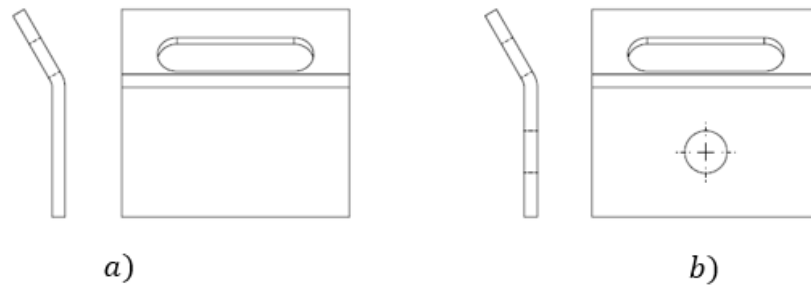
38 pav. Konstrukcijos schema su templėmis

Templei tvirtinti tiek dugno, tiek stogo konstrukcijoje virinamos plokštelės su skylėmis. Yra keletas veiksnių, lemiančių templeių padėtį:

- sieninės daugiasluoksnės plokštės plotis;
- montuojamų durų, langų vietos;
- patalpų išdėstymas ir t.t.

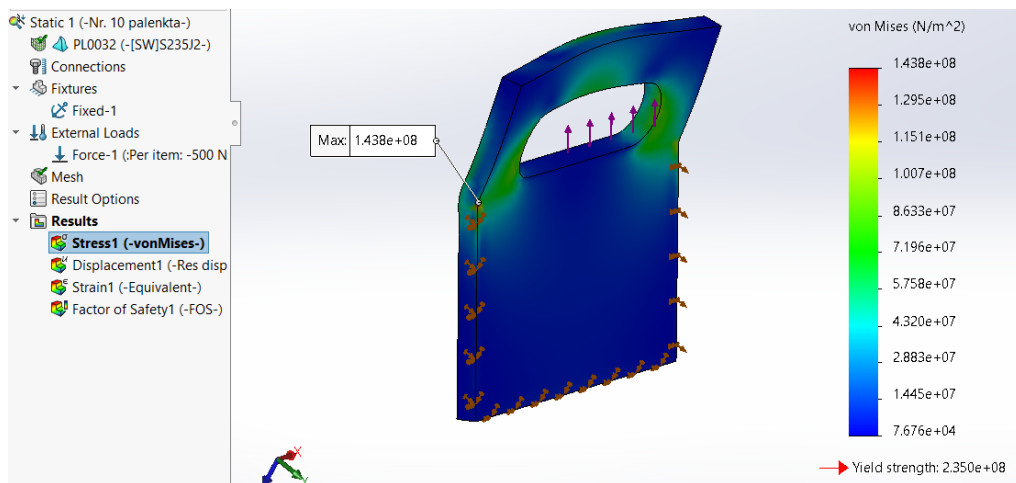
Vien sieninės daugiasluoksnės plokštės plotis varijuoja labai įvairiai. Pavyzdžiui, medinis blokas yra 1140 mm, „Sandwich“ plokštės pas skirtingus tiekėjus būna 1100, 1150, 1200 mm ir t.t. Dėl šių priežasčių gamyba susiduria su problema, kad templeės dėl įmonės vidinių ir išorinių veiksnių, būna numatytos netinkamoje vietoje. Tokiu atveju, jas tenka nupjauti, privirinti kitoje vietoje ir iš naujo nudažyti mazgą. Siūlomas variantas naudoti šarnyriniu būdu tvirtinamą templeės plokštelę(39 pav. b.).

Tokiū būdu ji būtų montuojama jau surenkant namelį, kuomet jau gautos visos reikalingos medžiagos ir atsižvelgta į visus veiksnius, galinčius lemti jos poziciją. Kitas sprendimo būdas galėtų būti kolonos per namelio vidurį tvirtinimas, tačiau šis būdas yra brangesnis ir mažiau patrauklus estetiškai.

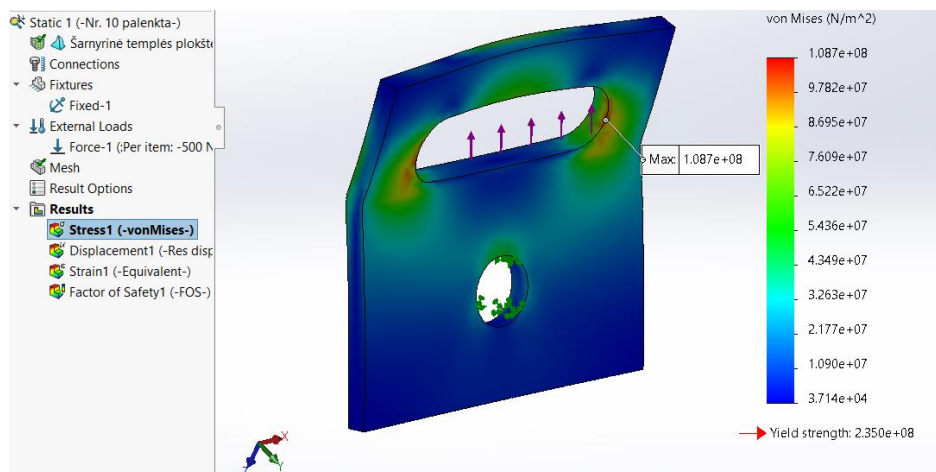


39 pav. Plokštelių tvirtinimo būdai: a) standus; b) šarnyrinis

Pirmiausia, kad palyginti stiprumines savybes skaičiuosime abiejų variantų tempių plokštelių P1(standus tvirtinimas) ir P2(šarnyrinis tvirtinimas) įtempimus, kai jos apkraunamos 500 N tempimo jėga.



40 pav. Standžiai tvirtinamos plokštelės įtempiai



41 pav. Šarnyriniu būdu tvirtinamos plokštelės įtempiai

Iš gautų rezultatų (40 ir 41 pav.) matome, kad šarnyriniu būdu įtvirtintos plokštelės įtempiai pasiskirsto didesniame paviršiuje. P1 plokštelės maksimalūs įtempiai 144 MPa, o plokštelės P2 - 109 MPa. Atitinkamai atsargos koeficientai 2,15 ir 2,35. Stipruminiu požiūriu tinkami abu variantai.

Šiuo atveju svarbesnis ekonominis sprendinio vertinimas. Siekiant apskaičiuoti plokštelių kainą turi būti vertinamas ne tik medžiagiškumas, bet ir montavimo kaštai. Kadangi pačios plokštelės yra subranguojamos – užsakomos pas tiekėjus ir gaunamas galutinis gaminys, tai pačio gaminio kaina nesikeičia ir yra 0,6 €/vnt. Šarnyriniam tvirtinimui reikalingi papildomi komponentai – kniedijama veržlė ir varžtas, kurie atitinkamai kainuoja 0,25 €/vnt. ir 0,04 €/vnt. Taip pat, reikia įvertinti ir darbo kaštus. Darbo kaštai privirinti šiai plokštei prie rėmo įmonėje vertinami 0,09 €. Kuomet plokštelė tvirtinama šarnyriniu būdu, atsiranda papildomos operacijos - skylės gręžimas konstrukcijoje, veržlės kniedijimas ir plokštelės prisukimas. Šis procesas įmonėje vertinamas 0,16 €/vnt. Duomenys surašomi į 12 lentelę.

12 lentelė. Templės plokštelių palyginimas

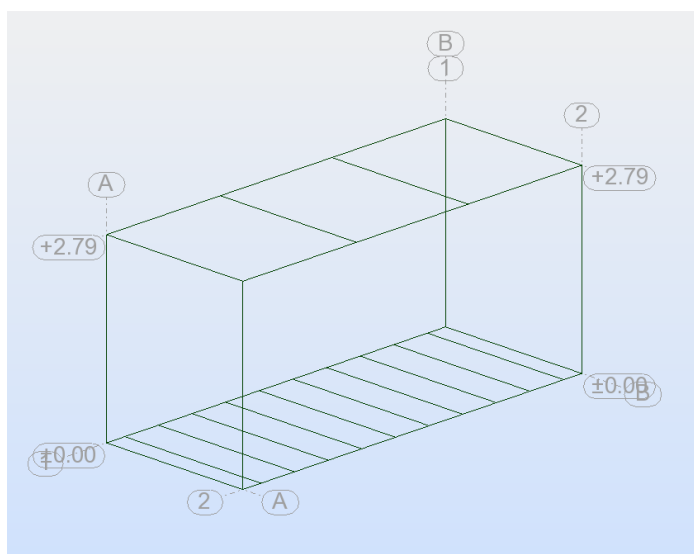
		Standi plokštelė	Šarnyrinė plokštelė
Ekonomiškumas			
Gaminio kaina, €/vnt.		0,6	0,6
Darbo kaštai, €/vnt.		0,09	0,16
Papildomų komponentų kaštai, €/vnt.		-	0,25+0,04=0,29
Viso		0,69	1,05
Technologiškumas			
	Privalumai	Beveik dvigubai pigesnė	Pašalinama klaidos tikimybė - vieta gali būti numatoma ir keičiama prieš pat montavimą.
	Trūkumai	Detalė yra privirinama, todėl vieta turi būti iš anksto žinoma.	Beveik dvigubai brangesnė

Iš gautų rezultatų matyti, kad šarnyriniu būdu tvirtinama plokštelė yra dvigubai brangesnė. Nors vieneto kaina sąlyginai maža, vienam nameliui reikalingos 8 tokios plokštelės, taigi vienam nameliui papildomai reikia $(1,05 - 0,69) \cdot 8 = 2,88$ €. Metų pabaigoje vien dėl šio pakeitimo būtų prarandamos tūkstantinės sumos. Nors šarnyriniu būdu tvirtinama plokštelė ir pašalina klaidos tikimybę, papildomi kaštai per dideli ir neatperka kaštų, kurie gaunami padarius klaidą, todėl standartiškai siūloma naudoti standų tvirtinimą. Šarnyriniu būdu tvirtinama plokštelė siūloma kaip alternatyva, kai pradėjus gamybą dėl tam tikrų priežasčių nėra žinoma tiksli pozicija arba kai konstrukcijos gaminamos vėlesniam pardavimui. Kadangi, dauguma atvejų konteineriniai nameliai yra individualūs gaminiai, kai konstrukcijos gaminamos iš anksto, neturint užsakymų, neįmanoma numatyti kokios ir kaip bus išdėstytos sieninės plokštės.

5. Konstrukcijos patikrinamieji skaičiavimai

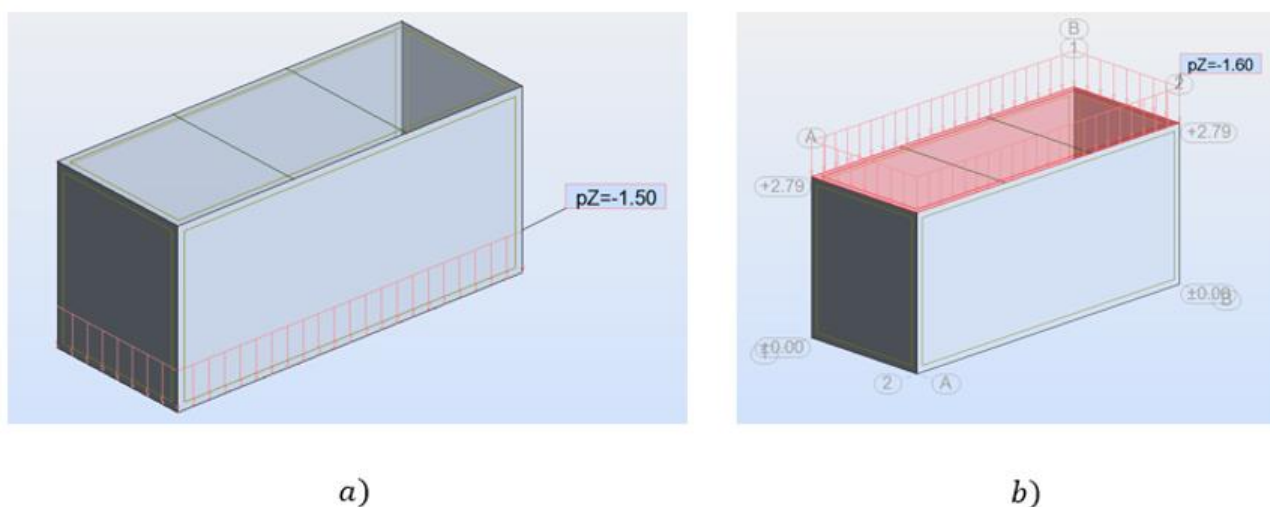
Konstrucinių elementų patikrinamieji statiniai skaičiavimai atlikti BEM (*baigtinių elementų metodu*), naudojant kompiuterinę programą *Robot Structural Analysis*. „Robot Structural Analysis“ yra specializuota konstrukcijos apkrovų analizės programinė įranga, kuri patikrina EC3 (*Eurokodas 3*) ar kito kodo atitikimą [34, 35, 36]. Programa yra patogi, nes turi sąsają su tokiomis architektūrinėmis programomis kaip *Revit* ar *AutoCAD*.

Skaičiuojamasis modelis sudarytis iš surenkamų konstrukcijų dugno ir stogo rėmų bei kolonų. Skaičiavimų metu vertinamas elementų stabilumas ir stiprumas. Modulio konstrukcija jungiama šarnyriniu būdu – kolonos su dugno ir stogo rėmais sujungti varžtinėmis jungtimis. Sudaroma skaičiuojamoji schema (42 pav.)

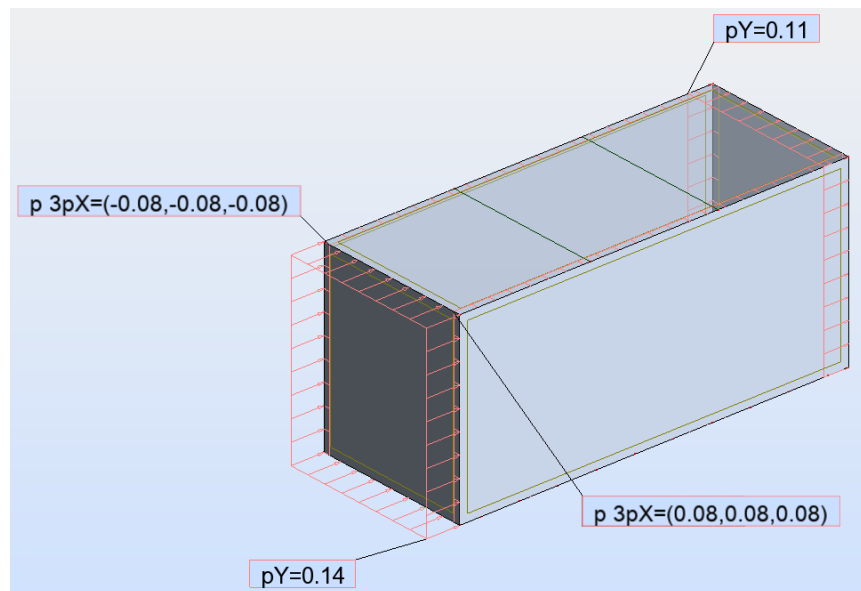


42 pav. Modulio skaičiuojamoji schema

Modulio konstrukciniai elementai tikrinami apkraunant pagal mūsų apskaičiuotas savojo svorio, naudojimo (43 pav. a), sniego (43 pav. b) bei vėjo (44 pav.) apkrovas



43 pav. Apkrovos: a) naudojimo ir b) sniego



44 pav. Vėjo apkrova

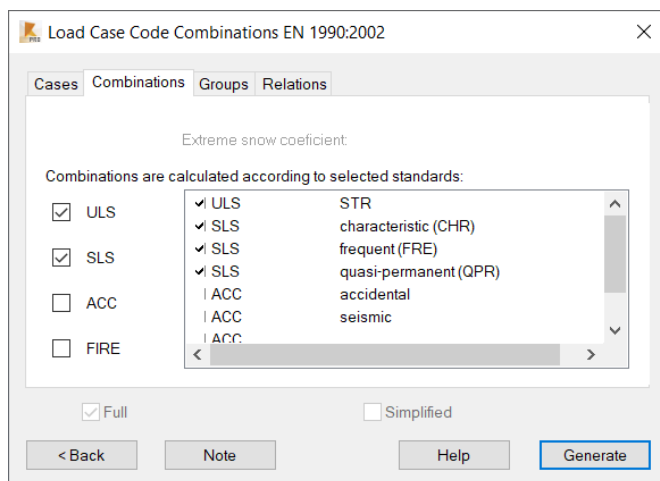
EC3 projektavimo reikalavimai daugiausia grindžiami ribinių būvių projektavimu, kurio metu konstrukcinės savybės vertinamos pagal įvairias ribojančias sąlygas [37]. Ribojančios sąlygos dar vadinamos apkrovos atvejų deriniais ar kombinacijomis. Apkrovos atvejų deriniai naudojami tikrinant atsparumą ir tinkamumą realioms situacijoms, kai įvairios apkrovos veikia vienu metu. Tokie apkrovų deriniai nustatomi pagal kodus, kurie būdingi šalims ar regionams. Vyrauja trys pagrindinės kombinacijų rūšys:

- ULS (*ultimate limit state*) - apkrovos atvejo derinys naudojamas projektuojant plieną tikrinant galutinės ribinės būsenos sąlygas;
- SLS (*serviceability limit state*) – apkrovos atvejo derinys naudojamas tikrinant eksploatacijos ribinės būklės sąlygas;
- ACC - apkrovos atvejo derinys naudojamas tikrinant atsitiktinių ribinių būsenų sąlygas.

Pasirinkus EN 1990:2002 ar bet kurį šio kodo nacionalinį priedą kaip apkrovos derinio kodą, vertinami ir trys specifiniai SLS apkrovų derinių tipai:

- SLS:CHR – būdingi deriniai, naudojami negrįžtamoms ribinėms būsenoms patikrinti;
- SLS:FRE – Dažniai deriniai, naudojami tikrinant grįžtamasias ribines būsenas;
- SLS:QPR – beveik nuolatiniai deriniai, naudojami ilgalaikiam poveikiui ir konstrukcijos išvaizdai, pavyzdžiui, deformacijoms tikrinti.

Pasirinkdami apkrovų derinių sudarymo reikalavimus, pasirenkame tik ULS ir SLS tipo apkrovų derinius(45 pav.), kadangi nei seisminių, nei atsitiktinių apkrovų netaikome.



45 pav. Apkrovos atvejų derinių sudarymas

Programos pagalba pagal EN 1990:2002 sudarome apkrovų kombinacijas [39]. Kombinacijų suvestinė pateikta 13 lentelėje. Apkrovų deriniai sudaromi parenkant nurodytų apkrovų kombinacijas. Apkrovos atvejų derinių suvestinė pateikta 13 lentelėje.

13 lentelė. Apkrovos atvejų derinių suvestinė

Nr.	Apkrovos/derinio pavadinimas	Koeficientai	Apkrovos tipas
1	DL1		Nuosavas svoris
2	DL2		Sienų, grindų, perdangų svoris
3	LL1		Naudojimo apkrova
4	SN1		Sniego apkrova
5	WIND1		Vėjo apkrova
6	ULS/ 1	$1*1.35+2*1.35+3*1.50+4*0.75+5*0.90$	
7	ULS/ 2	$1*1.35+2*1.35+3*1.50+5*0.90$	
8	ULS/ 3	$1*1.35+2*1.35+3*1.50+4*0.75$	
9	ULS/ 4	$1*1.35+2*1.35+3*1.50$	
10	ULS/ 5	$1*1.35+2*1.35$	
11	ULS/ 6	$1*1.00+2*1.00+3*1.50+4*0.75+5*0.90$	
12	ULS/ 7	$1*1.00+2*1.00+3*1.50+5*0.90$	
13	ULS/ 8	$1*1.00+2*1.00+3*1.50+4*0.75$	
14	ULS/ 9	$1*1.00+2*1.00+3*1.50$	
15	ULS/ 10	$1*1.00+2*1.00$	
16	SLS:CHR/ 1	$1*1.00+2*1.00+3*1.00+4*0.50+5*0.60$	
17	SLS:CHR/ 2	$1*1.00+2*1.00+3*1.00+5*0.60$	
18	SLS:CHR/ 3	$1*1.00+2*1.00+3*1.00+4*0.50$	
19	SLS:CHR/ 4	$1*1.00+2*1.00+3*1.00$	

13 lentelė. Apkrovos atvejų derinių suvestinė (tęsinys)

Nr.	Apkrovos/derinio pavadinimas	Koeficientai	Apkrovos tipas
20	SLS:CHR/ 5	1*1.00+2*1.00	
21	SLS:FRE/ 6	1*1.00+2*1.00+3*0.50	
22	SLS:FRE/ 7	1*1.00+2*1.00	
23	SLS:FRE/ 8	1*1.00+2*1.00+3*0.30+5*0.20	
24	SLS:FRE/ 9	1*1.00+2*1.00+5*0.20	
25	SLS:QPR/ 10	1*1.00+2*1.00+3*0.30	
26	SLS:QPR/ 11	1*1.00+2*1.00	
27	SLS:CHR/ 1	1*1.00+2*1.00+3*1.00+4*0.50+5*0.60	
28	SLS:CHR/ 2	1*1.00+2*1.00+3*1.00+5*0.60	
29	SLS:CHR/ 3	1*1.00+2*1.00+3*1.00+4*0.50	
30	SLS:CHR/ 4	1*1.00+2*1.00+3*1.00	
31	SLS:CHR/ 5	1*1.00+2*1.00	
32	SLS:FRE/ 1	1*1.00+2*1.00+3*0.50	
33	SLS:FRE/ 2	1*1.00+2*1.00	
34	SLS:FRE/ 3	1*1.00+2*1.00+3*0.30+5*0.20	
35	SLS:FRE/ 4	1*1.00+2*1.00+5*0.20	
36	SLS:QPR/ 1	1*1.00+2*1.00+3*0.30	
37	SLS:QPR/ 2	1*1.00+2*1.00	

Atlikus patikrinamuosius skaičiavimus, gauti rezultatai (46 pav.) rodo, kad visi elementai atitinka stiprumo ir stabilumo sąlygas. Galime matyti, kad Z profilių išnaudojimas yra didžiausias ir siekia 95%. Optimizavimo uždavinyje taip pat gavome, kad atsargos koeficientas pasiekė beveik minimalią reikšmę.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
1 Beam 1	Stogo sija	S 235	134.88	19.34	0.13	5 ULS /6/	0.01	9 SLS /9/	0.02	9 SLS /12/
2 Beam 2	Stogo sija	S 235	15.54	138.88	0.63	5 ULS /6/	0.02	9 SLS /8/	0.43	9 SLS /12/
3 Beam 3	Stogo sija	S 235	134.88	19.34	0.13	5 ULS /6/	0.01	9 SLS /9/	0.02	9 SLS /12/
4 Beam 4	Stogo sija	S 235	15.54	138.88	0.63	5 ULS /6/	0.02	9 SLS /8/	0.43	9 SLS /12/
5 Column 5	Kolona	S 235	18.17	36.02	0.64	5 ULS /5/	0.34	9 SLS /12/	0.02	9 SLS /14/
6 Column 6	Kolona	S 235	18.17	36.02	0.64	5 ULS /5/	0.34	9 SLS /12/	0.02	9 SLS /14/
7 Column 7	Kolona	S 235	18.17	36.02	0.60	5 ULS /3/	0.33	9 SLS /13/	0.01	9 SLS /14/
8 Column 8	Kolona	S 235	18.17	36.02	0.60	5 ULS /3/	0.33	9 SLS /13/	0.01	9 SLS /14/
9 Beam 9	RECT 1	S 235	134.88	185.36	0.34	5 ULS /10/	0.00	9 SLS /2/	0.08	9 SLS /1/
10 Beam 10	RECT 1	S 235	54.17	74.45	0.02	5 ULS /7/	0.01	9 SLS /6/	0.01	9 SLS /14/
11 Beam 11	RECT 1	S 235	134.88	185.36	0.34	5 ULS /10/	0.00	9 SLS /2/	0.08	9 SLS /1/
12 Beam 12	RECT 1	S 235	54.17	74.45	0.02	5 ULS /7/	0.00	9 SLS /6/	0.02	9 SLS /14/
13 Beam 13	Stogo U	S 235	34.08	63.33	0.43	5 ULS /6/	0.00	9 SLS /9/	0.15	9 SLS /12/
14 Beam 14	Stogo U	S 235	34.08	63.33	0.43	5 ULS /6/	0.00	9 SLS /8/	0.13	9 SLS /12/
15 Beam 15	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.93	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.34	9 SLS /1/
16 Beam 16	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
17 Beam 17	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
18 Beam 18	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
19 Beam 19	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
20 Beam 20	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
21 Beam 21	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
22 Beam 22	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
23 Beam 23	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.95	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.43	9 SLS /1/
24 Beam 24	Zetas	S 235	71.48	282.54	0.93	5 ULS /1/	0.00	9 SLS /6/	0.34	9 SLS /1/

46 pav. Profilių stiprumo ir stabilumo tikrinimo rezultatai

Išvados

1. Atlikus konstrukcijos analizę, išsiaiškinta, kad konteinerinių modulių konstrukcija susideda iš metalinių profiliuotųjų: stačiakampių vamzdžių, lygiašonių kampuočių ir t.t, bei šaltai lenktų profilių. Kampuose naudojamos standartizuotos dėžutės, o į bendrą konstrukciją stogas, dugnas ir kolonos sujungiami šarnyriniu arba standžiu būdu.
2. Nagrinėjant techninius reglamentus nustatyta, kad modulį veikia nuolatinės ir kintamos apkrovos, kurios aprašytos STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ reglamente. Namelį veikiančios apkrovos:
 - savojo svorio;
 - naudojimo $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$;
 - sniego $s = 1,6 \text{ kN/m}^2$;
 - vėjo $q_{ref} = 360 \text{ Pa}$.

Apkrovų deriniai nustatyti pagal EN 1990:2002 ir sudaryti Robot Structural Analysis programos pagalba.

3. Atlikus konstrukcijos analizę, identifikuoti pasirinktų elementų optimizuojamieji parametrai ir nustatyti tų parametru apribojimai. Optimizavimo uždavinys išspręstas naudojant *SolidWorks* programos *Design Study* papildinį. Optimizuoti dugno konstrukcijos „Z“ profilio bei stogo sijos skerspjūvio parametrai. Atlikus optimizavimą Z profilio masė sumažėjo 0,32 karto, o stogo sijos masė sumažėjo 0,17 karto. Dėl to, visos dugno konstrukcijos masė sumažėjo 62,03 kg, o stogo konstrukcijos masė sumažėjo 21,96 kg. Parinktas standus temples tvirtinimas, kadangi šarnyrinės plokštelės kaštai didesni, nei reikalingi permontuoti standžią plokštelę.
4. Atlikus patikrinamuosius skaičiavimus *Robot Structural Analysis* programa, gauti teigiami rezultatai - visų elementų skerspjūviai tenkina stiprumo ir stabilumo sąlygas. Labiausiai išnaudojamas Z profilis, jo išnaudojimas siekia 95%.

Literatūros sąrašas

1. BAI, L. *Research on the Adaptability of Container Assembly Housing: Master thesis* [interaktyvus]. ARC III - Scuola del Design, 2015 [žiūrėta 2020-10-15]. Prieiga per: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/109503>
2. LUKMON, B. *Shipping Container as an Alternative Housing Solution: Bachelor's thesis* [interaktyvus]. Tampere University of Applied Sciences. Nigeria, 2018 [žiūrėta 2020-10-19]. Prieiga per: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018053111670>
3. MOON, I., NGOC, A., ir KONINGS, R. Foldable and Standard Containers in Empty Container Repositioning. *Transportation Research Part E* [interaktyvus]. 2013, 49, 107–124 [žiūrėta 2020-10-27]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.07.005>
4. ZHANG, S., RUAN, X., XIA, Y., and FENG, X. Foldable Container in Empty Container Repositioning in Intermodal Transportation Network of Belt and Road Initiative: Strengths and Limitations. *Maritime Policy & Management* [interaktyvus]. 2017, 45 (3), 351–369 [žiūrėta 2020-10-09]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/03088839.2017.1400699>
5. OBRECHT, M. ir KNEZ, M. (2017). Carbon and Resource Savings of Different Cargo Container Designs. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2017, 155 (1), 151–156 [žiūrėta 2020-10-]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.076>
6. BOVIRK, T., HASSEN, A., DEY, S., LANGBERG, H., LANGSETH, M. On the ballistic and blastload response of a 20 ft ISO container protected with aluminium panels filled with a local mass - Phase I: design of protective system. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2008, 6, 1605-1620 [žiūrėta 2020-10-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.10.010>
7. SANDBERRG, H. O., NUSSBAUMER, A. *Progressive Housing with Permanent Core Dwelling resistant to Natural Hazards* [interaktyvus]. Switzerland, 2015 [žiūrėta 2020-10-15]. Prieiga per: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:31472198>
8. TSAI C. L. *Modular Container House Building Structure* [Interaktyvus]. Išradėjas: TSAI C. L. Int. Cl: US10392795B2. Jungtinių Amerikos Valstijų patentas, PCT / CN2016 / 074561. 2016 02 02 [žiūrėta 2020-09-06]. Prieiga per: <https://patents.google.com>.
9. GIRIUNAS, K., SEZEN, H., ir DUPAIX, R. B. Evaluation, modeling, and analysis of shipping container building structures. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2012, 43, 48-57 [žiūrėta 2020-10-]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.001>.
10. *MDI: Modulinių pastatų institutas* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-09-24]. Prieiga per internetą: <https://www.modular.org>
11. ZANG, H., HU, S. Reuse of Discarded Container in Tourism Landscape Design. *International Core Journal of Engineering*. 2016, 2.
12. JAHRE, M., KEMBRO, J., ADJAHOSSOU, A., ALTAY, N. Approaches to the design of refugee camps: An empirical study in Kenya, Ethiopia, Greece, and Turkey. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* [interaktyvus]. 2018, 8 (3), 323-345, 2018 [žiūrėta 2020-10-13]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2017-0034>
13. ALBANIAN ORGANIZATION FOR QUALITY. *14th International Conference in Standardization, Prototypes and Quality: a Means of Balkan Countries Collaboration* [interaktyvus]. Albania, 2018 [žiūrėta 2020-11-05]. Prieiga per: <https://albanianuniversity.edu.al>.
14. *UNHCR: United Nations High Commissioner for Refugees. Camp planning standards (planned settlement)* [interaktyvus]. 2019, [žiūrėta 2020-11-16]. Prieiga per: <https://emergency.unhcr.org>

15. HONG, Y. A study on the condition of temporary housing following disasters: Focus on container housing. *Frontiers of Architectural Research* [interaktyvus]. 2016, 6 (3), 374-383 [žiūrėta 2020-10-15] Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.005>
16. WONG K. H. *Containers for Housing and Reurbanization after Disasters* [interaktyvus]. IITGN Gandhinagar, 2015 [žiūrėta 2020-09-07]. Prieiga per: <https://iitgn.ac.in>
17. KNAACK, U., KLATTE, S. *Prefabricated Systems: Principles of Construction* [interaktyvus]. Walter de Gruyter, 2012 [žiūrėta 2020-10-26]. Prieiga per: <https://books.google.lt>
18. CHEN, A., BURGAN, B. *Advanced numerical analysis of instrument boxes and ISO container subjected to blast loading from vapour cloude detonations* [interaktyvus]. The Steel Construction Institute, 2016 [žiūrėta 2020-12-13]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/>
19. CTX CONTAINEX. *The specialist for mobile space solutions* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-09-14]. Prieiga per: <http://www.containex.co.uk>
20. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.05.08:2005, Plieninių konstrukcijų projektavimas [interaktyvus]. TAR, 2005-02-18, Nr. 28-895 [žiūrėta 2020-10-20]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt>
21. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 898-1:2000], Anglinio ir legiruotojo plieno tvirtinimo detalių mechaninės savybės. Vilnius, 2000.
22. ISO: *International Organization for Standardization*. [ISO 9223:2012], Corrosion of metal and alloys – Corrosivity of atmospheres – Clasification, determination and estimation. Switzerland, 2012.
23. SHIH, R. (2014). *Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation* [interaktyvus]. SDC Publications, 2014, [žiūrėta 2020-11-27]. Prieiga per: <https://books.google.lt>
24. GULER, S. ir KARAGULLE, H. Finite Element Analysis of Structures with Extruded Aluminum Profiles Having Complex Cross Sections. *Latin American Journal of Solids and Structures* [interaktyvus]. 2016, 13(8), 1499-1514, [žiūrėta 2020-11-26]. Prieiga per: <http://doi.org/10.1590/1679-78252755>
25. Erickson, A. *Introduction to SolidWorks Simulation Webinar: What is Finite Element Analysis* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-09-28]. Prieiga per: <https://www.cati.com/>
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 1.04.04:2017, Statinio projektavimas, projekto ekspertizė [interaktyvus]. TAR, 2016-11-07, Nr. D1-738 [žiūrėta 2020-10-13]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt>
27. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 1.01.03:2017, Statinių klasifikavimas [interaktyvus]. TAR, 2016-10-27, Nr. D1-713 [žiūrėta 2020-10-13]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt>
28. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.05.04:2003, Poveikiai ir apkrovos [interaktyvus]. TAR, 2003-05-15, Nr. 233 [žiūrėta 2020-10-13]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt>
29. MARTIN, S., MARTIN, J. ir LAI, P. International container design regulations and ISO standards: are they fit for purpose? *Maritime Policy & Management* [interaktyvus]. 2019, 46(2), 217-236, [žiūrėta 2020-10-26]. Prieiga per: <http://doi.org/10.1080/03088839.2018.1519862>
30. KUROWSKI P. *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation* [interaktyvus]. SDC Publications, 2015 [žiūrėta 2020-11-20]. Prieiga per: <https://books.google.lt>
31. Vislavičius K. *Medžiagų mechanika I*. Vilnius: Technika, 2000.

32. VAIČIULIS D. *Leistinių įtempių parinkimo metodika* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2020-11-06]. Prieiga per: <http://www.mechanikosinzinierius.lt/>
33. CONTAINER TECHNICS. *How to Lift a Shipping Container* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-11-15]. Prieiga per internetą: <https://www.containertechnics.com>
34. GILEMKHANOV R., BAGAUDINOV R. ir KANKHVA V. Autodesk Revit and Robot Structural Analysis in Design of Framed Buildings. *Advances in Intelligent Systems and Computing* [interaktyvus]. 2018, 692, 1036-1045 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per: https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_112
35. MAHARJAN, A. *Structural Analysis of an Office Building with Robot Structural Analysis and Manual Calculation A case study of HAMK 'N' building*: Bachelor's thesis [interaktyvus]. HAMK University of Applied Sciences, 2018 [žiūrėta 2020-11-09]. Prieiga per: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018110916899>
36. VIRBULE, I., SERDJUKS, D. ir BUKA-VAIVADE, K. Behaviour's analysis of load-carrying members for timber framework building. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* [interaktyvus]. 2019, 1, 330-335 [žiūrėta 2020-09-24]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.17770/etr2019vol1.4068>
37. MOJTABAEI, S., YE, J. ir HAJIRASOULIHA, I. Development of optimum cold-formed steel beams serviceability and ultimate limit states using Big Bang-Big Crunch optimisation. *Engineering Structures* [interaktyvus]. 2019, 195, 172-181 [žiūrėta 2020-09-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.089>
38. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 1990:2004], *Eurokodas. Konstrukcijų projektavimo pagrindai = EN 1990:2002, Eurocode – Basis of structural design* turi Lietuvos standarto status. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas.