

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Tadas Astrauskas

**LAIVŲ BLOKŲ SURINKIMO AIKŠTELĖS
UŽDENGIMO KILNOJAMOMIS KONSTRUKCIJOMIS
TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF POSSIBILITY TO COVER
THE SHIP BLOCKS ASSEMBLING SITE
BY MOBILE STRUCTURES**

Uosto statinių studijų programos
magistro baigiamasis darbas

Vadovas: prof. dr. Michail Samofalov

Klaipėda, 2021

1 priedas. Bakalauro ir magistro baigiamųjų darbų lydraščio forma

Pildo bakalauro / magistro baigiamojo darbo autorius

.....
Tadas Astrauskas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

.....
Laivų blokų surinkimo aikštelės uždengimo kilnojamomis konstrukcijomis tyrimas

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro/magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

.....
Tadas Astrauskas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad bakalauro / magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

.....
Tadas Astrauskas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo bakalauro / magistro baigiamojo darbo vadovas

Bakalauro / magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....
prof. dr. Michail Samofalov

(data)

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo Jūrų inžinerijos katedros, kuriojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

.....
(data)

Aušra Gricė
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo Jūrų inžinerijos katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas ir programų vadovas

Bakalauro / magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....
(data)

Prof. habil. dr. Sergejus Lebedevas
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Bakalauro / magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....
(data)

(programų vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentais skiriu

.....
lekt. dr. Jevgenija Rutė

(įrašyti recenzento vardą, pavardę)

.....
lekt. dr. Vygantas Bagočius

(įrašyti recenzento vardą, pavardę)

.....
(data)

(programų vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Uosto statinių studijų programos baigiamasis magistro darbas

LAIVŲ BLOKŲ SURINKIMO AIKŠTELĖS UŽDENGIMO KILNOJAMOMIS KONSTRUKCIJOMIS TYRIMAS

Autorius: Tadas Astrauskas

Vadovas: prof. dr. Michail Samofalov

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe pasiūlyta plieninių konstrukcijų kilnojamuoju statiniu uždengti laivų statyklos (Pilies g. 8, Klaipėda), esančios Klaipėdos uoste, atvirąją darbo aikštelę.

Apžvalgos bei duomenų tyrimo skyriumi glaustai aprašyta Klaipėdos uosto ir laivų statyklų raida. Išnagrinėti mokslinė literatūra teikiami dinamiškai veikiamų plieninių konstrukcijų tyrimai, užsienyje taikomi panašūs kilnojamieji statiniai, aptarti pamatų projektavimo ypatumai.

Aikštelės uždengimo galimybių tyrimo dalimi aprašytos laivų statyklos esamos atvirosios aikštelės sąlygos. Peržiūrėta archyvinė laivų statyklos teritorijos geologinių tyrimų ataskaita. Pasiūlytas 23 m aukščio 40 m tarpatramio 6 skersinių rėmų kilnojamas statinys. Rėmai išdėstyti 6,0 m žingsniu ir tarpusavyje sujungti ramsčių sistema. Paskaičiuoti atitinkami poliniai pamatai.

Skaičiuojamųjų modelių statinės analizės tyrimais, vadovaujantis projektavimo normomis ir atsižvelgiant į Klaipėdos m. klimato sąlygas, parinkti dviejų tipų plieniniai rėmai: spragotasis ir ištisinis. Parengtas specialus algoritmas iš trijų pagrindinių etapų, sudarytos trys skirtingos statinio skaičiuojamosios schemas ir nustatyti strypų skerspjuviai, atlikta skerspjuvių optimizacija. Sugretinus, nustatyta, kad spragotasis rėmas yra 37 % lengvesnis, o ištisinis – iki 40 % standesnis.

Uždavinio judėjimo analizės skyriumi aptarta dinaminio poveikio įtaka. Po visų trijų etapų išnagrinėti skirtingų modelių skaičiavimo rezultatai ir parinktas tinkamiausias variantas – spragotojo tipo uždengimas. Ekonominės naudos vertinimo tyrimais paskaičiuota kilnojamojo uždengimo ekonominė nauda. Nustatyta, kad uždengimas padidintų statyklos aikštelės darbo našumą iki 92 %. Galiausiai, pateiktos tyrimų išvados bei siūlymai šiam sumanymui įgyvendinti. Tyrimu metu parengtas mokslinis straipsnis ir anglų kalba konferencijoje perskaitytas pranešimas.

Darbo apimtis yra 79 puslapiai pagrindinio teksto, 27 puslapiai teksto priedų. Darbe pateikta 25 lentelės, 79 paveikslai ir 64 informacinių šaltinių sąrašas.

Pagrindiniai žodžiai: kilnojamas uždengimas, uosto statinys, sudėtingų konstrukcijų projektavimas, laivų statykla, statinė ir dinaminė analizė.

Klaipėda University
Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences
Department of Marine Engineering
Master's thesis of the Port Constructions study program

INVESTIGATION OF POSSIBILITY TO COVER THE SHIP BLOCKS ASSEMBLING SITE BY MOBILE STRUCTURES

Author: Tadas Astrauskas

Academic supervisor: Prof. Dr. Michail Samofalov

SUMMARY

In the master's thesis, it is proposed to cover an open site of the shipyard, located in Klaipėda seaport, Lithuania, the EU, by mobile steel structures.

In the review chapter the development of Klaipėda seaport and shipyard have been reviewed. The research of dynamically acting steel structures, provided by the scientific literature and similar mobile structures have being analysed, peculiarities of foundation design have being discussed.

In the research chapter of site modernization possibilities, the shipyard existing open site conditions were investigated. An archival report of the geological conditions of the site area has been reviewed. Six transverse frames mobile structure of height of 23 m and span of 40 m have been proposed. The frames are arranged by the step of 6,0 m and jointed by the system of braces. Pile foundations have been calculated.

In the chapter of static analysis of the models, according to the design codes and climatic conditions in Klaipėda city, two types of steel frames have being designed: trussed and continuous. A special algorithm from three stages has been made: three transverse frame calculation schemes have been created, cross sections have been determined, cross-sectional optimization has been performed. Finally, the trussed frame is lighter by 37 %, the continuous frame is stiffer up to 40 %.

In the movement analysis chapter, the influence of dynamic effects is discussed. After third stage, the calculation results of different models were compared and the most appropriate trussed type was selected. In the economic assessment chapter, it has been calculated that the mobile facility would increase the productivity of the open site up to 92 %. To sum up, the conclusions of the research and suggestions for the implementation have been presented. During research, the scientific article was prepared and presentation was presented in the international conference.

The thesis consists of 79 pages of the main text and 27 pages of annexes. The text contains 25 tables, 79 figures and a list of 64 references.

Keywords: mobile cover, port structure, complex structural designing, shipyard, static and dynamic analysis.

TURINYS

IVADAS	6
I. APŽVALGA IR DUOMENŲ TYRIMAS	8
1.1. Klaipėdos uosto raida	8
1.2. Polinių pamatų projektavimas uosto krantinėms	10
1.3. Polinio pamato projektavimas baigtinių elementų metodu (BEM)	13
1.4. Plieninių konstrukcijų mechaninė būklė, veikiant dinaminėms apkrovoms	16
1.5. Kitų sričių kilnojamųjų rėmų apžvalga	19
II. AIKŠTELĖS UŽDENGIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS	22
2.1. Laivų statyklos dabartinės veiklos apžvalga	22
2.2. Laivų blokų surinkimo aikštelės tyrimas	23
2.3. Laivų statyklos tolimesni planai	24
2.4. Kilnojamojo uždengimo reikalingumas	27
2.5. Aikštelės geologinės situacijos tyrimas	28
III. MODELIŲ STATINĖ ANALIZĖ	35
3.1. Tyrimų algoritmas	35
3.2. Statinio uždavinio prielaidos. Apkrovos	36
3.3. Spragotojo ir ištisinio rėmų skaičiavimas	43
3.4. Kilnojamojo uždengimo skaičiavimas ir skerspjuvių optimizacija	46
3.5. Savųjų svyravimų nustatymas ir statinės analizės apibendrinimas	51
IV. MODELIŲ JUDĖJIMO ANALIZĖ	55
4.1. Uždavinio esmė ir sąlygos	55
4.2. Spragotojo modelio judėjimo analizė	56
4.3. Ištisinio modelio judėjimo analizė	59
4.4. Judėjimo analizės rezultatų gretinimas ir apibendrinimas	64
V. EKONOMINĖS NAUDOS VERTINIMAS	68
5.1. Skaičiavimų prielaidos ir sąlygos	68
5.2. Suprojektuotų modelių statybos kainų nustatymas	69
5.3. Ekonominės naudos skaičiavimas ir apibendrinimas	72
IŠVADOS	76
LITERATŪRA	77
PRIEDAI	

IVADAS

Pasaulyje vis plačiau naudojami kilnojamieji statiniai, kurie yra pranašesni už stacionarius. Vienas pagrindinių pranašumų yra veiksmingas teritorijos naudojimas, t.y. statinį galima naudoti skirtingose vietose ir gali atlikti net keletą funkcijų.

Teigiamos kilnojamųjų statinių savybės yra ypač svarbios pramonės bei statybos srityse, kur dominuoja cechai, sandėliai, garažai, buitinės ir administracinės patalpos. Dažniausiai, pramonės veiklai užtikrinti atsiranda daug atitinkamos paskirties stacionarių statinių. Gamyklų vadovams kyla klausimai, kaip veiksmingiau panaudoti teritoriją, siekiant didinti darbo našumą ir konkurencingumą. Šiuo atveju kilnojamieji statiniai gali puikiai pasitarnauti, kadangi gali pakeisti net keletą stacionarių statinių.

Vakarų Baltijos laivų statykla (Pilies g. 8, Klaipėda) bando tinkamai išnaudoti teritoriją, kuri išsidėsčiusi Klaipėdos uosto krantinėse Nr. 58–61. Įmonė planuoja plėsti gamybos liniją ir dalį gamybos procesų perkelti į teritorijoje esančią atvirąją aikštelę. Šiuo tiriamuoju darbu siūloma uždengti lauko aikštelės atvirąjį plotą kilnojamuoju uždengimu.

Kilnojamųjų statinių konstrukcijos projektuojamos kitaip, kadangi reikia atsižvelgti į judėjimą, tiriamas dinaminių apkrovų poveikis. Taip pat svarbu atsižvelgti į pamatų konstrukcinius sprendinius dėl nuosėdžių krantinėse. Parinkus atitinkamus konstrukcinius sprendinius, numatyta suprojektuoti kilnojamąjį uždengimą virš atvirosios laivų blokų surinkimo aikštelės ir nustatyti šio sprendinio ekonominę naudą.

Apžvalgos ir duomenų tyrimo skyriumi apžvelgiama Klaipėdos uosto ir laivų statyklų istorija. Aprašomi polinių pamatų projektavimo ypatumai krantinėms, apžvelgiami plieninių konstrukcijų, veikiamų dinaminių apkrovų, tyrimų metodai mechaninės būklės analizei tirti, užsienyje taikomų kilnojamųjų konstrukcijų ir statinių pavyzdžiai.

Aikštelės uždengimo galimybių tyrimo skyriumi apžvelgiama esama Vakarų Baltijos laivų statyklos situacija, aprašoma dabartinė įmonės veikla, taip pat aptariami statyklos tolimesni planai ir siūloma kilnojamojo uždengimo atvirojoje aikštelėje idėja. Aprašoma esamos aikštelės geologinė sandara iš 1949 m. geologinių tyrimų ataskaitos. Apžvelgiami gruntų bandymai ir pateikiamos geologinių tyrimų išvados.

Trečiajame ir ketvirtajame skyriuose atliekamas kilnojamojo uždengimo konstrukcijų modeliavimas ir vykdomos statinė ir dinaminė analizės. Palyginami du konstrukciniai sprendiniai: spragotasis ir ištisinis, parenkamas tinkamiausias variantas. Penktajame skyriuje, pagal suprojektuotus konstrukcinius sprendinius atliekami sąmatiniai skaičiavimai ir nustatomos projektuojamų modelių statybos kainos. Pateikiami ekonominiai skaičiavimai ir pagrindžiama kilnojamojo uždengimo ekonominė nauda.

Tyrimų problema

Atvira lauko aikštelė nėra veiksmingai naudojama. Prastesnės darbo sąlygos, lyginant su darbais dengtuose cechuose. Neišnaudojamas visas atvirosios aikštelės pajėgumas.

Tyrimų objektas

UAB „Vakarų Baltijos laivų statyklos“ teritorijos ir Klaipėdos uosto krantinių Nr. 58–61 laivų blokų surinkimo atvirosios aikštelės uždengimas kilnojamomis konstrukcijomis.

Tyrimų aktualumas

- 1) Laivų blokų surinkimo darbo sąlygų gerinimas;
- 2) veiksmingesnis statyklos teritorijos naudojimas;
- 3) statyklos darbo našumo didinimas.

Tyrimų tikslas

Sumodeliuoti ir pasiūlyti principinius projektinius sprendinius kilnojamajam UAB „Vakarų Baltijos laivų statyklos“ laivų blokų surinkimo aikštelės kilnojamajam uždengimui ir pagrįsti sprendinio ekonominę naudą.

Tyrimų uždaviniai

- 1) Apžvelgti mokslinės literatūros šaltinius ir išanalizuoti panašius užsienyje pritaikytus kilnojamuosius statinius;
- 2) susipažinti su laivų blokų surinkimo atvirosios aikštelės technologiniu procesu;
- 3) išnagrinėti esamos aikštelės gruntų geologinę sandarą ir parinkti pamatus krantinėms;
- 4) atliekant dinaminę analizę ir skerspjuvių optimizaciją, sumodeliuoti ir apskaičiuoti būsimam uždengimui antžemines konstrukcijas;
- 5) skirtingus konstrukcinius sprendinius palyginti ir sugretinti;
- 6) ekonomiškai pagrįsti siūlomus sprendinius.

Tyrimų metodai

- 1) Kitų autorių publikacijų, mokslinės literatūros ir kai kurių pastatytų statinių techninių sprendinių apžvalga (teorinė dalis);
- 2) atvirosios aikštelės apžvalga ir geotechninių sąlygų tyrimas (tiriamoji dalis);
- 3) baigtinių elementų metodas, ekonominis tyrimas (eksperimentinė dalis).

Baigiamojo darbo rengimo metu buvo paruoštas ir į mokslinį CA WoS žurnalą „Mechanika“ pateiktas mokslinis straipsnis „Investigation of Complex Structural Designing of Mobile Facilities for Shipbuilding in Lithuanian Sea Region“ (Priedas Nr. 1). 2021 m. gegužės 13 d. anglų kalba perskaitytas mokslinis pranešimas Kauno technologijos universiteto organizuotoje tarptautinėje jaunųjų tyrėjų konferencijoje „Pramonės inžinerija 2021“ tema „Complex Calculations of an Outside Mobile Frames for the Shipyard in Klaipėda Seaport“.

I. APŽVALGA IR DUOMENŲ TYRIMAS

1.1. Klaipėdos uosto raida

Uostas – valstybių ekonominis rodiklis

Žmonės jau nuo seniausių laikų galėjo prekiauti ir pasiekti tolimesnes vietas vandens transportu. Ilgainiui susiformavo pirmieji primityvūs uostai, kuriuose buvo nuolatinės laivų stovėjimo vietos (Paulauskas, 2011). Iš pradžių, pagrindinė valstybių uostų funkcija buvo apsauginė. Šalia jūros kelių buvo statomos tvirtovės, pavyzdžiui Klaipėdos pilis, pastatyta vokiečių XIV amžiuje, taip pat švedų pilis Kogalyje, kur šiuo metu yra Lietuvos Jūrų muziejus. Be to, uostai yra svarbūs ekonomikai, nes rodo valstybių išsivystymo lygį ir galią (Paulauskas, 2004). Vienas iš pagrindinių uosto ekonominių bruožų – uosto plėtra (Paulauskas, 2000). Uostų plėtra dažniausiai vykdoma, atsižvelgiant į valstybių ir miestų strategines programas bei tikslus.

Klaipėdos uosto vystymasis

Klaipėdos uostas jau nuo senųjų laikų kūrėsi prie Baltijos jūros ir Nemuno žiočių, kur gyveno baltų gentys: prūsai, žemaičiai ir kuršiai. Strategškai parankus kraštas traukė priešus iš vakarų. Prie Rygos įlankos įsikūręs Livonijos ordinas, XIII a. nukovė kuršių ir žemaičių gyvenamą siaurą plotą šalia Baltijos jūros, prie Nemuno deltos, o 1252 m. užgrobė ir Klaipėdą, pasistatė pilį pavadinimu Memelburg, vėliau pervadino į Memel. 1258 m. Memel gavo Liubeko miesto teises. Tai sudarė palankias sąlygas kurtis žvejybos ir prekybos uostui.

Per 1422–1919 m. laikotarpį tarp Lietuvos, Lenkijos, Švedijos, Prūsijos ir Rusijos su pertraukomis vyko kovos dėl įsitvirtinimo prie Baltijos jūros. Nuo XV iki XVIII a. uosto augimą varžė Dancingas (dabar – Gdanskas), nes pirkliai Baltijos jūros pakraščių srityse stengėsi išlaikyti monopolinę užsienio prekybos teisę. Laivininkystė uostui buvo grąžinta tik 1657 m. Iki XVIII a. vidurio uostas buvo mažai tvarkomas. Palankios sąlygos plėtrai atsirado XVIII a., kai Europoje spracčiai pradėjo intensyvėti prekyba.

1772 m. miško pirkliai monopolizavo medienos prekybą Nemunu, įkurdami bendrovę „Klaipėdos mediena“. 1796 m. pirmasis visuomeninio pobūdžio sandėlis buvo pastatytas uosto teritorijoje. Tuo metu į uostą buvo gabenama manufaktūra, galanterija bei kitokios prekės (Žostautaitė, 1990).

Pagrindiniai uosto plėros darbai pradėti 1834 m., kurių metu buvo praplėsta uosto teritorija. Pagilinus uosto plaukimo vagą, Klaipėdos tvirtovės kanalas buvo perduotas uostui. 1835 m. iš Klaipėdos pradėjo plaukti garlaiviai į Liepoją, Liubeką ir Rygą. Tačiau 1845 m. praūžė didelė audra Kuršių įlankoje. Po jos iš naujo akmeninėmis sienomis buvo sutvirtinti apsauginiai molai, apsaugotos prieplaukos ir krantinės nuo didelių jūros audrų. 1840 m. Klaipėdos uoste įsikūrė ir laivų

statybos įmonė. Tuo metu buvo pradėti statyti garlaiviai. Iki 1900 m. uosto plėtros darbai buvo beveik baigti (1 pav.). Uostavietė Kuršių mariose, pamažu nuo XVIII a. vidurio iki XX a. pradžios buvo aprūpinta įrengimais ir virto tikru jūros uostu, kuris daugiausiai buvo pritaikytas miško produkcijai importuoti ir eksportuoti (Žostautaitė, 1990).



1 pav. Klaipėdos uostas XIX a. pab.

1924 m. pasirašius Klaipėdos konvenciją, uosto valdymą perėmė Uosto direkcija. Nuo 1924 iki 1939 m. vyko spartus Klaipėdos uosto klestėjimas. Tačiau 1939–1945 m. Antrojo Pasaulinio karo metu, buvo padaryti dideli nuostoliai: sugriauti molai, susprogdinti apsauginiai įtvirtinimai ir krantinės, paskandintais laivais užgriozdintas farvateris. Klaipėdos uostas šiuo laikotarpiu Lietuvos ūkiui, ekonomikai buvo gyvybiškai svarbus.

1945 m. Klaipėdos jūrų prekybos uostas buvo įtrauktas į Tarybų Sąjungos bendrą uostų sistemą, įvesti bendri jūrų įstatymai. Nuo 1946 m. kasmet buvo atstatoma ir plečiama uosto materialinė bazė, atliekami tobulinimo ir rekonstrukcijos darbai. Uostas buvo aprūpintas technika, tiesiamos šiluminės trasos, ryšių linijos, atkuriamas prekybos laivynas. Sparti Klaipėdos uosto laivininkystės plėtra prasidėjo nuo 1969 m. Tuo metu Klaipėdos uosto jūrų prekybos laivai gabeno krovinius tiek į Tarybų sąjungą, tiek ir į daugelį pasaulio uostų, o 1986 m. buvo įrengta tarptautinė jūrų perkėla Klaipėda–Mukranas (Žostautaitė, 1990).

Laivų statybos Klaipėdos uoste raida

1992 m. vasarą, buvusiam dešiniajame Senosios Dangės krante, atliekant kasinėjimus Klaipėdos senamiestyje, buvo aptiktos 1519 m. laivų statyklos liekanos (Žukas, 2015). Rasta dar kuršių laikų laivuose naudotų kniedžių. Nustatyta, kad pirmųjų jūrinių laivų statyba Klaipėdoje atsirado XVI a. (Žukas, 2015). Klaipėdos miestas teisę statyti laivus gavo tik XV a. pabaigoje. Laivų statyba sunkiai plėtojosi, nes buvo didelė konkurencija su Dancigu, Karaliaučiumi.

XVIII a. sparčiai didėjant medienos eksportui Mėmelyje, atsirado didelių burlaivių poreikis. Pirmosios lavių statyklos kūrėsi prie Dangės upės. XIX a. Klaipėdoje buvo statomi burlaiviai. Daugiausia burlaivių pastatyta XIX a. I p. ir viduryje. XIX a. Per 44 metus buvo iš viso pastatyti

144 laivai. Vienu metu buvo statomi 5–6 laivai. Vėliau burlaivius ėmė išstumti garlaiviai (Čepys, 2015).

XIX a. vid. prie pilies veikė laivų statykla, kurią nupirko laivų statybos inžinierius Paulius Lindenau su įpėdiniais ir pavadino ją „Lindenau ir K“ laivų statykla. Ši įmonė jau statė ir metalinius garlaivius. 1919 m. tas pats inžinierius Paulius Lindenau įkūrė laivų statyklą, kur buvo statomi metaliniai ir mediniai laivai, veikė mašinų fabrikas ir liejykla. Statyklos klestėjimo laikotarpis buvo 1930–1936 m. 1924–1944 m. buvo pastatyta keliasdešimt laivų (Čepys, 2015). Nuo 1945 m. iki dabar statykla veikia Kylio (Kiel) mieste.

Dabartinė Baltijos laivų statykla TSRS Laivų statybos ministerijos sprendimu buvo įkurta 1952 m. Tuo metu pagrindinė produkcija buvo plūduriuojantys dokai ir žvejybiniai laivai, o pirmasis laivas buvo pastatytas jau 1958 m. Statykla be laivų statymo cechų turėjo mechaninio surinkimo cechus su visapusiška įranga, transportavimo ir liejimo cechus. Laivų statybos projektai buvo gaunami iš projektavimo institutų. Iki 1990 m. buvo pastatyti 373 įvairios paskirties laivai.

Nuo 1997 m. statykla priklausė Odensės laivų statyklai (Odense Steel Shipyard Ltd.), o nuo 2010 m. UAB „Vakarų Baltijos laivų statykla“ tapo Estijos kapitalo grupei „BLRT Grupp“ priklausančios AB „Vakarų laivų gamyklos“ dalimi. Įmonė gamina laivų blokus, antstatus, korpusų sudėtines dalis, pastačiusi nemažai vilkikų, jūrinių platformų tiekimo laivų. Statykla per paskutinius 50 metų jau yra pastačiusi virš 450 laivų ir dokų.

1.2 Polinių pamatų projektavimas uosto krantinėms

Magistro baigiamajame darbe viena iš užduočių – suprojektuoti polinius pamatus kilnojamajam uždengimui. Praktikoje naudojami keli metodai poliniams pamatams projektuoti, kuriuos trumpai ir apžvelgsiu.

Polinių pamatų projektavimas klasikiniu metodu

Šiuo metodu poliniai pamatai projektuojami remiantis tarptautiniu normatyvu LST EN 1997–2: 2007 „Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas“. Pagal grunto tyrimų duomenis polio pagrindo didžiausia laikomoji galia lygi:

$$R_{c,cal} = R_{cb,cal} + R_{cs,cal} \quad (1)$$

čia: $R_{cb,cal}$ yra gniuždomojo polio pagrindo po padu ribinė laikomoji galia; $R_{cs,cal}$ – gniuždomo polio pagrindo ties šoniniu paviršiumi ribinė laikomoji galia. Ribinės pagrindo laikomosios galios nariai apskaičiuojami taip:

$$R_{cb,cal} = A_b \cdot q_{b,cal} \quad (2)$$

$$R_{cs,cal} = C \int_0^{\Delta L} q_{s,cal,z} dz; \quad (3)$$

čia: A_b – pado skerspjūvio plotas; C – polio pado perimetras; $q_{b,cal}$ – grunto po padu stipris, kuris priklauso nuo grunto kūginio stiprio pasiskirstymo, polio įrengimo būdo ir polio pado formos:

$$q_{b,cal} = 0,5\alpha_p \cdot \beta \cdot S \left\{ \frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean} \right\}. \quad (3)$$

$$q_{b,cal} \leq 15MPa, \quad (4)$$

čia: α_p – koeficientas įvertinantis polio įrengimo būdą ir tipą; β – koeficientas, kuriuo įvertinama polio pado forma; S – faktorius, kuriuo įvertinama polio pado skerspjūvio forma:

$$S = \left(1 + \frac{\sin \varphi'}{r} \right) / (1 + \sin \varphi'); \quad (5)$$

čia: φ' – efektyvusis vidinės trinties kampas. $q_{c,I,mean}$ reikšmė randama pagal formulę:

$$q_{c,I,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_0^{d_{crit}} q_{c,I} dz, \quad (6)$$

d_{crit} reikšmė nustatoma pagal reglamento D priede pateiktą schemą. $q_{c,II,mean}$ – mažiausių kūginių stiprių q_c vertė;

$$q_{c,II,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_{d_{crit}}^0 q_{c,II} dz, \quad (6)$$

$q_{c,III,mean}$ – mažiausių kūginių stiprių vidutinė vertė. Skaičiuojant $q_{c,III,mean}$, braižoma mažiausiųjų kūginio stiprio reikšmių gaubtinės kreivė, ties polio padu, atidedant mažiausią $q_{c,II}$. Pagal šią gaubtinę randama:

$$q_{c,III,mean} = \frac{1}{8D_{eq}} \int_0^{-8D_{eq}} q_{c,III} dz. \quad (7)$$

Remiantis grunto tyrimų duomenimis, ribinės trinties stipris $q_{c,cal,z}$ apskaičiuojamas taip:

$$q_{c,cal,z} = \alpha_s \cdot q_{c,z,a}; \quad (8)$$

čia: α_s – koeficientas, kuris pateiktas reglamento D priedo 5 lentelėje; $q_{c,z,a}$ – kūginio stiprio reikšmė gylyje z , MPa.

Polio laikomosios galios skaičiavimo metodas taikomas Lietuvoje

Šis metodas pasiūlytas L. Furmonavičiaus (Sližytė ir kt., 2012). Preliminarus polio ilgis, skerspjūvis ir įrengimo technologija parenkama pagal statybos aikštelės geotechnines sąlygas. Centriškai gniuždomo polio pagrindo laikomoji galia susideda iš dviejų skaičiuojamųjų dydžių: pagrindo po polio padu ribinės laikomosios galios ir polio šoninio paviršiaus ribinės laikomosios galios.

Polio pagrindo laikomajai galiai apskaičiuoti naudojama formulė:

$$R_b = q_b \cdot A_b, \quad (9)$$

čia: q_b – polio pado pagrindo ribinis stipris, kuris apskaičiuojamas:

$$q_b = \alpha_b \cdot q_c, \quad (10)$$

čia: α_b – nuo grunto tipo ir kūginio stiprio reikšmės priklausantis empirinis koreliacijos koeficientas tarp q_c kūginio ir pagrindo ribinio stiprio; A_b – polio pado skerspjūvio plotas.

Polio šoniniu paviršiaus laikomoji galia randama pagal formulę:

$$R_s = \sum_{i=1}^n (q_{si} \cdot A_{si}). \quad (11)$$

Ribinės trinties q_{si} stipris, i -tajame sluoksnyje negali viršyti ribinės reikšmės:

$$q_{si} \leq q_{st \max}. \quad (12)$$

Pagal kūgio penetracijos bandymo duomenis skaičiuojamos reikšmės, įvedus modeliavimo koeficientus γ_{Rb} ir γ_{Rs} , kurių vertės priklauso nuo įrengimo būdo:

$$R_{cal} = \frac{R_b}{\gamma_{Rb}} + \frac{R_s}{\gamma_{Rs}}. \quad (13)$$

Laikomosios galios charakteristinė reikšmė $R_{c,k}$ apskaičiuojama pagal formulę:

$$R_{c,k} = \frac{R_{c,cal}}{(\xi_3 \text{ arba } \xi_4)}, \quad (14)$$

čia: ξ_3 ir ξ_4 – koreliacijos koeficientai, kurie gaunami remiantis grunto tyrimo rezultatais.

Gniuždomo polio laikomosios galios skaičiuotinė vertė:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_t}. \quad (15)$$

Dalinio koeficiento polio pagrindo laikomajai galiai γ_t vertės pateikiamos žinyuose.

Polio laikomosios galios skaičiavimas analiziniu metodu

Skaičiuojant šia metodika, daroma prielaida, kad polio pagrindas gali būti drenuotas arba nedrenuotas. Polinių pamatų, įrengtų sankabiuose gruntuose (moliai ir dulkiai), pagrindas po polio padu nesidrenuoja, tačiau šoninis paviršius vertinamas dirbantis tiek nedrenuotomis, tiek drenuotomis sąlygomis. (Sližytė ir kt., 2012). Skaičiavimo metodą aprašė ir pateikia Fleming et al. (2007).

Sankabiame grunte įrengto polio laikomoji galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$R_b = S(c_u N_c + \sigma_{v0}) A_b, \quad (16)$$

čia: A_b – polio skerspjūvio plotas; σ_{v0} – polio pado lygyje nustatyti bendrieji vertikaliniai įtempiai; N_c – pagrindo laikomosios galios koeficientas; c_u – sankabumas nedrenuotomis sąlygomis; S – koeficientas, priklausantis nuo polio skerspjūvio dydžio ir įrengimo būdo.

Ties šoniniu paviršiumi, nedrenuotomis sąlygomis, sankabaus grunto sluoksnyje, polio laikomoji galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$R_s = \alpha c_u A_s, \quad (17)$$

čia: A_s – polio šoninio paviršiaus plotas sluoksnyje; α – empirinis koeficientas, priklausantis nuo grunto ir polio įrengimo metodo. Polio pagrindo laikomoji galia nesankabiuose gruntuose apskaičiuojama:

$$R_b = N_q \sigma'_{v0} A_b, \quad (18)$$

čia: σ'_{v0} – efektyvieji vertikalieji įtempiai grunte polio pado lygyje; N_q – pagrindo laikomosios galios koeficientas, kuris priklauso nuo vidinės trinties kampo ir polio įgilinimo. Pagrindo laikomosios galios koeficiento N_q priklausomybę aprašo Sližytė ir kt. (2012). Sankabiuosiuose ir nesankabiuosiuose gruntuose polio šoniniu paviršiumi laikomoji galia nedrenuotomis sąlygomis apskaičiuojama taip:

$$R_s = k \sigma'_{v0} \operatorname{tg}(\delta) A_s, \quad (19)$$

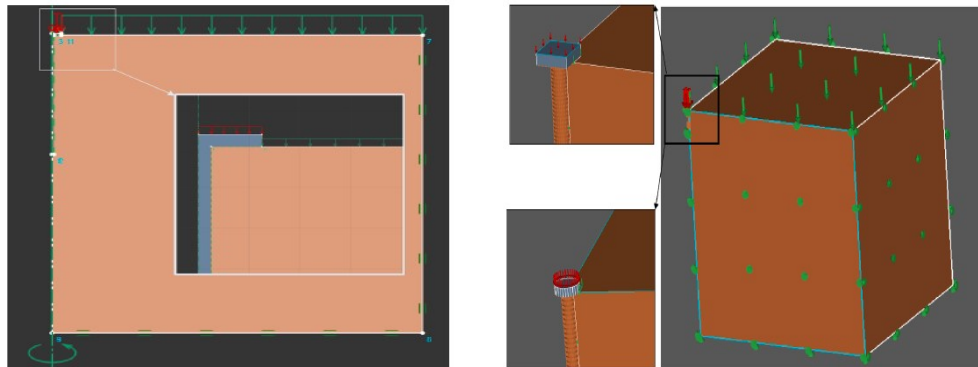
čia: k – šoninio slėgio koeficientas; σ'_{v0} – efektyviųjų vertikalųjų įtempių vidurkis grunto sluoksnyje; δ – trinties kampas tarp polio šoninio paviršiaus ir grunto; A_s – polio šoninio paviršiaus plotas sluoksnyje. Šoninio slėgio koeficientas k priklauso nuo polių įrengimo technologijos ir gruntų sąlygų. Koeficiento skaičiavimo metodiką aprašo Fleming et al. (2007).

1.3. Polinio pamato projektavimas baigtinių elementų metodu (BEM)

Sparčiai tobulėjant kompiuteriniai technikai ir programinei įrangai, vis labiau mokslinėje literatūroje populiarėja baigtinių elementų metodas (BEM). Ne išimtis ir polinių pamatų projektavimas, kur taikant BEM modelius apskaičiuojama ir įvertinama polio laikomoji galia, lenkimo momentai ir kiti projektavimo rodikliai.

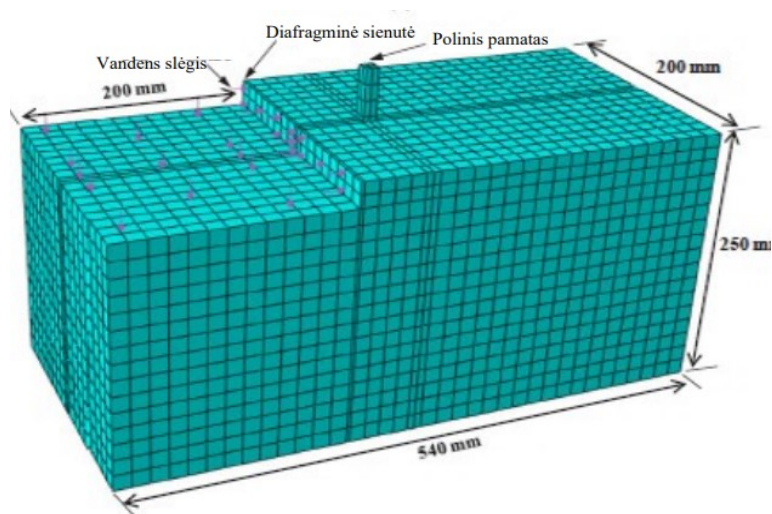
Straipsnyje (Zhou, et al., 2020) pateikta poliaus su rostverku ant drėgno, plastiško grunto analizė ir įvertinta rostverko įtaka ribiniam vertikaliam slėgiui (2 pav.). Atliekant analizę ištirta polių ir grunto sukibimo koeficiento α reikšmė, santykis tarp polio ilgio ir skersmens, santykis tarp rostverko pločio ir polio ilgio. Visi šie faktoriai aprašyti, nagrinėjant ribinį vertikalųjį slėgį. Taip pat

pateikta paprasta empirinė lygtis ribiniam vertikaliajam slėgiui skaičiuoti, kurią mokslininkai pasiūlė, atliekant netiesinę regresinę analizę, taikant mažiausių kvadratų metodą. Straipsnyje atlikti tyrimai parodė, kad ribinis vertikalusis slėgis tiesiškai didėja, kai polio ilgio–skersmens santykio ir sukibimo koeficiento α reikšmės didėja, o tuo tarpu ribinis vertikalusis slėgis netiesiškai mažėja, kai rostverko pločio ir polio ilgio santykis didėja.



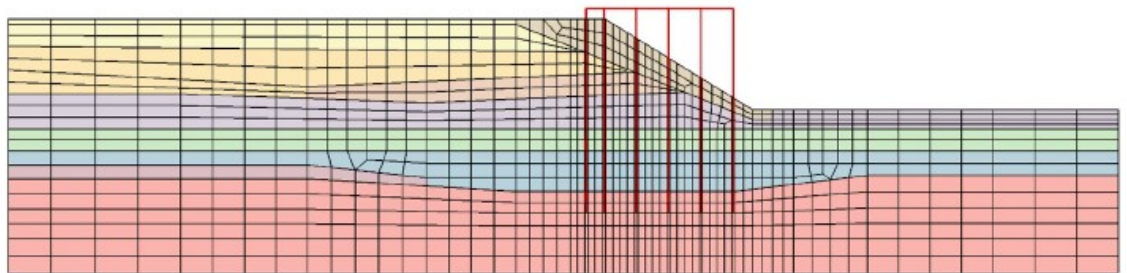
2 pav. Polio BEM modelis

Soomro, et al. (2019) pristatė hipoplastinį (molio) modelį (3 pav), kuriame ištirta polinio pamato reakcija į skirtingus kasinėjimo gylius, imituojuojant kasimą šalia poliaus, visiškai prie pat ir žemiau polio pado. Taip pat aprašyta skirtingų apkrovų įtaka, naudojant skirtingus apkrovų patikimumo koeficientus (3,0 ir 1,5). Nustatyta, kad polių reakciją į kasimą priklauso nuo kasimo lygio ir įterptos sienos įgilinimo. Kiekvienu atveju, kai sienos įgilinimas yra skirtingas, indukuotas nuosėdis, šoninis poslinkis ir lenkiamieji momentai poliuje, kai kasimo lygis tas pats, buvo skirtingi. Tyrimas buvo atliekamas, naudojant 3D konsolidavimo analizę ir jame nustatyta, kad didelę reikšmę turi šalia esančios įterptos sienos įgilinimas. Kuo mažesnis įgilinimas, tuo polinio pamato nuosėdis buvo didesnis.



3 pav. Polio puserdvės tyrimo BEM modelis

Su et al. (2019) aprašė ant polių atremtos krantinės seisminę trapumo analizę. Šis tyrimas sistemingai ištyrė ant polių atremtos stambiagabaritės krantinės seisminį trapumą. Tyrime, naudojant BEM, modeliuota ant polių atremta krantinė ir patikrinta jos reakcija į seismines (dinamines) apkrovas (4 pav.). Reakcijos ir pažeidimai skirstomi į skirtingus lygmenis ir nustatant rezultatus, panaudota perėjimo analizė. Tyrime atkreiptas dėmesys į grunto pralaidumą vandeniui, kuris turi didelę įtaką seisminiam krantinės stabilumui. Pasirodo kad, vandens pralaidumas seisminiam stabilumui neturi reikšmingos įtakos molio ir smėlio sluoksniuose, tačiau pylimo lygyje jautrumas padidėja. Pylimo pralaidumas vandeniui tiesiogiai įtakoja vandens pralaidumui į tolimesnius gruntinius sluoksnius, dėl ko atsiranda didelė įtaka seisminiam stabilumui, kadangi pylimas yra arčiausiai vandens. Be to tyrime nustatyta, kad polių stabilumas koreliuoja su polių ilgiu. Kai polių ilgis mažėja, lenkiamieji momentai didėja. Dėl to trumpesni poliai yra jautresni seisminiam stabilumui.



4 pav. Krantinės ant polių BEM tinklelis

Straipsnyje (Liu, et al., 2017) apžvelgti svyravimus sukeliančio stendo rezultatai. Išbandyta polių grupė už krantinės sienos ir grunto slėgio reakcija į šoninį grunto slėgį, sukeltą atskirai kiekvienam poliui. Reikšmingi rezultatai užfiksuoti, lyginant lenkiamuosius momentus atskiruose poliuose. Šiuo atžvilgiu buvo sukurtas paprastas BEM modelis, kuris tiria sudrėkinto grunto slėgį į atskirus polius. Sudrėkinto grunto slėgis į polius šalia krantinės sienos yra maždaug dvigubai didesnis, lyginant su poliais, kurie yra toliau nuo sienos. Be to, atliekamas parametrinis tyrimas, kuriuo nustatyta polinio pamato sukamojo standumo ir jo skersmens poveikis į polių grupės reakciją. Bandymų metu atlikti tyrimai parodė, kad lenkiamieji momentai poliniame pamate šalia krantinės sienos yra didesni, gretinant su poliumi, kuris yra toliau nuo krantinės sienos. Straispnio autoriai pateikė išvadą, kad tai parodo akivaizdų polių grupės šešėlinį efektą. Taip pat nustatyta, kad polių sukamasis standis ir skersmuo gali reikšmingai paveikti polių grupės reakciją. Polio padas gali būti labiau pažeistas, veikiant dinaminiam poveikiui, jeigu polius yra standžiai įtvirtintas. Polio viršuje atsiranda didesni lenkiamieji momentai ir gali būti pažeistas viršūnėje, jeigu įtvirtintas standžiai su rostverku. Polių grupės lenkiamieji momentai reikšmingai padidėja, kai polių skersmuo yra didesnis.

Hamayoon, et al. (2016) ištyrė polinių pamatų elgseną silpnuose gruntuose žemės drebėjimo metu ir dalinį grunto pagerinimo metodą. Pagrindinis šio metodo tikslas nustatyti vietas ir plotą aplink polinius pamatus, kurį reikia stiprinti. Šiame straipsnyje atliekami žemės drebėjimo testai, naudojant drebančio stendo įrenginį ir ieškomi optimalūs modeliai daliniam grunto gerinimo metodui. Skaičiavimams pasitelkiamas BEM, kuriame modeliuojami poliniai pamatai su rostverku ir ašinėmis apkrovomis. Ištirti keturi skirtingi modeliai. Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad dalinis grunto pagerinimo metodas duoda teigiamų rezultatų, kai naudojami keturi šio metodo sluoksniai poliniuose pamatuose, kadangi reikšmingai sumažinami lenkiamieji momentai.

1.4. Plieninių konstrukcijų mechaninė būklė, veikiant dinaminėms apkrovoms

Dinaminė konstrukcijų analizė, veikiant inercijos poveikiui, yra viena iš labiausiai tiriamų ir įdomiausių mokslo sričių dinamikoje. Dėl plataus šių poveikių pritaikymo inžinerijoje, mokslininkai atkreipia dėmesį į šią sritį. Strypai ir plokštės yra du pagrindiniai elementai, kuriais mokslininkai remiasi, tirinėję realią konstrukcijų dinamiką.

Fryba (1999) sukūrė ir aprašė orientyrą paprastoms situacijoms su keliais analitinio sprendimo metodais ir pateikė pirmuosius ir išsamius judėjimo uždavinio tyrimus. Pagal bendrąją klasifikaciją galima tirti judėjimo uždavinį su ir be inercijos poveikio, kuriame judančios masės išsireiškimas priskiriamas uždaviniams, įskaitant ir inercijos poveikį. Akin ir Mofid (1989) studijavo Euler-Bernoulli siją, inercijos sužadinimo metu, su įvairiomis ribinėmis sąlygomis, naudojant diskretinę elemento metodiką. Mokslininkų gauti rezultatai išryškino judančiosios masės inercijos svarbą, ypač dideliuose greičiuose. Tačiau jų tyrimai buvo susiję tik su vertikalia judančiosios masės pagreičio dedamąja, neatsižvelgiant į kitas pagreičio sąlygas. Esmailzadeh ir Ghoraishi (1995) ištyrė dviatramės Euler-Bernoulli sijos elgseną, kurią veikė dalinai pasiskirstančios judančios masės arba apkrovos. Jie aprašė judančiosios masės inercijos reikšmę ir paskirstytos judančios apkrovos ilgį, kurie turi reikšmingą poveikį dinaminės sistemos reakcijai. Lee (1996) studijavo dviatramės Timoshenko sijos dinaminę būseną, kurią sukelia koncentruota, judanti masė. Jis taip pat išnagrinėjo judančios masės atskyrimo galimybę nuo atremtos sijos judėjimo metu, stebint kontaktinės jėgos kitimą tarp jų. Rao (2000) tyrinėjo dviatramės sijos būseną, veikiant judėjimo apkrovos sužadinimui, įskaitant ir jos inercinius poveikius, naudojant daugialypės skalės metodą (multiple scale method). Straipsnio autorius parodė, kad judančios masės poveikis sijos trumpalaikiai reakcijai yra pastebimas. Gbadeyan ir Oni (1995) ištyrė Kirchhoff'o plokštės dinaminę būseną su įvairiomis ribinėmis sąlygomis, veikiant judančioms masėms. Tyrimuose apsvarstyti visi plokštelėje veikiantys judančios masės pagreičio terminai. Judėjimo kelias yra lygiagretus kiekvienai plokštelės ribinei būsenai. Tyrimų rezultatai aprašo, kad masių sužadinimas pabrėžia

judančių masių inercijos svarbą. Nikkhoo et al. (2012) taip pat atliko Kirchhoff'o plokštelės, kurią kinto judanti masė tyrimus. Masė judėjo savavališka trajektorija ant plokštelės paviršiaus. Mokslininkai įvertino apytikslę inercinio poveikio išraišką dinaminei sistemos reakcijai. Tyrimų metu aprašytas ir naudotas savųjų svyravimų metodas, kuris dalines diferencialines judėjimo lygtis pakeičia į atitinkamą susietų paprastųjų diferencialinių lygčių skaičių. Rezultatai parodė, kad bet kurios konkrečios masės svorio ir plokštelės kraštinių santykio atveju, apytikslės formuluotės rezultatas nebus ilgesnis, kai masės greitis viršija tam tikras ribas. Marti (2018) tyrinėjo dinamikos uždavinius, atsižvelgdamas į inercijos jėgas. Judėjimą sistemoje apibūdino kaip bet kuriuo laiko momentu esančią vidinių, išorinių ir inercijos jėgų pusiausvyrą. Remiantis modalinės analizės metodu, pusiausvyros lygtys gali būti atsietos.

Mokslinėje literatūroje populiarus ir BEM metodas, tiriant plienines konstrukcijas, kurios veikiamos dinaminių poveikių. Wu (2007) aprašo būdą, kaip judančią (dinaminę) apkrovą paversti lygiaverčiai judančiu baigtiniu elementu, kad būtų patikrinami skersiniai ir išilginiai inerciniai poveikiai, sukelti judančios masės. Nustatyta, kad be įprastinių skersinių reakcijų, dinaminių apkrovų inerciniai poveikiai taip pat svarbūs išilginėms rėmo reakcijoms.

Straipsnyje (Samofalov, 2010) ištirti 255 m arkos modeliavimo sprendiniai. Modeliavimui sudaryti dinaminių apkrovų deriniai, susidedantys iš vėjo, temperatūros ir lanksčių atotampų poveikių. Buvo aprašyta statinė tiesinė analizė, linijinis dinaminis stabilumas ir geometrinė netiesinė analizė, esant skirtingiems konstrukcijų įtvirtinimams. Atlikus analizę, nustatyta, kad arkos savieji dažniai nepriklauso nuo atotampų, arkos bendrojo pastovumo tikrinimas parodė teigiamus rezultatus.

Kibriya, et al. (2018) tikrino svyravimus iš anksto įtemptame plieniniame rėme, kuriame naudojamos svyruojančios jungtys ir iš anksto įtempti plieniniai lynai, kurie užtikrina rėmo susicentravimą. Straipsnio autoriai pabrėžia, kad yra didelis trūkumas šios srities tyrimų, todėl sudėtinga apibrėžti tyrimo metodiką. Mokslininkai pateikia BEM modelį, kuris parodo rėmo susicentravimo veikimą dinaminėmis apkrovomis, sukeliančiomis svyravimus per platų sužadinimo dažnių ir amplitudės spektrą. Metodika, taikyta daugiaaukščiam plieniniam rėmui, fiksuoja subharmoninių rezonansų ir aukštesniųjų režimų buvimą. Taip pat įrodyta, kad papildomi reikalavimai keliama kolonomis, kurių įtvirtinimas priklauso nuo rėmo asimetrijos.

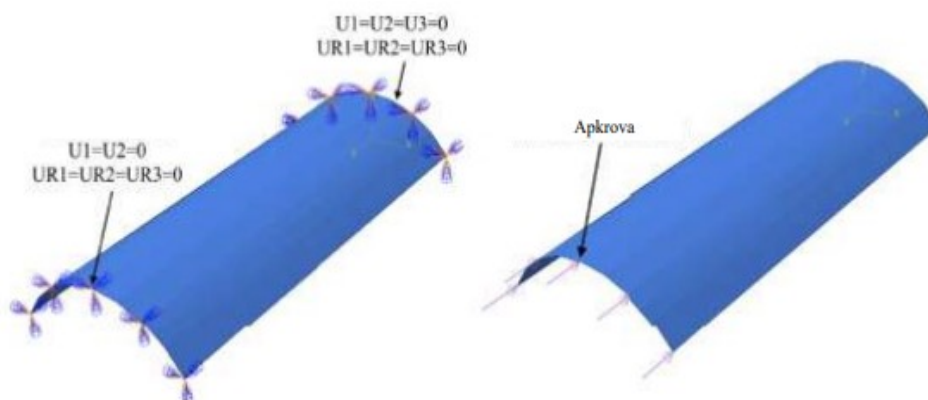
Analizuojant svyravimų elgseną plonasieniuose plieniniuose rėmuose, naudojama bendroji strypo teorija (angl. Generalised Beam Theory, trumpai GBT). Straipsniuose (Basaglia, 2018; Sui, 2019) pateikiama GBT svyravimų analizė BEM. Siekiant išaiškinti GBT galimybes ir pritaikymą, siūlomos formuluotės, skaitiniai rezultatai, susiję su vietinėmis ir globaliais svyravimais, pateikiami

ir aptariami keturi dažniausiai naudojami pavidalai (5 pav.). GBT tyrimo rezultatai parodė, jog ši teorija geba pateikti naujausią, išsamią įžvalgą apie rėmo svyravimo mechaniką.



5 pav. Svyravimo formų vaizdavimas su ANSYS programine įranga

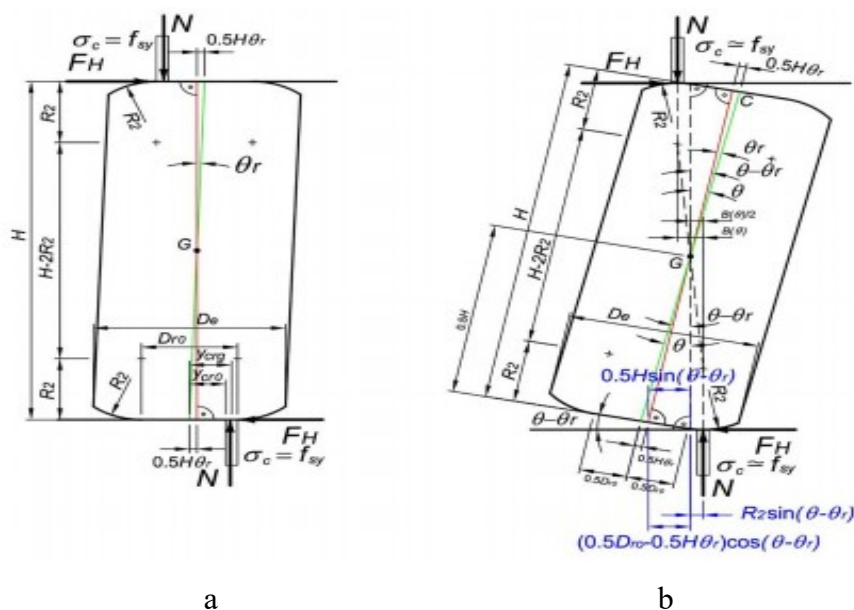
Straipsnyje (Han et al. 2019) aprašyta, kad iš anksto įtempti svyruojantys rėmai yra seismiškai atsparios konstrukcijos. Šiuo metu apkrovoms atsparios sistemos pasikliauna lanksčiomis sudedamosiomis dalimis, kurios sukelia reikšmingas deformacijas, kai rėmas veikiamas reikšmingų dinaminių apkrovų. Tyrimas pasiūlo kaip mažinti deformacijas dinaminių apkrovų metu, naudojant tvirtinimuosius elementus su kruopščiai kontroliuojamu pastovumo užtikrinimu. Autoriai atliko BEM tyrimą (6 pav.), modeliuojant vieno aukšto iš anksto įtemptą plieninį rėmą, veikiant statinėms ir dinaminėms apkrovoms kartu su tvirtinamosiomis pastovumą prarandančiomis dalimis (angl. BECB). Nagrinėjant rezultatus, buvo nustatyta, kad rėmo pastovumas padidėja apie 15%.



6 pav. BECB BEM modelis

Kitas būdas sumažinti dinaminių apkrovų įtaką plieniniams rėmams yra svyruojančių kolonų panaudojimas (Garcia, et al., 2020). Šių kolonų esmė – neigiamas įprastų plieninių strypų, tvirtinamų abiejuose galuose, poveikis (7 pav.). Šios kolonos leidžia slankioti plieniniam strypui apatiniame gale nustatytųjų poslinkių diapazonu (tarpu). Tyrimo metu nustatyta, kad toks konstrukcinis pasiūlymas leidžia visiškai išnaudoti neigiamą svyruojančios kolonos standumą, naudojant šoninio poslinkio diapazoną. Taip pat buvo pastebėtas didžiausias greitėjimo atsako

sumažėjimas per žemės drebėjimus. Mechaninė priežastis – mažinamos šoninės deformacijos, susijusios su neigiamo standumo vystymusi.



7 pav. Svyruojanti kolona prieš svyravimą (a) ir svyravimo metu (b)

1.5. Kitų sričių kilnojamųjų rėmų apžvalga

Šiais laikais vis dažniau ir veiksmingiau naudojami kilnojamieji konstrukciniai sprendiniai. Užsienyje yra pavydžių, kurie parodo, kad tokie sprendiniai ateityje bus dar labiau tobulinami ir populiarūs. Toliau aprašau kelis kilnojamųjų statinių pavyzdžius.

Pritaikoma ir išplečiama kultūros aikštė su laikinu uždengimu (Niujorkas, JAV)

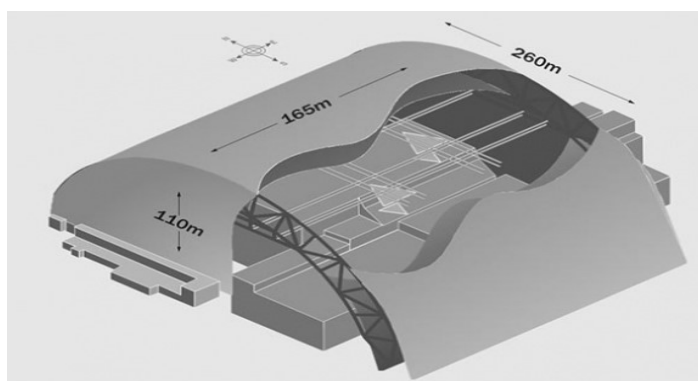
2019 metais Niujorke (JAV) per 3 metus pastatytas laikinas uždengimas skirtas išplečiamai kultūros aikštei (Scofidio, 2017). Uždengimo aukštis – 37 m, tarpatramis – 40 m, o ilgis – 50 m. Pagrindinės pastato konstrukcijos yra plieninis ištisinis rėmas, pritvirtintas ant bėgių, kuris juda ratų pagalba. Bėgių ilgis – 83 m. Pastatas nuo pradinio taško iki bėgių pabaigos nuvažiuoja per 5 min, greitis – 0,28 m/s. Visas statinys išdėstytas ant 8 ratų. Pastato fasadas susideda iš lengvų polimerinių panelių. Pagrindinė pastato paskirtis – sukurti papildomą erdvę renginiams. Šiame pastate įsikuria galerijos ir lanksčios erdvės, skirtos meno ir kultūros renginiams. Aktyvuotas statinys pasislenka nuo pagrindinio pastato rėmo, sukurdamas visiškai atskirą tūrį, kuris atrodo kaip priestatas (8 pav.). Pastatas važinėdamas pirmyn ir atgal sunaudoja mažai energijos, panašiai kaip „Toyota Prius“ variklis, todėl pastato transportavimas yra labai ekonomiškasis.



8 pav. Kilnojamas statinys Niujorke (JAV)

Uždengimas paslankia metaline konstrukcija

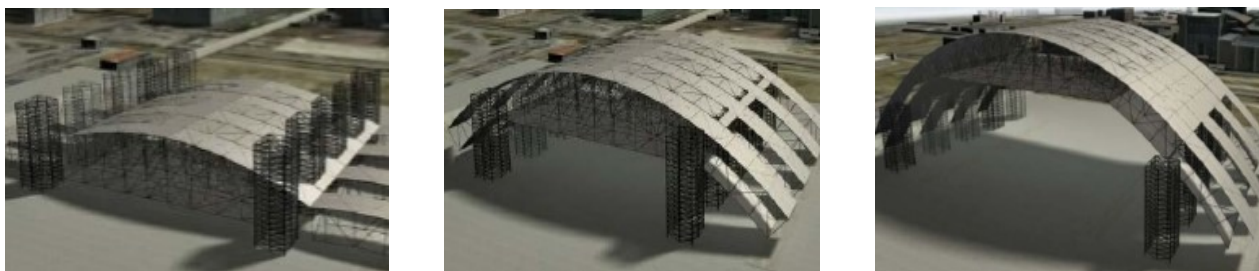
2016 m. Ukrainoje įrengta didžiausia pasaulyje kilnojamoji konstrukcija, kuri uždengė Černobylio atominės elektrinės ketvirtąjį reaktorių. Pagrindinė paskirtis – izoliuoti 1986 m. įvykusios avarijos pavojų. Arkos plotis – 260 m, ilgis – 165 m, aukštis – 110 m (9 pav.). Bendra projekto kaina 2,15 mlrd. eurų. Arkos statybos darbai prasidėjo 2007 m., pasibaigė 2016 m. pabaigoje. Arka buvo įrengta greta reaktoriaus ir per penkias dienas 10 m/h greičiu užstumta virš esamo sarkofago. Arka užstumta pasitelkiant hidraulinius stūmoklius ant 180 m geležinkelio bėgių. Statinys pradėtas naudoti 2019 m.



9 pav. Černobylio arkos gabaritai

Arka yra daugiavfunkcinis kompleksas, kurį sudaro 19 skirtingų konstrukcijų, iš kurių pagrindinė – apsauginė arkos plieninė konstrukcija su specialiuoju dvigubu apvalkalu. Bendrasis konstrukcijų svoris – 36,2 tūkst. tonų. Projekte numatyti specialieji pamatai, kurie turėjo būti kuo mažiau įgilinti, nes viršutiniai grunto sluoksniai iki šiol yra smarkiai paveikti radiacijos. Numatytos vakarinės ir rytinės galinės sienos, nestandartiniai tiltiniai kranai, daugiavfunkcinė vėdinimo sistema ir kt. Arkos pagamintos iš apvalaus skerspjūvio elementų, iš išorės uždengtos trisluoksnėmis plokštėmis. Vidinėje pusėje, polikarbonato plokštės uždengia kiekvieną arką, kad radioaktyviosios dalelės nesikaupytų ant arkos strypų. Arkos konstrukcija buvo pastatyta principu nuo viršaus į apačią, pakeliant viršutines dalis ir prijungiant jas prie apatinių (10 pav.). Iš viso buvo trys kėlimo

etapai, per kuriuos arka buvo užkelta į projektinį aukštį. Dvi viršutinės arkos sukonstruotos atskirai ir sujungtos tik darbų pabaigoje.

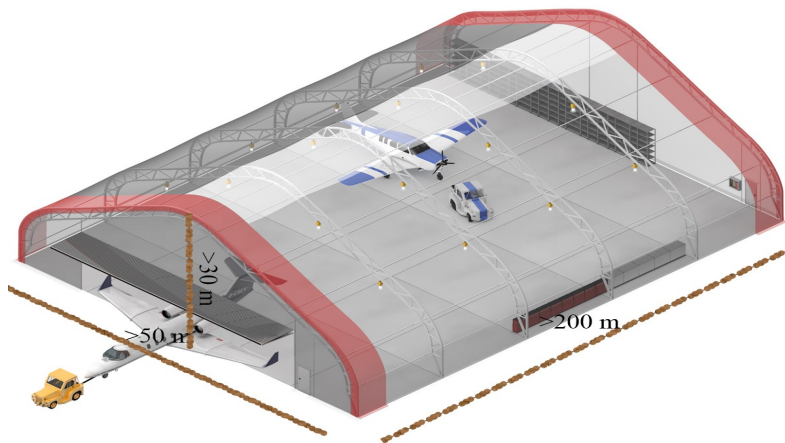


10 pav. Arkos montavimas į projektinį aukštį

Kilnojamieji konstrukciniai rėmai su PVC dangą

JAV labai populiarūs kilnojamieji konstrukciniai sprendiniai „Alaska Structures“. Įmonė projektuoja ir įrengia įtemptų membranų konstrukcijas, skirtas naudoti statybose, pramonės ir gamybos srityse. Statiniai projektuojami, atsižvelgiant į JAV standartus. Konstrukciniams sprendiniams naudojamos įtemptos membranos, turinčios didelį patvarumą, montuojamos ant tvirto aliuminio arba cinkuoto plieninio rėmo. Pastatai tvirtinami prie bet kokio lygaus paviršiaus: betoninių pamatų, surenkamųjų pamato betono blokelių ar ant medinių platformų. Kadangi konstrukcijos yra labai lengvos, tai montuojamos pakankamai greitai. Konstrukcinės galimybės: tarpatramis – 50 m, ilgis – 200 m, aukštis – 30 metrų (11 pav.).

Įmonė siūlo dviejų tipų rėmus priklausomai nuo reikiamo už dengimo dydžio ir apkrovų sąlygų: I tipas – ištisinės arkos tipo pastatai, kurie paprastai naudojami tais atvejais, kai reikalingas nedidelio iki 10 metrų pločio tarpatramis ir II tipas – santvarinės konstrukcijos rėmas, kur reikalingi ypač dideli tarpatramiai (iki 50 metrų). Visos metalinės konstrukcijos padengiamos elektrostatiiniu būdu specialiais milteliniais dažais, kurie suteikia papildomą apsaugą nuo korozijos, druskų, drėgmės ir kt. Todėl šie kilnojamieji pastatai gali būti naudojami sudėtingomis aplinkos sąlygomis.



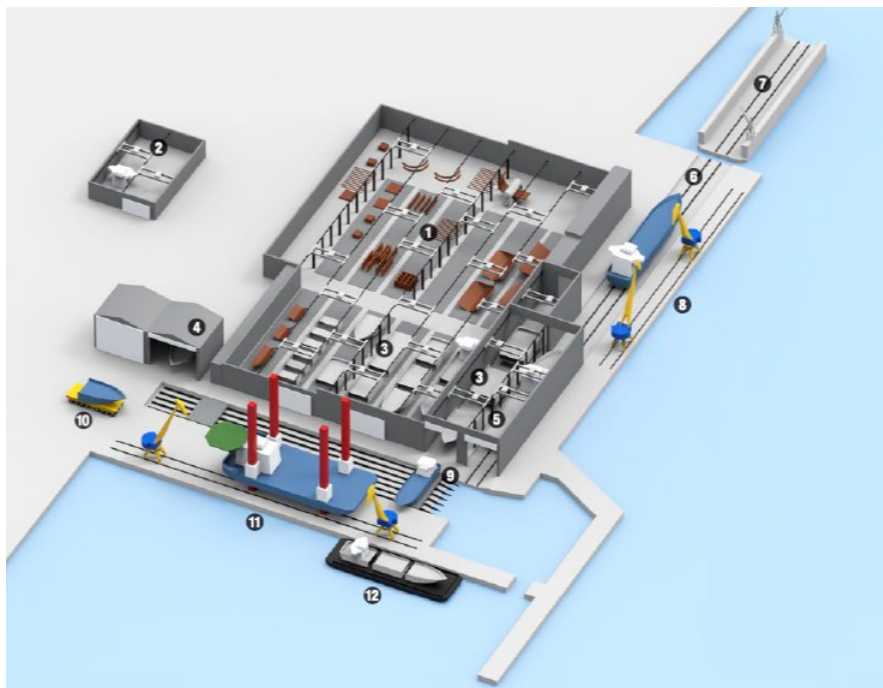
11 pav. Kilnojamųjų konstrukcijų „Alaska Structures“ didžiausi matmenys

II. AIKŠTELĖS UŽDENGIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

2.1. Laivų statyklos dabartinės veiklos apžvalga

Dabartinė UAB „Vakarų Baltijos laivų statykla“ reorganizuota 2003 m., teikia laivų statybos, remonto ir plieno konstrukcijų gamybos paslaugas. Statomi įvairių tipų laivai, kurių matmenys siekia iki 130 m ilgio ir 20 m pločio. Didesniems laivams naudojami dokai, leidžiantys statyti laivus iki 200 m ilgio ir 28 m pločio. Statykla gamina plieninius blokus, matmenys siekia iki $32 \times 18 \times 14$ m, o svoris – 550 t, visiškai įrengtus anstatus, svoris siekia iki 600 t. Bendras statyklos teritorijos plotas – 290 tūkst. m². Dengti plotai sudaro apie trečdalį viso statyklos teritorijos ploto. Metalų konstrukcijų cechų bendrasis plotas 45 tūkst. m². Kranų keliamoji galia cechų viduje siekia iki 100 t. Gretimųjų krantinių Nr. 58–61 ilgis – 600 m, akvatorijos gylis siekia iki 8,0 m. Lauko aikštelės teritorijoje sumontuoti du kilnojameji kranai, kurių keliamoji galia – 20 t.

Dauguma laivų statybos darbų atliekami uždaruose gamybos cechuose. Pagal dabartinę technologinę schemą (12 pav.) ceche vyksta tokie technologiniai procesai: produkcijos paruošimas ir parengimas surinkimui (1); detalių ir blokų surinkimas (3); blokų ir detalių dažymas (4); korpusų surinkimas (5); korpuso nukreipimas į paleidžiamąjį taką (6); korpusas nuleidžiamas į doką (7);



12 pav. Baltijos laivų statyklos technologinė schema

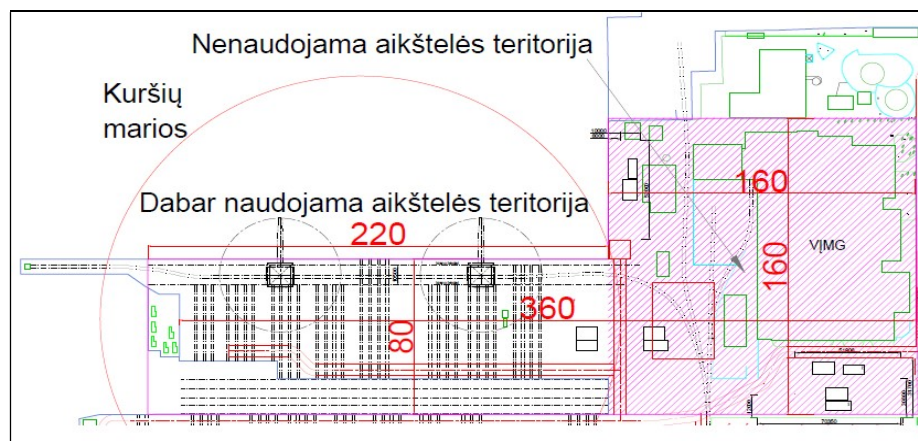
Dalis laivų blokų ir antstatų surenkama ir lauke esančioje aikštelėje, kurioje, panaudojant kranus surenkamos metalinės laivų blokų konstrukcijos. Surinkta produkcija ant specialiaus hidraulinio kėlimo automobilio (10) pakraunama į baržą (12) ir transportuojama.

2.2. Laivų blokų surinkimo aikštelės tyrimas

Šiuo darbu daug dėmesio skiriama laivų statyklos plėtrai, darbo sąlygoms gerinti bei veiksmingam teritorijos panaudojimui. Darbo našumui didinti reikia laivų blokų gamybą perkelti į statyklų teritorijose esančias atvirąsias aikšteles (Basan, 2019; Song, 2013). Tam tikslui tiriama statyklos atviroji aikštelė (13 pav.), kurią galima geriau išnaudoti. Atlikus aikštelės vizualinę apžiūrą, buvo pastebėta, kad yra užtekstinai vietos gamybos technologinei linijai plėsti. Pateikta schema vaizduojamas esamos aikštelės planas (14 pav.), kuriame matomas dabar naudojamas plotas, kur surenkami laivų blokai. Pažymėtas aikštelės plotas 160×160 m, naudojamas sandėliuoti medžiagoms ir technikai. Būtent šią teritoriją įmonė planuoja ateityje naudoti veiksmingiau, jeigu būtų surenkami laivų blokai ir korpusai.



13 pav. Bendras laivų statyklos vaizdas su pažymėta atvirąja lauko aikšte



14 pav. Esamos aikštelės planas (2019 m.)

Nenaudojama teritorija yra pakankamai didelė, patogi ir laisvai prieinama prie teritorijos, kurioje dabar vykdomi laivų korpusų ir anstatų surinkimo darbai (15–16 pav.). Įrengus naują bėgių sistemą, iš gamybos cecho būtų galima transportuoti laivų blokus iki nenaudojamos teritorijos ir ten surinkti laivų korpusus. Toliau surinktą laivo korpusą baržos pagalba galima transportuoti, kadangi nenaudojama aikštelės teritorija turi tiesioginį priėjimą prie Kuršių marių krantinių Nr. 58–61.



15 pav. Nenaudojamos aikštelės teritorijos vaizdas iš pietų



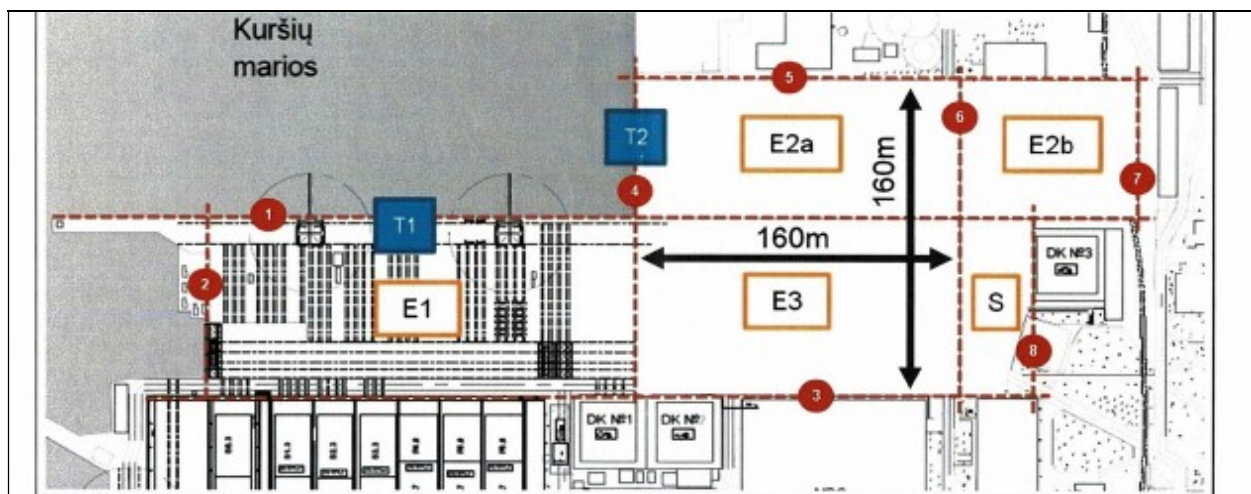
16 pav. Nenaudojamos aikštelės teritorijos vaizdas iš vakarų

Aikštelės apžiūra buvo atlikta kartu su laivų statyklos technikos direktoriumi ir jo teigimu, laivų statykla planuoja ateityje koreguoti esamos aikštelės paskirtį ir plėsti gamybos liniją. Toliau aptarsiu laivų statyklos tolimesnius planus.

2.3. Laivų statyklos tolimesni planai

Pagal įmonės teritorijų apibrėžimo ir teritorijų ribų planavimą, (17 pav.) atvirojoje aikštelėje numatoma atlikti šiuos pakeitimus:

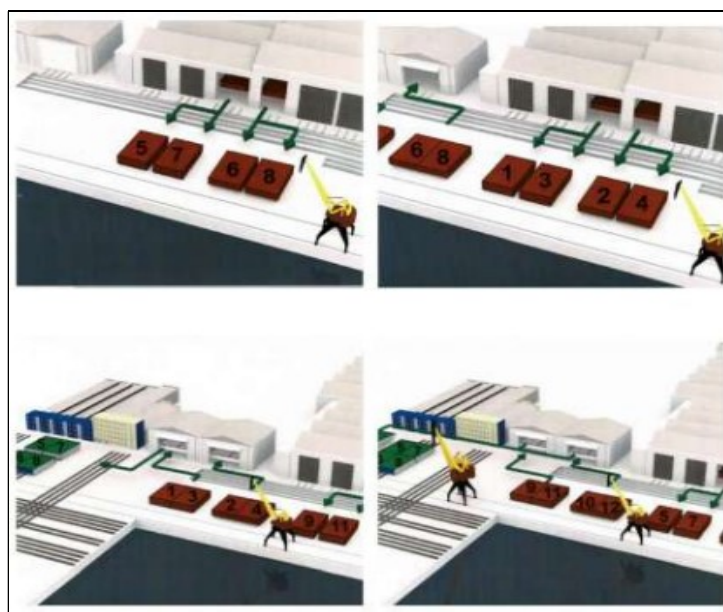
- aikštelės plotuose E2a ir E3 nugriauti visus esančius pastatus ir padengti plotą naujomis gelžbetonio plokštėmis. Įrengti geležinkelio bėgius.
- E1 plote kaip ir dabar numatoma toliau gaminti laivų blokus ir transportuoti, pakraunant į baržas (T1);
- laivų blokų surinkimą numatoma pratęsti į E3 ir E2a plotus, kur bus įrengiama bėgių sistema laivų blokams transportuoti;
- iš E2a ploto, pilnai surinkti laivų blokai ir korpusai bus transportuojami baržos pagalba (T2).



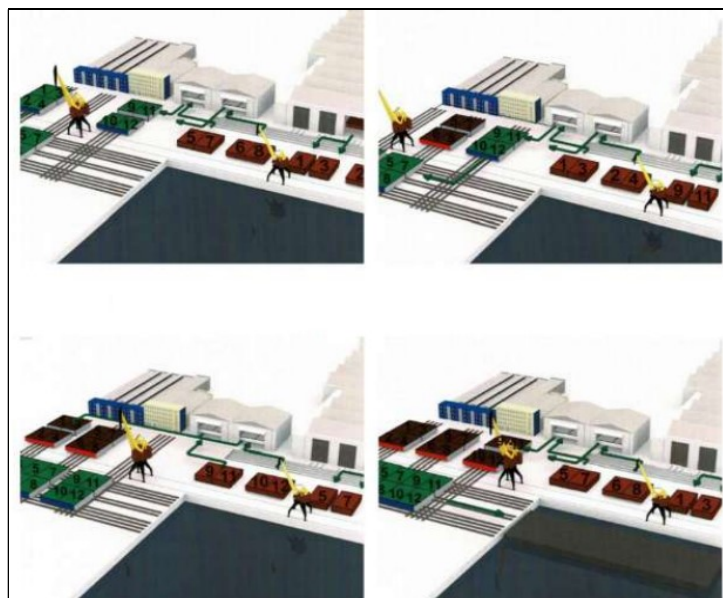
17 pav. Laivų statyklos plotų planavimo schema

Pagal ateityje numatomus pakeitimus laivų blokų surinkimo technologijos procesai būtų suskirstomi į tokius žingsnius (18–19 pav.):

- 1) laivų blokų sujungimas;
- 2) sujungtų blokų dažymas;
- 3) nudažytų blokų transportavimas į surinkimo liniją;
- 4) blokų surinkimas į korpusus;
- 5) pagrindinio laivo korpuso surinkimas;
- 6) pagrindinio laivo korpuso pakrovimas į baržą (E2a plotas).

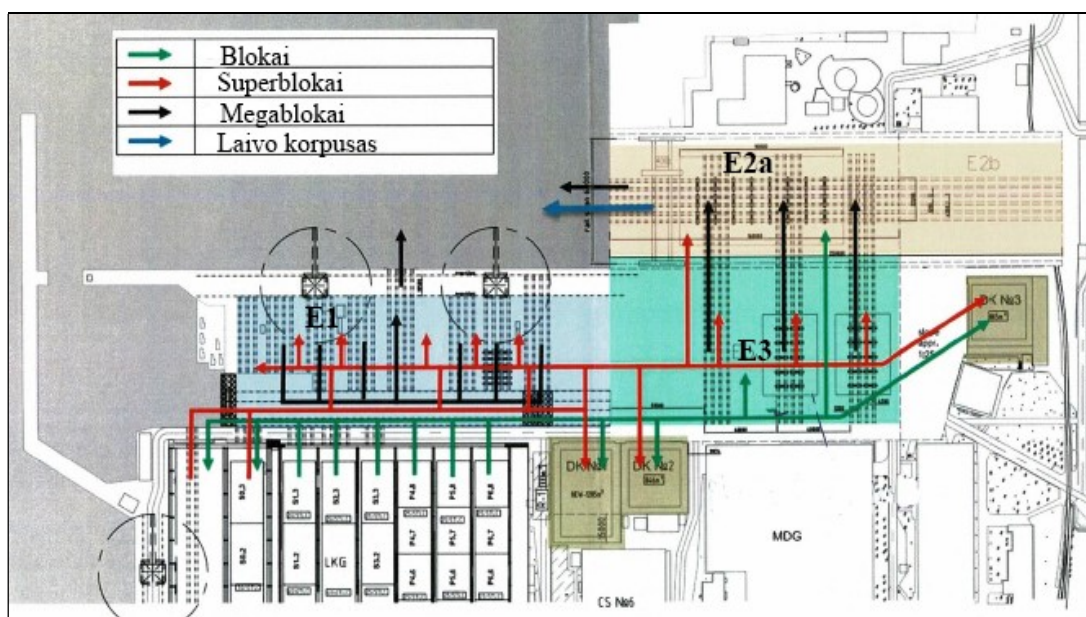


18 pav. Laivų blokų surinkimo schema (1–3 žingsniai)



19 pav. Laivų blokų surinkimo schema (4–6 žingsniai)

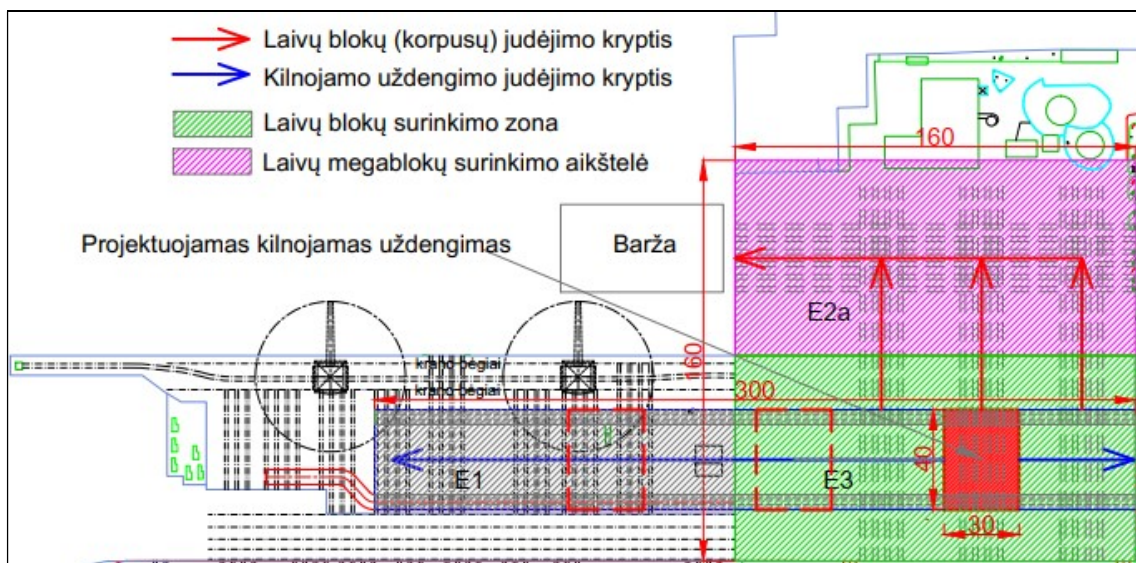
Pagal pateiktą naują technologinę laivų blokų ir korpusų judėjimo schemą (20 pav.) galima matyti, kaip pasikeičia laivų blokų judėjimas, praplečiant gamybos liniją į atvirąją aikštelę (plotai E3 ir E2a). Esamoje situacijoje laivų blokų surinkimas vyksta tik E1 plote. Ateityje būtų ženkliai padidinamas įmonės produktyvumas ir veiksmingiau panaudojama teritorija, kadangi vienu metu būtų galima surinkinėti kelis skirtingus laivų blokus. E1 zonoje kranų keliamoji galia yra iki 20 t, tai technologiškai neįmanoma atlikti sudėtingų laivų korpusų surinkimo procesų. Pagal naują schemą aikštelės E2a zonoje bus sumontuotas naujas 550 t keliamosios galios hidraulinis automobilinis kranas. Jo pagalba bus galima surinkti laivų korpusus ir pakrauti į baržą transportavimui.



20 pav. Naujoji laivų blokų ir korpusų judėjimo schema

2.4. Kilnojamojo ūdengimo reikalingumas

Technologiškai laivų blokų surinkimas lauke būtų neveiksmingas, kadangi pajūrio regione oro sąlygos dažnai būna nepalankios ir netinkamos dirbti atvirojoje aikštelėje. Siūloma laikinai uždengti aikštelės plotą, kuriame būtų vykdomas laivų blokų surinkimas. Kilnojamasis uždengimas išspręstų prastų oro sąlygų problemą, kadangi užtikrinamos panašios sąlygos, kaip dengtuose gamybos cechuose. Kilnojamasis uždengimas būtų įrengiamas ant bėgių sistemos ir ratų pagalba judėtų aikštelės E1 ir E3 plotuose (21 pav.).



21 pav. Kilnojamojo uždengimo ir laivų bloku judėjimo schema

Kadangi didžiausio laivo bloko matmenys yra $L \times B \times H = 16 \times 32 \times 16$ m, tai kilnojamojo uždengimo matmenys numatomi atitinkamai $L \times B \times H = 30 \times 40 \times 23$ m. Surinkti laivų blokai E3 zonoje, toliau transportuojami į E2a plotą, kuriame būtų surenkami laivų korpusai. Kilnojamas uždengimas judėtų 300 m atstumu ir galėtų apsaugoti tiek surenkamus laivų blokus nuo nepalankių aplinkos sąlygų, tiek sandėliuojamas medžiagas arba techniką, kai aikštelėje nevyktų darbai.

Toks statinys siūlomas, kadangi virš aikštelės nėra poreikio statyti didelių gabaritų stacionaraus statinio, kuris trukdytų laivų blokų ir hidraulinių mašinų ir kitos technikos judėjimui. Plotas nebūtų išnaudojamas veiksmingai ir stacionarų statinį išlaikyti būtų brangiau. Pagal esamus poreikius ir galimybes tinkamiausia projektuoti mažesnę kilnojamąją statinį, kurį būtų galima naudoti veiksmingai keliose skirtingose vietose.

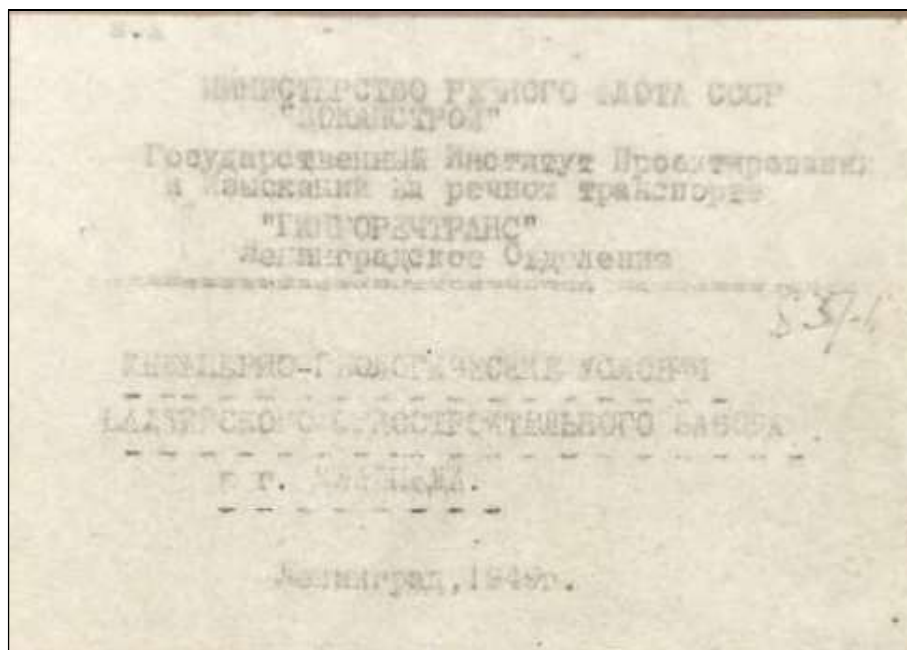
Apibendrinant, galima esminiais punktais išreikšti siūlomo kilnojamojo uždengimo reikalingumą:

- galimybė padidinti darbo našumą, kadangi atsiras uždengtas laivų blokų surinkimo plotas;

- laivų statykla praplėstų savo veiklą, kadangi atsiras galimybių vienu metu rinkti kelis skirtingus laivų blokus;
- veiksmingesnis teritorijos panaudojimas;
- geresnės darbo sąlygos, kadangi darbas vyks taip pat, kaip uždaruose cechuose;
- užtikrinami geresnės kokybės laivų korpusai, kadangi bus surenkami ir laikomi po kilnojamuoju uždengimu.

2.5. Aikštelės geologinės situacijos tyrimas

Atliekant atvirosios aikštelės apžiūrą, buvo gautos UAB „Vakarų Baltijos laivų statyklos“ inžinerinės geologinės sąlygos (22 pav.), kurios panaudotos poliniams pamatams projektuoti. Tyrimus atliko TSRS upių laivyno ministerijos upių transporto valstybinis projektavimo ir tyrimų institutas, Leningrado skyrius.



22 pav. Archyvinės geologinės tyrimų ataskaitos titulinio puslapio iškarpa

1949 m. balandžio–birželio mėn. Baltijos laivų statyklos teritorijoje buvo atlikti inžineriniai geologiniai tyrimai, skirti techniniam projektui rengti. Darbų apimtis nurodė tokius darbus:

- gręžinių iki 10 metrų gręžimas (aikštelės nusileidimo kryptimi);
- gręžinių gręžimas akvatorijoje iki 6–8 metrų;
- gręžimas iki 10–15 metrų gamyklos teritorijoje ir priešgamyklinėje teritorijoje;
- bandomosios apkrovos ant grunto mechaninio cecho teritorijoje, apdailos–katilinės cecho teritorijoje;
- bandomieji poliai 6–10 m nusileidimo teritorijoje pagal vieną ašį;

- bandomosios apkrovos ant polių korpusų cechų teritorijoje iki 40 t.

Iš viso pragręžta 757 m, iš kurių 143 m vandenyje. Viso apkrovų ant grunto – 3, bandomųjų kalamųjų polių – 6 vnt., bandomųjų apkrovų ant polių – 2 vnt.

Aikštelės išdėstymas ir reljefas

Tyrimų metu buvo atrinkti neardytos struktūros grunto bandiniai, atlikta Kuršių marių vandens cheminė analizė. Iš šiaurinės ir iš vakarų pusės aikštelė ribojasi su vandeniu. Iš pietų pusės gamyklos korpusas, o iš rytų pusės miestas. Prieš tai teritorijoje buvo pelkės su vandens įplauka. Silpnas augalinis gruntas, paviršiaus altitudė didėja į rytų pusę. Teritoriją kerta geležinkelis. Prie miesto ribos absoliučioji altitudė +7,5 m. 1947 m. visos vandeningos pelkės buvo užpiltos ir išlygintos.

Dirbtinį, užpiltą sluoksnį veikė sniegas ir vėjas. Smėlio frakciją išplovė vanduo ir kiti meteorologiniai reiškiniai. Smėlis nuo vėjo judėjo į miesto pusę ir užpildavo geležinkelį į rytų pusę ir judėjo toliau į miesto pusę. Tuo pat metu vėjas smėlį kartais nupūsdavo į akvatoriją ir ją teršdavo. Reljefas buvo nepastovus ir priklausydavo nuo vėjo krypties ir stiprumo. Iš pietų ir rytų pusės buvo drenažiniai groviai, kurie surinkdavo ir nuveddavo vandenį nuo aikštelės. Absoliutinis aukštis tuo metu buvo nuo 2 iki 4 m virš jūros lygio.

Marių vandens bangavimas teritorijoje gana ramus, gylis auga pamažu ir 140 m nuo krantinės atstumu gylis apie 7 m. Buvo atliktas dugno tyrimas, pasitelkiant narų pagalbą. Ten, kur buvo medinis pirsas, buvo daug metalo laužo, net buvo atrastas garo katilas. Dugnas prie gamyklos labai skiriasi nuo Marių ir yra labai nelygus. Gylis svyruoja nuo 2 iki 9 m. Gylių skirtumas atsirado dėl gilinimo darbų, kurie vyko anksčiau.

Potvyniai–atoslūgiai vandens horizontui įtakos neturi. Bangavimui didelės įtakos turi vėjas ir horizonto svyravimo amplitudė tyrimų metu 1949 m. balandžio – gegužės mėn. buvo daugiau nei 0,5 m, bet pagal ankstesnius stebėjimus gali būti 2,0 m.

Aikštelės geologinė sąranga ir gruntų litologinė charakteristika

Tyriamos aikštelės teritorijoje vyrauja moreniniai gruntai ir moreninės nuogulos iš po ledynų susidariusių ežerų. Teritorijoje prieš 10 tūkst. metų buvo Marių ekvatorija 20 m. gylio ir per visą tą laikotarpį ji buvo užpildyta organinės kilmės gruntais kartu su smėliu. Viršutinis sluoksnis yra piltinis gruntas, kurio gylis iki 2 m.

- Piltiniai gruntai 1,5–2,0 m: šlakas, statybinės šiukšlės, betono ir gelžbetonio gabalai kartu su dirvožemiu.
- Moreninės nuogulos mechaninė sudėtis: daug molio dalelių, vienalytė sandara. Molio dalelių 14,0 – 17,4 %.
- Priemolio natūralus drėgnumas – 11,2–15,9 % , praplautame sluoksnyje – 15,5–29,1 %.

- Priemolio tūrinis svoris – 2,16–2,33 t/m³, praplautame sluoksnyje – 1,95–2,21 t/m³.
- Priemolio poringumas – 25,9–31,6 %, praplautame sluoksnyje – 29,8–45,1 %.
- Priemolio poringumo koeficientas – 0,35–0,46, praplautame sluoksnyje – 0,58–0,82.
- Priemolio vidinės trinties kampas – 35°, praplautame sluoksnyje – 25–26°;
- Priemolio sankabumas – 20 kPa, praplautame sluoksnyje – 63,5 kPa;

Bandymo metu buvo naudojamas štampas 70,7x70,7 cm², apkrova buvo priimta 250 kPa (atitinka tuo metu galiojančiam OST standartui), byrėjimo kampas 25°, sankabumas 40 kPa, deformacijų modulis 4 MPa (nuosėdis 15 mm/m). Kritinė apkrova tyrimo metu buvo 300 kPa, nuosėdis buvo 20 mm, o nuo 250 kPa nuosėdis – 10,5 mm.

Ištirto sluoksnio storis buvo reikšmingas, todėl apkrovos nuo statinių bus perimtos tolygiai šio sluoksnio ir neperskirstys į sekančius sluoksnius. Moreniniai smėliai yra nereikšmingi. Gali būtų ploni sluoksniai priemolio ir priesmėlio.

Sluoksnio granulimetrinė sudėtis: <0,005 mm–20,1 %; 0,005–0,01 mm–23,4 %; 0,01–0,05 mm–18,4 %; 0,05–0,1 mm–9,2 %; 0,1–0,25 mm–18,5 %; 0,25–0,50 mm–4,8 %; 0,5–1,0 mm–3,0 %; 1 mm–2,6 %. Pateikiama priemolio grunto sluoksnio granulimetrinė sudėtis (1 lentelė).

1 lentelė. Priemolio granulimetrinė sudėtis

Inž.geolog. pjūvio Nr.	Gręžinio nr.	Gylis, m	Žvyras %	Smėlis %	Smėlis %	Sm. Smėl. %	Lb. Sm. Smėl.	Dulkis %	Molis %	Suma %			
			2,0	1-2	0,5- 1,0	0,25- 0,5	0,1- 0,25	0,05- 0,1	0,01- 0,05	Žvyr.	Smėl.	Dulk.	Mol.
			mm										
1	122	4,7	-	-	-	-	-	65,2	34,8	-	-	65,2	34,8
2	122	7,7	2,1	0,9	1,6	3,2	29,4	36,1	26,7	2,1	35,1	36,1	26,7
4	171	8,4	-	-	1,4	1,4	11,4	40,4	45,4	-	14,2	40,4	43,4
12	114	7,5	0,4	0,9	1,4	1,1	5,1	30,2	40,9	0,4	8,5	50,2	40,9
9	155	2,0	4,4	1,7	1,7	5,1	32,2	40,9	14,0	4,4	40,7	40,9	14,0
13	155	5,0	8,7	1,0	2,6	3,8	29,5	37,6	17,4	8,7	36,3	37,6	17,4

Sluoksnio natūralus drėgnumas 14,1%, svoris 2,2 t/m³, poringumo koeficientas 0,42. Žemiau gruntinių vandenų yra minkštai plastiškas būvis. Leistiną apkrovą pagal OST galima priimti ne daugiau kaip 125 kPa.

Kitas sluoksnis yra smulkus smėlis su dumblu (2 lentelė). Šis gruntas yra žemiau vandens horizonto, todėl pastoviai prisotintas. Vidinės trinties kampas 26–29°, tankis 1,30–1,66 t/m³, poringumas 50,4–36,6 % (sutankintas). Apkrova, kurią gali perimti – 150 kPa. Šitas sluoksnis plane nėra pastovus ir jis su kitais sluoksniais susimaišo, todėl šito sluoksnio tankinti nepavyksta. Bandymo metu naudotas štampas 70,7x70,7 cm², apkrova buvo priimta 150 kPa. Kritinis nuosėdis, esant šiai apkrovai buvo 21,5 mm. Kritinės apkrovos nuo 125 iki 150 kPa. Leistina apkrova –

70 kPa. Šiame sluoksnyje yra daug organinių liekanų. Natūralus drėgnis – 70 %. Tūrinis svoris 1,5–1,9 t/m³, poringumas 42–67 %.

2 lentelė. Smulkaus smėlio su dumbļu granulimetrinė sudėtis

Inž.geolog. pjūvio Nr.	Gręžinio nr.	Gylis, m	Žvyras %	Smėlis %	Smėlis %	Sm. Smėl. %	Lb. Sm. Smėl.	Dulkis %	Molis %	Suma %			
			2,0	1-2	0,5- 1,0	0,25- 0,5	0,1- 0,25	0,05- 0,1	0,01- 0,05	Žvyr.	Smėl.	Dulk.	Mol.
			mm										
7	151 a	3,0- 3,7	-	-	4,0	5,5	49,9	36,2	4,4	-	59,4	36,2	4,4
22	153	4,5- 5,0	-	-	3,7	2,2	68,3	22,3	4,8	-	72,9	22,3	4,8
40	123	11- 11,5	-	-	-	0,3	65,3	24,7	9,7	-	65,6	24,7	9,7
41	123	12,8 - 13,5	-	-	-	1,5	76,5	16,9	5,1	-	78,0	16,9	5,1

Kitas nagrinėjamas grunto sluoksnis – durpės. Granulimetrinė sudėtis pateikiama 3, o sudėtis ir tankis 4 lentelėje. Šiame grunte yra didelis surišimas tarp dalelių, vidinės trinties kampas 21–31°, sankabumas 10–18 kPa. Kai bandomoji apkrova 100 kPa, nuosėdžiai grunte buvo nuo 55 iki 120 mm/m. Kai apkrova 400 kPa, nuosėdžiai grunte nuo 140 iki 238 mm/m. Šis sluoksnis yra pavojingas, nes nuosėdžiai labai dideli.

3 lentelė. Durpių granulimetrinė sudėtis

Inž.geolog. pjūvio Nr.	Gręžinio nr.	Gylis, m	Žvyras %	Smėlis %	Smėlis %	Sm. Smėl. %	Lb. Sm. Smėl.	Dulkis %	Molis %	Suma %			
			2,0	1-2	0,5- 1,0	0,25- 0,5	0,1- 0,25	0,05- 0,1	0,01- 0,05	Žvyr.	Smėl.	Dulk.	Mol.
			mm										
26	172	10,0- 10,9	-	-	-	0,1	22,6	56,7	20,6	-	22,7	56,7	20,6
33	174	10,2- 10,6	-	-	1,1	1,1	36,5	48,4	12,9	-	38,7	48,4	12,9

4 lentelė. Durpių sudėtis ir tankis

Gręžinio nr.	Gylis, m	Tankis, g/cm ³	Tankis, g/cm ³ (išdžiovinto)	Masės skirtumas, %	Organinių priemaišų kiekis, g/cm ³	Organinių priemaišų kiekis, %
154	2,0-2,5	2,40	2,67	15,64	0,96	34,4
159	2,5-3,0	2,45	2,66	11,95	0,92	28,2

Viršutiniai sluoksniai jau turi geras geologines savybes (piltinis gruntas). Granulimetrinė sudėtis pateikiama 5 lentelėje. Vidinės trinties kampas 30–35°. Bandomoji apkrova 300 kPa.

Ribinės nuosėdžių reikšmės nepasiekė, nesuiro. Nuosėdis pasiekė 26,0 mm, kai apkrova buvo 300 kPa. Esant apkrovai 200 kPa, nuosėdis 14,5 mm, kai apkrova 100 kPa, nuosėdis 7,5 mm. Tūrinis sluoksnio svoris $1,87 \text{ t/m}^3$. Savarankiškai šis sluoksnis negali būti taikomas pamatams, nes žemiau yra labai silpni gruntai.

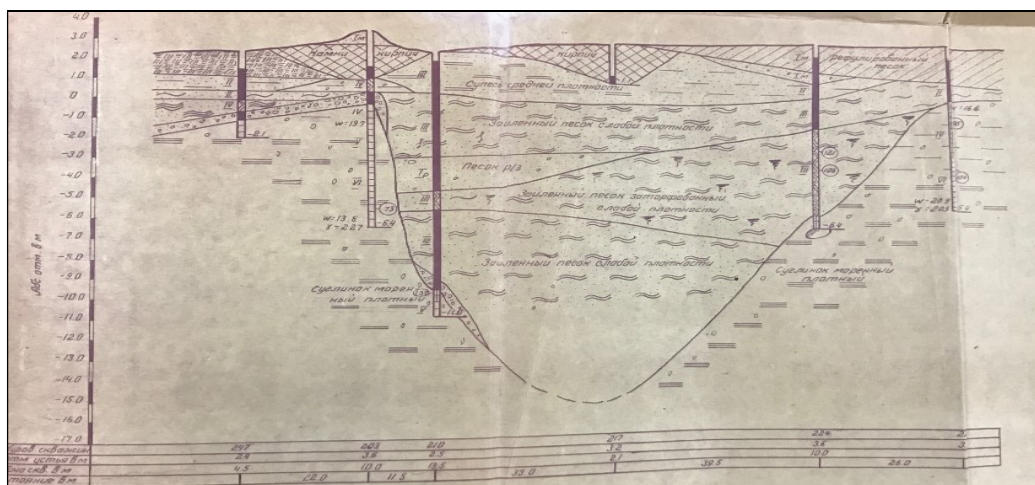
Iš atliktų tyrimų ataskaitos pateikiami inžineriniai geologiniai pjūviai pagal kuriuos galima matyti esamos aikštelės gruntų geologines sąlygas. Kadangi geologiniai tyrimai buvo atliekami visoje laivų statyklos teritorijoje, pateikiami tik tie pjūviai, kuriuose gręžiniai buvo atlikti esamos, atvirosios aikštelės teritorijoje. (23–25 pav.). Aikštelės teritorijoje vyrauja penki inžineriniai geologiniai sluoksniai, kurie pagal stiprumines savybes prisikiriami silpnų/vidutinio stiprumo ir stiprių gruntų kategorijoms. Tyrimų metu gauti parametrai suvidurkinti ir pateikti 6 lentelėje.

5 lentelė. Viršutinio sluoksnio granulimetrinė sudėtis

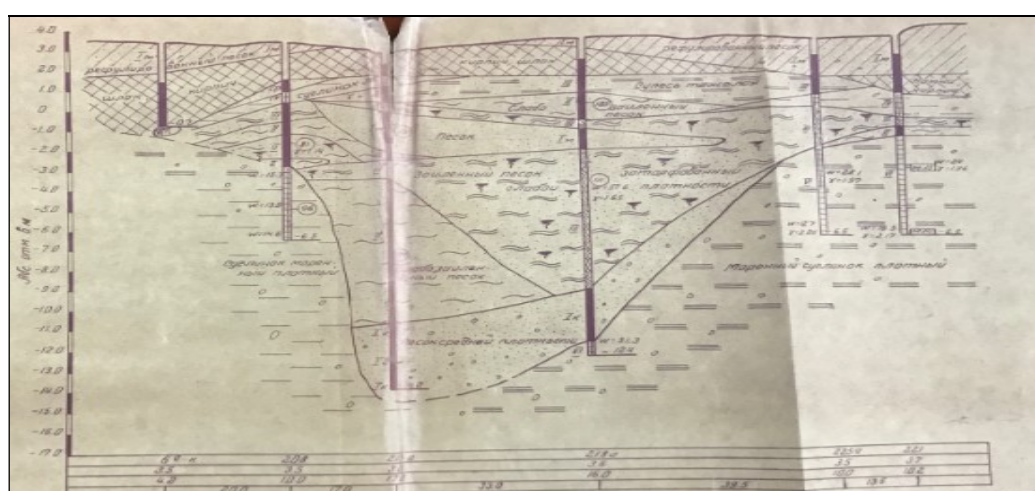
Sluoksnių Nr.	Gręžinio nr.	Gylis, m	Žvyras %	Smėlis %	Smėlis %	Sm. Smėl. %	Lb. Sm. Smėl. %	Dulkis %	Molis %	Suma, %			
			2,0	1-2	0,5-1,0	0,25-0,5	0,1-0,25	0,05-0,1	0,01-0,05	Žvyr.	Smėl.	Dulk.	Mol.
			mm										
	133	2,5-3,0	0,8	0,2	3,2	25,5	70,3	-	-	0,8	99,2	-	-
33	137	2,0-2,5	0,6	0,1	2,1	15,4	81,8	-	-	0,6	99,4	-	-
	140	1,5-2,0	0,7	2,2	22,9	29,7	44,5	-	-	0,7	99,3	-	-

6 lentelė. Gruntų fizikinės–mechaninės savybės

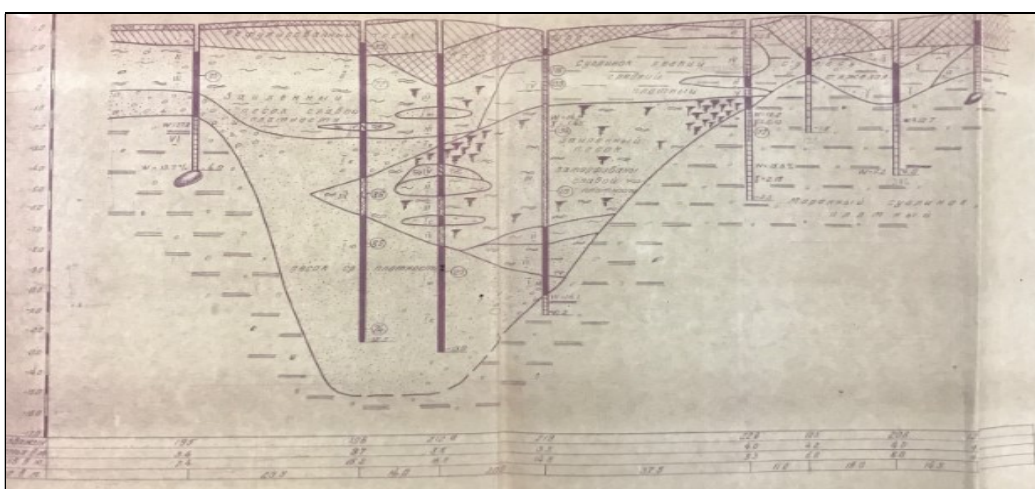
IGS	Grunto žymuo	Sluoksnio storis, m	Sluoksnio tankis, γ_d , kN/m^3	Leistina apkrova	Stipruminės vertės			Deformacijų modulis E , MPa
				F , kPa	φ , $^\circ$	C , kPa	q_c , MPa	
1	Dirbtinis (piltinis) gruntas	1,5–2,0	18,7	300	31,0	20,0	4,0	4,0
2	Durpės su organinėmis priemaišomis	2,0–2,5	24,0	100	21,0	-	0,5	0,5
3	Priemolis (smėlingas)	2,5–3,0	16,8	300	25,0	20,0	1,5	15,0
4	Dulkingas smėlis	1,5–2,0	14,8	150	27,5	-	1,0	4,5
5	Moreninis Priemolis	3,0–4,0	22,0	400	31,0	20,0	2,0	20,0



23 pav. Inžinerinis geologinis pjūvis Nr. 14



24 pav. Inžinerinis geologinis pjūvis Nr. 15



25 pav. Inžinerinis geologinis pjūvis Nr. 16

Gruntų bandymai ir tyrimų išvados

Siekiant ištirti galimybę projektuoti polinius pamatus, buvo sukalti šeši bandomieji poliai ir du iš jų apkrauti (bandymo metu). Du poliai sukalti į moreną, kurios gylis 2–4 m, kai bendras ilgis

polio 7–7,5 m, polių įgilinimas 6–6,5 m. Trys poliai buvo sukalti į smėlingą gruntą, kur yra durpės ir dumblas, gylis iki 10 m. Vienas polis sukaltas į smėlingus gruntus iki 6 m gylio. Rezultatai išreiškiami tokiais punktais:

- 1) Į moreną sukalti poliai praėjus 24–63 val. po pirmo smūgio, nusėdo 4 mm ir 1 mm. Pridėjimo svoris 450 kg, apkrovos pakilimo aukštis 2,0 m. Kritinė laikomoji galia pagal Gersivanov'o formulę 22,0 ir 15,0 t.
- 2) Poliai įkalti į silpnų gruntų sluoksnį (smėlingas gruntas su durpėmis ir dumbliu) parodė, kad po 41–99 val. nusėdo 4, 16 ir 37 mm. Svoris 450 kg, apkrovos pakilimo aukštis 1,5–2,0 m. Kritinė laikomoji galia pagal Gersivanova nuo 10 iki 18 tonų.
- 3) Į smėlingą gruntą sukaltas polius po 120 val. pertraukos nusėdo 4 mm, kai pneumatinio plaktuko jėga buvo 3 t. Kritinė laikomoji galia pagal Gersivanov 24 t.
- 4) Bandymo apkrova buvo bandomi du poliai sukalti į silpnus gruntus. Vienam iš jų kritinė apkrova buvo 24 t su 106 mm nuosėdžiu. Proporcingumo riba sudaro 15 t, kai nuosėdis 10 mm. Antram poliui kritinis nuosėdis atsiranda prie 30 tonų, kai nuosėdis 45 mm. Proporcingumo riba sudaro 20 tonų su 2 mm nuosėdžiu. Pagal rezultatus galima daryti išvadą, kad leistina apkrova poliui silpnuose gruntuose 10–12 tonų. Pagal dinamines formules (veikiant dinaminei apkrovai) leistina apkrova yra 7–8 t. Projektavimo metu rekomenduojama orientuotis į 7–8 t polių laikomąją galią.

Atlikus geologinės sandaros apžvalgą, tyrimus ir bandymus su dinaminėmis apkrovomis buvo padarytos tokios išvados:

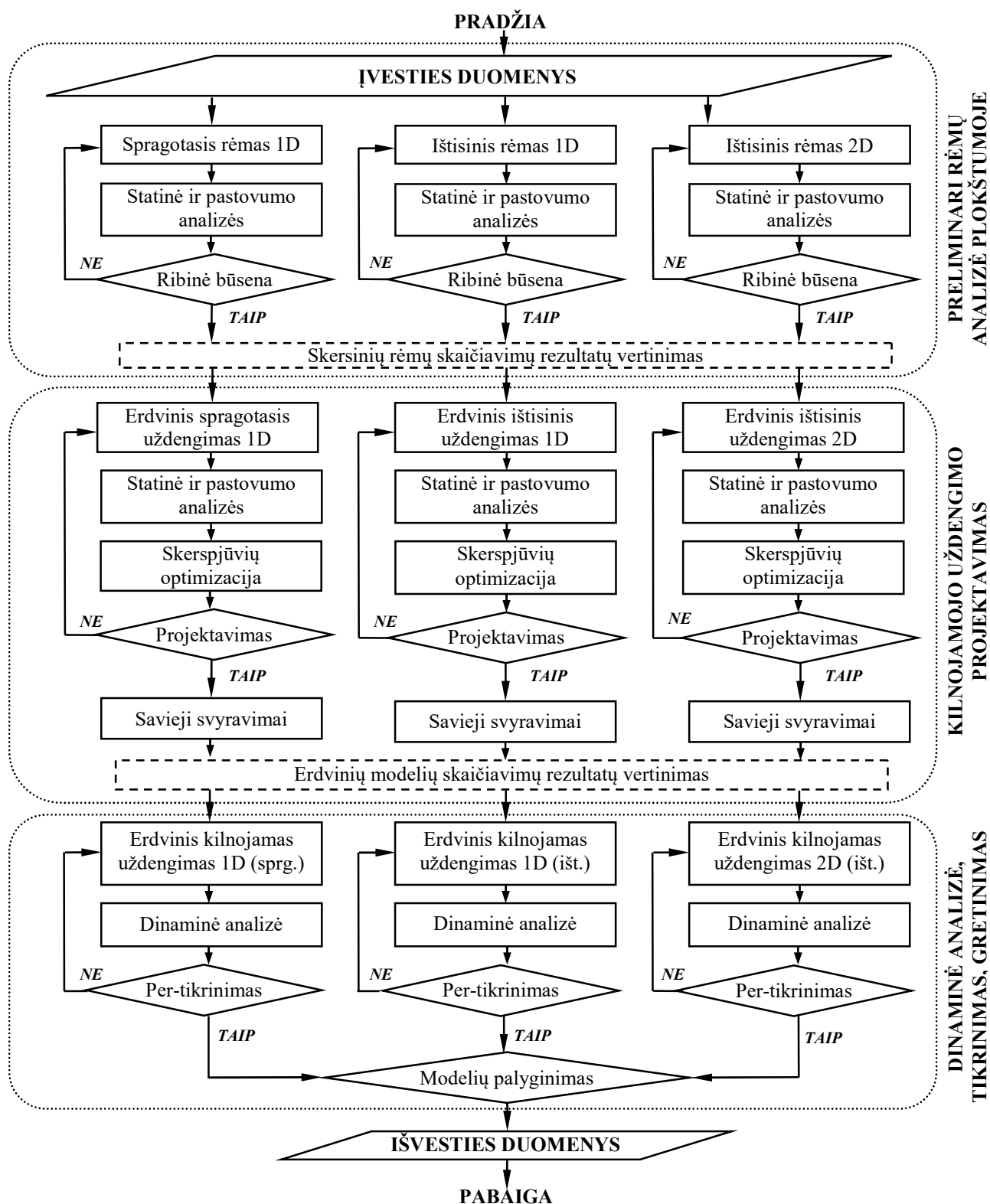
- 1) Baltijos laivų statyklos aikštelė Klaipėdoje nėra pavojinga dėl jos bendro pastovumo.
- 2) Ekvatorijos gruntai neturi pasipriešinimo ir būtų galima iškasti jos dugną, tačiau prieš tai būtina pašalinti atliekas (metalo laužas), kurių ten yra labai daug.
- 3) Statyba vyks ant gruntų, kur labai skiriasi laikomoji galia, todėl rekomenduojama pagrindą stiprinti poliais. Apkrovą poliui priimti 12–15 t, bet reikalingi dar papildomi tyrimai, kai bus žinoma konstrukcinė schema.
- 4) Gruntą stiprinti galima spraustasienėmis. Įkalimui sąlygos yra geros, kadangi nėra didelių riedulių. Kai skaičiuojama kritinė apkrova, vidaus trinties kampą priimti 28–30°.
- 5) Atskirų cechų statyba vyks skirtingose gruntinių savybių sąlygose ir kiekvienam cechui reikia individualiai spręsti gruntų geologines sąlygas.

Pagal aprašytas geologines sąlygas paskaičiuoti poliniai pamatai siūlomam kilnojamajam uždengimui. Polinių pamatų skaičiavimai pateikiami prieduose Nr. 3–4.

III. MODELIŲ STATINĖ ANALIZĖ

3.1. Tyrimų algoritmas

Vienas patikimiausių būdų įvertinti originalaus statinio projektavimo ypatybes yra specialiai pritaikyto algoritmo sukūrimas (Samofalov; Šlivinskas, 2009). Šiuo atveju sukūriau tyrimų algoritmą, kuris susideda iš trijų pagrindinių etapų (26 pav.).



26 pav. Tyrimų algoritmo schema

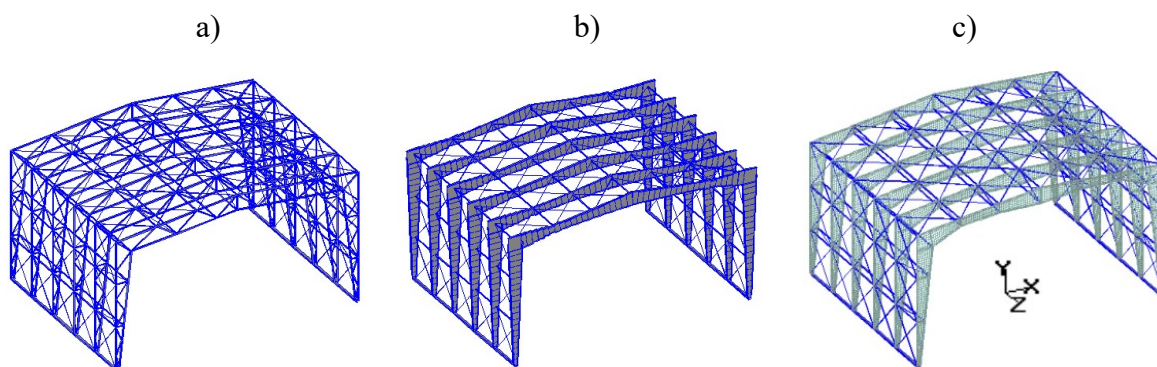
Pirmiausia sumodeliavau spragotąjį ir ištisinį skersinius rėmus iš vienmačių (toliau 1D) BE ir atlikau tiesinę statinę analizę ir visuotinio stabilumo analizę plokštumoje. Ištisinį rėmą papildomai sumodeliavau iš dvimačių (toliau 2D) BE (26 pav.). Peržiūrėjau rėmų deformacijas, įrašas, įtempių pasiskirstymą, stabilumo praradimo formas, kritinius daugiklius ir t.t.

Antrajame etape sumodeliavau visą kilnojamąjį statinį su ryšiais. Ištyriau modelių bendrąsias deformuotąsias schemas ir stabilumo praradimo formas. Ištisniam 2D BE modeliui patikrinau vietinį stabilumą. Pagal projektavimo normas, atlikau optimizaciją, parinkau tinkamiausius ir labiausiai išnaudojamus skerspjūvius. Nustačiau skaičiuojamųjų modelių savųjų svyravimų formas.

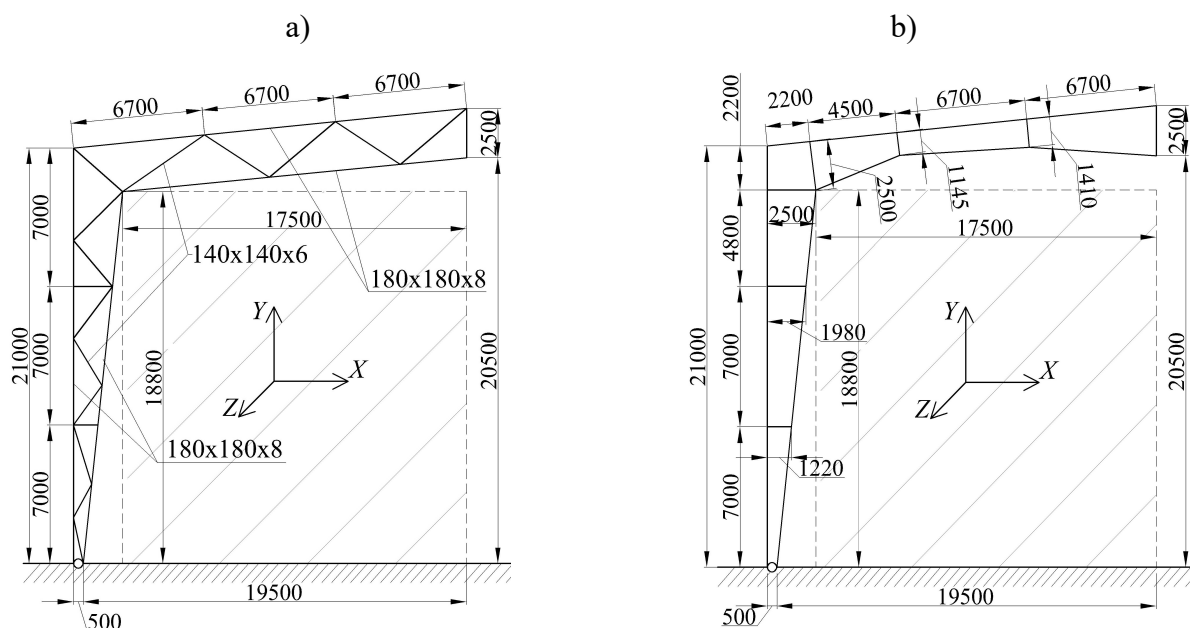
Trečiajame etape atlikau dinaminę analizę, kai sumodeliavau uždengimo judesį su pagreičiu, stebėjau gautus rezultatus. Rėmų skerspjūviai tikslinti, mažinant svorį. Galiausiai sugreinau tris skirtingus BE modelius ir pasirinkau tinkamiausią variantą laikomosios galios atžvilgiu. Paskutinio žingsnio metu gavau visus projektavimui reikalingus duomenis: atramų reakcijas, strypų įrašas, įtempius, pastovumo praradimo formas ir kritinius daugiklius, svyravimų dažnius ir t.t. III skyriuje atlieku aprašyto algoritmo pirmojo ir antrojo etapo skaičiavimus.

3.2. Statinio uždavinio prielaidos. Apkrovos

Projektuoju dviejų tipų kintamojo skerspjūvio ištisinį ir spragotąjį (santvarinį) BE modelius (27 pav.). Abiejų tipų rėmų vidaus (darbo) matmenys: $35 \times 19 \times 30$ m ($b \times h \times l$). Čia b – tarpatramis, h – aukštis, l – ilgis. Rėmų žingsnis – 6,0 m. Plieninėms konstrukcijoms parinkau S355 plieno stiprumo klasę (Eurocode 3). Pirminio varianto spragotojo rėmo viršutinė ir apatinė juostos iš $180 \times 180 \times 8$ mm kvadartinio tipo profiliuotųjų, tinklėlis – $140 \times 140 \times 6$ mm. Pirminio varianto ištisinio kintamojo skerspjūvio rėmo kolonos ir sijos modeliuojamos iš plieninių dvitėjų, kurių sienutės storis yra 8 mm, o lentynų storis – 10 mm, lentynos plotis – 400 mm. Kintamojo skerspjūvio aukštis yra nuo 0,5 m iki 2,5 m (28 pav.). Ištisinio rėmo dalys tarpusavyje jungiamos 40 mm storio flanšinėmis jungtimis, o skerspjūviai sustiprinami 20 mm storio sąstandomis. Ištisinį modelį papildomai sumodeliavau iš 2D BE plokštelių (27 pav.). Pagal STR 2.05.03:2003 uždengimo naudojimo trukmė 50 metų, patikimumo klasė – RC3.



27 pav. Spragotojo 1D (a) ištisinio 1D (b) ir ištisinio 2D (c) BE modeliai



28 pav. Ištinio (a) ir spragotojo (b) skersinių pusrėmių matmenys

Tikslu riboti poslinkius ir užtikrinti rėmų pastovumą, rėmus sujungiau su iš anksto įtemptais 18 mm skersmens plieniniais įstrižiniais lynais (Ren, 2015; Motwani, 2019; Zhang, 2020) ir išilginiais ramsčiais 120×120×6 mm. Kilnojamojo uždengimo dangą projektuojau iš labai lengvos, temperatūriniais poveikiams ir deformacijoms atsparios, įtemptos PVC audinio membranos (Joao, et al., 2016).

Santykinius ribinius poslinkius sijai priimiau $b/300 = 40 \cdot 10^3/300 = 133$ mm (vertikalieji), kolonai – $h/300 = 21 \cdot 10^3/300 = 70$ mm (horizontalieji). Kitos skaičiavimų prielaidos: rėmų medžiaga tampri; rėmus tarpusavyje sujungiau, kad nepasireikštų sukimas (Xue, 2001); vertinau visuotinę ir vietinę rėmų pastovumą; skerspjūvių optimizaciją atlikau, atsižvelgdamas į projektavimo normų (Eurocode 3) reikalavimus.

Nuolatinės apkrovos. Apskaičiavau atskirų pastato dalių (stogo ir sienų) nuolatinės apkrovos, kurių skaičiavimus atitinkamai pateikiu 7 ir 8 lentelėse.

7 lentelė. Pastato stogo konstrukcijos nuolatinės apkrovos

Eil. Nr.	Konstrukcijos sluoksnis	Charakteristinis sunkis, kN/m^2	Apkrovos patikimumo koef. γ_G	Skaičiuotinis sunkis, kN/m^2
1.	Stogo danga, PVC tentas (tempiamosios membranos audinys) $t = 1,2 \text{ mm}$, $g = 1,45 \text{ kg/m}^2$	0,015	1,35	0,020
2.	Inžinerinės sistemos $g = 40,0 \text{ kg/m}^2$	0,400	1,35	0,540
$\sum q_k = 0,415$			1,35	$\sum q_d = 0,560$

Charakteristinė dangos nuolatinės apkrovos reikšmė į tiesinį metrą:
 $q_k = 0,015 \cdot 6,00 = 0,09 \text{ kN/m}$. Charakteristinė technologinė apkrova į tiesinį metrą:
 $q_d = 0,400 \cdot 6,00 = 2,40 \text{ kN/m}$. Čia 6,00 m yra rėmų žingsnis.

8 lentelė. Pastato sienų konstrukcijos apkrovos

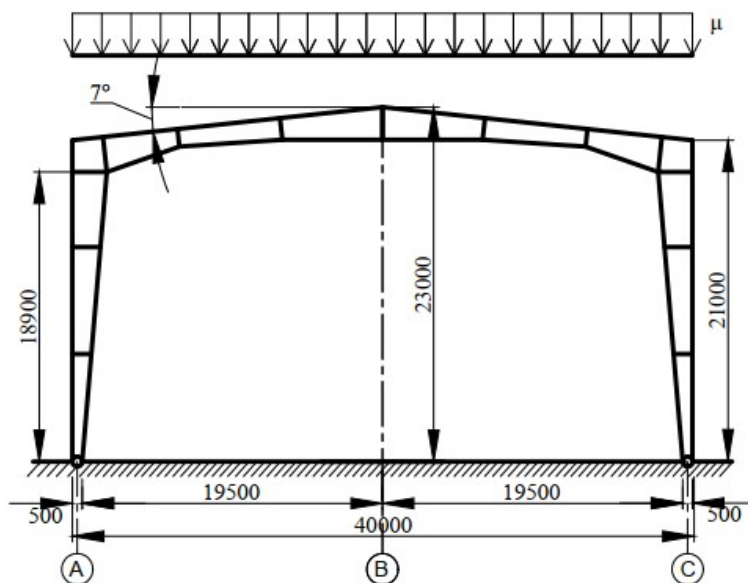
Eil. Nr.	Konstrukcijos sluoksnis	Charakteristinis sunkis, kN/m^2	Apkrovos patikimumo koef. γ_G	Skaičiuotinis sunkis, kN/m^2
1.	Išorinių sienų danga, PVC tentas (tempiamosios membranos audinys) $t = 1,2 \text{ mm}$, $g = 1,45 \text{ kg/m}^2$	0,015	1,35	0,020
$\sum q_k = \mathbf{0,015}$			1,35	$\sum q_d = \mathbf{0,020}$

Charakteristinė sienų nuolatinės apkrovos reikšmė į tiesinį metrą:
 $q_k = 0,015 \cdot 6,00 = 0,09 \text{ kN/m}$. Skaičiuojamoji sienų nuolatinės apkrovos reikšmė į tiesinį metrą:
 $q_d = 0,09 \cdot 1,35 = 0,12 \text{ kN/m}$. Kadangi sienų skaičiuojamoji apkrova yra labai maža, tai jos, atliekant skaičiavimus, nevertinu.

Kintamosios apkrovos

Sniegas

Projektuojamas kilnojamas uždengimas Klaipėdoje. Pagal STR 2.05.04:2003 1 priedo, 1 lentelę, Klaipėda priskiriama I sniego rajonui: $s_k = 1,20 \text{ kPa}$. Sniego apkrovos schemą ant ištisinio rėmo pateikiu 29 paveiksle. Analogiškas apkrovimas numatomas ir spragotajam rėmui.



29 pav. Sniego apkrovos schema ištisiam rėmui

Sniego poveikio skaičiuotinė apkrova:

$$s_d = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \cdot \gamma_Q = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,20 \cdot 1,30 = 1,56 \text{ kPa}.$$

čia s_k – sniego dangos ant 1 m^2 horizontaliojo žemės paviršiaus svorio charakteristinė reikšmė; μ_i – stogo sniego apkrovos formos koeficientas; C_e – atodangos koeficientas; C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių per stogą ar kitos energijos įtakos; γ_Q – sniego poveikio dalinis patikimumo koeficientas.

Sniego apkrovos charakteristinė reikšmė į tiesinį skersinio rėmo metrą:

$q_k = 1,20 \cdot 6,00 = 7,20 \text{ kN/m}$. Sniego apkrova daug didesnė už stogo naudojimo apkrovą, todėl stogo naudojimo apkrovos šiuo atveju nevertinu.

Vėjas

Projektuojamas kilnojamasis uždengimas pagal STR 2.05.04:2003 priklauso III vėjo apkrovos regionui. Vėjo greičio pagrindinė atskaitinė vertė 32 m/s .

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

$$w_{me} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e; \quad (20)$$

čia: c_e – išorinio slėgio aerodinaminis koeficientas; $c(z)$ – koeficientas, priklausantis nuo vietovės reljefo, vietovės tipo, aukščio nuo žemės paviršiaus. Atskaitinis vėjo slėgis q_{ref} nustatomas taikant formulę:

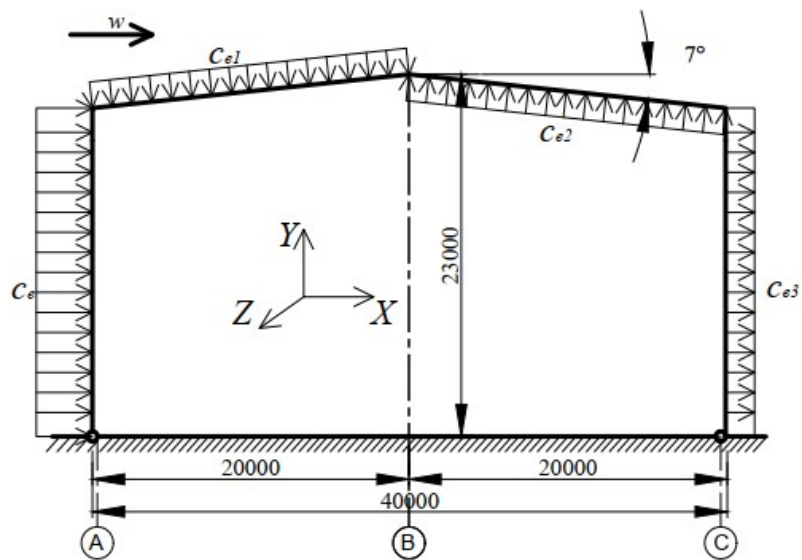
$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 32^2 = 640 \text{ Pa};$$

čia: v_{ref} – atskaitinis vėjo greitis, nustatomas reglamento 191 punkte; ρ – oro tankis, kuris lygus $1,25 \text{ kg/m}^3$. Atskaitinis vėjo greitis v_{ref} nustatomas:

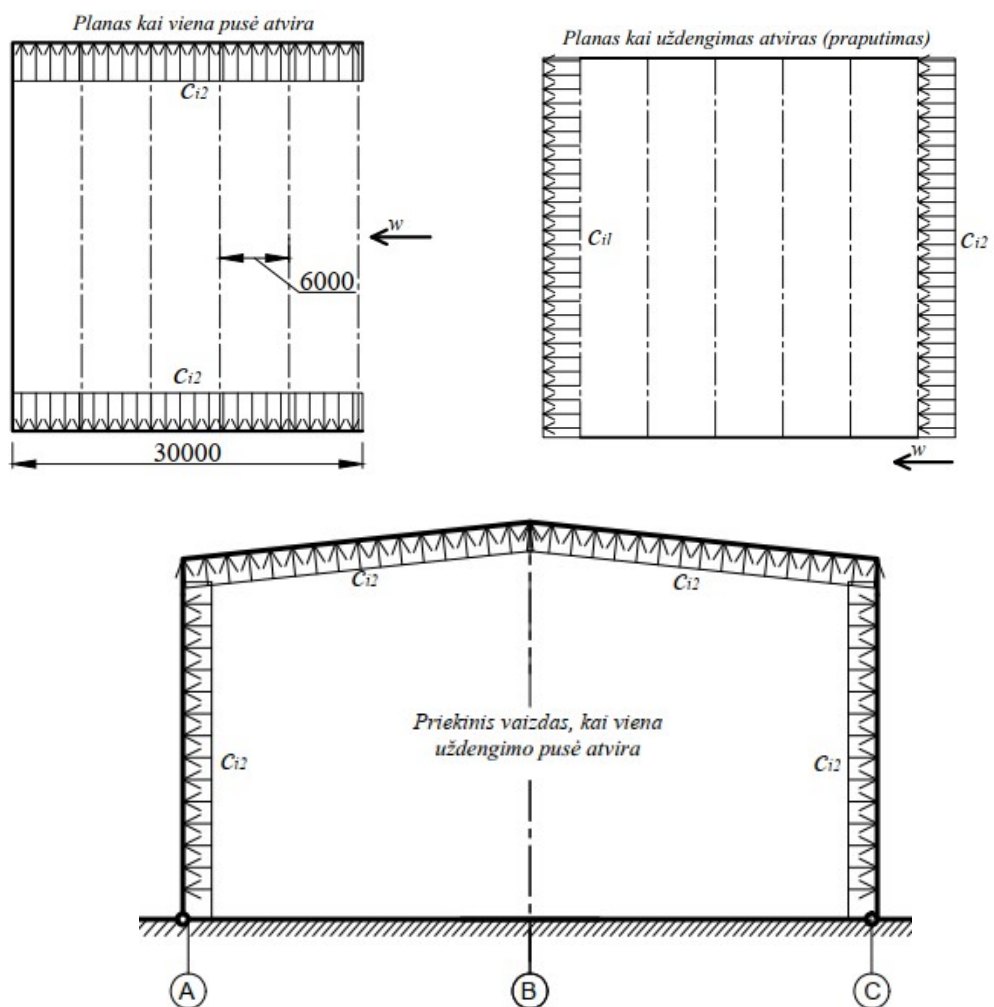
$$v_{ref} = c_{dir} \cdot c_{tem} \cdot c_{alt} \cdot v_{ref,0} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 32,00 = 32,00 \text{ m/s};$$

čia: $v_{ref,0}$ – vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė (žr. Reglamento 3 priedo 1 lentelę); c_{dir} – vėjo krypties koeficientas; c_{tem} – laikotarpio (sezono) koeficientas; c_{alt} – aukščio virš jūros lygio koeficientas.

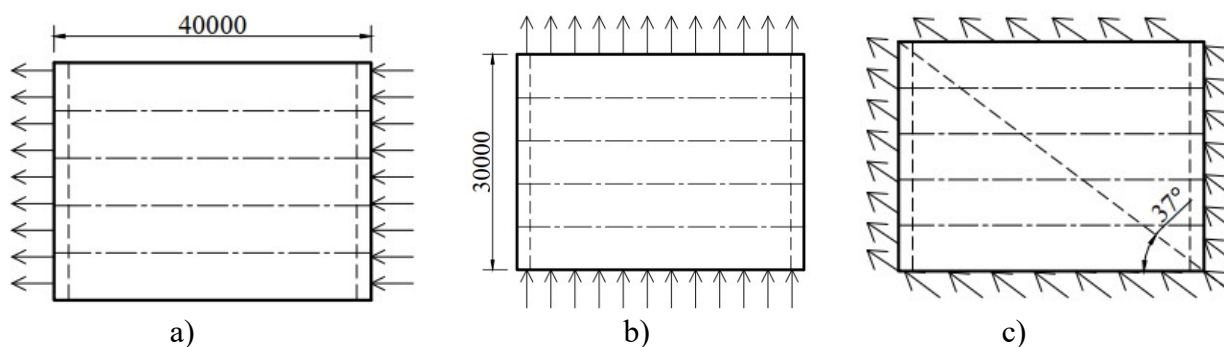
Nagrinėju aštuonis vėjo apkrovos atvejus. Pirmi du atvejai (vėjas iš kairės ir vėjas dešinės), kai apkrova veikia statmenai pastato galui išilgai X ašies projekcijos (30 pav.). Trečias ir ketvirtas atvejai, kai viena uždengimo pusė yra nuolat atvira arba abi pusės atviros ir uždengimas yra prapučiamas (31 pav.). 5–8 atvejai, kai nagrinėjama įstriža vėjo projekcijos dedamoji. Per pastato kontūrą nubraižau įstrižainę, pamatuoju kampą (32 pav.) ir programinėje įrangoje pridedu įstrižojo vėjo atstojamąsias į projekcinius paviršius. Vėjo apkrovimo schemas pavaizduoju ant ištisinio rėmo, kadangi vėjo apkrovos abiejų skaičiuojamųjų modelių yra vienodos.



30 pav. Pirmo ir antro atvejų vėjo apkrovos schema



31 pav. Trečio ir ketvirto atvejų vėjo apkrovos schema



32 pav. Vėjo 5–8 apkrovimo atvejų principinė schema: skersinė projekcija (a); išilginė projekcija (b); įstrižinė projekcija (c)

Koeficientų c_e apskaičiavimams nustatau rėmo aukščio (h_l) ir tarpatramio (b), bei uždengimo ilgio (l) ir tarpatramio santykius: $\frac{h_l}{l} = \frac{23,0}{30,0} = 0,77$; $\frac{b}{l} = \frac{40,0}{30,0} = 1,33$.

Koeficientų reikšmės 1–2 apkrovimo atvejams pateikiamos 9 ir 10 lentelėse.

9 lentelė. Koeficientų c_{e1} , ir c_{e2} reikšmių nustatymas

Koeficientas	Stogo nuolydis, α°	c_{e1}, c_{e2} reikšmės, kai h_l/l			
		0,00	0,50	0,77	1,00
c_{e1}	0,00	0,00	-0,60	-0,65	-0,70
	7,00	+0,07	-0,53	-0,62	-0,70
	20,00	+0,20	-0,40	-0,57	-0,70
c_{e2}	<60	-0,40	-0,40	-0,46	-0,50

10 lentelė. Koeficiento c_{e3} reikšmių nustatymas

b/l	c_{e3} reikšmės, kai h_l/l lygus		
	$\leq 0,50$	0,77	1,00
≤ 1	-0,40	-0,46	-0,50
1,33	-0,43	-0,48	-0,53
≥ 2	-0,50	-0,55	-0,60

Nustatytos c_e koeficientų reikšmės, kai nagrinėjamas 1–2 apkrovimo atvejai:

$$c_{e1} = -0,62; \quad c_e = 0,80;$$

$$c_{e2} = -0,46; \quad c_{e3} = -0,48;$$

Nagrinėjant 3–4 apkrovimo variantus (31 pav.) koeficientą c_{i1} (priešvėjinėje pusėje), kai pastatas nuolat atviras iš vienos pusės, kai $\mu \geq 30\%$, nustatau taip pat, kaip c_{e3} . Aptvaro laidumą μ nustatau kaip jame esančių angų ploto ir viso aptvaro ploto santykis. Šiuo atveju $\mu = 22\%$. c_{i1} priimu $-0,48$. Koeficientas $c_{i2} = +0,8$ (pavėjinėje pusėje).

Projektuojamo uždengimo vietovę pagal reglamentą priskiriu B tipo vietovei. Projektuojamo statinio aukštis yra 23 m, tai $c(z)$ koeficientą interpoliuojant priimu 0,89. Apskaičiavau charakteringas apkrovas į konstrukcinių elementą kvadratinį metrą (kPa).

Siena priešvėjinė pusė: $w_{me1} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e = 640 \cdot 0,89 \cdot 0,80 = 0,46 \text{ kPa}$.

Stogas priešvėjinė pusė: $w_{me2} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{e1} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-0,62) = -0,35 \text{ kPa}$.

Stogas pavėjinė pusė: $w_{me3} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{e2} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-0,46) = -0,26 \text{ kPa}$.

Siena pavėjinė pusė: $w_{m4} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{e3} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-0,48) = -0,27 \text{ kPa}$.

Stogas ir sienos, kai viena pastato pusė nuolat atvira arba abi atviros (3–4 variantai), pavėjinė pusė: $w_{me1} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{i1} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-0,48) = -0,27 \text{ kPa}$.

Stogas ir sienos, kai viena pastato pusė nuolat atvira arba abi atviros, priešvėjinė pusė:

$w_{me2} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{i1} = 640 \cdot 0,89 \cdot 0,80 = 0,46 \text{ kPa}$.

Vėjo apkrovų 5–8 atvejams aerodinaminius koeficientus priimu pagal EN 1991–1–4:2005. Koeficientą c_e šiuo atveju priimu +0,77. Koeficientus c_{e1} , c_{e2} , ir c_{e3} interpoliuojant atitinkamai priimu –1,12; –0,56; –0,50.

Siena priešvėjinė pusė (5–8 atvejai): $w_{me1} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e = 640 \cdot 0,89 \cdot 0,77 = 0,44 \text{ kPa}$.

Stogas priešvėjinė pusė: $w_{me2} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{e1} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-1,12) = -0,64 \text{ kPa}$.

Stogas pavėjinė pusė: $w_{me3} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{e2} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-0,56) = -0,32 \text{ kPa}$.

Siena pavėjinė pusė: $w_{m4} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{e3} = 640 \cdot 0,89 \cdot (-0,50) = -0,28 \text{ kPa}$.

Minuso ženklas rodo, kad vėjo apkrova nukreipta nuo atitvaros.

Tolygiai išskirstytas vėjo krūvis atitvaroms (charakteristinės reikšmės):

$q = w_{me} \cdot b$; b – rėmo žingsnis, $b = 6,00 \text{ m}$.

Sienai priešvėjinė pusė: $q_1 = 0,46 \cdot 6,00 = 2,76 \text{ kN/m}$.

Stogui priešvėjinė pusė: $q_2 = -0,35 \cdot 6,00 = -2,10 \text{ kN/m}$.

Stogui pavėjinė pusė: $q_3 = -0,26 \cdot 6,00 = -1,56 \text{ kN/m}$.

Siena pavėjinė pusė: $q_4 = -0,27 \cdot 6,00 = -1,62 \text{ kN/m}$.

Praputimas priešvėjinė pusė: $q_1 = 0,46 \cdot 6,00 = 2,76 \text{ kN/m}$.

Praputimas pavėjinė pusė: $q_2 = -0,27 \cdot 6,00 = -2,00 \text{ kN/m}$.

Stogas ir siena, kai viena pusė uždara pavėjinė pusė: $q_1 = -0,27 \cdot 6,00 = -2,00 \text{ kN/m}$.

Stogas ir siena, kai viena pusė uždara priešvėjinė pusė: $q_2 = 0,46 \cdot 6,00 = 2,76 \text{ kN/m}$.

Sienai priešvėjinė pusė (įstriža vėjo projekcija): $q_1 = 0,44 \cdot 6,00 = 2,64 \text{ kN/m}$.

Stogui priešvėjinė pusė (įstriža vėjo projekcija): $q_2 = -0,64 \cdot 6,00 = -3,84 \text{ kN/m}$.

Stogui pavėjinė pusė (įstriža vėjo projekcija): $q_3 = -0,32 \cdot 6,00 = -1,92 \text{ kN/m}$.

Siena pavėjinė pusė (įstriža vėjo projekcija): $q_4 = -0,28 \cdot 6,00 = -1,68 \text{ kN/m}$.

Kadangi STAAD.Pro programinėje įrangoje apkrovas galima pridėti tik X , Y ir Z ašių kryptimis, tai pagal pastato įstrižainės kampą apskaičiuoju atitinkamas vėjo apkrovos projekcijas.

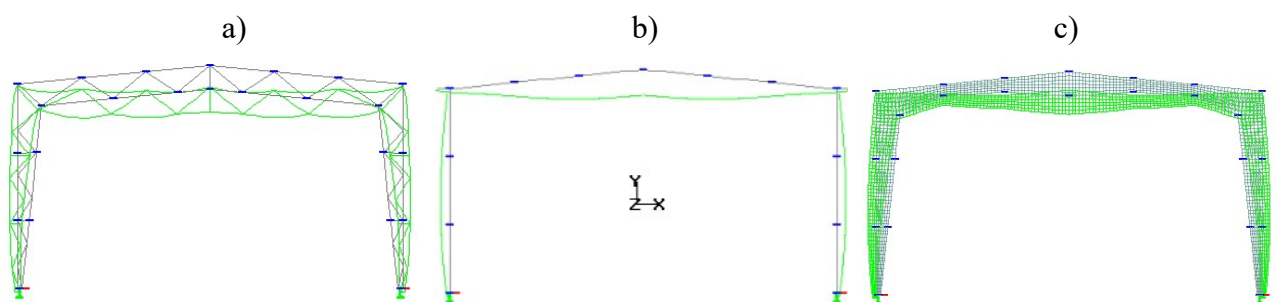
Vėjo apkrova išilgai pastato (Z ašies kryptimi): $q_1 = 2,64 \cdot \cos 53^\circ = 1,59 \text{ kN/m}$;
 $q_2 = -2,31 \text{ kN/m}$; $q_3 = -1,15 \text{ kN/m}$. $q_4 = -1,01 \text{ kN/m}$.

Vėjo apkrova skersai pastato (X ašies kryptimi): $q_1 = 2,64 \cdot \cos 37^\circ = 2,11 \text{ kN/m}$;
 $q_2 = -3,06 \text{ kN/m}$; $q_3 = -1,53 \text{ kN/m}$. $q_4 = -1,34 \text{ kN/m}$.

Skaiciavimams iš viso sudariau 149 apkrovų derinius pagal STR 2.05.04:2003. Apkrovų derinių suvestinė pateikiama priede Nr. 2.

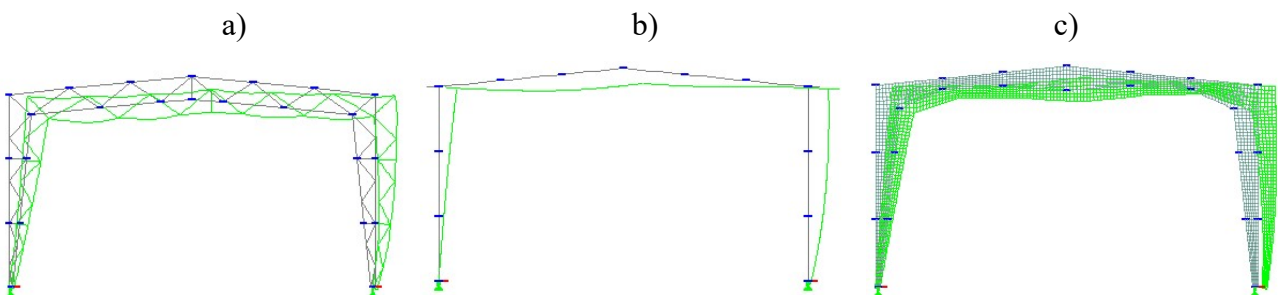
3.3. Spragotojo ir ištisinio rėmų skaičiavimas

Pirminį spragotojo rėmo variantą modeliavau iš 1D santvaros (truss) tipo BE. Pirminį ištisinio rėmo variantą modeliavau iš 1D BE ir papildomai iš 2D BE (plokštelių). Ištisinio 1D kolonos ir sijos suskaidytos į 1,0 m ilgio BE dėl kintamojo skerspjūvio. Skaiciavimus atlikau erdvėje. Gavau deformuotąsias schemas nuo vertikalųjų ir horizontaliųjų apkrovų (33–34 pav.).



33 pav. BEM rėmų deformuotosios schemas nuo vertikalųjų apkrovų:

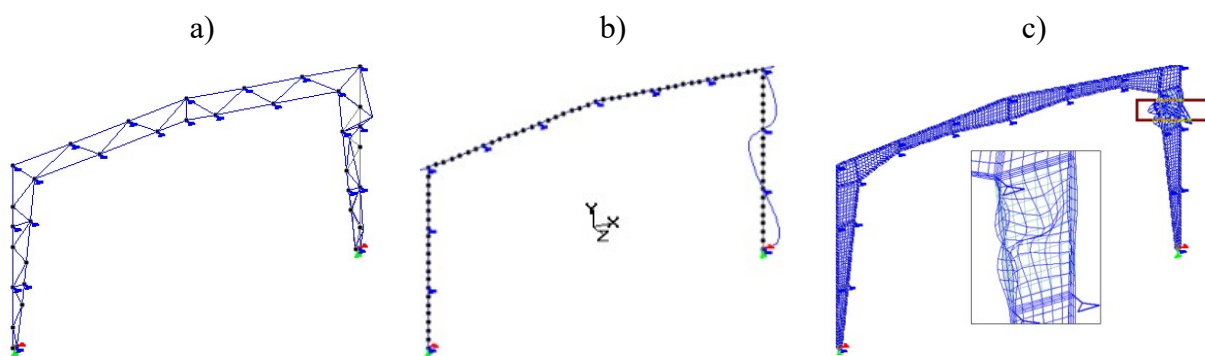
a – spragotasis 1D; b – ištisinis 1D; c – ištisinis 2D



34 pav. BEM rėmų deformuotosios schemas nuo horizontaliųjų apkrovų:

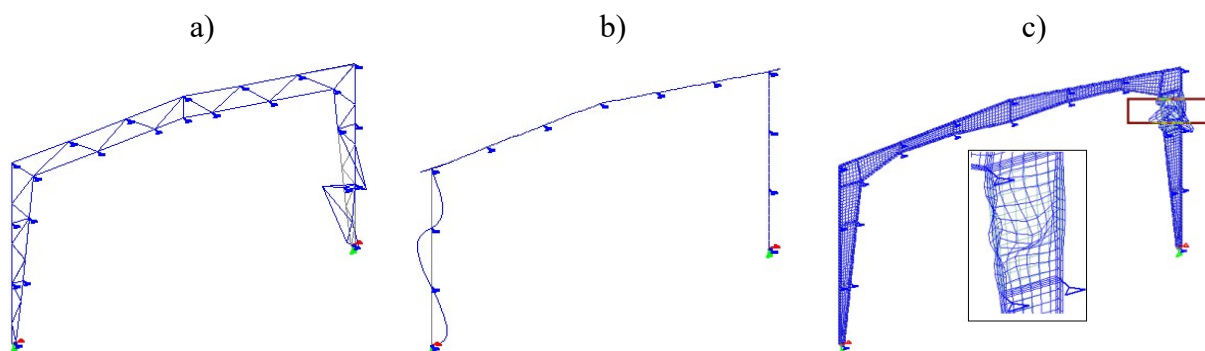
a – spragotasis 1D; b – ištisinis 1D; c – ištisinis 2D

Rėmų deformuotosios schemas yra panašios. Vertikalūs ir horizontalūs poslinkiai skiriasi neženkliai. Didžiausi vertikalūs poslinkiai rėmuose: spragotojo 1D – 63,8 mm, ištisinio 1D – 75,8 mm; ištisinio 2D – 61,2 mm. Didžiausi horizontalūs poslinkiai: spragotojo 1D – 57,4 mm, ištisinio 1D – 60,9 mm; ištisinio 2D – 59,5 mm. Atitinkamai gavau bendrąsias (G) ir vietinio (L) stabilumo praradimo formas (35–37 pav.) ir stabilumo praradimo kritinius apkrovų daugiklius, kurie parodo kiek kartų reikia padidinti veikiančias apkrovas, kad konstrukcinis elementas netektų stabilumo.



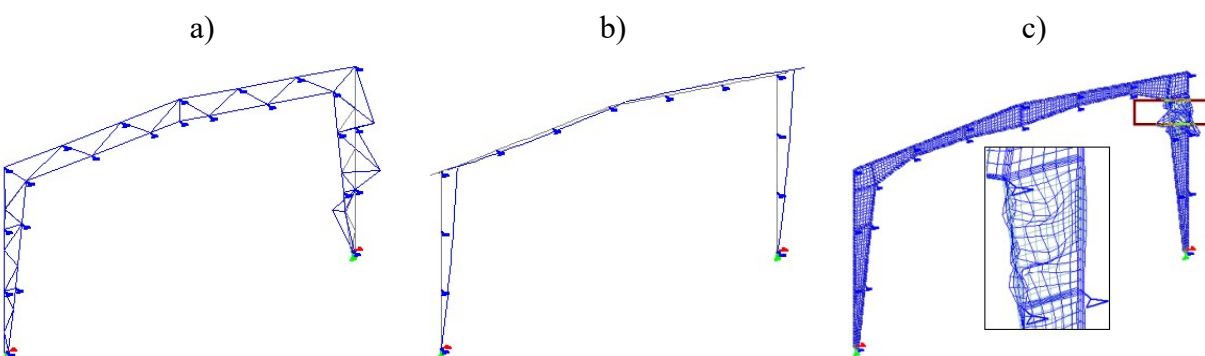
35 pav. BEM rėmų pirmosios stabilumo praradimo formos:

a – spragotasis 1D; b – ištisinis 1D; c – ištisinis 2D



36 pav. BEM rėmų antrosios stabilumo praradimo formos:

a – spragotasis 1D; b – ištisinis 1D; c – ištisinis 2D



37 pav. BEM rėmų trečiosios stabilumo praradimo formos:

a – spragotasis 1D; b – ištisinis 1D; c – ištisinis 2D

Gretinant stabilumo praradimo kritinius daugiklius, reikšmingi skirtumai atsiranda ištisiniame 2D modelyje (11 lentelė). Spragotajame 1D ir ištisiniame 1D rėmuose nevertinamas lokalinis stabilumo praradimas, todėl kritiniai apkrovų daugikliai reikšmingai didesni. Tiriant gautus rezultatus pastebėjau, kad ištisinio 2D rėmo stabilumo formos kritinis daugiklis yra mažesnis už 1,00 (11 lentelė), todėl skerspjūvio sienutės storį padidinau iki 10 mm, o lentynos iki 12 mm. Siekiant sumažinti spragotojo 1D rėmo svorį, pakeičiau juostų skerspjūvius į 180×180×6 mm, o tinklelio į 120×120×6 mm. Skirtumas tarp rėmų svorių reikšmingas (11 lentelė). Pirminio varianto spragotojo tipo rėmas yra lengvesnis apie 24 %. Po skerspjūvių pagerinimo ištisinio skerspjūvio rėmo svoris padidėjo 16 %, o spragotojo rėmo svoris sumažėjo 18 %. Skirtumas tarp rėmų svorių padidėjo iki 43 %.

11 lentelė. Pirmojo etapo pirminių skaičiavimų rezultatai

Konstrukcija /formos Nr./	Stabilumo kritinis daugiklis	Santykiniai poslinkiai		Rėmo svoris, %
		Vertikalieji	Horizontalieji	
Spragotasis 1D /1/	3,27 (G)	0,48	0,82	100
Spragotasis 1D /2/	4,57 (G)			
Spragotasis 1D /3/	5,10 (G)			
Ištisinis 1D /1/	8,53 (G)	0,57	0,87	122
Ištisinis 1D /2/	12,1 (G)			
Ištisinis 1D /3/	15,6 (G)			
Ištisinis 2D /1/	0,85 (L)	0,46	0,85	124
Ištisinis 2D /2/	0,90 (L)			
Ištisinis 2D /3/	1,16 (L)			

Atlikęs skerspjūvių pagerinimą, pastebėjau, kad spragotojo 1D rėmo stabilumo praradimo formos nesikeitė, nereikšmingai sumažėjo kritiniai apkrovos daugikliai (12 lentelė). Ištisinio 1D ir 2D rėmų stabilumo formų kritiniai daugikliai padidėjo (12 lentelė), stabilumo praradimo formos pasikeitimų nepastebėjau. Spragotojo 1D rėmo poslinkių reikšmės padidėjo apie 14 %, o ištisinio 1D ir 2D rėmų poslinkių reikšmės sumažėjo apie 5 %. Rėmų deformuotosios schemos nepakito.

12 lentelė. Pirmojo etapo skaičiavimų rezultatai po skerspjūvių pagerinimo

Konstrukcija /formos nr./	Stabilumo kritinis daugiklis	Santykiniai poslinkiai		Rėmo svoris, %
		Vertikalieji	Horizontalieji	
Spragotasis 1D /1/	2,71 (G)	0,56	0,93	82
Spragotasis 1D /2/	3,72 (G)			
Spragotasis 1D /3/	4,32 (G)			
Ištisinis 1D /1/	10,1 (G)	0,54	0,81	142
Ištisinis 1D /2/	10,2 (G)			
Ištisinis 1D /3/	17,3 (G)			
Ištisinis 2D /1/	1,56 (L)	0,43	0,78	144
Ištisinis 2D /2/	1,65 (L)			
Ištisinis 2D /3/	2,12 (L)			

3.4. Kilnojamojo uždengimo skaičiavimas ir skerspjūvių optimizacija

Atlikęs rėmų pirminę analizę ir pagerinės skerspjūvius, įvykdžiau antrąjį skaičiavimų etapą – viso kilnojamojo uždengimo modeliavimą ir skaičiavimą, kai 6 rėmus tarpusavyje apjungiau ryšiais (27 pav.). Stogo ir sienų ryšių sistema sudaryta iš įtemptųjų lynų. Tokioms sąlygoms nustatyti, taikau temperatūrinius poveikius. Šiems poveikiams apibrėžti, naudoju išankstinę tempimo jėgą N , pagal kurią apskaičiuoju temperatūros pokytį visame konstrukcinio elemento tūryje:

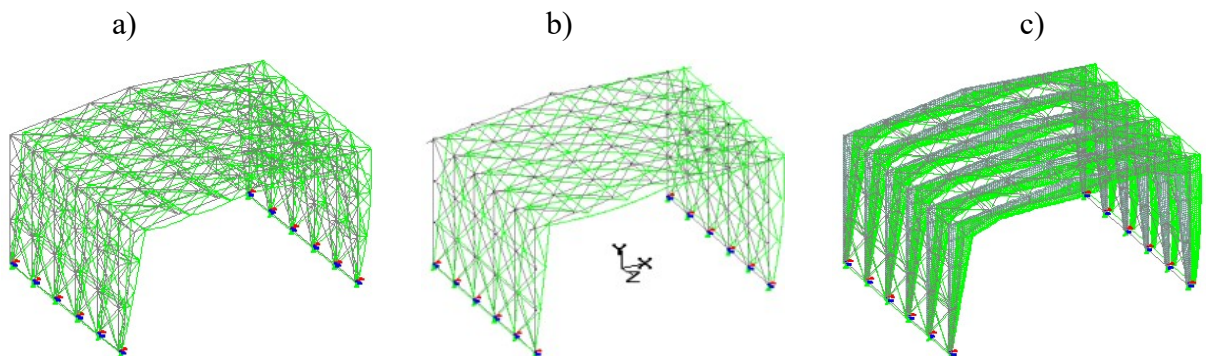
$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot A} + \alpha_t \cdot T \cdot l, \quad (21)$$

čia: Δl yra santykinis strypo pailgėjimas, mm; N – ašinė jėga, kN; l – elemento ilgis, m; E – plieno tampurmo modulis, MPa; A – skerspjūvio plotas, m^2 ; $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/(m}^\circ\text{C)}$ – plieno temperatūrinio plėtimosi koeficientas; T – temperatūros pokytis visame strypo tūryje $^\circ\text{C}$. Ilgio pokytį (21) prilyginu nuliui ir užsiduodu išankstinio tempimo jėgą $N_1 = 3,0 \text{ kN}$ stogo ir $N_2 = 1,0 \text{ kN}$ sienų ramsčiams:

$$T_1 = -\frac{N_1}{E \cdot A} \cdot \frac{1}{\alpha_t} = \frac{3,0 \cdot 10^3}{2,05 \cdot 10^{11} \cdot 1,01 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-5}} = -12,4^\circ\text{C};$$

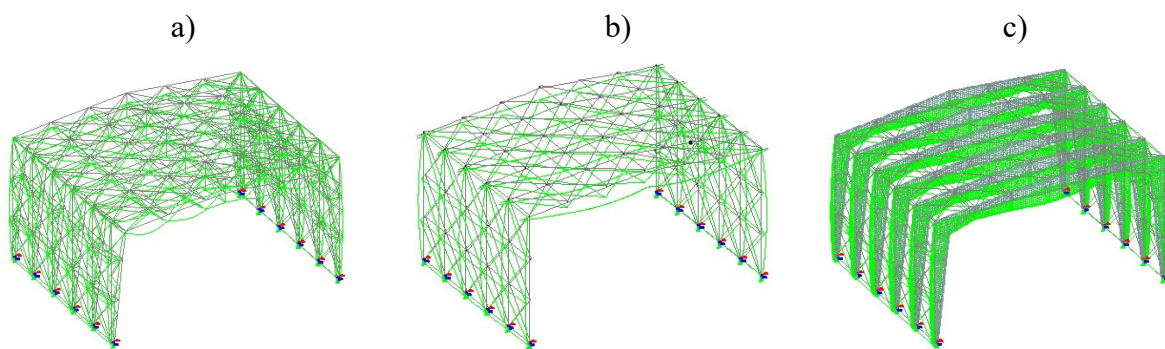
$$T_2 = -\frac{N_2}{E \cdot A} \cdot \frac{1}{\alpha_t} = \frac{1,0 \cdot 10^3}{2,05 \cdot 10^{11} \cdot 1,01 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-5}} = -4,2^\circ\text{C}.$$

Nustačiau viso kilnojamojo uždengimo deformuotąsias schemas (38–39 pav.) ir pastovumo praradimo formas su kritiniais apkrovų daugikliais (13 lentelė). Spragotajame 1D modelyje pasireiškia visuotinis stabilumo praradimas kolonose (40 pav.). Ištisiniame 1D modelyje pasireiškia visuotinis stabilumo praradimas kolonose (pirmos dvi formos), ir stogo sijose (trečioji forma) (41 pav.). Ištisiniam 2D modeliui pasireiškia vietinis stabilumo praradimas kolonose (42 pav.).



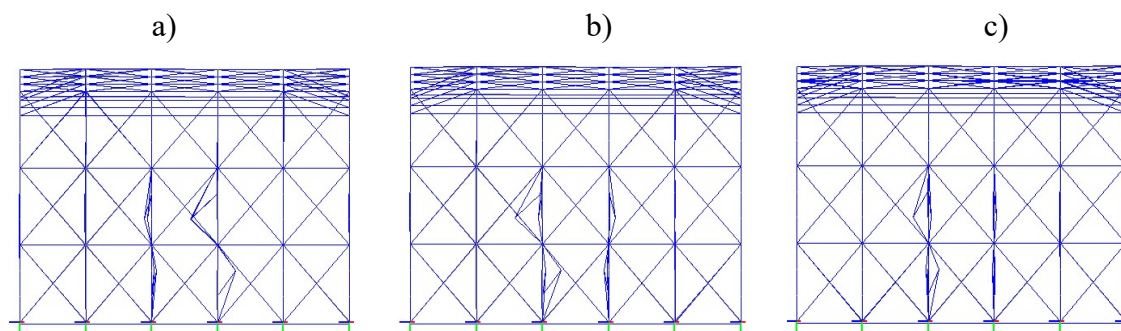
38 pav. BEM modelių deformuotosios schemas nuo horizontaliųjų apkrovų:

a – spragotasis 1D; b – ištinis 1D; c – ištinis 2D



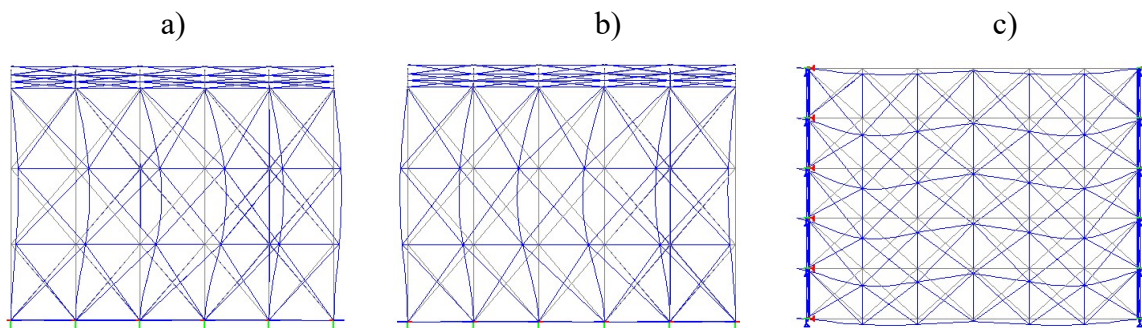
39 pav. BEM modelių deformuotosios schemas nuo vertikaliųjų apkrovų:

a – spragotasis 1D; b – ištisinis 1D; c – ištisinis 2D



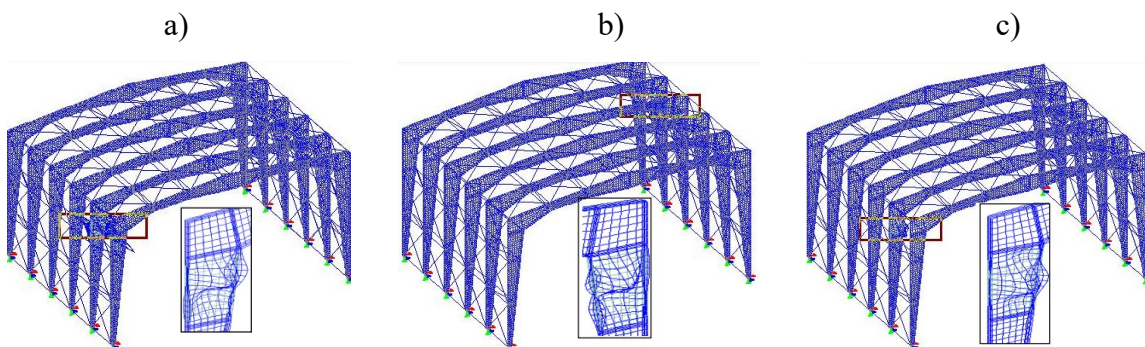
40 pav. Spragotojo 1D BEM modelio stabilumo paradimo formas (vaizdai iš šono):

a – 1-oji; b – 2-oji; c – 3-ioji



41 pav. Ištisinio 1D BEM modelio stabilumo paradimo formas:

a – 1-oji; b – 2-oji; c – 3-ioji (vaizdas iš viršaus)

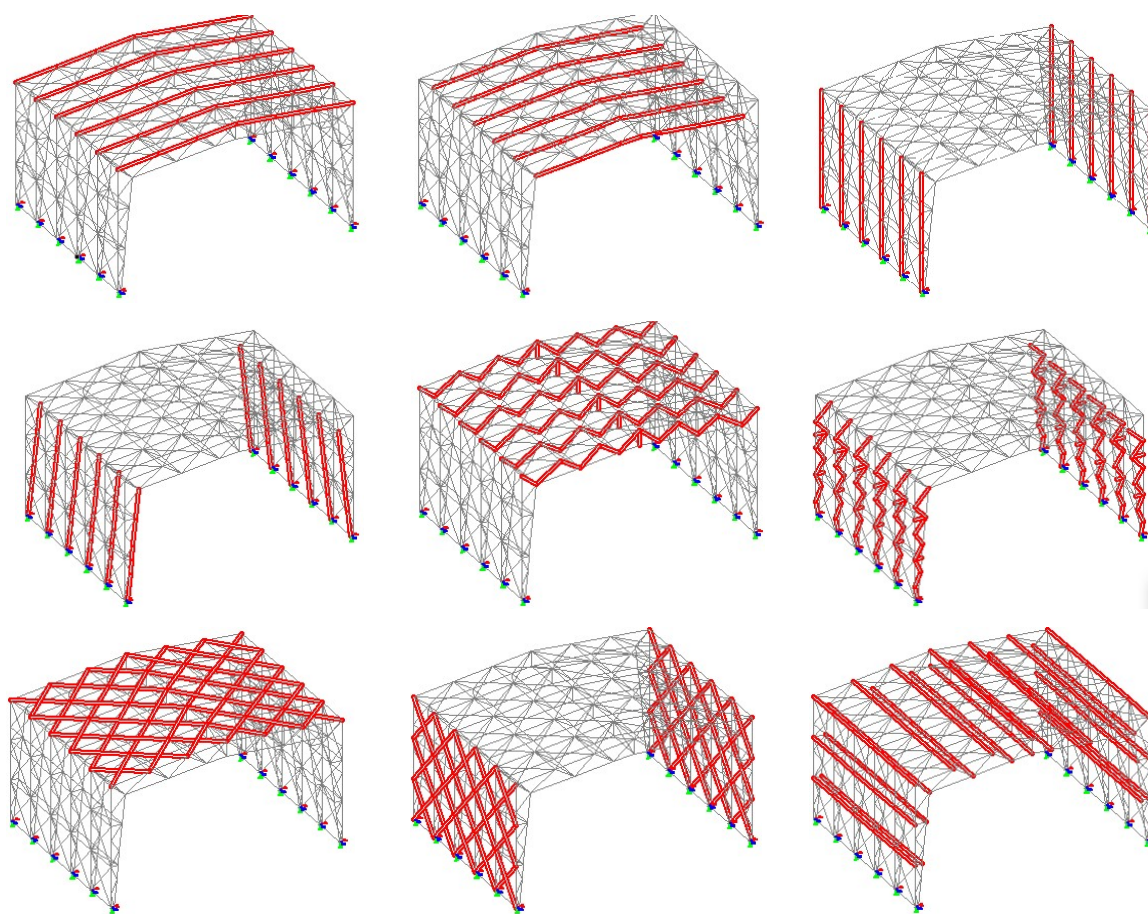


42 pav. Ištisinio 2D BEM modelio stabilumo paradimo formas: a – 1-oji; b – 2-oji; c – 3-ioji

13 lentelė. Antrojo etapo pirminiai skaičiavimų rezultatai

Konstrukcija /formos nr./	Stabilumo kritinis daugiklis	Santykiniai poslinkiai		Rėmo svoris, %
		Vertikalieji	Horizontalieji	
Spragotasis 1D /1/	2,21 (G)	0,67	0,89	82
Spragotasis 1D /2/	2,24 (G)			
Spragotasis 1D /3/	2,51 (G)			
Ištisinis 1D /1/	5,70 (G)	0,80	0,94	142
Ištisinis 1D /2/	6,48 (G)			
Ištisinis 1D /3/	8,21 (G)			
Ištisinis 2D /1/	1,48 (L)	0,57	0,85	144
Ištisinis 2D /2/	1,52 (L)			
Ištisinis 2D /3/	1,61 (L)			

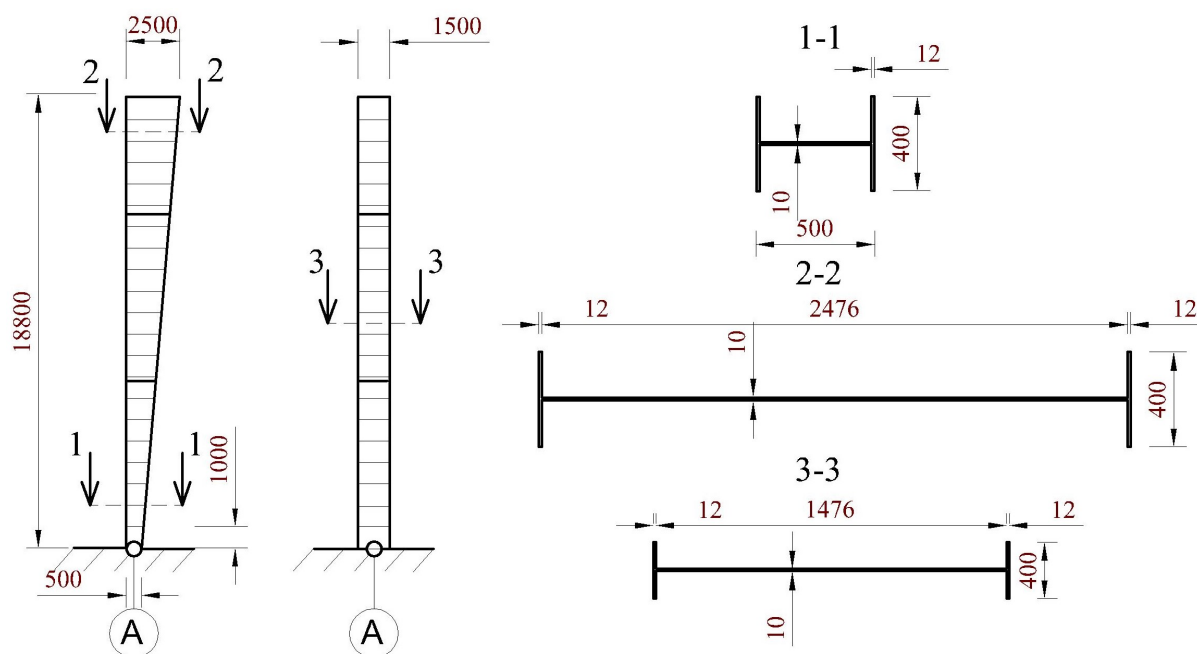
Po antrojo etapo pirminių skaičiavimų nustaciau, kad sienų ir stogo ryšiai iš plieninių lynų netenkina stiprumo sąlygų (Eurocode 3) dėl įstrižinio vėjo įtakos. Taip pat nustaciau, kad spragotojo modelio sijos viršutinė juosta ir tinklelis netenkina stiprumo sąlygų, kai atlikau viso kilnojamojo uždengimo skaičiavimus. Todėl antrajame skaičiavimų etape atlikau strypų laikomosios galios optimizaciją, kurios metu, sugrupavau 1D BE strypus ir kiekvienai grupei parinkau labiausiai tinkamus, mažiausiai sveriančius skerspjuvius, atsižvelgiant į projektavimo normų reikalavimus. Spragotojo modelio strypinių elementų grupavimą pateikiu 43 paveiksle.



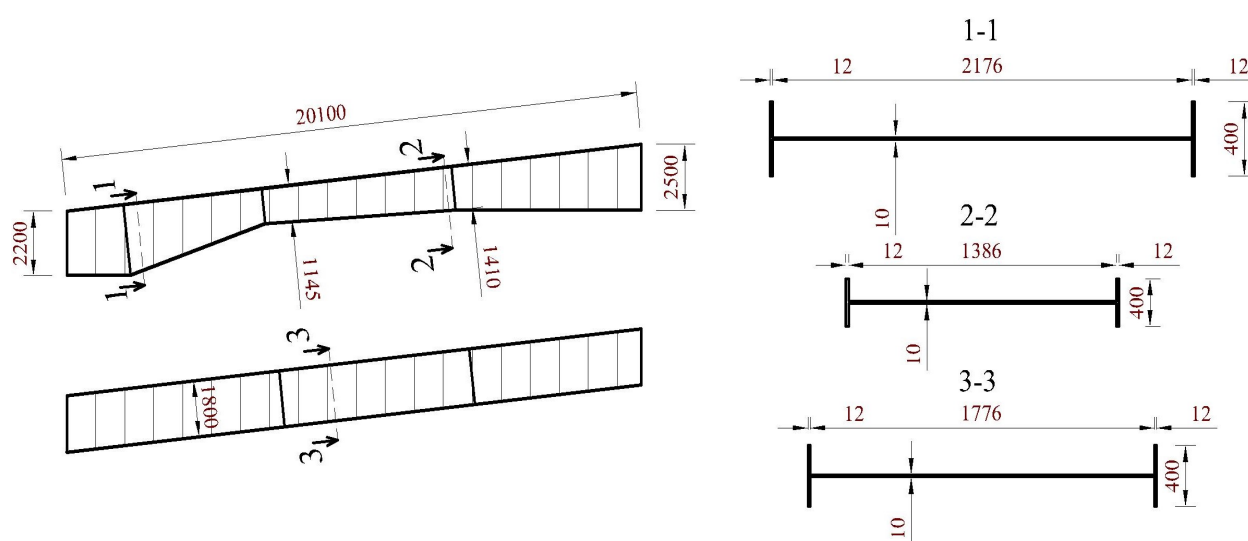
43 pav. Spragotojo 1D modelio strypinių elementų grupės

Ištisiniam modeliui optimizacija atliekama įstrižiniams sienų ir stogo ryšiams bei išilginiams ramsčiams. Kadangi programinė STAAD.Pro įranga negali atlikti optimizacijos kintamiems skerspjūviams, tai pagal STR 2.05.08:2005, projektuojant kintamo aukščio skerspjūvius, siūloma pakeisti kintamą skerspjūvį į vientisą, priimant vidutinį konstrukcinio elemento inercijos momentą (44–45 pav.).

$$I_{vid} = \frac{I_{min} + I_{max}}{2}; \quad (22)$$



44 pav. Kintamojo skerspjūvio ir jai lygiavertė pastovaus skerspjūvio kolona su charakteringais pjūviais



45 pav. Kintamojo skerspjūvio ir jai lygiavertė pastovaus skerspjūvio sija su charakteringais pjūviais

Po skerspjūvių optimizacijos vėl gi nustačiau deformuotąsias schemas ir stabilumo praradimo formas. Modelių deformuotosios schemas yra panašaus pobūdžio, gretinant su pirminiais antrojo etapo skaičiavimais. Vertikalieji ir horizontalieji poslinkiai neženkiai padidėjo apie 2–9 %. (14 lentelė). Stabilumo praradimo kritiniai daugikliai nereikšmingai sumažėjo apie 2–7 % (14 lentelė), o stabilumo praradimo formos nepasikeitė. Atlikus skerspjūvių optimizaciją, spragotojo rėmo svoris sumažėjo 2 %, o ištisinio rėmo sumažėjo 11 %, svorių skirtumas tarp spragotojo ir ištisinio modelių po optimizacijos sudaro 37 %.

Skerspjūvių pakitimus po optimizacijos pateikiu 15 lentelėje. Ieškant geriausiojo sprendinio, kai kurie skerspjūviai sumažėjo, o kai kurie padidėjo (15 lentelė). Po optimizacijos plieninių lynų skersmenį padidinau iki 30 mm, iš ankstinio įtempimo jėgos nesikeitė.

14 lentelė. Antrojo etapo skaičiavimų rezultatai po optimizacijos

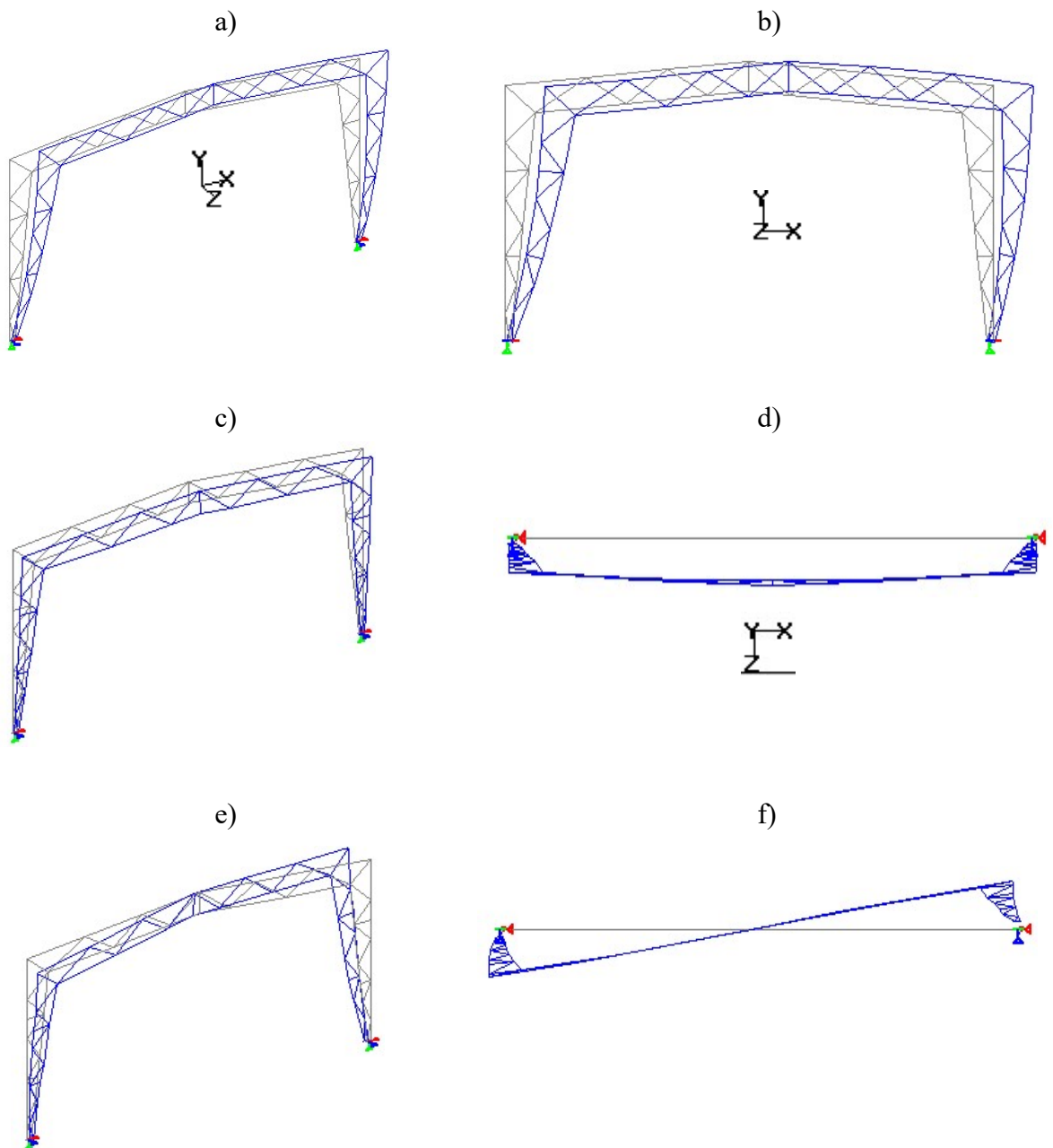
Konstrukcija /formos nr./	Stabilumo kritinis daugiklis	Santykiniai poslinkiai		Rėmo svoris, %
		Vertikalieji	Horizontalieji	
Spragotasis 1D /1/	2,14 (G)	0,70	0,90	80
Spragotasis 1D /2/	2,16 (G)			
Spragotasis 1D /3/	2,32 (G)			
Ištisinis 1D /1/	5,34 (G)	0,87	0,97	126
Ištisinis 1D /2/	6,17 (G)			
Ištisinis 1D /3/	7,65 (G)			
Ištisinis 2D /1/	1,41 (L)	0,63	0,89	128
Ištisinis 2D /2/	1,47 (L)			
Ištisinis 2D /3/	1,54 (L)			

15 lentelė. Antrojo etapo skerspjūvių palyginimas po optimizacijos

Optimizuoto skerspjūvio pavadinimas	Prieš, mm	Po, mm
Spragotasis 1D		
Kolono išorinė juosta	180×180×6	140×140×6
Kolono vidinė juosta	180×180×6	180×180×6
Kolono tinklelis	120×120×6	100×100×5
Sijos viršutinė juosta	180×180×6	200×200×8
Sijos apatinė juosta	180×180×6	160×160×8
Sijos tinklelis	120×120×6	140×140×6
Ištisinis 1D ir 2D		
Kolono sienutės storis	10	10
Kolono išorinės lentynos storis	12	10
Kolono vidinės lentynos storis	12	12
Sijos sienutės storis	10	9
Sijos išorinės lentynos storis	12	10
Sijos vidinės lentynos storis	12	12
Ryšių ir ramsčių sistema		
Išilginiai ramsčiai	120×120×6	120×120×5
Plieninių lynų skersmuo	18	30

3.5. Savųjų svyravimų nustatymas ir statinės analizės apibendrinimas

Po skerspjūvių optimizacijos ir projektavimo, antrąjį skaičiavimo etapą užbaigiu modelių savųjų svyravimų nustatymu. Tikslui nustatyti tiriamų modelių savuosius svyravimus, pakeičiu tiesinio statinio skaičiavimo programos tekstą, kad programa skaičiuotų savųjų svyravimų uždavinį. Nustatau penkias svyravimų formas. Savieji svyravimai nustatomi, kai veikia konstrukcijos savasis svoris X , Y ir Z ašių kryptimis. Pateikiu pirmas tris spragotojo 1D modelio savųjų svyravimų formas (46 pav.), dažnius bei kitus rodiklius (16 lentelė). Kadangi svyravimai pasireiškia vienodai visuose rėmuose, tai schemose vaizduoju tik vieno rėmo svyravimus.



46 pav. Spragotojo 1D modelio savųjų svyravimų formos:

a ir b – pirmoji; c ir d – antroji; e ir f – trečioji

16 lentelė. Spragotojo modelio savųjų svyravimų rodikliai

Svyravimų formos Nr.	Dažnis (ciklai/s)	Periodas (s)	Formos pobūdis
1	1,41	0,71	Linijnė-lenkimo
2	3,32	0,30	Linijnė-lenkimo
3	4,05	0,25	Sukamoji
4	5,13	0,19	Mišri
5	5,24	0,19	Linijnė-lenkimo

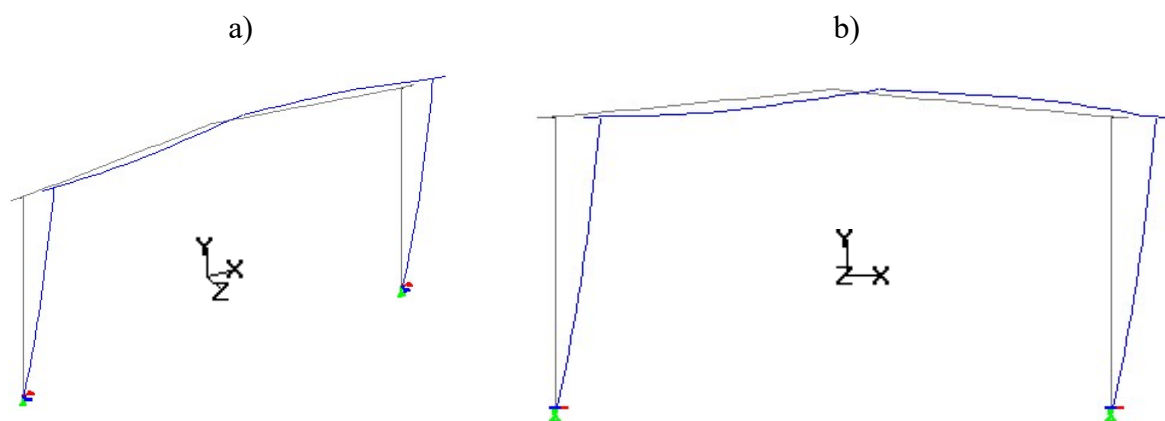
Analogiškus veiksmus atlieku ir su ištisinio tipo 1D ir 2D modeliais. Pateikiu savųjų svyravimų formas (47–50 pav.), dažnius ir kitus rodiklius (17 ir 18 lentelės).

17 lentelė. Ištisinio 1D modelio savųjų svyravimų rodikliai

Svyravimų formos Nr.	Dažnis (ciklai/s)	Periodas (s)	Formos pobūdis
1	0,99	1,01	Linijnė-lenkimo
2	1,53	0,65	Linijnė-lenkimo
3	1,90	0,53	Sukamoji
4	2,21	0,45	Linijnė-lenkimo
5	2,41	0,41	Linijnė-lenkimo

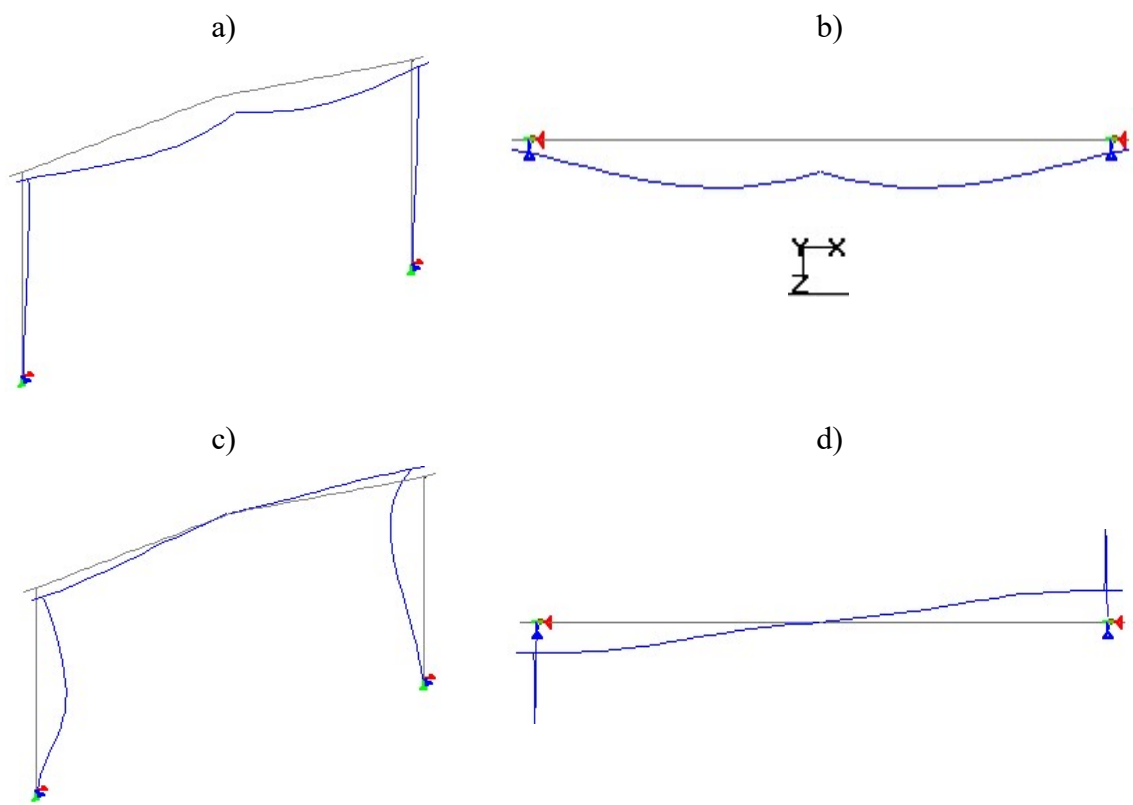
18 lentelė. Ištisinio 2D modelio savųjų svyravimų rodikliai

Svyravimų formos Nr.	Dažnis (ciklai/s)	Periodas (s)	Formos pobūdis
1	1,10	0,91	Linijnė-lenkimo
2	1,88	0,53	Linijnė-lenkimo
3	2,21	0,45	Sukamoji
4	3,88	0,26	Mišri
5	4,15	0,24	Linijnė-lenkimo

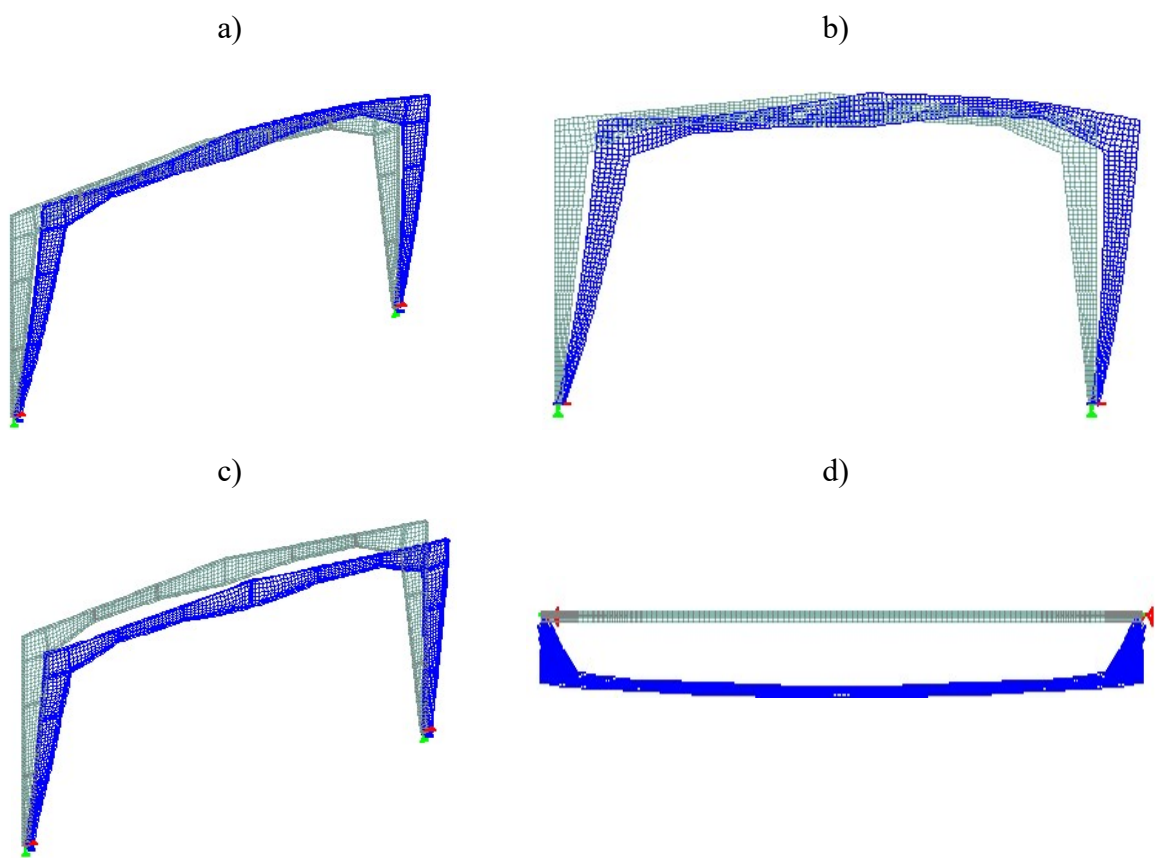


47 pav. Ištisinio 1D modelio savųjų svyravimų forma Nr. 1:

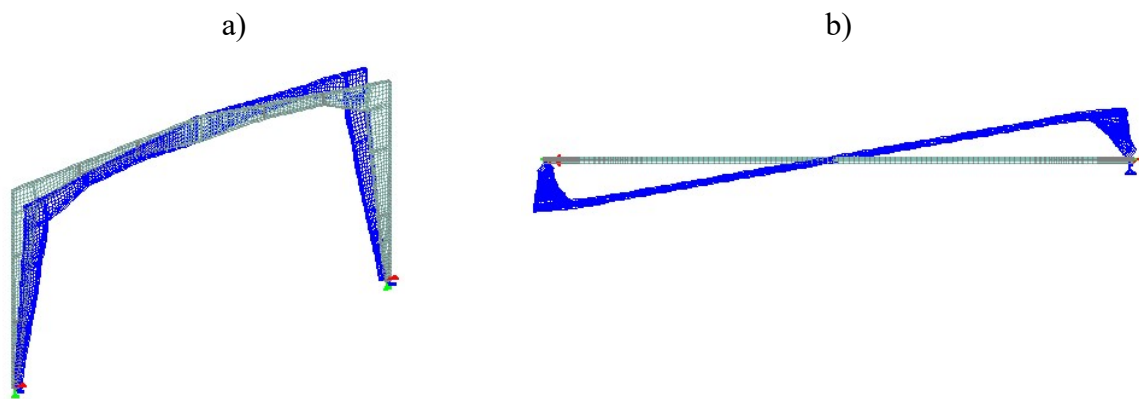
a – bendras vaizdas; b – vaizdas iš priekio



48 pav. Ištinio 1D modelio savųjų svyravimų formos: a ir b – Nr. 2; c ir d – Nr. 3



49 pav. Ištinio 2D modelio savųjų svyravimų formos: a ir b – Nr. 1; c ir d – Nr. 2



50 pav. Ištinio 2D modelio savųjų svyravimų forma Nr. 3:

a – bendras vaizdas; b – vaizdas iš viršaus

Pagal gautus rezultatus nustatiau, kad visų tiriamųjų modelių pirmos dvi savųjų svyravimų formos yra linijinės-lenkimo, trečioji – sukamoji. Spragotojo 1D ir ištinio 2D modelių ketvirtosios ir penktosios formos sutapo: ketvirtoji – mišri (pasireiškia sukimas ir linijinis svyravimai), o penktoji – linijinė-lenkimo. Ištinio 1D modelio ketvirtoji ir penktoji svyravimų formos – linijinės-lenkimo.

Apibendrinant statinės analizės rezultatus, deformuotosios schemas ir poslinkiai skiriasi nereikšmingai, gretinant atskiras rėmų su viso kilnojamo uždengimo schemas ir poslinkių reikšmes. Atskirų rėmų ir viso uždengimo stabilumo praradimo formos skiriasi neženkiai. Spragotajam 1D rėmui ir visam modeliui būdingas visuotinis stabilumo praradimas kolonose. Ištiniam 1D modeliui ir rėmui pirmos dvi visuotinio stabilumo formos pasireiškia kolonose, o trečioji sijoje. Ištinio 2D rėmo ir viso uždengimo modelyje pasireiškia vietinis stabilumo praradimas, nes BE modeliai sudaryti iš plokštelių. Verta paminėti, kad modeliuojant konstrukcinius elementus iš vienmačių strypinių BE, programa negali atsižvelgti į skerspjūvio geometrinę formą. Programa strypinius BE priima kaip strypo savybę, todėl 1D modeliuose vertinamas tik bendrasis stabilumas. Visos trys ištinio 2D modelio vietinio stabilumo praradimo formos pasireiškia kolonose. Kritiniai apkrovos daugikliai reikšmingai sumažėjo, lyginant rėmų skaičiavimus su viso kilnojamojo uždengimo skaičiavimais: spragotojo 1D modelio – apie 21–50 %, ištinio 1D – apie 38–54 %, ištinio 2D – apie 8–26 %. Taip atsitiko dėl idealiai standžių jungčių pasikeitimo į ryšius su tam tikrais standumais.

Po pirmų dviejų skaičiavimų etapų spragotojo 1D rėmo svoris sumažėjo 20 %, lyginant su pirminiu variantu, o ištinio 1D ir 2D rėmų svoris padidėjo 5 %. Trečiojo etapo skaičiavimai atliekami IV skyriuje.

IV. MODELIŲ JUDĖJIMO ANALIZĖ

4.1. Uždavinio esmė ir sąlygos

Sprendžiant dinamikos uždavinius, darbo principas formuluojamas, nagrinėjant proporcingas pagreičiui inercijos jėgas. Tai toks sistemos judėjimas, kai bet kuriuo laiko momentu vidinės, išorinės ir inercijos jėgos yra pusiausvyrosios. Atitinkamai pusiausvyros sąlygoms taikytini reikalavimai paverčia jas judėjimo lygtimis, kurios įtraukiamos į baigtinių elementų metodą, naudojant masių matricas. Tokiu atveju vietoje tiesinių lygčių sistemos gaunama mazgų poslinkių rodikliams skirtų paprastųjų antrosios eilės diferencialinių lygčių sistema. Kai koeficientai pastovūs, tai diferencialinės lygtys atsietos, remiantis modalinės analizės metodu (Marti, 2018).

Paprastai judėjimo lygtyse atsižvelgiama į slopinamąsias jėgas. Siekiant diferencialinių lygčių tiesiškumo, dažniausiai daroma prielaida, kad slopinamosios jėgos yra proporcingos greičiui. Tam, kad modalinę analizę galima būtų atlikti su natūraliomis vibracijomis ir siekiant paprastumo, taikomas vadinamasis modalinis slopinimas (Marti, 2018). Inercinę apkrovą lemia pagreitis ir masės. Inercinė jėga yra dinaminės apkrovos forma, plačiau tariant, dinaminė apkrova susideda iš judėjimą sukeliančios apkrovos ir statinio atramų natūralaus dažnio. (Davison, 2012).

Pagal tyrimų algoritmą atlieku trečiojo etapo skaičiavimus, kuriuose nagrinėju judėjimo įtaką skaičiuojamiesiems modeliams. Dinaminei analizei atlikti naudoju STAAD.Pro programinę įrangą, pasitelkiant inercijos jėgas išilgai pastato, Z ašies kryptimi (Saritas, 2017). Pagal nagrinėtus pavyzdžius 1.5. skyriuje priimu, kad kilnojamasis uždengimas atviroje aikštelėje judės didžiausiu greičiu – 0,50 m/s. Kadangi uždengimas iš vietos nepajudės maksimaliu greičiu, tai numatau, kad uždengimas įsibėgės iki didžiausio greičio per 5,0 s. Teorinės mechanikos (Syrus ir kt. 2011) pagrindu:

$$v_1 = a \cdot t + v_0, \quad (23)$$

čia: v_0 – kilnojamojo uždengimo pradinis greitis, $v_0 = 0,0$ m/s; t – laiko tarpas, per kurį uždengimas įsibėgės iki didžiausio greičio, s; a – pagreitis, m/s²; v_1 – uždengimo didžiausias greitis, m/s. Skaičiuoju uždengimo pagreitį:

$$0,5 = 5,0 \cdot a + 0.$$

Kilnojamojo uždengimo pagreitis šiuo atveju yra $a = 0,10$ m/s². Pagreitį traktuoju kaip abiejų priešingų kryptių inercinę jėgą Z ašimi (su pliuso ir minuso ženklais), t. y. nagrinėju variantus, kai uždengimas juda pirmyn ir atgal. Taip pat nagrinėju avarinį atvejį, kai rėmo viena pusė sustoja, o kita dar juda (51 pav.).

Atramų sistema susideda iš tampriųjų atramų (spyruoklių) su užduotais standžiais (Zhouzhou et al., 2020). Varžančios poslinkį tampriosios spyruoklės standį sudaro jėga, kuri sukelia spyruoklės

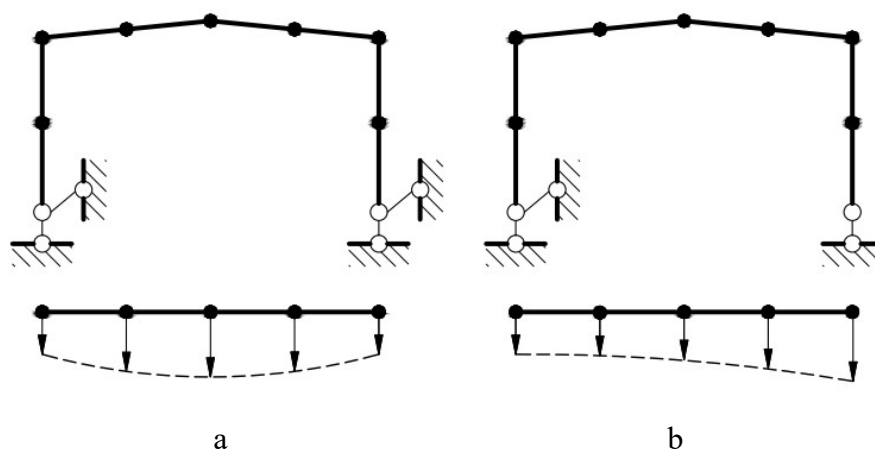
poslinkį. Jėgas priimu pagal statinės analizės metu gautas didžiausias atramines reakcijas visų trijų ašių atžvilgiu. Didžiausieji poslinkiai X (skersai rėmų) ašies atžvilgiu priimami 40 mm, Y (vertikaliai rėmų) ir Z (išilgai rėmų) ašių – 20 mm.

Apskaičiuoju spyruoklių standumus:

$$f_x = \frac{R_x}{u_x} = \frac{280}{40 \cdot 10^{-3}} = 7,00 \cdot 10^3 \text{ kN/m} = 7,00 \text{ MN/m};$$

$$f_y = \frac{R_y}{u_y} = \frac{720}{20 \cdot 10^{-3}} = 36,0 \cdot 10^3 \text{ kN/m} = 36,0 \text{ MN/m};$$

$$f_z = \frac{R_z}{u_z} = \frac{284}{20 \cdot 10^{-3}} = 14,2 \cdot 10^3 \text{ kN/m} = 14,2 \text{ MN/m}.$$



51 pav. Kilojamojo uždengimo judėjimo schemas:

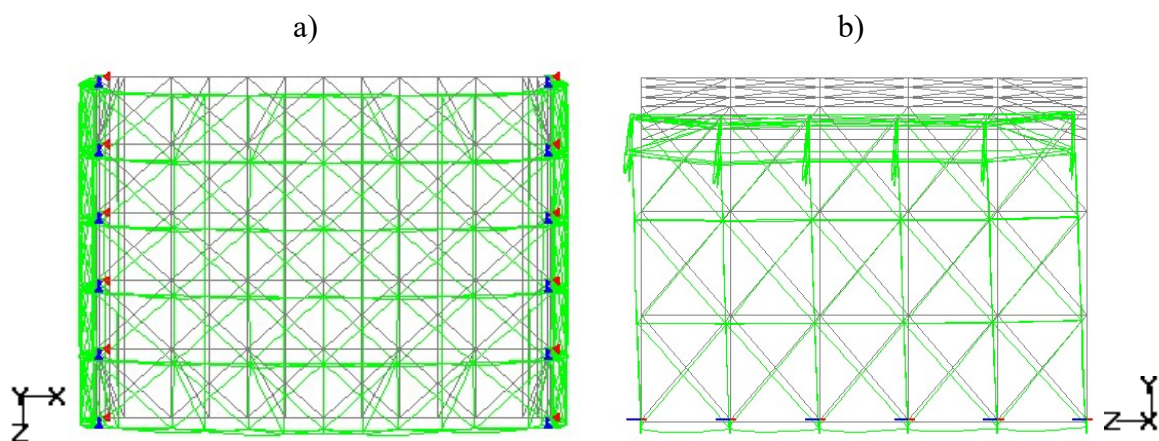
a – judėjimas pirmyn, b – avarinis judėjimas

Atlieku skaičiavimus ir aprašau gautus rezultatus.

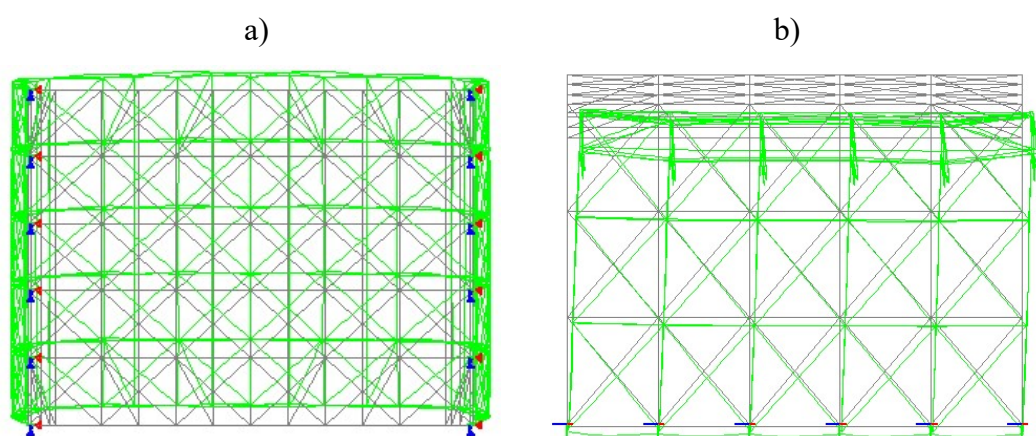
4.2. Spragotojo modelio judėjimo analizė

Pagal 4.1. skyriuje aprašytas ir apskaičiuotas sąlygas STAAD.Pro programine įranga atlieku spragotojo modelio dinامينius skaičiavimus, įvertindamas aprašytus judėjimo variantus. Pateikiu spragotojo modelio deformuotąsias schemas, kai uždengimas juda pirmyn ir atgal (52–53 pav.).

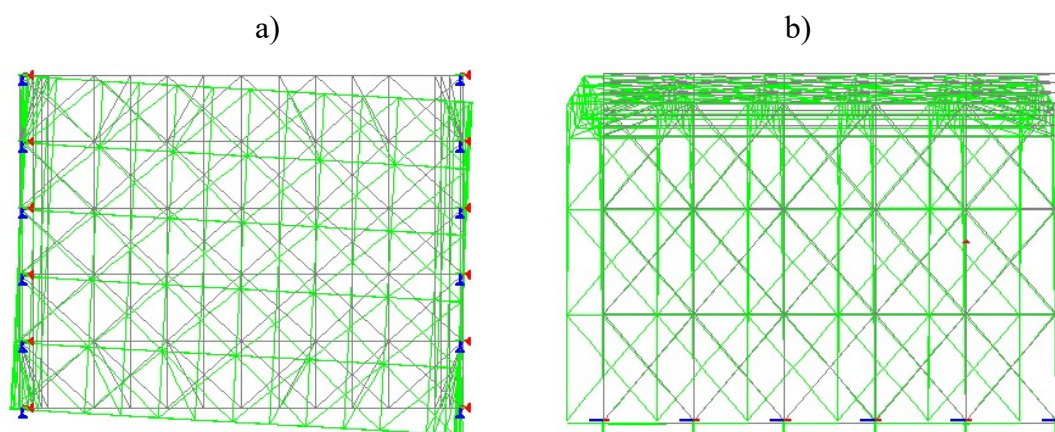
Nagrinėdamas avarinį judėjimo atvejį, kai viena uždengimo pusė sustoja, o kita juda, pakeičiu atramų spyruoklių standžius. Vienoje pusėje atlaisvinu uždengimo judėjimą Z ašies atžvilgiu (51 pav.). Šiam judėjimo variantui taip pat nustatau deformuotąsias schemas (54–55 pav.).



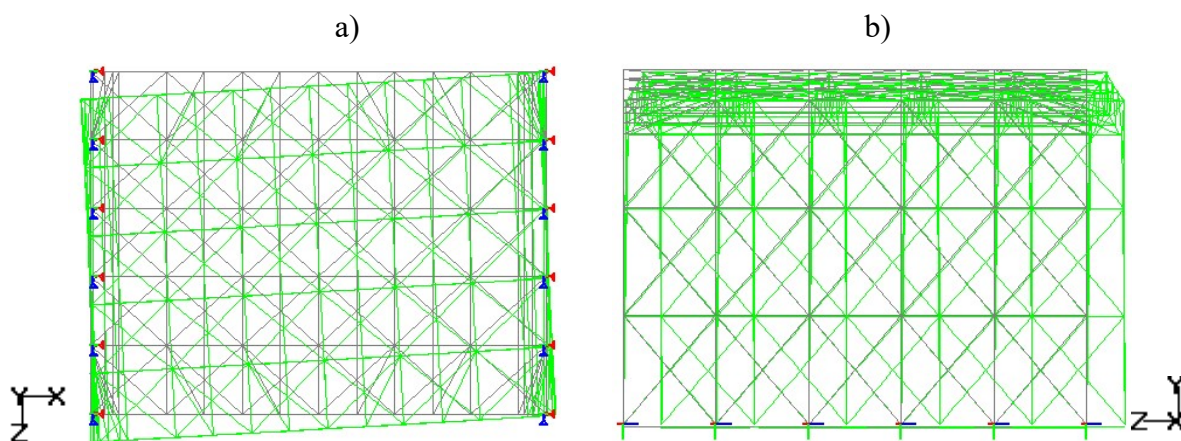
52 pav. Spragotojo 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi (pirmyn): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono



53 pav. Spragotojo 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi (atgal): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono



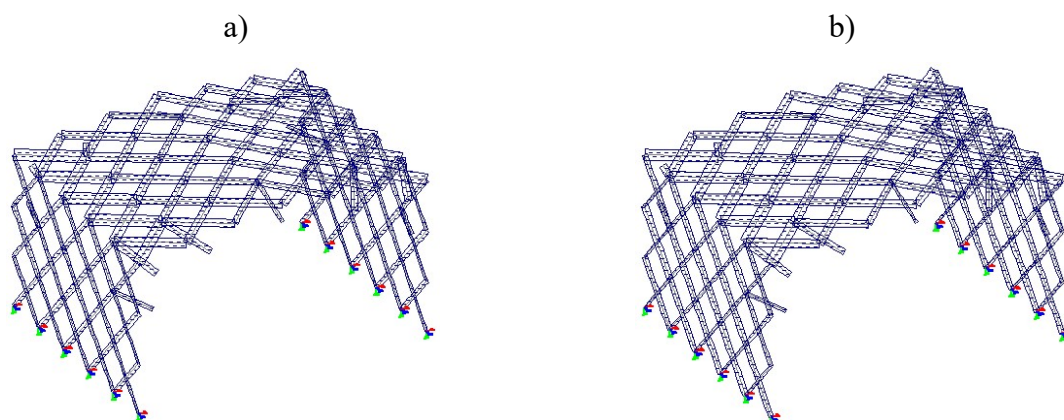
54 pav. Spragotojo 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inercinei jėgai Z ašies kryptimi (avarinė situacija): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono



55 pav. Deformuotoji schema kai sustoja viena pusė (avarinė situacija):

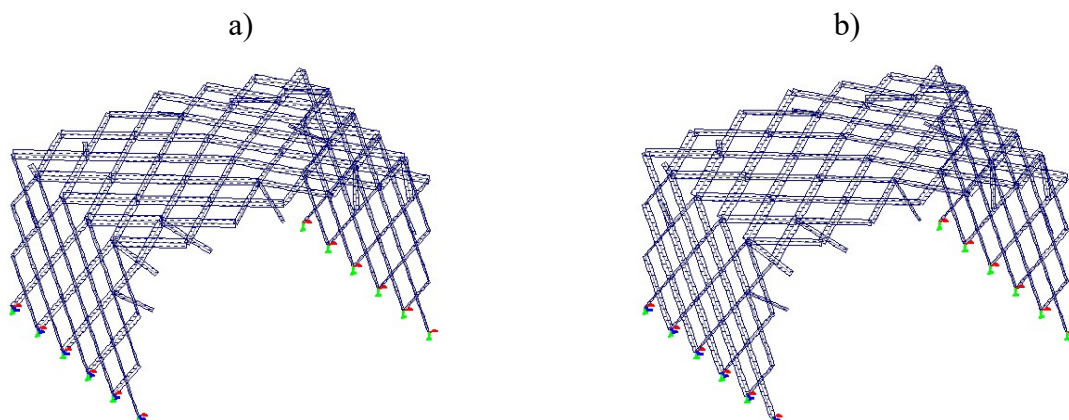
a – planas; b – vaizdas iš šono

Pagal deformuotąsias schemas (52–55 pav.) galima pastebėti, kad poslinkiai yra simetriški. Klaidų, modeliuojant skaičiuojamąsias schemas nebuvo padaryta. Spragotojo modelio ryšiai visais apkrovimo variantais yra tik tempiami (56–57 pav.). Tokiu būdu ryšiai yra išnaudojami tinkamai.



56 pav. Spragotojo modelio ryšių sistemos tempimo įrašų diagramos:

a – uždengimas juda į priekį; b – uždengimas juda atgal

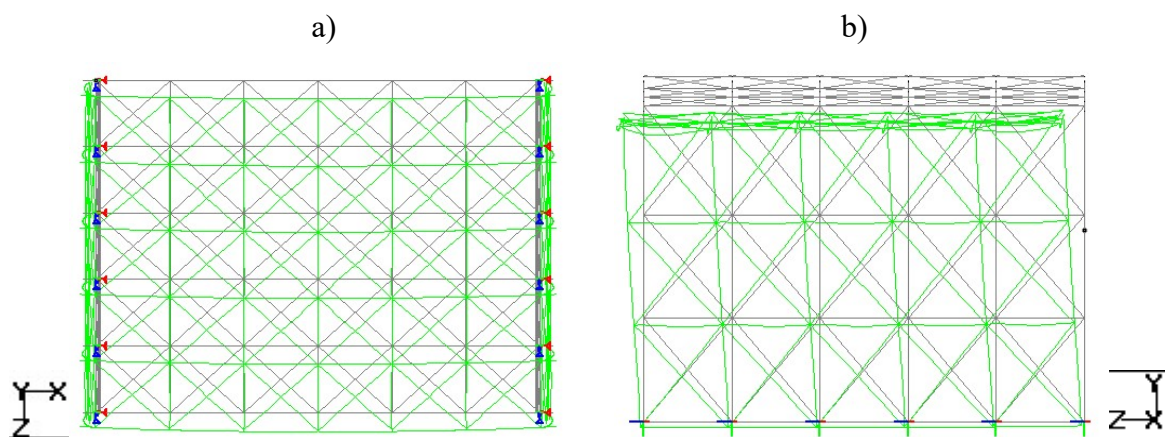


57 pav. Spragotojo modelio ryšių sistemos tempimo įrašų diagramos (avarinė situacija):

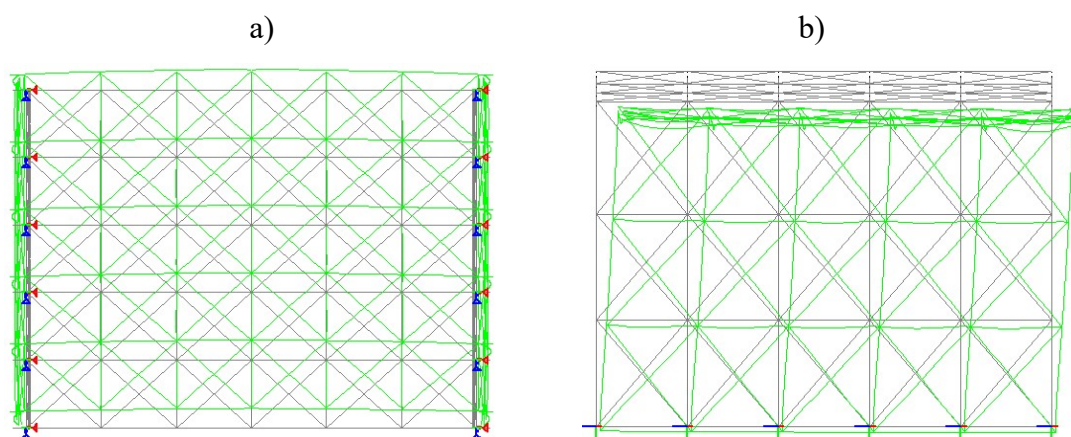
a – uždengimo viena pusė juda į priekį; b – uždengimo viena pusė juda atgal

4.3. Ištinio modelio judėjimo analizė

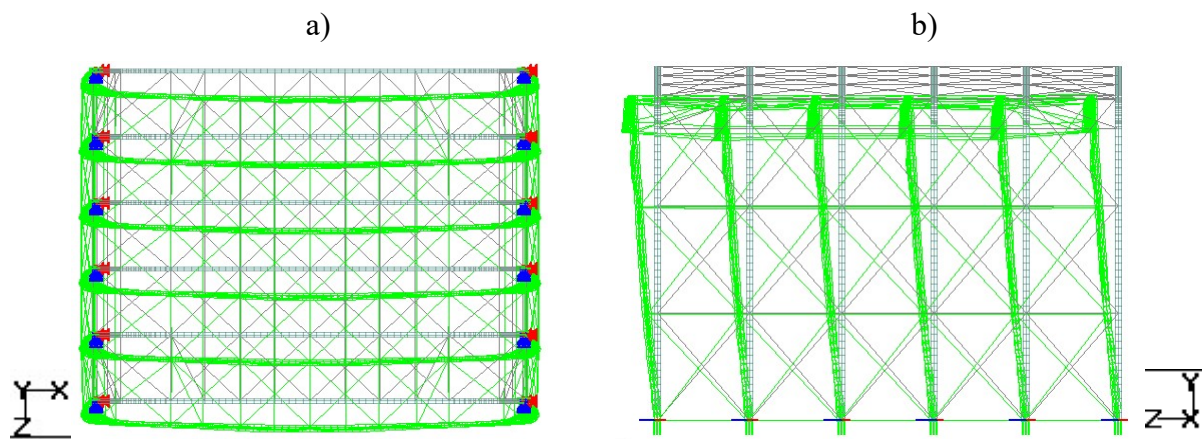
Pagal tas pačias 4.1. skyriuje aprašytas sąlygas atlieku ir ištinio modelio judėjimo analizę. Ištiniam modeliui taip pat nagrinėju keturis judėjimo variantus. Skaičiavimai atliekami su 1D ir 2D BE modeliais. Nustatau 1D ir 2D modelio deformuotąsias schemas, kai uždengimas juda pirmyn ir atgal (58–61 pav.).



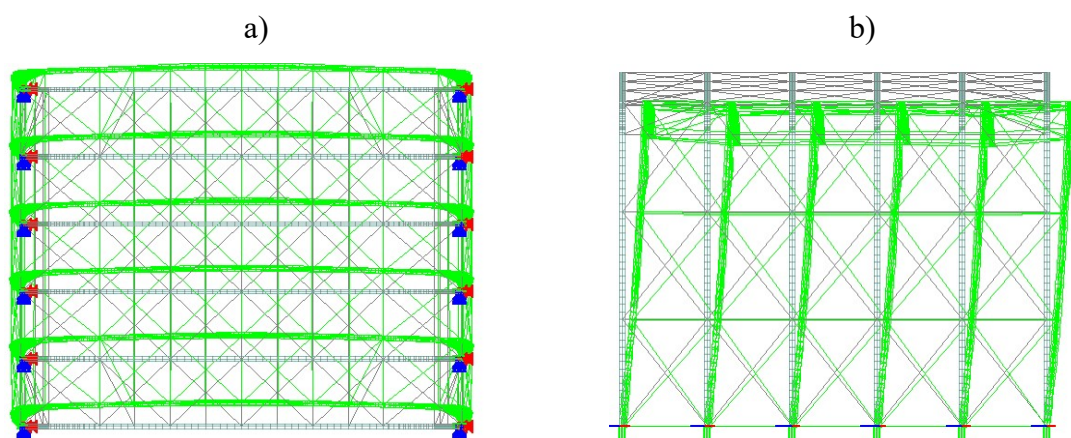
58 pav. Ištinio 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi (pirmyn): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono



59 pav. Ištinio 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi (atgal): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono

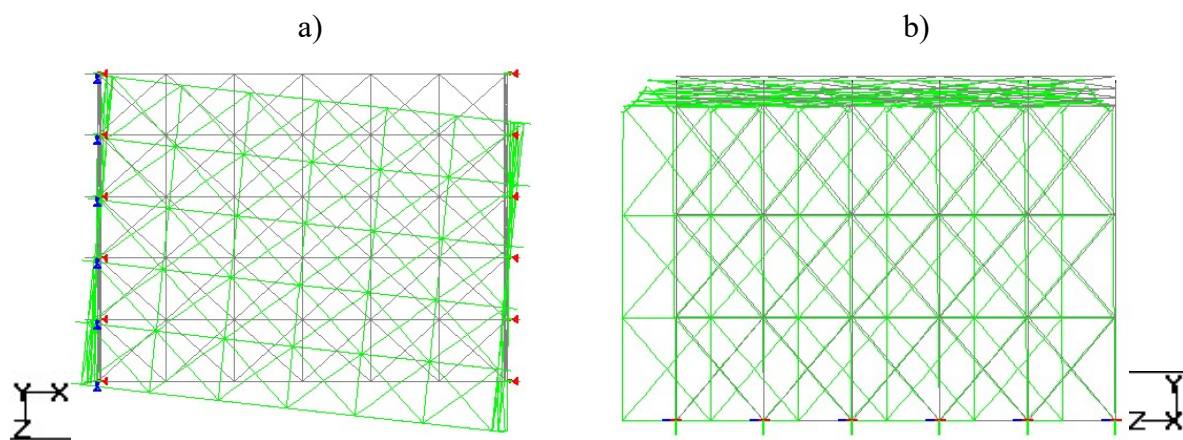


60 pav. Ištinio 2D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi (pirmyn): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono

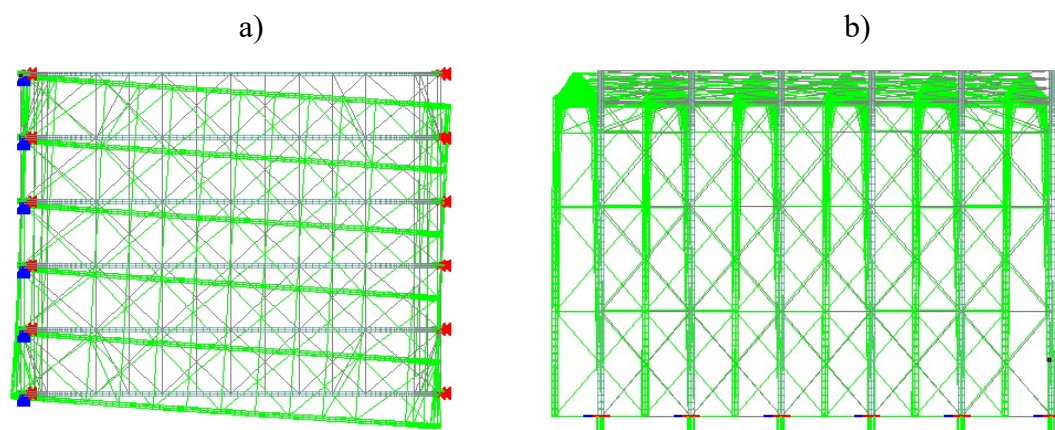


61 pav. Ištinio 2D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi (atgal): a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono

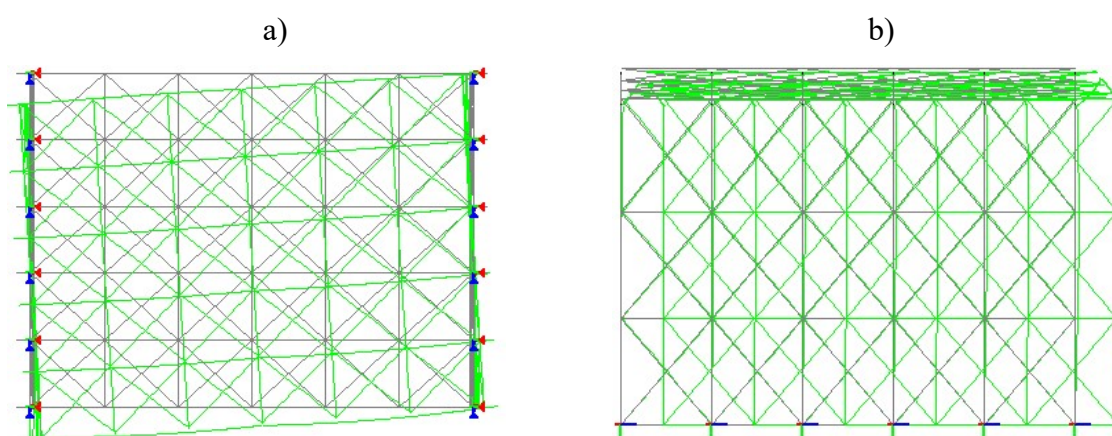
Nagrinėju trečiąjį ir ketvirtąjį uždengimo judėjimo atvejus, kai viena uždengimo pusė sustoja, o kita juda ir nustatau deformuotąsias schemas (62–65 pav.).



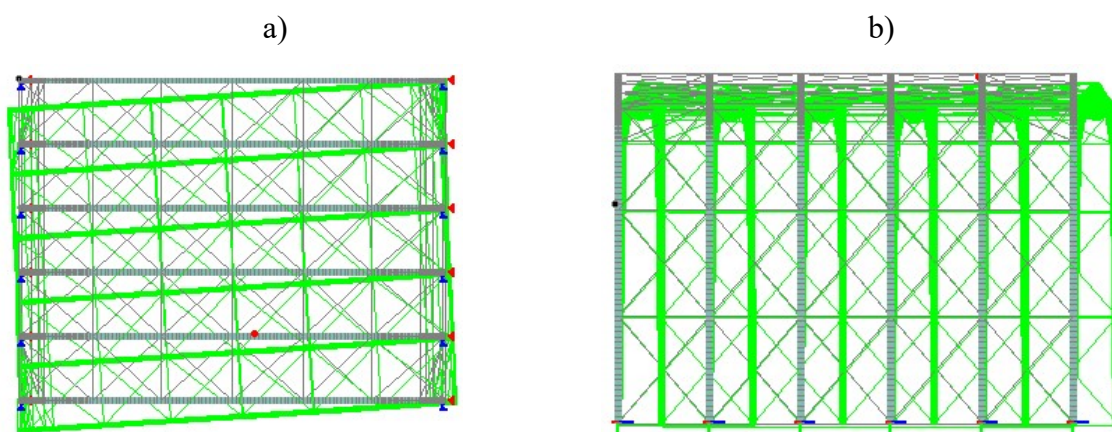
62 pav. Ištinio 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi, kai viena pusė sustoja: a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono



63 pav. Ištinio 2D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi, kai viena pusė sustoja: a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono



64 pav. Ištinio 1D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi, kai viena pusė sustoja: a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono

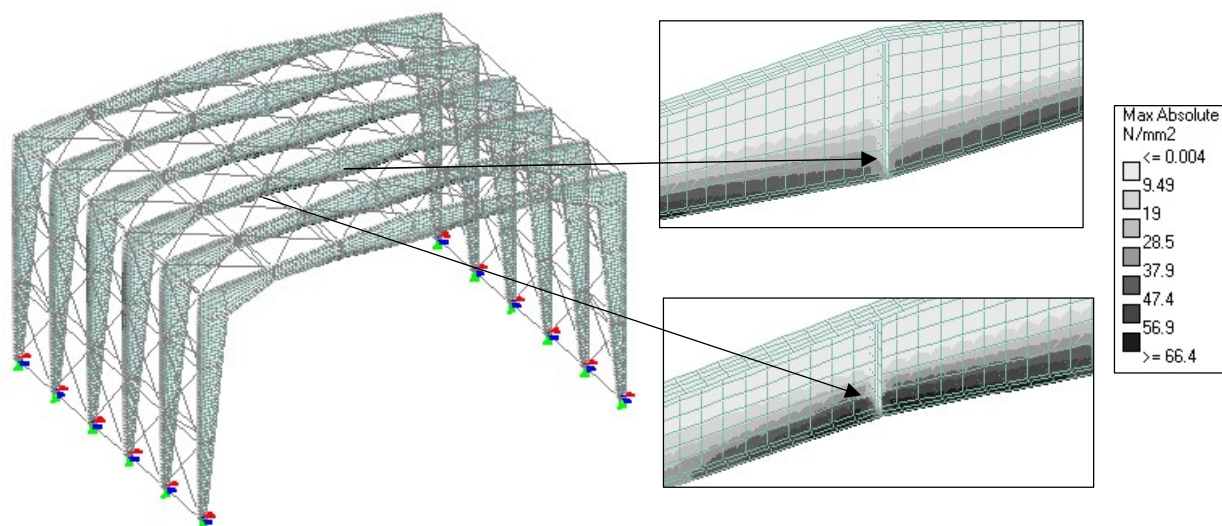


65 pav. Ištinio 2D modelio deformuotoji schema, veikiant savajam svoriui ir inerciniai jėgai Z ašies kryptimi, kai viena pusė sustoja: a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš šono

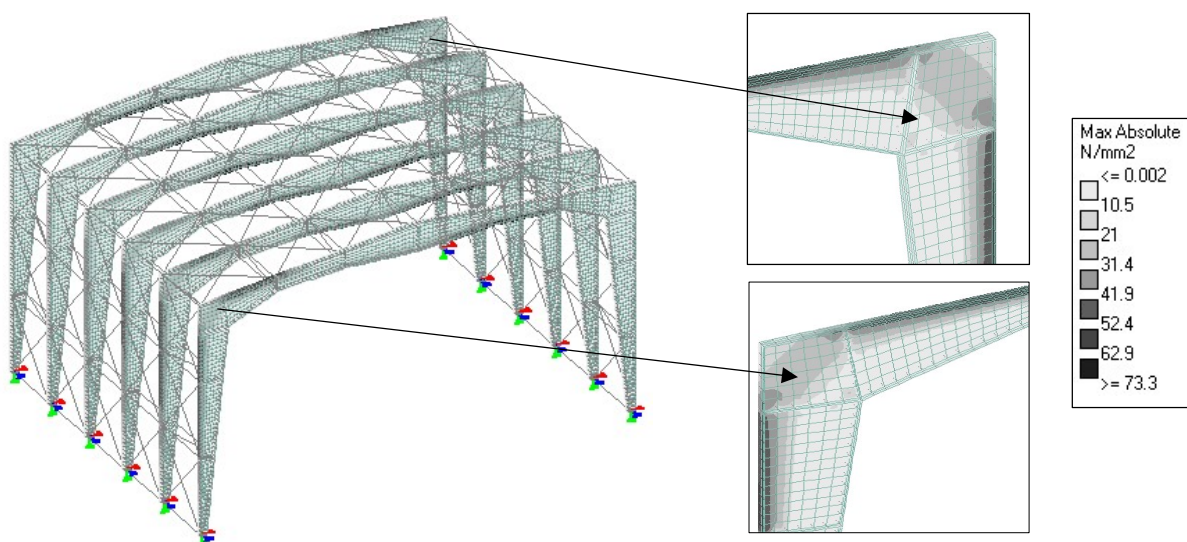
Pagal deformuotąsias schemas (58–65 pav.) galima pastebėti, kad poslinkiai yra simetriški. Klaidų, modeliuojant skaičiuojamąsias schemas nebuvo padaryta. Gretinant skirtingų modelių

deformuotąsias schemas, jokių ženklų skirtumų nepastebėta. Deformacijos skirtingais judėjimo atvejais pasireiškia vienodai ir simetriškai tiek spragotajam modeliui, tiek ištisinio 1D ir 2D modeliuose. Didžiausi poslinkiai, vykstant judėjimui pirmyn ir atgal yra stogo konstrukcijos dalyje ties viduriniu sujungimo mazgu. Avarinio judėjimo atveju didžiausi poslinkiai pasireiškia rėmų pusėje, kurioje judėjimas vyksta toliau. Poslinkių reikšmės gretinamos 4.4. skyrelyje.

Kadangi nagrinėju ištisinio 2D modelio variantą, tai palyginu ir įtempių pasiskirstymą skirtingais judėjimo atvejais (66–67 pav.).

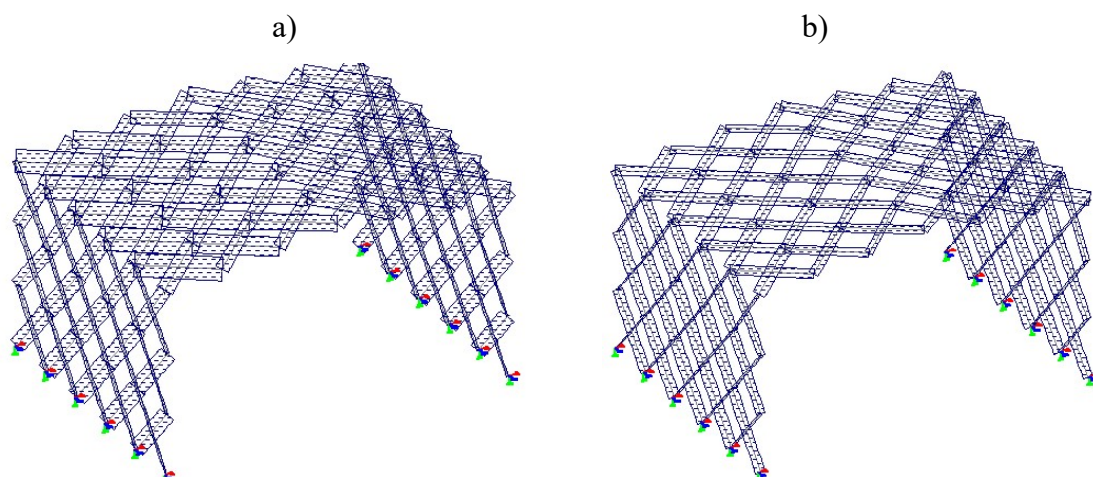


66 pav. Ištisinio 2D modelio didžiausių įtempių pasiskirstymas, kai uždengimas juda pirmyn



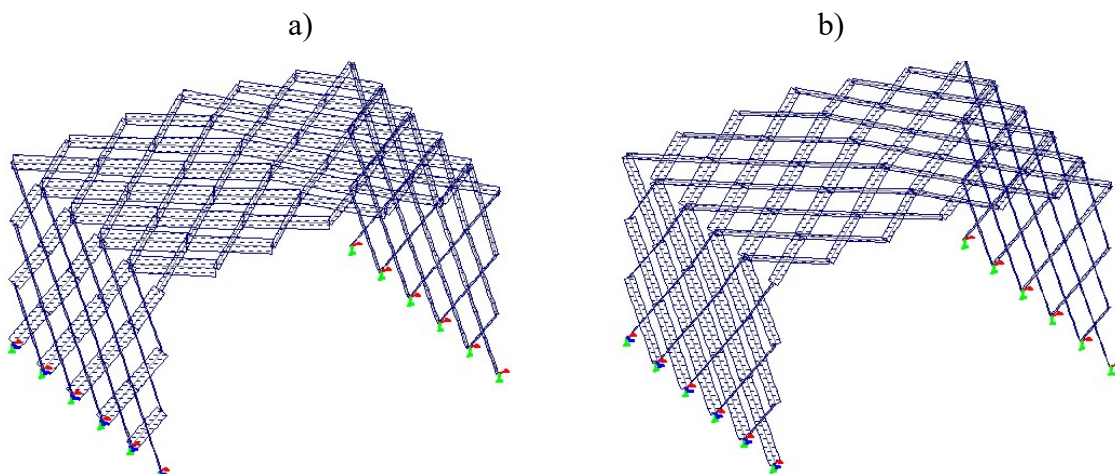
67 pav. Ištisinio 2D modelio didžiausių įtempių pasiskirstymas, avarinio judėjimo metu

Ištisinio 1D ir 2D modelių ryšiai visais apkrovimo variantais taip pat yra tik tempiami, todėl ryšiai yra išnaudojami tinkamai (68–71 pav.).



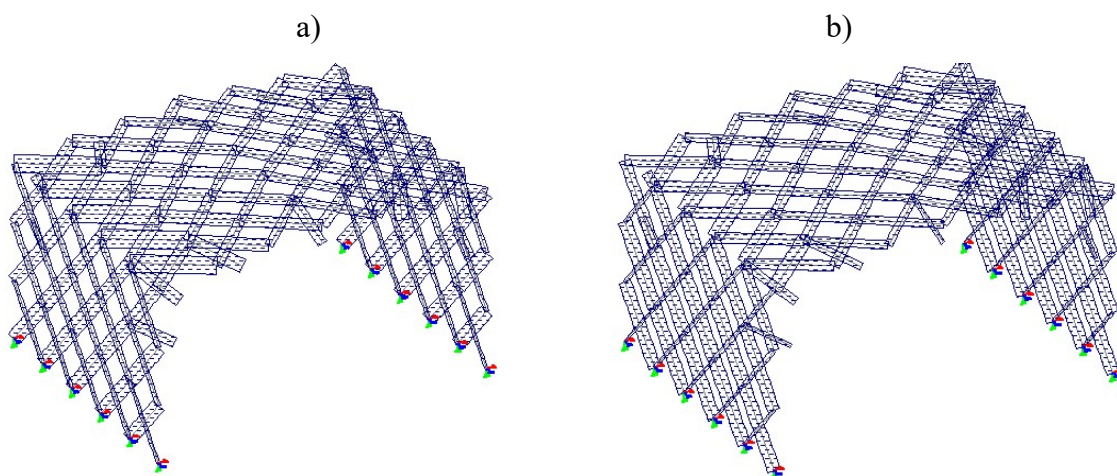
68 pav. Ištinio 1D modelio ryšių sistemos tempimo įrašų diagramos:

a – uždengimas juda į priekį; b – uždengimas juda atgal



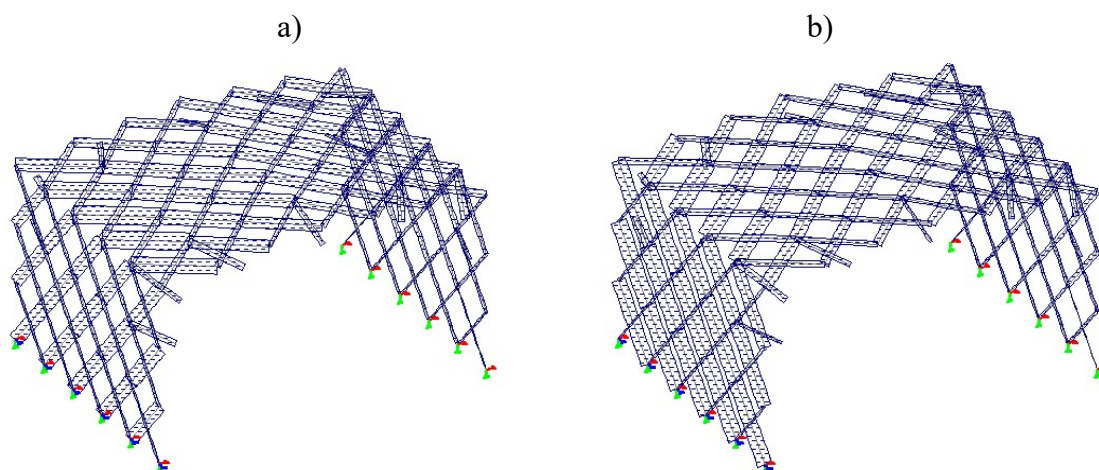
69 pav. Ištinio 1D modelio ryšių sistemos tempimo įrašų diagramos avarinio judėjimo metu:

a – uždengimo viena pusė juda į priekį ; b – uždengimo viena pusė juda atgal



70 pav. Ištinio 2D modelio ryšių sistemos tempimo įrašų diagramos:

a – uždengimas juda į priekį; b – uždengimas juda atgal



71 pav. Ištinio 2D modelio ryšių sistemos tempimo įrašų diagramos avarinio judėjimo metu:

a – uždengimo viena pusė juda į priekį; b – uždengimo viena pusė juda atgal

Nagrinėdamas ryšių sistemos tempimo įrašų diagramas ženklių skirtumų, gretinant spragotąjį ir ištinį modelius nepastebėjau. Įrašos pasiskirto panašiai ir simetriškai. Reikšmių gretinimą pateikiu 4.4. skyrelyje.

4.4. Judėjimo analizės rezultatų gretinimas ir apibendrinimas

Gretinimą pateikiu nuo skirtingų uždengimo judėjimų atvejų. Pirmiausia palyginu skirtingų modelių didžiausių santykinų poslinkių skirtumus Z (išilginės) ašies atžvilgiu (19 lentelė).

19 lentelė. Santykinų poslinkių gretinimas Z (išilginės) ašies atžvilgiu

BEM modelis	Statika	Dinamika: abi pusės juda	Dinamika: viena pusė juda
Spragotasis 1D	0,63	0,69	0,72
Ištinis 1D	0,85	0,94	0,98
Ištinis 2D	0,36	0,43	0,46

Iš gautų rezultatų (19 lentelė) galima pastebėti, kad labiausiai išilginiai poslinkiai išauga avarinio judėjimo metu. X ir Y ašyse poslinkių skirtumai uždengimo judėjimo metu atsiranda, tačiau jie nėra žymūs, todėl šių krypčių poslinkių gretinimo nepateikiu. Verta paminėti, kad skirtumai tarp ištinio 1D ir 2D modelių poslinkių yra gana reikšmingi. Įtakos rezultatų skirtumams galėjo turėti ir ryšių sistemos išdėstymas, kadangi ištinio 1D modelio atveju ryšių sistema dėl strypinių BE apribojimų skiriasi nuo kitų nagrinėjamų variantų.

Toliau palyginu judėjimo įtaką ištinio 2D modelio didžiausių įtempių pasiskirstymui (20 lentelė).

20 lentelė. Ištinio 2D modelio didžiausių įtempių palyginimas

BEM modelis	Statika	Dinamika: abi pusės juda	Dinamika: viena pusė juda
		MPa	
Ištisinis 2D	61,9	66,4	73,3

Įtempiai reikšmingai padidėja avarinio judėjimo metu (20 lentelė). Būtent toks uždengimo judėjimo variantas yra pavojingiausias ir vietiniai įtempimai konstrukcijoje padidėja apie 15 %. Judėjimo pirmyn ir atgal atvejais įtempiai padidėja neženkiai apie 7,0 %.

Toliau nagrinėju judėjimo įtaką spragotojo modelio ašinėms jėgoms. Pateikiu didžiausius prieaugius nuo skirtingų judėjimo atvejų (21 lentelė).

21 lentelė. Spragotojo modelio didžiausi ašinių įrašų prieaugiai judėjimo metu

BEM modelis	Statika	Dinamika: abi pusės juda	Dinamika: viena pusė juda
		kN	
Spragotasis 1D (+)	-	9,1	12,9
Spragotasis 1D (-)	-	1,1	2,9
Prieaugis (+), %	-	14,0	19,0
Prieaugis (-), %	-	1,0	3,2

Pastaba: (+) žymi gniuždymo jėgą, (-) žymi tempimo jėgą.

Didžiausias ašinių jėgų prieaugis taip pat atsiranda avarinio judėjimo metu (21 lentelė). Didžiausias gniuždymo jėgos prieaugis atsiranda spragotojo modelio kolonos viršutinėje juostoje, didžiausias tempimos jėgos prieaugis atsiranda sijos santvaros viršutinėje juostoje. Vis dėlto ašinių jėgų prieaugiai skerspjūvių laikomajai galiai įtakos neturi.

Galiausiai palyginu skirtingų modelių ryšių sistemos tempiamų strypų didžiausias įrašas (22 lentelė).

22 lentelė. Ryšių sistemos įrašų palyginimas

BEM modelis	Statika	Dinamika: abi pusės juda	Dinamika: viena pusė juda
		kN	
Spragotasis 1D (stogas)	41,8	43,8	48,2
Spragotasis 1D (siena)	38,5	40,9	49,1
Ištisinis 1D (stogas)	40,1	43,0	48,5
Ištisinis 1D (siena)	10,5	15,1	20,2
Ištisinis 2D (stogas)	39,3	43,4	46,1
Ištisinis 2D (siena)	31,0	38,7	47,2

Pagal gautus rezultatus (22 lentelė) pastebėta, kad judėjimo metu tempimo įrašos ryšių sistemoje padidėja nuo 5 iki 23 %. Didžiausias prieaugis atsiranda, kai tiriamas avarinis judėjimas.

Spragotojo 1D ir ištisinio 2D modelių stogo ir sienų ryšių įrašos skiriasi nereikšmingai. Ryšių sistemos darbas yra panašaus pobūdžio. Ženklius skirtumai atsiranda ištisinio 1D modelio sienų ryšių įrašose, kurios yra beveik keturis kartus mažesnės, gretinant su spragotojo 1D ir ištisinio 2D modeliais.

Atlikęs judėjimo uždavinio skaičiavimus, nustaciau, kad tiriamų BE modelių skerspjūviai ir rėmų svoriai nepakito. Stabilumo praradimo formoms ir kritiniams apkrovų daugikliams reikšmingos įtakos nenustaciau. Dėl avarinio judėjimo atsirado pakitimai modelių savųjų svyravimų rodikliuose (23 lentelė).

23 lentelė. Tiriamų modelių avarinio judėjimo savųjų svyravimų rodikliai

Svyravimų formos Nr.	Dažnis (ciklai/s)	Periodas (s)	Formos pobūdis
Spragotasis 1D			
1	0,81	1,23	Sukamoji
2	1,41	0,71	Linijnė-lenkimo
3	3,68	0,27	Sukamoji
4	5,07	0,20	Sukamoji
5	5,24	0,19	Linijnė-lenkimo
Ištisinis 1D			
1	0,52	1,92	Sukamoji
2	0,90	1,11	Linijnė-lenkimo
3	1,28	0,79	Sukamoji
4	1,38	0,72	Linijnė-lenkimo
5	1,50	0,67	Linijnė-lenkimo
Ištisinis 2D			
1	0,46	2,17	Sukamoji
2	0,98	1,02	Linijnė-lenkimo
3	1,93	0,52	Sukamoji
4	3,77	0,27	Sukamoji
5	4,14	0,24	Linijnė-lenkimo

Pagal 23 lentelę, tiriant avarinį judėjimo atvejį, atsirado daugiau sukamosios formos svyravimų, kuriuos sukėlė uždengimo ribinių sąlygų asimetriškumas.

Apibendrinant visus šiame skyriuje pateiktus gretinimus ir rezultatus, galima daryti išvadą, kad modelių didžiausi vertikalūs ir horizontalūs poslinkiai neviršijo ribinių ir skerspjūvių laikomoji galia yra pakankama, todėl uždengimas tenkina projektavimo normų reikalavimus. Labiausiai neparankus uždengimo judėjimas yra kai viena pusė yra sustojusi, o kita toliau juda (avarinis judėjimo variantas). Šiuo atveju atsiranda dydžiausi poslinkiai Z (išilginės) ašies atžvilgiu, kurie, veikiant kartu su įstrižiniu vėju, gali pasiekti ribines uždengimo poslinkių reikšmes. Taip pat verta atkreipti dėmesį, kad 2D ištisiniame modelyje įtempių reikšmės taip pat ženkliai padidėja, kai nagrinėjamas avarinis judėjimo atvejis. Lyginant judėjimo deformacijų formas, tiriami modeliai

deformuojasi panašiai, ženklų formos skirtumų nepastebėta. Uždengimo skersiniai rėmai perima veikiančias vertikalias ir horizontalias apkrovas, o ryšių sistema perima ir išskirsto išilgines apkrovas, todėl dviejų stačiakampių standumų pakanka.

Projektuojant kilnojamąjį uždengimą, ryšių sistema atlieka labai svarbų vaidmenį. Ištinio 1D modelio ryšių sistema neišreiškia tikrojo uždengimo mechaninio darbo, nes rėmų ryšiai 1D modelyje gali deformuotis tik vidurinėje plokštumoje. Spragotojo 1D ir ištinio 2D modelių dviejų lygių ryšių sistemos išdėstymas leidžia sukurti tinkamą mechaninę sistemą, kuri atspindi tikrąsias kilnojamojo uždengimo deformacijas. Todėl, gretinant skirtingų skaičiavimo etapų rezultatus, ištinio 1D modelio rezultatai skiriasi ženkliai. Taigi, šiuo atveju, parenkant tinkamiausią konstrukcinį sprendinį, tikslinga lyginti spragotąjį 1D modelį su ištiniu 2D modeliu.

Kadangi spragotojo 1D modelio svoris yra mažesnis 37 %, o standumo atžvilgiu ištinis 2D modelis yra standesnis nuo 4 iki 40 %, tai galima daryti išvada, kad ekonomiškai, atsižvelgiant tik į konstrukcijos svorį, palankesnis variantas – spragotasis 1D modelis, konstrukciškai – ištinis 2D. Žinoma, abu ištirti modeliai gali būti pritaikyti praktiškai, tačiau šiuo atveju, atsižvelgdamas į skaičiavimų rezultatus ir konstrukcijos ekonomiškumą, parenku tinkamiausią variantą – spragotąjį 1D kintamojo skerspjūvio modelį.

V skyriuje atlieku skaičiuojamųjų modelių ekonominius skaičiavimus ir pateikiu siūlomų sprendinių ekonominę naudą laivų statyklai.

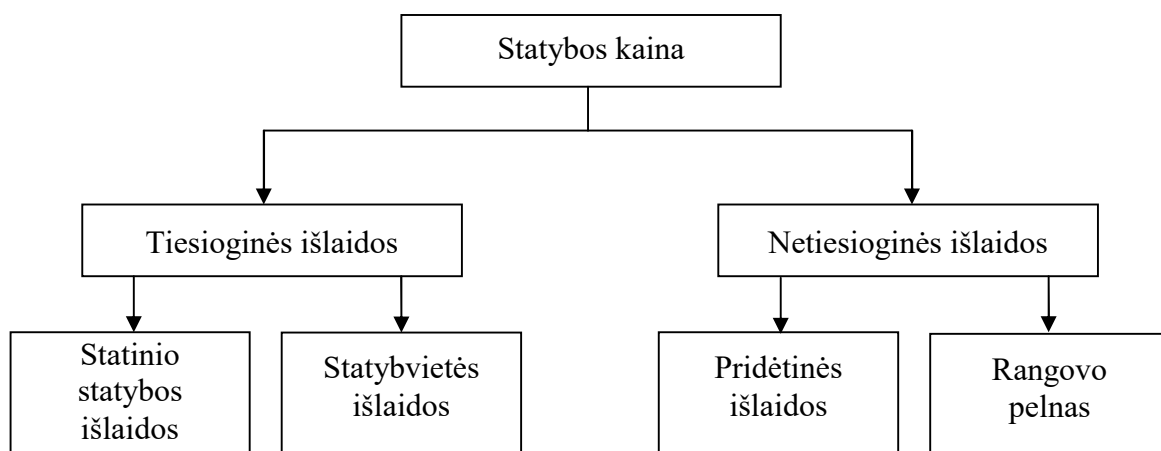
V. EKONOMINĖS NAUDOS VERTINIMAS

5.1. Skaičiavimų prielaidos ir sąlygos

Norėdamas pagrįsti ekonominę sprendinių naudą, atlieku suprojektuotų modelių ekonominius skaičiavimus, atsižvelgdamas į konstrukcijų gamybos ir montavimo išlaidas. Skaičiavimus atlieku sąmatų sudarymo programa „SES3“. Sąmatas sudarau, vadovaujantis sustambintų statybos darbų kainų apskaičiavimais (XXXVII, 2020). Normatyvų rūšys: darbo užmokestis, medžiagų vertė, mechanizmų naudojimas. Skaičiavimuose įvertinu:

- gelžbetoninių konstrukcijų ardymo darbus;
- žemės darbus;
- pamatų įrengimą;
- geležinkelio bėgių įrengimą;
- metalinių konstrukcijų gamybą, dažymą ir montavimą;
- kilnojamojo statinio apdengimą su PVC membraniniu audiniu.

Statybos kainos skaičiavimą atlieku pagal 72 paveiksle pateiktą schemą, kuri sudaryta, vadovaujantis statybos resursų skaičiuojamosios rinkos kainos rekomendacijomis (XXXVII, 2020).



72 pav. Statybos kainų išlaidų sudėties schema

Statinio statybos išlaidos sudarytos iš darbo užmokesčio, medžiagų vertės, socialinio draudimo ir naudojamų mechanizmų išlaidų. Statybvietės išlaidas sudaro statybvietės įrengimo, statybvietės eksploatavimo ir statybvietės valdymo išlaidos. Pridėtinių išlaidų struktūrą sudaro privalomasis draudimas, bendrosios materialinės išlaidos ūkio reikmėms, patalpų nuoma ir kiti mokesčiai.

Priemokos, kurias taikau tiesioginėms išlaidoms vertinti:

- papildomų medžiagų vertė – 3 % nuo bendros medžiagų vertės;

- papildomų mechanizmų vertė – 3 % nuo bendros mechanizmų naudojimo išlaidų vertės;
- kiti darbo užmokesčio priskaitymai – 8% nuo bendros darbo užmokesčio vertės.

Socialinio draudimo išlaidas apskaičiuoju, taikydamas 1,79 % normą nuo bendros darbo užmokesčio sumos. Statybvietės išlaidas skaičiavimuose priimu 9 % normą nuo statinio statybos išlaidų.

Pridėtines išlaidas apskaičiuoju, taikydamas 20,9 % normą, nuo bendros darbo užmokesčio sumos. Į pridėtines išlaidas priskaičiuoju ir kitas išlaidas (elektros energija, kuras, darbas pamainomis), įvertindamas 3 % normą. Rangovo pelną įvertinu, taikydamas 5 % normą nuo bendros, tiesioginių ir pridėtinių išlaidų sumos. Pridėtinės vertės mokestį (PVM) apskaičiuoju, įvertindamas 21 % normą nuo bendros visų išlaidų sumos.

Kitos skaičiavimų prielaidos:

- gelžbetoninių polių gręžimą vertinu pagal LST EN 1536:2015;
- geležinkelio bėgius vertinu standartinius R65 tipo pagal LST EN 13674–1:2017, įrengimas pagal LST EN ISO 14730–1:2017;
- vertinu šaltai formuotus profiliuočius pagal LST EN 10219:2006;
- plieninių konstrukcijų dažymą vertinu pagal LST EN 12944–2:2018;
- konstrukcijų montavimo darbai pagal LST EN 1090–2:2018;
- PVC audinio kainą priimu pagal internetiniuose šaltiniuose rastas tiekėjų kainas;
- kilnojamojo uždengimo ir kitų konstrukcijų projektavimo darbų bei papildomos (išpildomosios) dokumentacijos rengimo išlaidų nevertinu;
- vidaus ir lauko inžinerinių tinklų (elektra, nuotekų šalinimas, vėdinimas ir kondicionavimas) skaičiavimuose nevertinu;
- papildomos inžinerinės (technologinės) įrangos (variklių, kurie užtikrintų uždengimo judėjimą) nevertinu;
- sąmatas sudariau, atsižvelgiant į rinkos kainų lygį 2020–10 mėn. laikotarpiu.

5.2. Suprojektuotų modelių statybos kainų nustatymas

Atlikau statybos darbų kiekių skaičiavimus ir sąmatų skaičiavimo programa „SES3“ pagal 2020–10 mėn. rinkos kainas apskaičiavau, kad spragotojo tipo kilnojamojo uždengimo kaina be PVM yra 1117364,81 EUR, o su PVM – 1352011,42 EUR. Tuo tarpu ištisinio tipo uždengimo kaina be PVM yra 1294397,69 EUR, o su PVM – 1566221,20 EUR. Bendrastatybinių darbų lokalinės sąmatos su išskaidytais darbo užmokesčiais, medžiagų ir mechanizmų žiniaraščiais pateikiamos prieduose Nr. 5–6. Kilnojamojo uždengimo statybos ekonominiai rodikliai pateikiami 24 lentelėje.

24 lentelė. Kilnojamojo uždengimo statybos ekonominiai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vnt.	Suma	
			Spragotasis	Ištisinis
1.	Aikštelės plotas	m ²	18450	
2.	Užstatymo plotas	m ²	1200	
3.	Bendras uždengimo plotas	m ²	1170	
4.	Uždengimo suvestinės statybos kaina	EUR	1352011,42	1566221,20
5.	Statybos ir montavimo darbai	EUR	337523,21	381939,54
6.	Medžiagos ir mechanizmai	EUR	1014488,21	1184281,66
7.	Uždengimo suvestinė statybos darbų kaina mato vienetui	EUR/m ²	1126,68	1305,18
		EUR/m ³	53,65	62,15
8.	Uždengimo statybos ir montavimo darbų kaina mato vienetui	EUR/m ²	198,54	224,67
		EUR/m ³	12,78	14,47

Pagal 24 lentelę nustaciau, kad spragotojo tipo uždengimo lokalinės sąmatos kaina yra 14 % mažesnė, lyginant su ištisinio tipo uždengimu. Toliau 25 lentelėje palyginu skirtingų darbų kainas, kurias pateikiu be PVM ir pridėtinių išlaidų.

25 lentelė. Kilnojamojo uždengimo statybos darbų kainų palyginimas

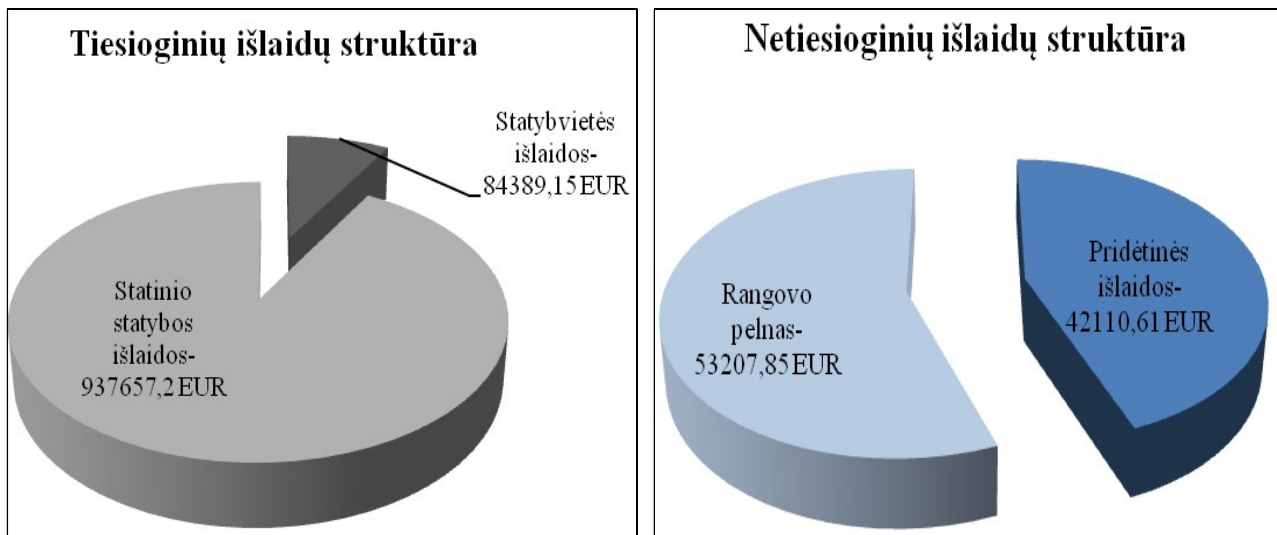
Eil. Nr.	Darbo, resursų pavadinimas	Mato vnt.	Suma	
			Spragotasis	Ištisinis
1.	Ardymo darbai	EUR	9615,97	
2.	Žemės darbai		1010,79	
3.	Pamatų įrengimas		487553,27	586114,04
4.	Geležinkelio bėgių įrengimas		68452,04	
5.	Metaliųjų konstrukcijų gamyba		109756,61	120483,00
6.	Metaliųjų konstrukcijų dažymas		45050,33	72211,21
7.	Metaliųjų konstrukcijų montavimas		21618,06	27690,47
8.	Paviršių padengimas iš PVC membraninio audinio dangos		152527,22	

Pagal 25 lentelę nustaciau, kad spragotojo tipo pamatų įrengimas yra pigesnis 16,8 %, nes dėl mažesnių apkrovų polinių pamatų gylis yra mažesnis $L = 6,00$ m, gretinant su ištisinio tipo uždengimo poliais, kurių ilgis $L = 11,0$ m (žiūrėti polinių pamatų skaičiavimus prieduose Nr. 3–4). Kitas svarbus skaičiuojamosios kainos nustatymo aspektas yra metalinių konstrukcijų gamyba, dažymas ir montavimas. Šiuo atveju spragotojo tipo konstrukcijos išlaidos yra 20 % mažesnės dėl:

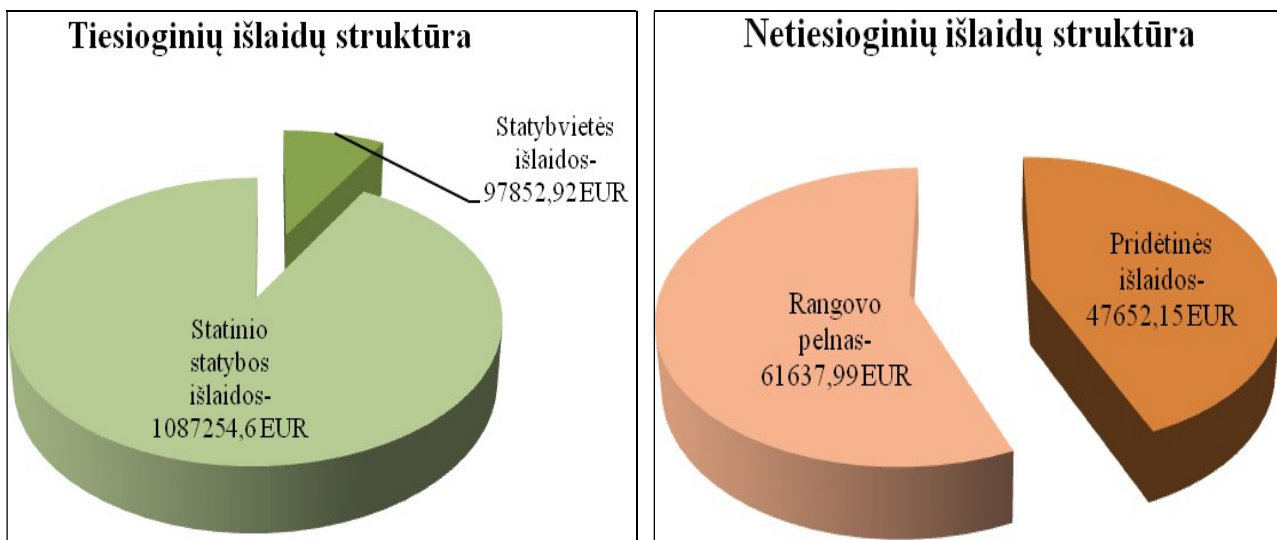
- suvirinimo siūlių kiekio. Gaminant ištisinio kintamojo skerspjūvio konstrukciją, reikia didesnio suvirinimo siūlių kiekio. Ko pasekoje, atsiranda didesni surinkimo, suvirinimo ir virintinių siūlių valymo kiekiai.
- Dažymo ploto. Ištisinio tipo konstrukcijos profiliuočiai turi didesnę dažymo plotą, todėl didesnė dažų išeiga bei didesnis profiliuočių gruntavimo plotas.

- Dėl konstrukcijos svorio. Kadangi spragotojo tipo konstrukcinis sprendinys yra apie 37 % lengvesnis, montavimui užtenka mažesnės keliamosios galios kranų. Statybos darbai atliekami greičiau ir patiriamos mažesnės išlaidos.

Dėl didesnių gamybos ir montavimo kaštų atsiranda tiesioginių ir netiesioginių išlaidų skirtumai, kurių struktūras pateikiu 73–74 paveiksluose. Skirtingų konstrukcinių variantų išlaidų palyginimą pateikiu 75–76 paveiksluose.

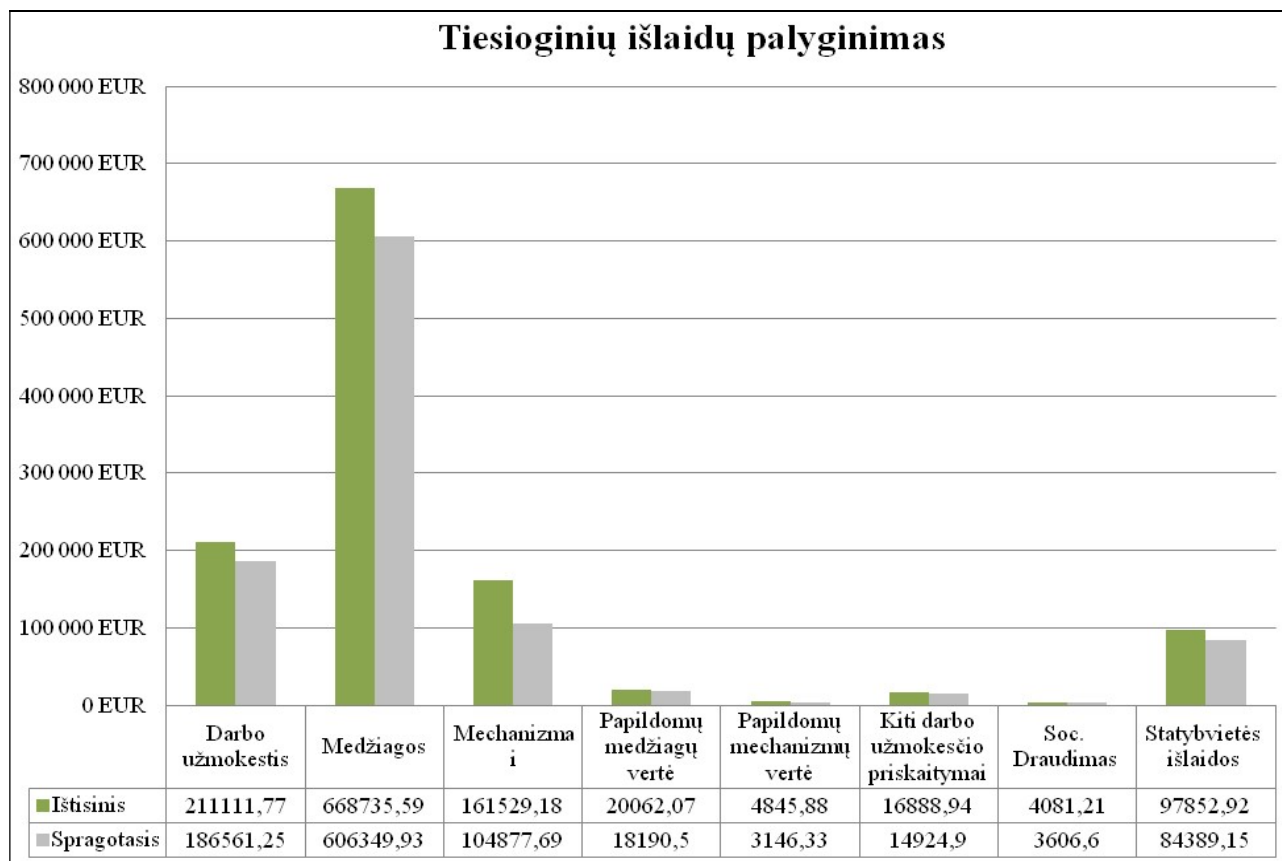


73 pav. Spragotojo tipo uždengimo tiesioginių ir netiesioginių išlaidų struktūra

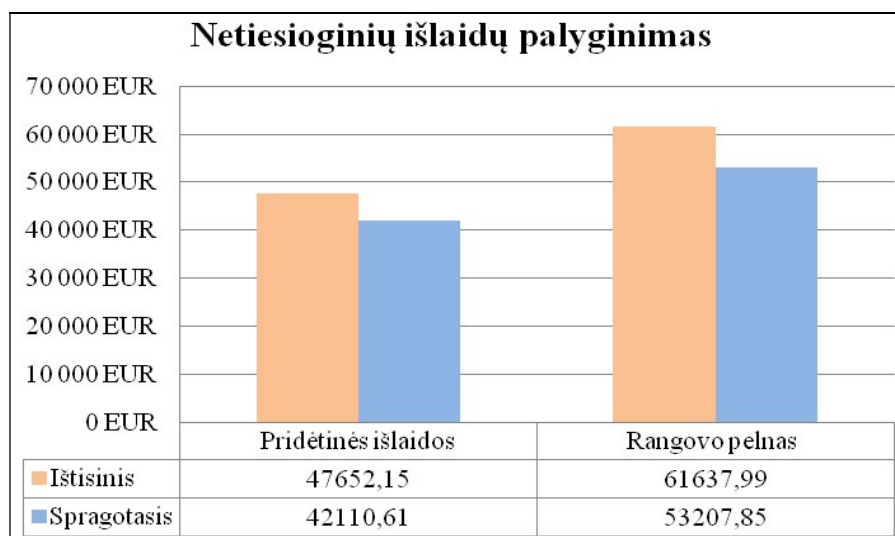


74 pav. Ištisinio tipo uždengimo tiesioginių ir netiesioginių išlaidų struktūra

Kadangi ištisinio tipo kilnojamojo uždengimo darbo užmokesčio, medžiagų ir mechanizmų kainos didesnės, tai atitinkamai skaičiuojasi didesnės tiesioginės ir netiesioginės išlaidos.



75 pav. Spragotojo ir ištisinio uždengimų tiesioginių išlaidų palyginimas

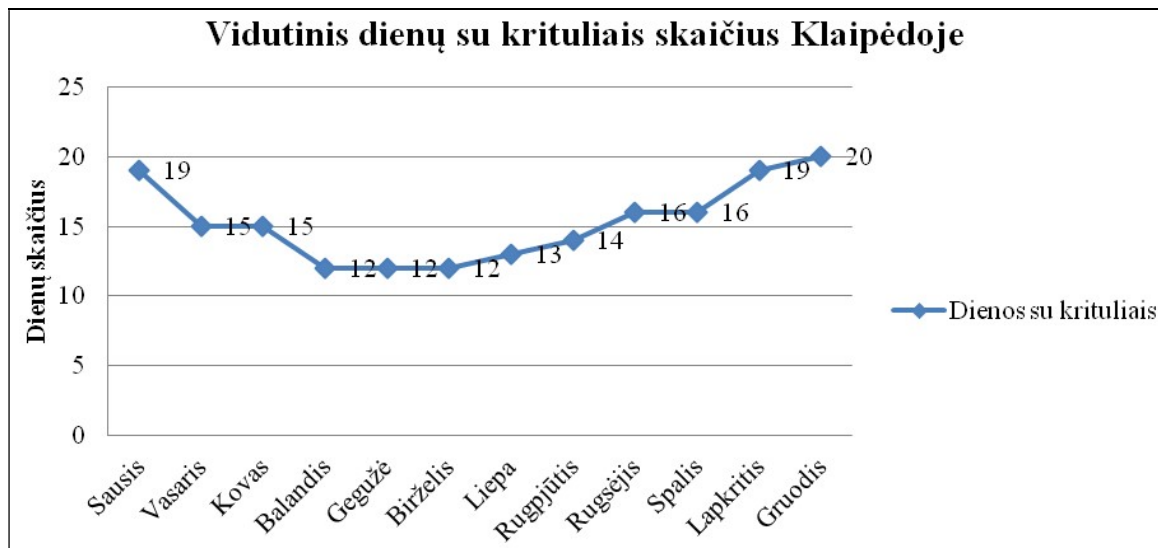


76 pav. Spragotojo ir ištisinio uždengimų netiesioginių išlaidų palyginimas

5.3. Ekonominės naudos skaičiavimas ir apibendrinimas

Atlikau apytikslus kilnojamojo uždengimo ekonominės naudos skaičiavimus, kadangi statykla nepateikė faktiškųjų atvirosios aikštelės išlaidų ir kitų ekonominių ataskaitų. Skaičiavimams atlikti priimu, kad pagrindinė kilnojamojo uždengimo paskirtis yra darbo sąlygų gerinimas atvirojoje aikštelėje. Pagrindinis veiksnys, neleidžiantis veiksmingai išnaudoti atvirosios

aikštelės, laivų blokų surinkimo darbams – krituliai. Remiantis RSN 156–94 „Statybinė klimatologija“ duomenimis, Klaipėdos mieste vidutinis metinis kritulių kiekis – 735 mm. Pagal Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenis, vidutiniškai drėgniausias metų mėnuo yra lapkritis (90 mm), sausiausias – vasaris (31 mm). Pagal vidutinį kritulių kiekį Klaipėdoje per metus vidutiniškai būna 183 dienos su krituliais. Daugiausiai dienų su krituliais vidutiniškai yra gruodžio mėnesį (20), o mažiausiai: balandžio, gegužės ir birželio mėnesiais (12). 77 paveiksle pateikiu grafiką, kuriame atsispindi kiekvieno metų mėnesio vidutinis dienų skaičius su krituliais.



77 pav. Vidutinio dienų su krituliais skaičiaus Klaipėdos mieste pasiskirstymo grafikas

Pagal sezoniškumą, žiemą išvis yra 54 dienos su krituliais, pavasarį – 39 dienos, vasarą – 39 dienos, rudenį – 51 diena. Atsižvelgdamas į dienų su krituliais skaičių, apskaičiuoju, kad iš 183 dienų 130 yra darbo dienos, atmetus savaitgalius. Taip pat įvertinu, kad per 130 darbo dienų gali pasitaikyti šventinių nedarbo dienų (šv. Velykos, Joninės, karaliaus Mindaugo karūnavimo diena ir t.t.), todėl darbų dienų skaičių sumažinu iki 120. Kadangi laivų statyklos darbo laikas yra nuo 7:00 val. iki 16:00 val., įskaičiuojant 1 val. pietų pertrauką, tai darbo diena trunka 8 val. Per 120 darbo dienų iš viso yra 960 darbo valandų, kurių metu kilnojamasis uždengimas galėtų būti naudingas ir po juo prastomis oro sąlygomis galėtų vykti laivų blokų surinkimo darbai.

Pagrindiniai laivų blokų surinkimo darbai, kurie vyktų po numatyto kilnojamojo uždengimu būtų plieninių lakštų montavimas ir virinimas. Pagal sustambintų statybos darbų kainų apskaičiavimus, vienai tonai plieninių konstrukcijų montuoti ir suvirinti reikia 19,3 n/val (normos/valandų). Skaičiavimams priimu, kad optimaliausi statyklos laivų blokų išmatavimai – 32×16×16 m, svoris apie 500 t. Taigi, vienam laivo blokui surinkti reikia apie 9650 n/val. Priimu, kad viena pamaina, kuri dirbs po kilnojamojo uždengimu, susidarys iš 10 darbuotojų, bendra vienos pamainos darbo valandų suma per vieną darbo dieną – 80 val. Atlikus skaičiavimus,

nustačiau, kad 10 darbuotojų pamaina, 500 t bloką, surinktų per 121 darbo dieną. Šis darbo dienų skaičius, iš esmės, sutampa su dienomis, kai uždengimas būtų naudingas prastomis lauko sąlygomis. Taigi, 10 darbuotojų pamaina per kalendorinius metus, kai vidutiniškai yra 120 darbo dienų su krituliais, atviroje aikštelėje galėtų papildomai surinkti apie 500 t plieninių konstrukcijų.

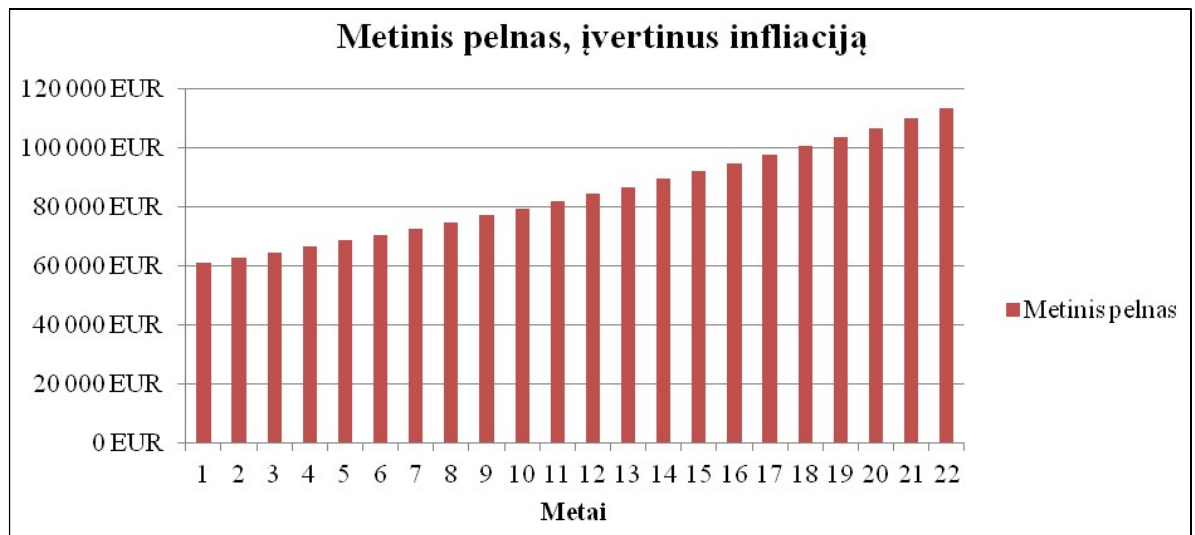
Palyginimui per kalendorinius metus iš viso vidutiniškai yra 250 darbo dienų, iš kurių vidutiniškai 130 yra be kritulių ir galima darbus vykdyti lauko sąlygomis atvirojoje aikštelėje be kilnojamojo uždengimo. Per 130 darbo dienų 10 darbuotojų pamaina gali surinkti apie 542 t plieninių konstrukcijų. Su kilnojamuoju uždengimu laivų statykla galėtų nuolatos dirbti, nepaisant prastų oro sąlygų ir papildomai, surenkant 500 t konstrukcijų per metus darbo našumas atvirojoje lauko aikštelėje padidėtų apie 92 %, vertinant, kad vienoje pamainoje dirbs 10 darbuotojų.

Pagal 2020–10 mėn. rinkos kainų lygį, su SES3 sąmatų skaičiavimo programa nustačiau, kad lakštinio plieno tonos montavimo su suvirinimu kaina, įskaitant plieno lakštus, pridėtines išlaidas ir laivų statyklos pelną, yra 1472,8 EUR be PVM. Į šią sumą skaičiuojasi:

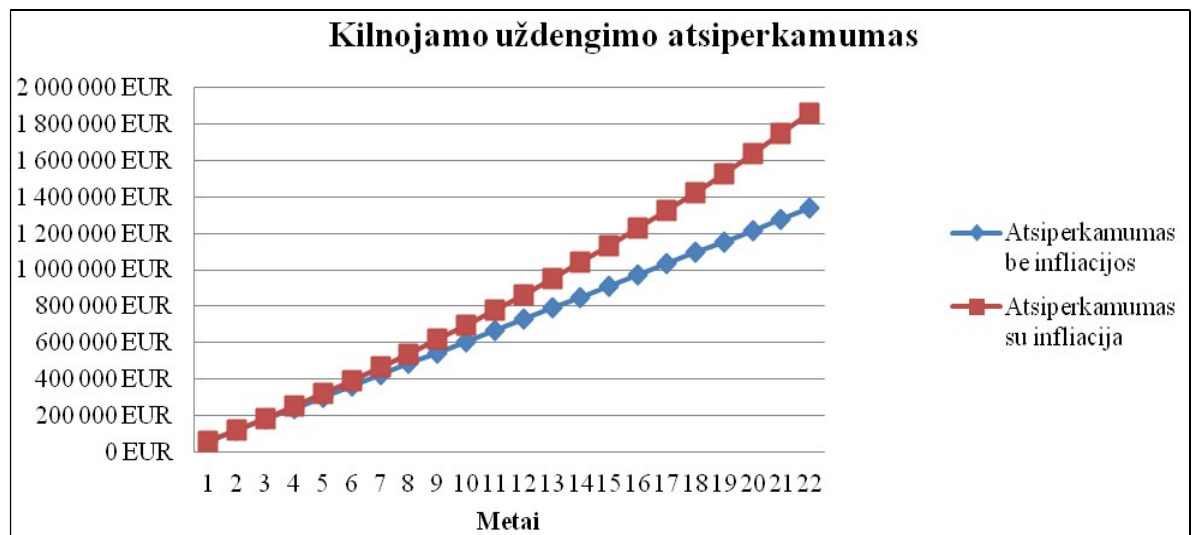
- plieno lakšto rinkos kaina – 770 EUR/t,
- montavimo ir suvirinimo darbo užmokestis – 284 EUR/t,
- mechanizmai – 126 EUR/t,
- soc. draudimo 1,79 % norma nuo darbo užmokesčio – 5,1 EUR/t,
- statybvietės išlaidų 9 % norma nuo tiesioginių išlaidų – 106,7 EUR/t,
- pridėtinių išlaidų 20,9 % norma nuo darbo užmokesčio – 59,4 EUR/t,
- statyklos pelno 9 % norma nuo visų išlaidų – 121,6 EUR/t.

Per metus papildomai vykdant darbus prastomis oro sąlygomis, po kilnojamuoju uždengimu ir surenkant 500 t plieninių konstrukcijų, statykla papildomai galėtų uždirbti apie 60800 EUR grynojo pelno, atmetus kilnojamojo uždengimo naudojimo ir kitas papildomas išlaidas, kurias skaičiavimuose įvertinau kaip statybvietės ir pridėtines išlaidas. Spragotojo tipo kilnojamas uždengimas atsipirktų per 17,5 metų, o ištisinio tipo uždengimas per 20,5 metų, neįvertinant rinkos kainos pokyčių ir metinės infliacijos. Įvertinus vidutinės metinės infliacijos 3 % normą, spragotojo tipo uždengimas galėtų atsipirkti per 14,5 metų, o ištisinio tipo uždengimas per 17 metų. Įvertinus teigiamus darbo užmokesčio ir statybos medžiagų rinkos kainų pokyčius, uždengimas galėtų atsipirkti dar greičiau, maždaug per 11–13 metų. Kilnojamojo uždengimo pelno ir atsiperkamumo grafikus pateikiu 78–79 paveiksluose.

Svarbu paminėti, kad kilnojamas uždengimas ne tik padidintų laivų statyklos darbo našumą atvirojoje aikštelėje ir padėtų uždirbti papildomą grynąjį pelną, bet dar pagerintų darbuotojų darbo sąlygas, kurių piniginiiais vienetais išreikšti negalima bei užtikrintų geresnę surinktų konstrukcijų kokybę.



78 pav. Prognozuojamas uždengimo metinis pelnas, įvertinus infliaciją



79 pav. Kilnojamojo uždengimo metinis atsiperkamumas su ir be infliacijos

Taigi, kilnojamojo uždengimo įrengimas ilgalaikėje perspektyvoje atsiperka ir yra pakankamai pelninga ir naudinga investicija laivų statyklai. Atlikęs visus ekonominius skaičiavimus, nustatiau, kad spragotojo tipo uždengimas yra pigesnis statybų atžvilgiu ir atsiperka maždaug 2,5 metų greičiau negu ištisinio tipo. Remiantis šio tyrimo rezultatais, siūloma laivų statyklai įrengti spragotojo tipo kilnojamąjį uždengimą.

Atlikti skaičiavimai yra apytiksliai, kuriuos atlikau, remiantis galiojančiais normatyvais ir statistikos duomenimis. Įgyvendinant aprašytus sprendinius, skaičiavimų rezultatai gali keistis, atsižvelgiant į klimato sąlygas, darbuotojų skaičių pamainoje, surenkamų konstrukcijų tipą, medžiagas, darbo užmokesčio ir medžiagų rinkos kainų pokyčius. Rekomenduojama laivų statyklai, vertinant siūlomo sprendinio ekonominę naudą, perskaiciuoti gautus rezultatus ir įsivertinti visas galimas rizikas.

IŠVADOS

Apibendrinant kilnojamojo uždengimo projektavimo tyrimus, buvo padarytos šios išvados ir rekomendacijos:

1. Apžvalgos ir duomenų tyrimų skyriuje aprašyta Klaipėdos uosto ir laivų statybos raidos istorija. Apžvelgti polinių pamatų projektavimo ypatumai. Išnagrinėti mokslinėje literatūroje pateikti tyrimai apie plieninių konstrukcijų, veikiamų dinaminių apkrovų, būvį. Apžvelgti panašūs pasaulyje taikomi kilnojamieji statiniai. Aikštelės uždengimo galimybių tyrimo skyriuje pasiūlytas kilnojamojo uždengimo sprendinys iš plieninių rėmų, kurių aukštis 23 m, tarptraimis 40 m, ilgis 30 m, žingsnis 6,0 m. Pasinaudojant archyviniais šaltiniais, ištirta aikštelės gruntų charakteristika. Archyvuose pateiktos išvados, kad aikštelės gruntinis pagrindas nėra pavojingas. Pagrindą rekomenduojama stiprinti poliais. Siūlomiesiems konstrukciniams sprendiniams paskaičiuoti poliniai pamatai, bet rekomenduojama atlikti papildomus aikštelės geologinius tyrimus. Remiantis trijų skaičiavimų etapų algoritmu, atliktas kintamojo skerspjūvio spragotojo 1D ir ištisinio 1D ir 2D rėmų ir viso uždengimo projektavimas. Atlikta skerspjūvių optimizacija ir parinkti tinkamiausi ir mažiausiai sveriantys skerspjūviai. Nustatytos rėmų ir modelių deformuotosios schemos, stabilumo praradimas ir savieji svyravimai. Ištirti keturi uždengimo judėjimo variantai. Apskaičiuotos suprojektuotų modelių statybos kainos ir pagrįsta kilnojamojo uždengimo ekonominė nauda.
2. Po optimizacijos nustatyta, kad spragotasis 1D rėmas yra 37 % lengvesnis, o ištisinis 2D rėmas iki 40 % standesnis.
3. Pavojingiausias judėjimas – avarinis. Pavojingiausia apkrova – įstrižinis vėjas, kuris kartu su avariniu judėjimu gali sukelti ribinius uždengimo poslinkius. Modelių skerspjūviai ir rėmų svoriai po judėjimo analizės nepakito.
4. Projektuojant kilnojamąjį uždengimą, ryšių sistema atlieka svarbų vaidmenį, todėl vien tik supaprastinto skersinio rėmo mechaninės būklės analizės ištirti nepakanka. Ištisinio 1D modelio ryšių sistema neišreiškia tikrojo uždengimo mechaninio darbo. Modelis yra per daug lankstus, todėl šio skaičiuojamojo modelio pritaikymas nerekomenduojamas. Tinkamiausias, uždengimo variantas – spragotasis.
5. Spragotojo tipo uždengimas 14 % pigesnis už ištisinį. Su kilnojamuoju uždengimu darbo našumas atvirojoje lauko aikštelėje padidėtų apie 92 %. Spragotasis uždengimo sprendinys laivų statyklai atsipirktų per 14,5 metų ir atsiperkamumas būtų 2,5 metų greitesnis už ištisinio tipo uždengimą. Kilnojamasis uždengimas yra pelninga ir naudinga investicija laivų statyklai. Įgyvendinant sprendinius, rekomenduojama perskaičiuoti gautus ekonominių skaičiavimų rezultatus, įvertinant visas galimas rizikas.

LITERATŪRA

Knygos

- Davison, B.; Owens, G. W. 2012. Steel designers manual 7th edition. Steel construction institute. 1415 p.
- Fleming, K.; Weltman, A.; Randolph, M.; Elson, K. 2007. Piling Engineering. 3rd ed. Taylor & Francis. 409 p.
- Fryba, L. 1999. Vibration of solids and structures under moving loads. Thomas Telford, London. 484 p.
- Marti, P. 2018. Konstrukcijų teorijos pagrindai: karkasinės konstrukcijos, plokštės ir kevalai. Vilnius: Technika. 656 p.
- Paulauskas, V. 2011. Optimalus uostas. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 318 p.
- Paulauskas, V. 2004. Uosto terminalų planavimas. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 381 p.
- Paulauskas, V. 2000. Uostų plėtra. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 285 p.
- Syrus, L.; Baradokas, P.; Michnevič, E. 2011. Teorinės mechanikos pagrindai: vadovėlis. Vilnius: Technika. 348 p.
- Sližytė, D.; Medzvieckas, J.; Mackevičius, R. 2012. Pamatai ir pagrindai: vadovėlis. Vilnius: Technika, 240 p.
- Žostautaitė, P. 1990. Klaipėda – Lietuvos uostas (1923–1939). Vilnius: Mokslas, 118 p.
- Žukas, J. 2015. Klaipėdos miesto ir regiono ekonominė istorija XIII–XVI amžiais. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 176 p.

Moksliniai straipsniai

- Akin, J. E.; Mofid, M. 1989. Numerical solution for response of beams with moving mass, ASCE Structures Engineering, 115, p. 120–131.
- Basaglia, C.; Camotim, D.; Breves Coda H. 2018. Generalised beam theory (GBT) formulation to analyse the vibration behaviour of thin-walled steel frames. Thin-Walled Structures, 127, p. 259–274.
- Basan, N. P.; Cocco, M. E.; Garcia del Valle, Mendez, A. 2019. An efficient MILP-based decomposition strategy for solving large-scale scheduling problems in the shipbuilding industry, Optimization and engineering, 20, p. 1085–1115.
- Esmailzadeh, E.; Ghorashi, M. 1995. Vibration analysis of beams transversed by uniform partially distributed moving masses, Journal Sound Vibrations, 184, p. 9–17.
- Garcia, G. R.; Climent, A. B. 2020. New rocking column with control of negative stiffness displacement range and its application to RC frames. Engineering Structures, 206 p. 112–122.
- Gbadeyan, J. A.; Oni, S. T. 1995. Dynamic behavior of beams and rectangular plates under moving loads. Journal Sound Vibrations, 182, p. 677–695.
- Hamayoon, K.; Morikawa, Y.; Oka, R.; Zhang, F. 2016. 3D dynamic finite element analysis and 1 g shaking table tests on seismic performance of existing group-pile foundation in partially improved grounds under dry conditions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 90, p. 196–210.
- Han, Q.; Li, X.; Liu, M.; Spencer, B. F. Jr. 2019. Performance analysis and macromodel simulation of steel frame structures with beam-column joints using cast steel stiffeners for progressive collapse prevention. Thin-Walled structures, 140, p. 404–415.
- Joao, L. S.; Carvalho, R.; Figueiro, R. 2016. A study on the durability properties of textile membranes for architectural purposes. Procedia Engineering, 155, p. 230–237.
- Kibriya, L. T.; Chuqultaype, C. M.; Kashani, M. M.; Alexander, N. A. 2018. Nonlinear dynamics of self-centring rocking steel frames using finite element models. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 115, p. 826–837.
- Lee, H. P. 1996. The dynamic response of Timoshenko beam subjected to a moving mass, Journal of Sound Vibrations, 198, p. 249–256.

- Liu, C.; Tang, L.; Ling, X.; Deng, L.; Su, L.; Zhang, X. 2017. Investigation of liquefaction-induced lateral load on pile group behind quay wall, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 102, p. 56–64.
- Motwani, P.; Laskar, A. 2019. Influence of excessive end slippage on transfer length of prestressing strands in PC members, *Structures*, 20, p. 676–688.
- Nikkhoo, A.; Rofooei. 2012. Parametric study of the dynamic response thin rectangular plates transversed by a moving mass, *Acta Mechanica*, 223, p. 15–27.
- Rao, G. V. 2000. Linear dynamics of an elastic beam under moving loads, *ASME Journal of Vibration Acoustics*, 122, p. 281–289.
- Ren, W.; Sneed, L. H.; Yang, Y.; He, R. 2015. Numerical simulation of prestressed precast concrete bridge deck panels using damage plasticity model, *International Jour. of Concrete Structures and Materials*, 9, p. 45–54.
- Samofalov, M.; Cvirka, V. 2010. Mechanical state analysis and an original sequence of calculations of a huge bay arch under static and dynamic actions, *Modern Building Materials, Structures and Techniques*, 2, p. 1045–1054.
- Samofalov, M.; Šlivinskas, T. 2009. Stability analysis of steel frames with variable cross-section for sports and entertainment centre, *Mechanika*, No. 5(79), p. 5–12.
- Saritas, A. 2017. Consistent matrices for steel framed structures with semi-rigid connections accounting for shear deformation and rotary inertia effects, *Eng. Struc.*, 137, p. 194–203.
- Song, J. Y.; Woo, J. H. 2013. New shipyard layout design for the preliminary phase and case study for the green field project, *Int. J. Naval Archit. Ocean Eng.* 5, p. 132–146.
- Soomro, M. A.; Mangnejo, D. A.; Bhanbhro, R.; Memon, N. A. 2019. 3D finite element analysis of pile responses to adjacent excavation in soft clay: Effects of different excavation depths systems relative to a floating pile. *Tunneling and Underground Space Techn.*, 86, p. 138–155.
- Su, L.; Wan, H. P.; Bi, K.; Li, Y.; Liu, J.; Ling, X.; Elgamal, A.; Arulmoli, A. 2019. Seismic fragility analysis of pile-supported wharves with the influence of soil permeability. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 122, p. 211–227.
- Sui, W.; Wang, Z.; Li, X. 2019. Experimental performance of irregular PZs in CHS column H-shape beam steel frame. *Journal of constructional steel research*, 158, p. 547–559.
- Xue, Q.; Meek, J. L. 2001. Dynamic response and instability of frame structures, *Comput methods in applied mechanics and engineering*, 190, p. 5233–5242.
- Zhang, X.; Peng, J.; Cao, M.; Damjanovic, D.; Ostachowicz, W. 2020. Identification of instantaneous tension bridge cables from dynamic responses: Strict algorithm and applications, *Mechanical Systems and Signal Procedures*, 142, 106729.
- Zhouzhou, X.; Zixue, U.; Zhen, Y.; Junchao, Z. 2020. Research on vehicle bridge vertical coupling dynamics of monorail based on multiple road excitations, *Mechanika*, 26 (4), p. 301–310.
- Zhou, H.; Liu, H.; Li, X.; Ding, X. 2020. Plasticity solution for the limit vertical pressure of a single rigid pile with a pile cap in soft soil, *Computers and Geotechnics*, 117, 103260.
- Wu, J. J. 2007. Vibration analysis of inclined flat plate subjected to moving loads, *Journal Sound Vibrations*, 299, p. 373–387.

Internetiniai šaltiniai

- Alaska structures. 2020. JAV. Construction storage buildings. [žiūrėta 2020-01-03]. Prieiga per internetą: < <https://alaskastructures.com/portfolio-view/construction/>>.
- Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Apžvalgos. [žiūrėta 2021-04-06]. Prieiga per internetą: < <http://www.meteo.lt/lt/menesio-apzvalgu-archyvas>>.
- Klaipėdos uosto ir miesto informacinis portalas. Uosto istorijos puslapiai. [žiūrėta 2019-11-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.uostas.info/uostas/uostoistorija/uostoistorijos.html>>.
- Čepys Viktoras. 2015. Lietuvos laivų statytojų ir remontininkų asociacija. Žiupsnelis laivų statybos istorijos. [žiūrėta: 2020-01-11]. Prieiga per internetą: < <http://lksra.lt/naujienos/ziupsnelis-laivu-statybos-istorijos/>>.

Scofidio, D. 2017. The shed. ARQ (Santiago). [žiūrėta 2020-12-22]. Prieiga per internetą: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071769962017000300028&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

UAB „Baltijos laivų statykla“. Informacija apie įmonę. [žiūrėta 2020-01-07]. Prieiga per internetą: <<http://www.wbs.lt/index.php/lt/apie-mus/galimybes>>.

Techniniai reglamentai ir standartai

EN 1993–1–1:2005. Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1–1: General Rules and Rules for Buildings. Brussel: The European Union Per Regulation, 2005.

EN 1991–1–4:2005. Eurocode 1. Actions on structures. Part 1–4: General actions – Wind actions. Brussel: The European Union Per Regulation, 2005.

LST EN 1997–2:2007. Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindinės taisyklės. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.

LST EN ISO 12944–2:2018. Dažai ir lakai. Plieninių konstrukcijų apsauga nuo korozijos apsauginėmis dažų sistemomis. 2 dalis. Aplinkos klasifikavimas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2018.

LST EN 10219–1:2006. Nelegiruoto ir smulkiagrūdžio plieno šaltai formuoti suvirintieji tuščiaviduriai statybiniai profiliuočiai. 1 dalis. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008.

LST EN 1090–2:2018. Darbų susijusių su plieninėmis ir aliuminėmis konstrukcijomis, atlikimas. 2 dalis. Techniniai reikalavimai, keliami plieninėms konstrukcijoms. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2018.

LST EN 1536:2015. Specialiųjų geotechnikos darbų atlikimas. Gręžtiniai poliai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015.

LST EN 13674–1:2017. Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Bėgiai. 1 dalis. 46 kg/m ir didesnės ilginės masės plačiapadžiai geležinkelio bėgiai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2018.

LST EN 14370–1:2017. Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Termitinis bėgių suvirinimas. Suvirinimo procesų patvirtinimas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017.

RSN 156-94:1995. Statybinė klimatologija. Vilnius: Statybos ir urbanistikos ministerija. 136 p.

STR 2.05.03:2003. Statybinių konstrukcijų projektavimo pagrindai. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2003.

STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005.

STR 2.05.08:2005. Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005.

Kiti dokumentai

Samatų skaičiavimo kompiuterinė programa „SES3“. Pagal 2020.10 mėn. kainas.

UAB „Sistela“. Statybos resursų skaičiuojamosios rinkos kainos (XXXVII), (pagal 2020 m. spalio mėn. darbo medžiagų, gaminių, mašinų ir mechanizmų eksploatacijos rinkos kainas). Vilnius: Statybos produkcijos sertifikavimo centras, 2020.

UAB „Sistela“. Sustambinti statybos darbų kainų apskaičiavimai (XXXVII), (pagal 2020 m. spalio mėn. skaičiuojamąsias resursų rinkos kainas). Vilnius: Statybos produkcijos sertifikavimo centras, 2020.

STAAD.Pro V8i technical reference manual. 2012. Bentley systems inc, JAV.

Министерство речного флота СССР «ЦОКАПСТРОЙ», Государственный институт проектирования и изысканий на речном транспорте «ГИПРОРЕЧТРАНС», Ленинградское отделение. Инженерно-геологические условия Балтийского судостроительного завода в г. Клайпеда. Ленинград, 1949 г.

Перельмутер А. В. Элементы опыта расчета нового безопасного конфайнмента Чернобыльской атомной станции / А. В. Перельмутер // Опір матеріалів і теорія споруд : наук.- техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури ; відп. ред. В. А. Баженов. – Київ, 2016. – Вип. 97. – С. 28 - 42.-Бібліогр.: 6 назв.

PRIEDAI