



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo
daugiakriteris vertinimas**
Baigiamasis magistro projektas

Gintaras Jocius
Projekto autorius

Dr. Donatas Aviža
Vadovas

Panevėžys, 2019



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas

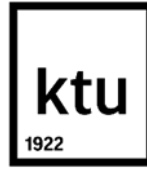
Baigiamasis magistro projektas
Statybos valdymas (6211EX007)

Gintaras Jocius
Projekto autorius

Doc. Donatas Aviža
Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2019



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Gintaras Jocius

Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Gintaro Jociaus, baigiamasis projektas tema „Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETO
TECHNOLOGIJŲ IR VERSLUMO KOMPETENCIJŲ CENTRAS**

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Diplomantui ***Gintarui Jociui PMS-7***

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba) *Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas*

Baigiamojo projekto tema (anglų kalba) *Multi-Criteria Evaluation of Digital Modeling for Warehouse Constructions*

Patvirtinta 2018 m. spalio mėn. 31 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-26.

Irišto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2019 m. sausio 3 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Darbas turi tenkinti BP rengimo ir gynimo metodinius reikalavimus Nr. V25-13-27.

Pastato paskirtis – sandėliavimo.

Tiriamajoje dalyje naudoti skaitmeninio modeliavimo (BIM) programą (-as).

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai / klausimai, kurie turi būti atskleisti projekte

Baigiamojo projekto uždaviniai:

- Apžvalginėje dalyje išanalizuoti užsienio ir Lietuvos mokslinę literatūrą BIM (Building Information Modeling) ir sandėlių projektavimo požiūriu.*
- Metodologinėje dalyje pateikti konstrukcijų stabilumo skaičiavimų ir daugiakriterinių vertinimo metodų apžvalgą, eiliškumą ir vertinimo kriterijus.*
- Tiriamajoje dalyje skaitmeninio modeliavimo programa suprojektuoti keturias skirtingas sandėlio konstrukcijas ir parinkti racionalų variantą SAW metodu. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į šiuos rodiklius: konstrukcijų įrengimo kainą, stabilumą, metinį nusidėvėjimą ir ugniai atsparumo laipsnį.*

Vadovas

dr. Donatas Aviža

(parašas, pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

Gintaras Jocius

(studento parašas, vardas, pavardė)

2018 m. lapkričio 8 d.

Jocius, Gintaras. Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: statybos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: BIM, statinio informacinis modeliavimas, sandėlio konstrukcijos, daugiakriteris vertinimas, SAW metodas.

Panevėžys, 2019. 81 p.

SANTRAUKA

Užsakovai, pirkdami projektavimo paslaugas mažiausios kainos principu, dažnai gauna nekokybišką projektą, o vėliau ir objektą. Statybų metu iš užsakovo yra reikalaujami papildomi pinigai, nes projektinėje studijoje nebuvo numatyti reikalingi darbai. Kita pasekmė - vėluojantis statybos darbų užbaigimas. Siekiant racionalizuoti statybų sektorių, įvairios pasaulio valstybės skatina naudoti BIM metodologiją, kuri padeda sutaupyti pinigų, minimizuoja klaidų skaičių ir sutrumpina projektavimo procesą. Magistro baigiamajame darbe atliekamas sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas.

Magistro darbą sudaro įžanga, 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, naudotos literatūros sąrašas ir 4 priedai. Įžanginėje dalyje aprašomas temos iširtumas, aktualumas ir naujumas, tyrimo objektas, darbo tikslas, formuluojami darbo uždaviniai bei pateikiami naudoti tyrimo metodai. Įžangos pabaigoje pateikiama darbo struktūra ir autoriaus parengti moksliniai straipsniai.

Pirmame skyriuje išanalizuoti pagrindiniai BIM modeliai: 3D, 4D, 5D ir 6D. Apžvelgtas skaitmeninio modeliavimo naudojimo mastas šiose pasaulio valstybėse: JAV, Suomija, Jungtinė Karalystė, Kinija, Australija, dalis Europos ir Lietuva. Pateikti keliami sandėlių projektavimo reikalavimai ir apžvelgtų šaltinių rekomendacijos.

Antrajame skyriuje pateikiama informacija apie tyrimui atlikti naudotą metodiką ir programinę įrangą. Ištirtinėti pagrindiniai konstrukcijų stabilumo skaičiavimo metodai ir atlikta daugiakriterių vertinimo metodų apžvalga.

Trečiajame skyriuje atliekamas tyrimas. Projektuojamos keturios skirtingos sandėlio konstrukcijos iš medžio, plieno, gelžbetonio ir kombinuota (g/b + plienas). Projektavimas atliekamas skaitmenine konstrukcijų skaičiavimo programa „SCIA Engineer“. Modeliai lyginami pagal konstrukcijos stabilumą, statybinę kainą, metinį nusidėvėjimą ir atsparumą ugniai. Daugiakriteriui vertinimui atlikti naudojamas SAW metodas. Kriterijų reikšmingumo vertės parinktos proporcingai, kadangi nebuvo atlikta ekspertų apklausa. Remiantis rezultatais, pagal lyginamus kriterijus, racionaliausia naudoti sandėlį su gelžbetoninėmis konstrukcijomis. Gauti rezultatai ir detali atlikto tyrimo eiga su išvadomis pateikta magistro baigiamajame darbe.

Jocius, Gintaras. Multi-Criteria Evaluation of Digital Modeling for Warehouse Constructions. Master's Final Degree Project / supervisor dr. Donatas Aviža; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Civil Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: BIM, building information modelling, warehouse constructions, multi-criteria evaluation, SAW method.

Panevėžys, 2019. 81 pages.

SUMMARY

Customers, when purchasing design services at the lowest price, often get a poor project and then an object. During construction, additional money is required from the customer, as the required works were not provided at the design stage. Another consequence is the late completion of construction work. In order to rationalize the construction sector, various countries around the world are encouraging the use of BIM methodology, which saves money, minimizes errors and shortens the design process. In the master's thesis is performed a multi-criteria evaluation of the digital modeling for warehouse constructions.

Master's thesis consists of introduction, 3 chapters, conclusions and recommendations, references and 4 appendixes. The introductory part describes the theme exploration, relevance and novelty, the subject of the research, the purpose of the work, formulates the tasks of the work and presents the research methods used. At the end of the introduction, the structure of the work and the scientific articles prepared by the author are presented.

The first chapter analyzes the main BIM models: 3D, 4D, 5D and 6D. The extent of use for digital modeling in the following countries is reviewed: US, Finland, United Kingdom, China, Australia, part of Europe and Lithuania. Submitted warehouse design requirements and recommendations of reviewed sources.

The second chapter provides information on the methodology and software used for the study. The main methods of calculating the stability of structures were examined and the review of multi-criteria evaluation methods was performed.

In the third chapter, performed study. Designed are four different warehouse structures made of wood, steel, reinforced concrete and combined (reinforced concrete and steel). Designing is done by digital modelling software „SCIA Engineer“. The models are compared according to stability of the structures, construction price, annual wear and fire resistance. For multi-criteria evaluation used the SAW method. Criteria for the significance were selected proportionally, as no expert survey was conducted. Based on the results, it is most rational to use a warehouse with reinforced concrete structures according to comparable criteria. The results and detailed investigation with conclusions is presented in the master's thesis.

TURINYS

Ižanga	9
1 Teorinė apžvalga	11
1.1 Statinio informacinio modeliavimo (BIM) samprata	11
1.1.1 BIM brandumo lygiai	12
1.1.2 Trijų dimensijų (3D) skaitmeninis modelis	14
1.1.3 Keturių dimensijų (4D) skaitmeninis modelis.....	15
1.1.4 Penkių dimensijų (5D) skaitmeninis modelis.....	16
1.1.5 Šešių dimensijų (6D) skaitmeninis modelis	17
1.2 BIM pasaulyje ir Lietuvoje.....	18
1.2.1 JAV.....	19
1.2.2 Suomija.....	20
1.2.3 Jungtinė Karalystė	21
1.2.4 Kinija	21
1.2.5 Australija	22
1.2.6 Europa.....	23
1.2.7 Lietuva.....	26
1.3 Sandėlių projektavimas.....	26
1.3.1 Ergonomika	28
1.3.2 Rankinis medžiagų tvarkymas.....	29
1.3.3 Logistika	31
2 Tyrimo metodologija	33
2.1 Bendroji informacija.....	33
2.2 Stabilumas.....	36
2.2.1 Bendrosios nuostatos	36
2.2.2 Plieniniai pastatai.....	38
2.2.3 Mediniai pastatai.....	42
2.2.4 Gelžbetoniniai pastatai	43
2.3 Daugiakriteriai vertinimo metodai.....	43
2.3.1 Tiriamajame darbe naudojamas metodas	45
3 Tiriamoji dalis	46
3.1 Sandėlio konstrukcijų projektavimas.....	46
3.1.1 Antžeminės dalies konstrukcijų projektavimas	46
3.1.2 Pamatų projektavimas.....	49

3.2 Stabilumas.....	58
3.3 Statybos skaičiuojamosios kainos nustatymas.....	61
3.4 Pastatų metinis nusidėvėjimas	63
3.5 Konstrukcijų atsparumas ugniai	63
3.6 Daugiakriteris vertinimas.....	69
Išvados ir rekomendacijos	72
Literatūra	74
Priedai.....	82

IŽANGA

Temos iširtumas

Lietuvoje ir dalyje Europos šalių statinio informacinio modeliavimo (BIM) naudojimas yra pasyvus. Vienos pagrindinių priežasčių - nepagrįstai maži projektavimo paslaugų įkainiai, nepakankamai išsivysčiusi šalių ekonomika, švietimo stoka apie BIM privalumus, specialistų trūkumas, konkursų vykdymas mažiausios kainos principu neatsižvelgiant į darbo kokybę ir kvalifikuotos kontrolės nebuvimas.

Projektuojant kompiuterinėmis programos dalis konstruktorių daro esmines klaidas. Konstrukciniai elementai projektuojami remiantis Eurokodų (EC) metodika, tačiau priimant sprendimus sutapatinama su STR reikalavimais ir gaunami neracionalūs skerspjūviai. Eurokoduose pateikiami analizavimo metodai, kurie yra patikrinti atliktų gausių tyrimų, laiko ir praktikos. Projektuotojui yra suteikiama laisvė pasirinkti jam priimtina racionalų sprendimo būdą iš kelių galimų variantų ir juos pritaikyti šiuolaikinėse baigtinių elementų programose.

Temos aktualumas

Tyrimui atlikti naudojama statinio informacinio modeliavimo (BIM) programa ir šiuolaikiškos konstrukcinės skaičiavimo schemas, kurių tarpusavio sąveika leidžia optimizuoti medžiagų sąnaudas. Optimizavimas yra vienas iš pagrindinių elementų, kuris įeina į žodžio tvarumas sąvoką. Sandėlių konstrukciniai variantai analizuojami vadovaujantis Eurokodais, kurie yra daugiau orientuoti į kompiuterinį konstrukcijų skaičiavimą, lyginant su Statybos Techniniais Reglamentais (STR). Darbe aptariamos temos ir pateikiami sprendimo būdai, kurie yra mažai tyrinėti Lietuvos aspektu.

Temos naujumas

Palyginami populiarūs Lietuvoje ir Europoje konstrukciniai elementai, kurie apskaičiuoti remiantis Eurokodų reikalavimais. Tyrimui atlikti naudota BIM programa.

Atliktas darbas gali būti panaudotas optimizuojant skaičiuojamus modelius, tęsiant papildomus tyrimus, projektuojant kitas projekto dalis ar padėti klientui apsispręsti dėl pastato konstrukcijų tipo.

Tyrimo objektas

Sandėlio konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo daugiakriteris vertinimas.

Darbo tikslas

Naudojant statinio informacinio modeliavimo programą, suprojektuoti keturias skirtingas sandėlio konstrukcijas ir daugiakriteriu (SAW) vertinimo metodu parinkti racionalų konstrukcinį variantą pagal lyginamus kriterijus.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti pasaulyje ir Lietuvoje naudojamas pastato informacinio modeliavimo (BIM) technologijas.
2. Apžvelgti BIM naudojimo mastą pasaulyje ir Lietuvoje.
3. Išnagrinėti sandėlių projektavimo reikalavimus.
4. Ištirinti konstrukcijų stabilumo skaičiavimo metodus.
5. Atlikti daugiakriterių vertinimo metodų apžvalgą.
6. Suprojektuoti keturias skirtingas sandėlio konstrukcijas skaitmeninio modeliavimo programa.
7. Parinkti racionalų sandėlio konstrukcinį variantą pagal lyginamus kriterijus.

Tyrimo metodai

Teorinėje ir metodinėje dalyje atlikta literatūros analizė. Tyrimo metu naudota konstrukcijų informacinio modeliavimo (BIM) programa „SCIA Engineer“. Darbo autorius yra sertifikuotas programos naudotojas. Sąmatiniai skaičiavimai atlikti „ProSama 4G“ programa. Sandėlio skaitmeniniai modeliai lyginami pagal konstrukcijų stabilumą, statybos kainą, metinį nusidėvėjimą ir atsparumą ugniai. Daugiakriterių duomenų analizei naudotas paprastasis adityvus svorių metodas (SAW).

Remiantis BIM brandumo lygiais tyrimas gali būti 1 arba 2 lygio, atsižvelgiant į kitus galimus projekto dalių rengimo metodus. Projektuojant kitas dalis ar detalizuojant sprendinius, CAD platformoje projektas atitiktų 1 BIM brandumą, o tęsiant darbus skaitmeninėje erdvėje - 2 lygį.

Darbą sudaro įžanga, 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, naudotos literatūros sąrašas, 4 priedai, 53 paveikslai, 34 lentelės. Darbo apimtis – 81 puslapis. Literatūros sąrašą sudaro 108 šaltiniai. Autoriaus dalyvavo konferencijoje ir pristatė straipsnį:

G. Jocius ir D. Aviža, „Sandėlio konstrukcijų skaičiuojamojo BIM modelio efektyvumo vertinimas SAW metodu“, *Technologijų ir verslo Aktualijos*, 2018.

1 TEORINĖ APŽVALGA

1.1 Statinio informacinio modeliavimo (BIM) samprata

Statinio informacinis modeliavimas, arba BIM, yra procesas, kurio metu kuriamas informacinis statinio modelis, jungiantis visas statinio projektines dalis ir jo gyvavimo ciklus – nuo projekto iki nugriovimo [1, p. 4]. Skaitmeninio modeliavimo pirmtakas pasaulyje atsirado 1970 metais, projektuojamas braižant ne linijomis, o elementais, kurie turi savo parametrus [2, p. 21]. BIM pagal apibrėžimą yra 3D informacijos modelis, susidedantis iš objektų, kurie reprezentuoja visą projektą, susiejant dizainą su visa informacija apie visus jos komponentus, dėl to projektuotojai ir statybininkai aiškiai dalijasi informacija ir gali nustatyti statybos procesų tinkamumą, aptikti klaidas statybų etape [3, p. 3].

Pastato informacinis modeliavimas (angl. *Building Information Modeling*) – toliau aprašyta, ką reiškia kiekvienas atskiras žodis:

- Statinys, arba pastatas (*building*) – trimačiu modeliu pagrįstas projektas, kuriame atsižvelgiama į visą pastato gyvavimo ciklą;
- Informacija (*information*) – modelyje sukaupta informacija apie pastatą viso gyvavimo ciklo metu;
- Modeliavimas (*modeling*) – pastato ir su jo realizavimu bei eksploatavimu susijusių procesų modeliavimas, naudojant integruotus instrumentus [4, p. 13].

Išskiriami tokie BIM sprendimai:

- 3D – erdvinis statinio modeliavimas;
- 4D – projektavimas, 3D + laikas;
- 5D – projektavimas ir 4D + pinigai [1, p. 4];
- 6D – eksploatavimas.

Statinio informacinio modeliavimo (BIM) metodas keičia projektų valdymą architektūroje, inžinerijoje ir statyboje, pateikdamas trimačius modelius kaip pagrindinį statybos projektų komponentą, ir suteikia statybos pramonei įrankius, reikalingus geriau valdyti proceso ir produkto dvejopumą [5, p. 1]. Atsižvelgiant į tai, skaitmeninis modelis gali būti geriau išnagrinėtas projektinėje stadijoje. Naudojant skaitmeninį modeliavimą, galima turėti visišką kontrolę, susijusią su projektu, kuriam parengti naudojama viena bendra duomenų bazė:

- architektūra, konstrukcijos, infrastruktūra ir statyba dabar gali būti derinamos atskirai, o ne kartu;
- modelius galima siųsti tiesiai į gamybos mašinas;
- pastato energijos suvartojimas gali būti atliekamas projektavimo pradžioje;

- statybos sąnaudos tampa labiau nuspėjamos [6, p. 153].

Lietuvoje priimti BIM standartai pateikti lentelėje (žr. 1.1 lentelė).

1.1 lentelė

Lietuvoje galiojantys BIM standartai

Standarto pavadinimas	Standarto žymuo	Išleidimo data
Statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas. 1 dalis. Metodika ir formatas	LST EN ISO 29481-1:2017	2017-12-29
Statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas. 2 dalis. Sąveikos struktūra	LST EN ISO 29481-2:2017	2017-01-31
Statinio informacinio modeliavimo nurodymų struktūra	LST ISO/TS 12911:2015	2015-09-16

Užsienyje taikomi BIM standartai pateikti lentelėje (žr. 1.2 lentelė).

1.2 lentelė

Užsienyje taikomi BIM standartai [7]

Paskirtis	Pavadinimas	Standartas
Procesų aprašymas	IDM <i>Information Delivery Manual</i>	ISO 29481-1 ISO 29481-2
Informacijos / duomenų perdavimas	BCF <i>BIM Collaboration Format</i>	<i>BuildingSMART BCF</i>
Terminų nustatymas	IFD <i>International Framework for dictionaries</i>	ISO 12006-3 <i>BuildingSMART Data Dictionary</i>
Procesų keitimas į techninius reikalavimus	MVD <i>Model View Definitions</i>	<i>BuildingSMART MVD</i>

Dalis programinės įrangos gamintojų, rengiant skaitmeninius projektus, siūlo ir rekomenduoja naudoti savo įrangos paketus, kad darbas vyktų sklandžiai. Priešingu atveju, renkantis skirtingų – pavienių gamintojų programinę įrangą, reikėtų atkreipti dėmesį, ar ji yra sertifikuota tarptautinės organizacijos „BuildingSMART“. Tai reiškia, jog dirbant su šia programine įranga ir keičiantis modeliais IFC platformoje, bus galima vystyti projektą, naudojant skirtingų gamintojų įrangą. Sertifikuotos skaitmeninio modeliavimo įrangos sąrašą, kurioms yra suteiktas „openBIM“ sertifikatas, galima rasti internetinėje svetainėje „buildingsmart.org“ [8].

1.1.1 BIM brandumo lygiai

BIM brandumo sąvoka tapo priimtinu apibrėžimu, kokius kriterijus reikia taikyti, kad projektas atitiktų BIM reikalavimus ir padėtų įmonėms palengva pereiti nuo vieno lygio į kitą [9]. Naujiems vartotojams gali būti lengva susieti 2D, 3D, 4D ir 5D su BIM 0, 1, 2 ir 3 lygiais. Nustatant

brandos lygius, organizacijos gali įsivertinti, kurioje lyginamosios bazės dalyje šiuo metu yra [10]. Skaitmeninio informacinio modeliavimo lygių apibrėžimai pateikiami žemiau.

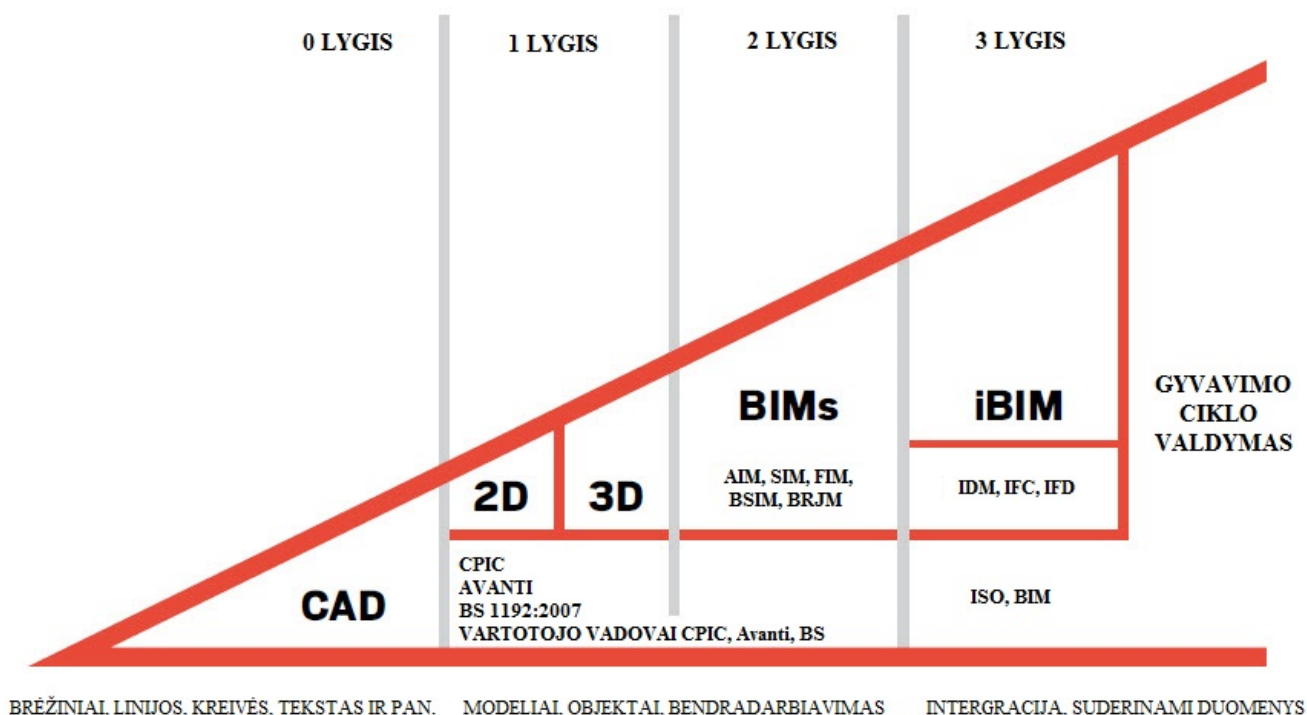
0 lygis – paprasčiausia braižymo forma, tai reiškia, kad nėra bendradarbiavimo su 3D programomis. Naudojamos programos 2D CAD pagrindu arba braižoma rankomis. Kompiuterio pagalba parengti brėžiniai užsakovui ir statybininkams pateikiami popieriuje ir skaitmeniniame „pdf“ formate. [11, p. 4].

1 lygis – 3D ir 2D mišinys. Paprastai tai apima 3D CAD koncepcinį darbą, o 2D – norminių dokumentų patvirtinimą ir gamybinės informacijos rengimą (detalizavimas) [9].

2 lygis – modeliai, kuriuos sudaro 3D geometriniai ir negrafiniai duomenys, rengiami skirtingų šalių (projektuotojų) per projekto gyvavimo ciklą, atsižvelgiant į bendrą duomenų aplinką [12]. Kompiuteriniai brėžiniai ir modeliai palaiko ryšį skaitmeniniu būdu [11, p. 4].

3 lygis – dar nėra visiškai apibrėžtas, tačiau šios vizijos apibūdinimas pateikiamas JK vyriausybės 3 lygio strateginiame plane [9]. JK vyriausybės 3 lygio vizija – užtikrinti vientisą perėjimą nuo 2 BIM lygio ir statybos strategijos į 3 lygį, kurioje technologijos ir darbas su technologijomis yra reikšmingas faktorius [13, p. 13]. Kompiuteriniai brėžiniai ir modeliai, sustiprinti sprendimų palaikymui, skaitmeniniu būdu perduodami per centralizuotą duomenų centrą [11, p. 4].

Įliustruoti BIM brandumo lygiai pateikti paveikslėlyje (žr. 1.1 pav.).



1.1 pav. BIM brandumo lygiai [14]

1.1.2 Trijų dimensijų (3D) skaitmeninis modelis

3D modelis yra virtualus maketavimo modelis, kuris vizualiai, be kitų būdų, išreiškia trijų pirminių erdvių matmenų (plotis, aukštis ir gylis) projektavimo koncepcijas [15, p. 242]. Trijų dimensijų skaitmeninis modeliavimas, ko gero, yra labiausiai pažįstamas BIM – grafinės ir negrafinės informacijos kūrimo procesas ir dalijimasis šia informacija bendroje duomenų aplinkoje [16]. 3D geometrijos modeliavimas žinomas daugiau kaip 40 metų, tobulintas mechaninėse ir gamybos srityse, o pastaruoju metu tobulinamas ir statybos informacinio modeliavimo (BIM) srityje [17, p. 369]. Tiek inžinieriai, tiek statybų specialistai teigia, kad trijų dimensijų modeliai reikalauja daugiau tikslumo, išsamumo ir laiko, lyginant duomenų įvedimą su ankstesne praktika, kur 2D brėžiniai leisdavo statybos įmonėms priimti trūkštamus sprendimus statybvietėje [11, p. 2]. Nors 3D geometrijos ir topologijos pagrindai buvo gerai išvystyti nuo devintojo dešimtmečio, o privalumai, kurios galima panaudoti įvairiose geografinės erdvės pasaulio ir BIM srityse neaprepiama, buvo nustatyta, kad integracija į duomenų bazių valdymą sistemoje buvo lėta [17, p. 370]. Keletas architektūros specialistų teigė, kad laikas ir pastangos, investuotos į BIM modelių konstrukciją, nesuteikia naudos jų darbui, o statybos specialistai pastebėjo, kad nepaisant tos pačios programinės įrangos iš architektų gauti BIM modeliai dažniausiai yra mažai naudingi statybos tikslais ir turi būti visiškai rekonstruoti [11, p. 2]. 1.3 lentelėje pateiktas trijų dimensijų skaitmeninio modeliavimo panaudojimas statybos projektuose.

1.3 lentelė

3D modeliavimo panaudojimas statybos projektuose [18], [19]

3D modeliavimas
<ul style="list-style-type: none">• Architektūrinis, konstrukcinis, inžinerinis BIM modelis• Pasivaikščiavimas po trimatį modelį• Susikirtimų aptikimas• Projekto vizualizacijos• Virtualus maketas• Gamyba

Pateiktas 3D skaitmeninis modelis (žr. 1.2 pav.), kuriame pavaizduota, kaip sudaromas virtualus modelis iš atskirų erdvių komponentų (kolonų, sienų, stogo ir pan.).

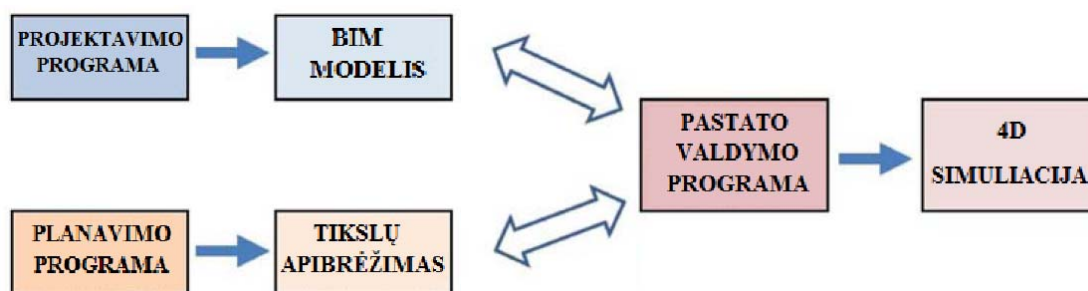


1.2 pav. Trijų dimensijų skaitmeninis modelis sudarytas iš atskirų erdvių elementų [20]

1.1.3 Keturių dimensijų (4D) skaitmeninis modelis

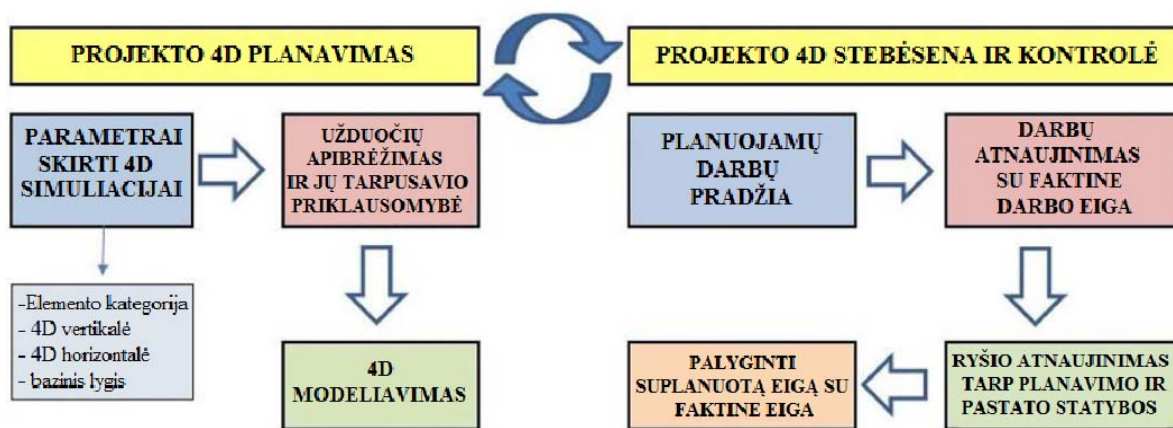
Daugiau nei dešimtmetį atliekami tyrimai parodė, kad 4D skaitmeninis modeliavimas gali pagerinti statybos planavimą ir gamybos kontrolę, saugių darbo vietų įrengimą bei atliekų tvarkymą [21, p. 190]. Daugelyje tyrimų įvertinta 4D modeliavimo pridėtinė vertė, įskaitant ir įvairius statybos planavimo aspektus: idėjų perdavimą (palengvinantį bendradarbiavimą ir švietimą), logistiką, statybvietės kūrimą bei žemės darbus, konstruktyvumo ir veiklos planavimo alternatyvų analizę [22, p. 1]. Vis didėjantis 4D BIM naudojimas statybose parodo galimybes pasinaudoti šiais privalumais naujose skaitmeninės valdymo sistemose, papildančiose vaidmenų reorganizavimą, naujas praktikas ir darbo eigas, o ne tik kaip konstruktyvumo analizės ir statybų pažangos stebėjimo vietoje priemonę [21, p. 190]. Modeliavimas susiejamas su statybos darbais, planuojant 3D objektus pastato modelyje, kad būtų galima modeliuoti statybos procesą. 4D modeliavimas gali būti sukurtas įvairiuose statybos projekto etapuose, siekiant analizuoti dizainą ir jo konstruktyvumą, taip pat statybos planavimą ir stebėseną [23, p. 59]. „4D modulio tema Lietuvoje menkai nagrinėta, o 4D CAD praktinėje veikloje beveik netaikomas. 4D efektyvumo vertinimas yra praktiškai nenagrinėta sritis Lietuvos statybos pramonėje“ [2, p. 37].

Garrido, Calcedo ir Rodriguez [24, p. 379] grafiškai pavaizdavo 1.3 paveikslėlyje, iš ko susideda 4D BIM modelis. Kaip matoma paveikslėlyje, statybininkai ir projektuotojai atlieka projektavimo darbus atskirai, tik galutinis rezultatas (kai projektavimo procesas yra baigtas) – projekto sujungimas į vientisą dokumentų, kuriame pateikiama visa informacija – 3D + laikas.



1.3 pav. 4D BIM modelio sudėtis [24, p. 379]

Garrido, Calcedo ir Rodríguez [24, p. 380] taip pat grafiškai pavaizdavo (žr. 1.4 pav.) statybos darbų planavimo ir faktinę statybos priklausomybę. Paveikslėlyje matomas suprojektuotas statybos darbų planavimo procesas, kuris turi būti atnaujinamas atsižvelgiant į faktinę statybų eigą. Tokiu būdu sėkmingai stebima pastato statyba ir esant reikalui keičiamas darbų planas.



1.4 pav. 4D BIM planavimas, stebėseną ir kontrolę [24, p. 380]

1.4 lentelėje pateiktas keturių dimensijų skaitmeninio modeliavimo panaudojamas statybos projektuose.

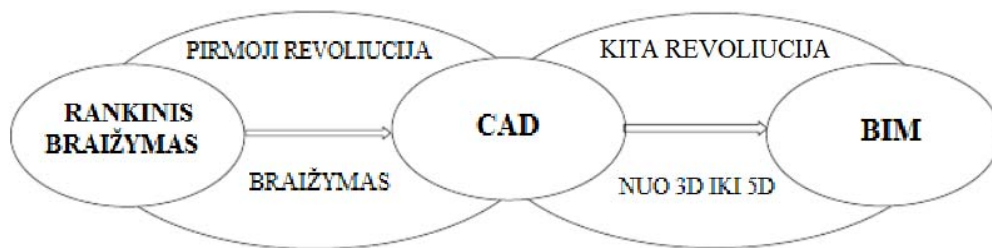
1.4 lentelė

4D modeliavimo panaudojimas statybos projektuose [18], [19]

4D planavimas
<ul style="list-style-type: none"> • Statybos planavimas ir valdymas • Darbo grafikų vizualizavimas • Lean planavimas • Virtualus mokėjimų patvirtinimas

1.1.4 Penkių dimensijų (5D) skaitmeninis modelis

Statinio informacinio modeliavimo galimybės ir iššūkiai yra susiję su projekto išlaidų valdymu [25, p. 194]. BIM technologijos mokslinių tyrimų ir taikymo kryptis statybų pramonėje yra realizuoti statybos modelio pasidalijimą, integruojant BIM 5D platformą į visą statybos projekto informaciją, vienodą modeliavimo normą ir modeliavimo standartus [26, p. 601]. Dabartiniai 5D BIM modeliai dažniausiai naudojami projekto sąnaudoms vertinti ir leidžia įvairiems procesams vizualizuoti statybos darbų eigą bei su laiku susijusias išlaidas [27, p. 4]. Kadangi kiekybinis nustatymas vis dažniau tampa automatizuotas, o skaitmeniniai modeliai išplečia projekto išlaidų valdytojo vaidmenį, reikia atitinkamai prisitaikyti prie sudėtingesnių išlaidų valdymo paslaugų, apimančių 4D laiko ir 5D sąnaudų modeliavimo bei dalijimosi jų informacija (duomenimis) su projekto komanda [25, p. 194]. Kiekvienas profesionalas supranta, kaip keistis realiuoju laiku bei informacija apie pastatus per tą pačią informacinę platformą. Skirtingos projekto dalys kiekviename etape atliekamos tame pačiame pastato informacijos modelyje [26, p. 602]. Paveikslėlyje (žr. 1.5 pav.) pavaizduotos dvi technologinės revoliucijos statybos pramonėje.



1.5 pav. Statybos pramonės technologinės revoliucijos [25]

1.5 lentelėje pateiktas penkių dimensijų skaitmeninio modeliavimo panaudojimas statybos projektuose.

1.5 lentelė

5D modeliavimo panaudojimas statybos projektuose [18], [19]

5D vertinimas
<ul style="list-style-type: none"> • Sąmatų sudarymas • Kainos vertinamas realiu laiku • Kiekybinė ištrauka, skirta išsamiai apskaičiuoti sąnaudas

1.1.5 Šešių dimensijų (6D) skaitmeninis modelis

Norint geriau suvokti visą nekilnojamojo turto kainą, kur dauguma pinigų proporcingai išleidžiami, turėtų būti priimami geresni sprendimai dėl išlaidų ir tvarumo [16]. Racionalizuoti šį procesą buvo sukurtas 6D BIM. Šešių dimensijų skaitmeninis modelis daug dėmesio skiria jau sukurtoms operacijoms ir pastatų energijos suvartojimo stebėjimui, tikrinimui, vertinimui bei analizavimui [28, p. 941]. Modelis labiausiai orientuotas į veiklos efektyvumo didinimą ir akivaizdžiai sutampa su pastato gyvavimo ciklo rezultatais bei tvarumu [29, p. 301]. Kai kurie dabartiniai 6D BIM (BIM ir tvarumo) modeliai statybos pramonėje naudojami tvariam medžiagų pasirinkimui statybos projekte [30, p. 61]. Tuo tarpu Wong ir Zhou išnagrino šešių dimensijų skaitmeninio modeliavimo trūkumus ir nustatė, kad dabartiniai modeliai neatitinka tvarios statybos [28, p. 941]. Turint skaitmeninį modelį, suteikiama veiksminga ir greita prieiga prie informacijos apie pastato komponentus – tai padeda sumažinti darbo sąnaudas, sutaupyti laiko naudingiems duomenims nuskaityti ir išvengti neveiksmingų sprendimų [31, p. 3]. 1.6 lentelėje pateiktas 6D skaitmeninio modeliavimo panaudojimas statybos projektuose.

1.6 lentelė

6D modeliavimo panaudojimas [18], [19]

6D eksploatacija
<ul style="list-style-type: none"> • Statinio gyvavimo ciklo stebėsena • Duomenų rinkimas apie statinį • Energijos suvartojimo analizė • Tvaraus elemento parinkimas

Statinio gyvavimo ciklo stebėseną – modelis, sukurtas projektuotojo ir atnaujinamas visą statybos etapą [32, p. 291]. Tai virtualus realaus pastato modelis.

Duomenų rinkimas apie statinį. Jutikliai gali įrašyti duomenis, susijusius su pastato eksploataavimo etapu, panaudojant BIM, kad būtų galima modeliuoti ir įvertinti energijos vartojimo efektyvumą, stebėti pastato gyvavimo ciklo išlaidas ir optimizuoti jo ekonominį efektyvumą [32, p. 291].

Galimybių valdymo veiklos sritys, kuriose sėkmingai įdiegtos BIM programos:

- mobilių išteklių lokalizavimas;
- skaitmeninis modelis su realaus laiko duomenų prieiga;
- erdvės (ploto) valdymas;
- renovavimas / modernizavimas ir galimybės;
- pastato priežiūra;
- energijos analizė ir kontrolė;
- saugumas / avarinis valdymas [29, p. 301].

Apibendrinant galima teigti, kad skaitmeninis pastato modeliavimas (BIM) yra sudėtingas procesas, kuris reikalauja žinių, kruopštumo ir detalumo. Taikant BIM metodologiją, statybininkai išvengia nenumatytų darbų, nereikia improvizuoti statybų aikštelėje. Projektinėje stadijoje, keičiantis erdviniais modeliais su skirtingų projektų dalių rengėjais, minimizuojamas klaidų skaičius. Skaitmeninėje erdvėje užsakovui galima lengvai ir suprantamai perteikti pastato gabaritus ir spalvinę gamą.

1.2 BIM pasaulyje ir Lietuvoje

1.6 paveikslėlyje pateiktos lyderiaujančios šalys BIM naudojimo ir diegimo mastu. Pažymėti skaičiai pasaulio žemėlapyje atitinka valstybės geografinę padėtį ir užimamą vietą pagal skaitmeninio modeliavimo naudojimo mastą. Po paveikslėliu yra išvardintos šalys pagal plane pažymėtus skaičius.



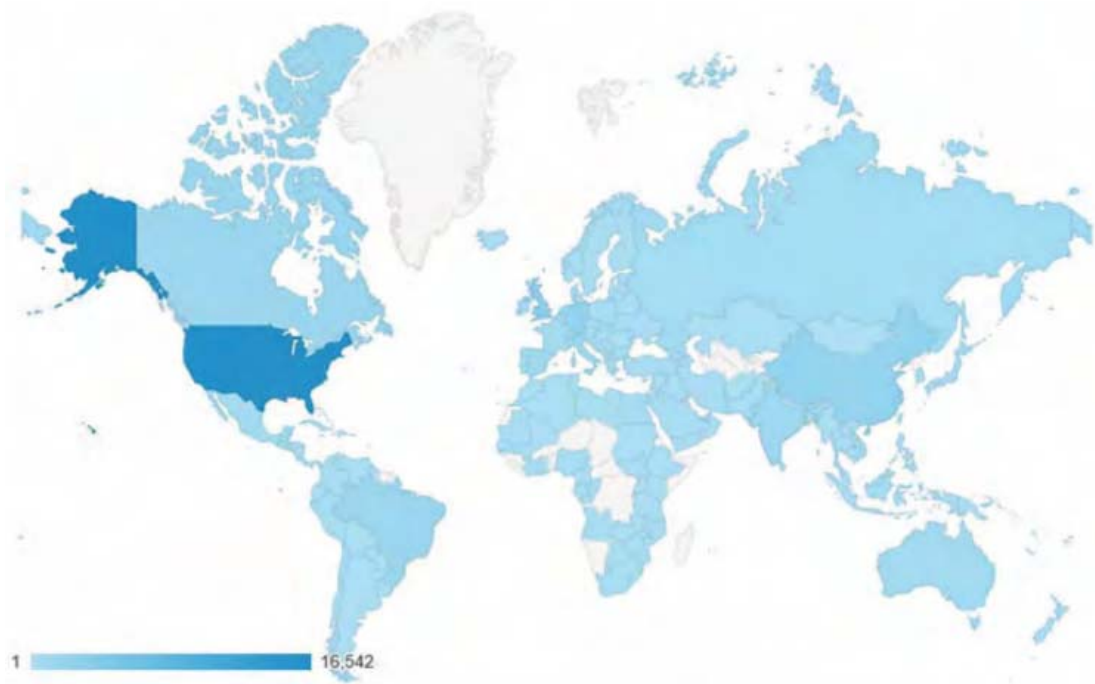
1. JAV; 2. Skandinavijos šalys; 3. Jungtinė karalystė;

4. Vidurio rytai; 5. Azija; 6. Australija.

1.6 pav. Lyderiaujančios šalys BIM diegime ir naudojime [33, p. 255]

1.2.1 JAV

Amerikiečiai pasaulinėje praktikoje yra plačiai pripažinti diegiamų vieningų reikalavimų statybos eksploatacijos ir priežiūros etapui autoriai [1, p. 10]. Šalis yra pasaulinė lyderė plėtojant ir įgyvendinant statybos pramonę [34, p. 484]. Nacionalinis pastatų mokslų institutas (2007 m.) įsteigė „buildingMART alliance“ (aljansą), kurio paskirtis buvo optimizuoti medžiagų sąnaudas ir laiką statyboje, taip pat padėjo supaprastinti pastatų projektavimą bei valdymą [35, p. 2]. Daugelis statybos bendrovių mano, kad BIM gali sumažinti projektų išlaidas, tai yra pagrindinė priežastis, kodėl 72% kompanijų ją naudoja [36, p. 3200]. Kadangi „buildingSMART alliance“ paskelbė naujausią šalies BIM standarto leidimą (2015 m.), daugiau nei 42 000 vartotojų iš 140 šalių parsisiuntė „National BIM Standard-United States“ (NBIMS-US) 3 versiją (parsisiuntimų statistiką žiūrėti 1.7 pav.) [37, p. 26].



1.7 pav. Šalys, kurios parsisiuntė Amerikietišką BIM standartą [37, p. 26]

1.2.2 Suomija

Skandinavijos regionas, pagal BIM įgyvendinimo lygį, yra antras po JAV [33, p. 256]. Suomijoje veikia „buildingSMART Finland“ organizacija. Ji siekia platinti informaciją apie BIM ir padėti jos narių įmonėms sėkmingai įgyvendinti skaitmeninio modeliavimo procesus [38]. Suomijos statybos pramonės konfederacija (2002 m.) nusprendė, kad BIM bus pagrindinė šios šalies statybos pramonės ateities kryptis [39, p. 25]. Šalyje galiojantys tarptautiniai BIM standartai: IFC, DD, IDM, MVD ir BCF. Suomijoje taip pat galioja „coBIM“ – bendrieji nacionaliniai BIM reikalavimai, pirmą kartą paskelbti 2007 m. ir atnaujinti 2012 m., prie atnaujinimo prisidėjo „buildingSMART Finland“ organizacija. Gairės yra nemokamos ir išleistos anglų, suomių, estų ir ispanų kalbomis. Jų sudėtis ir individualus vertimas į lietuvių kalbą pateiktas 1.7 lentelėje.

1.7 lentelė

„coBIM“ gairių sudėtis [40]

Gairės originalus pavadinimas anglų kalba	Individualus vertimas į lietuvių kalbą
<i>Series 1: General part</i>	1 serija: Bendroji dalis
<i>Series 2: Modeling of the starting situation</i>	2 serija: Pradinės situacijos modeliavimas
<i>Series 3: Architectural design</i>	3 serija: Architektūrinis projektavimas
<i>Series 4: MEP design</i>	4 serija: MEP projektavimas
<i>Series 5: Structural design</i>	5 serija: Konstrukcinis projektavimas
<i>Series 6: Quality assurance</i>	6 serija: Kokybės užtikrinimas
<i>Series 7: Quantity take-off</i>	7 serija: Medžiagų sąnaudos
<i>Series 8: Use of models for visualization</i>	8 serija: Modelių naudojimas vizualizacijoms

1.7 lentelės tęsinys kitame puslapyje

<i>Series 9: Use of models in MEP analyses</i>	9 serija: Modelių naudojimas MEP analizei
<i>Series 10: Energy analysis</i>	10 serija: Energijos analizė
<i>Series 11: Management of a BIM project</i>	11 serija: BIM projekto valdymas
<i>Series 12: Use of models in facility management</i>	12 serija: Modelių naudojimas įrenginių valdyme
<i>Series 13: Use of models in construction</i>	13 serija: Modelių naudojimas statyboje

1.2.3 Jungtinė Karalystė

Jungtinėje Karalystėje vyriausybė įvedė BIM įgyvendinimo strategiją statybos pramonei. Daugelis mano, kad ji yra ambicingiausia ir labiausiai pažengusi BIM įgyvendinimo programa pasaulyje [34, p. 484]. Programa įsigaliojo 2011 metais, kurioje buvo numatytas tikslas adaptuoti projektavimo įmonėms ir nuo 2016 metų, rengiant vyriausybės projektus yra privalomas 2 brandumo lygio BIM projektas. Sprendimas, kad skaitmeninis modeliavimas bus privalomas visose viešojo sektoriaus sutartyse nuo 2016 m., turėjo didžiulės įtakos šalies įmonių susidomėjimui BIM programomis [41, p. 89]. NBS (2016 m.) apklausa parodė, kad 54% statybos specialistų naudojo BIM pramonėje, kuri, palyginti su 2012 m., padidėjo 23%, o per vienerius metus šis skaičius turėtų padidėti iki 86% [39, p. 40]. Kita vertus, yra ir sunkumų įgyvendinant projektų skaitmeninimą statybos praktikoje, kaip antai:

- įveikti pasipriešinimą pokyčiams ir suprasti BIM potencialą bei vertę per 2D projektavimą;
- pritaikyti esamus darbus naujiems procesams;
- mokyti žmones ar rasti darbuotojus, kurie moka dirbti BIM programomis;
- suprasti reikalingus aukščiausios klasės aparatūros išteklius ir tinklų įrenginius, kad būtų galima efektyviai naudoti programas;
- būtinas bendradarbiavimas, integracija ir sąveika tarp konstruktorių, architektų ir inžinierių [42, p. 189].

1.2.4 Kinija

„China BIM Union“ – organizacija, įsteigta vystyti, skatinti BIM technologijas, plėsti standartų bei programinės įrangos naudojimą, įgyvendinti standartizavimą ir pagerinti pramonės konkurencingumą [43]. 2015 m. buvo prognozuojama, kad per artimiausius dvejus metus, organizacijų, kurios turės aukštą BIM įgyvendinimo lygį (tai reiškia, kad bent 30% projektų rengiami naudojant BIM), procentas išaugs dvigubai (89 % augimas architektams ir 108 % augimas rangovams) [44, p. 1].

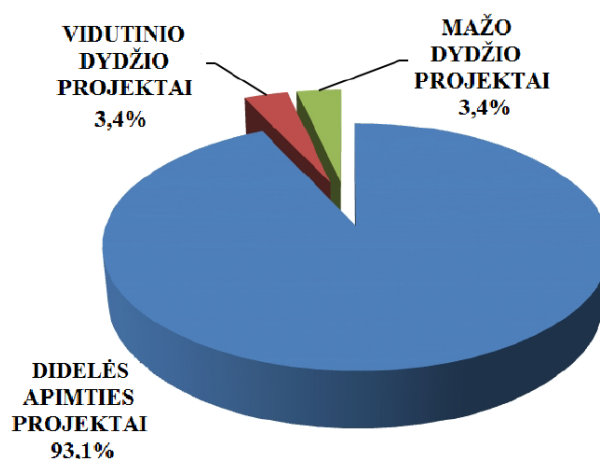
Liteng ir Jun Kim [45] atliko tyrimą, palygindami technologijų naudojimą ir jų supratimą tarp JAV bei Kinijos šalių (žr. 1.8 lentelę). Rezultatai rodo, jog šiuolaikinių technologijų naudojimas Kinijoje vėlavo tik vienerius metus. BIM naudojimui Amerikoje didelę įtaką darė politikos įsikišimas, kuris davė teigiamą įtaką projektuotojams ir rangovams. Tuo tarpu Kinijos valdžia į tai žiūrėjo pasyviai. Nepaisant to, Kinija pasaulyje yra penktoje vietoje pagal skaitmeninio modeliavimo naudojimą [33].

1.8 lentelė

Technologijų naudojimo ir supratimo palyginimas tarp JAV ir Kinijos [45, p. 414]

	JAV	Kinija
Pradžios laikas	pradėjo naudoti „Autodesk“ įrangą 2002 m.	pradėjo naudoti 2003 m.
Politika	įstatymai ir standartai	apsvarstymas ir reklama
Suvokimas apie technologijų naudą	aukštas	žemas
Nauda įmonėms	įmonės pajėgumas yra geresnis	projektavimas ir statyba vyksta atskirai
Programinė įranga	legali	didžioji dalis nelegali (piratinė)
Įranga	naudojama profesionali įranga	įrangos trūkumas

Skaitmeninio modeliavimo naudojimo mastas Kinijoje, pagal projektų dydį, pateiktas 1.8 paveikslėlyje. Pagal skales, pastatai, kurių bendrasis plotas didesnis nei 20 000 m² yra priskirti prie didelės apimties projektų. Mažo dydžio projektas, kurio bendrasis plotas yra mažesnis nei 5 000 m², o kiti – vidutinio dydžio projektai.



1.8 pav. BIM naudojimo mastas pagal projekto dydį [46, p. 1110]

1.2.5 Australija

Australijoje naudojamas NATSPEC nacionalinis BIM vadovas, kuris įsigaliojo 2011 metais, paskutinį kartą koreguotas 2016 metais. Mokslininkai [36] atlikto interviu tipo tyrimą, kuriame dalyvavo 25 statybos bendrovės iš dviejų didžiųjų miestų Kvinslendo valstijoje ir nustatė, kad 51 % įmonių, rengiant statybos projektus, naudoja BIM. Ši šalis, vykdamas SIM projektus, patirties semiasi

iš Jungtinės Karalystės praktikos. Hosseini ir kt. [47] atliko tyrimą ir nustatė, kad mažoms įmonėms BIM naudojimas yra pernelyg rizikingas, nes valstybės lygiu nepakankamai šviečiama visuomenė apie modeliavimo privalumus bei pritaikymą. Kita vertus, Australijos statybos pramonėje dominuoja vidutinio dydžio įmonės, kurios sudaro 98 % visų statybų verslų ir turi didžiausią dalį pajamų [48, p. 257]. Maždaug pusė vartotojų (2014 m.) nurodė, kad jie jau daugiau nei trejus metus užsiima BIM veikla, o tai prilygsta kitoms lyderiaujančioms šalims [49, p. 4]. Australijoje (2016 m.) skaitmeninio modeliavimo įgyvendinimas buvo 20 % mažesnis nei Amerikoje [48, p. 257]. McGraw (2014 m.) pranešė, kad 61 % Australijos projektavimo specialistų pasiekė aukštą ar labai aukštą skaitmeninio modeliavimo lygį, ir buvo prognozuojama, kad iki 2016 m. bus lygus 77 % [39, p. 15]. McGraw (2013 m.) atliko tyrimą apie naudą, kurią gauna architektai, inžinieriai ir rangovai, naudojantys BIM (žr. 1.9 lentelė). Procentinė išraiška reiškia, kiek pagerėjo situacija.

1.9 lentelė

Top 5 BIM privalumai, kuriuos gavo architektai, inžinieriai ir rangovai [49, p. 5]

Nauda	Architektai / Inžinieriai	Rangovai
Sumažintos klaidos ir praleidimai	50 %	38 %
Bendras įmonės įvaizdžio, kaip pramonės lyderio, tobulinimas	36 %	43 %
Darbų perdarymo sumažėjimas	31 %	28 %
Gebėjimas dirbti kartu su savininkais ar projektavimo įmonėmis	27 %	24 %
Naujų paslaugų siūlymas	24 %	14 %

1.2.6 Europa

Organizacijos „EUBIM“ tikslas yra sukurti BIM vadovą (išleido 2016 m.), kuris būtų vieningai taikomas Europoje, vykdamas viešuosius pirkimus [50]. Ataskaitose prognozuojama, kad plačiau diegiant BIM iki 2025 m. bus galima sutaupyti 15 - 25 proc. lėšų pasaulinėje infrastruktūros rinkoje, ir būtent šis technologiškai pažangus pokytis statybos sektoriuje, tikriausiai, bus didžiausias [51, p. 4]. Europos Komisija suteikė finansavimą ir paramą „ES BIM“ darbo grupei, kad ji susietų visos Europos nacionalines BIM programas, formuluodama bendrą požiūrį [51, p. 21]. 1.10 lentelėje pateikta perėjimo prie bendro požiūrio nauda.

1.10 lentelė

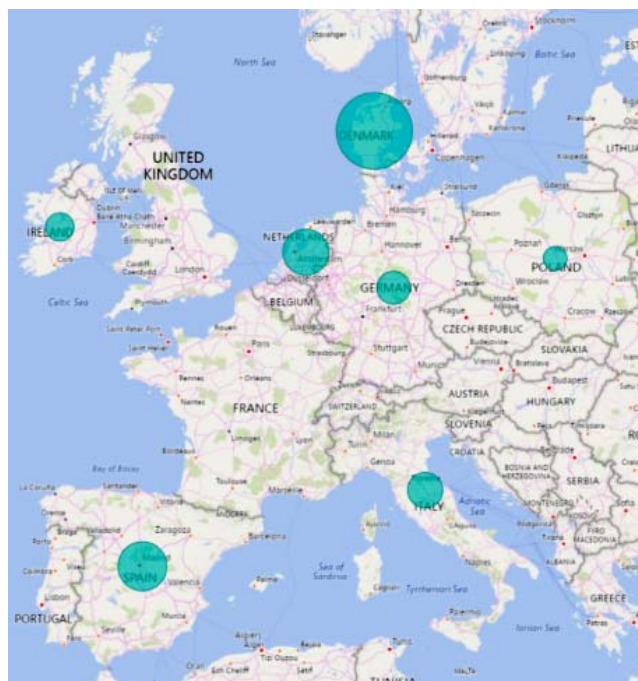
Perėjimo prie bendro BIM požiūrio nauda [51, p. 21]

Bendro Europos požiūrio nauda	Naudos aprašymas
Nacionalinių veiksmų spartinimas	Bendradarbiaudamos ir dalydamosi geriausia patirtimi, valstybės gali paspartinti savo BIM iniciatyvas, mokydamosi iš kitų.

1.10 lentelės tęsinys kitame puslapyje

Sąnaudų mažinimas	Bevaisių pastangų ir nesėkmingų investicijų gali būti kur kas mažiau, kai pakartotinai naudojamos jau pasiekta pažanga ir turimomis žiniomis.
Veiksmingos ir patikimos programos	Remdamosi įgytomis žiniomis ir praktine patirtimi, iš kurios žinoma, kokios programos yra sėkmingos, pavienės valstybės gali pagrįstai sukurti ir įgyvendinti veiksmingas iniciatyvas.
Tarptautinė kritinė masė	Panašaus požiūrio į BIM skatinimą perdavimas kaimyninėms valstybėms didins kiekvienos nacionalinės programos pagrįstumą ir veiksmingumą.
Su prekyba susijusių kliūčių augimui mažinimas	Suderinus Europos požiūrį, bus skatinama prekyba ir tarpvalstybinio augimo galimybės. Jei būtų nustatomi skirtingi nacionaliniai požiūriai, tai tikriausiai keltų painiavą statybos sektoriuje, atgrasytų nuo darbo užsienyje ir didintų pramonės sąnaudų našą, nes reikėtų laikytis skirtingų nacionalinių nuostatų.
Skatinimas rengti tarptautinius standartus ir susieti programinę įrangą	Europa turi galimybę kolektyviai skatinti rengti standartus, skirtus naudoti tarptautinėse rinkose. Taip užtikrinama atvira konkurencija tiekimo grandinėje ir atviras dalijimasis informacija tarp įvairių programinės įrangos platformų.

Azzouz ir kt. [52] atliko tyrimą ir nustatė, kurios Europos šalys geriausiai įsisavina skaitmeninį modeliavimą. Rezultatai pateikti 1.9 paveikslėlyje - kuo didesnis apskritimo plotas, tuo didesnis skaitmeninio modeliavimo įsisavinimas. Remiantis paveikslėliu, galima sudėlioti šalis pagal BIM naudojimo mastą, tai būtų: 1. Danija, 2. - 3. Ispanija - Olandija, 4. - 5. Vokietija – Italija, 6. Airija ir 7. Lenkija. Autoriai taip pat paminėjo, jog sunku nustatyti skaitmeninio modeliavimo mastą Europoje, nes apie didžiąją dalį šalių yra atlikta mažai tyrimų arba jie neišsamūs.



1.9 pav. Europos šalys, kurios turi didžiausią BIM įsisavinimą [52]

McGraw (2010 m.) [53, p. 8] atliko tyrimą apie BIM priėmimą ir naudojimą (žr. 1.11 lentelė). Iš atlikto tyrimo rezultatų galime spręsti, jog architektai turi aukščiausią BIM priėmimo ir

įgūdžių lygį. Beveik pusė architektų (46%) priėmė skaitmeninį modeliavimą. Beveik 4 iš 10 inžinierių (37 %) naudoja BIM. Rangovai turi žemiausią skaitmeninio modeliavimo lygį - jį naudoja tik 23 %.

1.11 lentelė

BIM priėmimas ir naudojimas Europoje [53, p. 8]

	Architektai	Inžinieriai	Rangovai	Išviso
Mes nenaudojame BIM	54 %	63 %	77 %	64 %
Mes kuriame (autorinius) modelius	23 %	15 %	6 %	16 %
Mes naudojame BIM įrankius, kad galėtume analizuoti modelius, bet ne kurdami savo modelius	4 %	7 %	11 %	6 %
Mes kuriame ir analizuojame modelius	19 %	15 %	6 %	14 %

Skaitmeninio modeliavimo naudojimas **Čekijoje** didėja, iš dalies dėl BIM tarybos veiklos. Atliktame „NBS International BIM Report“ tyrime teigiama, kad Čekijos Respublikoje, beveik pusė iš 157 respondentų žino apie BIM, tačiau tik 13 % ją naudoja [39, p. 22]. **Prancūzijoje** laipsniškas BIM priėmimas prasidėjo nuo nustatyto laiko - 2017 m. BIM turėjo racionalizuoti visus viešojo sektoriaus projektus [54]. **Vokietijos** vyriausybė yra svarbi skleidžiant BIM privalumus, nuo 2020 m. planuojama taikyti 1 brandumo lygio skaitmeninį modeliavimą viešosiose pirkimuose [51, p. 35]. Skaitmeninis modeliavimas **Portugalijoje** yra labai pasyvus. Portugalijos bendrovės, kurios dirba su BIM, parduoda savo paslaugas kitoms šalims, iš esmės darbas vis dar vyksta popieriuje ir labai primityviai [54]. **Belgijos** statybos tyrimų institutas (BBRI) pranešė, jog padėtis, naudojant skaitmeninį modeliavimą yra kritinė, kadangi šalis neturi apibrėžtų standartų bei statybos pramonė nesugeba panaudoti BIM privalumų [39, p. 17].

Lenkija. Juszczak [55] atliko internetinį tyrimą, kuriame dalyvavo 43 korespondentai, dirbantys statybos pramonėje iš įvairių darbo pozicijų. Tyrimo rezultatai parodė, jog 23 % apklaustųjų naudoja BIM savo darbe, o 81 % procentas pripažino, kad yra girdėję apie BIM koncepciją. Lenkija naudoja Jungtinės Karalystės teigiama praktika ir priimtais sprendimais dėl skaitmeninės statybos. Šalyje nedidelės bendrovės (2012 m.) įkūrė nevyriausybines organizacijas „BIM klaster“. Iniciatoriai yra žmonės, kurie glaudžiai bendradarbiauja su statybos pramone. Šios asociacijos tikslas – remti ir skatinti novatorišką technologijų naudojimą statybos pramonėje.

Ispanijoje nuo 2020 m. numatytas vyriausybės planas viešosiose pirkimuose naudoti skaitmeninį modeliavimą visuose projektavimo ir statybos etapuose [56]. „Es.BIM“ – Ispanijos BIM įgyvendinimo organizacija (2016 - 2017 m.) atliko kartotines apklausas ir nustatė, kad:

- daugiau nei 90 % specialistų yra girdėję apie BIM;
- apie 25 % statybos bendrovių pradėjo naudoti BIM;
- 35 % profesionalų, dalyvaujančių projektavimo etape, naudoja BIM [57].

1.2.7 Lietuva

Lietuvoje (2014 m.) įkurta viešoji įstaiga „Skaitmeninė statyba“ – organizacija, kuri jungia statybos sektoriaus asociacijas, siekiančias skatinti ir koordinuoti šalies skaitmeninimą. Organizacija priklauso „buildingSMART“ aljansui. Lietuvoje idėja racionalizuoti statybos sektorių, diegiant skaitmeninį projektavimą, pristatyta neseniai, nors entuziastai, įkvėpti užsienio patirties, apie tai kalbėjo seniai. Ji oficialiai įtraukta į strateginės plėtros darbotvarkę (2014 m.) [58, p. 3]. Asociacija „Skaitmeninė statyba“ kiekvienais metais skatindama statybos įmones diegti BIM, rengia skaitmeninių projektų konkursą ir viešai pristato dalyvaujančius konkurse, jų darbus, suteikia galimybę pasidalinti savo gerąja ar blogąja diegimo praktika. Asociacija taip pat savo oficialiame interneto puslapyje skelbia įmonių sąrašą, kurios geba projektuoti ir taikyti BIM standartus. Nuo 2020 m. liepos 1 d. bus privaloma taikyti BIM metodus projektuojant ir statant neypatingos, ypatingos ir didelės vertės viešojo sektoriaus statinius.

Apžvelgus literatūrą, galima daryti išvadą, kad Europos sąjunga, kuri yra už tvarumą ir jį populiarina, nėra tarp pirmaujančių pasaulio šalių pagal BIM technologijų naudojimą. Tačiau situacija Europoje keičiasi, šviečiant visuomenę apie technologijų naudą. Leidžiami reikalavimai taikyti skaitmeninį modeliavimą, projektuojant valstybinės reikšmės objektus. Lyderiaujančios šalys BIM naudojime: Amerika, Skandinavijos šalys, Jungtinė Karalystė, Vidurio rytai, Azija ir Australija.

1.3 Sandėlių projektavimas

Visi naujai projektuojami, rekonstruojami ar remontuojami statiniai ir pastatai privalo būti suprojektuoti ir pastatyti taip, kad užtikrintų šešis esminius statinio reikalavimus: 1. Mechaninis atsparumas ir pastovumas; 2. Gaisrinė sauga; 3. Higiena, sveikata, aplinkos apsauga; 4. Naudojimo sauga; 5. Apsauga nuo triukšmo; 6. Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas. Pateiktus reikalavimus reglamentuoja statybos techniniai reglamentai – STR (žiūrėti 1.12 lentelė). Projektuojant sandėlius taip pat reikia vadovautis ir šiais pagrindiniais statybos techniniais reglamentais: STR 2.02.07:2012 „Sandėliavimo, gamybos ir pramonės statiniai. Pagrindiniai reikalavimai“ ir STR 2.03.02:2005 „Gamybos, pramonės ir sandėliavimo statinių sklypų tvarkymas“.

1.12 lentelė

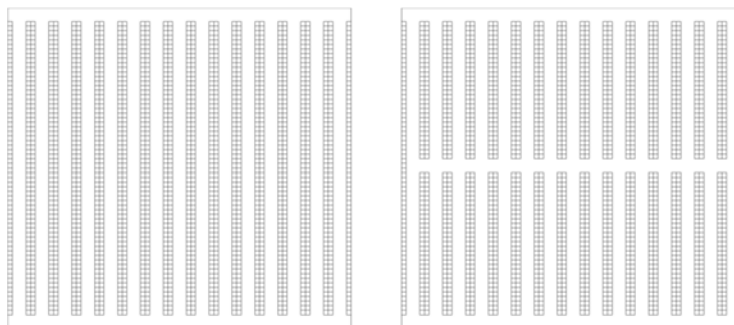
Esminius statinio reikalavimus reglamentuojantys teisės aktai

Reglamentas	Pavadinimas
STR 2.01.01(1):2005	„Esminis statinio reikalavimas „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“
STR 2.01.01(2):1999	„Esminiai statinio reikalavimai. Gaisrinė sauga“
STR 2.01.01(3):1999	„Esminiai statinio reikalavimai. Higiena, sveikata, aplinkos apsauga“
STR 2.01.01(4):2008	„Esminis statinio reikalavimas „Naudojimo sauga“

1.12 lentelės tęsinys kitame puslapyje

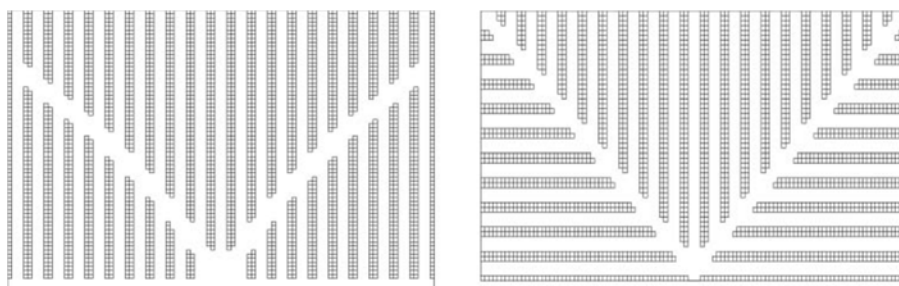
STR 2.01.01(5):2008	„Esminis statinio reikalavimas „Apsauga nuo triukšmo“
STR 2.01.01(6):2008	„Esminis statinio reikalavimas „Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas“

Pramoniniuose sandėliuose paprastai yra viengubo arba dvigubo gilumo padėklų lentynos, išdėstytos lygiagrečiai, kas tam tikru atstumu, kaip parodyta 1.10 paveikslėlyje [59, p. 171]. Surenkant užsakymus, darbuotojai keliauja per paliktą praėjimą, priklausomai nuo sandėlio dydžio, sandėliuojamų produktų įvairovės ir priešgaisrinių reikalavimų. Laisvi tarpai tarp stelažų paliekami sandėlio galuose (paveikslas kairėje) arba per vidurį ir galuose (paveikslas dešinėje).



1.10 pav. Tipinis ir dažniausiai naudojamas sandėlio stelažų išdėstymo planas [59, p. 172]

Gue ir Meller (2009 m.) [60, p. 459] pasiūlė du netradicinius sandėlio dizainus, kurie yra pateikti 1.11 paveikslėlyje. „Skraidančios V“ konstrukcijoje į tradicinį išdėstymą yra įterpiamas šiek tiek lenktos V formos praėjimas. Autoriai teigia, jog toks išplanavimas yra 10 % racionalesnis laiko sąnaudomis, lyginant su tradiciniu (žiūrėti 1.10 pav.). „Žuvies kaulo“ konstrukcija turi įvairius kampus - toks išplanavimas yra 20 % racionalesnis.



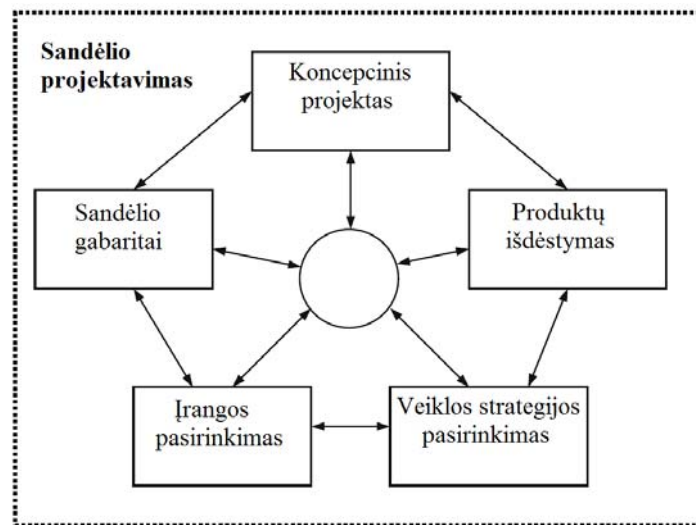
1.11 pav. „Skraidančios-V“ ir „žuvies kaulo“ formos sandėlių fragmentai [60, p. 460]

Mokslininkai [61] sukūrė algoritmą, kuris optimizuoja stelažų ilgį ir jų aukštų skaičių. Tuo pačiu ir sandėlio gabaritus, pagal sandėliuojamų produktų kiekį. Sandėlio projektuotojas, pasinaudodamas algoritmu, gali matyti kaip kinta sandėlio sąnaudos keičiantis vienam ar keliems parametrams. Algoritmo prielaidos:

- sandėlyje medžiagos sandėliuojamos atsitiktine tvarka;
- žinomas stelažų aukštų skaičius;

- sandėlyje naudojamas rankinis užsakymų rinkimas naudojant „S“ formos praėjimą tarp stelažų (žr. 1.10 pav. kairėje);
- pakrovimo - iškrovimo rampa yra per sandėlio vidurį statmenai stelažo ilgiui;
- medžiagos paėmimo laikas tiesiškai skiriasi nuo stelažo ilgio;
- darbo sąnaudos skiriasi priklausomai nuo pasirinkto produkto vienetų skaičiaus [61, p. 1158].

Autoriai [62, p. 539] teigia, jog sandėlio projektavimas apima penkis pagrindinius sprendinius: koncepcinis projektas, stelažų išdėstymas, sandėlio gabaritai, įrangos pasirinkimas ir veiklos strategijos pasirinkimas (žr. 1.16 pav.).



1.12 pav. Penki pagrindiniai sandėlio projektavimo sprendiniai [62, p. 540]

1.3.1 Ergonomika

Nemaža dalis darbuotojų, dirbančių sandėliavimo sektoriuje, atlieka įvairias užduotis, įskaitant produkcijos ženklavimo, mažmeninių prekių siuntų gabenimą, atsargų valdymą, lengvą surinkimą, užsakymų įvedimą ir įvykdymą, pakavimą, kainų žymėjimą bei transportavimo susitarimus [63]. Tam, kad būtų kokybiškai ir greitai atliekamas darbas, būtinas patogus sandėlio išplanavimas, saugaus darbo užtikrinimas, užduočių planavimas bei kokybiška, lengvai valdoma darbo įranga (smulkūs įrankiai, technologinė įranga, prietaisai ir pan.).

Sandėlio užduotys gali būti suskirstytos į tris kategorijas:

- medžiagų padėjimas ir išieškojimas;
- pakavimas;
- saugojimas ir pristatymas [63].

Padėjimas ir išieškojimas – apima sandėliuojamų elementų išdėstymą lentynose ir jų išieškojimą. Šios užduotys gali būti atliekamos tiek rankiniu, tiek mechaniniu būdu. Pakavimas –

gautų prekių paruošimas siuntimui. Saugojimas ir pristatymas – siunčiamų prekių saugos užtikrinimas iki prekės perdavimo klientui.

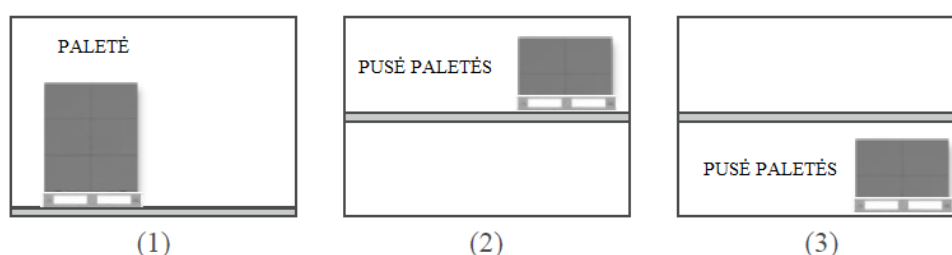
Svarbu į ergonomikos vertinimus įtraukti žmogaus veiklos analizę, dėl griežtos sąveikos tarp našumo, judesio efektyvumo bei veiklos saugos [64, p. 1]. Buvo sukurta daug metodų, kurie padėtų inžinieriams ar vadovams įvertinti netinkamas padėtis ir susijusią veiklą keliose pramonės srityse. Dažniausiai naudojami metodai ir jų aprašymai pateiktas 1.13 lentelėje.

1.13 lentelė

Dažniausiai naudojamų ergonomikos metodų klasifikacija [64, p. 2]

Metodas	Paiškinimas
BORGO skalė	paprastas fizinio aktyvumo intensyvumo lygio metodas
OWAS - Ovako darbo analizės sistema	su darbu susiję sutrikimai, esant 4 pagrindinėms kūno dalims be išsamios informacijos apie viršutines galūnes, tikrinant dažnį ir laiką, paimtą kiekvienoje pozoje
RULA - greitas viršutinių kūno dalių įvertinimas	greitas viršutinių kūno dalių apribojimų vertinimas
REBA - greitas viso kūno įvertinimas	greitas viso kūno įvertinimas ir pabrėžti greitą pozų pasikeitimą
OCRA profesinis kartojimas	viršutinių galūnių pasikartojančių judesių vertinimo kontrolinis sąrašas
NIOSH - nacionalinis profesinės saugos ir sveikatos institutas	kėlimo lygis, apibrėžiantis rekomenduojamo svorio ribojimą

Mokslininkai [65] atliko tyrimą apie tipinę sandėlio užsakymų surinkimo veiklą, naudojant OWAS metodą. Užsakymai buvo surenkami iš trijų skirtingų palečių išdėstymo alternatyvų, kurios pavaizduotos 1.13 paveikslėlyje. Įvertintos skirtingos pakėlimo alternatyvos: 1. paletė pilna ir yra ant grindų, 2. pusė paletės, kuri pakelta nuo grindų per 0,85 m ir 3. pusė paletės, kuri pastatyta ant grindų. Buvo nustatyta, kad visi trys metodai atitinka ergonomines vertybes ir yra tinkami naudoti užduočių atlikimui.

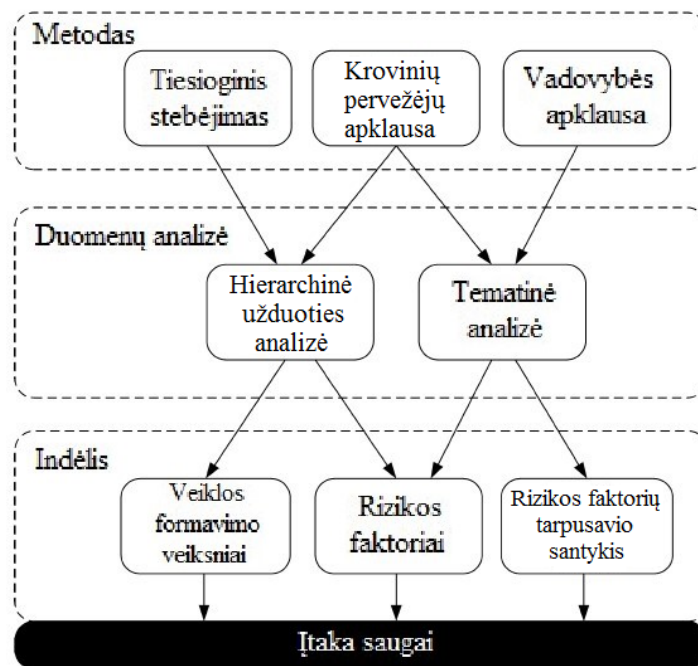


1.13 pav. Palečių išdėstymo alternatyvos [65, p. 1717]

1.3.2 Rankinis medžiagų tvarkymas

Nors sandėliavimo procesai gali būti automatizuoti, dauguma įmonių, ypač mažųjų ir vidutinių dydžių, vis dar naudojami rankiniu būdu tvarkant medžiagas, kad užtikrintų aukštą

lankstumo lygį bei išvengtų investicijų [66, p. 527]. Du epidemiologiniai tyrimai, kiekvienas iš jų, atliktas tarp daugiau nei 31 000 amerikiečių darbuotojų, kurie dirba sandėlių parduotuvėse, rodo ryšį tarp rankinio medžiagų tvarkymo veiklos ir nugaros skausmo vystymosi [67, p. 191]. Veikla sandėliuose, atliekama rankiniu būdu, daugiausia yra užsakymų rinkimas, kuris dažniausiai vadinamas elementų iš saugyklų išrinkimo procesu, kad įvykdytų klientų užsakymus - ši veikla yra viena iš labiausiai laiko ir išlaidų reikalaujančių procesų [66, p. 527]. Netaisyklingas rankinis sandėliuojamų medžiagų tvarkymas prisideda prie kaulų ir raumenų sistemos sutrikimų, viršijančių daugiau nei 500 000 praneštų atvejų per metus apie patirtas pečių, nugaros, rankų ir kojų traumas [68]. Nepaisant to, kad pastaruoju metu padidėjo darbuotojų patiriama rizika, buvo paskelbtas tik vienas ergonominis tyrimas, kuriame analizuojamas rankinis medžiagų tvarkymas sandėlių didmeninėse parduotuvėse [67, p. 191]. Mokslininkai [69, p. 183] atliko tyrimą apie sistemos veiksnius, kurie turi įtakos saugiam krovinių pervežimui rankiniu būdu. Visų pirma, darbuotojai buvo apklausti, vyko diskusija su krovinių vežėjais ir vadovybę. Buvo renkami duomenys apie tris krovimo operacijas: 1. rankiniu būdu pakraunant - iškraunant konteinerizuotus krovinius, 2. rankiniu būdu pakraunant - iškraunant orlaivių talpyklas ir 3. konteinerių iš vežimėlių rankiniu būdu perkėlimas į mechanizuotą orlaivio krautuvą. Šios veiklos pasirinktos dėl didelės susižeidimo rizikos, kaip tą rodė įmonės duomenys. Vėliau buvo naudojamos hierarchinės užduoties analizė ir teminė analizė, kad būtų nustatyti veiksniai, kurie yra susiję su susižeidimo rizika. Atlikto tyrimo informacija pateikta grafiškai 1.14 paveikslėlyje.



1.14 pav. Tyrimo metodai, naudojami identifikuoti sistemos veiksnius, turinčius įtakos saugiam krovinių vežimo organizavimui rankiniu būdu [69, p. 184]

Mokslininkai [70] atliko įmonės sandėlio tyrimą, kad racionalizuotų rankinį produktų paėmimą iš palečių ir stelažų. Buvo panaudota kartoninės dėžės paėmimo iš lentynos patogumo (CPCC) metodika ir racionalizuotas stelažų planas. Palečių ir stelažų vaizdas pateiktas 1.15 paveikslėlyje. Galima matyti, jog palečių vaizdas nepasikeitęs, papildomai racionalizuoti situacijos nereikėjo. Stelažų vaizdas prieš ir po pasikeitė įrengiant papildomas lentynas, smulkioms ir pavienėms dėžėms laikyti. Taip pat, kad lengviau būtų surasti reikiamą prekę, ant lentynos šono prisegtas prekės brūkšninis kodas ir aprašymas. Autoriai teigia, jog šis procesas yra lengvas ir greitai taikomas, taip pat jis gali būti naudojamas keliose skirtinguose kontekstuose.

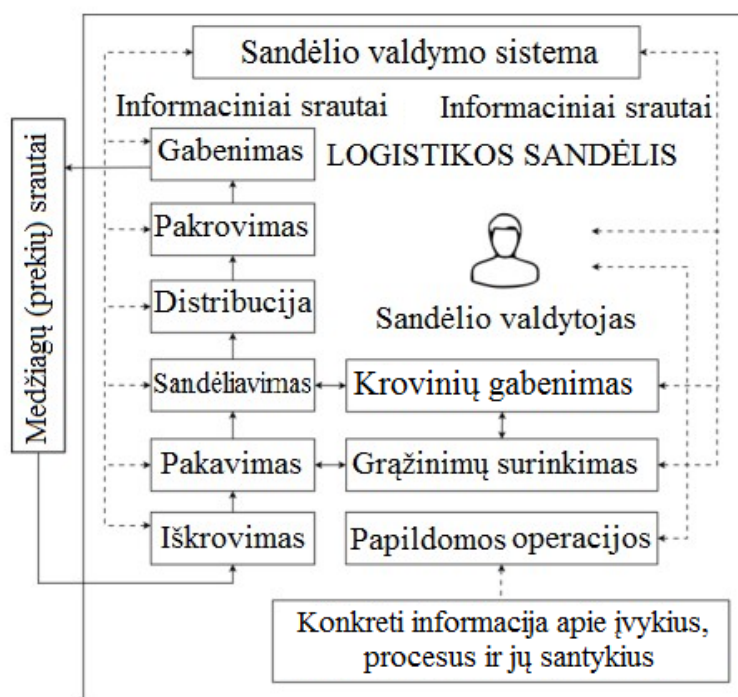


1.15 pav. Sandėlio palyginimas: prieš ir po CPCC metodo taikymo [70, p. 97]

1.3.3 Logistika

Sandėliai yra labai svarbūs tiekimo grandinės ryšiai, vietinėje ar globalizuotoje rinkoje [71, p. 3]. Gamybos organizavimas pasikeitė į sudėtingesnius gamybos tinklus ir didėjančią priklausomybę nuo transporto bei logistikos [72, p. 139]. Sandėlio ir gamybos vieta tiekimo grandinės tinkle lemia jų efektyvumą bei greitį. Šiomis aplinkybėmis tiekimo grandinės konkuruoja viena su kita, daugiausia dėl pristatymo laiko ir bendros produkcijos kainos [71, p. 3]. Laikas tampa svarbia problema, o greitis tapo kritiniu veiksniu daugelyje pramonės šakų [72, p. 139]. Renkantis sandėlio ar gamybos geografinę vietą, reikia atkreipti dėmesį į šiuos kriterijus ir juos įvertinti: 1. infrastruktūrą, 2. vyriausybę (valdžią) ir 3. rinką [71, p. 7]. Per pastaruosius du ar tris dešimtmečius logistikos pramonė buvo restruktūrizuota, kad būtų galima patikimiau transportuoti dideliais kiekiais ir mažesnėmis sąnaudomis, šis restruktūrizavimas buvo siejamas su informacijos, komunikacijos bei logistikos

technologijų pažanga bei mažesnėmis krovinių vežimo išlaidomis, per įvairias veiklos schemas [73, p. 1]. Prieš racionalizuojant krovinių vežimo sistemą, siekiant palengvinti greitą pigių krovinių pervežimą, jūrų uostai daugiausia aptarnavo aplinkinius regionus, o perėjimas prie šiuolaikinės krovinių gabenimo sistemos buvo pramonės dereguliavimo ir naujų politikos krypčių, turinčių įtakos atvirai pasaulio prekių judėjimo rinkai, rezultatas [74, p. 2]. Logistikos sandėlis yra paskirstymo centras, kuriame priimami srautai konvertuojami į išsiuntimo srautus, jis atlieka pagrindines transportavimo operacijas, kurios pateiktos 1.16 paveikslėlyje. Medžiagos ir informacijos srautai apibrėžia jų tarpusavio santykius. Sandėlio vadovas naudoja valdymo sistemą, kad automatizuotų verslo procesus, susijusius su materialiais, finansiniais ir informacijos srautais.



1.16 pav. Logistikos sandėlio operacijos [75, p. 526]

Apibendrinant galima teigti, kad sandėlio projektavimo procesas neapsiriboja tik techninio projekto parengimu statybai. Remiantis ištyrinėta literatūra, tinkama sandėlio technologija ir geografinė vieta gali ateityje sutaupyti pinigų. Svarbu tinkamai suprojektuoti lentynas ir stelažus, kad darbuotojai galėtų dirbti kuo efektyviau, išnaudojant mažiau laiko sąnaudų. Norint racionaliai suprojektuoti sandėlio išplanavimą, naudojami įvairūs mokslininkų sukurti ergonominiai tyrimo metodai.

2 TYRIMO METODOLOGIJA

2.1 Bendroji informacija

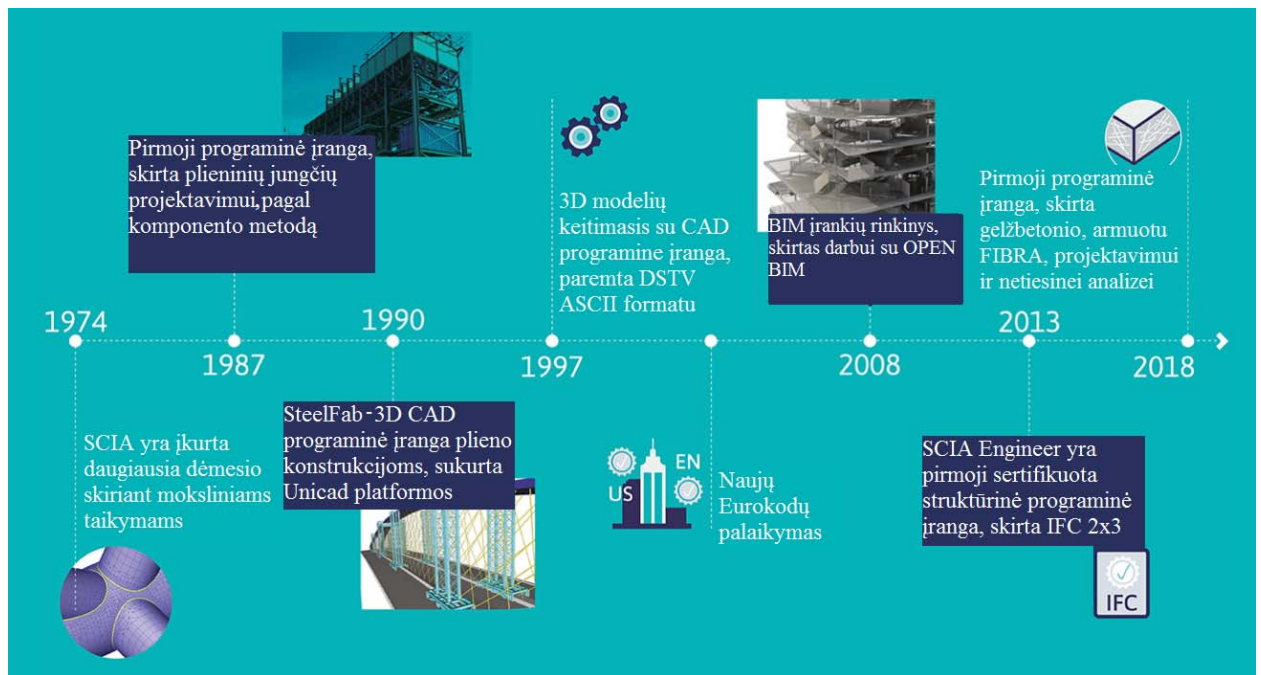
Baigiamajame darbe atliktas keturių skirtingų sandėlio konstrukcijų daugiakriteris vertinimas SAW metodu. Tyrimui atlikti naudojami populiarūs konstrukciniai sprendiniai Europoje. Projektuojami pastatai yra karkasiniai iš surenkamų konstrukcijų. Tiriamos sandėlio konstrukcijos:

- V1. Klijuoto medžio - kolonos ir dvišlaitės stogo sijos;
- V2. Plieno - dvitėjinės kolonos ir stogo sijos;
- V3. Gelžbetonio - kolonos ir dvišlaitės stogo sijos;
- V4. Kombinuota gelžbetonio ir plieno - g/b kolonos ir plieninės stogo santvaros.

Tiriamos sandėlio matmenys tarp ašių - 42 m. ilgio ir 18 m. pločio. Priimtas kolonų žingsnis - 6 m., tarpsnis - 18 m, o naudingas patalpos aukštis - 6 m. Projektuojami gręžtiniai poliniai pamatai, apjungti gelžbetonine galvena. Remiantis statybos techniniu reglamentu STR 1.01.03:2017 „Statinių klasifikavimas“ pastatas yra ypatingos paskirties, nes tarpsnis tarp laikančiųjų konstrukcijų didesnis nei 12 m.

Konstrukciniai skaičiavimai atliekami vadovaujantis oficialiais teisės aktais - STR ir EC. Naudojami skirtingi teisės aktai, siekiant parodyti, jog galima suderinti skirtingas metodikas, priimant sprendinius ir optimizuojant pastato konstrukcijas. Nuolatiniai, kintamieji poveikiai ir jų deriniai sudaromi remiantis STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“. Skerspjūvių parametrai apskaičiuojami pagal EC, o konstruojami pritaikant abi metodikas.

SCIA engineer. „SCIA“ yra viena iš pirmaujančių pasaulyje galingos struktūrinės analizės projektavimo programinės įrangos kūrime, kuri leidžia inžinieriams realizuoti net ir neįtikėtinas idėjas [76]. Naudojantis programa, vartotojai gali modeliuoti, analizuoti ir projektuoti 3D modelius nuo sudėtingų pastatų iki kasdienių struktūrų. Kūrėjai kiekvienais metais investuoja 30 % savo pasaulio apyvartos į mokslinius tyrimus ir taikomąją veiklą, kad toliau tobulintų savo programinę įrangą [77]. Inovacijos, kurios pakeitė projektavimo sektorių, pateiktos 2.1 paveikslėlyje. „SCIA“ buvo pirmoji konstrukcijų skaičiavimo programa, kuri įsidiėgė pilną Eurokodų palaikymą, „OPEN BIM“ ir buvo sertifikuota IFC 2x3 sertifikatu. Pirmoji (2018 m.) sukūrė ir išleido papildinį apie gelžbetoninių elementų, armuotų fibra, skaitmeninį modeliavimą ir netiesinę analizę. „SCIA engineer“ yra „Nemetschek“ kompanijos grupės narys.



2.1 pav. Inovacijų istorija [77]

„Nemetschek“ valdo statybos sektoriaus skaitmeninimą. Kompanija įsteigta prof. Georg Nemetschek (1963 m.), šiuo metu bendrovėje dirba daugiau nei 2500 ekspertų [78]. Naudodami šią programinę įrangą, architektai, inžinieriai, statybų įmonės ir įrenginių valdytojai gali planuoti, sklandžiai dalintis informacija bei glaudžiau bendradarbiauti [78]. Grupė kuria programinės įrangos sprendimus, kurie užtikrina tvarų ir efektyvų kompleksinių statybos ir infrastruktūros projektų procesą [79]. Unikali valdymo struktūra siūlo 16 stiprių prekių ženklų (žr. 2.2 pav.), leidžiančių verslui diegti naujoves, glaudžiai bendradarbiaujant su savo klientais (4 mln.) visame pasaulyje [78]. Grupės prekių ženklai veikia beveik nepriklausomai nuo rinkos, bet jie visi turi keturias bendras ypatybes: atvirumas, naujoviškumas, orientacija ir solidumas [79].

ALLPLAN	BLUEBEAM	CREM SOLUTIONS	DATA DESIGN SYSTEM
dRofus	FRILO Software	GRAPHISOFT	MAXON
MCS SOLUTIONS	NEVARIS	PRECAST SOFTWARE engineering	IRISA
SCIA	SDS/2	SOLIBRI	VECTORWORKS

2.2 pav. „Nemetschek“ kompanijai priklausantys prekių ženklai [79]

Lietuvoje įkurtų atstovybių pardavinėjamos konstrukcijų projektavimo ir detalizavimo BIM programos pateiktos lentelėje (žr. 2.1 lentelė). Informacija surinkta iš programinės įrangos perpardavinėtojų Lietuvoje. Renkantis įrangą, svarbu, kad toje šalyje, kurioje planuojama dirbti, būtų programos kūrėjo oficialus atstovas. Dirbant skaitmeninio modeliavimo programomis, reikalingas kruopštus, atidus ir daug žinių reikalaujantis darbas. Nors tiekėjai ir gamintojai skelbia, jog projektavimas jų programine įranga yra nesudėtingas, tačiau pradedančiajam vartotojui reikia dalyvauti kelių dienų ar net visos savaitės seminare, kuriame mokinama programos naudojimo pagrindų. Vartotojas užtikrintai įgusta naudotis įranga maždaug po metų laiko. Dažnu atveju į tiekėją reikia kreiptis ir konsultacijos, priimant nestandartinius projektavimo sprendinius.

2.1 lentelė

Lietuvoje įkurtų atstovybių, pardavinėjamos konstrukcijų projektavimo ir detalizavimo BIM programos

Programos paskirtis	Programos pavadinimas
Projektavimas	Autodesk Robot Structural Analysis Professional; STAAD.Pro; BuildSoft progaminės įrangos paketai; SCIA Engineer; IDEA Statica; Dlubal; GEO5; Lira-SAPR; Monomakh-SAPR; Tekla
Detalizavimas	Autodesk Revit Structure; Autodesk Advance Steel; Allplan Engineering; Tekla

Sandėlio konstrukciniai variantai lyginami pagal: 1. stabilumą; 2. konstrukcijų įrengimo kainą; 3. pastato metinį nusidėvėjimą; 4. atsparumą ugniai. **Konstrukcijų įrengimo kaina** apskaičiuojama naudojant statybos skaičiuojamosios kainos nustatymo programą „ProSama5G“. Ši įranga užtikrina statybos skaičiuojamosios kainos nustatymo funkcionalumą, pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos patvirtintus Statybos Techninius Reglamentus bei rekomendacijas. Skaičiavimai atliekami pagal sustambintas medžiagų sąnaudas, kurios imamos iš konstrukcijų skaičiavimo programos „SCIA engineer“. Statybos kaina skaičiuojama neįvertinant apdailos elementų.

Konstrukcijų metinis nusidėvėjimas apskaičiuotas remiantis „nekilnojamojo turto kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklėmis“. Skaičiavimo eiga tokia:

- apskaičiuojamas pastato sudėtinės dalies nusidėvėjimas pagal kasmetinį vertės mažinimo koeficientą remiantis formule:

$$I_i = F_i \cdot N_i; \quad (2.1)$$

čia I_i - pastato sudėtinės dalies nusidėvėjimas;

F_i - faktiškas pastato sudėtinės dalies naudojimo laikas, skaičiuojamas nuo jo statybos pabaigos metų;

N_i - kasmetinis pastato sudėtinės dalies vertės mažinimo koeficientas, nurodytas normatyvuose;

- pastato sudėtinių dalių kasmetinis vertės mažinimo koeficientas taikomas atsižvelgiant į pastato pagrindinę naudojimo paskirtį ir pastato sudėtinių dalių sienų statybos produktus;
- nustatius kiekvienos pastato sudėtinės dalies nusidėvėjimą pagal kasmetinį vertės mažinimo koeficientą arba ekspertiniu metodu, apskaičiuojamas viso pastato nusidėvėjimas remiantis formule:

$$I_p = \frac{\sum_i I_i \times V_i}{\sum_i V_i}; \quad (2.2)$$

čia I_p - pastato nusidėvėjimo procentas;

I_i - pastato sudėtinių dalių nusidėvėjimo procentas;

V_i - pastato sudėtinių dalių tūris [80].

Konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimai atlikti remiantis Eurokodais ir Statybos Techniniais Reglamentais, kurie pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė

Teisės aktai reglamentuojantys konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimo metodiką

Teisės aktas	Pavadinimas
LST EN 1990	Eurokodas. Konstrukcijų projektavimo pagrindai
LST EN 1991-1-2	Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-2 dalis. Bendrieji poveikiai. Gaisro poveikiai konstrukcijoms
STR 2.05.11:2005	Gaisro temperatūrų veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas
LST EN 1992-1-2	Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-2 dalis. Bendrosios taisyklės. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas
LST EN 1993-1-2+AC	Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-2 dalis. Bendrosios taisyklės. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas
LST EN 1995-1-2+AC	Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-2 dalis. Bendrosios nuostatos. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas

2.2 Stabilumas

2.2.1 Bendrosios nuostatos

Konstrukcijų stiprumas apibūdina konstrukcijos gebėjimą pasipriešinti ją veikiančioms apkrovoms, o stabilumas nusako jos gebėjimą tampriai deformuotis neviršijant leistinų ribų [81, p.

35]. Plieninių konstrukcijų Statybos Techninis Reglamentas nurodo, kad bendroju atveju rėmo ar jo dalių pastovumas turi būti tikrinamas įvertinant netobulumus ir antrosios eilės efektus vienu iš šių metodų [82, p. 90]:

- visiškai taikant bendrąją (globalinę) analizę;
- iš dalies taikant bendrąją analizę ir iš dalies tikrinant paskirų elementų pastovumą;
- tikrinant paskirų elementų pastovumą.

Pastato stabilumas gali būti apskaičiuojamas taikant pirmosios arba antrosios eilės analizes.

Metodų skirtumai [83, p. 38]:

- pirmosios eilės analizė - vidinės jėgos ir poslinkiai vertinami neatsižvelgiant į rėmo ir atskirų elementų netobulumus (pradinę neapkrautos konstrukcijos deformaciją). Projektuojama naudojant tiesinę analizę;
- antrosios eilės analizė – vidinės jėgos ir poslinkiai įvertinami atsižvelgiant į globalinį bei atskirų elementų lokalinį netobulumą. Projektuojama naudojant tiesinę arba netiesinę analizę. Jautrios konstrukcijos antrosios eilės efektams - veikiamos didelės ašinės jėgos ir mažo standumo (liaunos).

Projektuojamų pastatų stabilumas (pirmosios eilės visuminė analizė) nustatomas remiantis LST EN 1993-1-1+AC „Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės“. Pirmosios eilės analizės kritinis koeficientas, kuriuo reikėtų padidinti skaičiuotines apkrovas, kad, esant bendrajam nepastovumui, pasireikštų tamprusis nepastovumas. Jis apskaičiuojamas [84, p. 35]:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}}; \quad (2.3)$$

čia F_{Ed} - skaičiuotinė ašinė jėga;

F_{cr} - kritinė tamprioji klumpo apkrova, esant bendrajam nepastovumui, nustatoma pagal pradinį tamprųjų standį.

Remiantis (2.3) formule, stabilumas nustatomas susumuojant atskirų elementų kritinę klumpamąją jėgą ir ją padalinant iš suminės skaičiuotinės gniuždomosios jėgos. Atliekant tampriojo būvio analizę, sąlyga turi tenkinti $\alpha_{cr} \geq 10$, o plastinio $\alpha_{cr} \geq 15$. Jeigu sąlyga nėra tenkinama, turi būti įvertinti antrosios eilės efektai. Tamprioji kritinė klumpamoji apkrova apskaičiuojama [85, p. 2]:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}; \quad (2.4)$$

čia E - tamprumo modulis;

I - skerspjūvio inercijos momentas;

L - skaičiuotinis elemento ilgis.

Remiantis (2.4) formule, kritinė jėga (N_{cr}) turi būti apskaičiuojama iš abiejų rėmo plokštumų, kai yra skirtingas elementų skaičiuojamasis ilgis.

2.2.2 Plieniniai pastatai

Skaičiuojant plieninių pastatų konstrukcijas, reikia įvertinti bendruosius rėmų ir atskirų elementų vietinius netobulumus. Bendrieji (globaliniai) rėmų netobulumai (žr. 2.3 pav) apskaičiuojami [82, p. 89]:

$$\phi = \phi_0 k_c k_s; \quad (2.5)$$

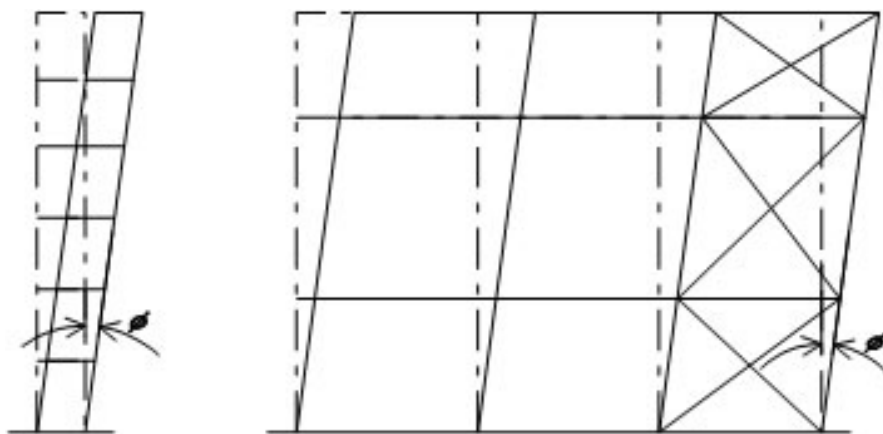
$$\text{čia } \phi_0 = \frac{1}{200} \quad (2.6)$$

$$k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_c}}, \quad k_c \leq 1; \quad (2.7)$$

$$k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_s}}, \quad k_s \leq 1. \quad (2.8)$$

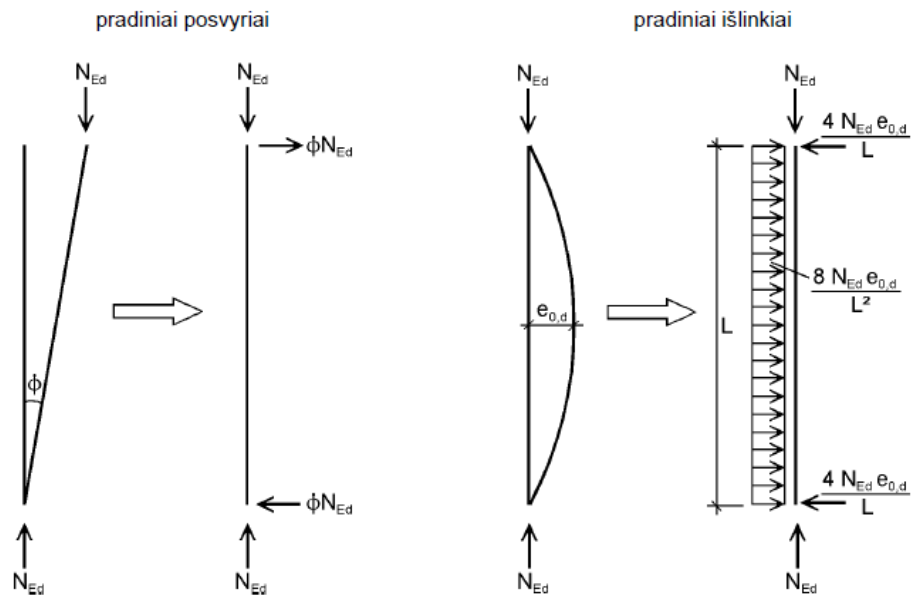
čia n_s - aukštų skaičius;

n_c - kolonų skaičius, įskaitant tik tas kolonas, kuriose veikianti įrąža N_{Ed} yra ne mažesnė už kolonų, esančių vienoje vertikalojoje plokštumoje, 50 % vidutinės įrąžos reikšmės.



2.3 pav. Bendrieji rėmų netobulumai [82, p. 89]

Bendruosius rėmų ir atskirų elementų netobulumus galima pakeisti lygiavertėmis horizontaliosiomis jėgomis (žr. 2.4 pav.).



čia N_{Ed} - ašinė jėga;
 φ - nuokrypa pagal 2.5 formulę;
 $e_{0,d}$ - pradinis elemento išlinkis (žr. 2.3 lentelė);
 L - elemento ilgis.

2.4 pav. Pradinių nuokrypų pakeitimas lygiavertėmis horizontaliosiomis jėgomis [84, p. 41]

Vietinių išlinkių reikšmės, remiantis klumpumo forma, pateiktos lentelėje (žr. 2.3 lentelė). Klumpumo kreivė priklauso nuo elemento skerspjūvio ir naudojamo plieno klasės. Kreivės yra pateikiamos EC 3 [84, p. 65] (žr. šaltinio 6.2 lentelę).

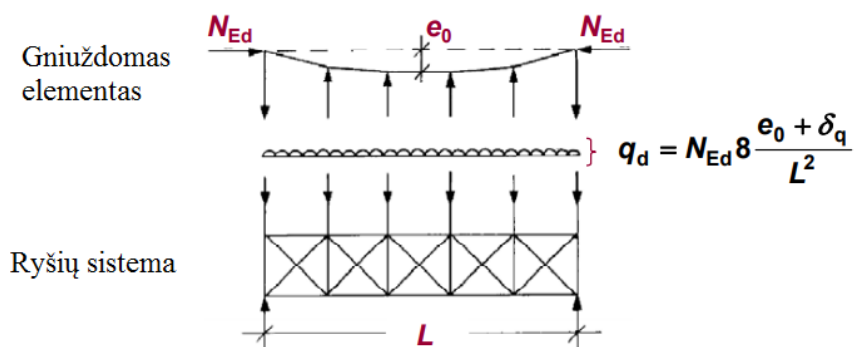
2.3 lentelė

Skaičiuotinės pradinio vietinio išlinkio e_0/L reikšmės [84, p. 39]

Klumpumo kreivė	Analizė pagal tamprųjų modelį	Analizė pagal plastišką modelį
	e_0/L	e_0/L
a_0	$L/350$	$L/300$
a	$L/300$	$L/250$
b	$L/250$	$L/200$
c	$L/200$	$L/150$
d	$L/150$	$L/100$

čia L - elemento ilgis.

Ryšiu sistema gali užtikrinti gniuždomų statramsčių ir lenkiamų sijų stabilumą [86, p. 14]. Projektuojant ryšiais suvaržytas kolonas arba sijas, reikia įvertinti vietinį netobulumą (išlinkį), kuris pakeičiamas lygiaverte skersine apkrova (žr. 2.6 pav.).



čia e_0 - nuokrypa $L/500$;

L - ryšių sistemos tarpatramis;

q_d - vienetinį ilgį veikianti lygiavertė apkrova;

δ_q - ryšių sistemos įlinkis dėl veikiančios jėgos.

2.5 pav. Ryšių sistemos nuokrypos [86, p. 15]

Visuminės analizės dažniausiai naudojami sprendimo metodų variantai, su nuorodomis į Eurokodą 3 [84], pateikti paveikslėlyje (žr. 2.3 pav.). Metodų aprašymas remiantis paveikslėliu:

1a - neatsižvelgiama į antrosios eilės poveikius, jeigu yra tenkinama sąlyga $\alpha_c \geq 10$. Profiliai turi būti patikrinti šoniniam sukamajam klumpumui ir stabilumui iš abiejų rėmo plokštumų;

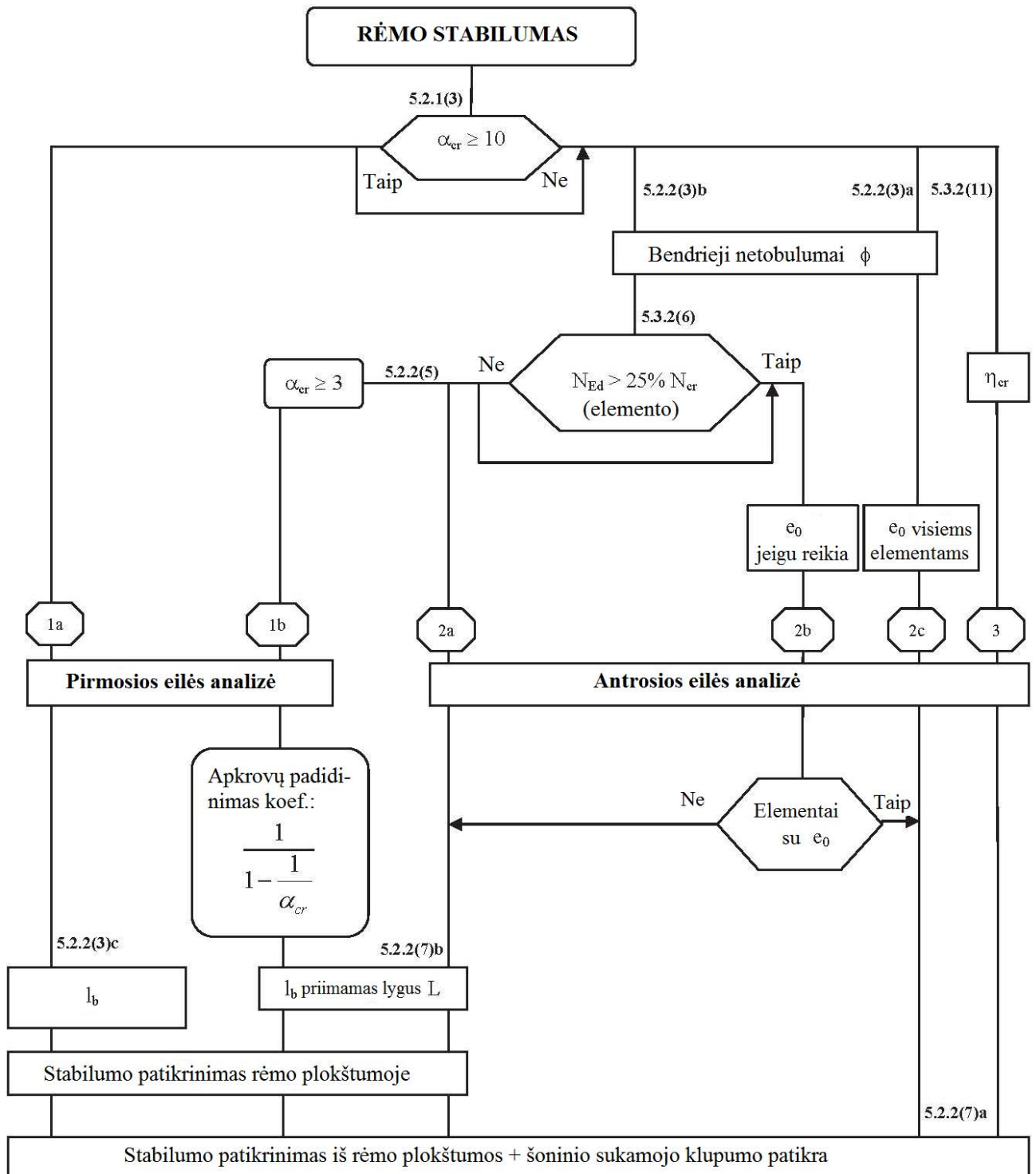
1b - apkrovos yra padidinamos apskaičiuojamu koeficientu, jeigu yra tenkinama sąlyga $\alpha_c \geq 3$. Projektuojant reikia įvertinti konstrukcijų pradinį posvyrį, tačiau nereikia vertinti atskirų elementų pradinių išlinkių. Profiliai turi būti patikrinti šoniniam sukamajam klumpumui ir stabilumui iš abiejų rėmo plokštumų;

2a - rėmo kolonas veikiančių ašinių jėgų suma turi būti mažesnė nei ketvirtadalis suminės tampriosios kritinės jėgos ($N_{Ed} < 25 \% N_{cr}$). Atsižvelgiama tik į rėmo posvyrį ir klumpamasis kolonos ilgis prilyginamas geometriniam ilgiui. Profiliai turi būti patikrinti šoniniam sukamajam klumpumui ir stabilumui iš abiejų rėmo plokštumų;

2b - rėmo kolonas veikiančių ašinių jėgų suma turi būti didesnė arba lygi ketvirtadaliui suminės tampriosios kritinės jėgos ($N_{Ed} \geq 25 \% N_{cr}$). Reikia įvertinti rėmo posvyrį, atskirų elementų išlinkį (jeigu reikia) ir kolonos klumpamasis ilgis prilyginamas geometriniam ilgiui. Jeigu yra įvertinamas atskirų elementų pradinis išlinkis, reikia klumpamąjį kolonos ilgį prilyginti geometriniam ir patikrinti profilių šoninį sukamąjį klumpumą bei stabilumą iš abiejų rėmo plokštumų. Priešingu atveju, skaičiavimuose naudojamas kolonų klumpamasis ilgis ir patikrinamas profilių stabilumas iš rėmo plokštumos. Remiantis Eurokodu, šoninio sukamojo klumpumo galima nevertinti;

2c - turi būti pilnai įvertinti antrosios eilės efektai (rėmo nuokrypos ir atskirų elementų pradiniai išlinkiai). Skaičiavimuose naudojamas kolonų klumpamasis ilgis. Profiliai patikrinami stabilumui iš rėmo plokštumos. Remiantis Eurokodu, šoninio sukamojo klumpumo galima nevertinti;

3 - antrosios eilės efektai pakeičiami tampriąja kritine klumpumo formos amplitude (koeficientu). Skaičiavimuose naudojamas kolonų klumpamasis ilgis. Profiliai patikrinami stabilumui iš rėmo plokštumos. Remiantis Euro kodu, šoninio sukamojo klumpumo galima nevertinti.



čia l_b - klumpamasis kolonos ilgis atsižvelgiant į rėmo suvaržymą;

L - geometrinis kolonos ilgis.

2.6 pav. Rėmo stabilumo skaičiavimo eiga ir galimi variantai [87, p. 6]

2.2.3 Mediniai pastatai

Projektuojant medines konstrukcijas, reikia įvertinti kolonos kampo nuokrypą ir atskirų elementų vietinį išlinkį. Medinėms konstrukcijoms vietinis išlinkis apskaičiuojamas [88, p. 39]:

$$e = 0,0025l; \quad (2.9)$$

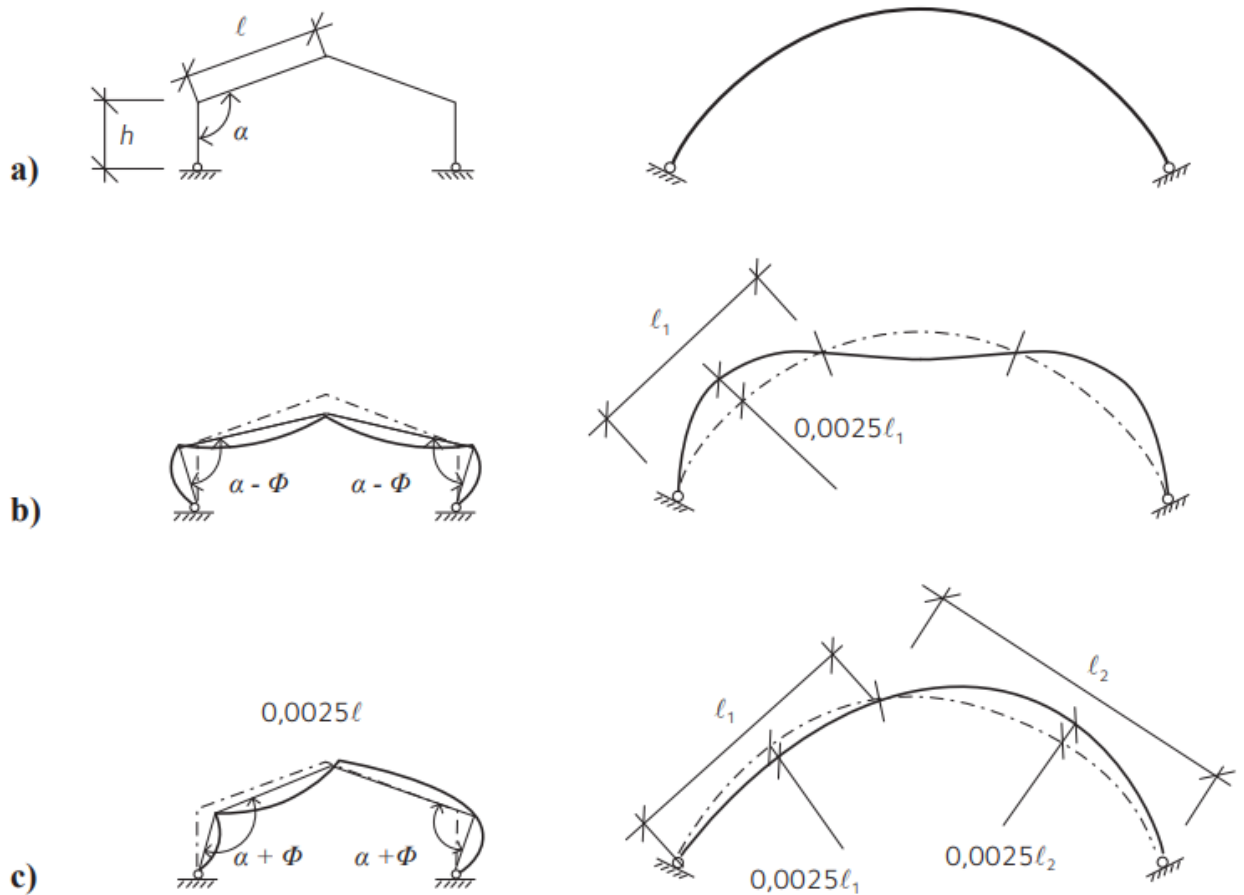
čia l - geometrinis kolonos arba sijos ilgis.

Kolonos kampo nuokrypa (radianais) apskaičiuojama [88, p. 39]:

$$\varphi = 0,005, \quad \text{kai } h \leq 5 \text{ m}; \quad (2.10)$$

$$\varphi = 0,005\sqrt{5/h}, \quad \text{kai } h > 5 \text{ m};$$

čia h - konstrukcijos aukštis arba elemento ilgis metrais.



2.7 pav. Pradinių rėmo nuokrypų taikymo pavyzdžiai. a) rėmai ir arkos, kai yra apkrauti b) simetriškai ir c) nesimetriškai [89, p. 93]

Pradinius elementų posvyrius ir išlinkius galima pakeisti lygiavertėmis horizontaliomis apkrovomis (žr. 2.4 pav.).

2.2.4 Gelžbetoniniai pastatai

Analizuojant gelžbetonines konstrukcijas, turi būti įvertintas globalinis nuokrypis. Papildomai vietinių elementų nuokrypų vertinti nereikia, jos yra įvertinamos projektuojant skerspjūvius standartinėse formulėse ir per medžiagų patikimumo koeficientus [90, p. 40]. Bendrieji rėmo nuokrypiai apskaičiuojami pagal 2.5 formulę ($\theta_i = \varphi$). Projektuojant perdangas iš diafragmų, netobulumų skaičiuojamoji schema pateikta paveikslėlyje (žr. 2.8 pav.). Skaičiuojamasis modelis gali būti taikomas ir plieninėms, medinėms sistemoms su diafragmomis. Remiantis paveikslėliu, rėmo nuokrypą galima pakeisti skersinėmis jėgomis [91, p. 59]:

poveikis ryšių sistemai:

$$H_i = \theta_i(N_b - N_a); \quad (2.11)$$

poveikis perdangai:

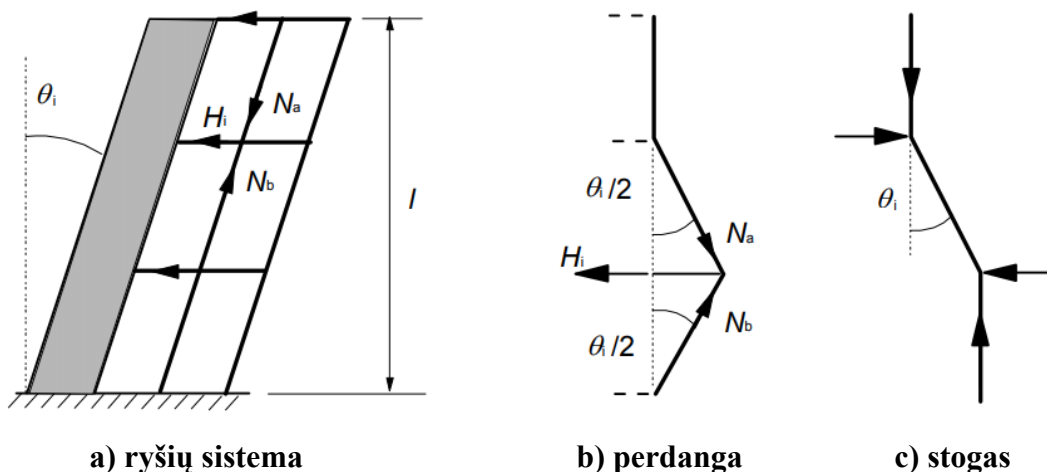
$$H_i = \theta_i(N_b + N_a)/2; \quad (2.12)$$

poveikis stogui:

$$H_i = \theta_i N_a; \quad (2.13)$$

čia N_a ir N_b - ašinės jėgos;

$\theta_i = \varphi$ - nuokrypa.



2.8 pav. Pradinių nuokrypų pakeitimas lygiavertėmis horizontaliosiomis jėgomis [90, p. 41]

2.3 Daugiakriteriai vertinimo metodai

Vienkriteriais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti uždavinių, kuriuose reikia vertinti daugelį kriterijų, todėl daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai vis dažniau taikomi statybos inžinerijos bei investicijų skaičiavimo kompleksiniams uždaviniams spręsti [92, p. 28]. Gali būti išskiriami šie pagrindiniai daugiakriterio vertinimo modelių komponentai [93, p. 2]:

- tikslų ir juos atitinkančių rodiklių sistemos sudarymas, jų reikšmingumo nustatymas;

- atsakų matricos suformavimas ir normalizavimas pritaikant daugiakriterinio sprendimų priėmimo (MCDM) metodus;
- gautų rezultatų interpretavimas ir sprendimų priėmimas.

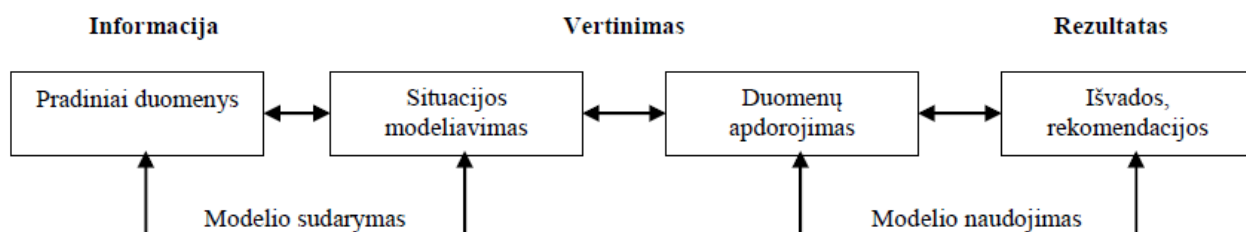
Daugiakriterių sprendinių problemos (uždaviniai) gali būti skirstomos į dvi plačiausias kategorijas: 1) daugiataksių sprendimų priėmimą (*Multi-Objective Decision Making*, MODM) – šioje srityje nagrinėjamos begalinei sprendimų aibei priklausančios alternatyvos; 2) apsisprendimą daugelio rodiklių atžvilgiu (*Multi-Attribute – Decision Making*, MADM) – šioje srityje nagrinėjamos baigtinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos [94, p. 35]. Tyrėjas, [95] remiantis kitų mokslininkų aprašytais daugiataksių metodų sprendimo klasifikacijomis, sudarė daugiakriterių metodų klasifikaciją (žr. 2.4 lentelė).

2.4 lentelė

Daugiakriterių metodų klasifikacija [95, p. 36]

Metodų klasė	Informacija, gauta iš sprendimą priimančio asmens apie rodiklius	Metodai ir jų klasės
Metodai pagrįsti daugiakriterio naudingumo teorija	Kiekybiniai matavimai	SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, COPRAS, COPRAS-G, ARAS, MOORA, VIKOR, MultiMOORA
Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai	Kokybiniam matavimams suteikiamas kiekybinis pavidas	Analitinis hierarchijos procesas (AHP). Metodai, naudojančys neapibrėžtas aibes (Fuzzy), (Fuzzy TOPSIS), (Fuzzy AHP)
Verbalinės analizės sprendimų metodai	Kokybiniai matavimai, nepereinama prie kiekybinių kintamųjų	Verbaliniai metodai: ZAPROS, PARK, ORKLASS, CLARA, DIFLASS, CIKL
Lyginamosios preferencijos metodai	Kiekybiniai ir kokybiniai matavimai	ELECTRE, PROMETHEE, MELCHIOR, UTA, MAUT, TACTIC ir kt. metodai

Daugiakriterių metodų taikymo tikslas yra geriausios alternatyvos, iš keleto pasiūlytų, pasirinkimas arba jų rangavimas nagrinėjamo tikslo atžvilgiu [96, p. 96]. Viena iš svarbiausių šių metodų sudedamųjų dalių yra kriterijų svorių nustatymas, kurie gali būti subjektyvūs, jeigu vertinimo pagrindą sudaro specialistų, ekspertų nuomonės, arba objektyvūs, kai vertinami duomenys [97, p. 19]. Autorius [98] atliko tyrimą ir nustatė, jog vertinant tą patį nagrinėjamą reiškinį skirtingais daugiataksio vertinimo būdais yra gaunami skirtingi rezultatai, taip yra todėl, kad kiekvienas jų turi savo pranašumų ir trūkumų, logiką, kuria išryškina kitokią nagrinėjamo objekto situaciją. Daugiakriterio vertinimo metodų taikymą bendrąja prasme schematizavo A. Guitouni, J. M Martel (1998 m.) - iš turimų pradinių duomenų modeliuojama situacija, vėliau informacija apdorojama ir gaunamas vertinimo rezultatas (žr. 2.9 pav.) [99, p. 22].



2.9 pav. Daugiakriterio vertinimo schema [99, p. 22]

Dažniausiai Lietuvoje naudojami daugiakriteriniai metodai ir jų esmė [100, p. 184]:

- taikant SAW metodą, alternatyvos išrikiuojamos pagal racionalumą mažėjimo tvarka;
- TOPSIS metodo esmė – nustatyti kiekvienos alternatyvos santykinę atstumą iki idealiai geriausio varianto;
- COPRAS metodu lyginamųjų alternatyvų santykinis reikšmingumas nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis ir neigiamomis savybėmis.

2.3.1 Tiriamajame darbe naudojamas metodas

Daugiakriteris vertinimas tiriamajame darbe atliekamas naudojant SAW – paprastąjį adityvųjį svorių metodą. Taikant šį metodą, buvo atliktas ankstesnis autoriaus tyrimas [101], todėl darbas tęsiamas naudojant SAW. Paprastojo adityvaus svorių metodo eiga [101, p. 2]:

- normalizuojama sprendimų matrica:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{j}{r_{ij}}; \quad (2.14)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max_j r_{ij}}; \quad (2.15)$$

- normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}; \quad (2.16)$$

- sudaroma prioritetų eilutė:

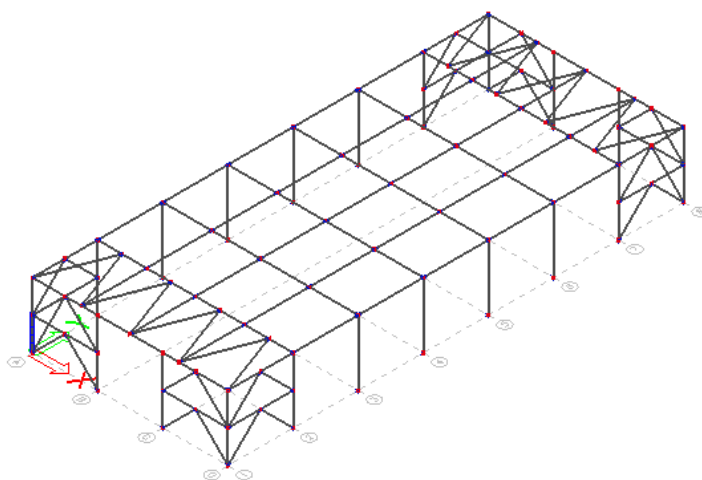
$$S_j = \sum_{i=1}^m \omega_i \tilde{r}_{ij}; \quad (2.17)$$

3 TIRIAMOJI DALIS

3.1 Sandėlio konstrukcijų projektavimas

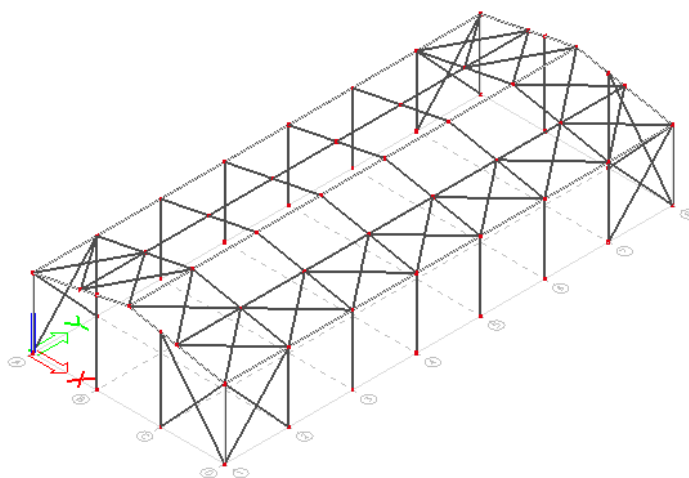
3.1.1 Antžeminės dalies konstrukcijų projektavimas

Tęsiamas tyrimas, kurį atliko Jocius ir Aviža (2018) [101]. Koreguojami konstrukcijų skaičiuojamieji modeliai ir tęsiamas daugiakriteris vertinimas, naudojant kitas lyginamąsias vertes. Konstrukciniai modeliai tikslinami ir projektuojami iš naujo. Sandėlio skaičiuojamasis modelis (V1) koreguotas įterpiant papildomus standumo ryšius stoge (žr. 3.1 pav.). Pastato aukštis ties karnizu 6,90 m, kraigu 7,80 m.



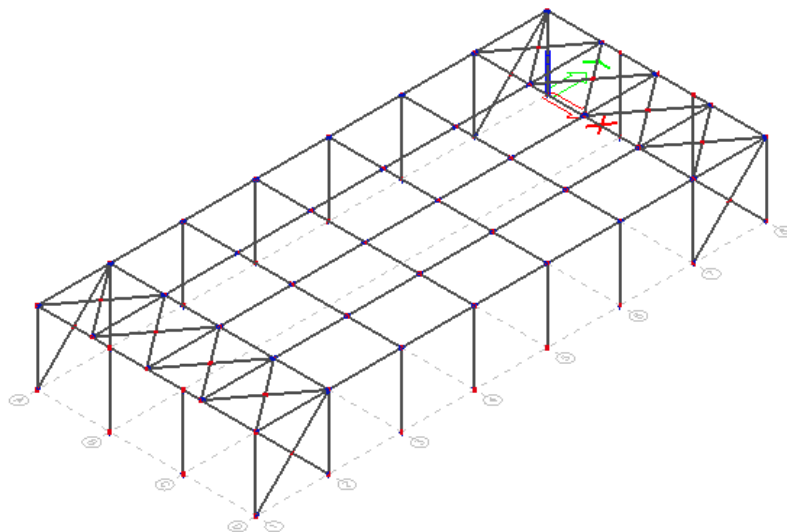
3.1 pav. Skaičiuojamasis modelis (V1. Klijuoto medžio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos)

Antrasis (V2) pastato konstrukcijų variantas koreguotas įrengiant papildomus standumo ryšius stoge (žr. 3.2 pav.). Pastato aukštis ties karnizu 6,50 m, kraigu 8,30 m.



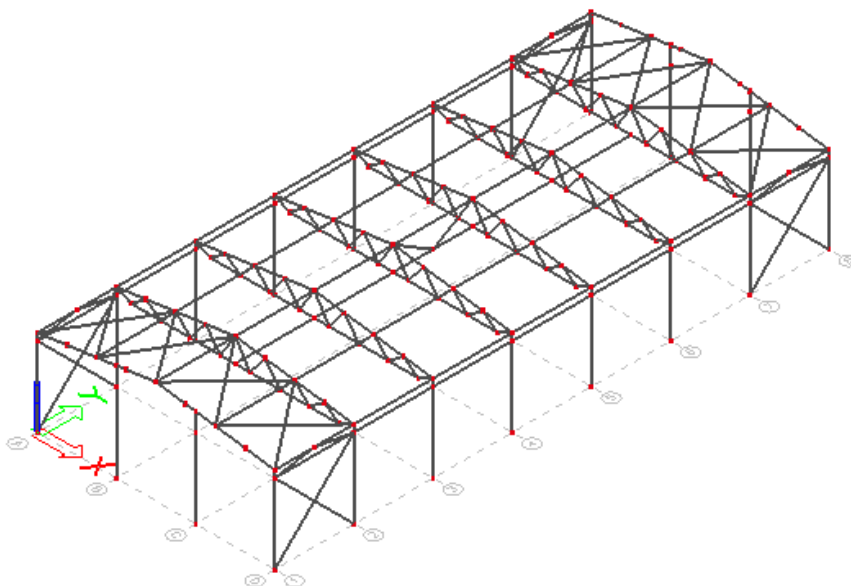
3.2 pav. Skaičiuojamasis modelis (V2. Plieno – dvitėjinės kolonos ir stogo sijos)

Sandėlio skaičiuojamasis modelis (V3) koreguotas įterpiant papildomus standumo ryšius stoge (žr. 3.3 pav.). Parinktas ir perskaičiuotas dvitėjinės sijos skerspjūvis pagal betonika.lt rekomendacijas. Pastato aukštis ties karnizu 6,50 m, kraigu 7,20 m.



3.3 pav. Skaičiuojamasis modelis (V3. Gelžbetonio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos)

Ketvirtas pastato konstrukcijų variantas koreguotas įrengiant papildomus standumo ryšius stoge ir perprojektuojant ryšius sienose (žr. 3.4 pav.). Pastato aukštis ties karnizu 6,53 m, kraigu 7,80 m.



3.4 pav. Skaičiuojamasis modelis (V4. Kombinuota iš gelžbetonio ir plieno – g/b kolonos ir plieninės stogo santvaros)

Priimtos skaičiuojamosios apkrovos pateiktos 3.1 lentelėje. Visiems keturiems konstrukciniams variantams priimtos vienodos nuolatinės ir kintamos apkrovos, išskyrus laikančiųjų konstrukcijų savąjį svorį (LKSS).

Priimtos nuolatinės ir kintamos apkrovos

Apkrovų variantai	Charakteristinė apkrova, kPa	Patikimumo koeficientas	Skaičiuotinė apkrova, kPa
Nuolatinės apkrovos			
1. LKSS		1,35	
2. NKSS			
a) stogui	0,400		0,540
b) sienos	0,200		0,270
3. TA	0,100		0,135
Σ	0,700		0,945
Kintamos apkrovos			
4. SN	1,600	1,30	2,080
5. VJ		1,30	
a) priešvėjinė	0,16		0,208
b) pavėjinė	0,12		0,156

Pastabos:

LKSS - laikančiųjų konstrukcijų savasis svoris (programa apskaičiuoja automatiškai);

NKSS - nelaikančiųjų konstrukcijų savasis svoris;

TA - technologinė apkrova uždedama ant stogo;

SN - sniego apkrova (II sniego apkrovos rajonas);

VJ - vėjo apkrovos (I vėjo apkrovos rajonas).

Sandėlio konstrukciniai variantai projektuojami remiantis TP rengimo rekomendacijomis. Svarbiausia techniniame projekte suprojektuoti ir parinkti skerspjūvius taip, kad tenkintų saugos ir tinkamumo ribinius būvius, nedetalizuojant mazgų. Sandėliams (V1, V3 ir V4) priimti skaičiuojamieji kolonų ilgiai rėmo plokštumoje 2L, o iš rėmo plokštumos 1L. Pastatui V2 priimti skaičiuojamieji ilgiai lygūs geometriniam, nes portalinio rėmo atraminė bazė yra šarnyrinė ir ją reikia suvaržyti iš abiejų rėmo plokštumų. Atliekami statiniai skaičiavimai ir parenkami skerspjūviai (žr. 3.2 lentelė). Skaičiavimai atlikti remiantis Eurokodų standartais.

3.2 lentelė

Suprojektuoti pagrindiniai skerspjūviai

Sandėlio konstrukcinis variantas	Elementas	Skerspjūvis ir medžiaga
V1	kolonos	240x280 mm, GL 28h
	dvišlaitės stogo sijos	200(plotis)x900(h1)x1800(h2) mm, GL 28h
	sienų standumo ryšiai	100x100, C24
	stogo standumo ryšiai	100x100, C24
V2	kolonos	IPE 500, S355
	stogo sijos	IPE 360 + stormena, S355
	sienų standumo ryšiai	SHS 100/100/3,0, S355
	stogo standumo ryšiai	SHS 100/100/3,0, S355
V3	kolonos	400x400 mm, C30/37 (viršus praplatintas iki 500 mm)

3.2 lentelės tęsinys kitame puslapyje

	dvišlaitės stogo sijos	500(plotis)x500(h1)x1200(h2) mm, C40/50 (betonika.lt)
	sienu standumo ryšiai	SHS 100/100/3,0, S355
	stogo standumo ryšiai	SHS 100/100/3,0, S355
V4	kolonos	400x300 mm, C30/37
	santvaros	viršutinė juosta - SHS 150/150/5,0 mm, S355 apatinė juosta - SHS 120/120/3,0 mm, S355 tinklelio elementai - SHS 70/70/3 mm, S355
	sienu standumo ryšiai	SHS 100/100/3,0, S355
	stogo standumo ryšiai	SHS 100/100/3,0, S355

3.1.2 Pamatų projektavimas

Projektuojami pamatai - gręžtiniai poliniai. Tokie pamatai parinkti todėl, nes yra populiarūs Lietuvoje dėl mažų žemės darbų sąnaudų, greito įrengimo ir, dažnu atveju, mažesnės kainos. Visų keturių sandėlio konstrukcinių variantų charakteristinės atraminės reakcijos pateiktos lentelėje (žr. 3.3 lentelė).

3.3 lentelė

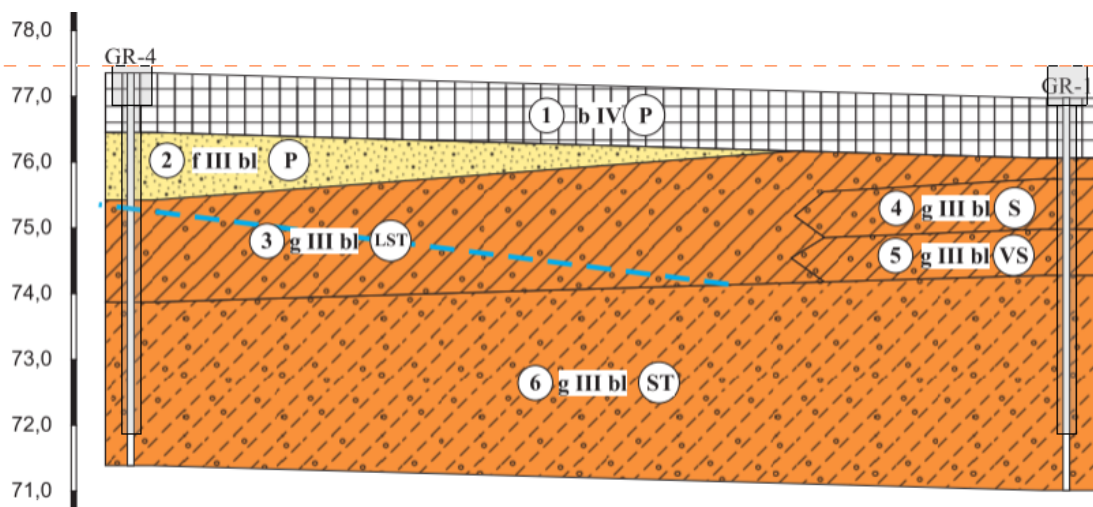
Sandėlių atraminės reakcijos pamatų projektavimui

Sandėlio konstrukcinis variantas	Charakteristinės atraminės reakcijos
V1. Klijuoto medžio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	Ašinės apkrovos: nuolatinė apkrova - 49,60 kN kintama apkrova - 89,56 kN
	Lenkimo momentai: rėmo plokštumoje - 15,53 kNm iš rėmo plokštumos - 4,98 kNm
	Skersinės jėgos: rėmo plokštumoje - 5,47 kN iš rėmo plokštumos - 3,96 kN
V2. Plieno – dvitėjinės kolonos ir stogo sijos	Ašinės apkrovos: nuolatinė apkrova - 48,49 kN kintama apkrova - 89,05 kN
	Lenkimo momentai: rėmo plokštumoje - 0 kNm iš rėmo plokštumos - 0 kNm
	Skersinės jėgos: rėmo plokštumoje - 54,25 kN iš rėmo plokštumos - 29,67 kN
V3. Gelžbetonio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	Ašinės apkrovos: nuolatinė apkrova - 121,67 kN kintama apkrova - 94,99 kN

3.3 lentelės tęsinys kitame puslapyje

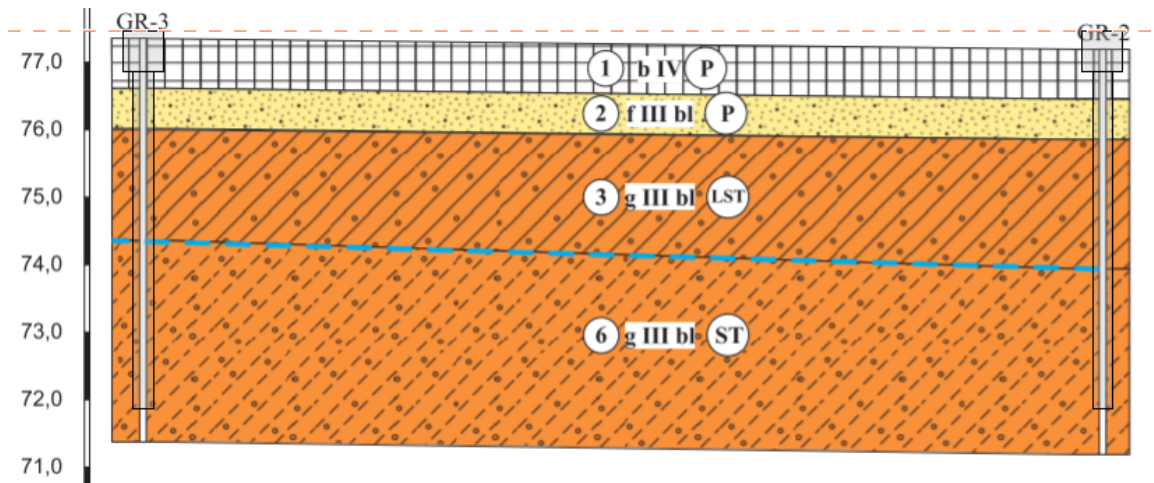
V3. Gelžbetonio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	Lenkimo momentai: rėmo plokštumoje - 17,99 kNm iš rėmo plokštumos - 12,23 kNm
	Skersinės jėgos: rėmo plokštumoje - 5,23 kN iš rėmo plokštumos - 7,14 kN
V4. Kombinuota iš gelžbetonio ir plieno – g/b kolonos ir plieninės stogo santvaros	Ašinės apkrovos: nuolatinė apkrova - 59,19 kN kintama apkrova - 87,26 kN
	Lenkimo momentai: rėmo plokštumoje - 11,54 kNm iš rėmo plokštumos - 0,56 kNm
	Skersinės jėgos: rėmo plokštumoje - 1,77 kN iš rėmo plokštumos - 8,99 kN

Parinkta inžinerinių geologinių tyrimų detali ataskaita pateikta 1 priede. Atlikti 4 geologiniai tyrimai. Polių galvenos viršaus altitudė - 77,40 metrai virš jūros lygio. Projektuojamo (V1) sandėlio gręžtinių polių įgilinimas inžineriniuose gręžiniuose GR-1 ir GR-4 pateiktas 3.5 pav. Pasirinktas preliminarus polių ilgis - 5 metrai.



3.5 pav. Inžineriniai geologiniai pjūviai (GR-1, GR-4) ir sandėlio V1 polių įgilinimas

Pateikiamas gręžtinių polių įgilinimas inžineriniuose geologiniuose gręžiniuose GR-2 ir GR-3 (žr. 236 pav.).



3.6 pav. Inžineriniai geologiniai pjūviai (GR-2, GR-3) ir sandėlio V1 polių įgilinimas

Parinkus preliminarų polio ilgį, atliekamas laikomosios galios skaičiavimas. Vienai kolonai projektuojami du poliai ($\varnothing 300$ mm), apjungti gelžbetonine galvena (600(b) x 600(h) x 1500(L) mm). Projektuojant ašine jėga apkrautus gręžtinius polius, taikomi ribinio būvio deriniai [102, p. 12]:

- 1-asis derinys DA1. C1: A1 „+“ M1 „+“ R1;
- 2-asis derinys DA1.C2: A2 „+“ M1 „+“ R4.

Derinių daliniai koeficientai imami iš LST EN 1997-1:2005, A priedo.

Pagrindo, po polio padu, ribinė laikomoji galia randama [103, p. 118]:

smėliniams gruntams:

$$R_b = 0,5 \cdot \alpha_p \cdot S \cdot \beta \cdot q_c \cdot A_b; \quad (3.1)$$

moliniams gruntams:

$$R_b = 9 \cdot \frac{q_c}{40} \cdot A_b; \quad (3.2)$$

čia A_b - polio pado skerspjūvio plotas;

q_c - pagrindo stipris po polio padu, kuris imamas iš inžinerinių geologinių tyrinėjimų ataskaitos (sluoksnio intervale, kurio storis nuo polio pado yra aukščiau $0,8D$ ir žemiau $4D$, randama mažiausia kūginio stiprio reikšmė);

β - koeficientas, kuriuo įvertinama polio pado forma (žr. šaltinio 5.22 pav.);

α_p - koeficientas, įvertinantis polio įrengimo būdą ir tipą (žr. šaltinio 5.1 lentelė);

S - faktorius, kuriuo įvertinama polio pado skerspjūvio forma. Kadangi šiuo atveju projektuojami pamatai yra apvalūs ir vientisi, tai koeficientas lygus 1.

Pagrindo, prie polio kamieno šoninio paviršiaus, maksimali laikomoji galia skaičiuojama pagal [104, p. 130]:

$$R_s = \pi \cdot D \cdot \sum_{i=1}^n (q_{si} \cdot L_i); \quad (3.3)$$

čia D - polio skersmuo;

q_{si} - i -tojo sluoksnio trinties stipris (žr. šaltinio 4.1 lentelė) [105, p. 48];

L_i - i -tojo grunto sluoksnio storis, kuriame įgilintas polis.

Kalibruotosios vertės apskaičiuojamos [103, p. 118]:

$$R_{c,cal} = \frac{R_b}{\gamma_{Rb}} + \frac{R_s}{\gamma_{Rs}}; \quad (3.4)$$

čia R_b - pagrindo, po polio padu, maksimali laikomoji galia gniuždymui;

R_s - pagrindo, prie polio kamieno šoninio paviršiaus, maksimali laikomoji galia;

γ_{Rb} , γ_{Rs} - modeliavimo koeficientų reikšmės (žr. šaltinio 5.5 lentelė).

Laikomosios galios charakteristinė vertė skaičiuojama [103, p. 119]:

$$R_{c,k} = \frac{R_{c,cal}}{\xi_3 \text{ arba } \xi_4}; \quad (3.5)$$

čia ξ_3 , ξ_4 - koreliacijos koeficientai (žr. šaltinio 11 lentelė) [102, p. 13].

Gniuždomo polio laikomosios galios skaičiuotinė vertė [105, p. 49]:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_t}; \quad (3.6)$$

čia γ_t - dalinis koeficientas polių pagrindo laikymui (žr. šaltinio 4.4 lentelė).

Apskaičiuoti reikalingi polių ilgiai visiems keturiems sandėlio konstrukciniams variantams (žr. 3.4 lentelė), pagal aukščiau pateiktas formules. Polių ilgiai apskaičiuoti remiantis gręžinio GR-1 parametrais, nes jame yra nepalankiausias gruntas.

3.4 lentelė

Apskaičiuoti polių ilgiai skirtingiems sandėlio variantams

Sandėlio konstrukcinis variantas	Polio ilgis, m
V1. Klijuoto medžio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	5,20
V2. Plieno – dvitėjinės kolonos ir stogo sijos	5,10
V3. Gelžbetonio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	11,70
V4. Kombinuota iš gelžbetonio ir plieno – g/b kolonos ir plieninės stogo santvaros	5,80

Sukurta gręžtinio polinio pamato skaičiuoklė „Excel“ programoje (žr. 2 priedas). 3.4 lentelėje pateikti polių ilgiai parinkti naudojantis sukurta skaičiuokle. Programoje pažymėtos reikšmės raudona spalva yra įvedamos vartotojo, o juodos - nekeičiamos arba apskaičiuojamos automatiškai. Dalis įvedamų reikšmių (CPT bandymų skaičius, gruntas) yra parenkamos iš sąrašo,

kuris aktyvuojamas paspaudus ant redaguojamo langelio. Gręžtiniam pamatui apskaičiuoti, reikalingi atlikti grunto inžineriniai geologiniai tyrinėjimai ir pamatą veikiančios charakteristinės apkrovos. Pamato ilgis skaičiuojamas priartėjimo būdu, kol gaunamas teigiamas rezultatas (sąlyga tenkinama).

Skaičiuojamas polio nuosėdis ir poslinkiai baigtinių elementų metodu. Vertinamas nepalankiausias inžinerinis geologinis gręžinys GR-1. Apskaičiuojama i-tojo grunto sluoksnio analitinė standumo modulio vertė [103, p. 170]:

$$k_s = \frac{E_i}{\omega \cdot b \cdot (1 - \vartheta_i^2)}; \quad (3.7)$$

čia E_i - i-tojo sluoksnio grunto deformacijų modulis (imamas iš inžinerinių geologinių tyrimų ataskaitos);

b - pamato plotis (polio skersmuo 0,3 m);

ω - koeficientas, įvertinantis pamato formą ir standumą (žr. šaltinio 7 priedas 5 lentelė) [104, p. 128];

ϑ - i-tojo grunto sluoksnio skersinių deformacijų koeficientas (žr. šaltinio 7 priedas 22 punktas) [104, p. 129].

Grunto i-tojo sluoksnio spyruoklės standumas skaičiuojamas:

$$S = k_s \cdot A; \quad (3.8)$$

čia A - polio skerspjūvio plotas;

k_s - i-tojo sluoksnio analitinė standumo modulio vertė iš (3.7) formulės.

Apskaičiuotos gruntų sluoksnių analitinės standumo vertės ir spyruoklės pateiktos 2.5 lentelėje. Inžinerinius geologinių gręžinių sluoksnius žiūrėti 3.5 - 3.6 pav. ir 1 priede.

3.5 lentelė

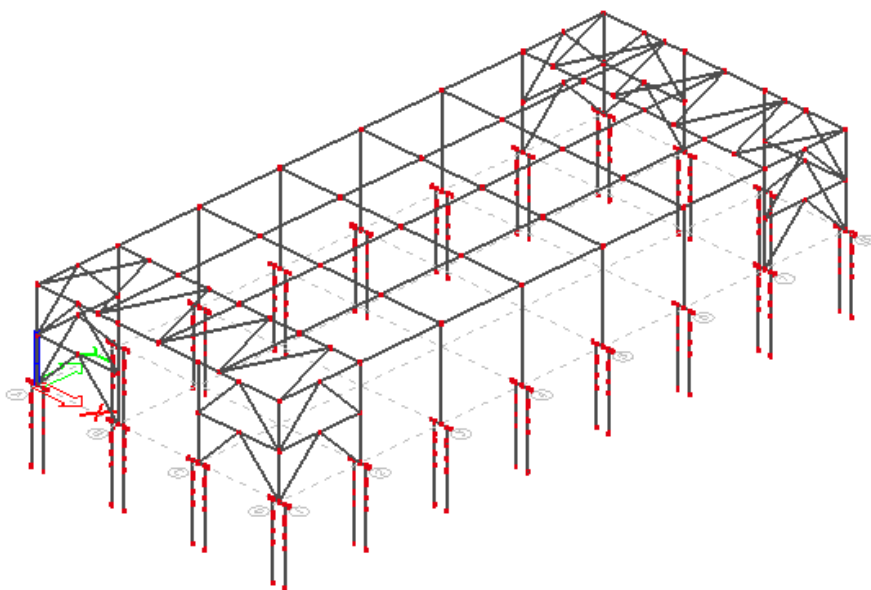
Grunto sluoksnių analitinės standumo vertės ir spyruoklės

Grunto sluoksnio Nr.	Grunto sluoksnio pavadinimas	Analitinė standumo modulio vertė, MN/m ³	Spyruoklės standumas, MN/m
1	Dirvožemis durpingas	-	-
2	Smėlis įvairus (Sa)	45,58	3,22
3	Molis smėlingas (saCl)	170,94	12,08
4	Molis smėlingas (saCl)	34,19	2,42
5	Molis smėlingas (saCl)	68,38	4,83
6	Smėlis molingas (clSa)	132,95	9,39

Sukurta grunto sluoksnio analitinės standumo spyruoklės skaičiuoklė „Excel“ programoje (žr. 3 priedas). 3.5 lentelėje pateikti rezultatai apskaičiuoti naudojantis sukurta skaičiuokle.

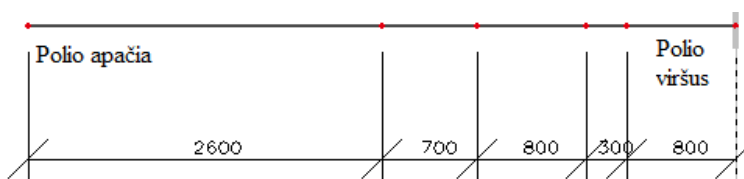
Programoje pažymėtos reikšmės raudona spalva yra įvedamos vartotojo, o juodos - nekeičiamos arba apskaičiuojamos automatiškai. Apskaičiuoti grunto standumo spyruoklei, reikalingi atlikti grunto inžineriniai geologiniai tyrinėjimai ir polio skersmuo. Skaičiavimą reikia kartoti tiek kartų, kiek grėžinyje yra skirtingų grunto sluoksnių, arba kiek jų projektuojamas pamatas kerta. Gauti rezultatai gali būti įvedami į konstrukcijų skaičiavimo programą, atlikti kitus pamatų skaičiavimus.

Suprojektuoti sandėlio konstrukciniai variantai papildomi pamatų modeliais, kad būtų gauti tikslūs nuosėdžiai ir poslinkiai. Papildyta sandėlio (V1) skaičiuojamoji schema, įterpian pamatų parametrus (žr. 3.7 pav.).



3.7 pav. Sandėliui (V1), prie kolonos atraminės bazės, įterpta g/b galvena ir du poliai

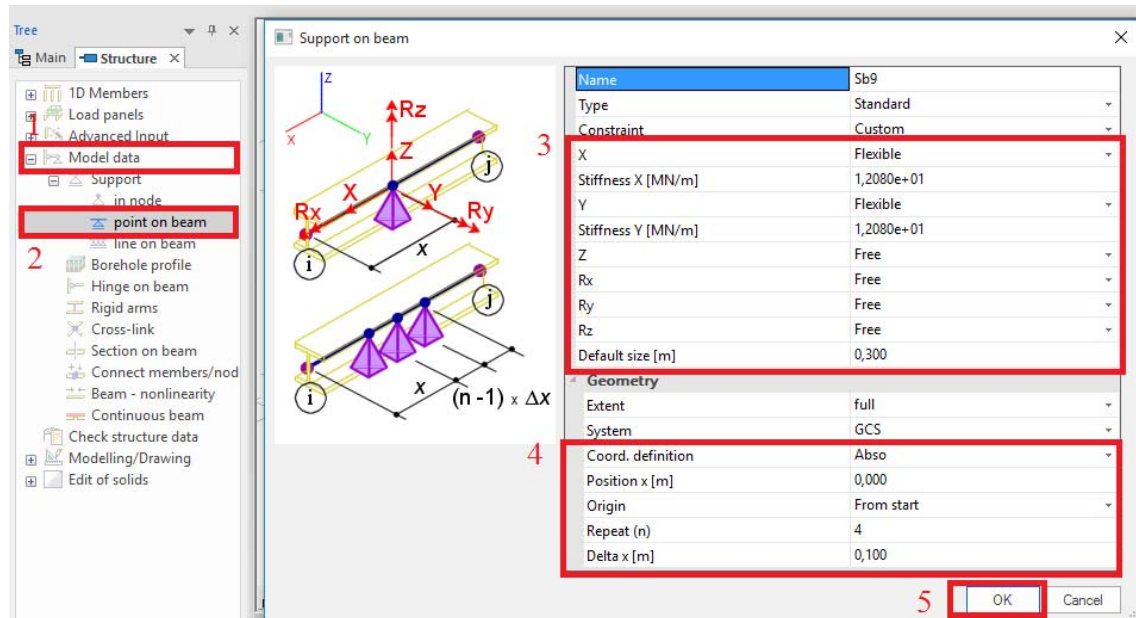
Poliai sudalinti į atskirus ilgius, kurie atitinka įgilinimą grunto i-tajame sluoksnyje (žr. 3.8 pav.). Taip yra paprasčiau priskirti standumo spyruokles atskiriems grunto sluoksniams. Sudalintas polis paveikslėlyje pasuktas į dešinę, 90-ties laipsnių kampu.



3.8 pav. Polio sudalijimas, kuris atitinka polio įgilinimą i-tajame grunto sluoksnyje

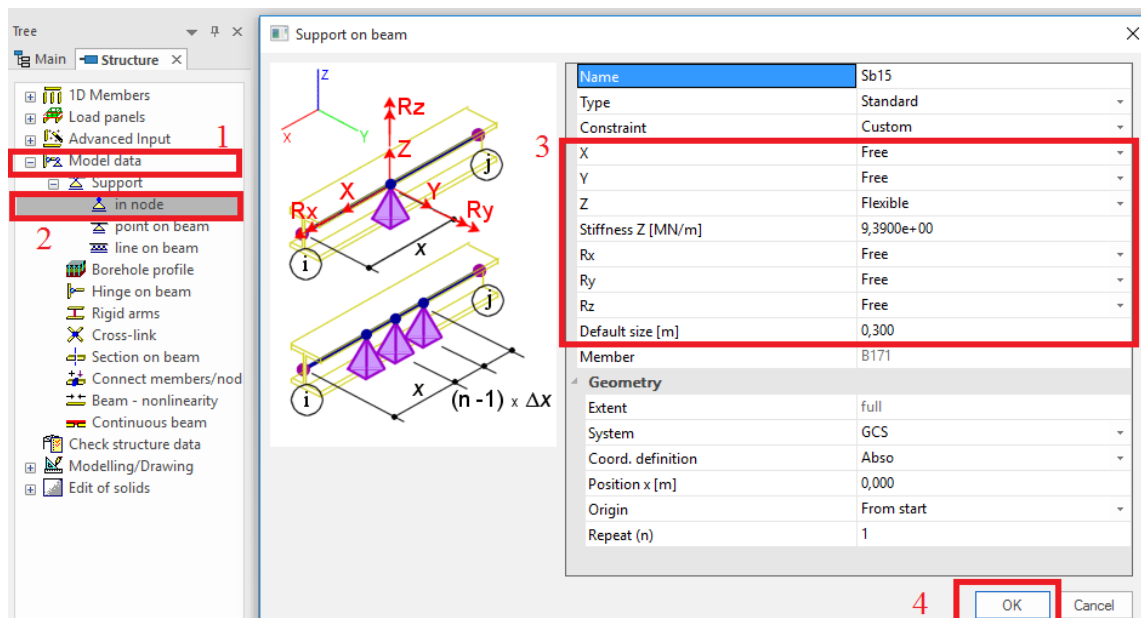
Kiekvienam atskiram sudalinto polio elementui, priskiriamos skirtingos standumo spyruoklės, remiantis 3.5 lentele ir inžinerinių geologinių tyrinėjimų ataskaita (žr. 3.9 pav.). Paveikslėlyje pateiktas šoninės spyruoklės parametrų įvedimas ir seka, pradedant pažymėtu Nr. 1. Ketvirtame paveikslėlio punkte parinktas tampiųjų atramų žingsnis yra 0,1 m, kuris turi būti taikomas ir kitiems grunto sluoksniams. Priskiriant atramų žingsnį kitiems sluoksniams, reikia pakeisti pakartojimų skaičių, atsižvelgiant į sluoksnio storį „repeat (n)“. Atlikus šiuos veiksmus, priskiriami

įvesti parametrai norimam elementui. Šiuo konkrečiu atveju polis kerta 5 grunto sluoksnius, tačiau viršutinis yra nevertinamas, nes jį sudaro dirvožemis. Vienam poliui priskirti visas spyruokles, veiksmą reikia kartoti keturis kartus. Priskirtos tamprumo jėgos, prie polio kamieno, ir atlikta analizė parodo, koks yra pamato horizontalus poslinkis iš abiejų rėmo plokštumų.



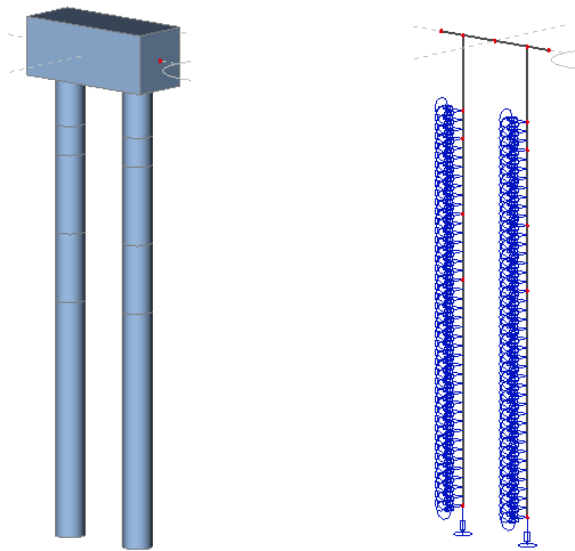
3.9 pav. Šoninės standumo spyruoklės priskyrimas poliui

Priskyrus poliui šonines spyruokles, uždėtas tamprumas polio padui (žr. 3.10 pav.). Ši spyruoklė nustato polinio pamato nuosėdį.



3.10 pav. Standumo spyruoklės priskyrimas polio padui

Sumodeliuotas pamato erdvinis vaizdas ir priskirtos standumo spyruoklės pateiktos paveikslėlyje (žr. 3.11 pav.).

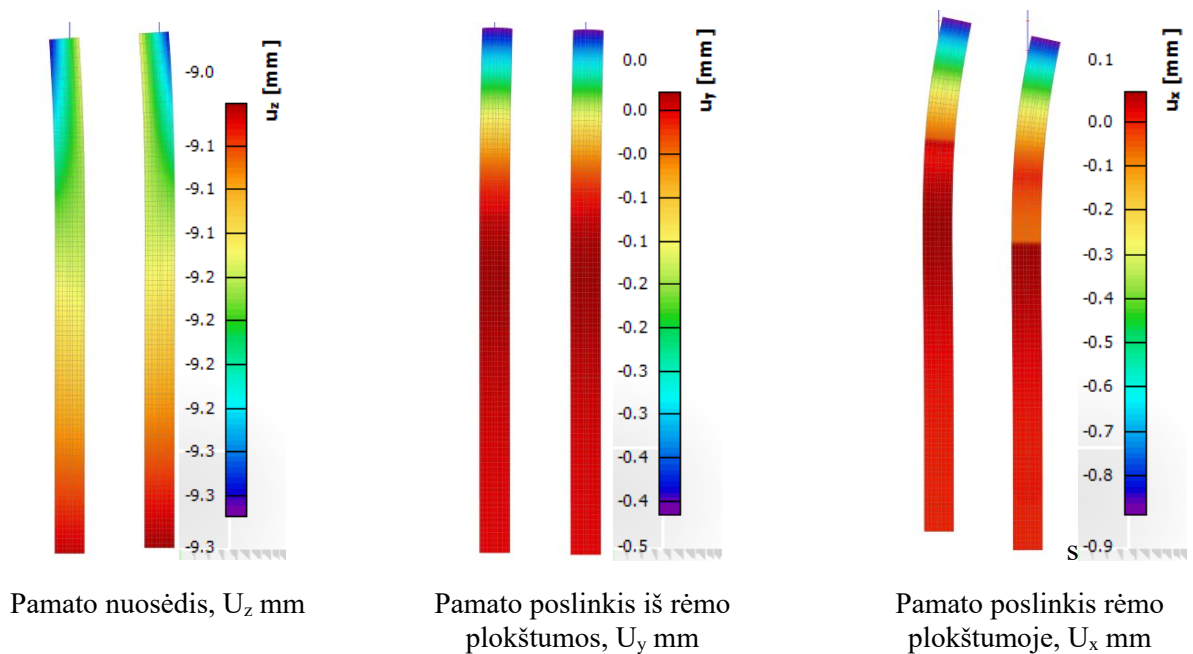


Erdvinis polinio pamato vaizdas

Priskirtos standumo spyruoklės poliams

3.11 pav. Polinio pamato erdvinis vaizdas ir skaičiuojamasis modelis

Įvykdžius visus veiksmus, atliekama analizė. Labiausiai apkrautų pamatų nuosėdis ir horizontalūs poslinkiai pateikti 3.12 paveikslėlyje. Būtina paminėti, kad poliniams pamatams nėra įvertinta grunto šoninės trinties įtaka pamatų nuosėdžiui (tūrėtų sumažėti ~30-40 %). Praktikoje, skaičiuojant polinių pamatų nuosėdį, nerekomenduojama vertinti šoninės trinties įtakos, nes, dažnu atveju, užsakovai ir rangovai, taupydami pinigus, apsiriboja tik keliais inžineriniais geologiniais tyrinėjimais, techninio projekto stadijoje.



Pamato nuosėdis, U_z mm

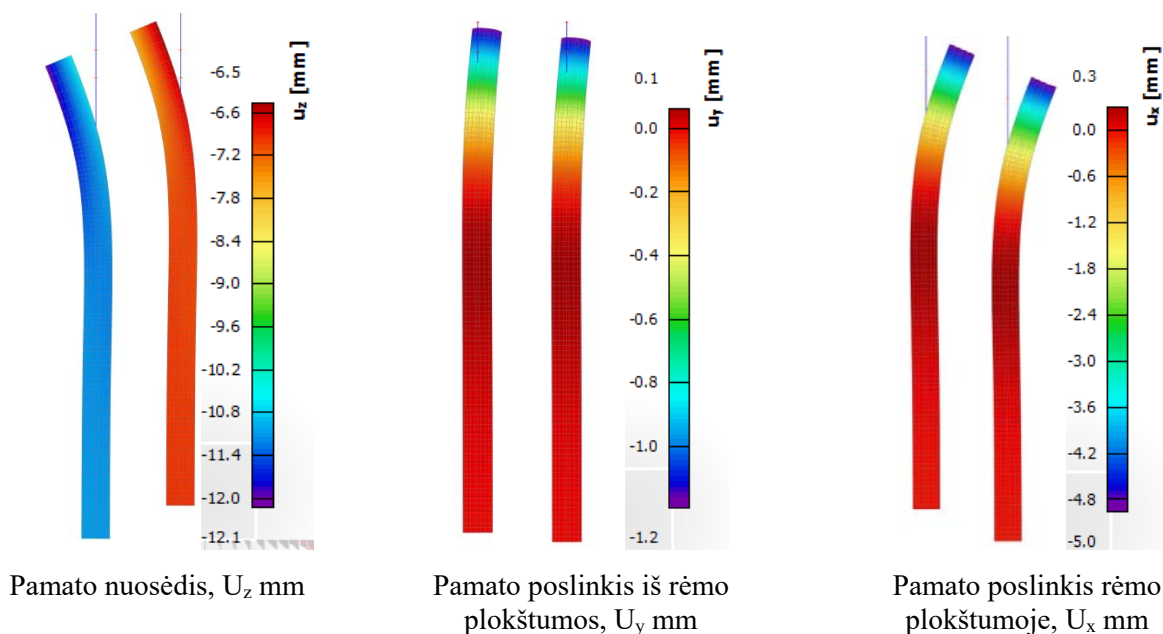
Pamato poslinkis iš rėmo plokštumos, U_y mm

Pamato poslinkis rėmo plokštumoje, U_x mm

3.12 pav. Sandėlio (V1) labiausiai apkrautų polinių pamatų poslinkiai

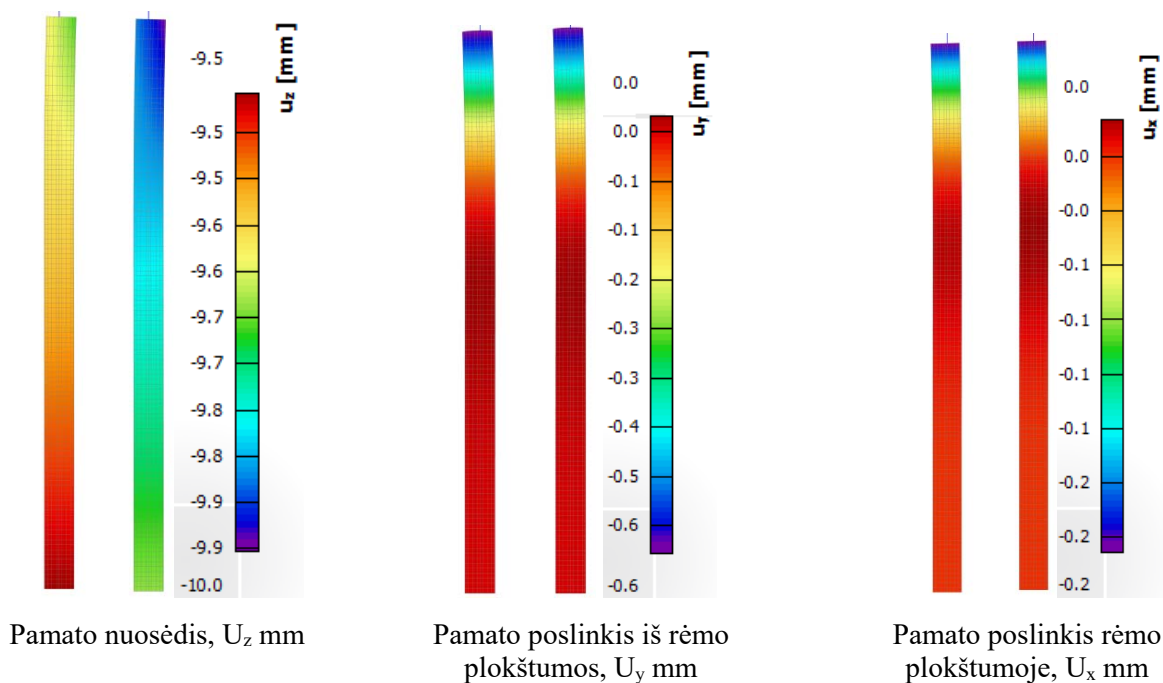
Tokiu pačiu principu atliekami ir kitų sandėlių polinių pamatų poslinkių skaičiavimai. Jie atliekami pagal GR-1 gręžinį, nes jis yra nepalankiausias. Lyginant apskaičiuotus sandėlio (V1)

pamatus su kitais variantais, skirsis polio įgilinimas į paskutinį grunto sluoksnį (Nr. 6). Apskaičiuoti sandėlio (V2) BEM maksimalūs pamatų poslinkiai, pavaizduoti 3.13 paveikslėlyje.



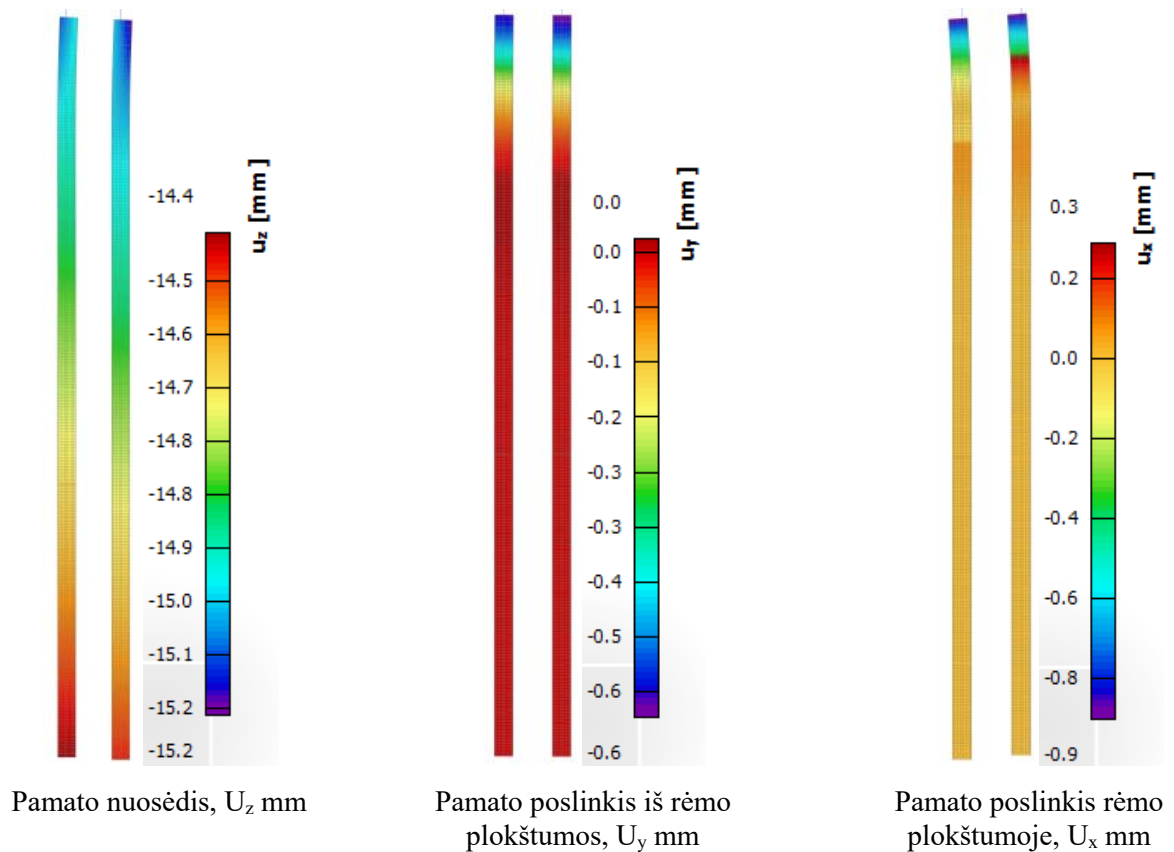
3.13 pav. Sandėlio (V2) labiausiai apkrautų polinių pamatų poslinkiai

Apskaičiuoti sandėlio (V4) BEM maksimalūs pamatų poslinkiai, pavaizduoti 3.15 paveikslėlyje.



3.14 pav. Sandėlio (V4) labiausiai apkrautų polinių pamatų poslinkiai

Pateikti sandėlio (V3) maksimalūs pamatų poslinkiai (žr. 3.15 pav.).

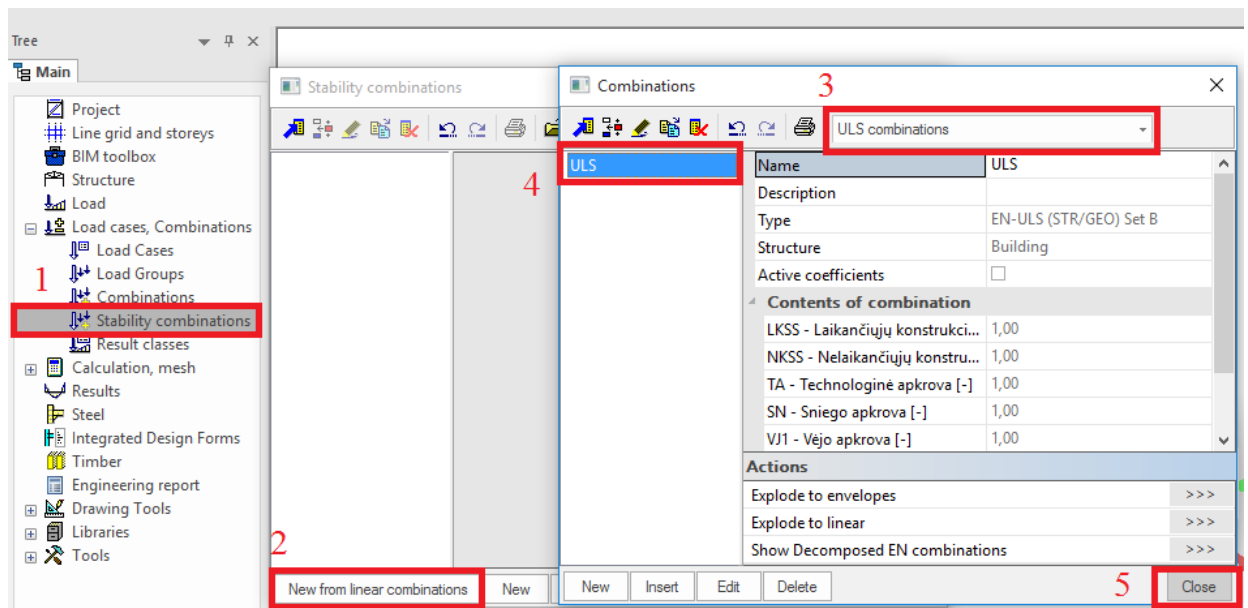


3.15 pav. Sandėlio (V3) labiausiai apkrautų poliinių pamatų poslinkiai

Apskaičiuoti skirtingų konstrukcinių variantų pamatų nuosėdžiai yra nedideli ir neviršija ribinių reikšmių. Pagal Eurokodo 7 reikalavimus, maksimalus vieno polio nuosėdis negali būti didesnis už 50 mm arba 10 % polio diametro [102, p. 15]. Remiantis Statybos Techniniais Reglamentais (STR 2.05.21:2016 ir STR 2.05.04:2003), karkasiniam pastatams pamato posvyris neregamentuojamas, tačiau tikrinant konstrukcijos rėmo horizontalųjį poslinkį, reikia įsivertinti ir pamatų poslinkį.

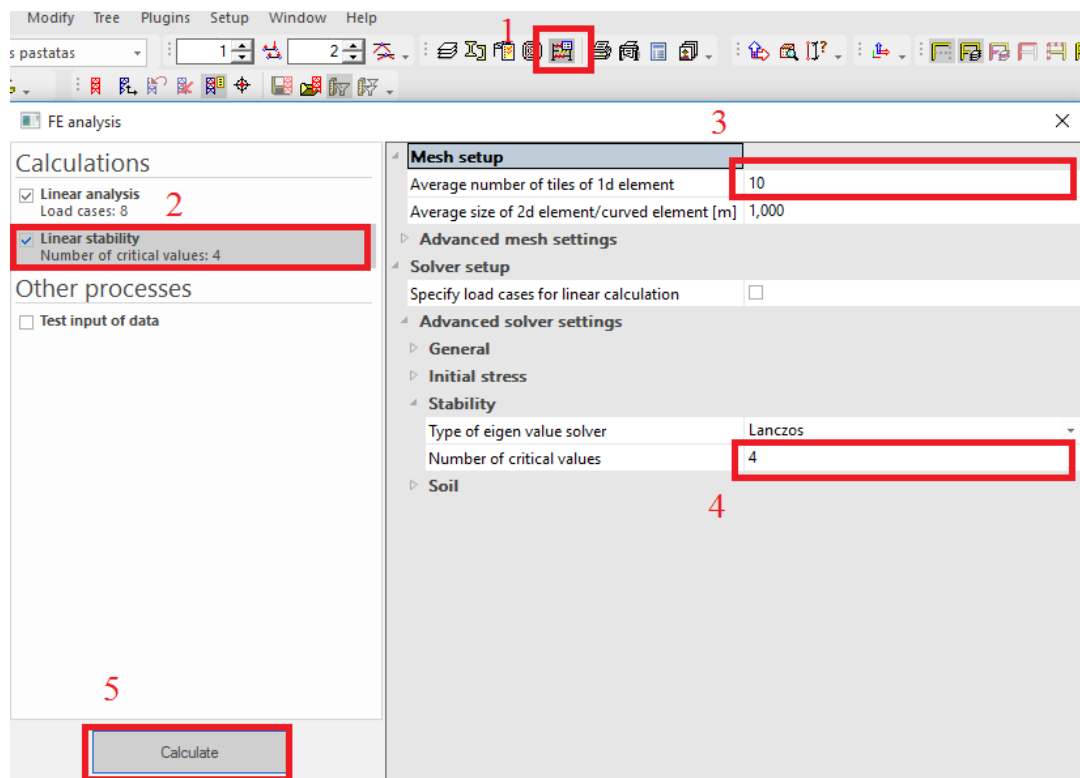
3.2 Stabilumas

Atliekama suprojektuoto erdvinio medinio rėmo (V1), pirmosios eilės visuminė analizė. Pirmiausia konstrukcijų skaičiavimo programoje automatiškai sukuriama stabilumo deriniai iš esamų saugos ribinių būvių (ULS) kombinacijų (žr. 3.16 pav.). Paveikslėlyje sekti eigą pradedant Nr. 1.



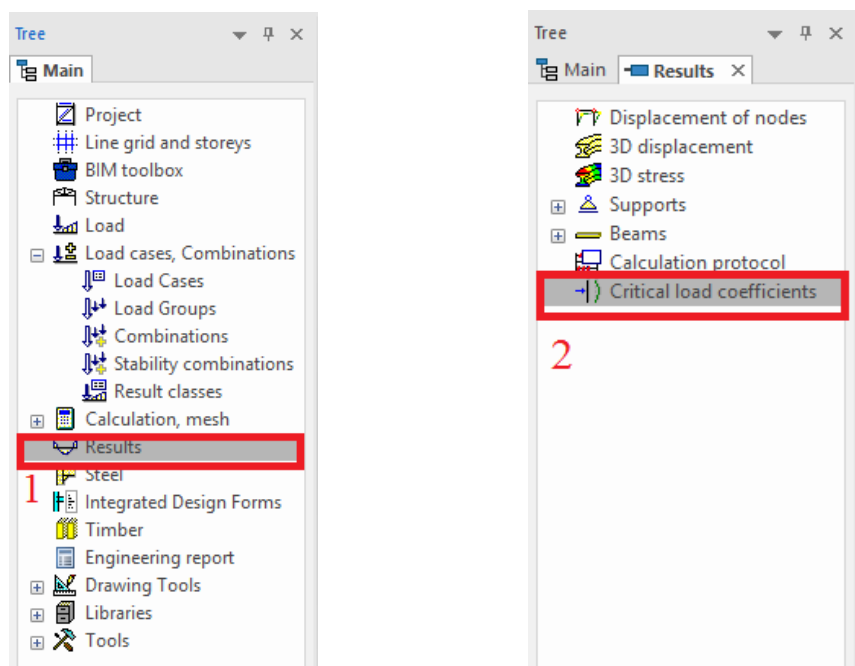
3.16 pav. Stabilumo derinių sukūrimas „SCIA engineer“ programoje

Koreguojami nustatymai pagal programos kūrėjų rekomendacijas, kad būtų sėkmingai atlikta rėmo visuminė analizė (žr. 3.17 pav.). Spaudžiant (1) atlikti analizę, uždedama varnelė ant „linear stability“ (2) - priešingu atveju, programa neatliks reikiamų skaičiavimų. Įvedamas tankesnis baigtinio elemento tinklas „10“ (3) ir padidinamas kritinių reikšmių skaičius „4“ (4). Atliekama visuminė analizė „calculate“ (5).



3.17 pav. Nustatymai visuminei analizei atlikti

Atlikto skaičiavimo rezultatai pateikti „results“ (1) ir „critical load coefficients“ (2) (žr. 3.18 pav.). Dešinėje programos lango pusėje atsiranda naujas langas „report preview“ su pateiktais stabilumo deriniais ir rezultatais.



3.18 pav. Rezultatų peržiūra

Sandėlio (V1) pirmosios eilės visuminės analizės rezultatai pateikti 3.6 lentelėje. Gautas koeficientas, kuriuo reikėtų padidinti skaičiuotines apkrovas, kad esant bendrajam nepastovumui, pasireikštų tamprusis nepastovumas.

3.6 lentelė

Sandėlio (V1) pirmosios eilės visuminės analizės rezultatai

Kritinės reikšmės skaičius	Kritinės apkrovos koeficientas
Stabilumo derinys: S1	
1	<u>2,97</u>
2	3,02
3	3,08
4	3,13

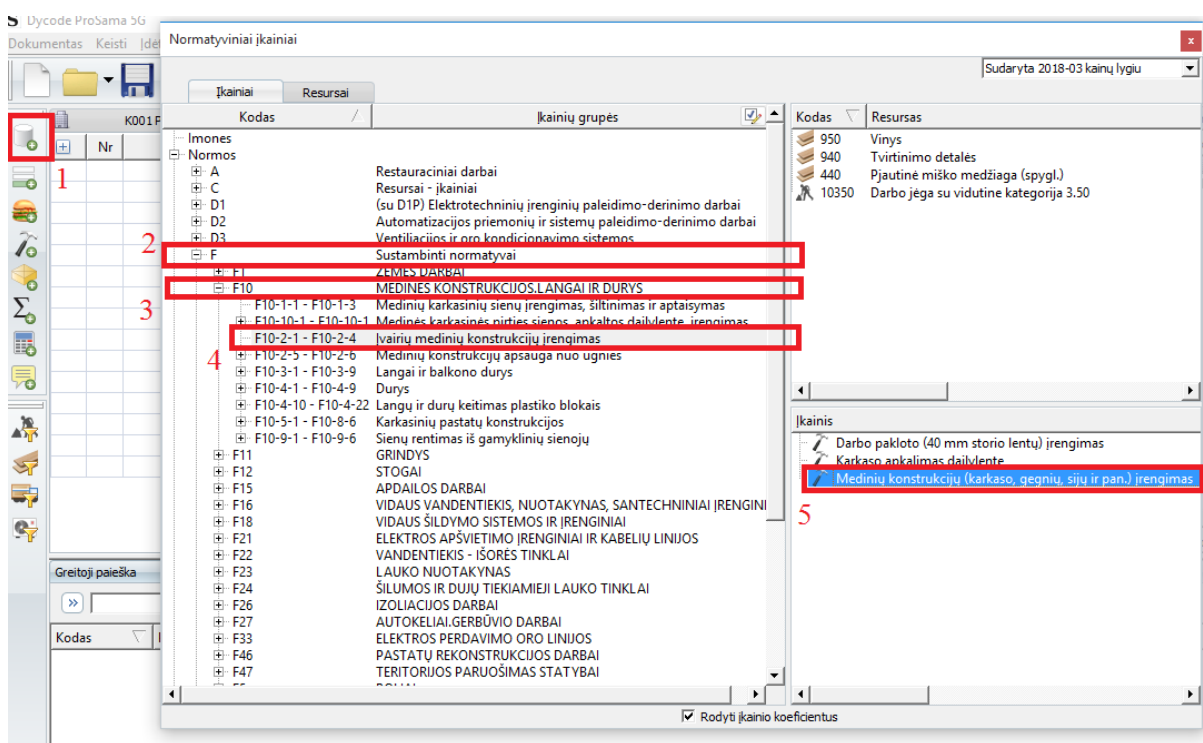
Tokiu pačiu principu atlikta ir kitų sandėlių visuminė analizė. Pateikiami apskaičiuoti koeficientai (žr. 3.7 lentelė).

Sandėlių (V2, V3, V4) pirmosios eilės visuminės analizės rezultatai

Kritinės reikšmės skaičius	Kritinės apkrovos koeficientas		
Stabilumo derinys: S1			
Sandėlio konstrukcinis variantas	V2	V3	V4
1	<u>1,02</u>	<u>8,22</u>	<u>1,96</u>
2	1,02	8,22	1,96
3	1,02	8,22	1,96
4	1,02	8,22	1,96

3.3 Statybos skaičiuojamosios kainos nustatymas

Statybos skaičiuojamoji kaina nustatoma naudojant sustambintus skaičiavimus. Medžiagų sąnaudos imamos iš konstrukcijų skaičiavimo programos. Kiekiai nėra tikslūs ir neatspindi realaus objekto, tačiau apskaičiuoti preliminariai statybos kainai ir palyginti su kitais konstrukciniais variantais, to pilnai užtenka. Sąmatinių skaičiavimų programos „ProSama 5G“ pagrindinis langas ir sustambinto įkainio įvedimas, pateiktas 3.19 paveikslėlyje. Sekti įkainio įvedimą pradėdant Nr. 1. Sąmata sudaroma 2018-03 kainos lygiu.



3.19 pav. „ProSama 5G“ programos langas ir sustambintų įkainių įvedimas

Pagrindiniame lange turi atsirasti įvestas įkainis (žr. 3.20 pav.). Įkainio pirmoje eilutėje, redaguojamas stulpelio „Kiekis“ pirmas narys, pagal projekcinį kiekį (paveikslėlyje pažymėtas mėlynai). Resursų papildomai redaguoti nereikia, jie pasikeičia automatiškai, atsižvelgiant į normą. Tokiu pačiu principu įterpiami ir kiti sustambinti įkainiai.

S Dycode ProSama 5G*

Dokumentas Keisti Įdėti Matyti Išrankos Nustatymai Pagalba

K001 Pirmas kompleksas O1 Objektas S1 Šamata

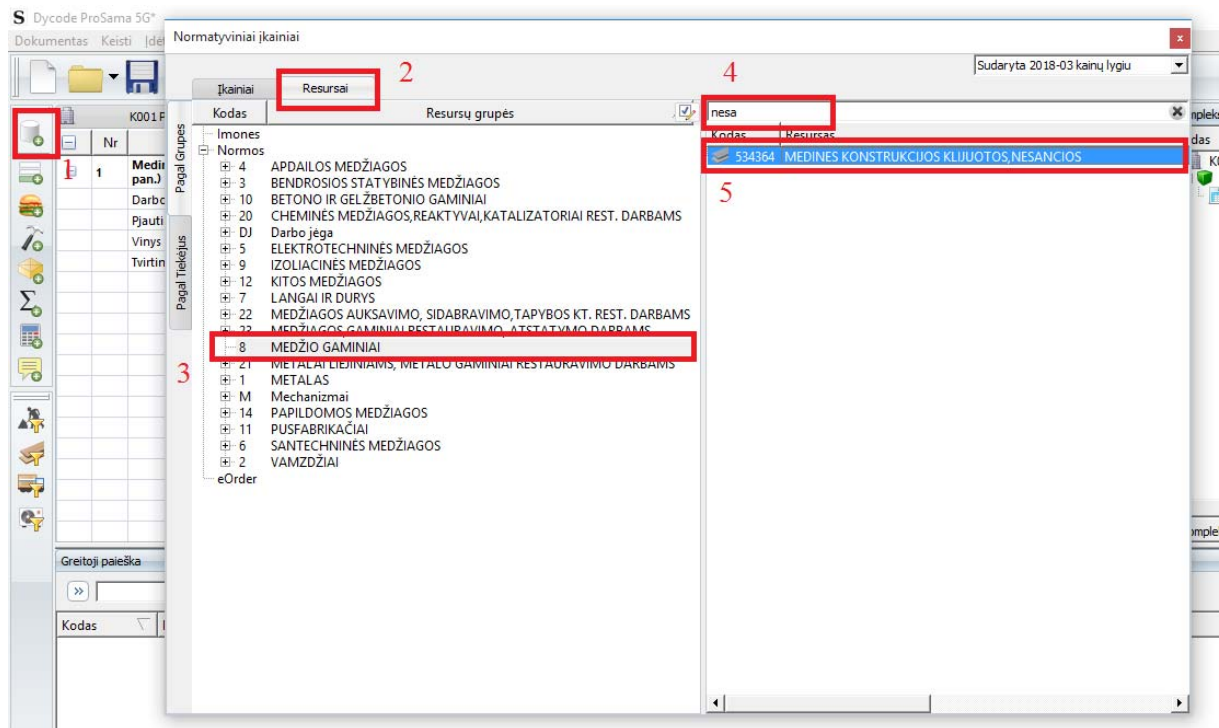
Nr	Pavadinimas	Kodas	Vnt	Norma	Kaina	Kiekis	Suma	Darbas	Medžiagos	Mechanizmai
1	Medinių konstrukcijų (karkaso, gegnių, sijų ir pan.) įrengimas	F10-2-1	m3		524,6285	1	524,63	273,60	251,03	0,00
	Darbo jėga su vidutine kategorija 3.50	10350	žm.val.	48,000	5,70	48,000	273,60	273,60		
	Pjautinė miško medžiaga (spygl.)	440	m3	1,100	203,89	1,100	224,28		224,28	
	Vinys	950	t	0,007	1 009,38	0,007	7,07		7,07	
	Tvirtinimo detalės	940	t	0,010	1 968,38	0,010	19,68		19,68	
	Iš viso						524,63	273,60	251,03	0,00
							Papildomų medžiagų vertė	7,53	3 %	
							Papildomų mechanizmų vertė	0,00		3 %
							Kiti darbo užmokesčio priskyrimai	21,89	8 %	
	Iš viso						554,05	295,49	258,56	0,00
							Soc. Draudimas	91,60	31 %	
	Iš viso						645,65	387,09	258,56	0,00
							Statybvietės išlaidos	58,11	9 %	9 %
	Iš viso (tiesioginės išlaidos)						703,76	421,93	281,83	0,00
							Pridėtinės išlaidos	79,78	27 %	
	Iš viso						783,54	501,71	281,83	0,00
							Pelnas	39,18	5 %	5 %
	Iš viso (su netiesioginėmis išlaidomis)						822,72	526,80	295,92	0,00

Greitoji paieška

Kodas Pavadinimas Vienetai Kaina Kaina su prisk. Tiekėjas

3.20 pav. Kiekio įvedimas „ProSama 5G“ programoje

Įkainį panašiu principu, kaip 3.19 paveikslėlyje, galima papildyti reikiamu resursu (žr. 3.21 pav.). Prieš tai, reikia pažymėti įkainį, kuriam norima priskirti resursą. Jis yra nestandartinis elementas, todėl reikia savarankiškai pakoreguoti kiekį.



3.21 pav. Įkainio papildymas resursais

Atlikti detalūs sandėlio konstrukcijų įrengimo sustambinti sąmatiniai skaičiavimai (žr. 4 priedas). Klijuotos medienos konstrukcijų sustambinti įkainiai, sąmatinėje programoje, nebuvo

pateikti. Darbo autorius susisieikė su UAB „Jūrės medis“ atstovais, kurie pateikė klijuoto medžio kolonų ir dvišlaitių stogo sijų sustambintas kainas. Sandėlio konstrukcinių variantų statybinės kainos pateiktos 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė

Sandėlio konstrukcinių variantų statybos kaina

Sandėlio konstrukcinis variantas	Statybos kaina, €
V1. Klijuoto medžio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	86 037,29
V2. Plieno – dvišlaitės kolonos ir stogo sijos	79 720,22
V3. Gelžbetonio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	88 090,96
V4. Kombinuota iš gelžbetonio ir plieno – g/b kolonos ir plieninės stogo santvaros	72 993,20

3.4 Pastatų metinis nusidėvėjimas

Pastatų metinis nusidėvėjimo procentas imamas iš „statinių vidutinės naudojimo trukmės normatyvų (SVN)“. Pastato sudėtinių dalių kasmetinis vertės mažinimo koeficientas, taikomas atsižvelgiant į pastato pagrindinę naudojimo paskirtį ir sudėtinių dalių sienų statybos produktus [80, p. 45]. Kasmetinis vertės mažinimo procentas pateiktas 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė

Kasmetinis pastatų vertės mažinimo procentas

Sandėlio konstrukcinis variantas	Pastato metinis nusidėvėjimo procentas
V1. Klijuoto medžio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	2,5
V2. Plieno – dvišlaitės kolonos ir stogo sijos	1,7
V3. Gelžbetonio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos	0,8
V4. Kombinuota iš gelžbetonio ir plieno – g/b kolonos ir plieninės stogo santvaros	0,8

3.5 Konstrukcijų atsparumas ugniai

Projektuojant gaisro veikiamas konstrukcijas, turi būti taikomi ypatingų situacijų deriniai (žr. 3.10 lentelė). Remiantis LST EN 1991-1-2, sudarant ypatingų poveikių derinius, reikia taikyti Ψ_1 ir Ψ_2 koeficientus. Standartas rekomenduoja naudoti Ψ_2 koeficientą. Tiriamajame darbe naudojimo ir temperatūrinių apkrovų nėra. Reikia įvertinti mažinimo koeficientus sniego ir vėjo apkrovoms. Nuolatinei apkrovai mažinimo koeficientas netaikomas.

Poveikių Ψ koeficientų reikšmės [106, p. 3]

Poveikis	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Statinių naudojimo apkrovos, kategorija (žr. EN 1991-1-1)			
A kategorija: namų ir gyvenamieji plotai	0,7	0,5	0,3
B kategorija: įstaigų plotai	0,7	0,5	0,3
C kategorija: susibūrimų plotai	0,7	0,7	0,6
D kategorija: parduotuvių plotai	0,7	0,7	0,6
E kategorija: saugyklų plotai	1,0	0,9	0,8
F kategorija: eismo plotai, transporto priemonių svoris ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
G kategorija: eismo plotas, 30 kN < transporto priemonių svoris ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
H kategorija: stogai	0	0	0
Statinių sniego apkrovos (žr. EN 1991-1-3)	0,7	0,5	0,2
Statinių vėjo apkrova (žr. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatūra (ne gaisro) statiniuose (žr. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Skaičiuotinės apkrovos, nustatyti atsparumą ugniai, pateiktos 3.11 lentelėje.

3.11 lentelė

Skaičiuotinės apkrovos nustatyti atsparumui ugniai

Apkrovų variantai	Charakteristinė apkrova, kPa	Patikimumo koeficientas	Skaičiuotinė apkrova, kPa
Nuolatinės apkrovos			
1. LKSS		1,0	
2. NKSS			
a) stogui	0,400		0,400
b) sienos	0,200		0,200
3. TA	0,100		0,100
Σ	0,700		0,700
Kintamos apkrovos			
4. SN	1,600	0,2	0,320
5. VJ			
a) priešvėjinė	0,16	0	0
b) pavėjinė	0,12	0	0

Pastabos:

LKSS – laikančiųjų konstrukcijų savasis svoris (apskaičiuoja programa);

NKSS – nelaikančiųjų konstrukcijų savasis svoris;

TA – technologinė apkrova uždedama ant stogo;

SN – sniego apkrova (II sniego apkrovos rajonas);

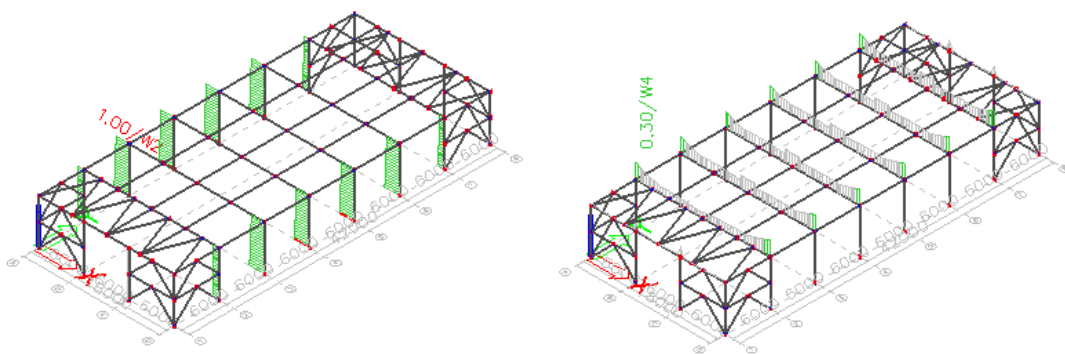
VJ – vėjo apkrovos (I vėjo apkrovos rajonas).

V1. Klijuoto medžio – kolonos ir dvišlaitės stogo sijos. Dalis skaičiavimo, atliekama rankiniu būdu, nustatant apanglėjimo storį po 45 minučių, o kita - konstrukcijų skaičiavimo programa, patikrinant sumažinto skerspjūvio laikomąją galią. Skaičiavimai atlikti remiantis LST EN 1995-1-2+AC (žr. 3.12 lentelė). Iš anksčiau suprojektuotų skerspjūvių, atimamas apanglėjimo storis (priklausomai nuo gaisro veikimo krypties skaičiaus).

Medienos statramsčio ir dvišlaitės stogo sijos apanglėjimo gylis po 45 minučių

Reikšmė	Narys	Nuorodos į LST EN 1995-1-2+AC
Skačiuotinė sąlyginio anglėjimo sparta	$\beta_n = 0,7$	3.1 lentelė
Gaisros veikimo kryptys	4 pusės statramsčiams 3 pusės stogo sijoms	
Sluoksniu, kurio stipris ir standis laikomi lygūs nuliui, storis	$d_0 = 7 \text{ mm}$	4.1 formulė
Koeficientas	$k_0 = 1,0$	4.1 lentelė
Reikiama atsparumo ugniai trukmė	$t = 45 \text{ min}$	
Vienmačio apanglėjimo gylis	$d_{char,n} = 31,5 \text{ mm}$	3.2 formulė
Efektyvusis apanglėjimo gylis	$d_{ef} = 38,5 \text{ mm}$	4.1 formulė

Statramsčių skerspjūvis, atėmus apanglėjimo storį - 163 x 203 mm., o dvišlaitės stogo sijos - 123 x 1762 x 862 mm. LST EN 1995-1-2+AC [107] 2.3 punktą numato, skaičiuojant atsparumo ugniai laipsnį, padidinti medienos skaičiuotinį stiprį 15%. Atliktus kolonų ir sijų atsparumo ugniai analizę, nustatyta, jog kolonos ir sijos gali atlaikyti 45 minučių gaisro apkrovą. 3.23 paveikslėlyje pateikti labiausiai apkrautų konstrukcinių elementų atsparumo ugniai skaičiavimo rezultatai (kairėje - kolonų, o dešinėje - stogo sijų). Klijuoto medžio konstrukcijos atitinka II atsparumo ugniai klasę.

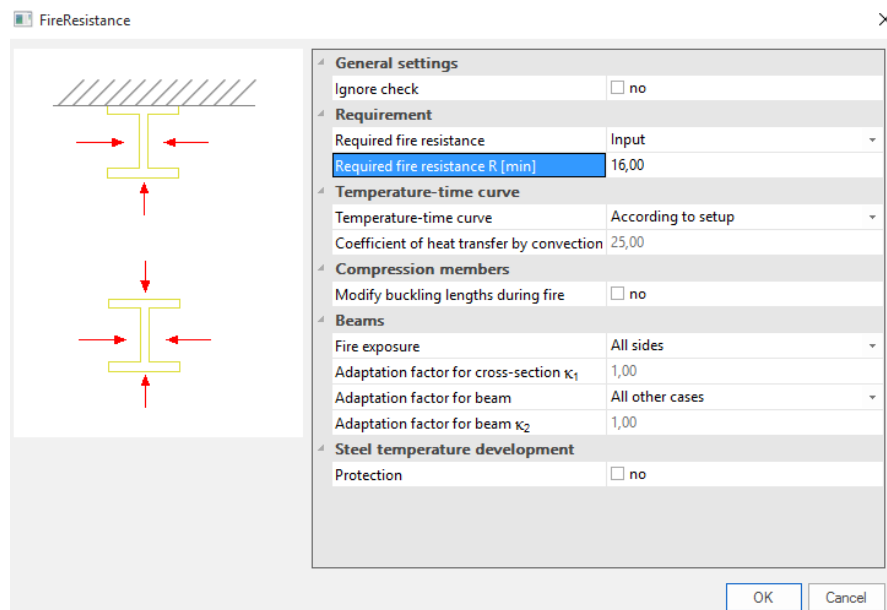


3.22 pav. Medinių kolonų ir sijų atsparumo ugniai skaičiavimo rezultatai (po 45 min.)

Nustatyta, jog kolonos pirmiausiai netenka stabilumo, todėl negali ilgiau atlaikyti gaisro apkrovos. Dvišlaitės sijos netenka stiprumo, o po to stabilumo, tačiau analizuotas skerspjūvis yra išnaudojamas tik 30 % procentų. Tikėtina, kad po ilgesnio nei 45 minučių gaisro, stogo sijos atsparumą lemtų stabilumo netekimas, tačiau reikėtų atlikti detalesnius skaičiavimus.

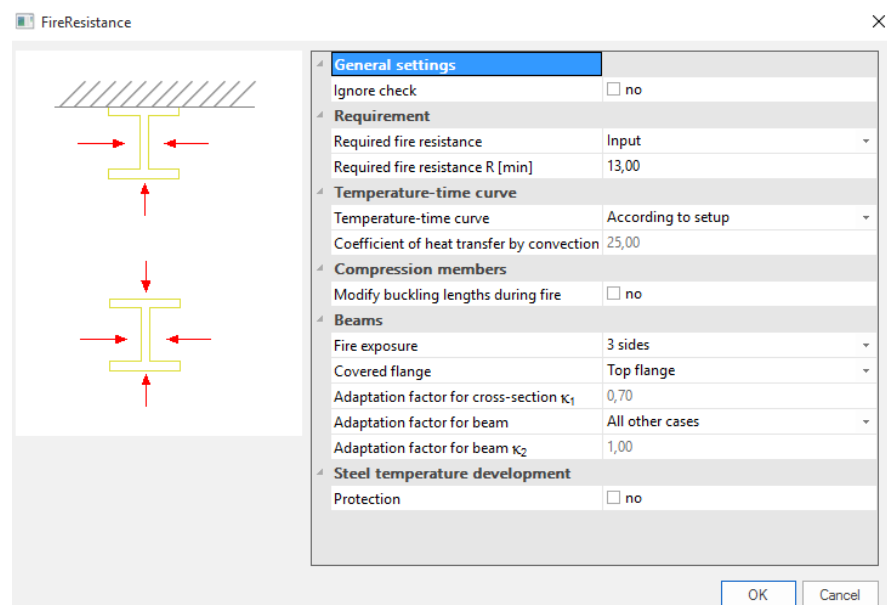
V2. Plieno – dvitėjinės kolonos ir stogo sijos. Skaičiavimas atliktas „SCIA engineer“ programa, pagal EC metodiką. 3.24 paveikslėlyje pateikiamas „SCIA engineer“ programos nustatymų langas, plieninių kolonų atsparumo ugniai, skaičiavimui. Užpildžius nustatymus, reikia spausti „OK“ ir priskirti įvestus nustatymus norimiems elementams. Veiksmas kartojamas du kartus,

nes kolonų ir stogo sijų nustatymai yra skirtingi. Toliau pateikiama informacija, ką reiškia kiekvienas punktas: „Ignore check“ – ignoruoti atsparumo ugniai tikrinimą; „Require fire resistance R [min]“ – reikalingas atsparumas ugniai minutėmis; „Coefficient of heat transfer by convection“ - šilumos perdavimo konvekcijos koeficientas (standartinis); „Modify buckling length during fire“ - ar gniuždomiems elementas keisti klumpamąjį ilgį, esant gaisrui; „Fire exposure“ - iš kiek kryptių gali veikti gaisro apkrova; „Covered flange“ – kuri profilio lentyna yra apsaugota nuo ugnies - viršutinė ar apatinė (dažniausiai naudojama stogų sijoms); „Adaptation factor for beam“ - pataisos koeficientas sijoms (standartinis); „Protection“ - ar skerspjūvis yra papildomai apsaugotas pvz.: padengtas priešgaisriniais dažais ar izoliacine medžiaga.



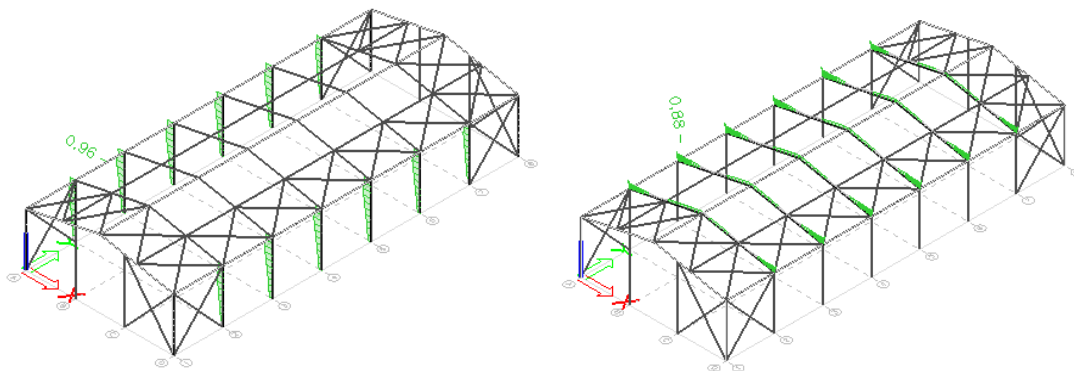
3.23 pav. Nustatymų langas, plieninių kolonų atsparumo ugniai, skaičiuoti

Pateikiamas nustatymų langas, plieninių sijų atsparumo ugniai, nustatyti (žr. 3.25 pav.)



3.24 pav. Nustatymų langas, plieninių sijų atsparumo ugniai, skaičiuoti

Atlikus kolonų ir sijų atsparumo ugniai analizę, nustatyta, jog kolonos gali atlaikyti 17, o sijos - 13 minučių trunkantį gaisrą. Užduotas pradinis atsparumo laikas kolonoms - 17 minučių, o stogo sijoms – 13 minučių. 3.26 paveikslėlyje pateiktas labiausiai apkrautų konstrukcinių elementų rezultatas (kairėje kolonų, o dešinėje stogo sijų). Pastato konstrukcijų atsparumo ugniai laipsnis – III. Nustatyta, jog kolonos ir sijos pirmiausia netenka stabilumo, todėl negali ilgiau atlaikyti gaisro apkrovos.



3.25 pav. Plieninių kolonų ir sijų atsparumo ugniai skaičiavimo rezultatai (užduotas laikas kolonoms - 17 min., o stogo sijoms – 13 min.)

V3. Gelžbetonio - kolonos ir dvišlaitės stogo sijos. Kadangi projektuojamos pastato konstrukcijos yra iš surenkamo gelžbetonio, todėl atsparumo ugniai laipsnis nustatomas remiantis gamintojų pateiktomis techninėmis specifikacijomis (betonika.lt). Projektuojamų kolonų ir šlaitinių sijų atsparumas yra 120 min., tai atitinka I laipsnį ir 1 gaisro apkrovos kategoriją. Projektuojant gelžbetonines kolonas, reikia vadovautis 3.13 lentelėje pateikta informacija. Gelžbetoninių konstrukcijų atsparumo ugniai laipsnis, tiesiogiai priklauso nuo skerspjūvio matmenų ir betono apsauginio sluoksnio. Lentelėje pateikta, kad kolona atlaikytų 120 min. trukmės gaisrą - minimalus kolonos skerspjūvis turi būti 280 x 280 bei apsauginis betono sluoksnis, iki armatūros centro, nemažesnis nei 40 mm. Projektuojamos kolonos yra 400 x 400 mm. skerspjūvio, tai reiškia, kad tokio skerspjūvio elementas, gali atlaikyti daugiau kaip 240 min. trunkantį gaisrą.

3.13 lentelė

Stačiakampio ir apvaliojo skerspjūvio gelžbetoninių kolonų mažiausieji matmenys ir armatūros centro atstumas a [108, p. 10]

Standartinis atsparumas ugniai	Mažiausieji matmenys (mm) Kolonos plotis b_{min} /atstumas a			
	Kolonos, kurių daugiau kaip vienas šonas gali būti veikiamas gaisro			Gaisro veikiamas vienas šonas
	$m_{fi} = 0,2$	$m_{fi} = 0,5$	$m_{fi} = 0,7$	$m_{fi} = 0,7$

3.13 lentelės tęsinys kitame puslapyje

3.13 lentelės tęsinys

R 30	150/10*	150/10*	150/10*	100/10*
R 60	150/10*	180/10*	200/10*	120/10*
R 90	180/10*	210/10*	240/35	140/10*
R 120	200/40	250/40	280/40	160/45
R 180	240/50	320/50	360/50	200/60
R 240	300/50	400/50	450/50	300/60

*Apsauginio betono sluoksnio storis parenkamas pagal STR 2.05.05:2005;
Koeficientas m_{fi} apskaičiuojamas pagal STR 2.05.11:2005 13 formulę.

Dvitėjinių sijų atsparumo ugniai laipsnis gali būti nustatomas pagal 3.14 lentelę. Projektuojamos sijos plotis $b = 500$ mm., pagal lentelę, toks skerspjūvis gali atlaikyti gaisro apkrovą nuo 120 iki 240 min.

3.14 lentelė

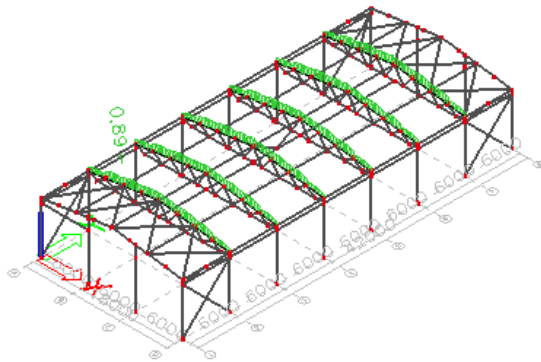
Paprastojo ir įtemptojo gelžbetonio laisvai atremtų sijų skerspjūvio mažiausieji matmenys ir atstumas a [108, p. 13]

Standartinis atsparumas ugniai	Mažiausieji matmenys (mm)				
	b_{min}				b_w
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 25$	120 15*	160 10*	200 10*	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 55$	200 45	250 40	400 35	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 65$	240 55	300 50	500 45	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	160
$a_{sd} = a + 10$ mm (kampinio strypo centro atstumas iki skerspjūvio artimiausio krašto)					

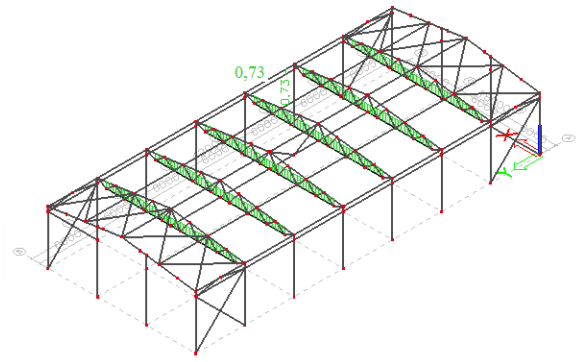
*Apsauginio betono sluoksnio storis parenkamas pagal STR 2.05.05:2005;
 b_{min} - minimalus skerspjūvio plotis;
 b_w - dvitėjo skerspjūvio formos sija su kintamu briaunos pločiu.

V4. Kombinuota gelžbetonio ir plieno - g/b kolonos bei plieninės stogo santvaros.

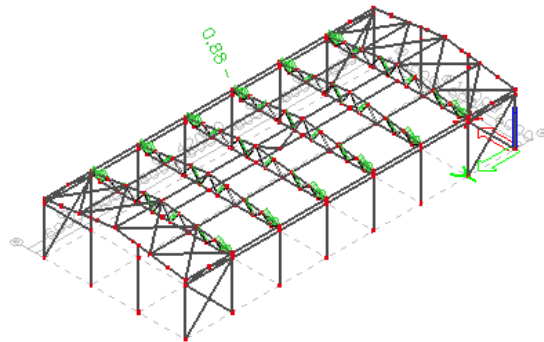
Projektuojamos surenkamos g/b kolonos 300 400 mm skerspjūvio, kurios gali atlaikyti 120 min. gaisro apkrovą (pagal betonika.lt). Kolonos atitinka I atsparumo ugniai laipsnį ir 1 gaisro apkrovos kategoriją. Remiantis STR 2.05.11:2005, skerspjūvis gali atlaikyti iki 120 min. trukmės gaisrą, neatliekant detalesnių skaičiavimų. Stogas gaisro atveju, atlaikytų 10 minučių trunkantį gaisrą (žr. 3.27 pav.). Pastatas yra priskiriamas II atsparumo ugniai laipsniui.



Santvaros viršutinė juosta – 0,89



Santvaros apatinė juosta – 0,73



Santvaros tinklelio elementai – 0,88

3.26 pav. Plieninių santvaros elementų atsparumo ugniai skaičiavimo rezultatai (užduotas laikas - 10 min.)

3.6 Daugiakriteris vertinimas

Atliekamas daugiakriteris vertinimas SAW metodu. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica (žr. 3.15 lentelė). Visi ankščiau apskaičiuoti rodikliai (stabilumas, statybos kaina ir pan.) surašomi į lentelę. Nurodoma rodiklio reikšmė „min.“ arba „maks.“ priklausomai nuo to, kuri vertė yra geresnė lyginamoje kategorijoje. Išskiriama geriausia reikšmė.

3.15 lentelė

Sprendimų priėmimo matrica

Sandėlio konstrukciniai variantai	Rodikliai			
	Stabilumas, koef.	Statybos kaina, €	Nusidėvėjimas, % per metus	Atsparumo ugniai laipsnis
V1	2,97	86 037,29	2,5	II
V2	1,02	79 720,22	1,7	III
V3	7,09	88 090,96	0,8	I
V4	1,96	72 993,20	0,8	II
Rodiklis	maks.	min.	min.	min.
Geriausia reikšmė	7,09	72 993,20	0,8	I

Sekantis žingsnis - normalizuoti matricą (žr. 3.16 lentelė). Rodiklių reikšmingumo vertės pasirinktos proporcingai, kadangi nebuvo atlikta ekspertų apklausa. Ateities tyrimuose bus numatytos ekspertų apklausos. Atliekant atskirų narių dalybą, maksimalaus rodiklio reikšmė naudojama daliklyje, o minimali - vardiklyje.

3.16 lentelė

Sprendimų priėmimo matricos normalizavimas

Sandėlio konstrukciniai variantai	Rodikliai			
	Stabilumas, koef.	Statybos kaina, €	Nusidėvėjimas, % per metus	Atsparumo ugniai laipsnis
V1	0,419	0,848	0,320	0,500
V2	0,144	0,916	0,471	0,333
V3	1,000	0,829	1,000	1,000
V4	0,276	1,000	1,000	0,500
Rodiklis	maks.	min.	min.	min.
Rodiklių reikšmingumas	0,25	0,25	0,25	0,25

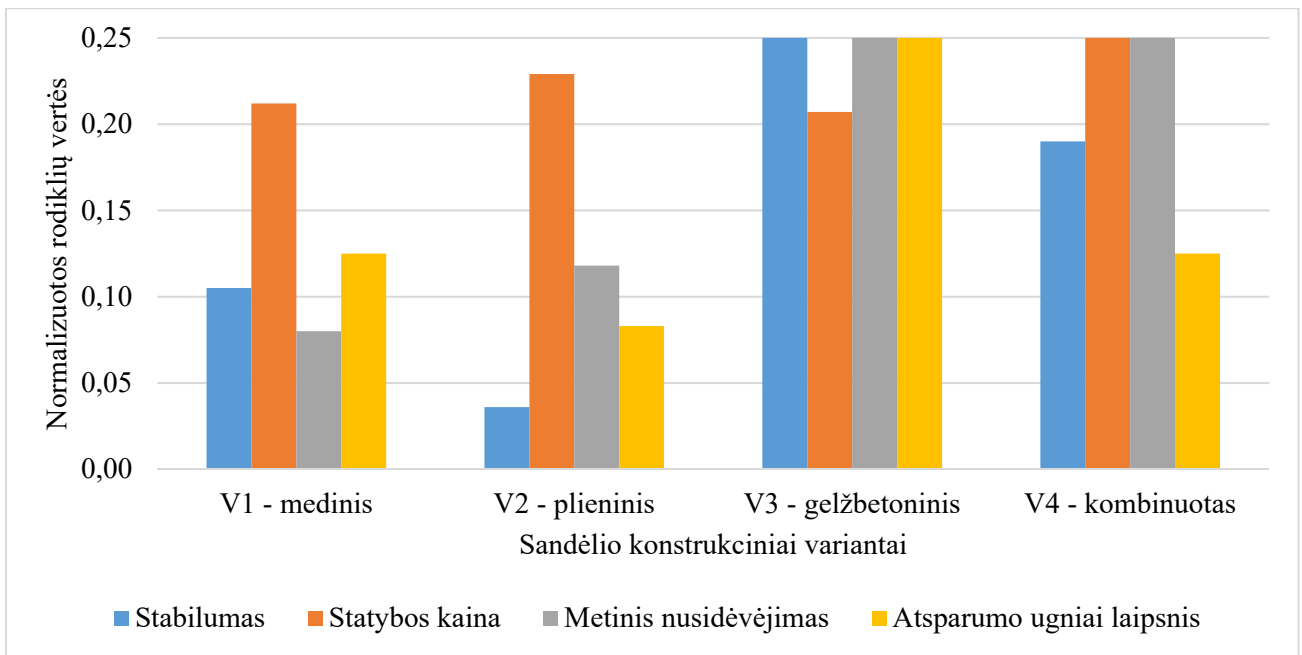
Normalizuotos matricos, kiekvienos eilutės narys, dauginamas iš rodiklių reikšmingumo - susumuojami balai ir sudaroma prioritetų eilutė (žr. 3.17 lentelė). Tinkamiausias variantas, pagal nagrinėjamus kriterijus, turi didžiausią balų skaičių, blogiausias – mažiausią.

3.17 lentelė

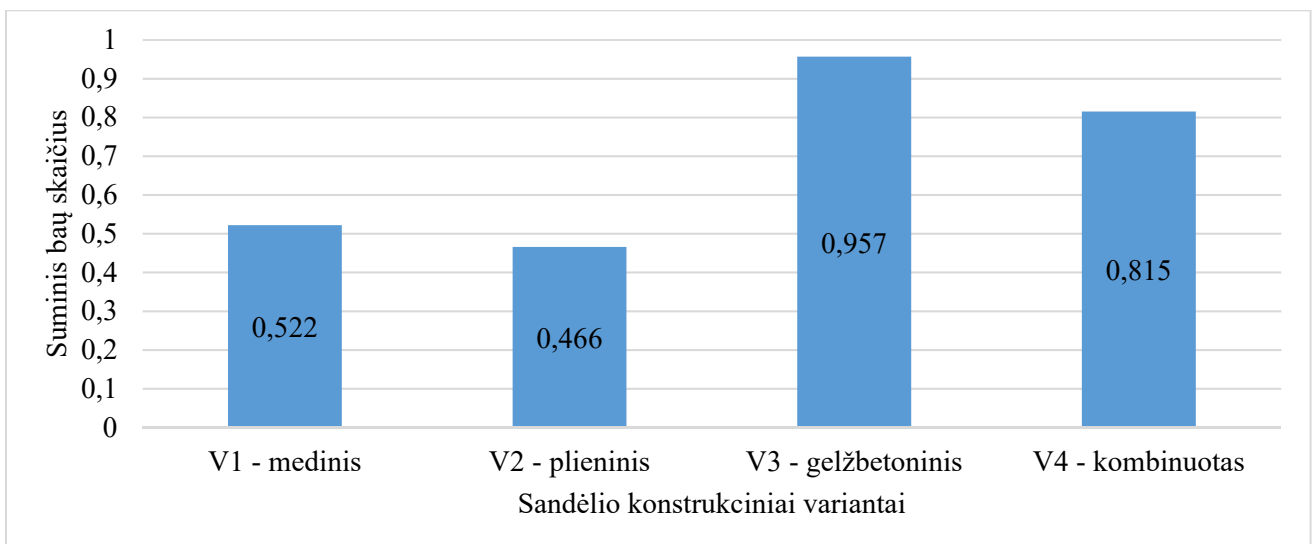
Sprendimų priėmimo matricos prioritetų eilutė

Sandėlio konstrukciniai variantai	Rodikliai				Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Stabilumas, koef.	Statybos kaina, €	Nusidėvėjimas, % per metus	Atsparumo ugniai laipsnis		
V1	0,105	0,212	0,080	0,125	0,522	3
V2	0,036	0,229	0,118	0,083	0,466	4
V3	0,250	0,207	0,250	0,250	0,957	1
V4	0,190	0,250	0,250	0,125	0,815	2

Gauti rezultatai, pateikti paveikslėliuose (žr. 3.27 - 3.28 pav.). Tirtiems sandėlio konstrukciniams variantams nustatyta, kad racionaliausia, pagal lyginamus kriterijus, naudoti gelžbetonio konstrukcijas (V3). Antrojoje vietoje yra mišrios konstrukcijos iš gelžbetonio kolonų ir plieninių stogo santvarų (V4). Trečioje vietoje liko medinis sandėlis (V1) ir paskutinėje - plieninis (V2).



3.27 pav. Sprendimų priėmimo matricos rezultatai



3.28 pav. Sprendimų priėmimo matricos suminis balų skaičius

Statinio informacinis modeliavimas leidžia greitai, kokybiškai ir racionaliai parengti projekto dalį ar dalis. Šiuo atveju, BIM privalumas išnaudotas atliekant statinius skaičiavimus. Nubraižyti modeliai turi išliekamąją vertę, nes jie gali būti panaudoti atliekant kitus tyrimus, rengiant projekto dalis ar bandant optimizuoti konstrukcijas. Kiekvienas suprojektuotas sandėlio konstrukcinis variantas turi savo privalumų ir minusų. Negalima kategoriškai teigti, kad viena konstrukcija yra geriausia ir tinkamiausia visais atvejais, tai priklauso nuo kliento norų, pastato formos, geografinės vietos, sandėliuojamų produktų ir daug kitų kriterijų. Atlikus konstrukcijų statybinės kainos skaičiavimus, skirtumas tarp pigiausios ir brangiausios konstrukcijos yra 15 %. Parengus detalesnį projektą, situacija gali pasikeisti. Taip pat, negalima teigti, kad pastatas, turintis mažiausią stabilumą, bus nepatikimesnis, lyginant su geriausiu variantu.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Atlikus literatūros analizę, galima teigti, kad skaitmeninis pastato modeliavimas (BIM) yra sudėtingas procesas, kuris reikalauja žinių, kruopštumo ir detalumo. Taikant BIM metodologiją, statybininkai gali sumažinti arba išvengti nenumatytų darbų, nereikia improvizuoti priimant sprendimus statybų aikštelėje. Projektinėje stadijoje, keičiantis erdviniais modeliais su skirtingų projekto dalių rengėjais, minimizuojamas klaidų skaičius ir galima sutaupyti iki 30 % statybos kainos. Išskiriami pagrindiniai BIM sprendimai: 3D, 4D, 5D ir 6D.

2. Lyderiaujančios šalys BIM naudojimo mastu - Amerika, Skandinavijos šalys, Jungtinė Karalystė, Vidurio rytai, Azija ir Australija. Europos sąjunga, kuri skatiną tvarų projektavimą ir eksploatavimą, nėra tarp pirmaujančių pasaulio šalių, pagal BIM technologijų naudojimą. Situacija Europoje keičiasi, šviečiant visuomenę ir rengiant metines ataskaitas apie skaitmeninimo naudą. Leidžiami įstatymai, taikyti skaitmeninį modeliavimą, projektuojant valstybinės reikšmės objektus. Lyderiaujančios šalys Europoje, pagal skaitmeninio modeliavimo naudojimo mastą - Danija, Ispanija, Olandija, Vokietija, Italija, Airija ir Lenkija.

3. Visi naujai projektuojami, rekonstruojami ar remontuojami statiniai ir pastatai privalo būti suprojektuoti ir pastatyti taip, kad užtikrintų šešis esminius statinio reikalavimus. Sandėlio projektavimo procesas neapsiriboja tik techninio projekto parengimu statybai. Remiantis ištyrinėta literatūra, tinkama sandėlio technologija ir geografinė vieta gali sutaupyti pinigų ateityje. Renkantis pastato vietą, reikia atkreipti dėmesį į vietinę rinką, valdžią, infrastruktūrą bei tinkamai jas įvertinti. Sandėlio viduje, svarbu patogiai suskirstyti stelažus, kad darbuotojai galėtų dirbti kuo efektyviau, išnaudojant mažiau laiko sąnaudų. Norint racionaliai suprojektuoti sandėlio išplanavimą, būtina naudoti mokslininkų sukurtus ergonominius tyrimo metodus.

4. Konstrukcijų stabilumas gali būti įvertinamas taikant pirmosios arba antrosios eilės analizę. Remiantis Euro kodu ir konstrukcijų skaičiavimo programa „SCIA Engineer“, išskiriami šeši pagrindiniai sprendimo būdai, įvertinti pastato stabilumui. Darbo autorius, parenkant konstrukcijų skerspjūvius, rekomenduoja įvertinti nuokrypas ir antrosios eilės poveikius bei patikrinti atskirų elementų stabilumą.

5. Atlikus apžvalgą, galima teigti, kad daugiakriterių metodų taikymą, bendrąja prasme, schematizavo A. Guitouni ir J. M Martel (1998 m.). Daugiakriteriai metodai yra skirstomi į keturias klasifikacijas: 1. metodai pagrįsti daugiakritere naudingumo teorija; 2. analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai; 3. verbalinės analizės sprendimų metodai; 4. lyginamosios preferencijos metodai. Lietuvoje populiariausi ir dažniausiai naudojami - SAW, COPRAS ir TOPSIS.

6. Naudojantis konstrukcijų skaitmeninio modeliavimo programa „SCIA Engineer“, suprojektuotos keturios skirtingos sandėlio konstrukcijos iš medžio, plieno, gelžbetonio ir

kombinuota (gelžbetonis + plienas). Skerspjūviai apskaičiuoti remiantis Eurokodų reikalavimais. Atlikti pastatų stabilumo, geotechniniai ir atsparumo ugniai skaičiavimai.

7. Atlikus keturių skirtingų sandėlio konstrukcijų skaitmeninių modelių daugiakriterį vertinimą SAW metodu, nustatyta, kad pagal lyginamas reikšmes, racionaliausia naudoti trečią variantą (V3) iš gelžbetonio. Šis variantas surinko net trijose kategorijose (iš keturių) maksimalų balų skaičių (0,957 iš 1,0). Konstrukcijos yra stabiliausios, mažiausiai nusidėvinčios ir atspariausios ugniai. Nepaisant to, kad gelžbetonio konstrukcija šiame tyrime yra geriausia, būtina pabrėžti, jog ji yra ir pati brangiausia.

Antroje vietoje yra sandėlis iš kombinuotų konstrukcijų, gelžbetonio ir metalo (V4). Lyginant su gelžbetoniu, skirtumas tarp jų yra 15 %. V4 konstrukcija yra pigiausia ir turi tokį patį metinį nusidėvėjimą, kaip ir pastatas iš gelžbetonio.

Trečioje vietoje liko medinės sandėlio konstrukcijos (V1). Nuo pirmosios vietos atsiliko 46 %, o nuo antrosios 36 %. Konstrukcija nė vienoje kategorijoje nesurinko maksimalaus balų skaičiaus - ji turi patį didžiausią metinį nusidėvėjimą.

Paskutinėje vietoje yra konstrukcija iš plieno (V2). Lyginant su pirmąja vieta skirtumas yra 51 %, su antrąja – 43 % ir su trečiaja – 11 %. Konstrukcija turi mažiausią stabilumą ir atsparumą ugniai, nepaisant to, ji yra antra, pagal mažiausią statybos kainą.

Darbo autorius rekomenduojama atlikti papildomus tyrimus, siūlomi variantai:

1. Detalizuoti konstrukcinius sprendinius, naudojantis skaitmenine ar CAD programa ir patikslinti statybos kainą, įvertinus apdailą.
2. Palyginti suprojektuotų pastatų erdvinius rėmus, ar jie yra tinkami statybai seisminėje zonoje.
3. Tęsti projekto skaitmeninimą, projektuojant kitas projekto dalis.

LITERATŪRA

- [1] D. Gedvilas *et al.*, „Skaitmeninės statybos Lietuvoje gairės 2014-2020“, 2014.
- [2] M. Reizgevičius, „BIM technologijų efektyvumo daugiapakopis vertinimas: Daktaro disertacija“, Vilnius TECHNIKA, 2016.
- [3] G. De Almeida, L. Carlos, ir B. D. B. Mello, „Analysis of Organizational Culture in Brazilian Building Companies to Evaluate Changes Required by BIM Technology“, *Bus. Manag. Dyn.*, t. 7, nr. 4, p. 1–16, 2017.
- [4] I. Pažūsytė, „BIM ir papildytosios realybės taikymas pastatų ūkio valdymui: Baigiamasis magistro darbas“, KTU, 2017.
- [5] C. Botton ir D. Forgues, „Practices and Processes in BIM Projects : An Exploratory Case Study“, *Adv. Civ. Eng.*, t. 2018, p. 1–12, 2018.
- [6] R. Gaidyte, „2D and 3D Buildings Modeling by Geodetic Measurements Data“, *Rural Dev. Glob. Chang. Vol 5, B. 2*, t. 5, nr. 2, p. 153–159, 2011.
- [7] Skaitmeninė statyba, „Naudinga informacija“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://skaitmeninestatyba.lt/naudinga-informacija/>. [Žiūrėta: 26-rugs-2018].
- [8] buildingSMART, „Certified Software - buildingSMART“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.buildingsmart.org/compliance/certified-software/>. [Žiūrėta: 05-gruodž-2018].
- [9] R. McPartland, „BIM Levels explained | NBS“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>. [Žiūrėta: 01-spal-2018].
- [10] S. MORDUE, „Explaining the levels of BIM | BIM+“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.bimplus.co.uk/management/explaining-levels-bim/>. [Žiūrėta: 01-spal-2018].
- [11] C. M. Herr ir T. Fischer, „BIM adoption across the Chinese AEC industries: An extended BIM adoption model“, *J. Comput. Des. Eng.*, p. 1–6, 2018.
- [12] Scottish Futures Trust, „Level 2 Standards - BIM Level 2 Guidance“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://bimportal.scottishfuturestrust.org.uk/page/standards-level-2>. [Žiūrėta: 01-spal-2018].
- [13] HM Government, „3-Digital Built Britain Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan“, *UK Gov.*, nr. February, p. 1–47, 2015.
- [14] R. Bew, „Bew Richards BIM adoption model“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://sazesetorgiranian.ir/wp-content/uploads/2018/03/Bew-Richards-BIM-adoption-model.jpg>. [Žiūrėta: 01-spal-2018].
- [15] R. Charef, H. Alaka, ir S. Emmitt, „Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views“, *J. Build. Eng.*, t. 19, nr. October 2017, p. 242–257, 2018.

- [16] National Building Specification, „BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained | NBS“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>. [Žiūrėta: 28-rugs-2018].
- [17] W. Solihin, C. Eastman, ir Y. Cheol Lee, „Multiple representation approach to achieve high-performance spatial queries of 3D BIM data using a relation database“, *Autom. Construction*, t. 81, p. 369–388, 2017.
- [18] Skaitmeninė statyba, „Skaitmeninė statyba ir BIM“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://skaitmeninestatyba.lt/bim/>. [Žiūrėta: 28-rugs-2018].
- [19] J. Santangelo, „The Baton Change: Transition from Capital Investment to Operations“, 2013.
- [20] Graphisoft, „BIM (Building Information Modeling) software / CAD / for concrete structures / 3D - OPEN - Graphisoft“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.archiexpo.com/prod/graphisoft/product-49558-1349749.html>. [Žiūrėta: 01-spal-2018].
- [21] J. Jupp, „4D BIM for Environmental Planning and Management“, *Procedia Eng.*, t. 180, p. 190–201, 2017.
- [22] C. Boton, „Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation“, *Autom. Constr.*, t. 96, nr. August, p. 1–15, 2018.
- [23] C. Boton, S. Kubicki, ir G. Halin, „The challenge of level development in 4D/BIM simulation across AEC project lifecycle. A case study“, t. 123, p. 59–67, 2015.
- [24] A. Candelario-Carrido, J. Garcia-Sanz-Calcedo, ir A. M. R. Rodriguez, „A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in buildings projects“, *Sustain. Cities Soc.*, t. 35, p. 378–384, 2017.
- [25] P. Smith, „Project Cost Management with 5D BIM“, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, t. 226, nr. October 2015, p. 193–200, 2016.
- [26] J. Xu, „Research on Application of BIM 5D Technology in Central Grand Project“, *Procedia Eng.*, t. 174, p. 600–610, 2017.
- [27] Q. Lu, J. Won, ir J. C. P. Cheng, „A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM)“, *Int. J. Proj. Manag.*, t. 34, nr. 1, p. 3–21, 2016.
- [28] A. Gha *et al.*, „Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency“, t. 72, nr. February, p. 935–949, 2017.
- [29] A. K. Nicał ir W. Wodyński, „Enhancing Facility Management through BIM 6D“, *Procedia Eng.*, t. 164, nr. June, p. 299–306, 2016.

- [30] T. O. Olawumi, D. W. M. Chan, J. K. W. Wong, ir A. P. C. Chan, „Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts“, *J. Build. Eng.*, t. 20, nr. June, p. 60–71, 2018.
- [31] O. Davtalab ir J. L. Delgado, „Benefits of 6D BIM for Facilities Management Departments for Construction Projects – A Case Study Approach“, *Benefits 6D BIM Facil. Manag. Dep. Constr. Proj. – A Case Study Approach*, 2013.
- [32] B. Abbasnejad ir H. I. Moud, „BIM and Basic Challenges Associated with its Definitions , Interpretations and Expectations“, *Int. J. Eng. Res. Appl.*, t. 3, nr. 2, p. 287–294, 2013.
- [33] A. Chew ir M. Riley, „What Is Going on With Bim ? on the Way To 6D“, *Int. Constr. Law Rev.*, t. 30, nr. 3, p. 253–265, 2013.
- [34] P. Smith, „BIM implementation - Global strategies“, *Procedia Eng.*, t. 85, p. 482–492, 2014.
- [35] National Institute of Building Sciences, „BuildingSMART Alliance“, <https://www.nibs.org/>, p. 1–2, 2011.
- [36] I. A. Bhatti, A. H. Abdullah, S. Nagapan, N. B. Bhatti, S. Sohu, ir A. A. Jhatial, „Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Pakistan Construction Industry“, *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, t. 8, nr. 4, p. 3199–3202, 2018.
- [37] National Institute of Building Sciences, „Annual Report“, 2017.
- [38] buildingSMART Finland, „buildingSMART Finland | A Forum for BIM Collaboration“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://buildingsmart.fi/en/home/>. [Žiūrėta: 02-spal-2018].
- [39] A. Hore, B. McAuley, ir R. West, „Global BIM Study“, *Cita - construction IT alliance*, p. 1–52, 2017.
- [40] buildingSMART Finland, „Common BIM Requirements 2012 | buildingSMART Finland“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://buildingsmart.fi/en/common-bim-requirements-2012/>. [Žiūrėta: 02-spal-2018].
- [41] R. Miettinen ir S. Paavola, „Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling“, *Autom. Constr.*, t. 43, p. 84–91, 2014.
- [42] Y. Arayici, P. Coates, L. Koskela, M. Kagioglou, C. Usher, ir K. O. Reilly, „Automation in Construction Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice“, *Autom. Constr.*, t. 20, nr. 2, p. 189–195, 2011.
- [43] China BIM Union, „China BIM Union > About Us“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.bimunion.org/html/aboutUs/index.html>. [Žiūrėta: 02-spal-2018].
- [44] Dodge Data & Analytics, *The Business Value of BIM in China*. 2015.
- [45] Liteng ir J. Jun Kim, „Bim in China“, *SB10 SEOUL*.
- [46] J. Bo, R. R. Afzal Khan, A. Vian, ir C. Zhijun, „BIM Implementation in China : A Case

- Study Approach“, *Int. Conf. Inf. Technol. Manag. Innov. (ICITMI 2015) BIM*, nr. Icitmi, p. 1106–1113, 2015.
- [47] M. R. Hosseini *et al.*, „BIM adoption within Australian Small and Medium-sized Enterprises (SMEs): an innovation diffusion model“, *Constr. Econ. Build.*, t. 16, nr. 3, p. 71, 2016.
- [48] M. R. Hosseini, „(BIM) within the Australian Construction Related Small and Medium Sized Enterprises (SMEs): Awareness , Practices and Drivers“, t. 2, nr. 3, p. 257–268, 2016.
- [49] McGraw Hill Construction, *The Business Value of BIM in Australia and New Zealand : SmartMarket Report Managing Editor*. 2014.
- [50] EUBIM, „About – EU BIM Task Group“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.eubim.eu/about-the-eu-bim-task-group/>. [Žiūrėta: 02-spal-2018].
- [51] EUBIM, *Europos viešajam sektoriui skirtas statinio informacinio modeliavimo (BIM) diegimo vadovas*. 2016.
- [52] A. Azzouz, P. Hill, ir E. Papadonikolaki, „Which countries have the highest levels of BIM adoption in Europe? | BIM+“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.bimplus.co.uk/people/which-country-most-bim-mature-europe/>. [Žiūrėta: 02-spal-2018].
- [53] McGrawHill, H. M. Bernstein, S. A. Jones, ir J. E. Gudgel, *The Business Value of BIM in Europe: Getting Building Information Modeling to the Bottom Line in the United Kingdom, France and Germany*. 2010.
- [54] coBuilder, „BIM implementation in Europe“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://cobuilder.com/en/bim-implementation-in-europe/>. [Žiūrėta: 03-spal-2018].
- [55] M. Juszczak, M. Výskala, ir K. Zima, „Prospects for the use of BIM in Poland and the Czech Republic - Preliminary Research Results“, *Procedia Eng.*, t. 123, p. 250–259, 2015.
- [56] ITeC, „The Implementation of BIM in Spain - ITeC - The Catalonia Institut of Construction Technology“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://en.itec.cat/services/bim/implementation-bim-spain/>. [Žiūrėta: 03-spal-2018].
- [57] Construtec, „2018 has two key dates concerning BIM implementation in Spain“. [Interaktyvus]. Prieiga per: http://www.construtec.ifema.es/en/2018-key-bim-spain/#_ftn3. [Žiūrėta: 03-spal-2018].
- [58] L. Berg, „Digital Construction in Lithuania: Public Policy vs. Implementation in Practice“, Aalborg Universitet København, 2015.
- [59] K. R. Gue ir R. D. Meller, „Aisle configurations for unit-load warehouses“, *IIE Trans.*, t. 41, nr. 3, p. 171–182, 2009.
- [60] Ö. Öztürkoğlu, K. R. Gue, ir R. D. Meller, „Optimal unit-load warehouse designs for single-

- command operations“, *IIE Trans. (Institute Ind. Eng., t. 44, nr. 6, p. 459–475, 2012.*
- [61] V. Rakesh ir G. K. Adil, „Layout Optimization of a Three Dimensional Order Picking Warehouse“, *IFAC-PapersOnLine*, t. 28, nr. 3, p. 1155–1160, 2015.
- [62] J. Gu, M. Goetschalckx, ir L. F. McGinnis, „Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review“, *Eur. J. Oper. Res.*, t. 203, nr. 3, p. 539–549, 2010.
- [63] B. F. Ware ir J. E. Fernandez, „Warehouse Ergonomics/Tips And Techniques To Decrease Injury Risk | EHS Today“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.ehstoday.com/industrial-hygiene/warehouse-ergonomicstips-and-techniques-decrease-injury-risk>. [Žiūrėta: 03-spal-2018].
- [64] D. Battini, A. Persona, ir F. Sgarbossa, „Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management“, *Comput. Ind. Eng.*, t. 77, p. 1–10, 2014.
- [65] M. Calzavara, C. H. Glock, E. H. Grosse, A. Persona, ir F. Sgarbossa, „Models for an ergonomic evaluation of order picking from different rack layouts“, *IFAC-PapersOnLine*, t. 49, nr. 12, p. 1715–1720, 2016.
- [66] M. Calzavara, C. H. Glock, E. H. Grosse, A. Persona, ir F. Sgarbossa, „Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse“, *Comput. Ind. Eng.*, t. 111, p. 527–536, 2017.
- [67] D. Denis, M. St-vincent, D. Imbeau, ir R. Trudeau, „Stock management influence on manual materials handling in two warehouse superstores“, t. 36, p. 191–201, 2006.
- [68] Cisco-Eagle, „Ergonomic Safety Tips for the Warehouse | Cisco-Eagle“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.cisco-eagle.com/blog/2015/04/02/ergonomic-safety-tips-for-the-warehouse/>. [Žiūrėta: 03-spal-2018].
- [69] N. Goode, P. M. Salmon, M. G. Lenné, ir P. Hillard, „Systems thinking applied to safety during manual handling tasks in the transport and storage industry“, *Accid. Anal. Prev.*, t. 68, p. 181–191, 2014.
- [70] D. Battini, M. Calzavara, A. Persona, ir F. Sgarbossa, „A method to choose between carton from rack picking or carton from pallet picking“, *Comput. Ind. Eng.*, t. 126, nr. September, p. 88–98, 2018.
- [71] R. K. Singh, N. Chaudhary, ir N. Saxena, „Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study“, *IIMB Manag. Rev.*, 2018.
- [72] A. Holl ir I. Mariotti, „Highways and firm performance in the logistics industry“, *J. Transp. Geogr.*, t. 72, nr. August, p. 139–150, 2018.
- [73] S. Kang, „Warehouse Location Choice: A Case Study in Los Angeles, CA“, *J. Transp.*

- Geogr.*, nr. August, p. 1–11, 2018.
- [74] M. Dubie, K. C. Kuo, G. Giron-Valderrama, ir A. Goodchild, „An evaluation of logistics sprawl in Chicago and Phoenix“, *J. Transp. Geogr.*, nr. August, p. 0–1, 2018.
- [75] I. Bychkov *et al.*, „Simulation modeling in heterogeneous distributed computing environments to support decisions making in warehouse logistics“, *Procedia Eng.*, t. 201, p. 524–533, 2017.
- [76] Nemetschek, „NEMETSCHEK: SCIA“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.nemetschek.com/en/brands/scia/>. [Žiūrėta: 11-spal-2018].
- [77] Scia engineer, „Innovation at SCIA“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.scia.net/en/company/innovation-scia>. [Žiūrėta: 11-spal-2018].
- [78] Nemetschek group, „NEMETSCHEK: Home“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.nemetschek.com/en/>. [Žiūrėta: 11-spal-2018].
- [79] Nemetschek group, „NEMETSCHEK: About the Nemetschek Group“. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.nemetschek.com/en/company/about-the-nemetschek-group/>. [Žiūrėta: 11-spal-2018].
- [80] Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministras, „Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklės“, 2018. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.205471/sKqwWBdbhu>.
- [81] I. Avsiukevičiūtė, „Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtakos statinių architektūrai tyrimas“, *VGTU*, 2014. [Interaktyvus]. Prieiga per: http://leidykla.vgtu.lt/components/com_booklibrary/ebooks/1160-S_el.pdf.
- [82] Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, „STR 2.05.08:2005 ‚Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos‘“, 2005. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.3B040391D530/gllZafXdtX>. [Žiūrėta: 02-lapkr-2018].
- [83] L. Simões Da Silva, „Basis of Design, a case study building Eurocodes-Design of steel buildings with worked examples“. [Interaktyvus]. Prieiga per: https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2014_07_WS_Steel/presentations/04a_Eurocodes_Steel_Workshop_SIMOESdaSILVAbyVELJKOVIC.pdf. [Žiūrėta: 10-lapkr-2018].
- [84] Lietuvos standartizacijos departamentas, *Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. 2007, p. 1–104.
- [85] „Steel Design to Eurocode 3 Compression Members“. [Interaktyvus]. Prieiga per: http://www.qub.ac.uk/structural_eurocodes/eurocode3_handouts/8_Compression_members_handout.pdf. [Žiūrėta: 03-lapkr-2018].
- [86] J. Machacek, „Imperfections“. [Interaktyvus]. Prieiga per:

- http://fire.fsv.cvut.cz/equesta/lessons_praha/5_Imperfections.pdf.
- [87] Scia engineer, „Advanced Professional Training Non Linear and Stability“. p. 1–115, 2015.
- [88] Lietuvos standartizacijos departamentas, *Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. 2007, p. 1–132.
- [89] Swedish wood, „Design of timber structures“, 2016. [Interaktyvus]. Prieiga per: www.swedishwood.com. [Žiūrėta: 11-lapkr-2018].
- [90] J.C. Walraven, „Eurocode 2: Design of concrete structures EN 1992-1-1“, 2008. [Interaktyvus]. Prieiga per: https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1992_1_Walraven.pdf.
- [91] Lietuvos standartizacijos departamentas, *LST EN 1992-1-1:2005. Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. 2007, p. 1–232.
- [92] M. Vala, „A ++ klasės pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas: Baigiamasis magistro projektas“, KTU, 2018.
- [93] A. Baležentis ir T. Baležentis, „Kaimo darnaus vystymo strateginis valdymas: daugiakriterinio vertinimo metodai ir integruotas Lietuvos ūkininkų ūkių veiklos efektyvumo vertinimas“, 2011. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://vadyba.asu.lt/25/25.pdf>. [Žiūrėta: 14-lapkr-2018].
- [94] A. Tamoševičius, „Pastatų šiltinimo medžiagų daugiakriterinis vertinimas: baigiamasis magistro darbas“, KTU, 2016.
- [95] R. Rasiulis, „Statinio informacinio modeliavimo technologijomis grįstas modelis administracinių pastatų atnaujinimui vertinti: daktaro disertacija“, VGTU, 2017.
- [96] V. Podvezko, „Dominuojančiųjų alternatyvų daugiakriteriniai metodai“, 2012. [Interaktyvus]. Prieiga per: [ftp://science.mii.lt/pub/Publications/53_TOMAS\(2012\)/Serija_B/MATEMATIKOS_TAIKYMAI/Podvezko.pdf](ftp://science.mii.lt/pub/Publications/53_TOMAS(2012)/Serija_B/MATEMATIKOS_TAIKYMAI/Podvezko.pdf). [Žiūrėta: 15-lapkr-2018].
- [97] V. Kusaitė, „Gyvenimo lygio pokyčių vertinimas ir modeliavimas: baigiamasis magistro darbas“, VU, 2016.
- [98] R. Ginevičius ir V. Podvezko, „Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas“, t. 9, nr. 1, p. 73–80, 2007.
- [99] J. Baranauskienė ir A. Maziliauskas, „Socialinės naudos daugiakriterinis vertinimas vandentvarkos projektuose“, t. 1, nr. 8, p. 21–27, 2012.
- [100] R. Simanavičienė ir L. Ustinovičius, „Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė taikant monte karlo modeliavimą“, *Inf. Moksl.*, p. 182–190, 2011.

- [101] G. Jocius ir D. Aviža, „Sandėlio konstrukcijų skaičiuojamojo bim modelio efektyvumo vertinimas saw metodu“, *Technol. ir verslo Aktual.*, 2018.
- [102] D. Aviža, S. Sušinskas, R. Baltušnikienė, ir T. Jukna, *Metodiniai nurodymai ištisinio sraigtinio gręžimo polių (CFA) įrengimo technologijai ir projektavimui rupiuose gruntuose*. 2014.
- [103] D. Sližytė, J. Medzvieckas, ir R. Mackevičius, „Pamatai ir pagrindai“, 2012. .
- [104] Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, „STR 2.05.21:2016 ,Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“, 2016. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/f701a690440311e6bd3bfefc575ccac4>. [Žiūrėta: 27-spal-2018].
- [105] J. Medzvieckas ir D. Sližytė, „Geotechnikos kursinio projekto metodikos nurodymai“, 2010. [Interaktyvus]. Prieiga per: <http://www.ebooks.vgtu.lt/product/geotechnikos-kursinio-projekto-metodikos-nurodymai>.
- [106] Lietuvos standartizacijos departamentas, *Eurokodas. Konstrukcijų projektavimo pagrindai*. 2004, p. 1–80.
- [107] Lietuvos standartizacijos departamentas, *Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-2 dalis. Bendrosios nuostatos. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas*. 2007, p. 1–76.
- [108] Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, „STR 2.05.11:2005 ,Gaisro temperatūrų veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas“, 2005. [Interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.4C9BDA386FC7>.