



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

## **Pastolių įrengimo technologijų daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

**Marius Jankevičius**

Projekto autorius

**Doc. Dr. Dainius Vaičiulis**

Vadovas

**Panevėžys, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**  
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

## **Pastolių įrengimo technologijų daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas  
Statybos valdymas (6211EX007)

**Marius Jankevičius**

Projekto autorius

**Doc. dr. Dainius Vaičiulis**

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

**Panevėžys, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Marius Jankevičius

## **Pastolių įrengimo technologijų daugiakriteris vertinimas**

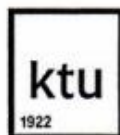
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Mariaus Jankevičiaus, baigiamasis projektas tema „Pastolių įrengimo technologijų daugiakriterinis 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 universitetas  
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**TVIRTINU**  
TVKC vadovė  
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

### Baigiamojo magistro projekto užduotis

Magistrantui Mariui Jankevičiui

Baigiamojo projekto tema lietuvių kalba

*PASTOLIŲ ĮRENGIMO TECHNOLOGIJŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS*

Baigiamojo projekto tema anglų kalba

*MULTI-CRITERIA EVALUATION OF FALSEWORK INSTALLATION TECHNOLOGIES*

Patvirtinta 2019 m. lapkričio 8 d. dekanų potvarkiu Nr.V25-13-25.

Įrašto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2020 m. sausio 7 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

*Tirti tilto statybos klojinių atraminius pastolius. Tyrime panaudoti kelių gamintojų pastolius. Daugiakriterį vertinimą atlikti TOPSIS metodu, panaudojus mažiausiai penkis vertinimo rodiklius. Vertinimo rodiklių nustatymui panaudoti pastolių įrengimą apibūdinančius rodiklius.*

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

*Išnagrinėti mokslinės literatūros šaltinius baigiamojo projekto tematika. Ištirti: kaip atraminių pastolių pavidalas keičiasi didinant pastolių pagrindinių sudaromųjų dalių (strypų) „išnaudojimą“ (pastolių dalis tuo labiau „išnaudojama“ kuo joje kylantis įtempimų, deformacijų ir klupumo būvis artimesnis ribiniam būviui); kiek pastolių įrengimą apibūdinantys rodikliai (pvz., darbo jėgos kiekis ir kt.) priklauso nuo pastolių pavidalo. Nustatyti racionaliausias pastolių pavidalą panaudojant daugiakriterį vertinimą.*

Vadovas / Vadovė:

Dainius Vaičiulis  
(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau:

Marius Jankevičius  
(studento vardas, pavardė, parašas)

2019 m. lapkričio 27 d.

Marius Jankevičius. Pastolių įrengimo technologijų daugiakriterinis vertinimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: pastoliai, daugiakriteris, naudingumas, poveikis, strypas, sąnaudos, pastatai.

Panevėžys, 2020.01.14.

### **Santrauka**

Šiame darbe nagrinėjamos plačiausiai Lietuvoje naudojamos atraminių, apkrovas laikančiųjų pastolių sistemos („Layher“ Allround ir „Peri“ Up Rosett Flex).

Iki šiol statybose atraminiai apkrovas laikantys pastoliai parenkami pagal gamintojo rekomendacijas ir su didele atsarga montuojami objekte. Darbe pateikti skaičiavimai, atlikti konstrukcijų skaičiavimo kompiuterine programa „Dlubal Rstab“, kaip racionaliai parinkti atraminius apkrovas laikančiuosius pastolius.

Darbo tikslas: Atlikti atraminių apkrovas laikančių pastolių įrengimo technologijų daugiakriterį vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Naudojantis moksline literatūra, išanalizuoti pastolių įrengimo technologijas, kitų šalių taikomus norminius dokumentus.
2. Pateikti konstrukcijų stabilumo skaičiavimus.
3. Nustatyti pastolių įrengimo darbo jėgos poreikio, laiko, kainos ir konstrukcinių elementų kieki įrenginėjant tilto statybos pastolius.
4. Pateikti daugiakriterio TOPSIS metodo taikymo ir vertinimo kriterijus, nustatyti alternatyvių prioritetų eilutę atsižvelgiant į šiuos rodiklius, parinkti racionalų variantą.

Magistro darbą sudaro: įžanga, 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, naudotos literatūros sąrašas. Įžanginėje dalyje aprašomas temos aktualumas ir naujumas, tyrimo objektas, darbo tikslas, formuluojami darbo uždaviniai ir pateikiami naudoti tyrimo metodai.

Pirmame skyriuje išnagrinėti moksliniai straipsniai, kuriuose tiriamos įvairios su pastolių stabilumu, stiprumu susijusios problemos ir siūlomi galimi jų sprendimo būdai. Antrajame skyriuje pateikiama informacija apie tyrimui panaudotą metodiką, programinę įrangą ir atlikta daugiakriterių vertinimų metodų apžvalga. Trečiajame skyriuje atliekamas tyrimas. Modeliavimui naudojami „Layher“ Allround ir „Peri“ Up Rosett Flex atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai. Iš konstrukcinių elementų sumontuoti 12 metrų aukščio, 13,5 m pločio ir 1,5 m ilgio pastolių atraminė konstrukcija, kuri apkrauta iš viršaus 18 t, 13,5 m pločio, 1,5 m ilgio monolitiniu elementu, kurio storis siekia 0,5 m. Daugiakriteriui vertinimui atlikti naudojamas TOPSIS metodas. Vertinimas atliekamas pagal šiuos kriterijus: didžiausias atsparumo išnaudojimas, mažesnis įrangos kiekis, mažesnė pastolių elementų kaina, didesnis konstrukcijos stabilumas, mažesnė konstrukcijos montavimo kaina.

Gauti tyrimo rezultatai:

Išnagrinėjus mokslinius straipsnius, kuriuose tiriami atraminiai pastoliai nustatyta, kad daug dėmesio skiriama konstrukcijų stabilumui patikrinti, keičiant įstrižinių elementų kiekį ir montavimo kryptį. Atliekant individualius atraminių konstrukcijų skaičiavimus, apkrovos vertinamos naudojantis statinio projekto technine dokumentacija, o gamintojas rekomenduoja taikyti apkrovas, numatytas EN 12812 standarte, visiems atvejams vienodas. Atraminių apkrovas laikančių pastolių konstrukcijoje, kurią siūlo gamintojai, daugiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo yra apie 2,2 (1/0,47) karto. Pakeitus pastolių konstrukciją (išėmus mažiausiai apkrautus elementus) galima pasiekti, kad labiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo būtų artima vienetui.

Keičiant pastolių konstrukcijos pavidalą (išimant mažiausiai apkrautus elementus) gaunama didesnė mažiausiai apkrauto elemento atsarga. Pastolių konstrukciją sudarančių elementų kiekį sumažinus apie 40 % (1,56 karto) daugiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo padidėja beveiki iki 50 % (1,96 karto), o naudojamos įrangos kaina sumažėja apie 53 % (1,88 karto). Todėl galima teigti, kad kiek kartų sumažinsime atraminių apkrovas laikančių pastolių konstrukciją sudarančių elementų kiekį, maždaug tiek kartų sumažės pastolių montavimo laikas ir darbo užmokestis.

Atliekant daugiakriterį vertinimą buvo pasirinkti sekantys rodikliai: didžiausias atsparumo išnaudojimas, mažesnis įrangos kiekis, mažesnė pastolių elementų kaina, didesnis konstrukcijos stabilumas, mažesnė konstrukcijos montavimo kaina. Apklausus pastolių montuotojus, konstrukcijų projektuotojus ir pardavėjus bei taikant TOPSIS metodą nustatyta, kad racionaliausias iš tirtų pastolių pavidalų yra 3-iasis (Layher „Alround“, žr. 26 pav., 39 psl.), kurio santykinis „atstumas“ yra 0,849 balo. Antrasis pagal racionalumą gautas 4-tasis (Layher „Alround“, žr. 30 pav., 42 psl.), jo santykinis „atstumas“ yra 0,806 balo, t.y. 1,05 kartų mažesnis nei 3-iasis. Mažiausiai racionalus gautas 1-asis (Peri „Rosset“ „“, žr. 35 pav., 45 psl.)jo santykinis „atstumas“ yra 0,576 balo, t.y. 1,47 kartų mažesnis nei (Layher „Alround“) 3-iasis variantas.

Marius Jankevičius. Multi-criteria evaluation of scaffolding installation technologies. Master's thesis project / supervisor Assoc. dr. Dainius Vaičiulis; Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technology and Business.

Study field and field (group of study fields): Civil Engineering, Technological Sciences (Engineering Sciences).

Key words: scaffolding, multi-criteria, utility, impact, rod, cost, buildings.

Panevezys, 2020. 01.14.

### **Summary**

This work examines the most widely used support and load-bearing scaffolding systems in Lithuania (Layher "Allround and Peri Up Rosett Flex).

To date, load-bearing scaffolds in construction have been selected according to the manufacturer's recommendations and installed on site with great reserve of bearing capacity. The work presents the calculations which are performed by the structural calculation computer program "Dlubal Rstab" and can dictate how to rationally select the supporting load bearing scaffolds.

Aim of the work: To carry out a multi-criteria evaluation of support bearing scaffold installation technologies.

Work objectives:

1. Analyze scaffold installation technologies and normative documents applied in other countries using scientific literature.
2. Provide structural stability calculations.
3. To determine the amount of manpower demand, time, cost and structural elements of scaffold installation when installing bridge construction scaffolds.
4. To present the criteria for application and evaluation of the multi-criteria TOPSIS method, to determine the line of alternative priorities according to these indicators, to choose a rational variant.

Master's thesis consists of: introduction, 3 chapters, conclusions and recommendations, references. The introductory part describes the relevance and novelty of the topic, the object of the research, the purpose of the work, formulates the tasks and presents the research methods used.

The first section examines scientific articles investigating various problems related to the stability and strength of scaffolds and suggests possible solutions. The second section provides information on the methodology, software, and multicriteria assessment methods used in the study. The third section is an investigation. Layher Allround and Peri Up Rosett Flex load-bearing scaffolds are used for modeling. The structural members are supported by a 12-meter-high, 13.5-m-wide and 1.5-m-long scaffold supporting structure, which is loaded with an 18 ton monolithic element, which is 13.5 m wide, 1.5 m long and has a thickness up to 0.5. The TOPSIS method is used for multi-criteria evaluation. The evaluation is based on the following criteria: maximum bearing capacity utilization, smaller quantity of equipment, lower cost of scaffold elements, higher structural stability, lower scaffolding assembly cost.

Obtained research results:

A review of scientific articles investigating support scaffolds has shown that a great deal of attention is paid to checking the stability of structures by changing the amount of diagonals and their assembly direction. In the individual calculations of the supporting structures, the loads are assessed using the technical documentation of the structural design, and the manufacturer recommends applying the same loads for all cases specified in EN 12812. Load - bearing scaffolds designed as recommended by the manufacturers, the margin of the most loaded member until plastic deformation appear is about 2.2 (1 / 0.47) times. By modifying the scaffold structure (removing the least loaded elements), it is possible to achieve the margin until plastic deformation for the most loaded element to be close to one.

Changing the scaffold design (removing the least loaded elements) results in a greater margin for the least loaded element. Reducing the amount of scaffolding components by about 40% (1.56 times) increases the margin of the most loaded element to plastic deformation by nearly 50% (1.96 times) and reduces the cost of equipment by about 53% (1.88 times). Therefore, it can be stated that the number of times the amount of structural members is reduced, the approximately the same number of times the time needed to assemble the structure as well as wages for scaffolders will be reduced.

The following indicators were selected for the multi-criteria evaluation: maximum bearing capacity utilization, smaller quantity of equipment, lower cost of scaffold elements, higher structural stability, lower assembly cost. A survey of scaffold installers, structural designers and vendors and the TOPSIS method found that the most rational scaffold structure studied was 3rd (Layher "Alround", see Figure 26, page 39) with a relative "distance" of 0.849 points. The second based on rationality is the 4th (Layher "Alround" see Fig. 30, page 42), its relative "distance" is 0.806 points, ie 1.05 times lower than 3rd. The least rational one obtained (Peri "Rosset", see Fig. 35, p. 45) is its relative "distance" of 0.576 points, i.e. 1.47 times smaller than (Layher "Alround") Option 3.



## Turinys

LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	10
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	11
SANTRUMPŲ IR TERMINŲ SĄRAŠAS .....	13
ĮVADAS .....	14
1. TEORINĖ DALIS .....	16
1.1. Pastolių tipai.....	16
1.1.1. Pastolių klasifikacija pagal medžiagas .....	17
1.1.2. Apkrovas laikantys pastoliai .....	18
1.2. Norminių statybos dokumentų taikymas pasaulyje ir Lietuvoje.....	18
1.3. Pastolių konstrukcijų stabilumo skaičiavimai.....	19
2. TYRIMO METODOLOGIJA .....	25
2.1. Daugiakriteriniai vertinimo metodai .....	25
2.2. Sprendimų priėmimas TOPSIS metodu .....	27
3. TIRIAMOJI DALIS .....	30
3.1. Tyrimo objektas .....	31
3.1.1. Layher Allround pastoliai .....	32
3.1.2. „Peri“ UP Rosett Flex pastoliai.....	33
3.2. Atraminių laikančiųjų pastolių modeliavimas .....	35
3.2.1. Pastolių „Layher“ Allround modeliavimas .....	35
3.2.2. „Peri“ UP Rosett Flex pastolių modeliavimas .....	44
3.3. Rezultatų palyginimas TOPSIS metodu .....	53
IŠVADOS.....	57
LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	58
PRIEDAI .....	61

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Rodiklių reikšmingumo skalė ( Saty skalė [27]) .....	27
<b>2 lentelė.</b> Atraminių apkrovas laikančių pastolių „Layher“ Allround skaičiavimų duomenys .....	43
<b>3 lentelė.</b> Atraminių, apkrovas laikančių pastolių - „Peri“ UP Rosett Flex skaičiavimų duomenys	52
<b>4 lentelė.</b> Apklauso rezultatai .....	53
<b>5 lentelė.</b> Sprendimų priėmimo matrica .....	54
<b>6 lentelė.</b> Normalizuota sprendimų matrica .....	54
<b>7 lentelė.</b> Svertinė normalizuota sprendimų matrica .....	55
<b>8 lentelė.</b> Idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva .....	55
<b>9 lentelė.</b> Atstumai .....	55
<b>10 lentelė.</b> Prioritetų eilė .....	56

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Pastolių standartizavimas [3] .....	17
<b>2 pav.</b> Pastoliai (a-c) ir jų sujungimo dalys (d-g) [7]: a - šarnyrinės sijos konstrukcinė detalė prie pastolių pagrindo; b - šoninės atramos konstrukcinė detalė; c - SAP modelis; d - kaištiniai sujungimai; e - skersinis su paklotu; f - jungiamieji vamzdžiai; g - sujungimo „rozetės“ .....	20
<b>3 pav.</b> Pastolių matavimas ir bandymas [8] .....	21
<b>4 pav.</b> U formos galvutės ir medienos laikiklių deformacija ir keturi U-formos galvutės konfigūracijų vaizdai [9] .....	21
<b>5 pav.</b> Sistemos be įstrižainių ir su įstrižainėmis ir bandymas: a ir c - bandymas laboratorijoje; b ir d - modeliavimas [12] .....	22
<b>6 pav.</b> Pastolių modelis tyrinėtas [15] darbe: a - 3D modelis; b - deformuotų pastolių pavidalas ...	23
<b>7 pav.</b> Pastolių bandymai [16] .....	23
<b>8 pav.</b> Pastolių bandymai [17]: a - 3-jų tarpatramių 5-ių eilių 3-jų aukštų pastolių sistema; b - pastolių bandymas aikštelėje .....	24
<b>9 pav.</b> Pastolių statymo geometrinės konfigūracijos [17]: a – stačiakampė konfigūracija; b – L-formos konfigūracija; c – U-formos konfigūracija .....	24
<b>10 pav.</b> Atraminių pastolių griūtys .....	30
<b>11 pav.</b> Projektuojamo tilto erdvinis vaizdas .....	31
<b>12 pav.</b> „Layher“ Allround pastoliai .....	32
<b>13 pav.</b> „Layher“ Allround modulinį pastolių dalys: a – stovas (standartas); b – skersinis; c – reguliuojama atrama (koja); d – įstrižainė; e – reguliuojama viršutinė atrama (galva); f – sujungimo kaištis .....	32
<b>14 pav.</b> Skersinių ir įstrižainių jungimas su „Allround“ rozete: a – kelių skersinių ir įstrižainių jungimas, b – vieno elemento jungimas, c – dviejų skersinių ir vienos įstrižainės jungimas, d – skersinių ir įstrižainių jungimas, vaizdas iš viršaus .....	33
<b>15 pav.</b> „Peri“ UP Rosett Flex pastoliai .....	33
<b>16 pav.</b> „Peri“ UP Rosett atraminiu apkrovas laikančių pastolių dalys: a) – stovas (standartas); b) – skersinis; c) – reguliuojama atrama (koja); d) – įstrižainė; e) – reguliuojama viršutinė atrama (galva); f) – sujungimo kaištis .....	34
<b>17 pav.</b> Skersinių ir įstrižainių jungimas su „Peri“ UP Rosett“ rozete: a – skersinių ir įstrižainių jungimas, vaizdas iš viršaus, b – kelių skersinių ir įstrižainių jungimas, c – dviejų elemento jungimas .....	34
<b>18 pav.</b> Tilto gelžbetonio skerspjuvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 1-u variantu 3D modelis (a) ir skaičiuojamoji schema (b) .....	35
<b>19 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (1-as variantas) .....	36
<b>20 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (1-as variantas) .....	36
<b>21 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (1-ojo varianto) .....	37
<b>22 pav.</b> 2-o varianto tilto gelžbetonio skerspjuvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b) .....	37
<b>23 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (2-as variantas) .....	38
<b>24 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (2-as variantas) .....	38
<b>25 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (2-as variantas) .....	39
<b>26 pav.</b> 3-o varianto tilto gelžbetonio skerspjuvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b) .....	39
<b>27 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (3-as variantas) .....	40

<b>28 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir iki jo deformacijos (3-as variantas) .....	40
<b>29 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (3-as variantas).....	41
<b>30 pav.</b> 4-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b) .....	41
<b>31 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (4-as variantas) .....	42
<b>32 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (4-as variantas) .....	42
<b>33 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (4-as variantas).....	43
<b>34 pav.</b> Atraminių pastolių „Layher Allround“ skaičiavimų duomenys.....	44
<b>35 pav.</b> 1-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b) .....	44
<b>36 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (1-as variantas) .....	45
<b>37 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (1-as variantas) .....	45
<b>38 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (1-ojo varianto) .....	46
<b>39 pav.</b> Patobulintas tilto gelžbetonio skerspjūvio su laikančiaisiais pastoliais skerspjūvio a - 3D modelis ir b - skerspjūvio modelio skaičiuojamoji schema (2-as variantas).....	46
<b>40 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (2-as variantas) .....	47
<b>41 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (2-as variantas) .....	47
<b>42 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (2-as variantas).....	48
<b>43 pav.</b> 3-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b) .....	48
<b>44 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (3-as variantas) .....	49
<b>45 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (3-as variantas) .....	49
<b>46 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (2-as variantas).....	50
<b>47 pav.</b> 4-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b) .....	50
<b>48 pav.</b> Apkrovos į pagrindą (4-as variantas) .....	51
<b>49 pav.</b> Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir iki jo deformacijos (4-as variantas) .....	51
<b>50 pav.</b> Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (4-as variantas).....	52
<b>51 pav.</b> Atraminių pastoliu Peri UP Rosett Flex skaičiavimo duomenų suvestinė.....	53
<b>52 pav.</b> „Layher“ Alround ir „Peri“ Rosset alternatyvų vertinimas.....	56

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

$x_{ij}$  – sprendimų priėmimo arba normalizuotos matricos nariai;

$i$  – alternatyva;

$m$  – alternatyvų skaičius;

$j$  – rodiklis;

$n$  – rodiklių skaičius;

$q$  – integruotasis reikšmingumas;

$a^+$  – idealiai geriausia alternatyva;

$a^-$  – idealiai blogiausia alternatyva;

$J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

$J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

$Li^+$  – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos;

$Li^-$  – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos;

$Ki$  – alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus.

## **Įvadas**

Statyba yra strategiškai svarbi ūkio šaka, kuri užtikrina pastatų ir infrastruktūrą, nuo kurių priklauso ir visos kitos pramonės šakos, buvimą. Statistikos departamento duomenimis, statyba yra vienas sparčiausiai besiplėtojančių ir turinčių didelių plėtros galimybių Lietuvos ūkio sektorių. Statybos sektorius – vienas svarbiausių Europos Sąjungoje, kuris sukuria apie 10 % BVP ir jis teigiamai veikia užimtumo augimą kitose susijusiose ekonominėse veiklose. Statybos gamybos procesuose ir eksploatuojant statinius sunaudojama apie 50 % Lietuvai reikalingos energijos, o pastatams ir inžineriniams statiniams sunaudojama apie 50 % visų šalies materialinių investicijų.

Pastatai, statiniai su jų aplinka, inžinerinės komunikacijos yra svarbūs miestų elementai. Be to, statiniai, infrastruktūra netiesiogiai veikia miesto socialinę, ekonominę, gamtinę sferas. Kai statybos ar remonto darbus reikia atlikti didesniame aukštyje, reikia išsirinkti įrenginius, kurių dėka bus galima dirbti ir saugiai, ir patogiai. Bene dažniausias pasirinkimas – statybiniai pastoliai, kurių pagalba galima pasiekti reikalingą aukštį ir atlikti visus pageidaujamus darbus. Renovacija, apdailos, dažymo ar mūro darbai vykdomi kur kas produktyviau, pasirinkus tinkamą pastolių tipą.

### **Temos aktualumas**

Pastaruju metu, ypač, statybos sektoriuje jaučiamas darbo jėgos trūkumas. Atliekant pramoninių pastatų, inžinerinių ir kitų transporto statinių statybą pagrindinės laikančios konstrukcijos yra projektuojamos dideliuose aukščiuose, todėl joms pasiekti įrengiami atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai. Tai reikalauja didelio kiekio žmonių ir yra labai imlus laikui. Todėl šioje sferoje ieškoma įnovatyvių sprendimų ir technologijų, kurios sumažintų problemas vykdant sudėtingų statinių statybą.

### **Temos naujumas**

Iki šiol statybose naudojami atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai, kurie yra parenkami pagal gamintojo rekomendacijas ir su didele atsarga montuojami objekte. Darbe pateiktas konstrukcijos modeliavimas, kaip racionaliai parinkti atraminius, apkrovas laikančiuosius pastolius. Skaičiavimai atlikti naudojantis kompiuterine programa „Dlubal Rstab“.

### **Tyrimo objektas**

Statybos sektorius, atraminių apkrovas laikančių pastolių įrengimo technologijos.

### **Darbo tikslas**

Atlikti atraminių, apkrovas laikančių pastolių įrengimo technologijų daugiakriterį vertinimą.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Naudojantis moksline literatūra, išanalizuoti pastolių įrengimo technologijas, kitų šalių taikomus norminius dokumentus.
2. Pateikti konstrukcijų stabilumo skaičiavimus.
3. Nustatyti pastolių įrengimo darbo jėgos poreikio, laiko, kainos ir konstrukcinių elementų kiekį įrenginėjant tilto statybos pastolius.
4. Pateikti daugiakriterio TOPSIS metodo taikymo ir vertinimo kriterijus, nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę atsižvelgiant į šiuos rodiklius, parinkti racionalų variantą.

**Tikėtinas rezultatas bus naudingas.** Darbe išanalizuoti skirtingų gamintojų atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai. Nustatytas efektyviausias variantas lyginant didžiausią atsparumo išnaudojimą, mažesnę įrangos kiekį, mažesnę pastolių elementų kainą, didesnę konstrukcijos stabilumą, mažesnę konstrukcijos montavimo kainą. Tai leis sutaupyti sudėtingų statinių statybos kaštus.

**Autoriaus publikuotų straipsnių bibliografinis sąrašas:**

Jankevičius, Marius. Atraminų pastolių sistemų atsparumas // Technologijų ir verslo aktualijos – 2019: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2019 balandžio 19 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. Straipsnis pridamas prieduose.

**Konferencijose skaityti pranešimai:**

Pranešimas tema „Atraminų pastolių sistemų atsparumas“ 19-oje tarptautinėje studentų mokslo darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2019“. Panevėžys: Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, 2019 m. balandžio 19 d.

**Projekto apimtis ir struktūra.** Magistro baigiamąjį projektą sudaro santraukos lietuvių bei anglų kalbomis, įvadas, trys skyriai, išvados ir literatūros sąrašas. Darbo apimtis 67 p., kuriuose yra 10 lentelės ir 52 iliustracijų.

## 1. Teorinė dalis

Pastoliai ilgą laiką buvo įsivaizduojami kaip laikina konstrukcija darbams įvairiuose aukščiuose atlikti. Seniau šios konstrukcijos buvo gaminamos iš įvairių elementų, dažniausiai – medžio. Sparčiai besivystant ir modernėjant statybų sektoriui nebelyka tiek laiko ir darbo jėgos laikinoms konstrukcijoms įrengti iš medžio. Todėl pastolių gamintojų pagrindinis uždavinys buvo sukurti ergonomiškas, patogiai naudojamas ir maksimalią apsaugą užtikrinančias priemones.

### 1.1. Pastolių tipai

Mokslinėje literatūroje yra išskiriami trys pagrindiniai pastolių tipai [1,2,3]:

**Fasadiniai** - jie naudojami įvairiems fasado darbams, kuriems nėra svarbus nedidelis aukščio kitimas - dažymui, tinkuojamų ir vėdinamų fasadų įrengimui, balkonų remontui. Stogo darbams ant fasadinių pastolių montuojama viršutinė aikštelė, taip užtikrinamas darbų saugumas, atliekami stogo pakalimo darbai, sugaunamos krentančios stogo dalys juos sudaro šoniniai rėmai, dėl ko kartais jie dar vadinami fasadiniais rėminiais pastoliais. Šie rėmai sujungti horizontalėmis bei konstrukciją stiprinančiomis įstrižainėmis. Fasadiniai rėminiai pastoliai gali būti pastatyti prie lygios sienos, atitraukiant nuo jos reikiamu atstumu. Statybininkai vaikšto ant pastolių pakloto, kuris gali būti metalinis arba medinis. Jei pastolių rėmai su kopėtelėmis, naudojami paklotai su atsidarančiu liuku. Dažniausiai naudojamos atskiros, kampu pristatomos kopėtelės.

**Moduliniai** - pastoliai nuo fasadinių skiriasi tuo, kad vietoj vientiso dviejų stovų rėmo naudojami atskiri stovai. Su šiais pastoliais galima apeiti pastato išsikišimus, pastatyti juos aplink sudėtingesnės architektūros pastatus. Taip pat moduliniai pastoliai tinka esant reljefo nelygumams, mūro ir klijuojamos fasado apdailos darbams. Taigi, dažniausiai šie pastoliai naudojami patogiai pasiekti kruopštumo reikalaujančių detalių restauravimui.

**Bokštiniai** - pastoliai užtikrina didesnę mobilumą. Naudojami ratukai su stabdymo mechanizmu vietoj reguliuojamų atramų. Vidaus patalpų bokšteliai būna iki 12 metrų, lauko – iki 8 metrų.

**Taip pat pastoliai klasifikuojama pagal apkrovas ir paskirtį.**

**1 klasė.** Šiai klasei priklausantys pastoliai skirti statinių apžiūrai ir darbams, kuriems reikia lengvos įrangos, tačiau medžiagų sandėliavimas ant konstrukcijos yra draudžiamas.

**2 ir 3 klasės.** Pastoliai, kurie skirti apžiūrai ir darbams ant kurių nededamos medžiagos, išskyrus medžiagos, kurios reikalingos atliekamiems darbams: dažymui, lakavimui, sandarinimui, glaistymui ir pan.

**4 ir 5 klasės.** Šioms klasėms priklausantys pastoliai skirti mūrijimo darbams atlikti.

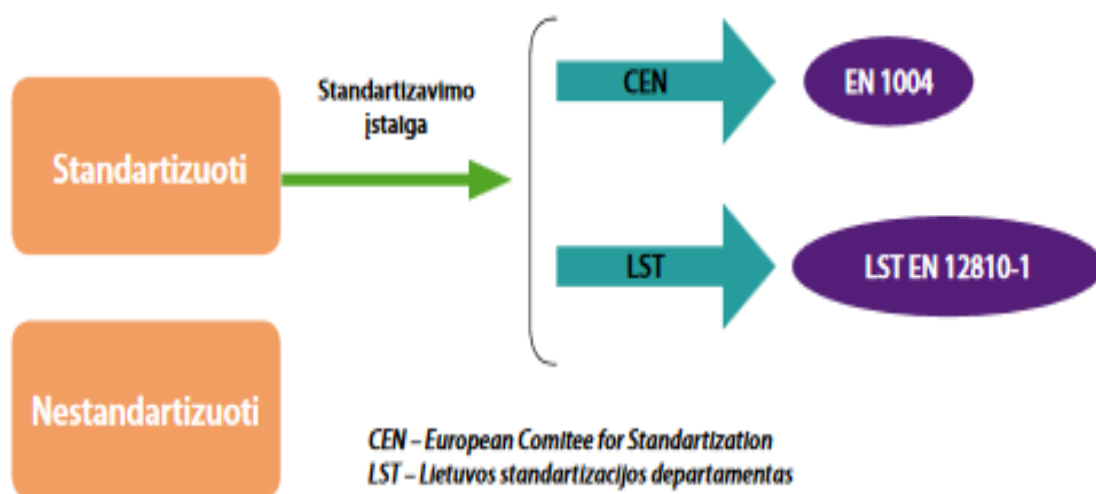
**6 klasė.** Apkrovas laikantys pastoliai skirti mūrijimo darbams, sunkių medžiagų laikinam sandėliavimui, sudėtingų ir sunkių konstrukcijų parėmimui.



Siekiant techniškai užtikrinti, kad statybose naudojami pastoliai nevirstų arba staiga nepasislinktų, galima naudoti (1 pav.):

Standartizuotus pastolius: tai pastoliai pagaminti pagal standartizavimo įstaigos (CEN, LST ir kt.) pripažintas specifikacijas. Privalu laikytis gamintojo projekto, gamybos, surinkimo, naudojimo, priežiūros ir išmontavimo nurodymų.

Nestandardizuotus pastolius: tai neatitinkantys aukščiau išvardintų reikalavimų pastoliai, jeigu prie šių pastolių yra pridėdama kompetentingo asmens parengta pažyma su charakteristikų skaičiavimais (nurodytas projektinis stabilumas ir tvirtumas, pateiktos surinkimo, naudojimo, priežiūros ir išmontavimo instrukcijos), kurių būtina laikytis. Priešingu atveju, būtina atlikti tvirtumo ir stabilumo skaičiavimus, išskyrus tuos atvejus, kai pastoliai yra sumontuoti pagal visuotinai pripažintą tipinę konfigūraciją. Priklausomai nuo pastolių konstrukcijos sudėtingumo, būtina parengti surinkimo, naudojimo ir išmontavimo planą.



1 pav. Pastolių standartizavimas [3]

### 1.1.1. Pastolių klasifikacija pagal medžiagas

Pastoliai skirtingose šalyse, nors ir atlikdami ta pačią funkciją, būna gaminami iš įvairiausių medžiagų.

Pastoliai iš cinkuoto plieno – paplitusi konstrukcija tiek Lietuvoje, tiek Europoje. Optimalūs deriniai: kainos ir patvarumo, kainos ir svorio. Standartinės dalys lengvai ir greitai surenkamos į vientisą konstrukciją. Šie pastoliai skirstomi į keletą pagrindinių grupių: iš plieno ir iš aliuminio.

Pastoliai iš plieno vamzdžių – tai kiekvienam objektui pagal poreikį supjaustomi plieniniai vamzdžiai, o tai konstrukcija galinti, kaip ir moduliniai pastoliai, prisiderinti prie kiekvieno statinio individualiai. Tokios konstrukcijos sutvirtintos tarpusavyje sukamomis jungtimis. Tik problema, kad kuomet statiniai nėra vienodi, paruošta konstrukcija viename objekte netiks kitame.

Pastoliai iš aliuminio – lengvo lydinio konstrukcija, surinkimas ar išrinkimas nesiskiria nuo pastolių iš cinkuoto plieno, tik konstrukcijos lengvumas atsispindi gaminio kainoje. Lyginant su pastoliais iš cinkuoto plieno, aliumininiai pastoliai gali būti brangesni du arba tris kartus.

### **1.1.2. Apkrovas laikantys pastoliai**

Atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai yra laikinos konstrukcijos dažnai naudojamos statyboje siekiant paremti konstrukcijas ir išlaikyti įvairias apkrovas. Vertikalias apkrovas ant pastolių gali sudaryti: darbininkai, įranga, klojiniai ir statybinės medžiagos. Dažniausiai pastoliams tenka atlaikyti ir horizontalias apkrovas: vėjo apkrovą, smūgines apkrovas bei žemės drebėjimą.

Atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai, dar vadinami pastoliais klojiniais, priskiriami sunkioms apkrovoms, pavyzdžiui, betono pylimas į klojinius. Laikantieji pastoliai paprastai statomi iš vertikalų elementų – statramsčių, horizontalių elementų – rygelių bei įstrižainių. Statramsčiai vienas su kitu vertikaliai jungiami kaiščiais. Rygelių ir įstrižainių prijungimui prie statramsčių naudojamos pleištinės jungtys, kurios nereikalauja virinimo ar papildomo priveržimo. Jungtys įstrižainėms dažniausiai sudaromos iš kabliukų ar jau minėtų pleiščių siekiant greitesnio pastolių surinkimo. Pastolių į pagrindą parėmimui naudojami sriegiu reguliuojami padai, kurie išsisuka iki 600 mm aukščio. Tuo tarpu viršuje montuojamos sriegiu reguliuojamos U formos „galvos“, ant kurių remiamos medinės sijos leidžiančios pasiekti vienodą aukštį klojiniais.

Naudojant 3D modeliavimo programas galima geriau suprasti pastolių „elgseną“ veikiant išorės poveikiams. Gamintojų „LAYHER“ ir „PERI“ atraminių, apkrovas laikančių pastolių sistemų „Allround“ ir „UP Rosett Flex“ analizė naudojama siekiant nustatyti pirmąjį narį, kuris praranda stabilumą bei pradinę gniuždomą konstrukcijos sistemos dalį.

### **1.2. Norminių statybos dokumentų taikymas pasaulyje ir Lietuvoje**

Europos standartus priima viena iš 3 Europos standartizacijos organizacijų (ESO):

- Europos standartizacijos komitetas ( CEN);
- Europos elektrotechnikos standartizacijos komitetas ( CENELECen);
- Europos telekomunikacijų standartų institutas ( ETSIen).

Nacionaliniu lygmeniu standartizavimą valdo nacionalinės standartizacijos įstaigos (NSI) – jos priima ir skelbia nacionalinius standartus. Nacionalinės standartizacijos įstaigos taip pat perkelia visus Europos standartų reikalavimus, nustatydamos identiškus nacionalinius standartus, ir panaikina visus prieštaraujančius nacionalinius standartus. Europos standartai rengiami glaudžiai bendradarbiaujant su pramonės atstovais ir kitais susijusiais ESO nariais ar partneriais.

Europos standartai labai svarbūs vidaus rinkoje, pavyzdžiui, kai darant rinkai teiktinų produktų atitiktis esminiams tų produktų atitinkamuose Sąjungos derinimo teisės aktuose nustatytiems reikalavimams prielaidą taikomi darnieji standartai. Tie reikalavimai turėtų būti tiksliai apibrėžti, siekiant neleisti, kad Europos standartizacijos organizacijos juos aiškintų klaidingai; standartizacija tampa vis svarbesnė vykdant tarptautinę prekybą ir atveriant rinkas. Sąjunga turėtų stengtis skatinti Europos standartizacijos organizacijų ir tarptautinių standartizacijos institucijų bendradarbiavimą. Sąjunga taip pat turėtų skatinti vykdyti dvišalius veiksmus su trečiosiomis šalimis, siekdama koordinuoti standartizacijos pastangas ir skatinti Europos standartų taikymą, pavyzdžiui, derantis dėl susitarimų ar komandiruojuot standartizacijos ekspertus į trečiąsias šalis. Be to, Sąjunga turėtų skatinti Europos standartizacijos organizacijų ir privačių forumų bei konsorcių ryšį, drauge išlaikydama Europos standartizacijos viršenybę;

Europos standartizacijai taikoma speciali teisinė sistema, kurią sudaro trys skirtingi teisės aktai, būtent, 1998 m. birželio 22 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 98/34/EB, nustatanti informacijos apie techninius standartus, reglamentus ir informacinės visuomenės paslaugų taisyklės teikimo tvarką (3), 2006 m. spalio 24 d. Europos Parlamento ir Tarybos sprendimas 1673/2006/EB dėl Europos standartizacijos finansavimo (4) ir 1986 m. gruodžio 22 d. Tarybos sprendimas 87/95/EEB dėl standartizacijos informacinių technologijų ir telekomunikacijų srityje (5). Tačiau galiojanti teisinė sistema jau neatitinka pastaraisiais dešimtmečiais Europos standartizacijos srityje įvykusių pokyčių. Todėl dabartinę teisinę sistemą reikėtų supaprastinti ir pritaikyti naujiems standartizacijos aspektams, kad būtų atsižvelgta į tuos naujausius pokyčius ir būsimus uždavinius Europos standartizacijos srityje. Tai ypač susiję su aktyvesniu paslaugų standartų rengimu ir standartizacijos leidinių, kitų nei oficialūs standartai, plėtojimu.

Lietuvoje normatyvinių statybos techninių dokumentų sistema remiasi EB 1988 m. gruodžio 21 d. Direktyvos dėl statybos produktų teisinių ir administracinių nuostatų suvienodinimo 89/106/EEC (toliau – Direktyvos) Esminiais reikalavimais statiniams ir šią Direktyvą papildančiais šešiais Aiškinamaisiais dokumentais (ID Nr. 1...ID Nr. 6,94/C62/01) bei Europos Sąjungos (ES) valstybių bei ES Komisijos suderintais Vadovaujančiais dokumentais: Nr. 1 „Direktyvos 89/106/EEC aptarimas dėl lokalinių produktų“ ir Nr. 2 „Dėl statybinių produktų bandymo, priežiūros ir sertifikavimo įstaigų pripažinimo pagal Direktyvos metmenis“. 4.3. Rengiant normatyvinius statybos techninius dokumentus pirmenybė teikiama Europos, o jei tokių nėra, tarptautinių normatyvinių dokumentų perėmimui. Esami nacionaliniai normatyviniai dokumentai palaipsniui harmonizuojami su atitinkamais Europos ir tarptautiniais normatyviniais dokumentais.

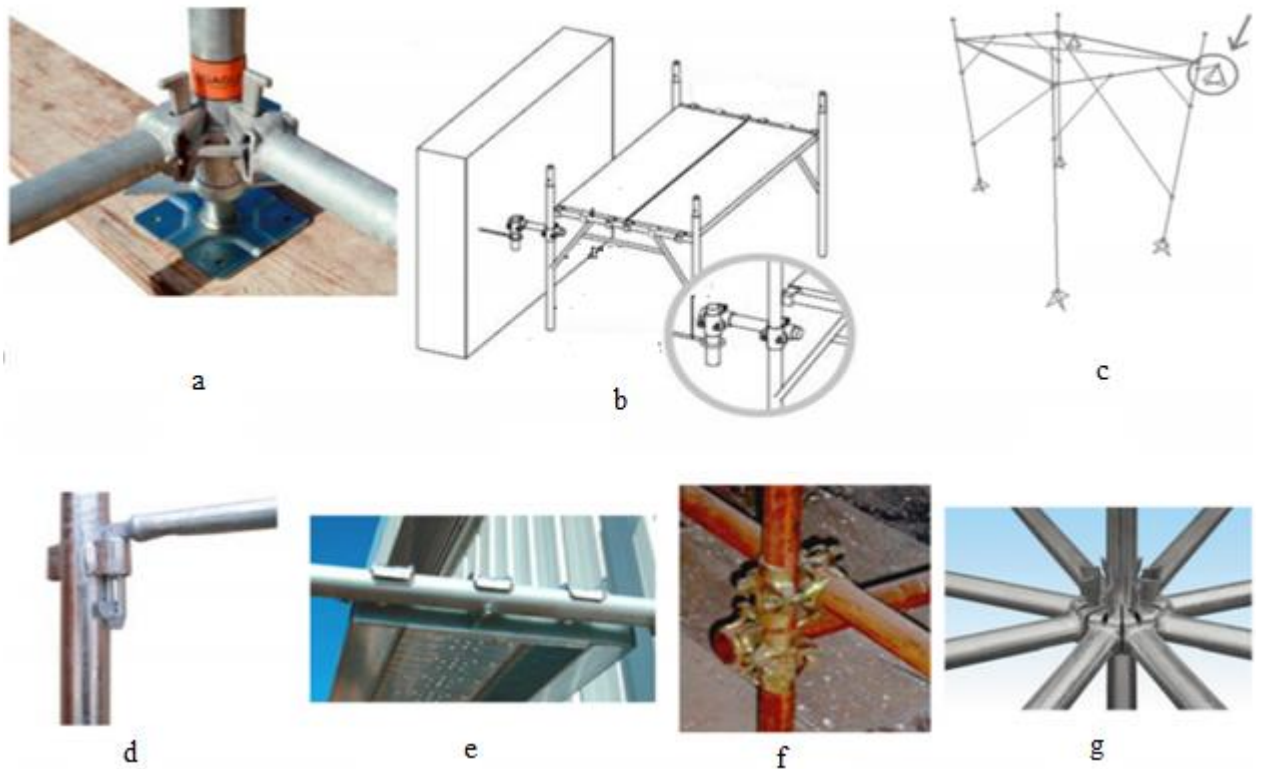
Pastolių montavimą, naudojimą ir skaičiavimus reglamentuoja europinis standartas LST EN 12811-1 „Laikinoji statybos darbų įranga. 1 dalis. Pastoliai. Techniniai reikalavimai ir bendrasis projektavimas“ [4], LST EN 12811-2 Laikinoji statybos darbų įranga. 2 dalis [5], LST EN 12811-3 Laikinoji statybos darbų įranga. 3 dalis. Bandymas apkrova [6].

### **1.3. Pastolių konstrukcijų stabilumo skaičiavimai**

Moduliniai nekilnojamieji surenkamieji pastoliai yra laikinos konstrukcijos, skirtos darbo platformų įvairiame aukštyje laikymui; naudojamos, priklausomai nuo tikslo: apsaugai, apkrovai ir tiekimui. Šių pastolių stabilumą paprastai užtikrina statiniai prie kurių pastoliai pastatyti. Surinkimo paprastumas ir greitumas – pagrindinės fasado sistemos ypatybės. Sistema gali būti derinama su daugiakrypte sistema suprojektuota specialiai pastoliams.

**Skirtingo tipo plieninių pastolių stabilumo analizė.** Pastoliai yra laikinos konstrukcijos, dažniausiai naudojamos statybose įvairių tipų apkrovoms palaikyti. Pastaruoju metu jų griūtys tampa vis dažnesnės - tai rodo avarių ir sužeidimų skaičius. Darbe G. P. Cimellaro ir M. Domaneschi [7] analizuoja pagrindinius trūkumus ir netobulumus, kurie gali sukelti pastolių griūtį.

Tyrime naudoti trys skirtingi plieninių pastolių tipai: (I) jungtiniai vamzdžiai, (II) daugiakryptės ir (III) surenkamos sistemos, kurios dažniausiai naudojamos Italijoje (2 pav.). Trijų tipų plieniniams pastoliams atlikti modeliavimo (baigtinių elementų metodu) variantai su skirtingomis apkrovos sąlygomis. Tyrime siūloma empirinė formulė, leidžianti nustatyti įvairių tipų plieninių pastolių kritinę apkrovą tiek su centrine, tiek su ekscentrine apkrova. Tai leidžia greitai įvertinti eksploatacines savybes, neatliekant skaitmeninės analizės, ir yra nesudėtingas metodas numatyti skirtingų pastolių laikomąją galią.



**2 pav.** Pastoliai (a-c) ir jų sujungimo dalys (d-g) [7]: a - šarnyrinės sijos konstrukcinė detalė prie pastolių pagrindo; b - šoninės atramos konstrukcinė detalė; c - SAP modelis; d - kaitiniai sujungimai; e - skersinis su paklotu; f - jungiamieji vamzdžiai; g - sujungimo „rozetės“

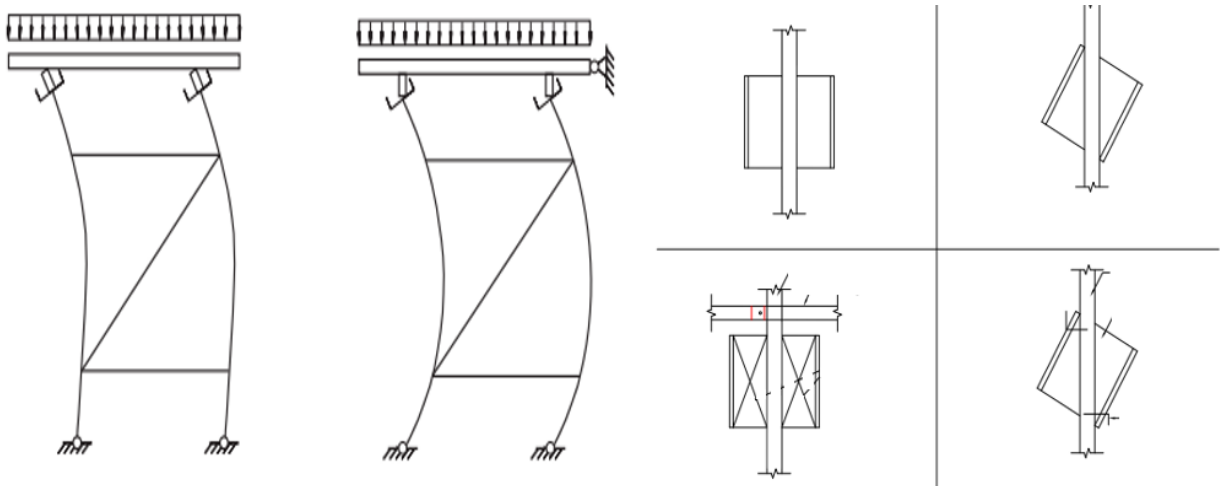
Gauti rezultatai rodo, kad jungiamieji ir daugiakrypčiai pastoliai yra panašūs, nes jų geometrija ir matmenys yra vienodi. Kelių aukštų pastoliai neturi įtakos kritinei apkrovai, tai yra svarbu taikant vertikalios apkrovos ekscentriškumą ir išorinių ribinių sąlygų tipą. Skaitmeninė analizė taip pat rodo, kad dėl gamybos trūkumų sumažėja vertikalios griūties tikimybė, kuri padidėja pašalinus vertikalų elementų skaičių.

T.Chandrangu, ir kt. [8] darbe aprašomi įvairių atraminių pastolių sistemų sujungimo būdų skaičiavimai. Šiame darbe atlikti atraminių pastolių sistemų geometrinių pakitimų ir apkrovos ekscentriškumo matavimai (3 pav). Pateikti geometrinių pakitimų ir apkrovos ekscentriškumo tikimybių pasiskirstymai, naudojant skaitmeninį atraminių pastolių sistemų modeliavimą. Pastolių jungtys buvo surinktos ir išbandytos specialiai tam skirtoje platformoje - Sidnėjaus universiteto Statybos konstrukcijų laboratorijoje. Atliekant testus, buvo sumontuota dviejų tarpatriamų konstrukcija, kuri apkrauta nustatyto dydžio apkrova. Statistiniai kiekvienos bandymo konfigūracijos standumo rezultatai buvo pateikti lentelėse. Nustatyta, kad vertikalus lenkimo standumas yra daug didesnis nei horizontalus lenkimo standumas. Keturių krypčių jungtys turi didesnę standumą nei kitos jungtinės konfigūracijos.



3 pav. Pastolių matavimas ir bandymas [8]

Plieninių pastolių sistemose, medinės sijos riboja atraminių galvučių sukimąsi. Šis apribojimas atliekant konstrukcijos analizę gali būti modeliuojamas kaip spyruoklė. Norint kokybiškai įvertinti atraminės galvutės sukimosi momentą ir greitį, J. Reynolds, H. Zhang, R. Rasmussen [9, 10] atliko atraminės galvutės mazgo bandymų seriją, keičiant apkrovos dydį ir atraminės galvutės konfiguraciją. Eksperimentai parodė, kad sukimosi standumas ( $K_r$ ) priklauso nuo vertikalių apkrovų, taikomų atraminei galvutei. Remiantis atraminės galvutės bandymų rezultatais, gauta lygtis, apibūdinanti ryšį tarp sukimosi standumo ir taikytos apkrovos (4 pav.).

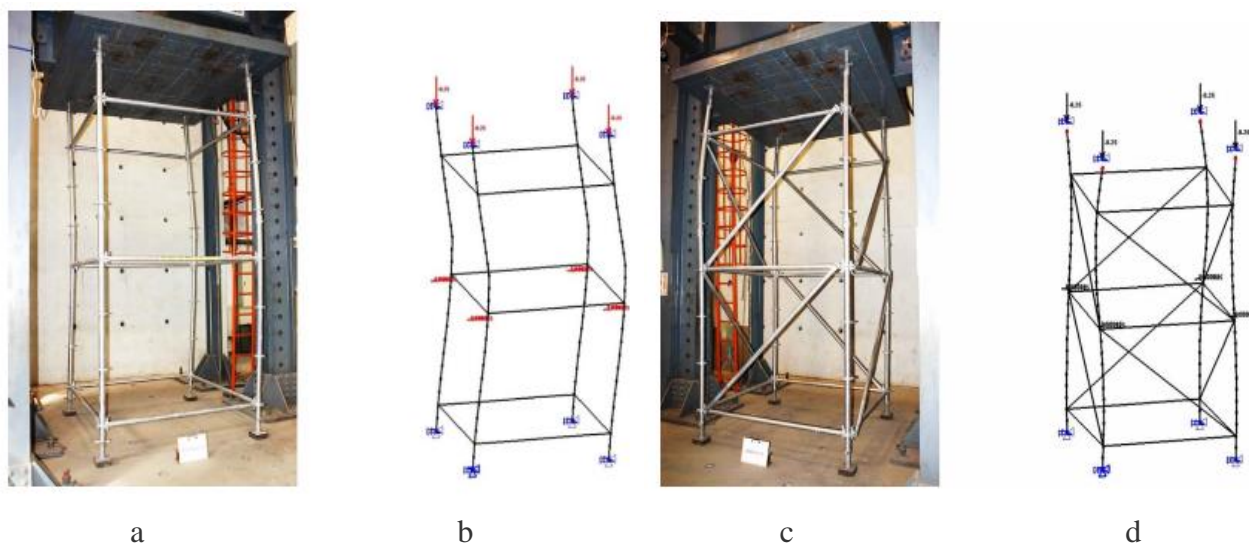


4 pav. U formos galvutės ir medienos laikiklių deformacija ir keturi U-formos galvutės konfiguracijų vaizdai [9]

Eksperimentai taip pat parodė, kad koreliacija tarp  $K_r$  ir atraminės galvutės konfiguracijos yra nereikšminga. Taip pat  $K_r$  iš esmės neturi įtakos drėgmės santykiui medienos jungtyse. Kadangi  $K_r$  priklauso nuo apkrovų, taikomų atraminėje galvutėje, ją reikia koreguoti kiekvienoje apkrovos pakopoje atliekant netiesinę baigtinių elementų struktūros analizę [11].

J. L. Peng, Ch. M. Ho [12, 13] ir kiti tiria konstrukcinių sistemų, surinktų iš sistemos pastolių, stabilumą. Apkrovos bandymai buvo atlikti su atraminiais pastoliais ir visa pastolių konstrukcine sistema. Tyrimas atskleidžia, kad pastolių konstrukcijų dviejų aukštų konfiguracijos su plieninio vamzdžio įstrižainėmis atlaiko maždaug dvigubai didesnę apkrovą nei tos pačios konstrukcijos be įstrižainių elementų. Dviejų tarpatriamųjų, dviejų segmentų ir šešių aukštų konstrukcijos sistema apkrovos metu, vertikaliuose statramsčiuose, kurie yra keturiuose kampuose, pastebėti dideli horizontalūs poslinkiai tose konstrukcijose, kuriuose nebuvo įstrižainių elementų (5 pav.). Vertikaliuose statramsčiuose centre akivaizdžios horizontalios deformacijos nepastebėtos, nes jie buvo sutvirtinti įstrižainėmis iš keturių pusių. Be to, įstrižainių elementų naudojimas gali žymiai

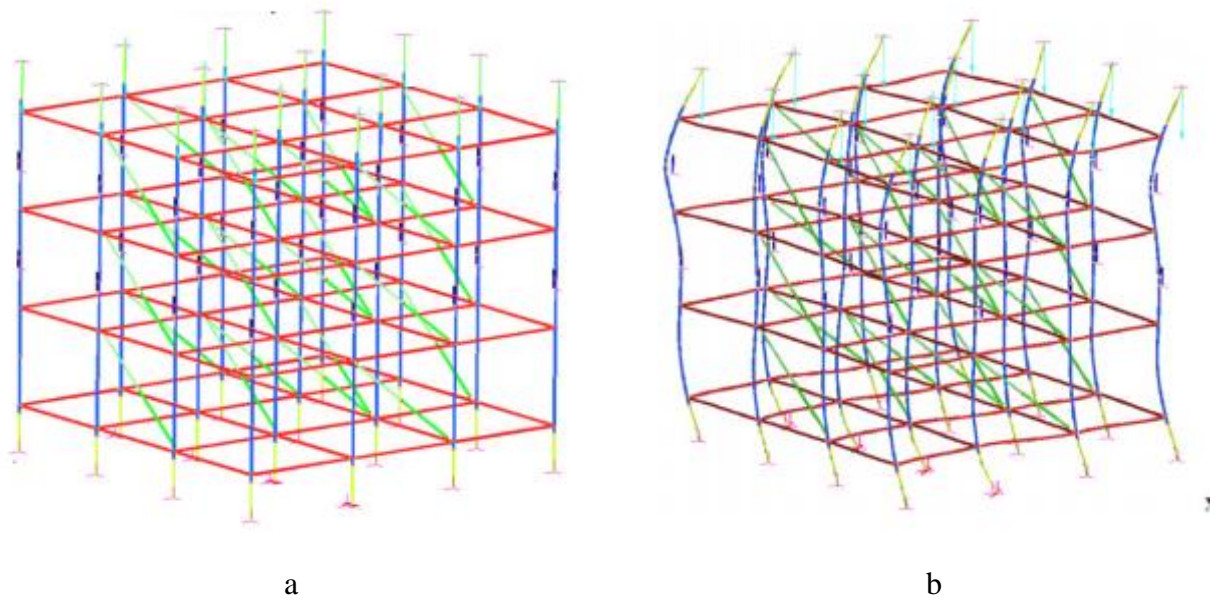
padidinti vertikalių statramsčių laikomąją galią. Šis tyrimas rekomenduoja visus vertikalius statramsčius sutvirtinti įstrižainėmis, kad būtų užtikrinta konstrukcinių sistemų, surenkamų iš sistemos pastolių, laikomoji galia.



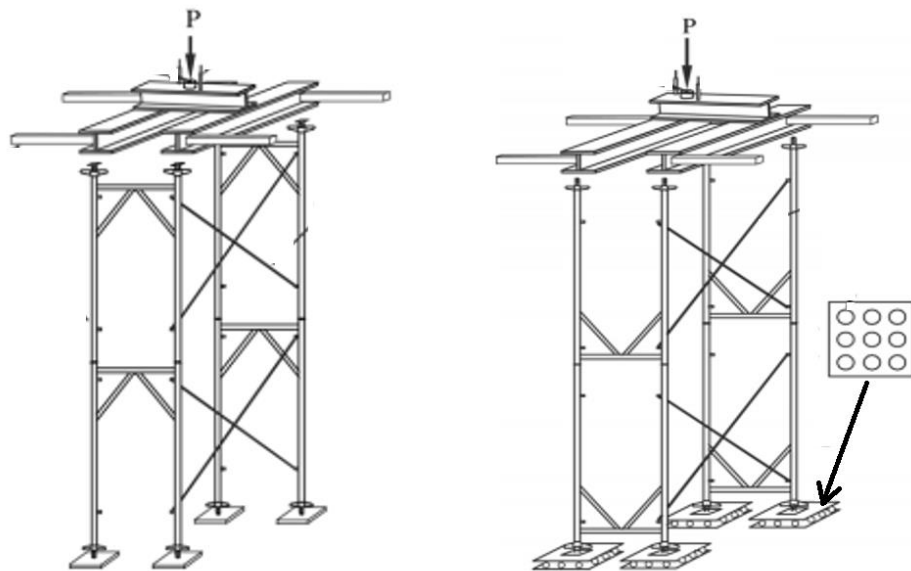
**5 pav.** Sistemos be įstrižainių ir su įstrižainėmis ir bandymas: a ir c - bandymas laboratorijoje; b ir d - modeliavimas [12]

Pastolių projektavimas pastaraisiais metais tapo populiariaja tyrimų tema vien dėl to, kad šioms konstrukcijoms labai trūksta stabilumo ir dėl to, kad jų apkrovos yra artimos projektinėms apkrovoms, o ne nuolatinėms tiesioginėms ir vėjo apkrovoms. Peng, Chan ir kiti tyrė pastolių sistemos struktūros gebėjimą atlaikyti apkrovas įvairiuose konstrukcijos elementuose iki deformacijos. Straipsnyje aprašyti sisteminių pastolių parametrai: sujungimo elementų skaičius, konstrukcijos aukštis, ribinės sąlygos, įstrižainių elementų kiekis ir sujungimų būdai. Gauti tyrimai tiksliai įvertina sistemos pastolių apkrovą. Šio tyrimo metu atliktų analizių ir eksperimentinių testų palyginimas patvirtino skirtingų elementų, naudojamų sisteminiuose pastoliuose, sujungimų standumą. Buvo apskaičiuotos ir įvertintos galutinės pastolių sistemos, turinčios skirtingą elementų skaičių, projektinės apkrovos. Pastolių sistemos apkrova šiame tyrime smarkiai nemažėja keičiant pastolių aukštį ir kintant jungčių skaičiui. Keliamoji galia žymiai padidėja, kai sistemos pastolių konstrukcija montuojama su įstrižiniais elementais. Testo rezultatai rodo, kad šiame tyrime naudojami įstrižiniai elementai nėra veikiami didelių ašinių jėgų, kai sistemos pastoliai yra apkrauti. Atsižvelgiant į tai, šių įstrižinių kronšteinų medžiaga ar sujungimo būdas gali būti optimizuotas atsižvelgiant į išvadas.

T. Candransu ir kt. straipsnyje [15] pateikiami kaištinių jungčių, pusiau standžių jungčių su vertikaliais elementais ir sijų bei pagrindo plokštės ekscentrikų modeliavimo metodai. Į esminį netiesiškumą atsižvelgiama modeliuose, paremtuose Ramberg-Osgood išraiška, pritaikyta prie galimų eksperimentinių duomenų. Į modelius taip pat įtraukiami faktiniai pradiniai geometriniai trūkumai, įskaitant elemento tiesumą ir aukštį nuo pagrindo (6 pav.). Galutinės apkrovos buvo apskaičiuotos atsižvelgiant į nuolatinės apkrovos ir apkrovos deformacijos reakcijas, gautas atliekant visos apimties sudedamųjų dalių bandymus. Straipsnyje atkreipiamas dėmesys į nedidelius sunkumus, susijusius su skaitmeniniu atraminių pastolių sistemų modeliavimu, ir aprašomi mechaniniai modeliai, skirti panaudoti pagrindo plokštės, atraminės galvutės ir taškų jungčių modeliavimui. Buvo sukurti netiesiniai baigtinių elementų analizės modeliai atraminėms pastolių sistemoms.



**6 pav.** Pastolių modelis tyrinėtas [15] darbe: a - 3D modelis; b - deformuotų pastolių pavidalas



**7 pav.** Pastolių bandymai [16]

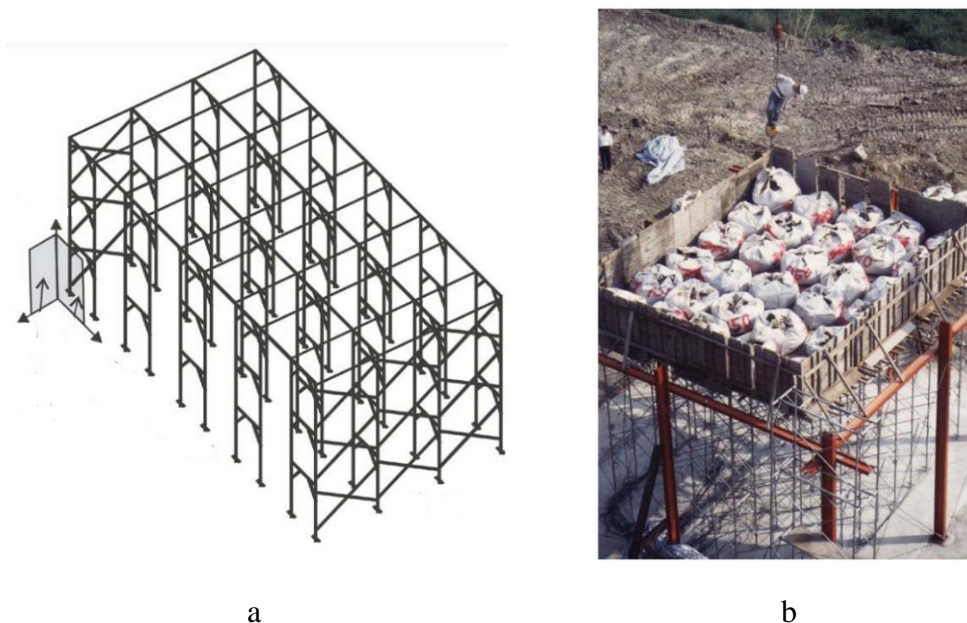
Plieniniai pastoliai gana dažnai griūva, tačiau jų elgesys nebuvo ištirtas tiek, kiek daugelis kitų nuolatinių konstrukcijų. J.L. Peng, S.L.Chan, savo darbuose [16, 17] nagrinėjo ekscentrinių apkrovų poveikį statybvietėse naudojamoms plieninėms pastolių sistemoms (7 pav.). Šie tyrimai rodo, kad nepriklausomai nuo to, kokio žemiausio skersinio atramos sluoksnis yra pašalinamas, ar ne, pastolių sistemos kritinė apkrova esant ekscentrinei apkrovai yra mažiausia, tuo tarpu pastolių sistemos apkrova esant koncentrinei apkrovai yra didžiausia. Jei pastolių sistemos statybvietėse apatinė kėliklio bazė sustiprinama iki fiksuoto galo, kritinė šios pastolių sistemos apkrova bus žymiai padidinta. Jei pastolių sistema pastatyta daugiau kaip 8 aukštus, pastolių sistemos su nejudamu galu pagrindinę apkrovą galima padidinti iki 2,4 karto, palyginti su šarnyru. Tačiau nesvarbu, ar žemiausi pastolių sistemos skersiniai yra pašalinami, ar ne, imituotas pastolių bandymas rodo, kad ekscentrinės apkrovos metu naudojamų pastolių sistemos kritinė apkrova yra mažiausia ir jos apkrovos sumažėjimas taip pat atrodo reikšmingas. Jei statybvietėse pastolių dugnas laikomas šarnyriniu

pagrindu, pašalinus žemiausius skersinius, esant koncentrinei apkrovai, kritinė apkrova yra 9,2 kN. Ekscentrinės TL / 4 apkrovos kritinė apkrova yra 7,8 kN.

Tokio tipo mažos kritinės apkrovos negali atlaikyti net 10 aukštų pastolių savų svorių. Todėl, pašalinus žemiausioje vietoje esančius kryžinius elementus atsiranda pavojus žymiai sumažinti pastolių sistemos kritinę apkrovą. Todėl statybvietėse reikėtų vengti kryžminių sąvaržų nuėmimo žemiausiame sluoksnyje.

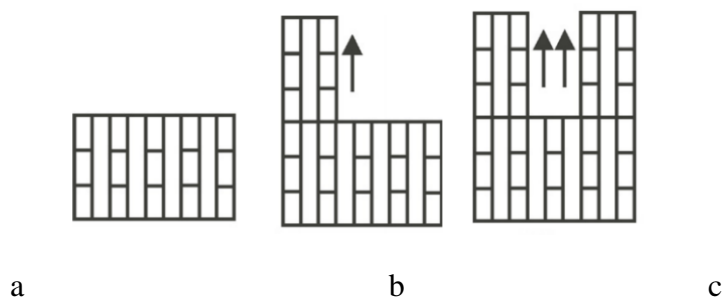
J.L. Peng, S.L.Chan, C.L. Wu savo darbe [17] nagrinėjo pastolių sistemos atsparumą apkrovoms priklausančioms nuo atraminių, apkrovas laikančių pastolių sistemos geometrinės konfigūracijos.

Bandymams panaudotas atraminių, apkrovas laikančių pastolių sistemos konstrukcija sumontuota iš 3 tarpatrių, 5 eilių, 3 aukštų. (8 pav.).



**8 pav.** Pastolių bandymai [17]: a - 3-jų tarpatrių 5-ių eilių 3-jų aukštų pastolių sistema; b - pastolių bandymas aikštelėje

Bandymo metu buvo panaudotos atraminės medinės sijos, tačiau jos ženkliai sumažino konstrukcijos laikomąją galią, sijų pagalba yra išskirstomos apkrovos į pastolių sistemą. Atlikus bandymus, stačiakampio formos geometrinės konfigūracijos sistema atlaiko ženkliai didesnę apkrovą lyginant su L ir U formų geometrinės konfigūracijos sistemomis (9 pav.).



**9 pav.** Pastolių statymo geometrinės konfigūracijos [17]: a – stačiakampė konfigūracija; b – L-formos konfigūracija; c – U-formos konfigūracija



## 2. Tyrimo metodologija

Sprendimų priėmimas – tai daugiasklaidus procesas, kurio metu pasirenkama alternatyva arba tam tikrai alternatyvai suteikiamas prioritetas [18].

Tiek individų, tiek grupių sprendimų priėmimas apima procesą, kuris prasideda nuo aibės informacijos, pagal kurią apibrėžiama situacija, įvertinama laukiama nauda, numatomi įmanomi pasirinkimai ir galiausiai prognozuojami galimi padariniai. Sprendimų priėmimo procesas baigiasi konkrečios alternatyvos pasirinkimu, remiantis nustatytais kriterijais arba euristika. Sprendimo priėmimo rezultatas visada yra galutinis pasirinkimas, vadinamas sprendimu. Sprendimu gali būti tiek nuomonė, tiek ir veiksmas. Apskritai sprendimų priėmimas yra samprotavimo procesas, galintis būti ir racionalus, ir iracionalus, paremtas aiškiai suformuluotomis ar tik numanomomis prielaidomis [19].

### 2.1. Daugiakriteriniai vertinimo metodai

Vienkriteriais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti uždavinių, kuriuose reikia vertinti daugelį kriterijų, todėl daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai vis dažniau taikomi statybos inžinerijos bei investicijų skaičiavimo kompleksiniams uždaviniams spręsti [20]. Gali būti išskiriami šie pagrindiniai daugiakriterinio vertinimo modelių komponentai [21]:

- 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.

Pirmuoju žingsniu sudaromas alternatyvių pasirinkimų sąrašas, kuris bus naudojamas uždaviniams spręsti, aibė. Kitaip šios aibės narius galime pavadinti sprendimo variantais. Antruoju žingsniu nustatomi ir apibrėžiami rodikliai, reikšmės, pagal kurias bus vertinami ir reitinguojami alternatyvūs variantai. Taip bus nustatoma, kokią reikšmę kiekviename uždavinio sprendimui, alternatyvai turės kiekvienas iš pasirinktų rodiklių. Trečiuoju žingsniu analizuojami sprendimo variantai, alternatyvos. Geriausias variantas parenkamas diferencijuojant variantų vertinimus pagal antruoju etapu gaunamus rodmenis [22]. Tobulėjant valdymo metodams ir skaičiavimams, daugiakriteriniai sprendimo metodai tampa vis aktualesni priimančiais sprendimus įvairiose veiklos srityse [23].

Kompleksiško technologinio projekto įgyvendinimo alternatyvos parinkimas (sprendimas) yra labai sudėtingas procesas ir vien tikta euristiniais metodais praktiškai neįgyvendinamas. Kadangi, šiame magistro darbe, nagrinėjamas sprendimo priėmimo procesas reikalauja, kad sprendimas būtų racionalus ir reikia kompleksiškas alternatyvas palyginti su daugeliu kriterijų, kurių tarpusavio sąryšis yra komplikotas, todėl tokiam procesui palengvinti bus pritaikomi daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai.

Daugiakriterių sprendimo priėmimo analizės taikymo sritis apima daug realaus gyvenimo atvejų. Turbūt nebus perdedama, kad praktiškai bet kuri lokali ar valdžios, pramonės ar verslo veikla, vienu ar kitu būdu, vertina alternatyvų rinkinius atsižvelgiant į sprendimo priėmimo kriterijų rinkinius. Kaip teigia E.Triantaphyllou [24] daugiakriterių sprendimų priėmimo analizė gali būti sėkmingai taikoma ir įvairioms inžinerinėms problemoms spręsti.

Dažniausiai Lietuvoje naudojami daugiakriteriniai metodai:

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

**Rodiklių objektyvaus reikšmingumo nustatymas.** Efektyvumo rodiklių objektyvaus reikšmingumo reikšmėms nustatyti naudojama sprendimų matrica. Jos stulpeliai nurodo rodiklius, eilutės nurodo alternatyvas [25]. Entropijos metodą galima taikyti tik tuo atveju, kai sprendimų matricoje yra rodiklių, kuriuos reikia minimizuoti, jeigu pertvarkomi taikant formulę:

$$\overline{x_{ij}} = \frac{1}{x_{ij}}, \quad (2.01)$$

Rodyklių, kuriuos reikia maksimizuoti, reikšmės nekeičiamos:  $\overline{x_{ij}} = x_{ij}$ , kai  $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ . Tada yra sudaroma pertvarkyta sprendimų matrica:

$$\overline{X} = [\overline{x_{ij}}], (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (2.02)$$

Atsižvelgus į tai, kad efektyvumo rodikliai gali būti su skirtingais mato vienetais, matrica yra normalizuojama, tam kad visi jos elementai būtų bedimensiniai skaičiai. Pertvarkytos matricos elementai normalizuojami pagal formulę:

$$p_{ij} = \frac{\overline{x_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \overline{x_{ij}}}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (2.03)$$

Tada gauname normalizuotą matricą

$$\overline{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.04)$$

Nustatomas kiekvieno efektyvumo rodiklio entropijos lygis  $E_j$ :

$$E_j = -k \cdot \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (2.05)$$

$$\text{čia } k = \frac{1}{\ln m}.$$

Entropijos reikšmė kinta intervale [0,1], todėl  $0 \leq E_j \leq 1$ ,  $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ . J – ojo rodikliokitimo lygtis daugelyje technologinių uždavinių nustatomas skaičiuojant rodiklius:

$$d_j = 1 - E_j, (j = \overline{1, n}) \quad (2.06)$$

Tokiu atveju kai visi efektyvumo rodikliai lygiareikšmiai, kai nėra jų subjektyvumo ar ekspertinių svarbos įvertinimų, tai rodiklių objektyvusis reikšmingumas nustatomas pagal šias formules:

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, (j = \overline{1, n}). \quad (2.07)$$

## 2.2. Sprendimų priėmimas TOPSIS metodu

Hwang ir Yoon (1981) sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodą, kur optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendinio ir didžiausią atstumą nuo idealiai blogiausio sprendinio [33]. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti idealiai geriausią sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir idealiai blogiausią sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių.

Skaičiuojant TOPSIS metodu, kiekvienas rodiklis turi reikšmingumą, tačiau nėra jokių apribojimų, nustatant rodiklių reikšmingumas ir jų suma nebūtinai turi būti lygi vienetui. Metodas naudojamas esant dideliame rodiklių skaičiui. Skaičiuojant TOPSIS metodu trumpiausią atstumą iki idealaus teigiamo sprendinio ir ilgiausią atstumą iki idealaus neigiamo sprendinio, nepakankamai įvertinami tų atstumų santykiniai reikšmingumai.

Pradžioje formuluojamas daugiakriterinis sprendimo priėmimo uždavinys, kurį sudaro šie pagrindiniai etapai [24]:

1. Aprašoma galimų alternatyvų aibė  $A=(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m)$ . Alternatyvomis šiame straipsnyje vadinami visi galimi problemos sprendimo variantai.

2. Nustatomi alternatyvas apibūdinantys rodikliai – kiekvienas rodiklis apibūdina vieną skirtingą alternatyvos savybę. Rodiklių aibė žymima  $R=(R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_n)$ . Svarbu paminėti, kad rodikliai gali būti maksimizuojami arba minimizuojami – jie atspindi skirtingą požiūrį alternatyvas. Tai reiškia, kad ne visada didžiausia rodiklio reikšmė yra geriausia. Kartais geriausia reikšmė yra mažiausia (jei rodiklis yra minimizuojamojo pobūdžio).

3. Taip pat rodikliai gali būti išmatuoti skirtingais matavimo vienetais. Rodiklių vienetų suvienodinimui naudojama rodiklių reikšmių normalizacija. Sunormalizuotos rodiklių reikšmės tampa bedimensiais dydžiais. Remiantis E. Triantaphyllo [25], V. Podvezko, R. Ginevičiaus [26] moksliniais darbais norint lygiavertiškai lyginti alternatyvas, yra svarbu, kad įtaką darantys veiksniai būtų išreikšti tarpusavyje palyginamais dydžiais.

4. Sprendimo matrica sudaroma iš efektyvumo rodiklių reikšmių nustatytų kiekvienai alternatyvai aibės.

5. Rodiklio svoris – rodiklio svarba nagrinėjamam uždaviniui. Visų  $n$  rodiklių svoriams  $\omega_j, j = 1, n$  nustatyti taikomas porinio palyginimo metodas pagal Saaty skalę [27]

**1 lentelė.** Rodiklių reikšmingumo skalė ( Saaty skalė [27])

Svarbumo lygmuo	Apibrėžimas
1	Rodikliai vienodai svarbūs
2	Vienas rodiklis truputį svarbesnis už kitą
5	Vienas rodiklis svarbesnis už kitą
7	Vienas rodiklis daug svarbesnis už kitą
9	Vienas rodiklis nepalyginti svarbesnis už kitą
2,4,6,8	Tarpinė reikšmės

6. Iš porinio palyginimo matricių tikrinamas ekspertų nuomonių suderinamumas. Jeigu jis pakankamas, tada nustatomi rodiklių svoriai ir rodikliai suranguojami, jeigu ne – būtina peržiūrėti ekspertų grupės sudėtį, atsižvelgiant į ekspertų kvalifikaciją.

7. Alternatyvos vertinamos taikant pasirinktą daugiatikslį sprendimo priėmimo metodą, naudojant sprendimų matricę ir gautas rodiklių svorių reikšmes.

8. Remiantis gautais skaičiavimo rezultatais nagrinėjamos alternatyvos suranguojamos ir daromos bendrosios išvados apie alternatyvų prioritetiškumą [28].

Taikant šį metodą, reikia atsižvelgti į tai, kad kiekvieno sprendimų varianto kriterijaus naudingumo funkcija monotoniškai didėja arba monotoniškai mažėja, t.y. didesnė bet kurio rodiklio reikšmė visada geresnė arba blogesnė už mažesnę to paties rodiklio reikšmę. Tai priklauso nuo to, ar naudingumo funkcija didėja ar mažėja. Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių [29].

**Rodiklių reikšmingumo TOPSIS metodu nustatymas.** Jeigu norime taikyti šį metodą reikia sudaryti sprendimų matricę, kurioje eilutėse sužymėtos alternatyvos, o stulpeliuose efektyvumo rodikliai, pagal kuriuos yra vertinamos alternatyvos [30, 31, 32]:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.08)$$

čia  $x_{ij}$  –  $i$ -osios alternatyvos,  $j$ -ojo efektyvumo rodiklių reikšmė  $j$ -ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant šį metodą,  $P$  matrica normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.09)$$

Gaunama normalizuota matrica  $\bar{P}$ , kurioje visi efektyvumo rodikliai yra bedimensiniai dydžiai.

čia  $x_{ij}$  –  $i$ -osios alternatyvos,  $j$ -ojo efektyvumo rodiklių reikšmė  $j$ -ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant šį metodą,  $P$  matrica normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Pritaikius minėtą formulę, sudaroma svartinė normalizuota matrica  $\bar{P}^*$ :

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \dots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \dots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \dots & q_m^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

Idealiai geriausia alternatyva nustatoma pagal formulę:

$$A^+ = \left\{ \left( \overset{\text{max}}{v}_{ij} \mid j \in J \right), \left( \overset{\text{min}}{v}_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}, \quad (2.12)$$

čia  $J$  – rodikliai, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksai;

$J'$  – rodikliai, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksai.

Blogiausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$A^- = \left\{ \left( \overset{\text{min}}{v}_{ij} \mid j \in J \right), \left( \overset{\text{max}}{v}_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}, \quad (2.13)$$

Atstumas tarp etaloninio ir lyginamojo variantų  $A^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$  – matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2.14)$$

O tarp  $i$ -tojo ir blogiausio varianto  $A^-$ , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2.15)$$

Paskutiniu metu TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno  $i$  – tojo varianto santykinis atstumas iki geriausio varianto:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (2.16)$$

Taigi kuo  $K_i$  reikšmė yra arčiau vieneto, tuo  $i$  – asis variantas yra geresnis, artimesnis  $A^+$ . Racionaliausias variantas bus tas, kurio  $K_i$  reikšmė yra artimesnė vienetai (29, 33).

### 3. Tiriamoji dalis

Pastaruosiu metu, ypač, statybos sektoriuje jaučiamas darbo jėgos trūkumas. Atliekant pramoninių pastatų, inžinerinių ir kitų transporto statinių statybą pagrindinės laikančios konstrukcijos yra projektuojamos dideliuose aukščiuose, todėl joms pasiekti įrengiami atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai. Tai reikalauja didelio kiekio žmonių ir yra labai imlus laikui. Todėl šioje sferoje ieškoma inovatyvių sprendimų ir technologijų, kurios sumažintų problemas vykdant sudėtingų statinių statybą. Įgyvendinant sudėtingų statinių statybą pagrindiniai konstrukciniai elementai yra gelžbetoniniai. Dažniausiai gelžbetoninės monolitinės konstrukcijos yra gaminamos toje vietoje, kur bus eksploatuojamos. Šiam tikslui naudojamos laikinos konstrukcijos, kurios turi išlaikyti betonavimo metu atsirandančias apkrovas. Todėl statybose plačiai naudojami jau minėti atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai, kurie yra parenkami pagal gamintojo rekomendacijas ir su didele atsarga montuojami objekte. Tačiau nepakanka vien tik kokybiškų konstrukcinių elementų savybių, kurias deklaruoja gamintojas. Pagrindinį vaidmenį laikinųjų konstrukcijų įrengimui atlieka projektuotojai, kurie įvertina ir suskaičiuoja optimalų pastolių elementų skaičių pagal būsimas konstrukcijų apkrovas, kad būtų išvengta griūčių, tragedijos (10 pav.).



10 pav. Atraminų pastolių griūtys

Todėl atlikdami projektavimo darbus specialistai remiasi moksliniais tyrimais pagrįstomis konstrukciją veikiančiomis apkrovomis ir poveikiais:

1. Pastovioji apkrova;
2. Laikina vertikali apkrova;
3. Taikina horizontali apkrova;
4. Laikinos trumpalaikės apkrovos;
5. Maksimalaus vėjo apkrova;
6. Vėjas darbo metu apkrova;
7. Vandens tekėjimo apkrova;
8. Seisminės;
9. Išlinkis;
10. Poslinkis.

Projekte apkrovos ir patikimumo koeficientai priimti atsižvelgiant į LST EN 12812:2008 „Laikantieji pastoliai. Eksploatacinių charakteristikų reikalavimai ir bendrasis projektavimas“ [5, 6] reikalavimus,

toliau šiame punkte nurodytos projekte priimtos apkrovų, poveikių ir patikimumo koeficientų vertės. Skaičiavimams panaudoti Informacija apie apkrovas ir apkrovų derinius veikiančius atraminius pastolius iš literatūros šaltinio - LST EN 12812:2008 - EN 12812:2008 (E).

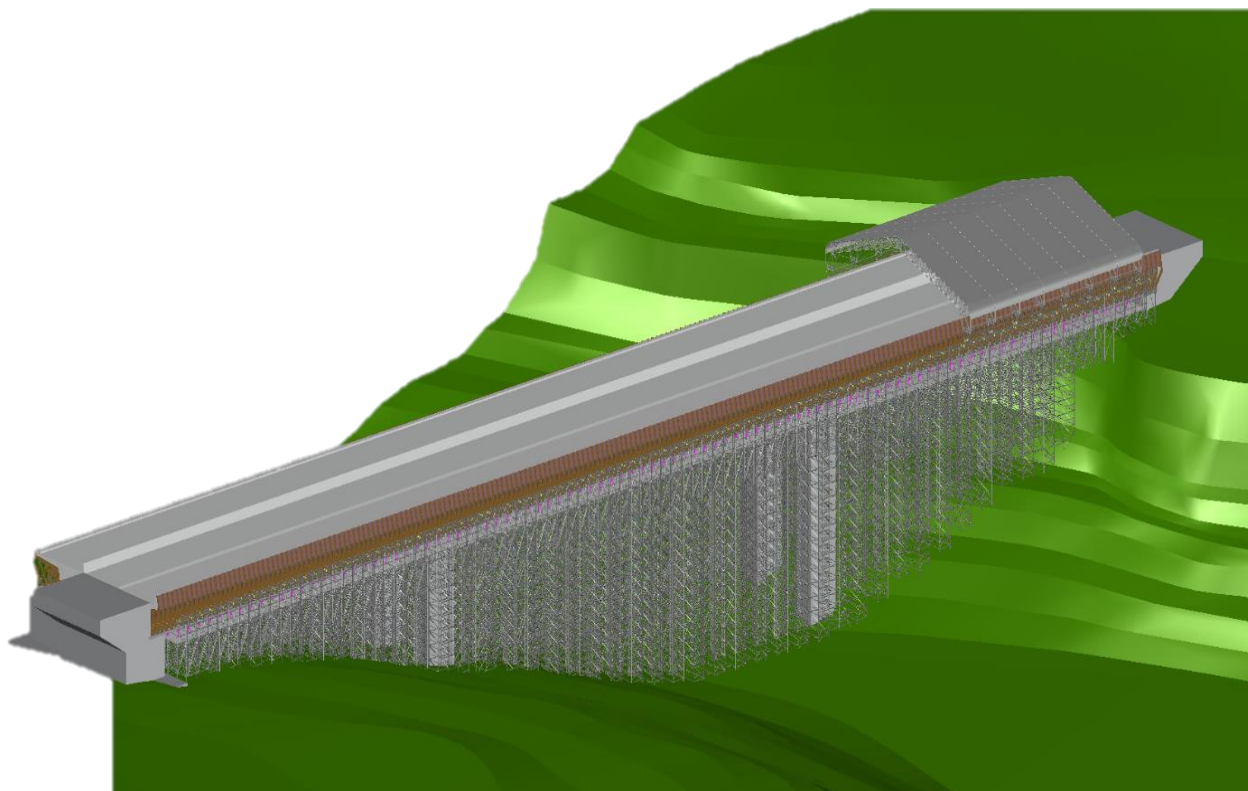
### 3.1. Tyrimo objektas

Skaičiavimams pasirinkti duomenys iš 83 m ilgio tilto statybos techninio darbo projekto - pėsčiųjų ir dviejų krypčių dviračių eismui Suomijoje (11 pav.).

Projektuojama 13,80 m ilgio, 1,57 m pločio ir 12 m aukščio atraminių, apkrovas laikančių, pastolių konstrukcija.

Apkrovai panaudota gelžbetoninės plokštės (18,6 t) svorio skerspjuvis, kurio matmenys: 13,84 m pločio, 1,57 m ilgio, 0,5 m (storiausioje vietoje).

Tyrimui pasirinkti du Vokietijos pastolių gamintojai, labiausiai paplitę tarp Lietuvos statybos įmonių. Tai „Layher“ Allround ir „Peri“ UP Rosett Flex atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai.



11 pav. Projektuojamo tilto erdvinis vaizdas

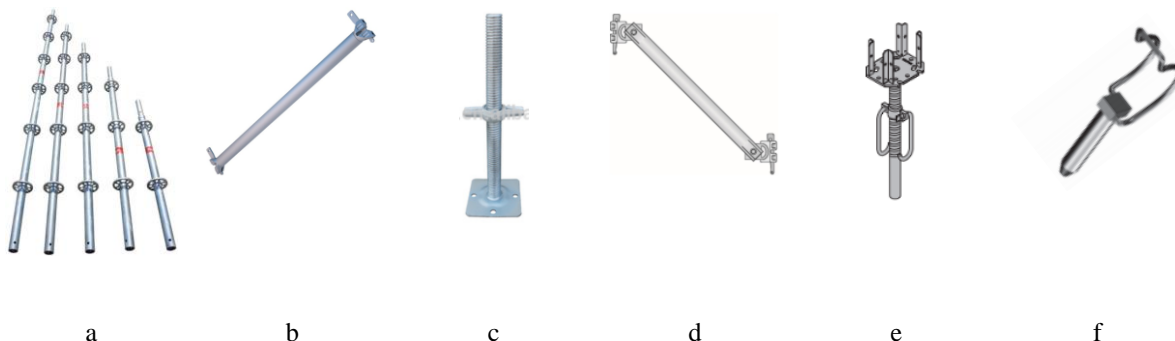
### 3.1.1. Layher Allround pastoliai

Atraminiai apkrovas laikantys pastoliai „Layher“ Allround yra pagaminti iš S460 plieno vamzdžių, kurių skersmuo 48,3 mm. Kiekvieno vertikalios pagrindo keliamoji galia gali siekti iki 6 tonų.



12 pav. „Layher“ Allround pastoliai

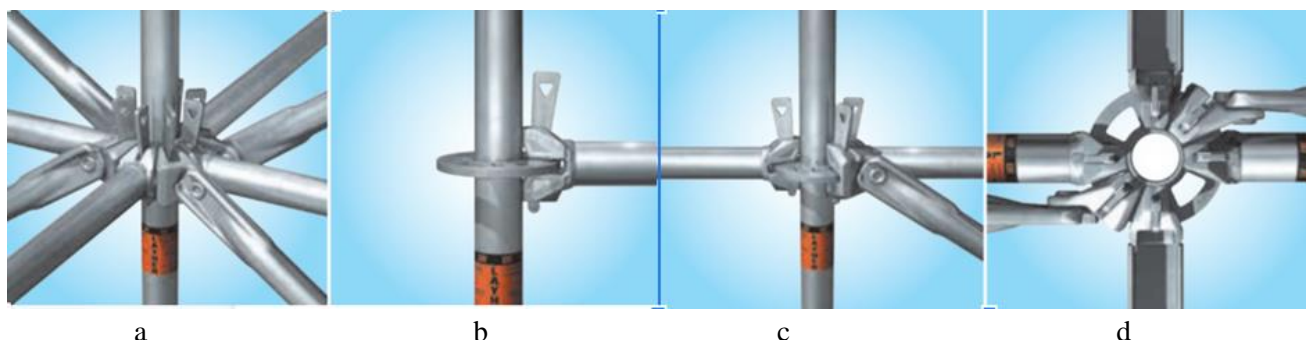
Pagrindinės sistemos dalys: stovai (standartai), skersiniai, įstrižainės reguliuojamos kojos ir reguliuojamos galvos (12, 13 pav.). Stovai (standartai) būna: 0,5 m; 1 m; 1,5 m; 2 m; 2,5 m; 3 m; ir 4 m ilgio (13 pav., a) ir turi „Allround“ rozetes (14 pav.) kurios išdėstytos kas 0,5 m išilgai stovo vamzdžio, skersiniai: 0,73 m; 1,09 m; 1,57 m; 2,07 m; 2,57 m ir 3,07 m (13 pav., b), o įstrižainių ilgiai priklauso nuo montuojamos sistemos modifikacijos jų ilgis priklauso nuo sekcijos aukščio ir ilgio, kurie būna: 0,5x1 m; 0,5x1,5 m; 0,5x2 m.; 0,5x2,5 m; 0,5x3 m ir tie patys ilgiai tik skirtingi aukščiai 1 m; 1,5 m ir 2 m (13 pav., d). Konstrukcija pradedama statyti nuo reguliuojamos kojos, kuri remiasi į pagrindą (13 pav., c), o konstrukcijos viršuje montuojama reguliuojama galva (13 pav., e) į kurią įstatomos sijos klojinio montavimui.



13 pav. „Layher“ Allround modulių pastolių dalys: a – stovas (standartas); b – skersinis; c – reguliuojama atrama (koja); d – įstrižainė; e – reguliuojama viršutinė atrama (galva); f – sujungimo kaištis



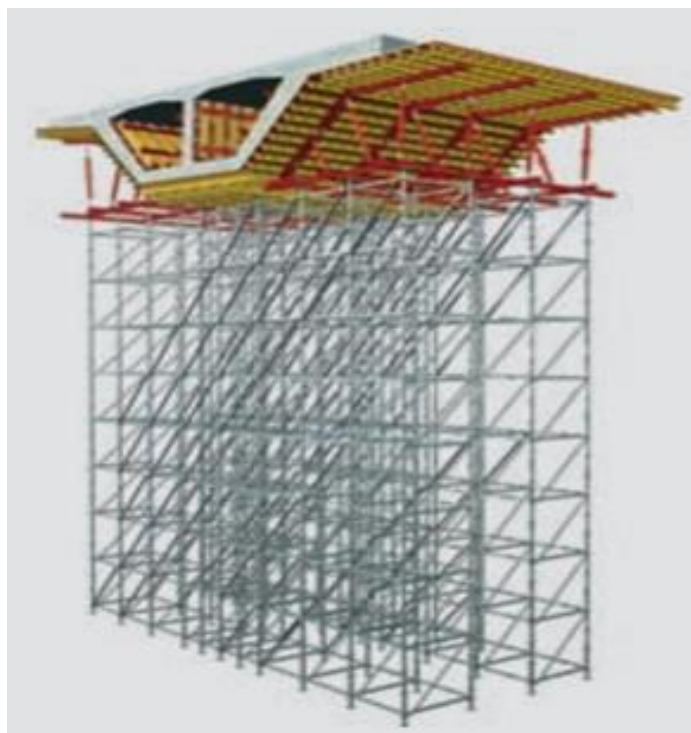
Skersinių ir įstrižainių galai yra plokšti, todėl „Allround“ rozetės gali būti jungiamos į kiekvieną žiedo skylę (11 pav.). Šiuos pastolius galima montuoti ant žemės dalimis, kiekvieną rėmą sujungiant kaiščiais (žr. 13g pav.). Sumontavus visą konstrukciją kranu pagalba galima perkelti į darbo vietą. Atraminiai apkrovas laikantys pastoliai „Layher“ Allround yra simetriški. Dėl šios priežasties, nereikia jaudintis dėl įstrižainių montavimo krypties [7].



**14 pav.** Skersinių ir įstrižainių jungimas su „Allround“ rozete: a – kelių skersinių ir įstrižainių jungimas, b – vieno elemento jungimas, c – dviejų skersinių ir vienos įstrižainės jungimas, d – skersinių ir įstrižainių jungimas, vaizdas iš viršaus

### 3.1.2. „Peri“ UP Rosett Flex pastoliai

Atraminiai apkrovas laikantys pastoliai „Peri“ UP Rosett Flex yra pagaminti iš S355 plieno vamzdžių, kurių skersmuo 48,3 mm. Kiekvieno vertikalaus pagrindo keliamoji galia gali siekti iki 4 tonų.

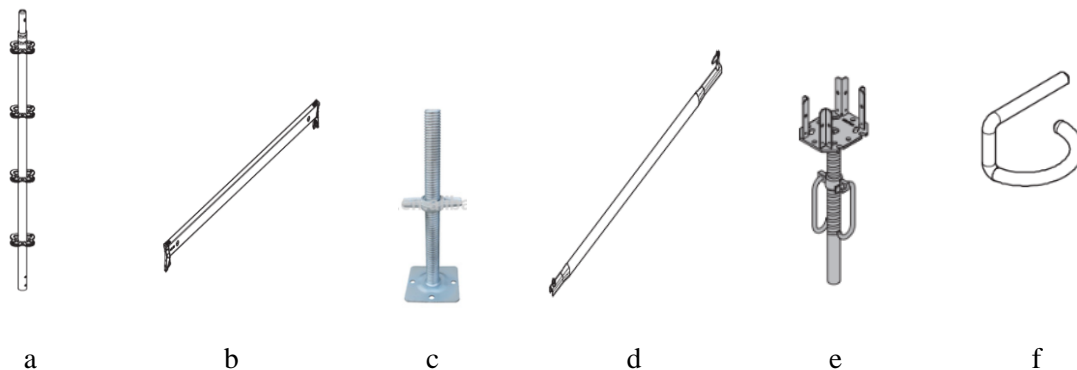


**15 pav.** „Peri“ UP Rosett Flex pastoliai

Pagrindinės sistemos dalys: stovai (standartai), skersiniai, įstrižainės, reguliuojamos kojos ir galvos (15, 16 ir 17 pav.).

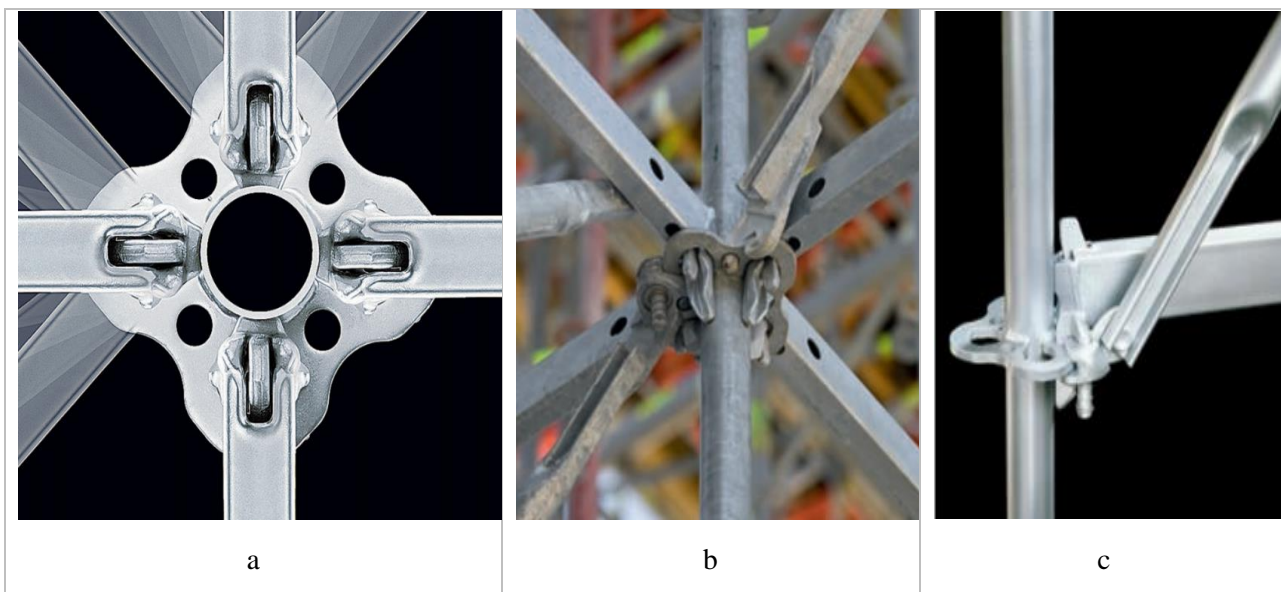
Stovai būna skirtingų ilgių: 0,5 m; 1 m; 1,5 m; 2 m.; 3 m ir 4 m (16 pav., a) ir turi „rozetes“ (17 pav.) išdėstytas kas 0,5 m išilgai stovo vamzdžio, skersiniai 0,5 m; 0,75 m; 1 m; 1,25 m; 1,5 m; 2 m; 2,5

m; 3 m ir 4 m (16 pav., b) ir įstrižainės, jų ilgis priklauso nuo montavimo sistemos modifikacijos segmento aukščio ir ilgio: 0,75/2 m; 1,0/1,0 m; 1,0/2,0 m; 1,5/1,0 m; 1,5/1,5 m; 2,0/1,0 m.; 2,0/1,5 m; 2,0/2,0 m; 2,5/1,0 m; 2,5/1,5 m; 2,5/2,0 m; 3,0/1,0 m; 3,0/2,0 m (16 pav., d). Konstrukcija pradedama statyti nuo reguliuojamos kojos kuri remiasi į pagrindą (16 pav., c), o konstrukcijos viršuje montuojama reguliuojama galva (16 pav., e) į kurią įstatomos sijos klojinio montavimui.



**16 pav.** „Peri“ UP Rosett atraminiu apkrovas laikančių pastolių dalys: a – stovas (standartas); b – skersinis; c – reguliuojama atrama (koja); d – įstrižainė; e – reguliuojama viršutinė atrama (galva); f – sujungimo kaištis

Skersinių ir įstrižainių galai yra plokšti, todėl rozetės gali būti jungiamos į kiekvieną žiedo skylę (17 pav.). Šiuos pastolius galima montuoti ant žemės dalimis, kiekvieną rėmą sujungiant kaiščiais (žr. 16 pav., f). Sumontavus visą konstrukciją kranu pagalba galima perkelti į darbo vietą. Moduliniai pastoliai „Peri“ UP Rosett Flex yra simetriški. Dėl šios priežasties, nesvarbi įstrižainių montavimo kryptis [8].



**17 pav.** Skersinių ir įstrižainių jungimas su „Peri“ UP Rosett“ rozete: a – skersinių ir įstrižainių jungimas, vaizdas iš viršaus, b – kelių skersinių ir įstrižainių jungimas, c – dviejų elemento jungimas

### 3.2. Atraminių laikančiųjų pastolių modeliavimas

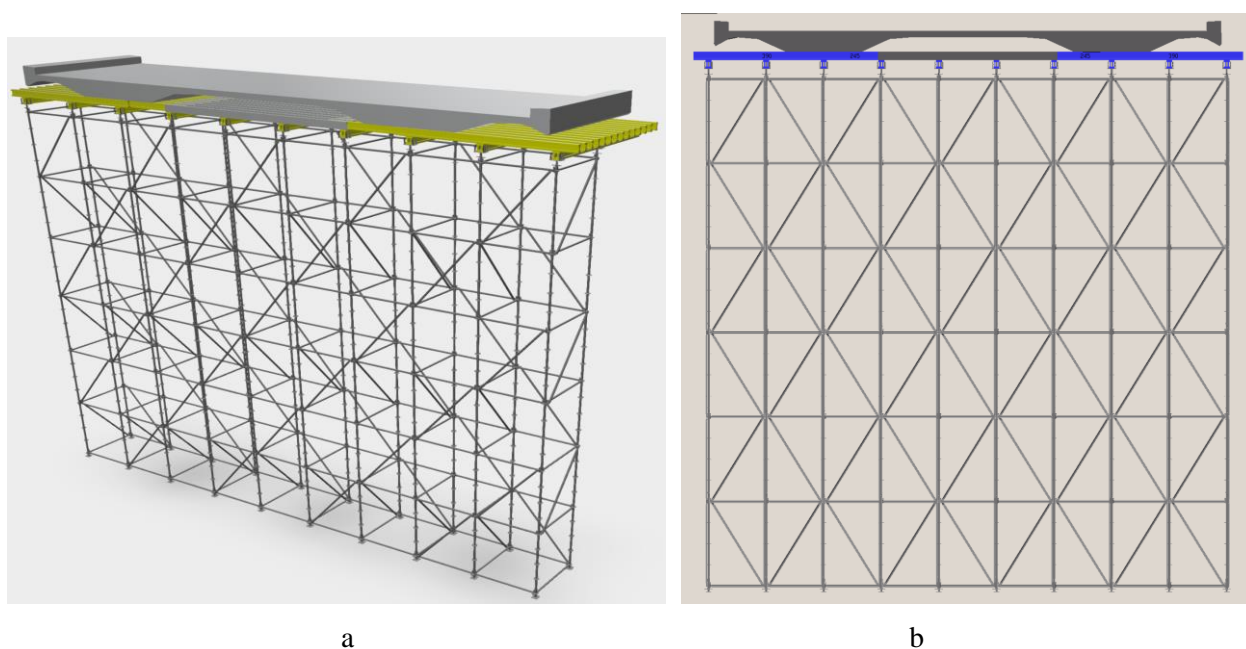
Šiame darbe nagrinėjami dviejų Lietuvoje populiariausių gamintojų „Layher“ Allround tipo ir „Peri“ Up Rosett Flex tipo siūlomi atraminiai, apkrovas laikantys pastoliai, ant kurių sumontavus klojinius galima atlikti gelžbetoninės monolitinės perdangos betonavimo darbus. Tyrimams projektuojama 13,8 m ilgio, 1,57 m pločio ir 12,45 m aukščio pastolių konstrukcija. Apkrovai panaudota gelžbetoninės tilto plokštės skerspjūvis, kurios matmenys yra: 13,84 m pločio, 1,57 m ilgio, 0,5 m storiausioje vietoje ir sveria 18,6 t.

#### 3.2.1. Pastolių „Layher“ Allround modeliavimas

3D modelis sudaromas naudojant LayPLAN programinį paketą, skirtą AutoCAD. Šis paketas pritaikytas pastolių elementams projektuoti. Atsparumo skaičiavimai atlikti „Dlubal Rstab“ programa. Šioje programoje skaičiavimai vykdomi dvimatėje erdvėje, sudedamos apkrovos, kurios veikia kiekvieną atramą.

Apkrovos į atramas suskaičiuotos supaprastintu būdu, išskaidžius 18,6 t. sveriantį gelžbetoninio tilto plokštės skerspjūvį į segmentus 1,57 m x 1,57 m, kurie remiasi į tam tikrą atramą.

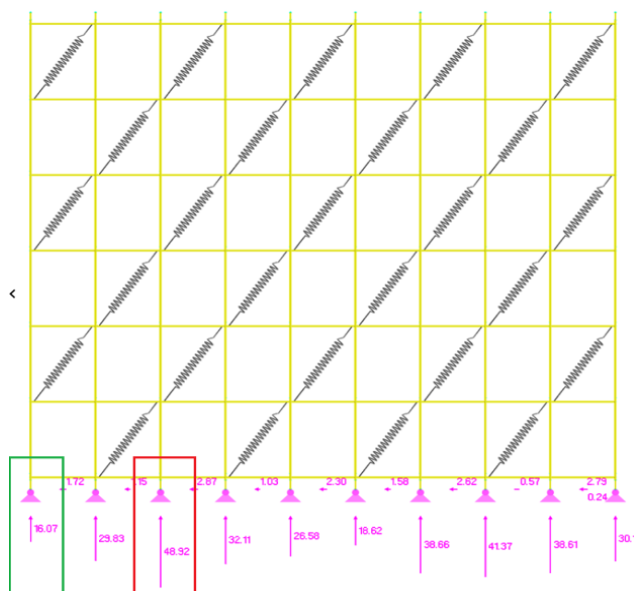
Pradžioje, 1 variantu, skaičiuoju atraminių apkrovas laikančių pastolių konstrukciją, kuri suprojektuota naudojantis gamintojo instrukciją (18 pav.).



**18 pav.** Tilto gelžbetoninio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 1-u variantu 3D modelis (a) ir skaičiuojamoji schema (b)

#### *Apkrova į pagrindą (1-as variantas)*

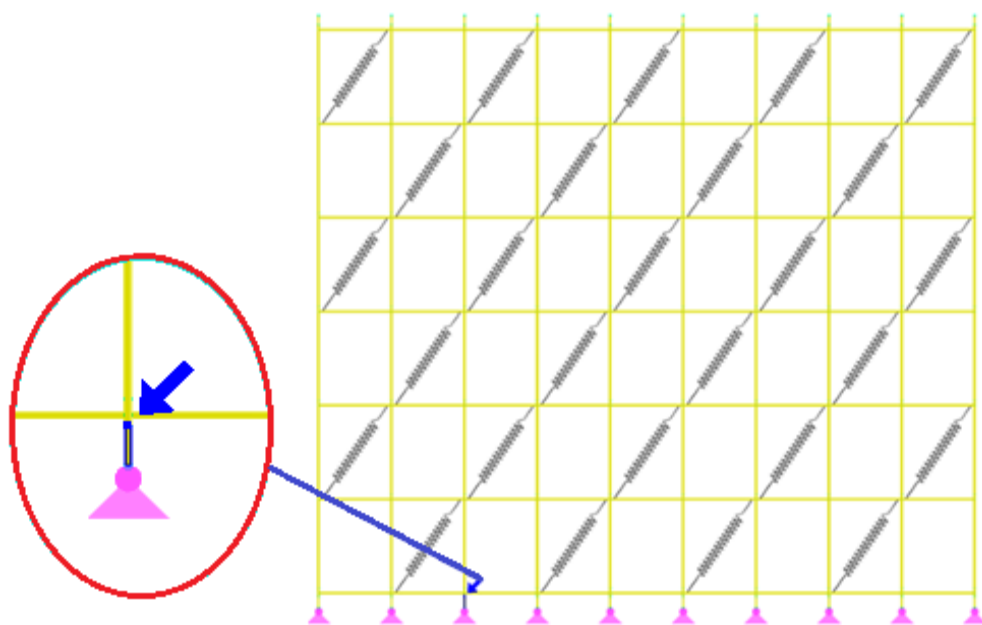
Skaičiavimų scheme (19 pav.) matome didžiausią apkrovą į pagrindą 48,92 kN, kuri pažymėta raudonu stačiakampiu ir mažiausią apkrovą į pagrindą 16,07 kN, kuri pažymėta žalia spalva.



**19 pav.** Apkrovos į pagrindą (1-as variantas)

*Daugiausiai apkrautas konstrukcijos elementas (1-as variantas)*

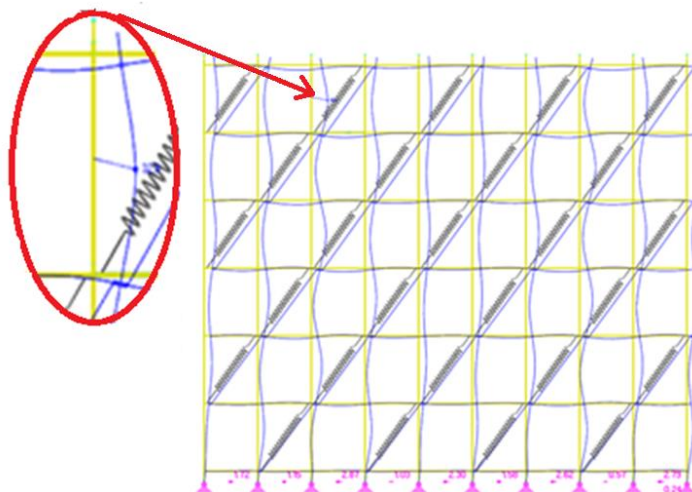
Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (20 pav.). Matome labiausiai apkrautą elementą, tai raudonu apskritimu pažymėta atraminė koja. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 47 % nuo elemento medžiagos (plienas S460) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1 / 0,47 = 2,13$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1/0,82=1,22$ .



**20 pav.** Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (1-as variantas)

*Konstrukcijos standumas (1-as variantas)*

Tai didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra 32 mm (21 pav.).

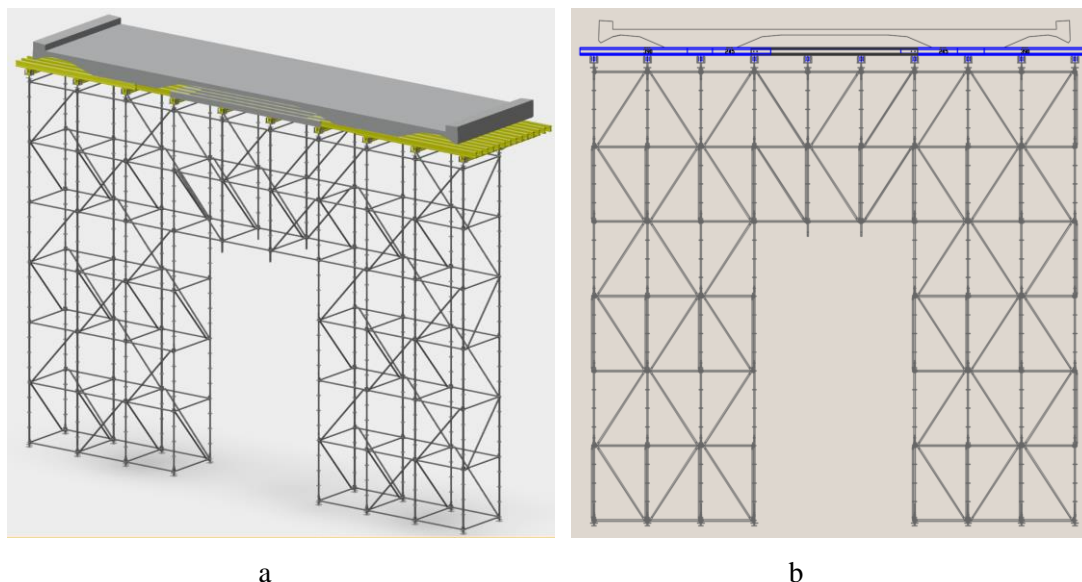


**21 pav.** Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (1-ojo varianto)

Labiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 47 % stiprumo ribos įtempių. Labiausiai apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 2,13 ( $1/0,47$ ) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kurią siūlo pastolių elementų gamintojas, galima sumažinti elementų kiekį ir taip padidinti elementų „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1).

Kad labiau „išnaudoti“ pastolių elementus mažiname, elementų skaičių pastolių sistemoje – išimama 15 % mažiau apkrautų konstrukcijos elementų. Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (22 pav.).

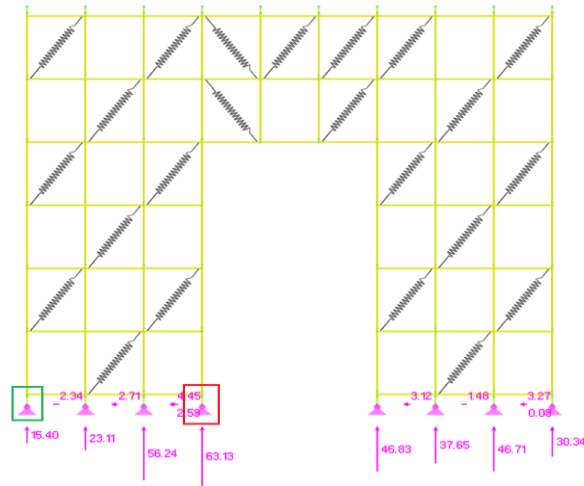
Patobulinto modelio (2-as variantas) skaičiavimo rezultatai taip pat pateikiami 2 lentelėje.



**22 pav.** 2-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b)

### Apkrova į pagrindą (2-as variantas)

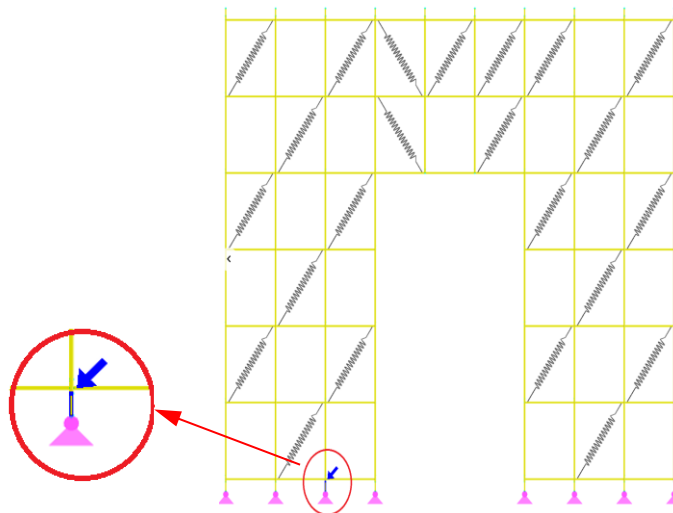
Gautoje skaičiavimų schemoje matome, kad pasikeitė daugiausiai apkrauta atrama, kurios apkrova padidėja iki 63,13 kN, pažymėta raudonu stačiakampiu, o mažiausiai apkrauta liko ta pati, tik jos apkrova sumažėjo iki 15,40 kN, pažymėta žalia spalva (23 pav.).



23 pav. Apkrovos į pagrindą (2-as variantas)

### Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (2-as variantas 24 pav.)

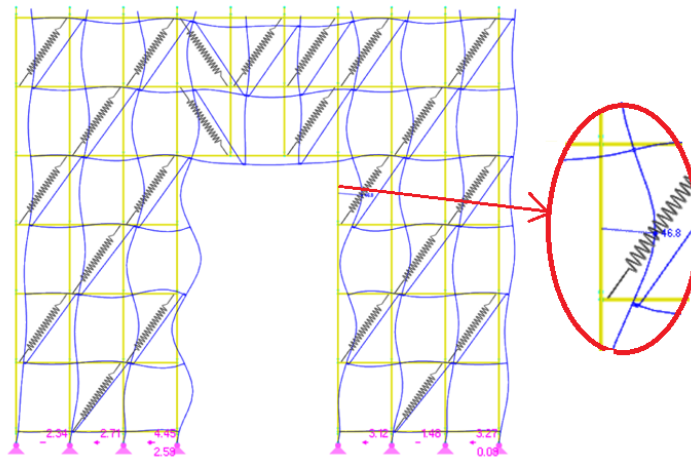
Matome daugiausiai apkrautą elementą - tai raudonu apskritimu pažymėta atraminė koja. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 75 % nuo elemento medžiagos (Plienas S460) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1 / 0,75 = 1,33$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1 / 1,24 = 0,8$ .



24 pav. Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (2-as variantas)

### Konstrukcijos standumas (2-as variantas)

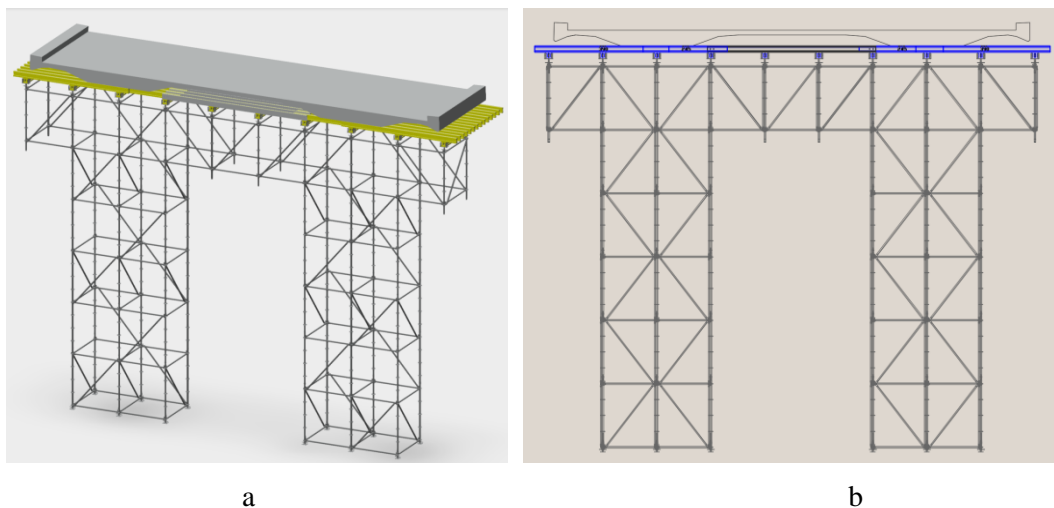
Tai didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra 46,8 mm. (25 pav.).



25 pav. Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (2-as variantas)

Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 75 % stiprumo ribos įtempių. Šio elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 1,33 ( $1/0,75$ ) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kuri sudaryta 15 % sumažinus elementų skaičių, nei rekomenduoja pastolių elementų gamintojas, taip pat dar galima padidinti „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1).

Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (26 pav.). Patobulinto modelio (3-as variantas) skaičiavimo rezultatai taip pat pateikiami 2 lentelėje.



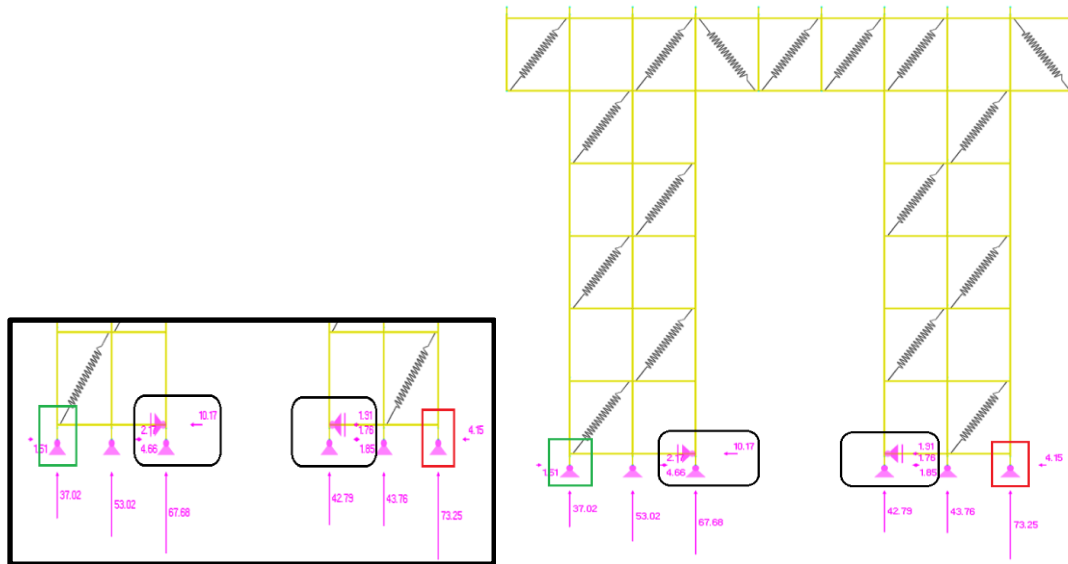
26 pav. 3-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b)

Atlikus šios konstrukcijos atsparumo skaičiavimus „Dlubal Rstab“ programa buvo pastebėta, kad konstrukcijos elementas - atraminė koja, pažymėta juodu apskritimu (24 pav.), praranda stabilumą dėl šoninės vėjo apkrovos. Norint tęsti racionalizavimą, reikia įrengti atramą, kuri išlaikytų iki 1,2 t. šoninę apkrovą. Atramai galima panaudoti: „ankeravimą“ į pagrindą, įrengti „spyri“ ar pastatyti balastą sveriantį 1,5 t. Šis sprendimas yra ženkliai pigesni, nes galima sumažinti detalių kiekį konstrukcijoje.

Taigi, programoje uždedu horizontalia kryptimi paslankią atramą, kuri suvaržo konstrukcijos judėjimą vėjo apkrovos kryptimi ir tęsiu konstrukcijos skaičiavimus.

*Apkrova į pagrindą (3-as variantas)*

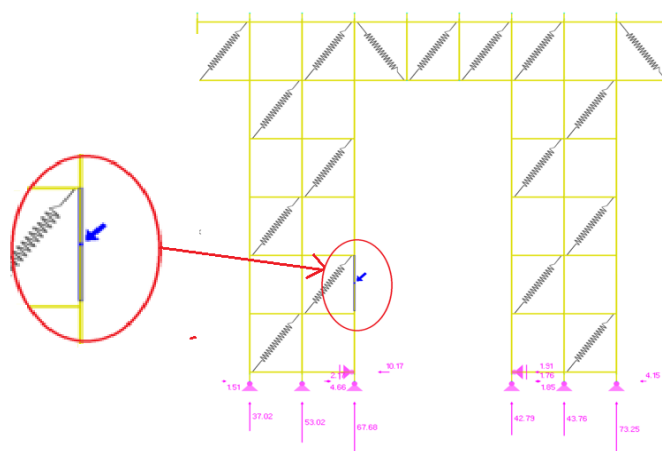
Skaičiavimų schemoje (27 pav.) matome, kad pasikeitė labiausiai apkrauta atramą kurios apkrova padidėjo iki 73,25 kN, pažymėta raudonu stačiakampiu, o mažiausiai apkrauta 37,02 kN, pažymėta žalia spalva.



**27 pav.** Apkrovos į pagrindą (3-as variantas)

*Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (28 pav.)*

Matome labiausiai apkrautą elementą, tai raudonu apskritimu pažymėta atramos stovas. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 86 % nuo elemento medžiagos (plienas S460) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1 / 0,86 = 1,16$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1 / 1,34 = 0,75$ .

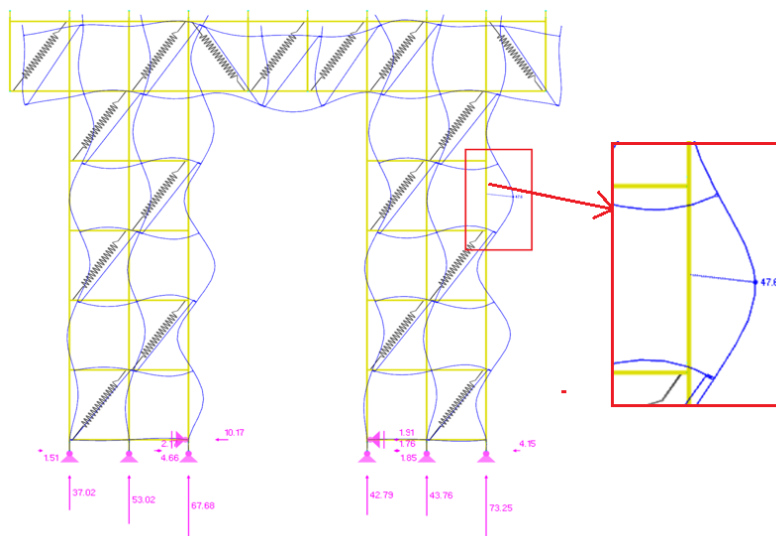


**28 pav.** Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir iki jo deformacijos (3-as variantas)



### Konstrukcijos standumas (3-as variantas)

Didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra 47,6 mm. ( 29 pav.).

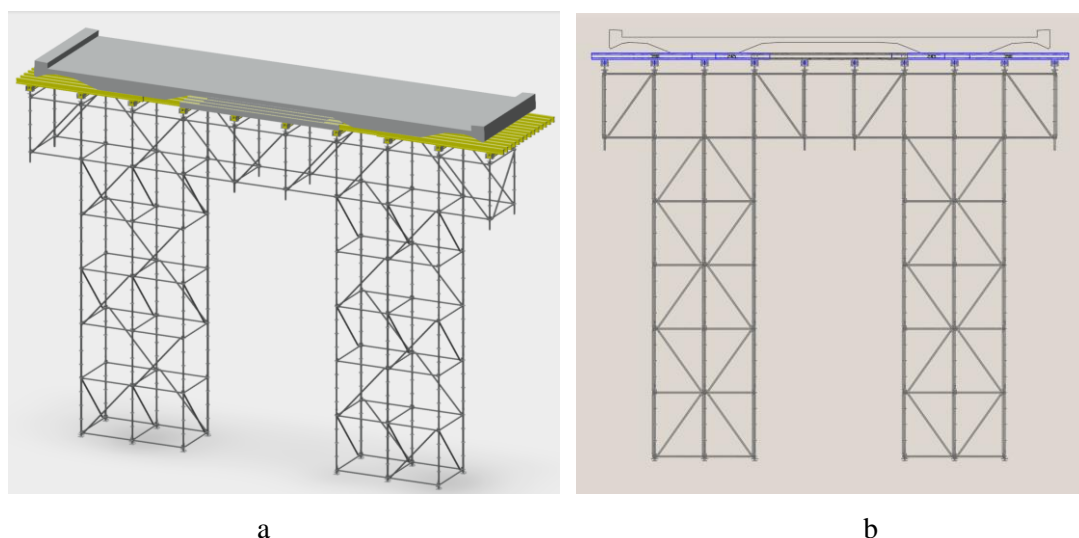


29 pav. Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (3-as variantas)

Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 86 % stiprumo ribos įtempių. Daugiausiai apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 1,16 (1/0,86) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kuri sudaryta 32 % sumažinus elementų skaičių nei rekomenduoja pastolių elementų gamintojas, papildomai galima padidinti elementų „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1).

Kad dar efektyviau „išnaudoti“ pastolių elementus, mažiname elementų skaičių pastolių sistemoje – išimama 5 % konstrukcijoje esančių įstrižainių elementų. Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (30 pav.).

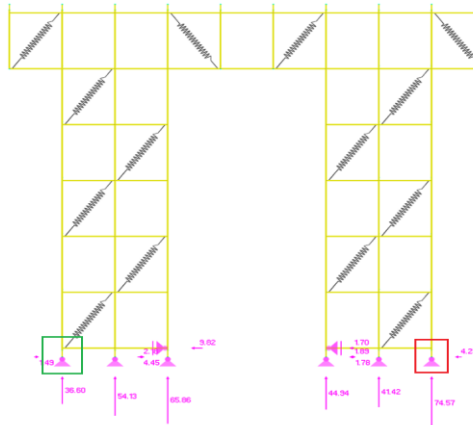
Patobulinto modelio (4-as variantas) skaičiavimo rezultatai taip pat pateikiami 2 lentelėje.



30 pav. 4-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b)

### Apkrova į pagrindą (4-as variantas)

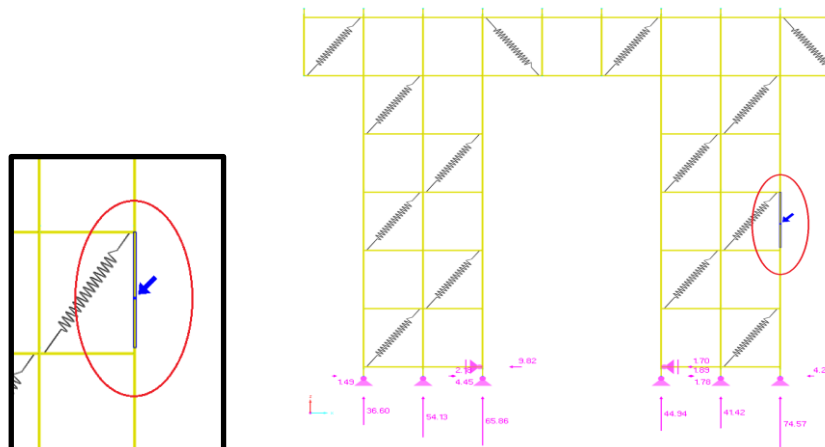
Skaičiavimų schemoje (31 pav.) matome, kad daugiausiai ir mažiausiai apkrautos atramos išliko tos pačios: daugiausiai apkrauta 74,57 kN pažymėta raudonu stačiakampiu, o mažiausiai 36,60 kN pažymėta žalia spalva.



31 pav. Apkrovos į pagrindą (4-as variantas)

### Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas

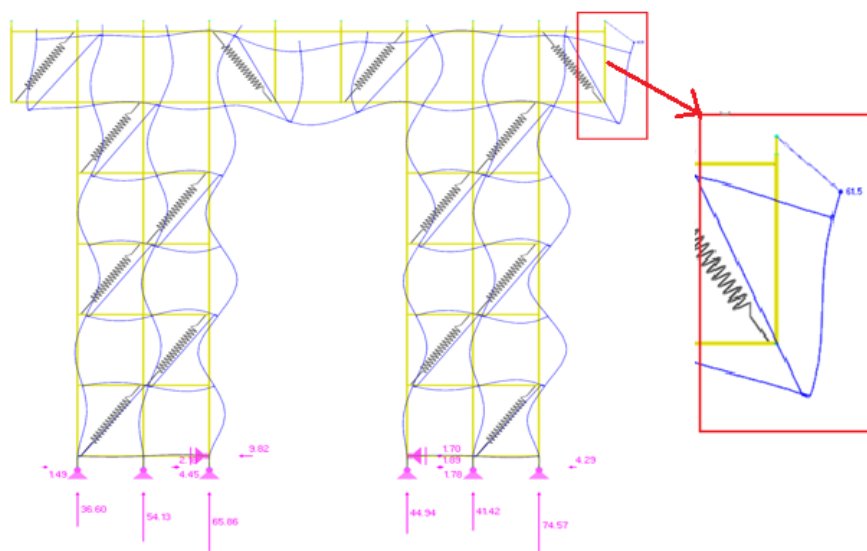
Matome daugiausiai apkrautą elementą, tai raudonu apskritimu pažymėtas atramos stovas (32 pav.). Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 90 % nuo elemento medžiagos (Plienas S460) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1/0,90=1,11$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1/1,38=0,72$ .



32 pav. Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (4-as variantas)

### Konstrukcijos standumas (33 pav.).

Tai didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra 61,5 mm.



**33 pav.** Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (4-as variantas)

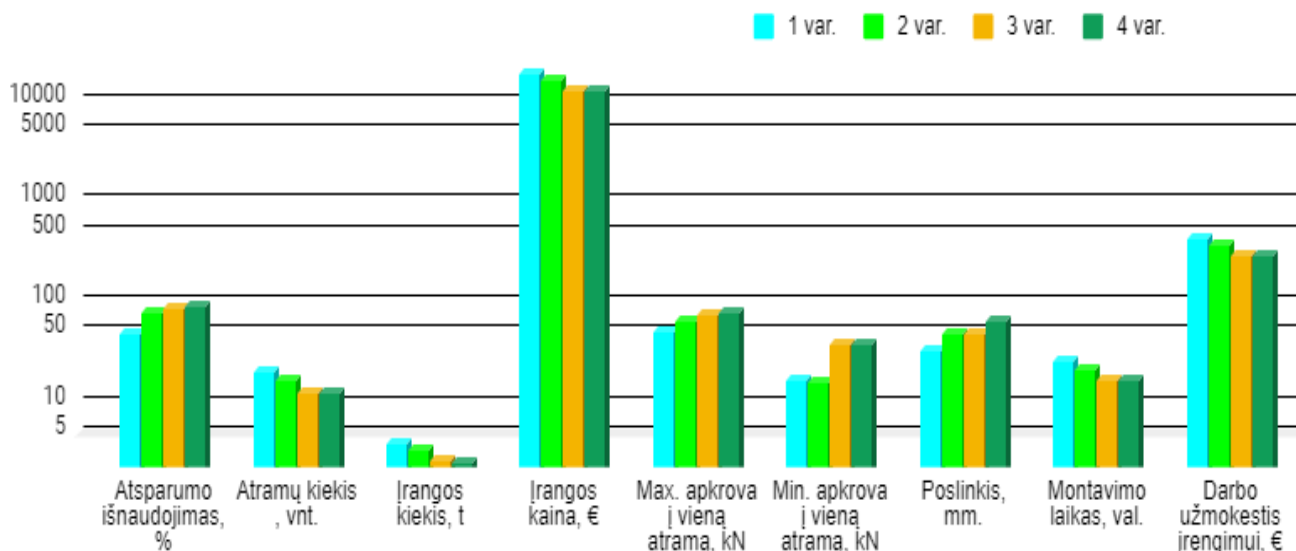
Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 90 % stiprumo ribos įtempių. Daugiausiai apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 1,11 (1/0,90) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kuri sudaryta 34 % sumažinus elementų skaičių nei rekomenduoja pastolių elementų gamintojas. Manau, kad pavyko padidinti konstrukcijos “išnaudojimą” (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1), todėl tolimesnį elementų kiekio mažinimą baigiu, nes toliau bandant mažinti elementų kiekį, pastolių konstrukcija praranda stabilumą.

Šiame darbe darbo užmokestis priimamas pagal Lietuvoje dominuojančių įmonių, atliekančių pastolių montavimo darbus mokėjimo vidurkį (tiriamąjį darbo atlikimo dieną): 1 h/17 € žmogui (tiek kainuoja išsinuomoti profesionalų montuotoją). Į kainą įskaičiuojami visi papildomi darbai susiję su pastolių montavimu: pakrovimas, iškrovimas, atnešimas, pakėlimas į montavimo vietą.

Montavimo laikas imamas iš Lietuvoje dominuojančių įmonių, atliekančių pastolių montavimo darbus, praktikos. Profesionalus montuotojas per 6,5 val. sumontuoja 1 t šio tipo pastolių elementų.

**2 lentelė.** Atraminė apkrova laikinųjų pastolių „Layher“ Allround skaičiavimų duomenys

Ypatybė	Pastolių konstrukcijos variantas			
	1-as	2-as	3-as	4-as
Atsparumo išnaudojimas, %	47	75	86	90
Atramų kiekis, vnt.	20	16	12	12
Įrangos kiekis, t	3,77	3,24	2,53	2,49
Įrangos kaina, €	18280	15855	12495	12312
Min. apkrova į vieną atramą, kN	48,92	63,13	73,25	74,57
Max. apkrova į vieną atramą, kN	16,07	15,4	37,02	36,6
Poslinkis, mm.	32,0	46,8	47,6	61,5
Montavimo laikas, val.	24,5	21,00	16,44	16,18
Darbo užmokestis montavimui (1 h/17 €), €	416,5	357,1	279,5	275,1
Atsparumo išnaudojimu laikomas labiausiai apkrauto pastolių elemento įtempių santykis su takumo ribos įtempiumi, išreikštas procentais.				



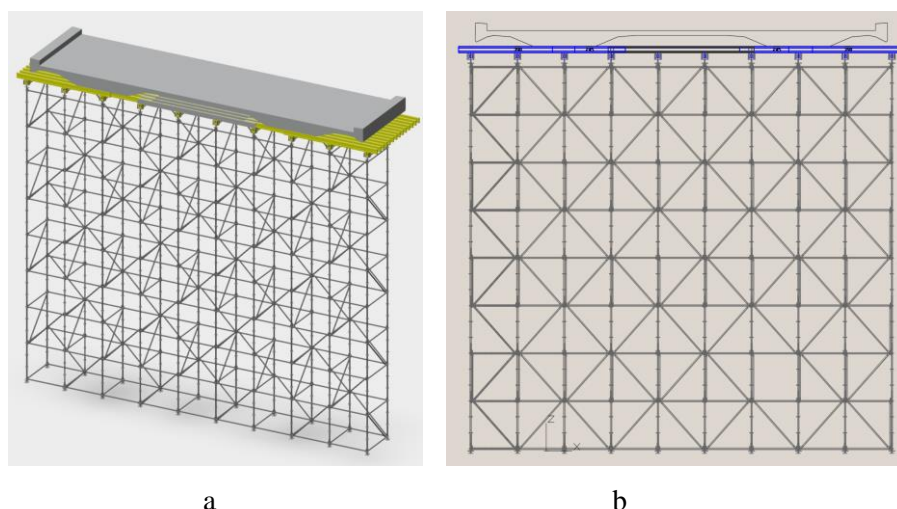
34 pav. Atraminų pastolių „Layher Allround“ skaičiavimų duomenys

Apibendrinti skaičiavimų duomenys pateikiami 2 lentelėje ir 34 pav. Sumažinus 34 % pastolius sudarančių elementų kiekį (atramų ir strypų skaičių), montavimo laikas ir darbo užmokestis sumažėja apie 34 % t.y. kiek kartų sumažinamas pastolių konstrukciją sudarančių elementų kiekis, maždaug tiek kartų sumažėja montavimo laikas ir darbo užmokestis

### 3.2.2. „Peri“ UP Rosett Flex pastolių modeliavimas

3D modelis sudaromas naudojant LayPLAN programinį paketą, skirtą AutoCAD. Šis paketas pritaikytas pastolių elementams projektuoti. Konstrukcijų atsparumo skaičiavimai atlikti „Dlubal Rstab“ programa. Šioje programoje skaičiavimai vykdomi dvimatėje erdvėje.

Pradžioje skaičiuojama pastolių konstrukcija, kuri sudaryta iš 1,5 m ilgio stovų, 1,50 m. skersinių ir 1,50/1,50m. įstrižainių elementų pagal gamintojo pateiktą montavimo instrukciją (35 pav.). Atlikus šios konstrukcijos statinius atsparumo skaičiavimus gautos reakcijos (jėgos veikiančios pagrindą) ir kiti skaičiavimų duomenys pateikti 3 lentelėje.



35 pav. 1-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminėmis apkrovas laikančiomis pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b)

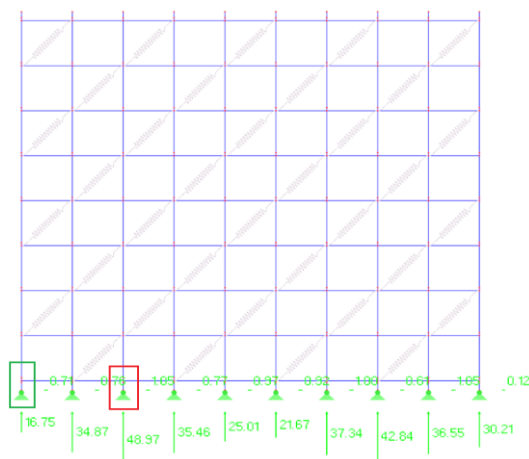
Apkrovos į atramas suskaičiuotos supaprastintu būdu, išskaidžius 18,6 t. sveriantį gelžbetoninio tilto plokštės skerspjūvį į segmentus 1,57 m x 1,57 m, kurie remiasi į tam tikrą atramą.

Pradžioje, 1 variantu, skaičiuoju atraminių apkrovas laikančių pastolių konstrukciją, kuri suprojektuota naudojantis gamintojo instrukciją (35 pav.).

*Apkrova į pagrindą (1-as variantas)*

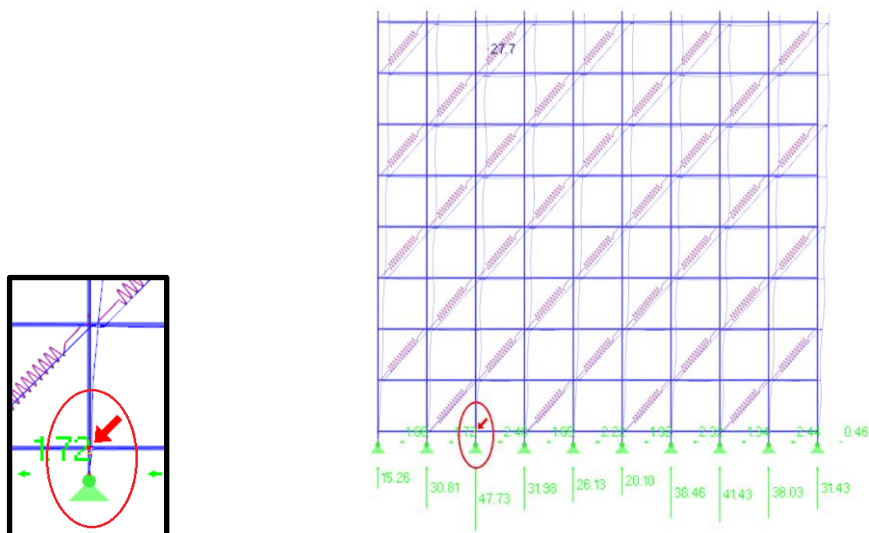
Skaičiavimų scheme (36 pav.) matome daugiausiai apkrautą atramą 48,97 kN, kuri pažymėta raudonu stačiakampiu ir mažiausiai apkrautą atramą 16,75 kN, kuri pažymėta žalia spalva.

*Daugiausiai apkrautas konstrukcijos elementas (1-as variantas)*



**36 pav.** Apkrovos į pagrindą (1-as variantas)

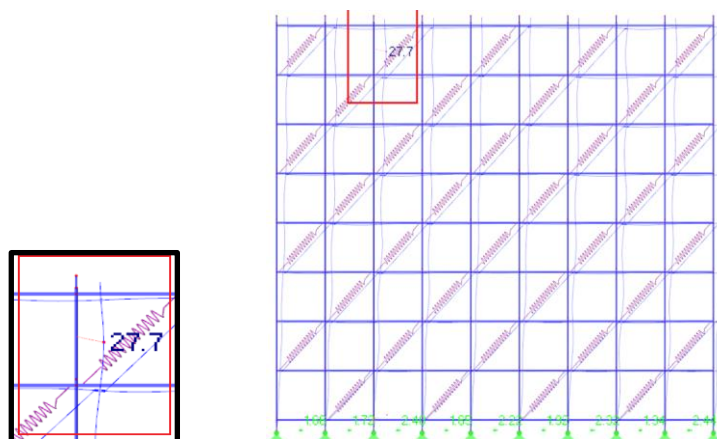
Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (37 pav.). Gautoje skaičiavimų scheme matome daugiausiai apkrautą elementą - tai raudonu apskritimu pažymėta atraminė koja. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 47 % nuo elemento medžiagos (Plienas S355) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1/0,47=2,13$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1/0,87=1,15$ .



**37 pav.** Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (1-as variantas)

### Konstrukcijos standumas (1-as variantas)

Tai didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra lygus 27,7 mm (38 pav.).

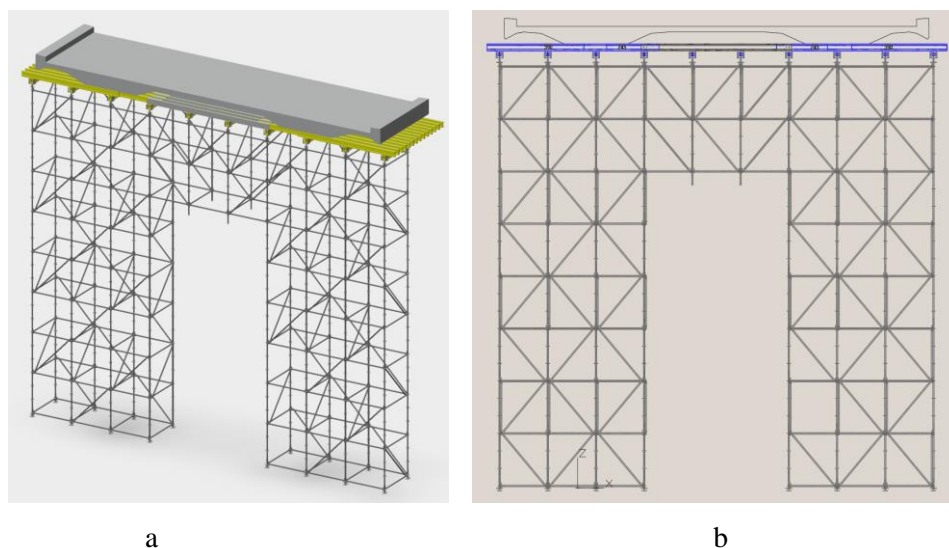


**38 pav.** Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (1-ojo varianto)

Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 47% stiprumo ribos įtempių. Daugiausiai apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 2,13 (1/0,47) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kurią siūlo pastolių elementų gamintojas, galima sumažinti elementų kiekį ir toki būdu padidinti elementų „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1).

Kad labiau „išnaudoti“ pastolių elementus, mažiname elementų skaičių pastolių sistemoje – išimama apie 15 % mažiausiai apkrautų konstrukcijos elementų. Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (39 pav.).

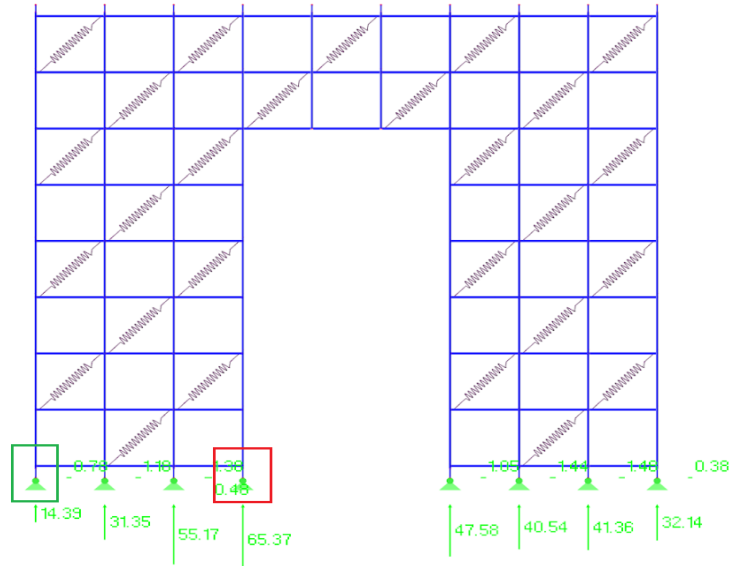
Patobulinto modelio (2-as variantas) skaičiavimo rezultatai taip pat pateikiami 3 lentelėje.



**39 pav.** Patobulintas tilto gelžbetonio skerspjūvio su laikančiais pastoliais skerspjūvio a - 3D modelis ir b - skerspjūvio modelio skaičiuojamoji schema (2-as variantas)

### Apkrova į pagrindą (2-as variantas)

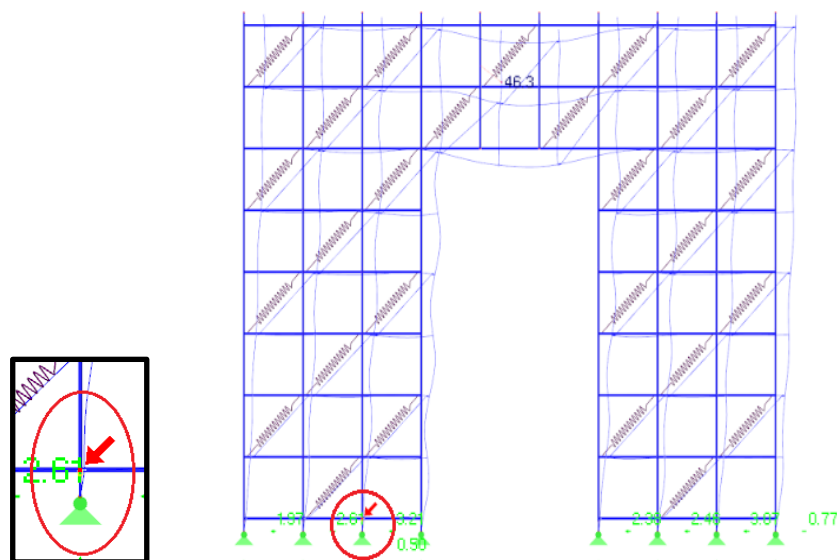
Skaičiavimų schemoje (40 pav.) matome, kad pasikeitė daugiausiai apkrauto elemento apkrova, kuri padidėja iki 65,37 kN, pažymėta raudonu stačiakampiu, o mažiausiai apkrauto elemento sumažėjo iki 14,39 kN, pažymėta žaliai spalva.



40 pav. Apkrovos į pagrindą (2-as variantas)

### Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (2-as variantas, 41 pav.)

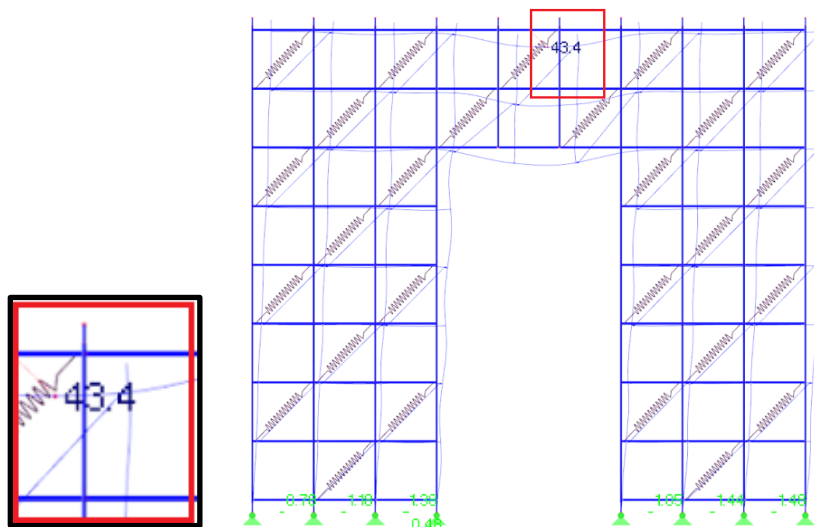
Atlikus skaičiavimus, matome daugiausiai apkrautą elementą - tai raudonu apskritimu pažymėta atraminė koja. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 67 % nuo elemento medžiagos (Plienas S355) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1/0,67 = 1,49$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1/1,12 = 0,89$ .



41 pav. Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (2-as variantas)

### Konstrukcijos standumas (2-as variantas)

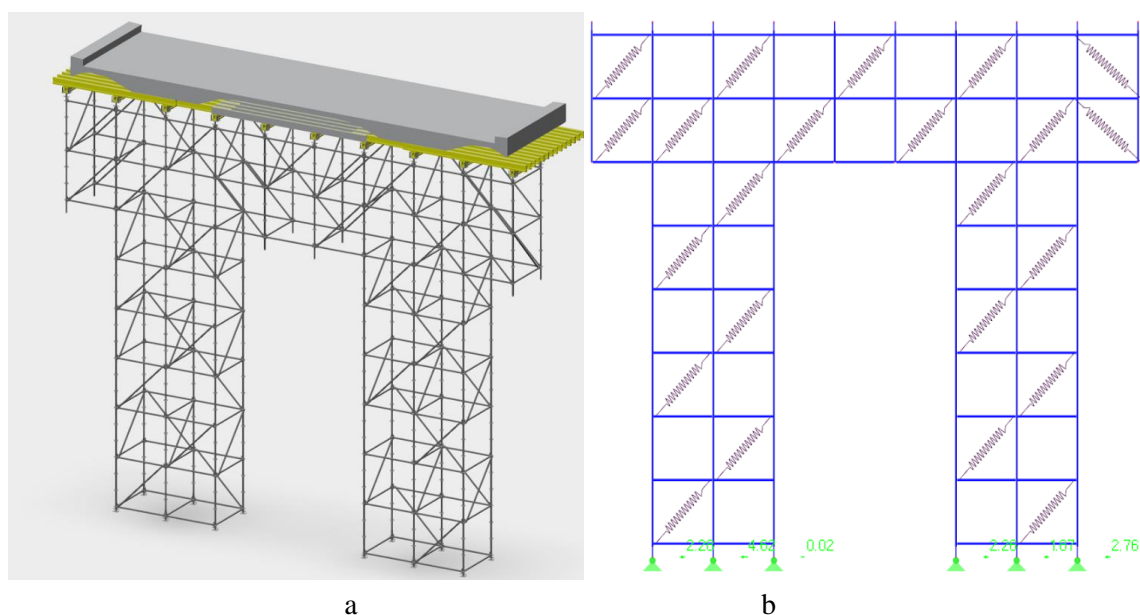
Tai didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra lygus 43,4 mm. ( 42 pav.).



42 pav. Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (2-as variantas)

Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 67 % takumo ribos įtempių. Tad apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 1,49 ( $1/0,67$ ) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kuri sudaryta 15 % sumažinus elementų skaičių nei rekomenduoja pastolių elementų gamintojas, dar galima padidinti elementų „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1). Kad dar labiau „išnaudoti“ pastolių elementus, mažiname elementų skaičių pastolių sistemoje – išimama 20 % mažiau apkrautų konstrukcijos elementų. Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (43 pav.).

Patobulinto modelio (3-as variantas) skaičiavimo rezultatai taip pat pateikiami 3 lent.

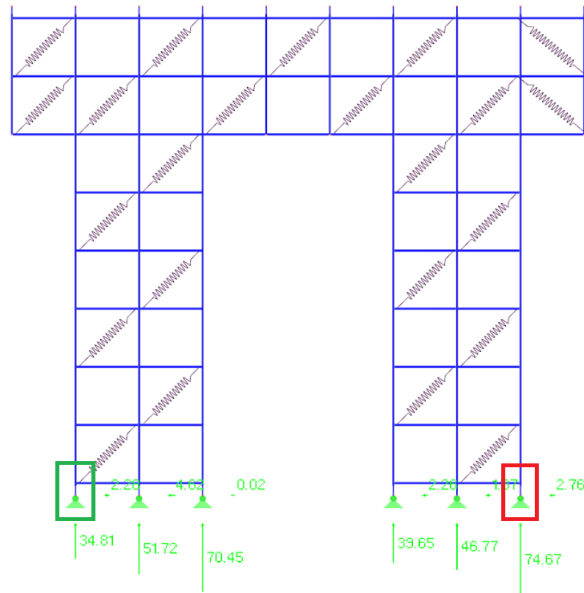


43 pav. 3-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b)



### Apkrova į pagrindą (3-as variantas)

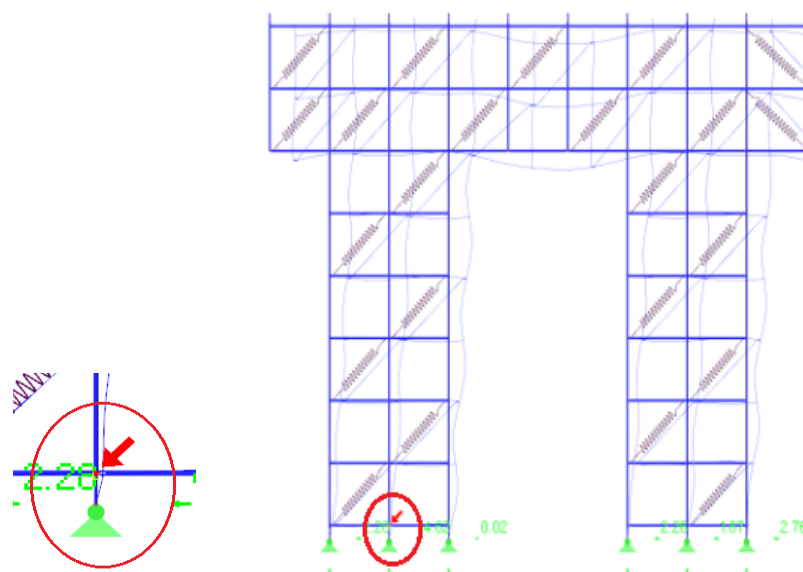
Skaičiavimų schemeje (44 pav.) matome, kad pasikeitė labiausiai apkrauto elemento apkrova, kuri padidėja iki 74,67 kN, pažymėta raudonu stačiakampiu, o mažiausiai apkrauto elemento sumažėjo iki 34,81 kN, pažymėta žalia spalva.



44 pav. Apkrovos į pagrindą (3-as variantas)

### Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (3-as variantas, 45 pav.)

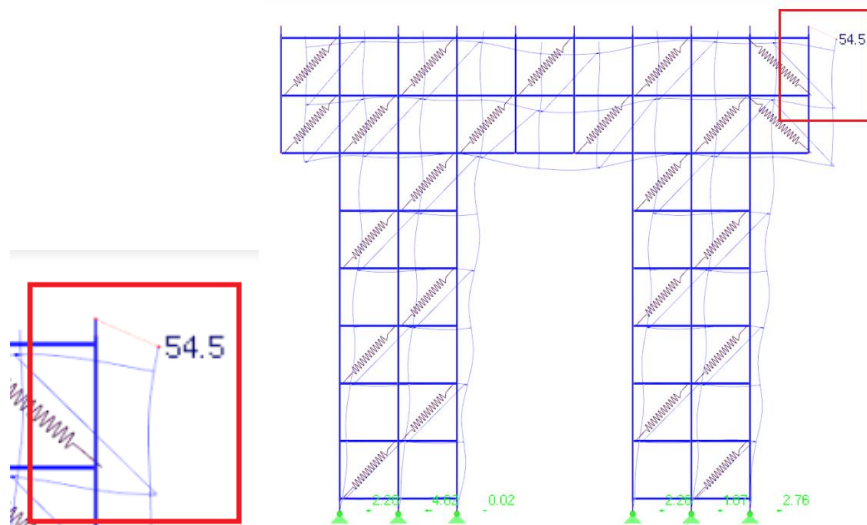
45 paveikslėlyje matome daugiausiai apkrautą elementą - tai raudonu apskritimu pažymėta atraminė koja. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 83 % nuo elemento medžiagos (plienas S355) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1/0,83=1,20$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1/1,18=0,84$ .



45 pav. Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir deformacijos (3-as variantas)

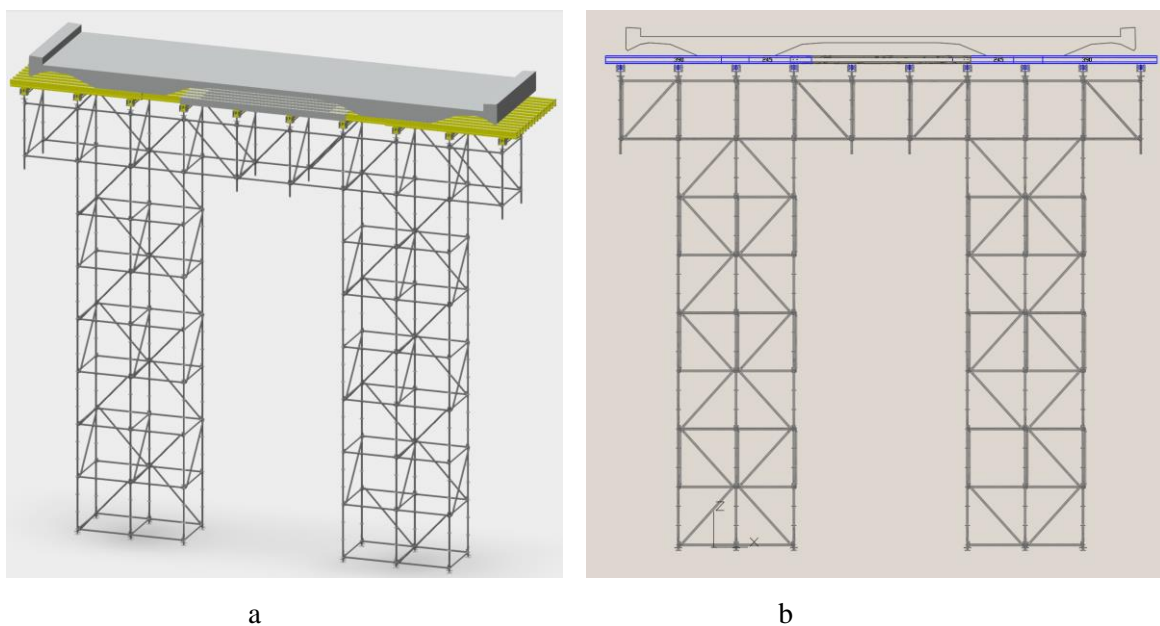
### Konstrukcijos standumas (3-as variantas)

Tai didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis, kuris yra lygus 54,5 mm. ( 46 pav.).



**46 pav.** Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (2-as variantas)

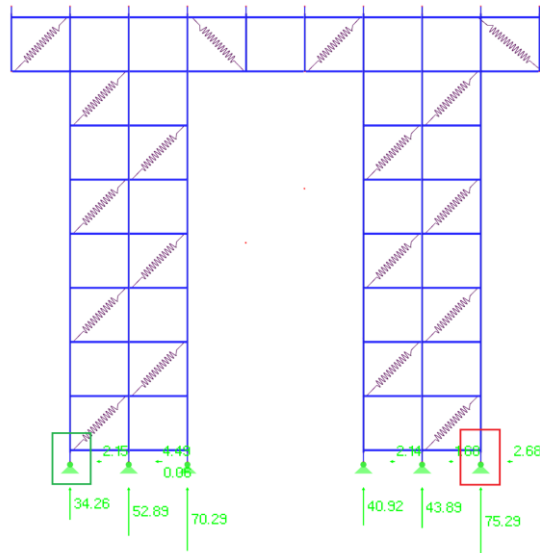
Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 83 % takumo ribos įtempių. Tad apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 1,20 (1/0,83) karto. Todėl tokioje pastolių konstrukcijoje, kuri sudaryta 30 % sumažinus elementų skaičių nei rekomenduoja pastolių elementų gamintojas, dar galime padidinti elementų „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1). Kad dar labiau „išnaudoti“ pastolių elementus, mažiname elementų skaičių pastolių sistemoje – išimama 5 % mažiau apkrautų konstrukcijos elementų. Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (47 pav.).



**47 pav.** 4-o varianto tilto gelžbetonio skerspjūvio su atraminių apkrovas laikančiųjų pastolių konstrukcijos 3D modelis (a) ir konstrukcijos skaičiuojamoji schema (b)

### Apkrova į pagrindą (4-as variantas)

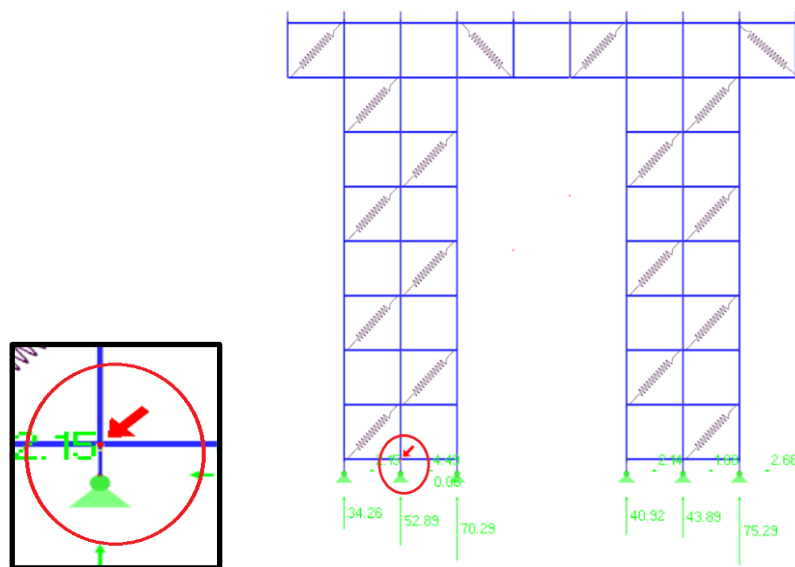
Skaičiavimų schemeje (48 pav.) matome, kad pasikeitė daugiausiai apkrauta atrama, kurios apkrova padidėjo iki 75,29 kN, pažymėta raudonu stačiakampiu, o mažiausiai apkrauta 34,26 kN, pažymėta žydra spalva.



48 pav. Apkrovos į pagrindą (4-as variantas)

### Konstrukcijos elementų laikomosios galios išnaudojimas (49 pav.)

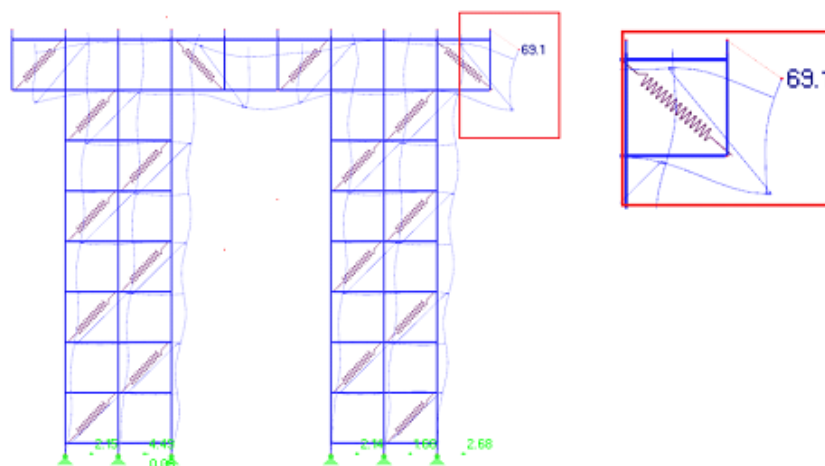
49 paveikslėlyje matome daugiausiai apkrautą elementą - tai raudonu apskritimu pažymėtas atramos stovas. Šiame elemente įtempių dydis sudaro apie 92 % nuo elemento medžiagos (plienas S355) stiprumo ribos (atsarga iki stiprumo ribos yra  $1/0,92=1,08$ ), o iki plastinės deformacijos pradžios atsarga yra  $1/1,40=0,71$ .



49 pav. Daugiausiai apkrautas elementas iki jo takumo ribos ir iki jo deformacijos (4-as variantas)

### Konstrukcijos standumas (4-as variantas)

Didžiausias konstrukcijos elementų poslinkis yra 69,1 mm. (50 pav.).



50 pav. Konstrukcijos poslinkio deformavimo pobūdis masteliu 15:1 (4-as variantas)

Daugiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 92 % takumo ribos įtempių, todėl galima teigti, kad tokia pastolių konstrukcija išnaudota racionaliai. Taigi, pastolių konstrukcijoje, kurioje sumažinau 36 % elementų nei rekomenduoja gamintojas, daugiausiai apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 1,08 (1/0,92) karto. Manau, kad pavyko padidinti konstrukcijos „išnaudojimą“ (atsargos koeficiento iki plastinio deformavimo vertę priartinti prie 1), todėl tolimesnį elementų kiekio mažinimą baigiu, nes bandant toliau mažinti elementų kiekį, pastolių konstrukcija praranda stabilumą.

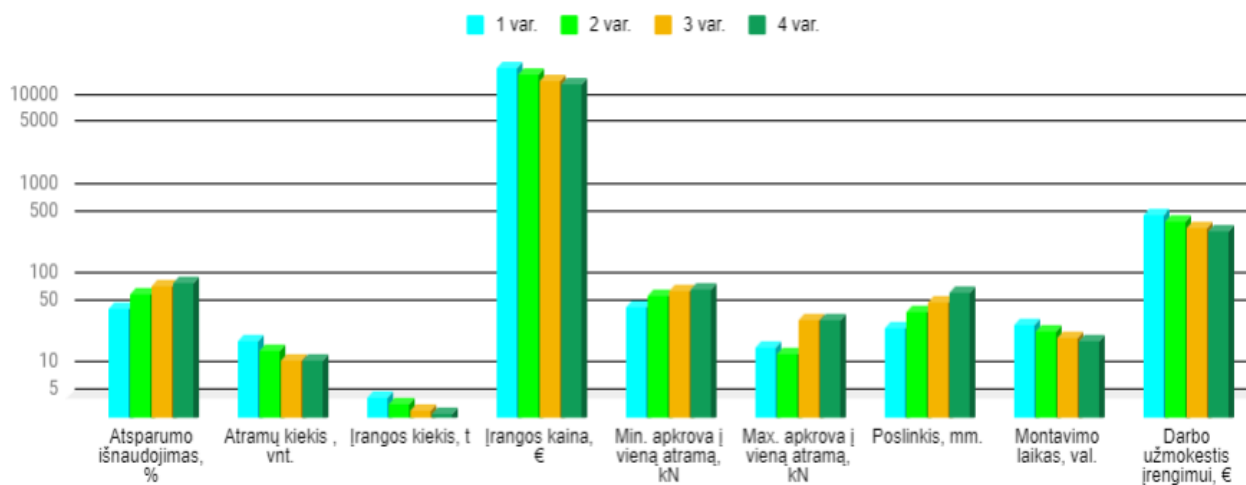
### Tyrimų rezultatų suvestinė

Šiame tyrime darbo užmokestis priimamas pagal Lietuvoje dominuojančių įmonių, atliekančių pastolių montavimo darbus mokėjimo vidurkį (tiriamąjį darbo atlikimo dieną: 1 h/17 € žmogui (tiek kainuoja išsinuomoti profesionalų montuotoją). Į kainą įskaičiuojami visi papildomi darbai susiję su pastolių montavimu: pakrovimas, iškrovimas, atnešimas, pakėlimas į montavimo vietą.

3 lentelė. Atraminių, apkrovas laikančių pastolių - „Peri“ UP Rosett Flex skaičiavimų duomenys

Ypatybė	Pastolių konstrukcijos variantas			
	1-as	2-as	3-as	4-as
Atsparumo išnaudojimas, %	47	67	83	92
Atramų kiekis, vnt.	20	16	12	12
Įrangos kiekis, t	4,75	3,99	3,33	3,05
Įrangos kaina, €	17765	13371	10484	9454
Min. apkrova į vieną atramą, kN	48,97	65,37	74,67	75,29
Max. apkrova į vieną atramą, kN	16,75	14,39	34,81	34,26
Poslinkis, mm.	27,7	43,4	54,5	69,1
Montavimo laikas, val.	30,9	25,9	21,65	19,8
Darbo užmokestis įrengimui, €	525,30	440,30	368,05	336,60
Atsparumo išnaudojimu laikomas labiausiai apkrauto pastolių elemento įtempių santykis su takumo ribos įtempiu, kuris yra išreikštas procentais.				

Montavimo laikas imamas iš Lietuvoje dominuojančių įmonių, atliekančių pastolių montavimo darbus, praktikos. Profesionalus montuotojas per 6,5 val. sumontuoja 1 t šio tipo pastolių elementų (51 pav.).



51 pav. Atraminų pastolių Peri UP Rosett Flex skaičiavimo duomenų suvestinė

### 3.3. Rezultatų palyginimas TOPSIS metodu

Pirmiausia yra nustatomi kriterijai, pagal kuriuos bus vertinama, kuris iš šių aptartų variantų yra racionaliausias arba artimiausias idealiam variantui. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica (4 lentelė).

Atlikus skaičiavimus, gauti tyrimo rezultatai, pagal kuriuos atliekamas daugiakriteris vertinimas. Reikia nustatyti tyrimo rezultatų reikšmingumą. Todėl atlikau apklausą, kurių metu kompetentingi ir pastolių srityje patirties turintys specialistai, suskirstė pateiktus kriterijus balais nuo 1 iki 5. Tyrime dalyvavo keturi pastolių montuotojai, keturi atraminų, apkrovas laikančių pastolių projektuotojai ir po du Vokiečių gamintojų „Layher“ ir „Peri“ pastolių pardavimo atstovai Lietuvoje. Gauti rezultatai pateikti 4 lentelėje:

4 lentelė. Apklausos rezultatai

Ekspertai $k = 1...13$	Atraminus pastolius vertinti skirti kriterijai				
	Didžiausias atsparumo išnaudojimas	Mažesnis įrangos kiekis	Mažesnė pastolių elementų kaina	Didesnis konstrukcijos stabilumas	Mažesnė konstrukcijos montavimo kaina
1	3	5	2	1	4
2	4	5	2	1	3
3	5	4	2	1	3
4	3	4	1	2	5
5	3	5	2	1	4
6	2	5	1	3	4
7	3	4	1	2	5
8	4	5	2	1	3
9	3	5	2	1	4
10	4	5	2	1	3
11	5	4	2	1	3
12	4	5	2	1	3
13	5	4	3	1	2
Rangų suma	48	60	24	17	46
Vidurkis	0,246	0,308	0,123	0,087	0,236

Toliau atliekamas apklausoje dalyvavusių respondentų nuomonių suderinamumo nustatymas, naudojant konkordacijos koeficientą. Kuris nustatomas pagal 2.13 formulę. Konkordacijos koeficiento reikšmingumas nustatomas naudojant  $X^2$  kriterijų, pagal formulę:

$$X^2 = Wr(n - 1) = 0.308 \cdot 13 \cdot (5 - 1) = 27,963 \quad (3.01)$$

**5 lentelė.** Sprendimų priėmimo matrica

Atraminų pastolių alternatyvos	Rodikliai				
	Didžiausias atsparumo išnaudojimas	Mažesnis įrangos kiekis	Mažesnė pastolių elementų kaina	Didesnis konstrukcijos stabilumas	Mažesnė konstrukcijos montavimo kaina
Layher „Alround“ 1 var.	47	3,770	18,280	32	416,5
Peri „Rosset“ 1 var.	47	4,750	17,765	27,7	525,3
Layher „Alround“ 2 var.	75	3,240	15,855	46,8	357,1
Peri „Rosset“ 2 var.	67	3,990	13,371	43,4	440,3
Layher „Alround“ 3 var.	86	2,530	12,495	47,6	279,5
Peri „Rosset“ 3 var.	83	3,330	10,484	54,5	368,05
Layher „Alround“ 4 var.	90	2,490	12,312	61,6	275,1
Peri „Rosset“ 4 var.	92	3,050	9,454	69,1	336,6
Min. ar max. rodiklis	max	min.	min.	min.	min.

Galiausiai yra nustatomas nuomonių suderinamumas:

$$\alpha = 0,05 > X_{krit}^2 = 1.269 \cdot E - 5 \quad (3.02)$$

Išvada: Ekspertų nuomonės yra suderinamos.

Toliau 5 lentelėje yra atliekamas P matricos normalizavimas pagal 2.09 formulę. Normalizuota sprendimų matrica pateikiama 5 lentelėje.

**6 lentelė.** Normalizuota sprendimų matrica

Atraminų pastolių alternatyvos	Rodikliai				
	Didžiausias atsparumo išnaudojimas	Mažesnis įrangos kiekis	Mažesnė pastolių elementų kaina	Didesnis konstrukcijos stabilumas	Mažesnė konstrukcijos montavimo kaina
Layher „Alround“ 1 var.	0,469	0,548	0,609	0,507	0,548
Peri „Rosset“ 1 var.	0,469	0,691	0,592	0,439	0,692
Layher „Alround“ 2 var.	0,748	0,471	0,528	0,742	0,470
Peri „Rosset“ 2 var.	0,669	0,580	0,445	0,688	0,580
Layher „Alround“ 3 var.	0,858	0,368	0,416	0,754	0,368
Peri „Rosset“ 3 var.	0,828	0,484	0,349	0,864	0,485
Layher „Alround“ 4 var.	0,898	0,362	0,410	0,976	0,362
Peri „Rosset“ 4 var.	0,918	0,444	0,315	1,095	0,443
Rodiklių reikšmingumai, $q$	0,246	0,308	0,123	0,087	0,236

Kai jau turime normalizuotą matricą ir rodiklių reikšmingumus, galime sudaryti svertinę normalizuotą matricą (2.10 formulė), kurios gauti rezultatai pateikti 6 lentelėje:

**7 lentelė.** Svertinė normalizuota sprendimų matrica

Atraminų pastolių alternatyvos	Rodikliai				
	Didžiausias atsparumo išnaudojimas	Mažesnis įrangos kiekis	Mažesnė pastolių elementų kaina	Didesnis konstrukcijos stabilumas	Mažesnė konstrukcijos montavimo kaina
Layher „Alround“ 1 var.	0,115	0,135	0,150	0,044	0,129
Peri „Rosset“ 1 var.	0,115	0,170	0,146	0,038	0,163
Layher „Alround“ 2 var.	0,184	0,116	0,130	0,065	0,111
Peri „Rosset“ 2 var.	0,164	0,143	0,110	0,060	0,137
Layher „Alround“ 3 var.	0,211	0,091	0,102	0,066	0,087
Peri „Rosset“ 3 var.	0,204	0,119	0,086	0,075	0,114
Layher „Alround“ 4 var.	0,221	0,089	0,101	0,085	0,085
Peri „Rosset“ 4 var.	0,226	0,109	0,077	0,095	0,105

**8 lentelė.** Idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva

Atraminų pastolių alternatyvos	Rodikliai				
	Didžiausias atsparumo išnaudojimas	Mažesnis įrangos kiekis	Mažesnė pastolių elementų kaina	Didesnis konstrukcijos stabilumas	Mažesnė konstrukcijos montavimo kaina
a+	0,226	0,089	0,077	0,038	0,085
a-	0,115	0,170	0,150	0,095	0,163

Atstumas tarp etaloninio ir lyginamojo variantų  $A^+$  nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$  – matėje Euklido erdvėje, pagal formules (2.14), o tarp  $i$  – tojo ir blogiausio varianto  $A^-$ , pagal formulę: (2.15), duomenys 8 lentelėje:

**9 lentelė.** Atstumai

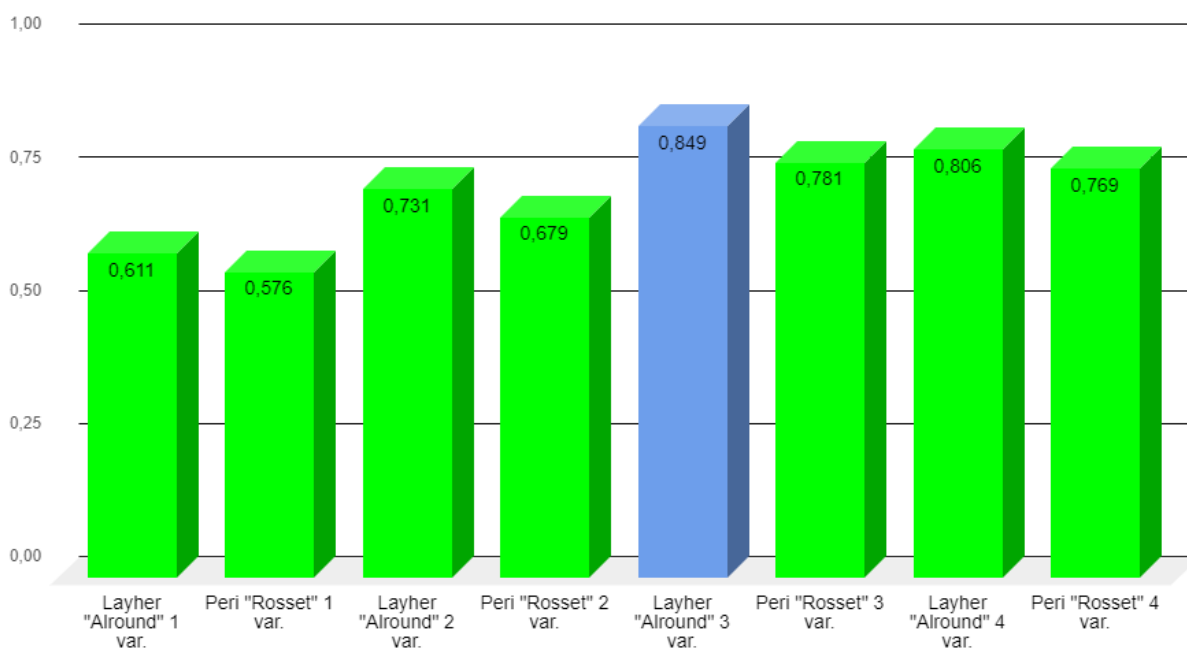
L1+=	0,147	L1=-	0,231
L2+=	0,172	L2=-	0,233
L3+=	0,081	L3=-	0,220
L4+=	0,104	L4=-	0,219
L5+=	0,040	L5=-	0,225
L6+=	0,061	L6=-	0,216
L7+=	0,053	L7=-	0,217
L8+=	0,063	L8=-	0,212

Alternatyvos santykinio atstumo iki idealaus nustatymas pateiktas 9 lentelėje.

$$\alpha = 0,05 > X_{krit}^2 = 1.269 \cdot E - 5 \quad (3.03)$$

**10 lentelė. Prioritetų eilė**

Layher „Alround“ 1 var.	0,611	7
Peri „Rosset“ 1 var.	0,576	8
Layher „Alround“ 2 var.	0,731	5
Peri „Rosset“ 2 var.	0,679	6
<b>Layher „Alround“ 3 var.</b>	<b>0,849</b>	<b>1</b>
Peri „Rosset“ 3 var.	0,781	3
Layher „Alround“ 4 var.	0,806	2
Peri „Rosset“ 4 var.	0,769	4



**52 pav. „Layher“ Alround ir „Peri“ Rosset alternatyvų vertinimas**



## Išvados

1. Išnagrinėjus 30 mokslinių straipsnių, kuriuose tiriama atraminiai pastoliai nustatyta, kad daug dėmesio skiriama konstrukcijų stabilumui patikrinti, keičiant įstrižinių elementų kiekį ir montavimo kryptį.
2. Atliekant individualius atraminių konstrukcijų skaičiavimus, apkrovos vertinamos naudojantis statinio projekto technine dokumentacija, o gamintojas rekomenduoja taikyti apkrovas, numatytas EN 12812 standarte, visiems atvejams vienodas. Atraminių apkrovas laikančių pastolių konstrukcijoje, kurią siūlo gamintojai, daugiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo yra apie 2,2 (1/0,47) karto. Pakeitus pastolių konstrukciją (išėmus mažiausiai apkrautus elementus) galima pasiekti, kad labiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo būtų artima vienetui.
3. Keičiant pastolių konstrukcijos pavidalą (išimant mažiausiai apkrautus elementus) gaunama didesnė mažiausiai apkrauto elemento atsarga. Pastolių konstrukciją sudarančių elementų kiekį sumažinus apie 40 % (1,56 karo) daugiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo padidėja beveiki iki 50 % (1,96 karto), o naudojamos įrangos kaina sumažėja apie 53 % (1,88 karto). Todėl galima teigti, kad kiek kartų sumažinsime atraminių apkrovas laikančių pastolių konstrukciją sudarančių elementų kiekį, maždaug tiek kartų sumažės pastolių montavimo laikas ir darbo užmokestis.
4. Atliekant daugiakriterį vertinimą buvo pasirinkti sekantys rodikliai: didžiausias atsparumo išnaudojimas, mažesnis įrangos kiekis, mažesnė pastolių elementų kaina, didesnis konstrukcijos stabilumas, mažesnė konstrukcijos montavimo kaina. Apklausus pastolių montuotojus, konstrukcijų projektuotojus ir pardavėjus bei taikant TOPSIS metodą nustatyta, kad racionaliausias iš tirtų pastolių pavidalų yra 3-iasis (Layher „Alround“, žr. 26 pav., 39 psl.), kurio santykinis „atstumas“ yra 0,849 balo. Antrasis pagal racionalumą gautas 4-tasis (Layher „Alround“, žr. 30 pav., 42 psl.), jo santykinis „atstumas“ yra 0,806 balo, t.y. 1,05 kartų mažesnis nei 3-iasis. Mažiausiai racionalus gautas 1-asis (Peri „Rosset“ , žr. 35 pav., 45 psl.)jo santykinis „atstumas“ yra 0,576 balo, t.y. 1,47 kartų mažesnis nei (Layher „Alround“)3-iasis variantas.

## Literatūros ir informacinių šaltinių sąrašas

1. Hao Zhang, Kim J.R. Rasmussen, Bruce R. Elingwood. Reability assessment of steel scaffold shoring structures for concrete formwork. *Engineering structures*.2012 (36) 81-89.
2. Hao Zhang, Tayakorn Chandrangsu, Kim.J. R. Rasmussen. Probabilistic study of the strength of steel scaffold systems. *Structural Safety*. 2006. 126-135.
3. E. Blazik- Borova, J. Gontarz. The influence of the dimension and configuration of geometric imperfektions on the static strenght of a typical fasade skaffolding. *Civil and Mechanical Engenering*. 2016. 269-281.
4. LST EN 12811-1 Laikinoji statybos darbų įranga. 1 dalis. Pastoliai. Techniniai reikalavimai ir bendrasis projektavimas.
5. LST EN 12811-2 Laikinoji statybos darbų įranga. 2 dalis. Informacija apie medžiagas.
6. LST EN 12811-3 Laikinoji statybos darbų įranga. 3 dalis. Bandymas apkrova.
7. Gian PaoloCimellaro, MarcoDomaneschi. Stability analysis of different types of steel scaffolds. *Engineering Structures Volume 152*, 1 December 2017, Pages 535-548
- 8.Tayakorn Chandrangsu, Kim.J. R. Rasmussen. Investigation of geometric imperfections and joint stiffness of support scaffold systems. *Journal of constructional Steel research*. 2011 576-584.
9. James Reynolds, Hao Zhang, Kim J.R. Rasmussen. Investigation of U-head rotational stiffness in formwork supporting scaffold systems. *Engineering structures* 136 (2017) 1-11
10. Zhang H. Candrangsu T. Rassmusen K.J. R.Probabilistic study of the strength of steel scaffold systems. *Struct saf* 2010. 393-401.
11. Zhang H. Rassmusen K.J. System – based design for steel scaffold structures using advanced analysis. *Journal of Construction Steel Ressearch*. 2013. 89. 1-8.
12. Jui – Lin Peng, Chung – Ming Ho, Siu – Lai Chan, Wai – Fah Chen. Stability study on structural systems assembled by system scaffolds. *Journal of constructional Steel research*. 2017, 137. 135-151.
13. Jui – Lin Peng, Chung – Ming Ho. Y. B. Yang, Wai – Fah Chen. Experimental study on load capacities of isolated heavy – duty scaffolds used in construction. *Journal Advanced Steel construction*. 2014. 248-243.
14. Jui – Lin Peng, Siu – Lai Chan, Kuan – Hung Chen, Wei Tong Chen. Experimental and numerical studies of practical system scaffolds. *Journal of Constructional Steel research*. 2009 422-435.
15. Tayakorn Candrangsu, Kim J.R. Rassmusen. Strucural modelling of support scaffold systems. *Journal Construction Steel Ressearch*. 2011. Volume 67. 866-875 .
16. Jui – Lin Peng, Kuan – Hung Chen, Siu – Lai Chan, Wei Tong Chen .Experimental and analytical studies on steel scaffolds under eccentric loads. *Journal of Construction Steel Ressearch*. 2011. 412-425.

17. Jui – Lin Peng, Siu – Lai Chan, C.L. Wu. Effects of geometrical shape and incremental loads on scaffold systems. *Journal of Construction Steel Research*. 2007.63; 448-459.
18. Michal Pienko, Ewa Blazik – Borowa. Numerical analysis of load – bearing capacity of modular scaffolding nodes. 2013, 40,20-618 Lublin, Poland.
19. J. L. Pent, A.D.E. Pan, W. F. Chen, T. Yen, ir S. L. Chan. Structural modeling and analysis of modular falsework systems. 2011, 123(9):1245-1251.
20. Parsons, W. (2001). *Viešoji politika* // Eugrimas, Vilnius.
21. Šarkutė, L. (2009). *Sprendimų priėmimo samprata ir tyrimų tradicijos* // Sociologija. Mintis ir veiksmas p.105-119.
22. 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-2019].
23. R. Rasiulis, „Statinio informacinio modeliavimo technologijomis grįstas modelis administracinių pastatų atnaujinimui vertinti: daktaro disertacija“, VGTU, 2017.
24. Ustinovicius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas [Assessment of investment profitability in construction from technological perspectives]*. Vilnius: Technika. 220 p. ISBN 9986-05-806-6.
25. Ginevicius, R.; Podvezko, V. 2009. Evaluating the changes in economic and social development of Lithuanian counties by multiple criteria methods, *Technological and economic development of economy* 15(3): 418–436.
26. Triantaphyllou E., Shu B., Nieto Sanchez S., Ray T. (1998). *Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach* // *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, New York, NY, Vol. 15, pp. 175-186.
27. Triantaphyllou, E. 2000: *Multi-criteria decision making methods a comparative study*. Boston: Kluwer Academic Publishers. 320 p
28. Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2000: *Statistika ir jos taikymai I*. Vilnius: TEV.
29. Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2007: Some problems of evaluating multicriteria decision methods, *International Journal of Management and Decision Making*, 8(5/6): p. 527-539.
30. Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology* 15(3): 234–281.
31. Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. M.Graw-Hill, New York.
32. Rūta Simanavičienė, Jovita Cibulskaitė. SPRENDIMO, GAUTO TOPSIS METODU, PATIKIMUMO STATISTINĖ ANALIZĖ. *Lithuanian Journal of Statistics Lietuvos statistikos darbai* 2015, vol. 54, No 1, pp. 110–118

33. Simanavičienė, R. Kiekybinių daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2011. ISBN 978-609-457-055.
34. Cibulskaitė J. 2015. Sprendimo gauto TOPSIS metodu patikimumo statistinis tyrimas, Bakalauro darbas.
35. Hwang, C.L.; Yoon, K. 1981: Multiple attribute decision making – methods and applications. A State of the Art Survey. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
36. Podvezko V. 2006. Neapibrėžtumo įtaka daugiakriteriniams vertinimams, Verslas: Teorija ir praktika (Business: Theory and practice), 7(2), p. 81-88.

## **PRIEDAI**



## ATRAMINIŲ PASTOLIŲ SISTEMŲ ATSPARUMAS

Jankevičius M., Vaičiulis D.

Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Raktiniai žodžiai:** atraminiai pastoliai, „Layher“ TG 60, 3D modeliavimas.

### 1. Įvadas

Pastoliai (1 pav.) yra laikinos konstrukcijos dažnai naudojamos statyboje siekiant paremti konstrukcijas ir išlaikyti įvairias apkrovas. Vertikalias apkrovas ant pastolių gali sudaryti: darbininkai, įranga, klojiniai ir statybinės medžiagos. Dažniausiai pastoliams tenka atlaikyti ir horizontalias apkrovas: vėjo apkrovą, smūgines apkrovas bei žemės drebėjimą.

Pastolių montavimą, naudojimą ir skaičiavimus reglamentuoja europinis standartas LST EN 12811-1 „Laikinoji statybos darbų įranga. 1 dalis. Pastoliai. Techniniai reikalavimai ir bendrasis projektavimas“ [1], LST EN 12811-2 Laikinoji statybos darbų įranga. 2 dalis [2], LST EN 12811-3 Laikinoji statybos darbų įranga. 3 dalis. Bandymas apkrova [3].

Pagal paskirtį pastoliai skirstomi į fasadinius ir laikančiuosius (atraminius) [4]. Laikantieji pastoliai, dar vadinami pastoliais klojiniais, priskiriami sunkioms apkrovoms, pavyzdžiui, betono pylimas į klojinius. Laikantieji pastoliai paprastai statomi iš vertikalių elementų – rėmų, horizontalių elementų – rygelių, bei įstrižainių. Stiebai vienas



1 pav. Tilto betonavimo darbuose naudojama atraminių pastolių sistema

su kitu vertikaliai sujungiami kaiščiais. Rygelių prijungimui prie stiebų naudojami pleištai, kurie nereikalauja virinimo ar papildomo priveržimo. Siekiant greitesnio pastolių surinkimo įstrižainės dažniausiai prijungiamos kabliukais arba jau minėtais pleištais. Pastolių pagrindą sudaro padai, kurių aukštis (iki 600 mm) reguliuojamas sriegiu. Tuo tarpu pastolių viršų sudaro U formos „galvos“, kurios taip pat reguliuojamos sriegiu. Ant „galvų“ remiamos medinės sijos leidžiančios pasiekti vienodą aukštį klojiniams [5, 6].

Naudojant 3D modeliavimo programas galima geriau suprasti pastolių „elgseną“ veikiant apkrovoms. Plieninių rėmų sistemų analizė naudojama siekiant nustatyti pirmąjį narį kuris praranda stabilumą (suklumpa), bei pradinę gniuždomą rėmų sistemos dalį.

**Darbo tikslas:** ištirti apkrovas laikančiųjų pastolių atraminę konstrukciją greitojo geležinkelio gelžbetoninio (g/b) tilto statyboje. Nustatyti mažiausią reikiamą pastolių detalių kiekį (kad būtų galima sumažinti montavimo, demontavimo ir medžiagų transportavimo kaštus) bei atramų į pagrindą kiekį (kad būtų galima sumažinti užstatymo plotą).

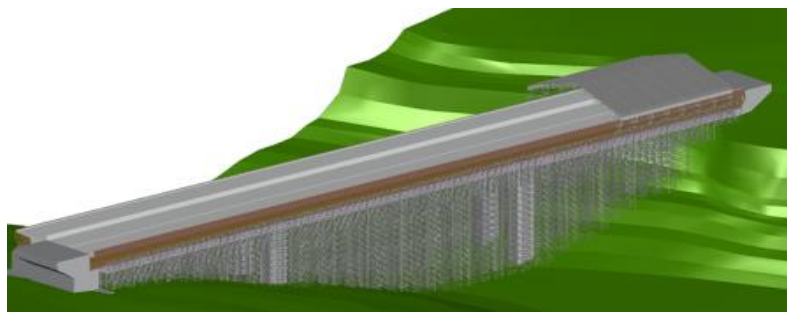
### 2. Apkrovas laikantys pastoliai „Layher“ TG 60

Skaičiavimams pasirinkti duomenys iš greitojo geležinkelio tilto Suomijoje statybos (2 pav.). Tyrimui pasirinkti „Layher“ TG 60 moduliniai apkrovas laikantys pastoliai. Pagrindinės sistemos dalys: rėmai, skersiniai ir įstrižainės (3, 4 pav.).

TG 60 rėmai būna trijų dydžių: 1,00×1,09 m, 0,50×1,09 m ir 0,71×1,09 m. Pagrindo rėmas (4a pav.), kurio aukštis  $H = 0,71$  m, turi „Allround“ rozetę viršuje ir apačioje, tačiau neturi kaiščio (4d pav.).

Moduliniai pastoliai TG 60, kurių aukštis  $H = 1,00$  m ir  $H = 0,50$  m, turi integruotus kaiščius apačioje ir „Allround“ rozetes tik standartinių elementų viršuje (4b, 4c pav.).

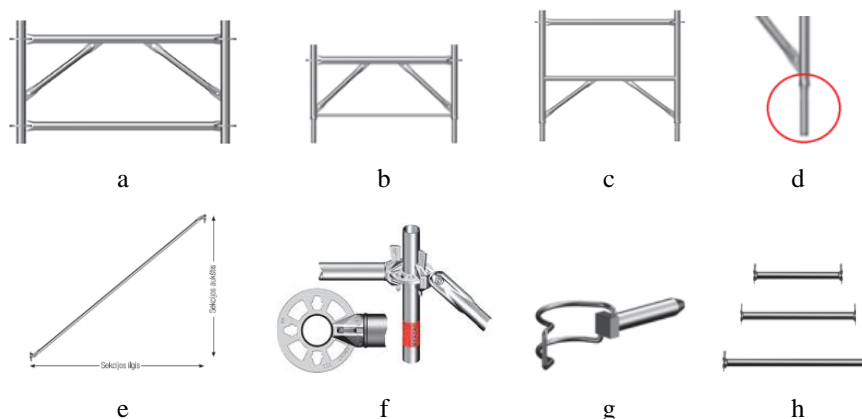
Moduliniai pastoliai TG 60 yra pagaminti iš S460 plieno vamzdžių, kurių skersmuo 48,3 mm. Pastoliai sustiprinti 2 mažomis įstrižainėmis iš S460 plieno vamzdžių, kurių skersmuo 38,5 mm. Kiekvieno vertikalaus pagrindo keliamoji galia gali siekti iki 6 tonų. Skersinių ir įstrižainių galai yra plokšti, todėl „Allround“ rozetės gali būti jungiamos į kiekvieną žiedo skylę (5 pav.). Šiuos pastolius galima montuoti ant žemės dalimis, kiekvieną rėmą sujungiant kaiščiais (žr. 4g pav.). Sumontavus visą konstrukciją kranu pagalba galima perkelti į darbo vietą. Moduliniai pastoliai TG 60 yra simetriški. Dėl šios priežasties, nereikia jaudintis dėl įstrižainių montavimo krypties [7].



2 pav. Projektuojamo tilto erdvinis vaizdas



3 pav. „Layher“ TG 60 pastoliai



4 pav. „Layher“ moduliųjų pastolių TG 60 dalys: a – pagrindo rėmas; b –  $H = 0,50$  m rėmas; c –  $H = 1,00$  m rėmas; d – rėmo kaištis; e – įstrižainė; f – „Allround“ rozetė; g – sujungimo kaištis; h – skersiniai



5 pav. Skersinių ir įstrižainių jungimas su „Allround“ rozete

Iš statomo tilto projekto techninės dokumentacijos turime g/b konstrukcijos skerspjūvį ir svorį. To pakanka norint sudaryti atraminių pastolių 3D modelį. Šiuo atveju g/b konstrukcijos ilgis 1,08 m, plotis 12 m, svoris 52,97 t. Pagal vietovės reljefą didžiausias aukštį nuo g/b konstrukcijos apačios iki atraminio paviršiaus yra 13 m.

### 3. Kintamos pastolių apkrovos

Projekte apkrovos ir patikimumo koeficientai priimti atsižvelgiant į LST EN 12812:2008 „Laikantieji pastoliai. Eksploatacinių charakteristikų reikalavimai ir bendrasis projektavimas“ [5, 6] reikalavimus, toliau šiame punkte nurodytos projekte priimtos apkrovų, poveikių ir patikimumo koeficientų vertės.

Ataskaitini vėjo greitis:

$$v_{REF} = C_{DIR} C_{ALTY} C_{TEM} v_{REF,0} = 1 \cdot 1 \cdot 0,806 \cdot 24 = 19,34 \text{ m/s.}$$

Vėjo apkrova:

$$q_{ref} = \frac{\rho v_{REF}^2}{2} = \frac{1,25 \cdot 19,34^2}{2} = 0,234 \text{ kN/m}^2.$$

Šoninė vėjo apkrova (TG 60 rėmo šoninis plotas  $A_{bok} = 0,24 \text{ m}^2$ ):

$$F = q_{ref} \cdot A_{bok} = 0,234 \cdot 0,24 = 0,059 \text{ kN/m.}$$

Vėjo apkrovos patikimumo koeficientai pagal LST EN 12812:2008:

$$\gamma_0 = 1,5 \quad \text{ir} \quad \gamma_{inf} = 0.$$

### 4. Laikančiųjų pastolių modeliavimas

3D modelis sudaromas naudojant LayPLAN programinį paketą, skirtą AutoCAD. Šis paketas pritaikytas „Layher“ pastolių TG 60 elementams projektuoti. Atsparumo skaičiavimai atlikti „Dlubal Rstab“ programa. Šioje programoje skaičiavimai vykdomi dvimatėje erdvėje.

Pradžioje skaičiuojama pastolių konstrukcija, kuri sudaryta pagal gamintojo pateiktą modeliavimo instrukciją (6 pav.). Atlikus šios konstrukcijos statinius atsparumo skaičiavimus gautos reakcijos (jėgos veikiančios pagrindą) ir kiti skaičiavimų duomenys pateikti 1 lentelėje.

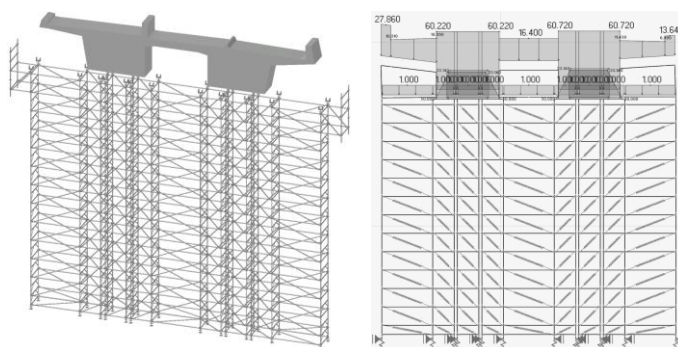
Raudonu stačiakampiu pažymėtą atramą (žr. 7 pav.) veikia 68,4 kN svoris, tai didžiausia apkrova, o žydru stačiakampiu pažymėtą atramą veikia 42,3 kN svoris, tai mažiausia apkrova. Labiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai tesudaro 37 % takumo ribos įtempį, todėl tokia pastolių konstrukcija yra neracionali. Taigi, pastolių konstrukcijoje, kurią siūlo gamintojai, labiausiai apkrauto elemento atsparumo atsarga iki plastinio deformavimo pradžios yra apie 2,7 (1/0,37) karto.

Kad labiau „išnaudoti“ pastolių elementus mažiname elementų skaičių pastolių sistemoje – išimama 10 % mažiausiai apkrautų konstrukcijos elementų. Sudaromas naujas 3D skaičiavimo modelis (8 pav.).

Patobulinto modelio (2-as variantas) skaičiavimo rezultatai taip pat pateikiami 1 lent. Labiausiai apkrauta atrama gauta toje pačioje vietoje kaip ir 1-ojo varianto atveju: 9 pav. raudonu stačiakampiu pažymėta atrama, ją veikia 66,95 kN svoris. Mažiausiai apkrauta atrama gauta išorėje (9 pav. žydru stačiakampiu pažymėta atrama), ją veikia 35,85 kN svoris. Labiausiai apkrauto pastolių elemento įtempiai sudaro 54 % takumo ribos įtempį.

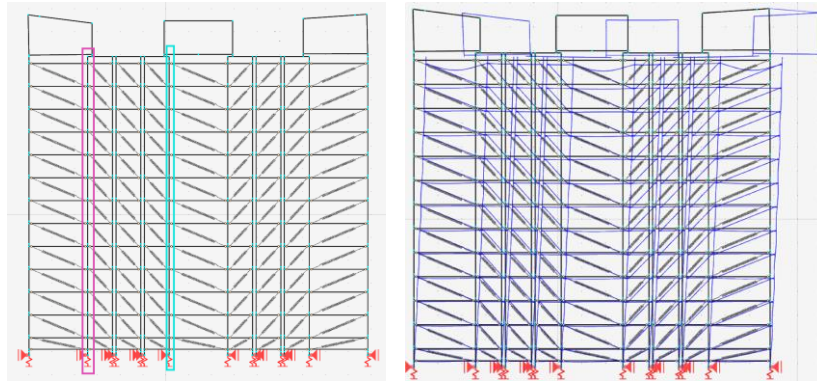
2-ąjį variantą taip pat galima „patobulinti“. Todėl iš paskutinės pastolių konstrukcijos išimama 15 % mažiausiai apkrautų konstrukcijos elementų. Sudarytas naujas 3D modelis šio modelio skaičiuojamoji schema ir deformuota pastolių konstrukcija pateikta 10 ir 11 pav.

11 pav. raudonu stačiakampiu pažymėta labiausiai apkrauta atrama (102,1 kN), o žydru – mažiausiai apkrauta atrama (37,57 kN). Šioje pastolių konstrukcijoje labiausiai apkrauto elemento įtempiai sudaro 93 % takumo ribos įtempį. Bandant toliau mažinant elementų kiekį pastolių konstrukcija praranda stabilumą.

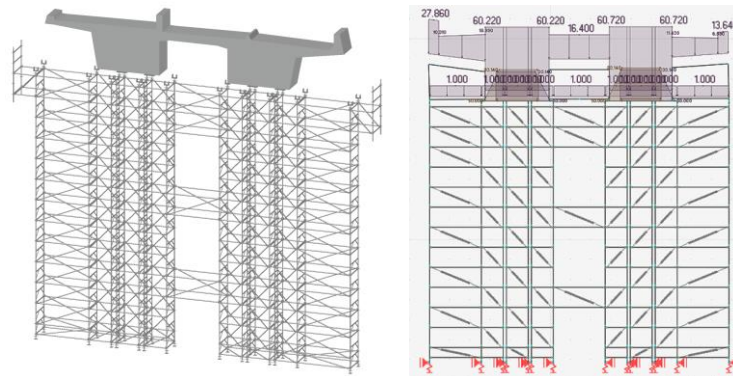


6 pav. Tiltu su laikiniais pastoliais skerspjūvio 3D modelis ir skerspjūvio modelio skaičiuojamoji schema (1-as variantas)

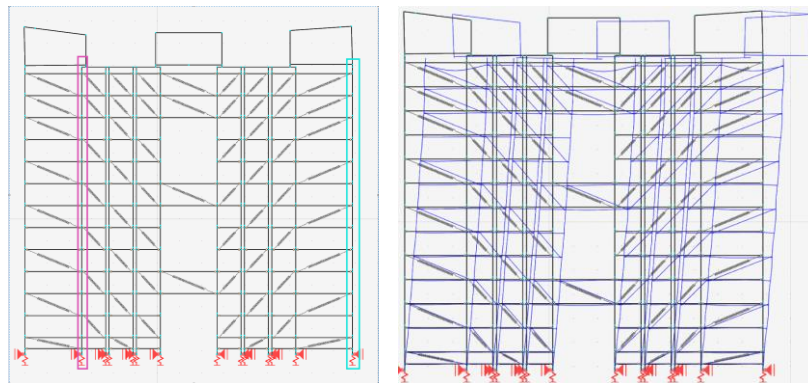




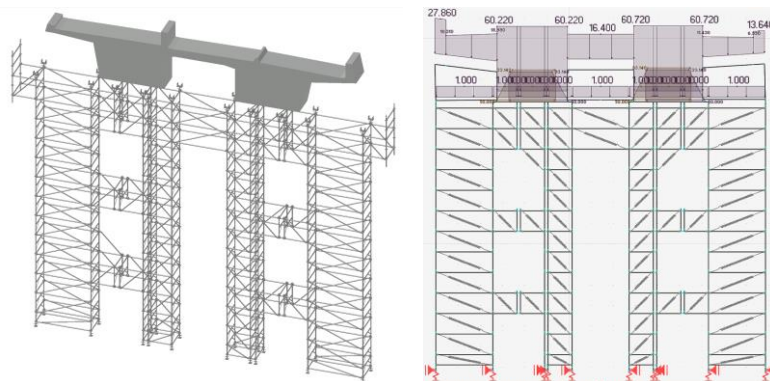
7 pav. Tilto skerspjūvio su pastoliais modelis ir jo deformavimosi pobūdis veikiant išorės apkrovoms (1-as variantas)



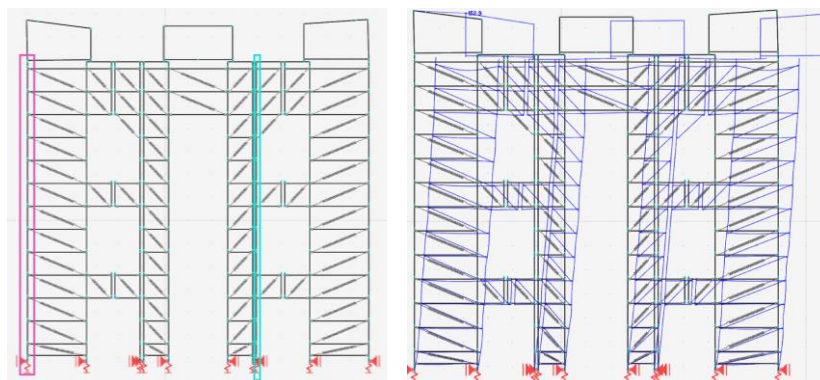
8 pav. Patobulintas tilto su laikančiais pastoliais skerspjūvio 3D modelis ir skerspjūvio modelio skaičiuojamoji schema (2-as variantas)



9 pav. 2-ojo varianto pastolių skerspjūvio modelis ir jo deformavimosi pobūdis veikiant išorės apkrovoms



10 pav. Antrą kartą patobulintas tilto su laikančiais pastoliais skerspjūvio 3D modelis ir skerspjūvio modelio skaičiuojamoji schema (3-as variantas)



11 pav. 3-ojo varianto pastolių skerspjūvio modelis ir jo deformavimosi pobūdis veikiant išorės apkrovoms

## 5. Tyrimų rezultatų suvestinė

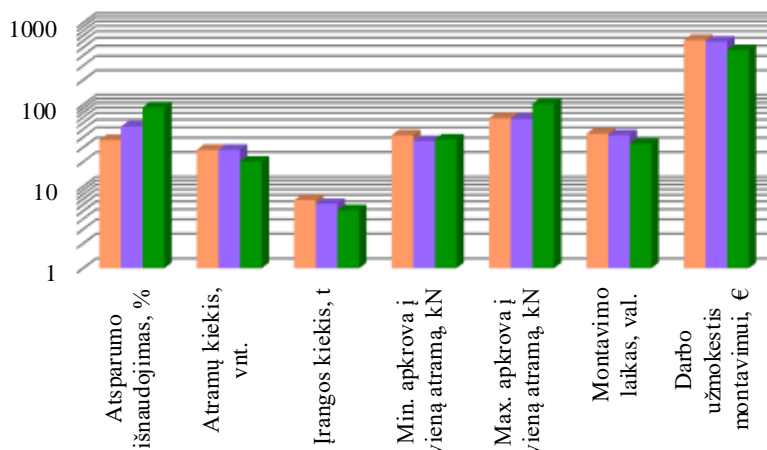
Šiame darbe darbo užmokestis priimamas pagal Lietuvoje dominuojančių įmonių, atliekančių pastolių montavimo darbus, mokėjimo vidurkį: 1 h/14 € žmogui (tiek kainuoja išsinuomoti profesionalų montuotoją). Į kainą įskaičiuojami visi papildomi darbai susiję su pastolių montavimu: pakrovimas, iškrovimas, atnešimas, pakėlimas.

Montavimo laikas imamas iš Lietuvoje dominuojančių įmonių, atliekančių pastolių montavimo darbus, praktikos. Profesionalus montuotojas per 6,5 val. sumontuoja 1 t šio tipo pastolių elementų.

1 lentelė

Modulinių pastolių TG 60 skaičiavimų duomenys

Ypatybė	Pastolių konstrukcijos variantas		
	1-as	2-as	3-as
Atsparumo išnaudojimas, %	37	54	93
Atramų kiekis, vnt.	28	28	20
Įrangos kiekis, t	6,8	6,1	5,1
Min. apkrova į vieną atramą, kN	42,3	35,85	37,57
Max. apkrova į vieną atramą, kN	68,1	66,95	102,1
Montavimo laikas, val.	44,2	42,25	33,15
Darbo užmokestis montavimui (1 h/14 €), €	618,8	591,5	464,1
Atsparumo išnaudojimu laikomas labiausiai apkrauto pastolių elemento įtempių santykis su takumo ribos įtempiu, išreikštas procentais.			



12 pav. Modulinių pastolių TG 60 skaičiavimų duomenys: ■ – pastolių konstrukcijos 1-as variantas; ■ – pastolių konstrukcijos 2-as variantas; ■ – pastolių konstrukcijos 3-as variantas

Apibendrinti skaičiavimų duomenys pateikiami 1 lent. ir 12 pav. Sumažinus 25 % pastolius sudarančių elementų kiekį (atramų ir strypų skaičių) montavimo laikas ir darbo užmokestis sumažėja apie 25 %. T. y. kiek kartų sumažinsime pastolius sudarančių elementų kiekį, maždaug tiek kartų sumažėja montavimo laikas ir darbo užmokestis.

## 6. Išvados

„Layher“ pastolių TG 60 konstrukcijoje, kurią siūlo gamintojai, labiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo yra apie 2,7 (1/0,37) karto. Pakeitus pastolių konstrukciją (išėmus mažiausiai apkrautus elementus) galima pasiekti, kad labiausiai apkrauto elemento atsarga iki plastinio deformavimo būtų artima vienetui.

Kiek kartų sumažinsime „Layher“ pastolius TG 60 sudarančių elementų kiekį, maždaug tiek kartų sumažės pastolių montavimo laikas ir darbo užmokestis.

## Literatūra

1. LST EN 12811-1. Laikinoji statybos darbų įranga. 1 dalis. Pastoliai. Techniniai reikalavimai ir bendrasis projektavimas.

LST EN 12811-2. Laikinoji statybos darbų įranga. 2 dalis. Informacija apie medžiagas

LST EN 12811-3. Laikinoji statybos darbų įranga. 3 dalis. Bandymas apkrova.

„Layher“ atraminiai pastoliai TG 60. Prieiga per internetą: < <https://layher-baltic.eu/pastoliai/atraminiai-pastoliai-tg-60/> > [žiūrėta 2019-04-18].

LST EN 12812:2008. Laikantieji pastoliai. Eksploatacinių charakteristikų reikalavimai ir bendrasis projektavimas.

LST EN 39. Plieniniai vamzdžiai pastoliams ir konstrukcijoms. Techninės tiekimo sąlygos.

LR valstybinė darbo inspekcija „Pastolių surinkimo ir naudojimo vadovas“. – Vilnius: „Sapnų sala“, 2014. Prieiga per internetą: < <https://www.vdi.lt/AtmUploads/PastoliuSurinkimoIrNaudojimoVadovas.pdf> > [žiūrėta 2019-10-20].