



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Gediminas Sinica

**SAVAEIGĖS TECHNIKOS TRANSPORTAVIMUI  
SKIRTOS PUSPRIEKABĖS RĖMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Rolandas Makaras

Kaunas, 2016

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

# **SAVAEIGĖS TECHNIKOS TRANSPORTAVIMUI SKIRTOS PUSPRIEKABĖS RĖMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Transporto priemonių inžinerija (621E20001)**

**Vadovas**

Doc. dr. Rolandas Makaras  
2016.05.18

**Recenzentas**

Doc. dr. Vidmantas Nenorta  
2016.05.18

**Projektą atliko**

Gediminas Sinica  
2016.05.18

**KAUNAS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Gediminas Sinica

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Savaeigės technikos transportavimui skirtos puspriekabės rėmo tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. gegužės 18 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Gedimino Sinicos**, baigiamasis projektas tema „Savaeigės technikos transportavimui skirtos puspriekabės rėmo tyrimas“ 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

## MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

### TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

Katedros vedėjas:

Prof. Artūras KeršysKeršys

2015 m. rugsėjo mėn. 8 d.

### MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Gediminui Sinicai*

1. Projekto tema: „Savaeigės technikos transportavimui skirtos puspriekabės rėmo tyrimas“, „Investigation of Semi-trailer Frame Design for Transportation of Heavy Equipment“  
Patvirtinta: 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7
2. Projekto tikslas: Atlikti savaeigės technikos krovimo metu priekabos rėmo sugadinimo analizę, bei pateikti rekomendacijas puspriekabės rėmo stiprinimui.
3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:
  - Išanalizuoti puspriekabės labiausiai tinkamas savaeigės technikos gabenimui, bei ištirti specialiuosius mechanizmus, padedančius savaeigės technikos transportavimui.
  - Sudaryti puspriekabės skaitinį modelį.
  - Nustatyti leistiną technikos krovimo greitį naudojantis solidworks simuliacija.
  - Nustatyti puspriekabės leistiną važiavimo greitį posūkyje.
  - Pateikti rekomendacijas savaeigės technikos krovimui, bei transportavimui.
4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)<sup>1</sup>:
5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 5 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 18 d.

Vadovas: Rolandas Makaras \_\_\_\_\_

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau: Gediminas Sinica \_\_\_\_\_

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

<sup>1</sup> Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Sinica, Gediminas. Savaeigės technikos transportavimui skirtos puspriekabės rėmo tyrimas.

Magistro baigiamasis projektas, vadovas doc. dr. Rolandas Makaras;

Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T)

Reikšminiai žodžiai: savaeigė, puspriekabė, kroviny, rėmas, konstrukcija, mechanizmai, greitis.

Kaunas, 2016. 50 p

## SANTRAUKA

Šiame darbe atliktas puspriekabės, skirtos transportuoti vidutinio dydžio gabaritų (9,0 x 2,5 x 3,0/ 24 t) savaeigę techniką, rėmo tyrimas.

Tyrimui pasirinkta „jumbo“ tipo puspriekabė su tentu. Tokio tipo puspriekabė pasirinkta dėl jos konstrukcijos, bei savaeigės technikos krovimo patogumo.

Pagrindinis darbo uždavinys: ištirti pagrindinius mechanizmus lengvinančius savaeigės technikos gabenimą, bei ištirti puspriekabės rėmo atsparumą technikos krovimo metu.

Darbo eigoje buvo ištirti ir aprašyti mechanizmai palengvinantys savaeigės technikos gabenimą kelių transportu. Taip pat ištirtas rėmo atsparumas kraunant vikšrinę techniką.

Ištyrus remą nustatyta, kad pakrovimas yra saugus, kai vikšrinės technikos važiavimo greitis yra ne didesnis kaip 1,3 m/s (4,68 km/h), tačiau patartina važiuoti ne didesniu kaip 3 km/h greičiu.

Norint reguliariai vežioti tokio tipo techniką, patartina sustiprinti puspriekabės rėmą. Sustiprinus rėmą saugus ekskavatoriaus užvažiavimo greitis – 1,5 m/s (5,4 km/h), tačiau rekomenduotinas greitis būtų nedidesnis kaip 4 km/h.

Taip pat darbe apskaičiuotas kritinis puspriekabės vartimo greitis posūkyje priklausomai nuo posūkio spindulio.

Šiame darbe naudoto modelio tipas gali būti naudojamas ekspertiziniuose skaičiavimuose. Tiriant sugadintas puspriekabes, aiškinantis rėmo lūžimo priežastis, bei ieškant sprendimų, kaip to išvengti.

Sinica, Gediminas. "INVESTIGATION OF SEMI-TRAILER FRAME DESIGNED FOR TRANSPORTATION OF HEAVY EQUIPMENT HAUL"

Master's thesis in supervisor assoc. prof. Rolandas Makaras.

The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: Heavy equipment, track-laying technique, semi-trailer, load, frame, construction, mechanisms, speed.

Kaunas, 2016. 50 p.

## SUMMARY

In this project was done investigation of semi-trailer frame which is ment to transport medium size (9,0 x 2,5 x 3,0/ 24 t) heavy equipment.

For investigation was choosen „jumbo“ type semi-trailer with tent. This particular trailer was choosen because of it construction, and possibility to load heavy equipment.

Main task was investigate main mechanisms, which allows to carry heavy equipment, and investigate frame strenght while loading.

During work was investigated and described main mechanisms, which allows to carry heavy equipment by road transport. Also was examined frame strenght while loading track-laying technique.

After frame investigation was found, that safe track-laying technique speed is not more than 1,3 m/s (4,68 km/h), but recommended speed is not more than 3 km/h.

For regular heavy equipment transporting advisable to strengthen up the frame. After strengthen safe track-laying technique speed is not more than 1,5 m/s (5,4 km/h), but recommended speed is not more than 4 km/h.

Also in this work was estimated critical semi-trailer with load speed in corners, which depends of circul radius.

Semi-trailer model like this, can be used in expertise investigations. For exploring damaged semi-trailers, to find out frame problems, and main reasons, why frame was damaged. Also to found a solution, how to avoid this kind of accidents.

## Turinys

ĮVADAS .....	10
1. LITERTŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ .....	11
1.1 Pagrindiniai puspriekabių tipai, skirti transportuoti savaeigę techniką .....	11
1.2 Puspriekabės rėmo konstrukcijos analizė .....	14
1.3 Rėmų skaičiavimo metodika .....	15
1.3.1. Rėmų skaičiavimas lenkimui .....	17
1.3.2. Rėmų skaičiavimas sukimui (suprastinta schema) .....	17
1.4 Standumo kojos .....	20
1.5 Užvažiavimo rampos .....	22
2. TIRIAMOS PUSPRIEKABĖS KONSTRUKCIJA .....	26
2.1 Puspriekabės tipas .....	26
2.1.1 Puspriekabės rėmo konstrukcija .....	26
2.2 Puspriekabės pagrindiniai mechanizmai .....	27
2.2.1 Pneumatinė stabdžių ir pakabos sistema.....	27
2.2.2 Prikabinimo mechanizmas.....	29
2.2.3 Puspriekabės parkavimo mechanizmas .....	29
2.2.4 Slankiojančio tento mechanizmas .....	30
2.3 Puspriekabės specialieji mechanizmai.....	31
2.3.1 Puspriekabės praplatinimo mechanizmas .....	31
2.3.2 Grindų išpjovos mechanizmas.....	32
2.3.3 Kilnojamos rampos.....	32
2.3.4 Standumo kojos .....	33
2.4 Puspriekabės konstrukcijos trūkumai .....	33
3. PUSPRIEKABĖS RĖMO TYRIMO METODIKA .....	35
3.1 Puspriekabės rėmo modeliavimas .....	35
3.2 Ekskavatorius naudojamas puspriekabės rėmo tyrime .....	35
3.3 Tyrimų rezultatai .....	36
3.3.1 Ekskavatoriaus greitis – 1 m/s .....	36
3.3.2 Ekskavatoriaus greitis – 1,2 m/s .....	37
3.3.3 Ekskavatoriaus greitis – 1,3 m/s .....	38
3.3.4 Ekskavatoriaus greitis – 1,4 m/s .....	38
3.3.5 Ekskavatoriaus greitis – 1,5 m/s .....	39
3.3.6 Rėmo teorinių deformacijų palyginimas su realiomis .....	40

3.4 Rėmo stiprinimas .....	41
3.5 Išvados ir rekomendacijos .....	42
4. KRITINIŲ GREIČIŲ POSŪKYJE SKAIČIAVIMAS .....	43
5. APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS .....	46
5.1 Darbo apibendrinimas .....	46
5.2 Rekomendacijos .....	47
6. IŠVADOS.....	48
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS .....	49



**Naudojamos sąvokos:**

- 1) Vilkikas – sunkiasvorė transporto priemonė, kuriai tenka dalis krovinio masės.
- 2) Priekaba – transporto priemonė, skirta tempti kita transporto priemone.
- 3) Puspriekabė – priekaba, kurios dalis svorio tenka vilkikiui.
- 4) Rėmas – priekabos (puspriekabės) darbinė dalis, ant ko kraunamas krovinys.
- 5) Pirštas – mechanizmas sujungiantis vilkiką su puspriekabe.
- 6) Savaeigė technika – ratinė bei vikšrinė technika, kuri gali būti kraunama sava eiga, be papildomos technikos.
- 7) Tentinė puspriekabė – puspriekabė, kuri turi galimybę atidaryti galą, šonus bei viršų pakrovimui, bei vežti uždengtus krovinius.
- 8) Platforminė puspriekabė – atvira puspriekabė be tento, galinti vežti didesnius nei leistina krovinio matmenis.
- 9) Rampos – puspriekabės mechanizmas, skirtas užvažiuoti savaeigiai technikai.
- 10) Pagalvės – pakabos tamprieji elementai.

## **IVADAS**

Lietuvoje yra transportuojami įvairiausio tipo kroviniai. Tarp jų – savaeigė technika.

Savaeigė technika gali būti ratiniai traktoriai, arba mažų, bei didelių gabaritų vikšriniai ekskavatoriai.

Atsižvelgiant į gabaritus, savaeigė technika gali būti transportuojama atviromis platformomis, arba tentinėmis puspriekabėmis.

Įmonei norint būti kiek įmanoma konkurencingai pervežimų versle, reikia turėti ne tik specializuotas puspriekabes, bet taip pat būti labai lankstiems, bei turėti įvairiausio tipo puspriekabių, galinčių vežti kuo įvairesnį krovinių asortimentą. Dėl šios priežasties puspriekabės, taupant vietą bei palengvinant pakrovimo procesą specialiaisiais mechanizmais, pritaikomos vežti mažų gabaritų savaeigę techniką.

Šiame darbe bus aprašomi „jumbo“ tipo tentinės puspriekabės specialieji įrengimai, palengvinantys savaeigės technikos pakrovimo procesą. Taip pat tiriamas puspriekabės rėmas, gabenant savaeigę techniką. Remiantis šiuo darbu, bus pateiktos rekomendacijos saugiam krovinio pakrovimui bei transportavimui užtikrinti.

Darbas atliktas remiantis realiu puspriekabės sugadinimo įvykiu. Solidworks simuliacijos rezultatai sulyginami su realiomis puspriekabės deformacijomis.

### **Darbo tikslas:**

Atlikti savaeigės technikos krovimo metu priekabos rėmo sugadinimo analizę, bei pateikti rekomendacijas puspriekabės rėmo stiprinimui.

### **Darbo uždaviniai:**

- Išanalizuoti puspriekabes labiausiai tinkamas savaeigės technikos gabenimui, bei ištirti specialiuosius mechanizmus, padedančius savaeigės technikos transportavimui.
- Sudaryti puspriekabės skaitinį modelį.
- Nustatyti leistiną technikos krovimo greitį naudojantis solidworks simuliacija.
- Nustatyti puspriekabės leistiną važiavimo greitį posūkyje.
- Pateikti rekomendacijas savaeigės technikos krovimui, bei transportavimui.

# 1. LITERTŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

## 1.1 Pagrindiniai puspriekabių tipai, skirti transportuoti savaeigę techniką

Puspriekabės skirtos transportuoti savaeigę techniką skirstomos į 2 pagrindinius tipus: tentinės ir platforminės. Šios dar skirstomos į 6 modelius, pagal atskiras modifikacijas, kurios turi tam tikrą paskirtį:

- Tentinė puspriekabė

Tentinė puspriekabė (1.1 pav.), galinti vežti mažų gabaritų savaeigę techniką. Tokio tipo puspriekabės pakrovimui yra būtinos stacionarios rampos pakrovimo vietoje. Maksimalūs tokios puspriekabės vidiniai matmenys (L x W x H): 13,6 x 2,48 x 2,7 m, 24 t.



1.1 pav. Tentinė puspriekabė [1]

- „Jumbo“ tipo puspriekabė

„Jumbo“ tipo puspriekabė (1.2 pav.), galinti vežti vidutinių gabaritų savaeigę techniką. Tokio tipo puspriekabės pakrovimui gali būti naudojamos stacionarios rampos pakrovimo vietoje, arba, priklausomai nuo komplektacijos – nešiojamos rampos. Maksimalūs tokios puspriekabės vidiniai matmenys (L x W x H), L – ilgis, W – plotis, H - aukštis: 9 x 2,48 x 3,1 m, 24 t.



1.2 pav. „Jumbo“ tipo puspriekabė

- Lengvųjų automobilių vežimo puspriekabė

Lengvųjų automobilių vežimo puspriekabė (1.3 pav.), galinti vežti lengvuosius automobilius. Tokio tipo puspriekabės pakrovimo platformos nusileidžia ant žemės, automobiliai užvažiuoja nenaudodami papildomų rampų.



1.3 pav. Lengvųjų automobilių vežimo puspriekabė [2]

- Puspriekabė „Multimax“

Puspriekabė (1.4 pav.) galinti turėti nuo dviejų iki dešimties ašių, kurią galima išilginti iki 48 m. Ši puspriekabė skirta vežti didelei savaeigiai technikai (traktoriams, ekskavatoriams ir t.t.). Pakrovimui naudojamos stacionariai įmontuotos rampos.



1.4 pav. Puspriekabė Multimax [3]

- Puspriekabė „Euromax“

Puspriekabė (1.5 pav.) galinti turėti nuo dviejų iki keturių ašių, turinti galimybę išsiilginti, yra itin lengvos konstrukcijos. Ši puspriekabė skirta vežti savaeigę techniką (turi specialius išgilinimus ratams). Puspriekabė skirta vežti iki 32 t. masę, o esant maksimaliai komplektacijai (dvigubintų varančiųjų ašių vilkikas, bei 4 ašių puspriekabė) gali vežti iki 48 t. krovinį.



1.5 pav. Puspriekabė Euromax [3]

- Priekaba Modulmax

Modulinė priekaba (1.6 pav.) turi galimybę susijungti su atskirais agregatais sudarytais iš dviejų arba šešių ašių modulių. Todėl ši priekaba gali vežti 100 - 5000 t. masę, priklausomai nuo ašių sujungimo bei išdėstymo ši priekaba gali būti vairuojama ne tik iš vilkiko, bet ir rankiniu būdu.

Tokio tipo priekabos skirtos vežti pačių didžiausių matmenų techniką.



1.6 pav. Priekaba Modulmax [3]

Atviros platformos yra skirtos vežti didesnių matmenų, bei sunkesnę techniką. Tentinės puspriekabės skirtos mažų matmenų lengvajai technikai, tačiau norint vežti mažų matmenų sunkesnę techniką, reikia sustiprinti rėmą.

## 1.2 Puspriekabės rėmo konstrukcijos analizė

Rėmas sudarytas iš metalinių konstrukcijų (1.7 pav.), (išilgai kraštuose stačiakampės sijos, išilgai centre – dvitėjės sijos, skersai – u formos sijos), tarp strypinių elementų dedamos suspausto medžio plokštės grindys, kurios skirtos mažinti puspriekabės masę, bei didinti trintį tarp krovinio ir platformos.



1.7 pav. Puspriekabės rėmas

1.7 pav. yra iš tiriamosios puspriekabės gamybos proceso. Nuotraukoje matyti sijų forma bei išdėstymas, sijų sujungimo būdas, taip pat, konstrukciniai sprendimai.

Šios puspriekabės rėmas pagamintas iš konstrukcinio plieno S355K2G3.

1 lentelė: Plieno S355K2G3 savybės [4]

Medžiaga	Takumo riba, MPa	Tempiamasis stipris, MPa	Tamprumas, %	Smūginis tūsumas (-20°C) J
Plienas S355K2G3	432	528	26	84

Rėmo metalo savybės paimtos iš puspriekabės specifikacijų. [22]

### 1.3 Rėmų skaičiavimo metodika

Norint apskaičiuoti rėmo patikimumą, yra naudojamos tam tikros rėmų skaičiavimo schemas. Tam yra keletas priežasčių:

- Daugumoje publikacijų (Analytical Optimization of Chassis Frame for 40ft Dual-Axle Flatbed Trailer Design [11]; Semi Trailer Main Beam Design[12]; Design of a frame to a semi low-loader [13];Semitrailer chassis design against fatigue on the basis of field test [14]; Methods to Determine Torsional Stiffness in a Semi Trailer Chassis Frame [15]; Strength Analysis of a Semi-Trailer Tractor Frame [16]; Reliability Augmentation of Frames Autotractor Trailers and Semi-Trailers [17]; Calculating Commercial Vehicle Weight Distribution & Payload Made Easy [18]; Strength Verification of Semi-Trailer's Self-Supporting ADR Tank Body [19]; Federal excise taxes calculation [20]; Analysis of Ride Quality of Tractor Semi-Trailers [21].) rėmų skaičiavimo klausimais nepakankamas dėmesys skiriamas apkrovų persiskirstymui. Įvertinant tai, kad kėbulas tvirtinamas prie rėmo tampriomis atramomis, tariama, kad rėmą veikia visos transporto priemonės statinės bei dinaminės apkrovos. Tačiau agregatai, o ypač kėbulas, kabina, nors sujungti su rėmu tampriais ryšiais, perima dalį apkrovų, sudarydami sudėtingą sistemą, kurios skaičiavimo metodika nėra visiškai išnagrinėta. Aptiktose rekomendacijose aptariami specifiniai atvejai - sistemos "rėmas - porėmis", "rėmas - cisterna", "rėmas - hoperis". Tačiau daugeliu atveju apkrovų persiskirstymo tarp rėmo ir agregatų klausimai lieka neapibrėžti;[5]

- Tikslinant apkrovas, susiduriama su apkrovų nesimetriškumo problema. Tik maža agregatų dalis rėme tvirtinama griežtai simetriškai. Asimetrijos problema ypač aktuali transporto priemonėse, skiriamose keleiviams pervežti. Tokiu atveju paprastai apkrovas stengiamasi išskirstyti į dvi sistemas -

simetrinę ir antisimetrinę. Taikant šias sistemas, rėmų skaičiuotė supaprastėja, bet kyla abejonių dėl rezultatų tikslumo. Ypač sudėtinga įvertinti sukimo atvejį, nors kaip tik šiuo atveju atsiradusios apkrovos iššaukia žymias deformacijas; [5]

- Skaičiuojant statiška neišsprendžiamas sistemas įprastiniais metodais (jėgų ir poslinkių), tenka grubiai idealizuoti ir suprastinti struktūrinius elementus. Minėtais skaičiavimo atvejais sujungimų, skylių, suvirinimo siūlių įtaka įvertinama pataisos koeficientais. Kartu tenka įvertinti ir pačių plonasienių profilių, iš kurių paprastai gaminami rėmai, skaičiavimo ypatybes, pirmiausia, deplanacijos reiškinius. Pastaruoju metu šioms problemoms įvertinti vis dažniau naudojami baigtinių elementų metodai (BEM). Reali konstrukcija keičiama struktūriniu modeliu, susidedančiu iš paprasčiausių elementų: strypų, plokštelių, erdvinių elementų ir pan. Žinant atskirų elementų tampriąsias charakteristikas, galima gana tiksliai prognozuoti visos konstrukcijos savybes įvairių tipų apkrovoms. Tačiau šiam būdui reikalinga specializuota programinė įranga ir gana kruopštus bei ilgas paruošiamasis darbas. Šiuo būdu rėmas skaičiuojamas tik baigiamojoje stadijoje; [5]

- Neišspręsti remontuotų rėmų stiprumo įvertinimo klausimai. Remontuojant rėmus, paprastai naudojami sustiprinantys elementai, galintys iškreipti apkrovų pasiskirstymą. [5]

Pirminiuose skaičiavimuose, kai bandoma optimizuoti rėmą pagal lenkimo ir sukimo apkrovas, naudojami suprastinti skaičiavimo metodai. Numatoma tokia skaičiavimų seka:

- įrašų nustatymas lenkiamame rėme; [5]

- rėmo elementų geometrinių charakteristikų nustatymas pagal lenkimo rezultatus, įvertinant stiprumo ir standumo reikalavimus; [5]

- rėmo, kaip simetriškai apkrautos sistemos, skaičiuotė įstrižam sukimui ir elementų geometrinių charakteristikų patikslinimas stiprumui ir standumui; [5]

- rėmo, apkrauto antisimetrine apkrova, skaičiavimas sukimui; [5]

- tikslinamas skaičiavimo schemas ir realios konstrukcijos atitikimas, artinant geometriją realiajai, įvertinant sujungimų įtaką, bei apskaičiuojant antrinius įtempius, atsirandančius atviruose plonasieniuose rėmo elementuose dėl deplanacijų. Čia gali tekti naudoti nuoseklių priartėjimų metodus; [5]

- tikslinama rėmo konstrukcija ir rengiama skaičiuotė BEM;

- rengiama bandymų metodika. [5]



### 1.3.1. Rėmų skaičiavimas lenkimui

Rėmas pradedamas skaičiuoti lenkimui, nes šiuo apkrovimo atveju esant simetrinei apkrovai, lonžeronai apkraunami ir deformuojami simetriškai, skersės neapkraunamos ir nedeformuojamos. Taip sudaromos sąlygos apskaičiuoti preliminarius rėmo elementų matmenis naudojant statiška išsprendžiamų sistemų metodus ir spręsti apie kintamo skerspjūvio lonžeronų poreikį. [5]

Pradiniam skaičiavimui naudojamos šios prielaidos:

- rėmo lonžeronų ruožai tarp skersių ir skersės – tiesūs pastovaus skerspjūvio strypai;
- vertinamos visiškai pakrauto automobilio apkrovos. Agregatai ir krovinys išdėstyti simetriškai;
- automobilio pakabos reakcijos veikia rėmą ašių plokštumoje. Agregatų svorio jėga perduodama rėmui jų svorio centro plokštumoje. Krovinys tolygiai paskirstytas platformoje, keleiviai – salone. Krovinio svoris rėmui perduodamas jo svorio centro plokštumoje; [5]

Skaičiavimas lenkimui nesudaro išskirtinių problemų – skaičiuojama pagal sijų skaičiavimo metodiką. Skaičiuojant galima naudoti skaičiuoklę, pvz: „Excel“. Kad būtų galima toliau palyginti skaičiavimo metodikas, lenkimui skaičiuotas 1835 kg masės pagerinto pravažumo lengvojo automobilio rėmas su keturiomis skersėmis. Taip gaunama pradinė informacija apie lonžeronų apkrovas ir galima numatyti masės ir standumo optimizavimo būdus pvz., skirtingų matmenų lonžeronų ruožų ribas. [5]

Skaičiavimas lenkimui sudaro sąlygas parinkti lonžeronų skerspjūvio matmenis ir nustatyti preliminarias jų geometrines charakteristikas. Rėmo elementų matmenys nustatomi pagal leistinuosius įtempimus lenkiant. Tai sudaro sąlygas kitam skaičiavimo etapui – skaičiavimui įstrižam lenkimui. Standumas lenkiant tikrinamas pagal sijų deformacijų metodiką rėmą parėmus ties ašimis. [5]

### 1.3.2. Rėmų skaičiavimas sukimui (suprastinta schema)

Skaičiuojant rėmą įstrižam sukimui naudojamos skaičiavimo lenkimui metu nustatytos pakabų reakcijos. Po to tikrinama, ar užvažiavus ant nustatyto lygio nelygumo vienas iš ratų pakils. Tam reikia numatyti, koks preliminarus rėmo standumas sukimui  $C_{Ta}$ . Tam vertinami keli veiksniai. Pernelyg mažas standumas gali sukelti deformacijas, kurios išderins agregatų darbą. Jei rėmas deformuojasi iki  $15^\circ$ , manoma, kad tai jau pavojinga agregatų darbingumui, salonui ir kabinai (gali užsikirsti durys, atsirasti konstrukcinių elementų nuovargis). Kita vertus, automobiliams, kuriuos numatoma eksploatuoti keliuose su nekokybiška danga, pvz., visureigiams, rėmas turi kompensuoti nepakankamas pakabos eigas užvažiavus ant didžiausių nelygumų. Sunkiems keliams skirtiems sunkvežimiams pakabų eigų kompensavimui skiriama apie  $4^\circ$  deformacija. [5]

Numatę kampinį rėmo standumą  $C_{T\alpha}$ , galime nustatyti sukimo momentą, veikiantį rėme, užvažiauvus ant numatyto aukščio  $h$  nelygumo:

$$T = \frac{hC_{Tp}C_{T\alpha}}{B(C_{Tp} + C_{T\alpha})} \quad (1.1)$$

čia:  $h$  – nelygumo aukštis;  $C_{Tp}$ ,  $C_{T\alpha}$  - pakabos ir rėmo kampinis standumas sukant;  $B$  – provėža (jei priekinės ir galinės ašių provėžos skirtingos, imamas jų aritmetinis vidurkis). [5]

Dydis  $h$  priklauso nuo numatomų eksploataavimo sąlygų. Rusų naudotos normalės numatė važiavimą nedideliu greičiu labai sugadintomis kelių dangomis, todėl sunkvežimiams nelygumo aukštis rekomenduotas lygus 30 cm, lengviesiems automobiliams – 20 cm. [5]

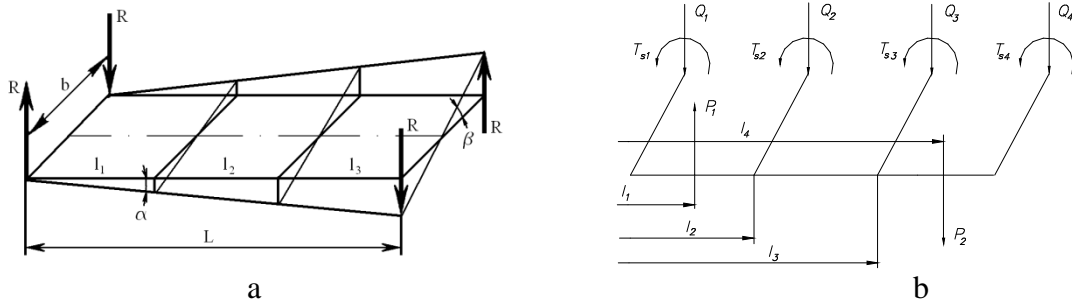
Gautą dydį  $T$  palyginame su dydžiu  $T_{sk} = R_{\min}B$ . Tolesniems skaičiavimams imame mažesnį iš dydžių. [5]

Sprendžiant įstrižo sukimo uždavinį, tenka spręsti statiškai neišsprendžiamą sistemą, o tam būtina informacija apie elementų standumą. Lonžeronų elementų standumą sukant galime nustatyti pagal skaičiavimo lenkimui duomenis. Jei nežinomos skersių skerspjuvio matmenys - šiame etape tenka pasirinkti jų standumų sukimui santykį. Jei negalima tikslinti lonžerono duomenų, galima priimti ir lonžerono atskirų elementų standumų sukimui santykį, nes skaičiavimai tik apytikriai.

Sukamas rėmas nagrinėjamas kaip plokščia statiškai neišsprendžiama erdvinė - plokščia sistema. Suprastintu būdu sprendžiant uždavinį tariama, kad rėmo elementus veikia tik sukimo deformacijos, t.y lonžeronai ir skersės deformacijos metu neišlinksta ir išlieka tiesūs (1.8 pav., a). Pastarasis skaičiavimo būdas pagrįstas labai skirtingu atvirų plonasienių profilių standumu lenkiant ir sukant – standumo lenkiant  $EI_x$  modulis dešimtimis kartų viršija standumą  $GI_s$  sukant. Statiškai neišsprendžiama rėmas keičiamas paprastesne sistema, gaunama rėmo skerses perpjaunant simetrijos plokštumoje (1.8 pav., b). Pjūvio plokštumoje atsirandančias vidines jėgas įvertiname skersių sukimo momentais  $T_{si}$  ir skersinėmis jėgomis  $Q_i$ . Iš sąlygos, kad lonžeronai nelinksta, kiltų, kad visos skersės susisuka vienodais kampais. Šiuo atveju iš tos pačios medžiagos pagamintų (šlyties moduliai  $G$  vienodi) pirmosios ir antrosios skersių susisukimo kampai lygūs:

$$\varphi_{s1} = \frac{T_{s1}l_{s1}}{GI_{Ts1}}; \varphi_{s2} = \frac{T_{s2}l_{s2}}{GI_{Ts2}}, \quad (1.2)$$

čia  $T_{si}$  - skersės veikiantys sukimo momentai;  $l_{si}$  - skersių ilgiai;  $I_{Tsi}$  - skersių inercijos momentai sukant.



**1.8 pav.** Automobilio rėmo deformacijų schema (a) ir skaičiavimo schema (b) skaičiuojant suprastintu būdu

Kadangi  $\varphi_{s1} = \varphi_{s2}$ , o kopėčių tipo rėmų visų skersių ilgiai vienodi  $l_{s1} = l_{s2}$ , iš lygčių sektų  $T_{s1}/T_{s2} = I_{s1}/I_{s2}$ . Analogiškas lygtis galime parašyti kitoms skersių poroms, todėl:

$$\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \frac{T_{s2}}{T_{s3}} = \frac{T_{s3}}{T_{s4}} = \frac{I_{Ts1}}{I_{Ts2}} = \frac{I_{Ts2}}{I_{Ts3}} = \frac{I_{Ts3}}{I_{Ts4}} \quad (1.3)$$

Iš sąlygų, kad nei lonžeronai, nei skersės nelinksta, seka, kad gretimų skersių pasisukimo skersinėje plokštumoje kampų  $\beta$  (1.8 pav, a) skirtumai  $\beta_i - \beta_{i-1}$  turi būti proporcingi atstumui tarp skersių, todėl atskiri lonžerono ruožai turi susisukti tuo pačiu santykinu kampu. Todėl:

$$\theta_{ij} = \frac{T_{ij}}{GI_{Tij}} \quad (1.4)$$

čia  $T_{ii}, I_{Tii}$  - lonžerono ruožą  $i$  veikiantis sukimo momentas ir jo inercijos momentas sukant.

Analogiškai skersių atvejui  $\theta_{l1} = \theta_{l2} = \theta_{l3}$  ir:

$$\frac{T_{l1}}{T_{l2}} = \frac{T_{l2}}{T_{l3}} = \frac{I_{Tl1}}{I_{Tl2}} = \frac{I_{Tl2}}{I_{Tl3}} \quad (1.5)$$

Rėmo kampo poslinkis (1.8 pav., a) gali būti nustatytas pagal lonžerono susisukimo kampą  $\beta$  arba skersių susisukimo kampą  $\alpha$ . Tarus, kad kampai maži:

$$h_A = \alpha(l_4 - l_1) = \beta c \quad (1.6)$$

čia  $c$  – atstumas tarp lonžeronų (skersės ilgis).

Kadangi  $\alpha = \theta_{s,c}$  ir  $\beta = \theta_l(l_4 - l_1)$  iš (1.6) sektų, kad santykiniai skersių ir lonžerono ruožų susisukimo kampai vienodi  $\theta_{si} = \theta_{lj}$  ir:

$$\frac{T_{li}}{T_{s1}} = \frac{I_{Tli}}{I_{Ts1}} \quad (1.7)$$

Gaunama ryšio tarp sukimo momentų, veikiančių skersėse ir lonžerono ruožuose, lygtis. Jei bendruoju atveju rėmą sudaro  $n$  skersių ir  $m$  lonžerono ruožų, nežinomųjų turėsime  $2n$  (skersėse veikiančios skersinės jėgos ir sukimo momentai), lygčių jiems apskaičiuoti -  $(n-1)+(m-1)+1$  - sukimo momentų, veikiančių skersėse, ryšio, sukimo momentų, veikiančių lonžerono ruožuose, ryšio ir ryšio tarp lonžerono ir skersėse veikiančių momentų lygtis. Kadangi  $m=n-1$ , kad būtų galima išspręsti uždavinį, trūksta dviejų lygčių. Naudojama statikos lygtis. Jėgų sumos į vertikalę ir momentų pusiausvyros apie 1-ą skersę lygtys:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0; \quad RL - \sum_{i=1}^n T_{si} + Q_2 l_1 - Q_3 (l_1 + l_2) - \dots - Q_m \sum_{j=1}^m l_j = 0. \quad (1.8 - 1.9)$$

Išreiškę:

$$T_{si} = T_{s1} \frac{I_{Tsi}}{I_{Ts1}}; \quad Q_1 = \frac{2T_{l1}}{c} = \frac{T_{s1}}{c} \frac{I_{Ts2}}{I_{Ts1}}; \quad Q_{i(i>1)} = \frac{2(T_{li} - T_{l(i-1)})}{c} = \frac{2T_{s1}}{cI_{Ts1}} (I_{li} - I_{l(i-1)}) \quad (1.10)$$

$$\text{gaunama: } T_{s1} = \frac{RLI_{Ts1}}{\sum_{i=1}^n I_{Tsi} + \frac{2}{c} \sum_{j=1}^m I_{Tlj} l_j} \quad (1.11)$$

Nustačius  $T_{s1}$ , pagal (1.10) lygtis galima apskaičiuoti visų likusių elementų sukimo momentus, skerses veikiančias skersines jėgas. Apskaičiavus skersines jėgas nustatoma skersėse veikiančios lenkimo momentai. Iš mazgų pusiausvyros lygčių randami lenkimo momentai atskiruose lonžerono ruožuose ir iš statikos lygčių randama veikiančios skersinės jėgos lonžerono ruožuose. [5]

#### 1.4 Standumo kojos

Kraunant savaeigę techniką, puspriekabėje patartina įmontuoti standumo kojas (1.9 pav.), jas patartina montuoti puspriekabės gale, ant rėmo skersinių elementų. Kojų paskirtis yra išlaikyti rėmą standų, bei nuimti nuo rėmo ir važiuoklės elementų apkrovą, technikai važiuojant į puspriekabę.



1.8 pav. Standumo kojos

Kojos gali būti dviejų tipų: Valdomos hidraulinio būdu ir valdomos rankiniu būdu.

Valdomos hidraulinio būdu yra sudėtingesnės, puspriekabei prideda daugiau masės, tačiau jos yra lengviau valdomos, jų kilnojimosi aukštis kintamas (atsižvelgiant į gruntą, bei rampų statumą gali būti keičiamas priekabos aukštis nuo žemės), tokių hidraulinio būdu valdomų kojų veikimas yra greitesnis.

Šios konstrukcijos kojos dažniausiai montuojamos į puspriekabas turinčias hidraulinę važiuoklę. Tokio tipo kojos yra valdomos hidraulinio cilindro pagalba, kuris yra valdomas alyvos siurblio, kurį valdo elektros variklis (1.10 pav.) esantis ant puspriekabės balkono.



1.10 pav. Elektros variklis

Kojos valdomos rankiniu būdu (1.11 pav.) yra paprastesnės, pigesnės bei lengvesnės nei hidrauliniu būdu valdomos kojos. Tokio tipo kojos pagrinde yra montuojamos į pneumatinę važiuoklę turinčias puspriekabes.



1.11 pav. Standumo koja

Norint pasirengti krovinio krovimui, reikia puspriekabės rėmą pakelti pagalvių pagalba į maksimalią padėtį, atlenkti ir užfiksuoti kojas, ir pagalvių pagalba leisti rėmą į tokią padėtį, kai kojos pradeda remtis į gruntą. Tokio tipo kojų pagrindinis trūkumas yra, kad jei primontuojamos netinkamos rampos (arba gruntas yra nuožulnus), gali pasidaryti labai status užvažiavimas.

### **1.5 Užvažiavimo rampos**

Rampa - nuožulni plokštuma (ne laiptai), skirta užlipti ar užvažiuoti į aukštesnį lygį.[6]

Ramos yra skirstomos į stacionarias, ir kilnojamą rampas.

Stacionarios rampos yra montuojamos pagrinde ant specializuotų puspriekabių skirtų vežti savaeigiai technikai.

Ramos būna valdomos hidrauliniu, arba rankiniu būdu.

Hidrauliniu būdu valdomos rampos (1.12 pav.) prideda daugiau masės puspriekabei, tačiau jos yra daug tvirtesnės už rankiniu būdu valdomas rampas, jos gali atlaikyti daug didesnes apkrovas. Dažniausiai tokio tipo rampos turi lankstus dviejose vietose (1.13 pav.), dėl šios priežasties tokio tipo rampų važiuojamoji dalis yra daug ilgesnė, ir jos yra nuožulnesnės, kas leidžia technikai lengviau užvažiuoti/nuvažiuoti puspriekabės krovimo metu. Taip pat šių rampų eksploatacija yra daug paprastesnė. Pasitelkiant kraną, šias rampas galima nuimti (1.14 pav.), ir puspriekabę naudoti kaip standartinę atvirą platformą.



1.12 pav. Hidraulinės rampos [3]

Puspriekabės turinčios stacionarias rampas yra labiausiai pritaikytos vežti savaeigę techniką, stacionariomis rampomis gali važiuoti sunkesnė technika, taip pat, tokio tipo puspriekabei nėra taip svarbu grunto kokybė.



1.13 pav. Rampų lankstai [7]

Rampų lankstai skirti pailginti rampų ilgį, kad savaeigei technikai būtų lengviau užvažiuoti/nuvažiuoti, nereiktų važiuoti dideliu statumu. Taip pat lankstai pridedami, kad transportavimo padėtyje, rampos neviršytų leistinų aukščio matmenų keliuose.



1.13 pav. Rampų tvirtinimo vieta

Stacionarios rankiniu būdu kilnojamos rampos (1.14 pav.) konstrukciniu požiūriu yra daug paprastesnės, jų masė yra mažesnė palyginus su hidrauliniu būdu valdomomis rampomis, taip pat jų demontavimas yra daug paprastesnis, be to šios konstrukcijos rampos yra pigesnės. Tačiau tokias rampas sunkiau valdyti, tai reikalauja daug fizinių jėgų, dėl šios priežasties tokio tipo rampos negali būti labai sunkios, kas labai apriboja rampų tvirtumą. Naudojant tokio tipo rampas negalima krauti sunkios technikos.



1.14 pav. Stacionarios rankiniu būdu kilnojamos rampos [8]

Kilnojamos rampos (1.15 pav.) gali būti pritaikytos prie daugelio puspriekabių. Pagrindinė sąlyga yra, kad puspriekabė turėtų „ausis“, rampų pakabinimui (1.16 pav.). Tokio tipo rampos palyginus su stacionariomis yra labai pigios, taip pat neužima daug vietos, ir sveria palyginus nedaug.

Rampų turėjimas labai praplečia priekabos pakrovimo galimybes, ir padaro puspriekabę daug universalesnę.





1.15 pav. Kilnojamos rampos

Tokio tipo rampoms, turi būti speciali vieta įrengta puspriekabėje, kad būtų galima jas pakabinti.



1.16 pav. Rampų kabinimo vieta

Tokių rampų pagrindinis trūkumas yra jų važiuojamosios dalies ilgis, dėl ko užvažiuojimas tampa labai status. Vikšrinė technika tokiomis rampomis ne visada turi galimybę užvažiuoti, dėl metalinio rampų paviršiaus, taip pat dėl didelio kritimo važiuojant nuo rampos ant puspriekabės.

Lengvesniam technikos užvažiuojimui gali būti naudojamos ilgesnės rampos, tačiau tokios rampos netelpa joms transportuoti įrengtoje vietoje, ir sukelia daug problemų jas transportuojantis.

## 2. TIRIAMOS PUSPRIEKABĖS KONSTRUKCIJA

Tyrimui pasirinkta standartinė puspriekabė, turinti pridedamas rampas, skirtas pasikrauti savaeigiai technikai.

### 2.1 Puspriekabės tipas

Tyrimui pasirinkta standartinė, „Jumbo“ tipo puspriekabė (2.1 pav.) su tentu. Puspriekabės gamintojas – Primbox.

Puspriekabės nuosava masė – 11,800 kg, maksimali keliamoji galia – 24,000 kg., plotis – 2,55 m, ilgis, 13,856 m, aukštis – 4 m. Naudojami ratai – 215/75 R 17,5.



2.1 pav. Pasirinkta puspriekabė

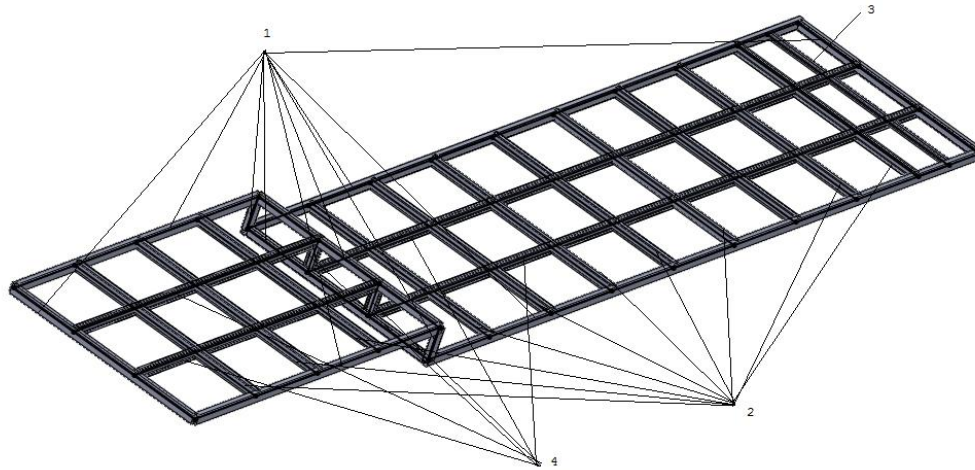
Šios puspriekabės paskirtis - vežti sąlyginai didelio aukščio krovinius, uždengtus tentu.

Krovinio skyrius yra vientisas, tačiau viduje yra pakilimas. Maksimalūs matmenys kraunami ant apatinės platformos yra 9,6 x 2,48 x 3,125 m. ant viršutinės – 4 x 2,48 x 2,730 m.

#### 2.1.1 Puspriekabės rėmo konstrukcija

Puspriekabės rėmas pagamintas iš standartinių dvitėjinių, u formos, bei keturkampio formos sijų. Keturkampio formos sijų matmenys mm (3.2 pav.): 120 x 80 x 8 (poz. 1). U formos sijų matmenys mm: 120 x 12 (poz. 2), 100 x 8 (poz. 3), dvitėjų sijų matmenys mm: 120 x 12 (poz. 4).

Sijos pagamintos iš konstrukcinio plieno S355K2G3.



2.2 pav. Rėmas: 1 – keturkampio formos sijos (120 x 80 x 8); 2 – U formos sijos (120 x 12); 3 – U formos sija (100 x 8); 4 – dvitėjes sijos (120 x 12)

Šios konstrukcijos rėmas skirtas vežti nekoncentruotą (tolygiai iskiirstytą rėmui) 24 t masę.

## 2.2 Puspriekabės pagrindiniai mechanizmai

Puspriekabėje yra sumontuoti šie pagrindiniai mechanizmai: Pneumatinė stabdžių sistema, pneumatinė pakabos sistema, slankiojantis tentas, prikabinimo mechanizmas, puspriekabės parkavimo mechanizmas.

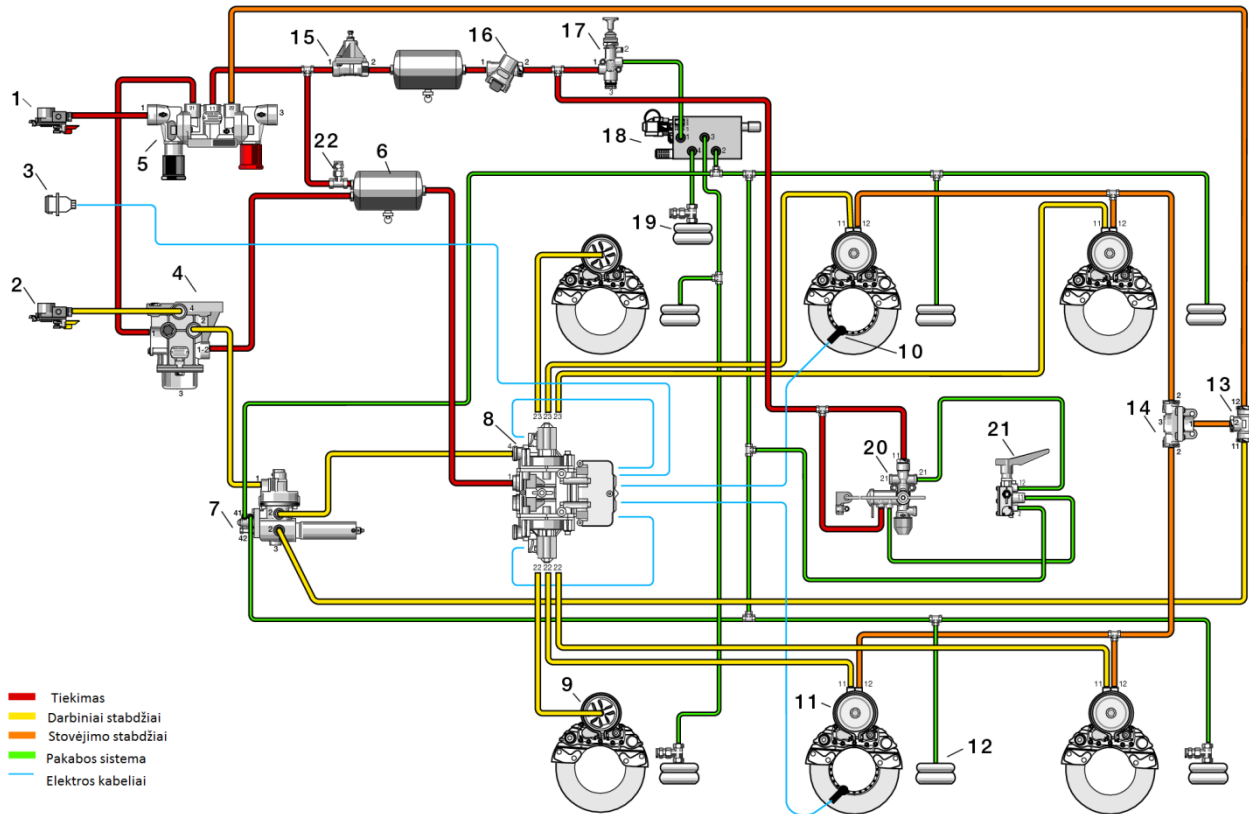
### 2.2.1 Pneumatinė stabdžių ir pakabos sistema

Pneumatinės stabdžių sistemos būna dviejų rūšių: atskiros stabdžių bei pakabos sistemos, arba kaip šiuo konkrečiu atveju kombinuotos stabdžių ir pakabos sistemos.

Stabdžiai su pneumatine pavara pradeda veikti ne taip greitai, kaip su hidrauline, bet stabdymo jėga yra žymiai didesnė, dėl šios priežasties yra nebereikalingas stabdžių stiprintuvas, todėl jie įrengiami didesniuose krovininiuose automobiliuose. Puspriekabių stabdžių sistemos jungiamos prie vilkiko, o jų veikimo principas yra vienodas: Pneumatinėse sistemose naudojamas iki 1 MPa slėgis. Stabdžių sistemai naudojamas vienas kompresorius, dėl to debitas yra paskirstomas į keletą grandžių su savais suspausto oro balionais. Vienai iš grandinių išsihermetinus, ji atskiriama nuo pagrindinės magistralės automatiniais vožtuvais. Minimalus nepriklausomų grandinių skaičius – 3 (du darbinių stabdžių kontūrai, ir rezervinė (stovėjimo stabdžių) sistema). Kad stovėjimo stabdžių sistema galėtų dirbti kaip rezervinė (avarinė), joje naudojami spyruokliniai energijos akumuliatoriai. Kaip darbiniai elementai pneumatinėse stabdžių sistemose naudojamos pneumatinės stabdžių kameros arba stabdžių cilindrai. Stabdžių cilindrai pasižymi stabilesne stabdymo jėga (ji nepriklauso nuo stūmoklio eigos), tačiau sunkiau suderinami [9].

Sunkvežimiuose pagrinde yra naudojamas pneumatinės pakabos sistemos, jos pakeitė senąsias sistemas dėl savo savybių, t.y. jos yra labai stabilios kelyje taip pat gali atlaikyti didelę apkrovą, dėl šios priežasties jos taip pat yra montuojamos į sunkiasvores priekabas.

Pneumatinės pakabos tamprūs elementai (pagalvės) yra pripildyti suslėgto oro, kuris yra tiekiamas iš vilkiko. Pakabos pneumatinė sistema priekabose dažniausiai būna sujungta su stabdžių pneumatine sistema (2.3 pav.). [9]



2.3 pav. Pneumatinė pakabos ir stabdžių sistema [7]: 1 – jungimo antgalis su tiekimo filtru; 2 – jungimo antgalis su kontroliniu filtru; 3- ABS jungiklis; 4 – pakaitinis atsarginis vožtuvas; 5 – vožtuvas; 6 – suspausto oro talpykla; 7 – apkrovos vožtuvas; 8 – puspriekabės ABS modulis; 9 – stabdžių kamera; 10 – greičio (ABS) daviklis; 11 – spyruoklinis stabdis; 12 – oro pagalvė; 13 – sujungimo vožtuvas; 14 – išleidimo vožtuvas; 15 – vienpusis vožtuvas; 16 – filtras; 17 – kontrolinis vožtuvas; 18 – pakeliamos ašies kontrolinis vožtuvas; 19 – pakėlimo dumples; 20 – lygio palaikymo vožtuvas; 21 – pakėlimo/nuleidimo vožtuvas; 22 – apsauginis vožtuvas [9]

Stabdžių sistemos veikimo principas: Oras yra paduodamas iš vilkiko per jungimo antgalį (1), iš kurio per apsauginį vožtuvą (5) yra tiekiamas į suspausto oro talpyklą (6). Užsipildžius šioms talpykloms dalis oro tenka stabdžių sistemai, t.y. tiekiamas į ABS modulį (8), o kita dalis tiekama į pakabos sistemą. Pastarosios oras pirmiausiai patenka į lygio palaikymo vožtuvą (20), iš kurio per pakėlimo/nuleidimo vožtuvą (21) patenka į oro pagalves (12). Stabdžių sistemoje stabdant ABS modulis gaunamas informaciją iš vairuotojo per ABS jungiklį (3), ir iš ABS daviklio (10), reguliuoja oro padavimą į stabdymo kamerą (9). Stabdymo kameroje oras slekia stūmoklį. Stūmoklis nugalėdamas spyruoklės (11) pasipriešinimą pasislenka ir per svirčių sistemą pasuka ratų stabdžių mechanizme esantį kumštelį. Kumštelis išplečia trinkeles. Atleidus stabdžių pedalą, oras iš stabdžių cilindrų grįžta į stabdžių čiaupą, o iš jo pro išleidimo vožtuvą – į atmosferą. [9]

### 2.2.2 Prikabinimo mechanizmas

Puspriekabės prikabinimui prie vilkiko naudojami standartiniai „pirštai“ (2.4 pav.) matmenys: 14 x 35 x 40, DIN 1434.



2.4 pav. Prikabinimo pirštas

Prikabinimas vyksta vilkikiui važiuojant atbuline eiga, kai puspriekabės prikabinimo „pirštas“ įkišamas į vilkiko balną. Kai tai padaroma, užfiksuojamas vilkike esantis kaištis.

### 2.2.3 Puspriekabės parkavimo mechanizmas

Norint puspriekabę palikti stovėti, yra naudojamos parkavimo kojos (2.5 pav.). Šios kojos yra skirtos, kad puspriekabės platforma liktu stovėti lygiai (be papildomų priemonių), o vilkikas be didesnių problemų galėtų atvažiuojęs ją prisikabinti.



2.5 pav. Parkavimo kojos

Vilkikui su puspriekabe atvažiavus į puspriekabės parkavimo vietą, yra sukeliamos vilkiko pagalvės, tada kojų nuleidimo mechanizmu (2.6 pav.) nuleidžiamos puspriekabės kojos.



2.6 pav. Kojų nuleidimo mechanizmas

Po šių veiksmų šiek tiek paleidžiamos oro pagalvės, ir atleidžiamas fiksavimo kaištis esantis vilkike. Atkabinus puspriekabę, vilkiko pagalvės dar paleidžiamos, vilkikas išvažiuoja.

#### **2.2.4 Slankiojančio tento mechanizmas**

Tentas (puspriekabės sienos, bei stogas) turi galimybę slankioti ant įrengtų pavažų (2.7 pav.).



2.7 pav. Dalinai nutentuota puspriekabė

Tokio mechanizmo tentą yra daug paprasčiau slankioti, bei labai sutrumpina tento užfiksavimo laiką.

Tokio tipo puspriekabės privalumas yra jos pakrovimo galimybės. Šią puspriekabę galima krauti iš galo, bet taip pat iš šono nuo šoninės rampos, arba per stogą su kranu.

## **2.3 Puspriekabės specialieji mechanizmai**

Puspriekabėje yra įmontuoti specialieji mechanizmai, palengvinantys krovinio pakrovimo procesą, bei padarantys puspriekabę tinkamą platesniam krovinų asortimentui.

### **2.3.1 Puspriekabės praplatinimo mechanizmas**

Puspriekabės praplatinimo mechanizmas (2.8 pav.) skirtas lengviau bei saugiau pakrauti krovinį, nerizikuojant krovimo metu užkabinti atramą, taip apgadinant puspriekabę arba krovinį.

Krovimo metu puspriekabės galinės bei šoninės pakrovos vietą galima paaukštinti iki 3,4 m, ir praplatinti iki 2,7 m.

Naudojant šį mechanizmą lengviau kraunamos savaeigės technikos, bei įvairūs kiti kroviniai.



2.8 pav. Praplatinta ir išaukštinta puspriekabės pakrovimo dalis

Praplatinimas bei išaukštinimas yra leidžiamas tik pakrovos/iškrovos metu. Transportavimo metu, puspriekabė turi būti sudėta į transportavimo padėtį. Praplatinta puspriekabe važiuoti nesaugu, nes nėra kaip tinkamai užfiksuoti tentą bei atramas.

### 2.3.2 Grindų išpjovos mechanizmas

Šis mechanizmas skirtas vežti ratinei technikai (2.9 pav.)

Mechanizmo principas – išpjova grindyse, į kurią būtų įleidžiamas ratas.



2.9 pav. Pakrauta savaeigė technika naudojant grindų išpjovą

Įleidus ratą į šia vietą, sumažinamas krovinio aukštis, tokiu būdu ši puspriekabė tampa pajėgi paimti didesnę asortimentą ratinės technikos, taip sutaupoma pervežimo kaštų.

### 2.3.3 Kilnojamos rampos

Pridedamos rampos (2.10 pav.), padedančios pakrauti savaeigę techniką nuo žemės.



2.10 pav. Nešiojamos rampos

Pridedamos rampos labai palengvina pakrovimą bei iškrovimą, taip pat jį padaro įmanoma bet kurioje vietoje, kur nėra specialių pakrovai skirtų įrengimų. Rampų ilgis – 2,5 m.



### 2.3.4 Standumo kojos

Standumo kojos (2.11 pav.) padeda rėmui atlaikyti krovinio spaudimą technikos pakrovimo/iškrovimo metu. Kojos pagamintos iš stačiakampio formos sijų kurių matmenys: 100 x 60 mm.



2.11 pav. Standumo koja

Šių kojų pagalba, didžioji dalis krovinio masės krovimo metu nuimama nuo rėmo, ir tenka žemei.

### 2.4 Puspriekabės konstrukcijos trūkumai

Pasirinkta puspriekabė pritaikyta vežti ganėtinai aukštus krovinius po tentu, taip pat standartinius paletinius krovinius. Tentas apsaugo krovinį nuo aplinkos veiksnių (tiesioginių saulės spindulių, lietaus, akmenukų). Norint padaryti šią puspriekabę kiek įmanoma universalesnę, jos gale įmontuotos kilnojamos rampos, skirtos pasikrauti/nusikrauti mažo, bei vidutinio dydžio savaeigę techniką.

Savaeigės technikos krovimui, puspriekabėje pritaikytos standumo kojos.

Tačiau tiriamos puspriekabės kojos, įtaisytos netinkamoje vietoje, taip pat rėmas, nėra skirtas tokio tipo kroviniams vežti, dėl ko, kraunant savaeigę techniką, puspriekabės rėmas neatlaikė apkrovos (2.12 pav.).



2.12 pav. Sulūžęs puspriekabės rėmas

Norint krovimo proceso metu neturėti tokio tipo problemos, būtina parinkti saugų savaeigės technikos važiavimo greitį. Atsižvelgti į dangą, ant kurios stovi kraunama puspriekabė. Taip pat patartina sustiprinti puspriekabės rėmą papildomais elementais.

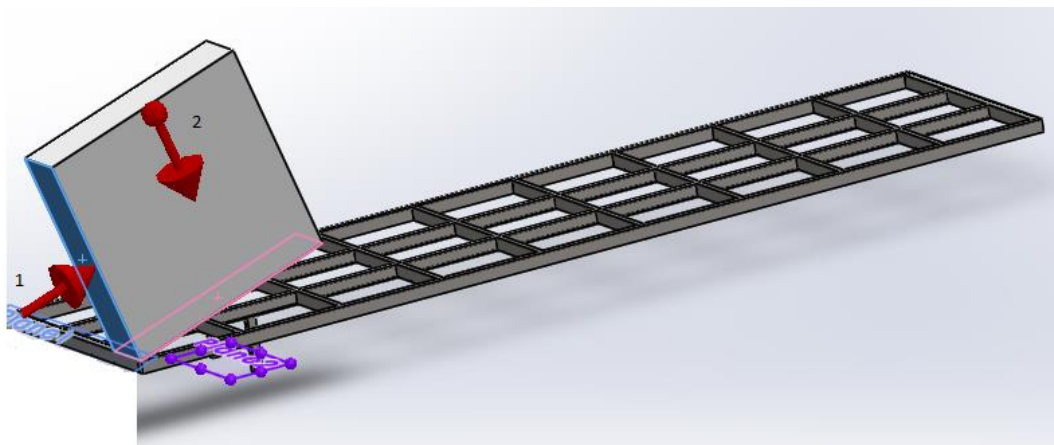
### 3. PUSPRIEKABĖS RĖMO TYRIMO METODIKA

Puspriekabės rėmo tyrimui naudojama simuliacija Solidwork programa, gauti rezultatai lyginami su realiomis puspriekabės deformacijomis.

#### 3.1 Puspriekabės rėmo modeliavimas

Puspriekabės rėmo atsparumo tyrimui naudojama Solidworks programa. Šios programos pagalba imituojamas savaeigės technikos važiavimas į puspriekabę, jos rėmo atsparumas lenkimui, bei kojų įtaka stabilumui.

Solidworks programoje naudojama „Drop test“ funkcija (3.1 pav.), kurios metu imituojamas vikšrinės transporto priemonės pakrovimo procesas važiuojant per nestacionarias rampas.



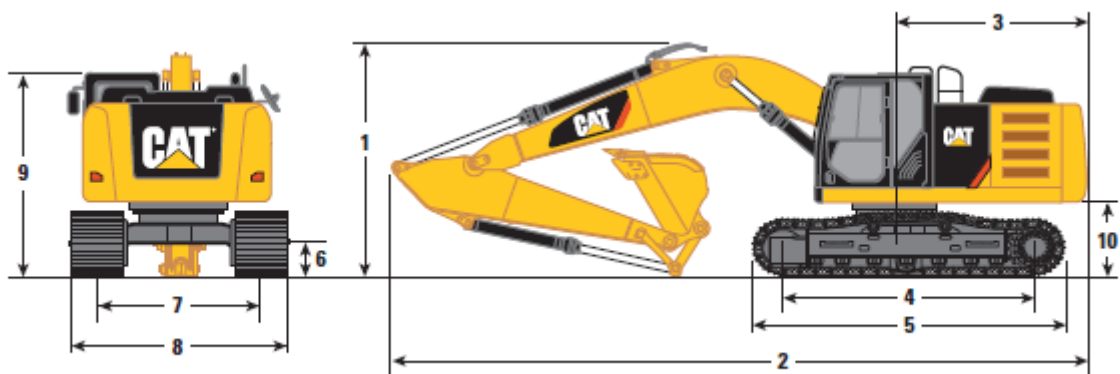
3.1 pav. Drop test funkcija

Skaičiuojant šia programa rėmas yra įtvirtinamas ties standumo kojomis, bei rėmo priekyje (dalyje kur puspriekabė tvirtinama prie vilkiko). Rodyklė numeris 1 nurodo ekskavatoriaus važiavimo kryptį, rodyklė numeris 2 – kritimo kryptį.

#### 3.2 Ekskavatorius naudojamas puspriekabės rėmo tyrime

Tyrimui pasirinktas CAT 320 EL (2.9B1) tipo vikšrinis hidraulinis ekskavatorius (3.2 pav.). Ekskavatoriaus pagrindiniai matmenys pateikti lentelėje.

Ekskavatorius pasirinktas dėl savo transportavimo matmenų. Šio ekskavatoriaus matmenys yra ribiniai, kurie telpa į „jumbo“ tipo puspriekabę su tentu.



3.2 pav. Ekskavatoriaus darbiniai matmenys

2 lentelė: Ekskavatoriaus pagrindiniai išmatavimai [10]

	(mm)
1) Transportavimo aukštis	3740
2) Transportavimo ilgis	9340
3) Kėbulo apsisukimo spindulys	2830
4) Atstumas tarp ašių centrų	3650
5) Vikšrų ilgis	4460
6) Prošvaistė	450
7) Provėža	2180
8) Transportavimo plotis	
600 mm vikšrai	2480
790 mm vikšrai	2680
9) Kabinos aukštis	2960
10) Darbinės dalies aukštis	1020

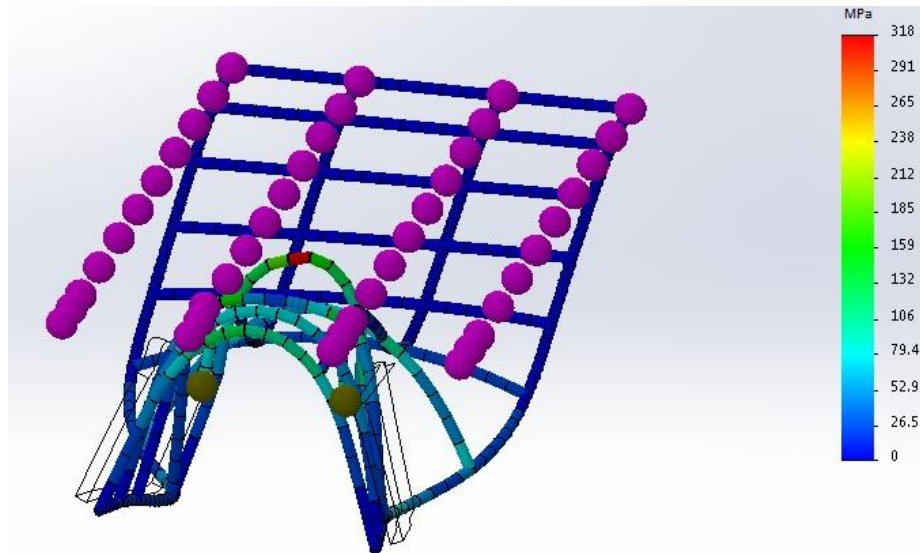
Ekskavatoriaus masė – 21500 kg. Pasirinktas vikšrų plotis – 600 mm.

### 3.3 Tyrimų rezultatai

Puspriekabės rėmo įtempiai ekskavatoriui važiuojant skirtingais greičiais. Rėmas įtvirtintas standumo kojų vietoje, bei rėmo priekyje (dalyje kur puspriekabė tvirtinama prie vilkiko).

#### 3.3.1 Ekskavatoriaus greitis – 1 m/s

Puspriekabės rėmo įtempiai ekskavatoriui važiuojant 1,2 m/s greičiu (3.3 pav.).

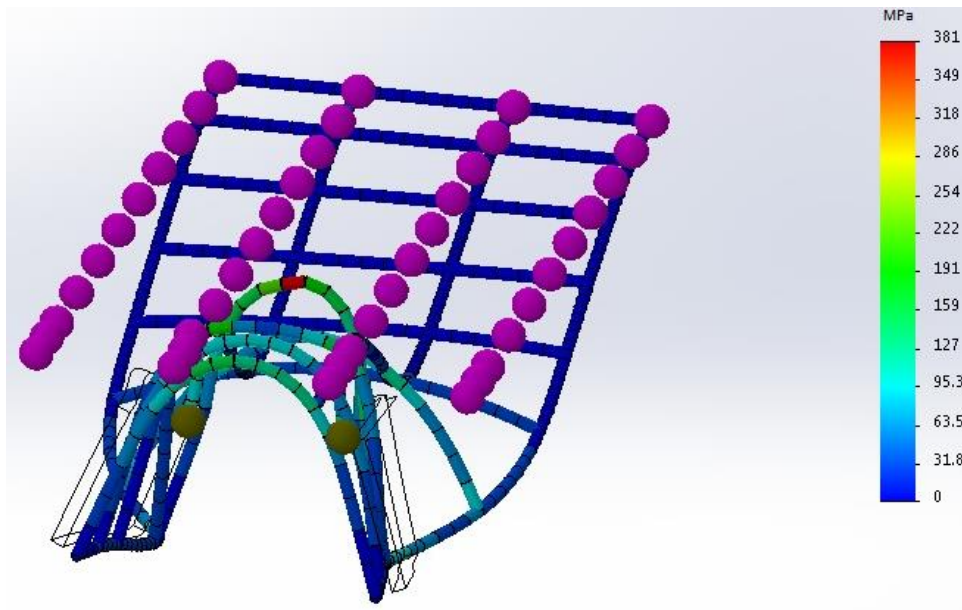


3.3 pav. Puspriekabės rėmo įtempiai

Rėmo įtempiai koncentruojasi ekskavatoriaus vikšro bei puspriekabės rėmo sąlyčio vietoje. Įtempiai duoti MPa. Didžiausi įtempiai gauti ant sijos, į kurią remiamos standumo kojos. Didžiausių įtempių reikšmė lygi 318 MPa, tad atsarga gaunama 1,36 karto.

### 3.3.2 Ekskavatoriaus greitis – 1,2 m/s

Puspriekabės rėmo įtempiai ekskavatoriui važiuojant 1,2 m/s greičiu (3.4 pav.).

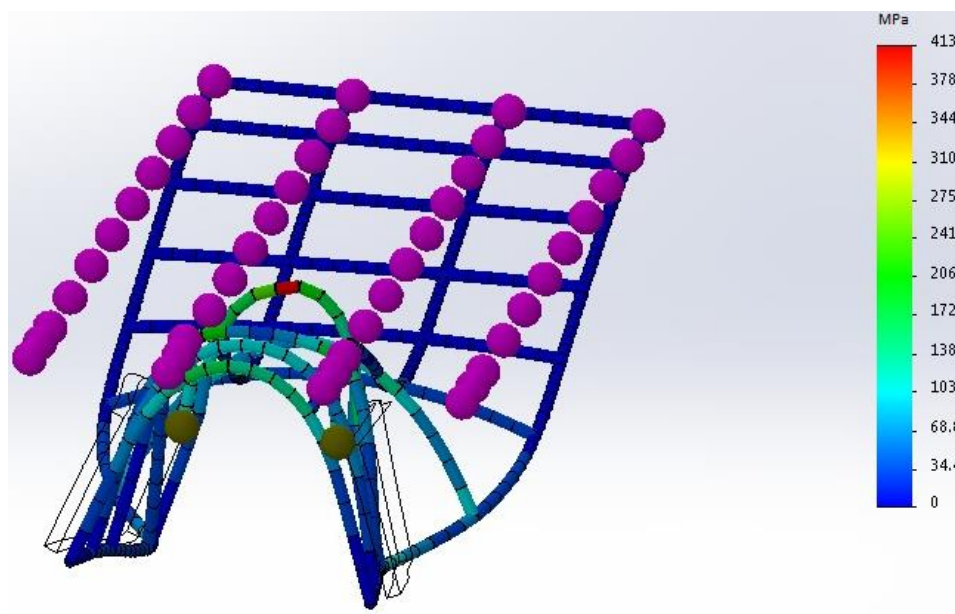


3.4 pav. Puspriekabės rėmo įtempiai

Rėmo įtempiai koncentruojasi ekskavatoriaus vikšro bei puspriekabės rėmo sąlyčio vietoje. Įtempiai duoti MPa. Didžiausi įtempiai gauti ant sijos, į kurią remiamos standumo kojos. Didžiausių įtempių reikšmė lygi 381 MPa, tad atsarga gaunama 1,13 karto.

### 3.3.3 Ekskavatoriaus greitis – 1,3 m/s

Puspriekabės rėmo įtempiai ekskavatoriui važiuojant 1,3 m/s greičiu (3.5 pav.).

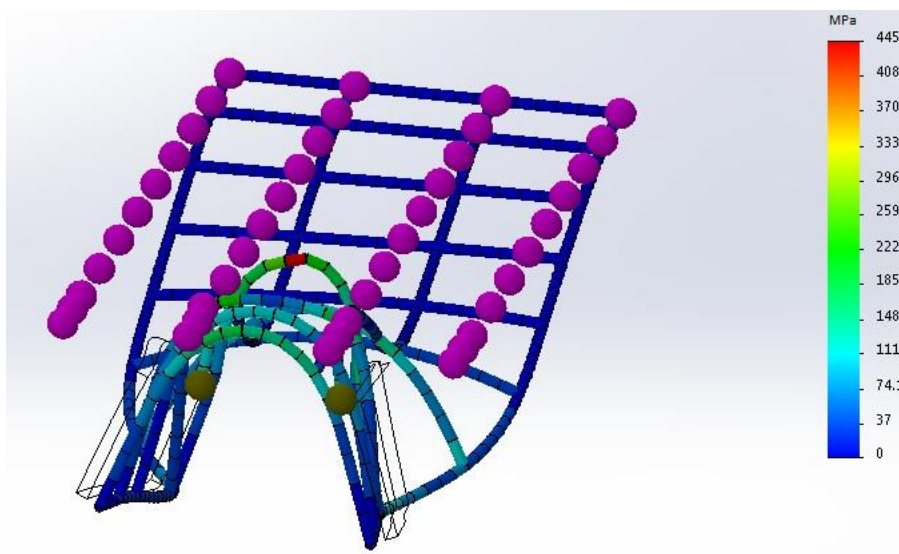


3.5 pav. Puspriekabės rėmo įtempiai

Rėmo įtempiai koncentruojasi ekskavatoriaus vikšro bei puspriekabės rėmo sąlyčio vietoje. Įtempiai duoti MPa. Didžiausi įtempiai gauti ant sijos, į kurią remiamos standumo kojos. Didžiausių įtempių reikšmė lygi 413 MPa, tad atsarga gaunama 1,05 karto.

### 3.3.4 Ekskavatoriaus greitis – 1,4 m/s

Puspriekabės rėmo įtempiai ekskavatoriui važiuojant 1,4 m/s greičiu (3.6 pav.).

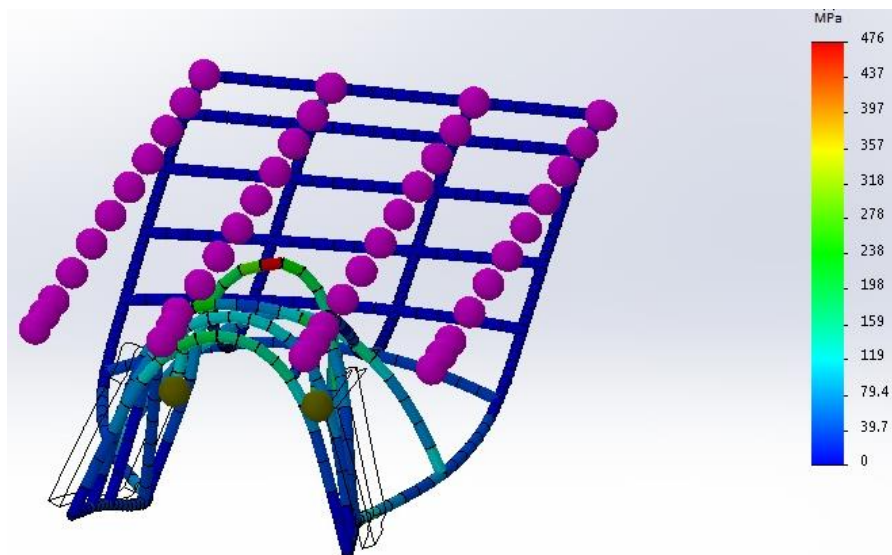


3.6 pav. Puspriekabės rėmo įtempiai

Rėmo įtempiai koncentruojasi ekskavatoriaus vikšro bei puspriekabės rėmo sąlyčio vietoje. Įtempiai duoti MPa. Didžiausi įtempiai gauti ant sijos, į kurią remiamos standumo kojos. Didžiausių įtempių reikšmė lygi 445 MPa, atsarga nepakankama.

### 3.3.5 Ekskavatoriaus greitis – 1,5 m/s

Puspriekabės rėmo įtempiai ekskavatoriui važiuojant 1,5 m/s greičiu (3.7 pav.).



3.7 pav. Puspriekabės rėmo įtempiai

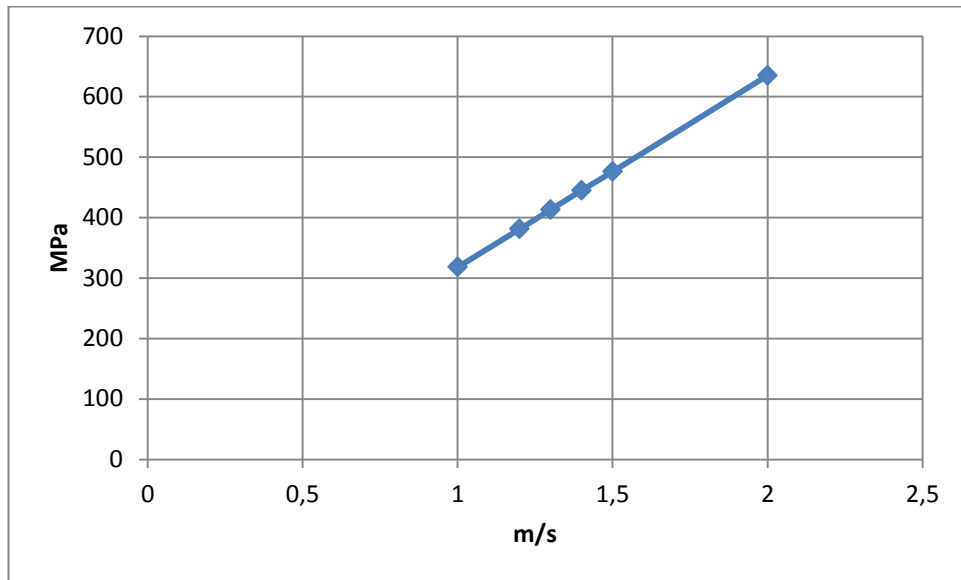
Rėmo įtempiai koncentruojasi ekskavatoriaus vikšro bei puspriekabės rėmo sąlyčio vietoje. Įtempiai duoti MPa. Didžiausi įtempiai gauti ant sijos, į kurią remiamos standumo kojos. Didžiausių įtempių reikšmė lygi 476 MPa, atsarga nepakankama.

Rėmo atsparumas priklausomai nuo greičių pateiktas lentelėje.

3 lentelė: Rėmo atsparumas priklausomai nuo ekskavatoriaus važiavimo greičio

m/s	km/h	MPa	Atsargos koeficientas
1	3,6	318	1,36
1,2	4,32	381	1,13
1,3	4,68	413	1,05
1,4	5,04	445	0
1,5	5,4	476	0
2	7,2	635	0

Pateikiamas įtempių priklausomybės nuo ekskavatoriaus greičio grafikas. (3.8 pav.)

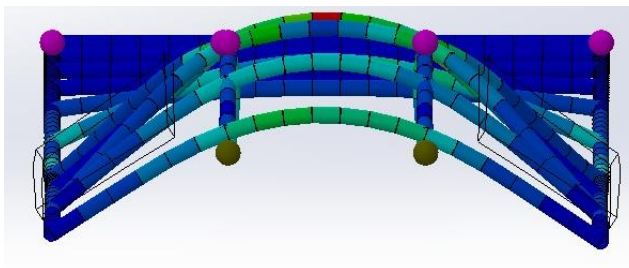


3.8 pav. Rėmo įtempių priklausomybės nuo ekskavatoriaus greičio grafikas

Atsižvelgiant į gautus rezultatus, nepatariama važiuoti didesniu nei 4 km/h greičiu, tačiau saugiausias krovimas neviršijant 3 km/h greičio.

### 3.3.6 Rėmo teorinių deformacijų palyginimas su realiomis

Atlikus tyrimus naudojantis solidworks programa gautos rėmo deformacijos (3.9, 3.11 pav.), iš solidworks atliktų rėmo deformacijų matyti, kad rėmo kraštai bei galas nulinko dėl per didelės apkrovos, lygiai taip pat, kaip realioje situacijoje (3.10, 3.12 pav.).

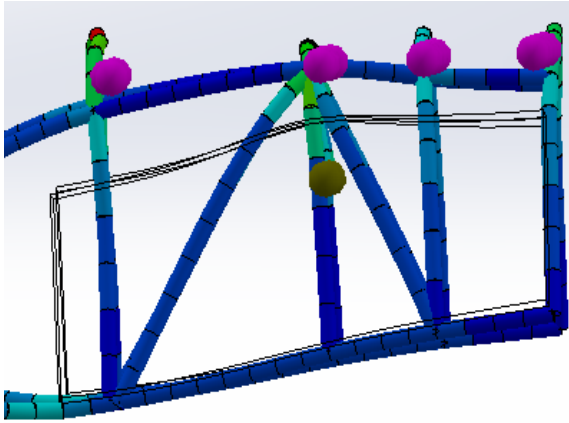


3.9 pav. Solidworks programa gautos deformacijos, vaizdas iš galo



3.10 pav. Realios puspriekabės deformacijos, vaizdas iš galo





3.11 pav. Solidworks programa gautos deformacijos, vaizdas iš šono

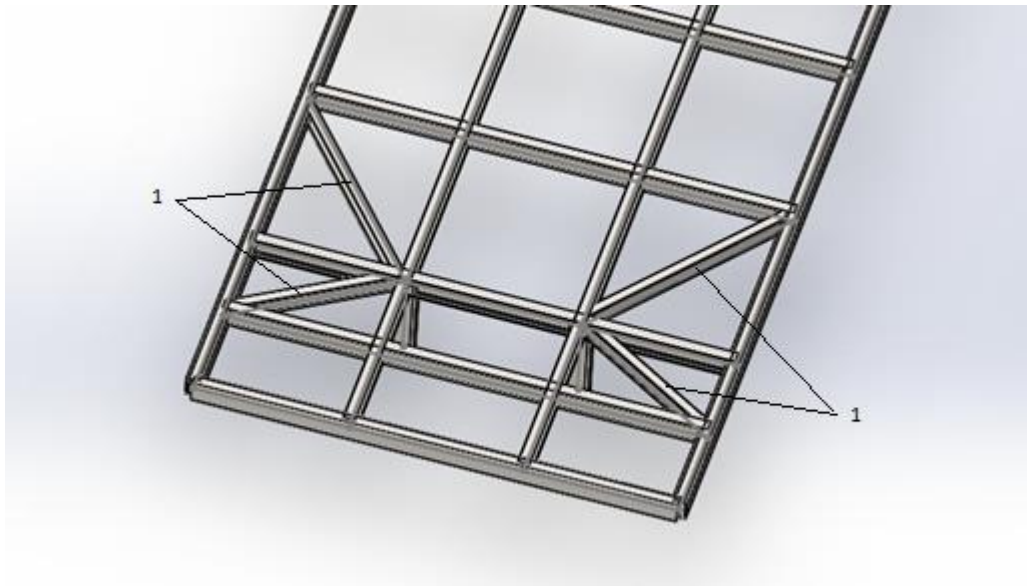


3.12 pav. Realios puspriekabės deformacijos, vaizdas iš šono

Solidworks gautoje schemoje rėmo deformacija 1000 kartų didesnė nei yra iš tikrųjų, tačiau matyti, kad deformacijos pobūdis vienodas.

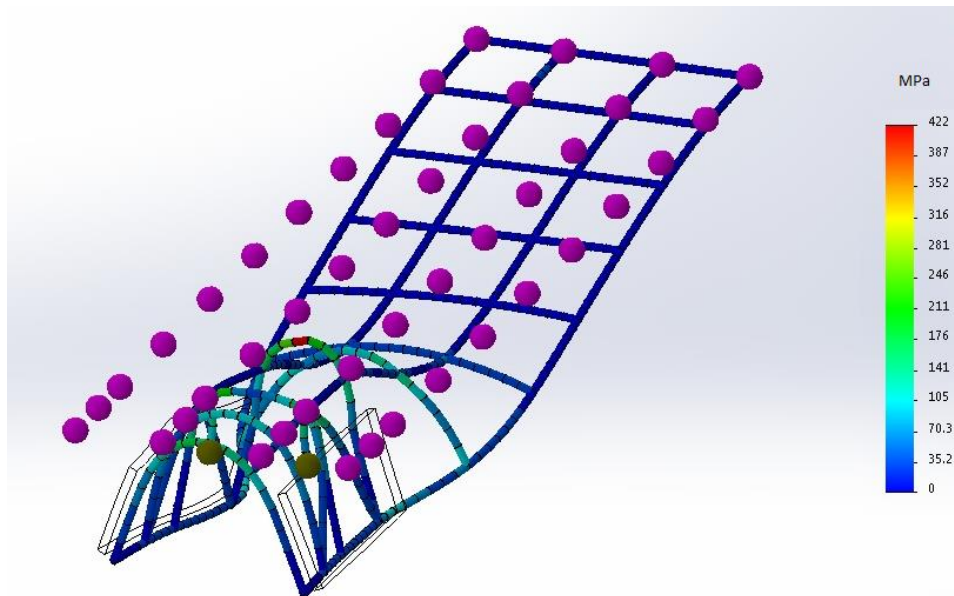
### 3.4 Rėmo stiprinimas

Norint saugiau krauti vikšrinę techniką siuloma pastiprinti puspriekabės rėmą skersiniais U formos elementais 120 x 12 (3.13 pav.).



3.13 pav. Sustiprinto rėmo schema, 1 – pridėtos U formos (120 x 12) sijos

Sustiprinus rėmą buvo atlikti skaičiavimai solidworks programa ekskavatoriui važiuojant 1,5 m/s greičiu (3.14 pav.).



3.14 pav. Sustiprinto rėmo schema

Rėmo įtempiai koncentruojasi ekskavatoriaus vikšro bei puspriekabės rėmo sąlyčio vietoje. Įtempiai duoti MPa. Didžiausi įtempiai gauti ant sijos, į kurią remiamos standumo kojos. Didžiausių įtempių reikšmė lygi 422 MPa, atsarga gaunama 1,02 karto. Palyginus su nestiprintu rėmu, kurio įtempiai buvo 476 MPa, sustiprintas rėmas atlaiko apkrovą.

### 3.5 Išvados ir rekomendacijos

Norint reguliariai transportuoti vikšrinę savaeigę techniką patartina tą daryti su tam pritaikytomis puspriekabėmis. Jei norima, kad puspriekabė būtų kiek įmanoma universalesnė ir kroviny s būtų vežamas po tentu, būtina stiprinti puspriekabės rėmą skersiniais elementais. Tačiau, jei transportavimo atvejis pavienis, ir vikšrinę techniką norima vežti su standartine puspriekabe, patartina krovimo metu su vikšrine technika neviršyti 3 km/h greičio. Pakrovimą vykdyti tik ant lygaus ir tvirto grunto. Taip pat, norint palengvinti savaeigės technikos pakrovimo procesą, rekomenduojama tai daryti nuo stacionarios rampos, arba naudoti ilgesnes nei standartinės, rampas.

## 4. KRITINIŲ GREIČIŲ POSŪKYJE SKAIČIAVIMAS

Apskaičiuotas ašių apkrovimas naudojant programą:

Suvedus duomenis į programą (4.1 lentelė), gaunamas masės centro aukštis, bei apkrovimas ant ašių..

4 lentelė: Tuščios puspriekabės ašių apkrovų skaičiavimas

Automobilių masės centro koordinatinių skaičiuoklė																																
<table border="1"> <tr> <th>Bazė, mm</th> <th>Masė kg</th> <th>Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm</th> </tr> <tr> <td>10000</td> <td>11000</td> <td>1000</td> </tr> </table>			Bazė, mm	Masė kg	Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm	10000	11000	1000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rezultatai</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masė, kg</td> <td>11000</td> </tr> <tr> <td>Xc, mm</td> <td>7954,5</td> </tr> <tr> <td>Zc, mm</td> <td>581,8</td> </tr> <tr> <td>a, mm</td> <td>6954,5</td> </tr> <tr> <td>b, mm</td> <td>3045,5</td> </tr> <tr> <td>bazė l, mm</td> <td>10000</td> </tr> <tr> <td>hc, mm</td> <td>581,8</td> </tr> <tr> <td>R1, N %</td> <td>32863,5</td> <td>30,5</td> </tr> <tr> <td>R2, N %</td> <td>75046,5</td> <td>69,5</td> </tr> </tbody> </table>		Rezultatai		Masė, kg	11000	Xc, mm	7954,5	Zc, mm	581,8	a, mm	6954,5	b, mm	3045,5	bazė l, mm	10000	hc, mm	581,8	R1, N %	32863,5	30,5	R2, N %	75046,5	69,5
Bazė, mm	Masė kg	Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm																														
10000	11000	1000																														
Rezultatai																																
Masė, kg	11000																															
Xc, mm	7954,5																															
Zc, mm	581,8																															
a, mm	6954,5																															
b, mm	3045,5																															
bazė l, mm	10000																															
hc, mm	581,8																															
R1, N %	32863,5	30,5																														
R2, N %	75046,5	69,5																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nr.</th> <th colspan="4">Agregatas</th> </tr> <tr> <th>Pavadinimas</th> <th>masė, kg</th> <th>x, koordinatė, mm</th> <th>z, koordinatė, mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Rėmas</td> <td>8000</td> <td>8000</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ašys</td> <td>2000</td> <td>11000</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Balkonas</td> <td>1000</td> <td>1500</td> <td>800</td> </tr> </tbody> </table>					Nr.	Agregatas				Pavadinimas	masė, kg	x, koordinatė, mm	z, koordinatė, mm	1	Rėmas	8000	8000	600	2	Ašys	2000	11000	400	3	Balkonas	1000	1500	800				
Nr.	Agregatas																															
	Pavadinimas	masė, kg	x, koordinatė, mm	z, koordinatė, mm																												
1	Rėmas	8000	8000	600																												
2	Ašys	2000	11000	400																												
3	Balkonas	1000	1500	800																												

čia:

$hc$  – svorio centro aukštis;

$R1, R2$  – svoris tenkantis atitinkamai pirmajai ir antrajai ašims;

$a, b$  – svorio centro atstumai nuo puspriekabės kraštų;

$Xc, Zc$  – svorio centro koordinatės x ir z ašyse.

Iš gautų rezultatų matyti, kad apie 30% svorio (32 kN) tenka vilkiko varančiajai ašiai, ir beveik 70% (75 kN) – puspriekabės ašims. Kadangi mūsų pasirinkta puspriekabė turi tris ašis gale, tai kiekvienai iš jų tenka po 25 kN.

Automobilių masės centro koordinatinių skaičiuoklė																																	
<table border="1"> <tr> <th>Bazė, mm</th> <th>Masė, kg</th> <th>Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm</th> </tr> <tr> <td>10000</td> <td>36000</td> <td>1000</td> </tr> </table>			Bazė, mm	Masė, kg	Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm	10000	36000	1000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rezultatai</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masė, kg</td> <td>36000</td> </tr> <tr> <td>Xc, mm</td> <td>7986,1</td> </tr> <tr> <td>Zc, mm</td> <td>1358,3</td> </tr> <tr> <td>a, mm</td> <td>6986,1</td> </tr> <tr> <td>b, mm</td> <td>3013,9</td> </tr> <tr> <td>bazė l, mm</td> <td>10000</td> </tr> <tr> <td>hc, mm</td> <td>1358,3</td> </tr> <tr> <td>R1, N %</td> <td>106438,5</td> <td>30,1</td> </tr> <tr> <td>R2, N %</td> <td>246721,5</td> <td>69,9</td> </tr> </tbody> </table>		Rezultatai		Masė, kg	36000	Xc, mm	7986,1	Zc, mm	1358,3	a, mm	6986,1	b, mm	3013,9	bazė l, mm	10000	hc, mm	1358,3	R1, N %	106438,5	30,1	R2, N %	246721,5	69,9	
Bazė, mm	Masė, kg	Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm																															
10000	36000	1000																															
Rezultatai																																	
Masė, kg	36000																																
Xc, mm	7986,1																																
Zc, mm	1358,3																																
a, mm	6986,1																																
b, mm	3013,9																																
bazė l, mm	10000																																
hc, mm	1358,3																																
R1, N %	106438,5	30,1																															
R2, N %	246721,5	69,9																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nr.</th> <th colspan="4">Agregatas</th> </tr> <tr> <th>Pavadinimas</th> <th>masė, kg</th> <th>x, koordinatė, mm</th> <th>z, koordinatė, mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Rėmas</td> <td>8000</td> <td>8000</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ašys</td> <td>2000</td> <td>11000</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Balkonas</td> <td>1000</td> <td>1500</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kroviny</td> <td>25000</td> <td>8000</td> <td>1700</td> </tr> </tbody> </table>					Nr.	Agregatas				Pavadinimas	masė, kg	x, koordinatė, mm	z, koordinatė, mm	1	Rėmas	8000	8000	600	2	Ašys	2000	11000	400	3	Balkonas	1000	1500	800	4	Kroviny	25000	8000	1700
Nr.	Agregatas																																
	Pavadinimas	masė, kg	x, koordinatė, mm	z, koordinatė, mm																													
1	Rėmas	8000	8000	600																													
2	Ašys	2000	11000	400																													
3	Balkonas	1000	1500	800																													
4	Kroviny	25000	8000	1700																													

Kraunant krovinį ant puspriekabės ties viduriu, 1/3 svorio tenka vilkikui, o 2/3 puspriekabei, tad norint kad apkrovimas ant ašių pasiskirstytu tolygiai, krovinį reikia stumti apie 20% į puspriekabės priekį. Iš gautų rezultatų matyti, kad pakrautai 25 t. puspriekabei apie 30% svorio (106 kN) tenka vilkiko varančiajam ašiai, ir beveik 70% (247 kN) – puspriekabės ašims. Kadangi pasirinkta puspriekabė turi tris ašis gale, tai kiekvienai iš jų tenka po 82,3 kN.

Apskaičiuojamas kritinis greitis  $V_{kr}$  prie kurio transporto priemonė apvirs:

$$V_{kr} = 2.12 \sqrt{B * \frac{R}{h_g} - R}; \quad (4.1)$$

čia:

$B$  – plotis tarp ratų (provėža) m;

$B=1.47$  m. (standartinė puspriekabės provėža);

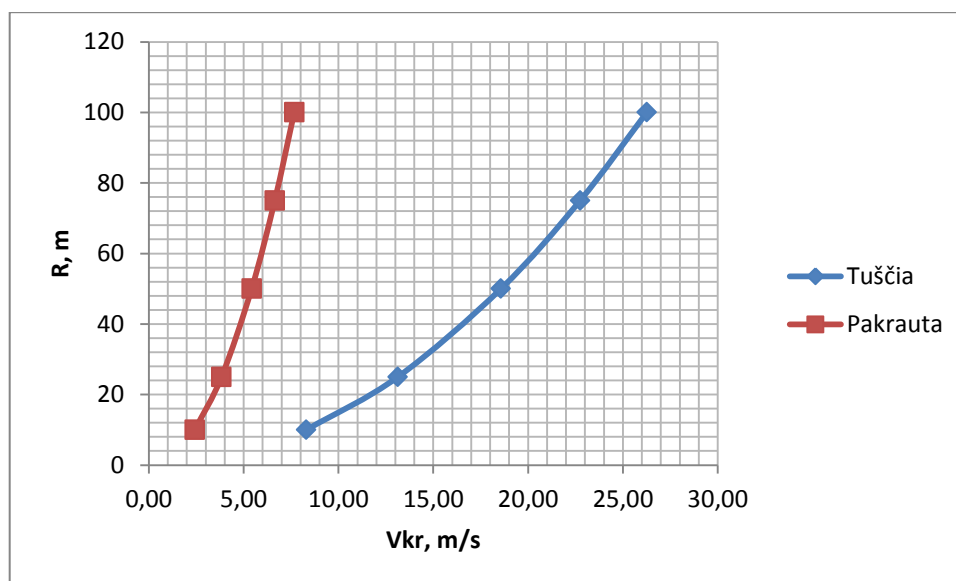
$h_g$  – priekabos svorio centro aukštis (gautas iš 4,1 bei 4,2 lentelių) m;

$R$  – posūkio spindulys (skaičiuojama nuo mažiausio spindulio žiedinės sankryžos – 10 m) m.

Sudaroma 6 lentelė ir brėžiamas grafikas (4.1 pav.).

6 lentelė: Kritinis greitis prie kurio transporto priemonė apvirs

Kritinis greitis $V_{kr \text{ tuščia}}$ , (m/s)	Kritinis greitis $V_{kr \text{ pakrauta}}$ , (m/s)	Posūkio spindulys R, (m)
8,30	2,42	10
13,13	3,83	25
18,57	5,42	50
22,74	6,64	75
26,26	7,67	100



4.1 pav. Kritinio greičio priklausomybė nuo posūkio spindulio

Iš gautų rezultatų matyti, kad kritinis greitis, kai tuščia puspriekabė pradės virsti yra 8,07 m/s esant 10 metrų posūkio spinduliui. Gauti rezultatai parodo, kad esant normalioms važiavimo sąlygoms, puspriekabę eksploatuoti saugu, tačiau reiktų apriboti transporto priemonės greitį tam tikruose kelio ruožuose. Važiuojant su pakrauta transporto priemone privalu atsižvelgti į krovinio gabaritus, bei važiuojant laikytis visų saugumo priemonių.

## 5. APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS

Remiantis šiuo magistro darbu, pateiktas apibendrinimas, bei rekomendacijos saugiam krovinio pakrovimui bei transportavimui užtikrinti.

### 5.1 Darbo apibendrinimas

Atlikus literatūros analizę, aprašyti pagrindiniai puspriekabių tipai, skirti transportuoti savaeigę techniką. Tyrimui pasirinkta standartinė „jumbo“ tipo puspriekabė su tentu. Tokio tipo puspriekabė pasirinkta dėl konkretaus įvykio, kai kraunant vikšrinę techniką, puspriekabės rėmas buvo sugadintas.

Tyrimo eigoje buvo aprašyti pagrindiniai bei specialieji puspriekabės mechanizmai, skirti savaeigės technikos transportavimui, taip pat, pasirinktos puspriekabės rėmo konstrukcija.

Puspriekabės rėmo stiprumo tyrimas buvo atliktas naudojantis Solidworks programa, „Drop test“ funkcija.

Rėmo stiprumas buvo bandomas ekskavatoriui važiuojant skirtingais greičiais, bandant nustatyti saugų krovimo greitį, taip pat buvo lyginamas teorinis bei praktinis deformacijų pobūdis. Atlikus bandymus gauta, kad saugus ekskavatoriaus važiavimo greitis yra 1,3 m/s (4,68 km/h). Tačiau norint, kad puspriekabė tarnautų kaip įmanoma ilgiau, rekomenduojamas didžiausias ekskavatoriaus važiavimo greitis – 3 km/h.

Norint reguliariai transportuoti savaeigę techniką, rekomenduojama sustiprinti puspriekabės rėmą skersiniais elementais.

Sustiprinus rėmą, dar kartą buvo apskaičiuotas saugus ekskavatoriaus važiavimo greitis. Kritinis važiavimo greitis į puspriekabę su sustiprintu rėmu - 1,5 m/s (5,4 km/h). Tačiau rekomenduojamas krovimo greitis būtų 4 km/h.

Atlikus rėmo tyrimą apskaičiuotas kritinis greitis puspriekabei važiuojant posūkyje. Važiuojant į 25 metrų spindulio posūkį, tuščiai puspriekabei, leidžiamas maksimalus greitis 12,76 m/s (45,94 km/h), o pakrautai – 2,37 m/s (8,5 km/h).

Darbas atliktas remiantis realiu puspriekabės sugadinimo įvykiu. Solidworks simuliacijos rezultatai taip pat buvo sulyginami su realiomis puspriekabės deformacijomis.

Šiame darbe naudoto modelio tipas gali būti naudojamas ekspertiziniuose skaičiavimuose. Tiriant sugadintas puspriekabas, aiškinantis rėmo lūžimo priežastis, bei ieškant sprendimų, kaip to išvengti.

## 5.2 Rekomendacijos

Atlikus literatūros analizę, bei tyrimus, buvo parengtos rekomendacijos, norint reguliariai transportuoti savaeigę techniką „jumbo“ tipo puspriekabe:

- 1) Pervežimams naudoti puspriekabę, turinčia sustiprintą rėmą;
  - 2) Naudoti puspriekabę, su specialiaisiais mechanizmais, skirtais savaeigės technikos transportavimui;
  - 3) Krovimui pasirinkti tinkamą vietą, su tvirtu gruntu. Taip pat atsižvelgti, kad puspriekabė krovimo metu stovėtų lygiai;
  - 4) Naudojant kilnojamą rampą vikšrinės technikos krovimui, atsižvelgti į savaeigės technikos važiavimo greitį. Kraunant ekskavatorių neviršyti 4 km/h greičio;
  - 5) Savaeigės technikos transportavimo metu atsižvelgti į kritinį važiavimo greitį posūkiuose.
- Rekomenduojama tuščia puspriekabe važiuoti į 25 metrų spindulio posūkį, ne didesniu nei 12,76 m/s (45,94 km/h) greičiu, o pakrauta – 2,37 m/s (8,5 km/h)).

## 6. IŠVADOS

- 1) Atlikus literatūros analizę, nustatyta, kad savaeigai technikai transportuoti po tentu labiausiai tinka „Jumbo“ tipo tentinė puspriekabė.
- 2) Atliktas tyrimas naudojantis solidworks programa, gauta, kad kritinis greitis važiuojant ekskavatoriumi ant puspriekabės yra – 1,3 m/s (4,68 km/h). Viršijant šį greitį, puspriekabės rėmas suluš. Norint, kad puspriekabė tarnautų kaip įmanoma ilgiau, rekomenduojama pakrovimo metu neviršyti 3 km/h.
- 3) Atliktas tyrimas su skersiniais elementais sustiprintu rėmu, gauta, kad kritinis greitis važiuojant ekskavatoriumi yra – 1,5 m/s (5,4 km/h). Viršijant šį greitį, puspriekabės rėmas suluš. Norint, kad puspriekabė tarnautų kaip įmanoma ilgiau, rekomenduojama pakrovimo metu neviršyti 4 km/h.
- 4) Apskaičiuotas kritinis greitis puspriekabei važiuojant posūkyje. Važiuojant į 25 metrų spindulio posūkį (mažiausias posūkio spindulys magistraliniuose keliuose) tuščiai puspriekabei leidžiamas maksimalus greitis 12,76 m/s (45,94 km/h), o pilnai pakrautai – 2,37 m/s (8,5 km/h).



## INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

- 1) Reklaminė nuotrauka. Prieiga per internetą: [http://www.cargobull.com/lt/Tentines-priekabos--Tentines-priekabos\\_7\\_592.html](http://www.cargobull.com/lt/Tentines-priekabos--Tentines-priekabos_7_592.html).
- 2) Reklaminė nuotrauka. Prieiga per internetą: <http://www.autotau.eu/autovezio-tralo-paslaugos.html>.
- 3) Puspriekabių gamintojo skelbimas. Prieiga per internetą: <http://www.faymonville.com/vehicles.aspx>.
- 4) A. Pavaras, J. Žvinys „Plienai“, KTU Kaunas, Technologija, 1995. 59p.
- 5) V. Kapitanovas, J. Sapragonas, „Automobilio rėmo skaičiavimas“, Kaunas, Technologija, 2001. 93 p.
- 6) Reklaminė nuotrauka Prieiga per internetą: <http://www.rampos.us.lt/rampos-pasirinkimo-metodika/>.
- 7) Reklaminė nuotrauka. Prieiga per internetą: <http://www.planet-trucks.com/kassbohrer-heavy-equipment-transport-semi-trailer/3-axles-riga/ts-vi989794/new.html>.
- 8) Reklaminė nuotrauka. Prieiga per internetą: <http://www.puspriekabe.lt/lt/index;projects;show,id.25,item.50>.
- 9) J. Sapragonas „Automobilių ir traktorių konstravimas“, Kaunas, 1997. 28p.
- 10) Ekskavatoriaus specifikaacija: [http://www.cat.com/en\\_US/products/rental/equipment/excavators/medium-excavators/18254206.html](http://www.cat.com/en_US/products/rental/equipment/excavators/medium-excavators/18254206.html).
- 11) Mokslinio straipsnio publikacija, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE):  
[http://www.academia.edu/4815980/Analytical\\_Optimization\\_of\\_Chassis\\_Frame\\_for\\_40ft\\_Dual-Axle\\_Flatbed\\_Trailer\\_Design](http://www.academia.edu/4815980/Analytical_Optimization_of_Chassis_Frame_for_40ft_Dual-Axle_Flatbed_Trailer_Design).
- 12) Mokslinio straipsnio publikacija: University of Victoria: <https://www.uvic.ca/coopandcareer/assets/docs/studentsalumni/report-Lowdon446.pdf>.
- 13) Mokslinio straipsnio publikacija: Grzegorz Koszaáka, Hubert DČbski, Lublin University of Technology, Department of Machine Design:  
[http://www.ilot.edu.pl/kones/2011/2\\_2011/2011\\_koszalka\\_debski\\_design.pdf](http://www.ilot.edu.pl/kones/2011/2_2011/2011_koszalka_debski_design.pdf)
- 14) Mokslinio straipsnio publikacija: HAN University of Applied Sciences <http://road-transport-technology.org/Proceedings/HVTT%2012/Semitrailer%20Chassis%20design%20against%20Fatigue%20on%20the%20basis%20of%20Field%20Test%20data%20-%20Horn.pdf>.
- 15) Mokslinio straipsnio publikacija: Aslı Soytürk, Hüseyin Yıldırım, Volkan Akıncı: <https://biltek.sanayi.gov.tr/Bilimsel%20almalarnz/Methods%20to%20Determine%20Torsional%20Stiffness%20in%20a%20Semi-Trailer%20Chassis%20Frame.pdf>

- 16) Mokslinio straipsnio publikacija, Wang, G., Zhao, C., and Pan, P., SAE Technical Paper 2012-01-0526: <http://papers.sae.org/2012-01-0526/>
- 17) Mokslinio straipsnio publikacija: International Journal of Traffic and Transportation Engineering 2014, 3(2): 52-64;
- 18) Mokslinio straipsnio publikacija: <http://www.worktruckonline.com/channel/safety-accident-management/article/story/2011/09/calculating-commercial-vehicle-weight-distribution-payload-made-easy.aspx>
- 19) Mokslinio straipsnio publikacija: Branislav B. Rakicevic, Sasa R. Mitic, Vladimir M. Popovic, Jovan D. Radivojevic, Goran S. Vorotovic , University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering: [http://www.mas.bg.ac.rs/media/istrazivanje/fme/vol40/1/04\\_srmitic.pdf](http://www.mas.bg.ac.rs/media/istrazivanje/fme/vol40/1/04_srmitic.pdf)
- 20) Mokslinio straipsnio publikacija: <http://longhorntrailers.com/pdf/FEDERAL-EXCISE-TAXES-F.E.T.-CALCULATIONS.pdf>
- 21) Mokslinio straipsnio publikacija: Christopher Ryan Spivey , Clemson University, Mechanical Engineering:  
[http://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1123&context=all\\_theses](http://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1123&context=all_theses)
- 22) Publikacija: <http://www.stricktrailers.com/dryvantrailers/drop/>