



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

**Povilas Gražulis**

**SPORTINIO AUTOMOBILIO LAIKANČIOSIOS  
KONSTRUKCIJOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. Dr. Rolandas Makaras

**KAUNAS, 2016**

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

**SPORTINIO AUTOMOBILIO LAIKANČIOSIOS**  
**KONSTRUKCIJOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Transporto priemonių inžinerija (621E20001)**

**Vadovas**

(parašas) Doc. Dr. Rolandas Makaras  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Lekt. Nijolė Buškuvienė  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Povilas Gražulis  
(data)

**KAUNAS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Povilas Gražulis

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Sportinio automobilio laikančiosios konstrukcijos tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Povilo Gražulio**, baigiamasis projektas tema „Sportinio automobilio laikančiosios konstrukcijos 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:

2015 m. vasario mėn. 10 d.

**MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Išduota studentui: *Povilas Gražulis*

1. Projekto tema: Sportinio automobilio laikančiosios konstrukcijos tyrimas.

Patvirtinta: 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Projekto tikslas:

Ištirti sportinio automobilio pagaminto Honda S2000 pagrindu rėmo stiprumą

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

Atlikti automobiliu laikančiųjų konstrukcijų apžvalgą. Išanalizuoti erdvinio rėmo konstrukciją sudarančius elementus. Eksperimento metu nustatyti erdvinio rėmo elemento taško įtempius ir deformacijas. Sudaryti skaičiuojamąjį baigtinių elementų modelį ir gautus rezultatus palyginti su natūrinių bandymų rezultatais.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)<sup>1</sup>:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 9 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 20 d.

Vadovas: Rolandas Makaras

(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(parašas)

Užduotį gavau: Povilas Gražulis

(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(parašas)

---

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

Gražulis, Povilas. Sportinio automobilio laikančiosios konstrukcijos 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:** automobilis, erdvinis rėmas, tenzorezistorius, apkrova, įtempimai, deformacijos, FIA,

Kaunas, 2016. 46 p.

### **SANTRAUKA**

Didėjant bendram automobilių skaičiui didėja ir sportinių automobilių kiekis. Sportiniuose automobiliuose vis didesnis dėmesys skiriamas saugumui, konstrukcijos tvirtumui bei minimaliai masei.

Darbe atlikta automobilių laikančiųjų konstrukcijų apžvalga. Išanalizuoti erdvinio rėmo konstrukciją sudarantys elementai ir sujungimo būdai. Eksperimentinio bandymo metu nustatyta erdvinio rėmo elemento taško įtempiai ir deformacijos kurie vėliau palyginti su skaitiniu BE modeliu. Paruoštas skaičiuojamasis baigtinių elementų modelis SolidWorks programos aplinkoje. Visi stiprumo skaičiavimai atlikti ANSYS WorkBench paketo aplinkoje. Pateiktos rekomendacijos rėmo optimizavimui.

Tyrimų metodika ir įranga turi potencialą tobulinimui. Tobulinant įrangą tikimasi nesudėtingai, pigiai tačiau itin tiksliai nustatinėti jėgas veikiančias automobilio laikančiąsias konstrukcijas ir konstrukcijų deformacijas realiu laiku.

Gražulis, Povilas. *Investigation of the Sports Car Frame: Master's thesis* /supervisor assoc. dr. Rolandas Makaras. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

**Key words:** Car, space frame, load, tensoresistor, stress, deformation, FIA.

Kaunas, 2016. 46 p.

### **SUMMARY**

Increasing the total number of cars is increasing and the number of sports cars. Sports car more and more attention paid to safety, structural strength and minimum weight.

In the paper reviewed constructions of sports' cars frames. Analyzed the space- frame structure forming elements and bonding techniques. Experimental testing showed space frame element point stresses and strains. Test results are compared with analytic results. Sports car frame model designed in SolidWorks environment, while all the strength calculations are carried out in ANSYS WorkBench environment package. Made recommendations for the frame optimization.

Research methods and equipment have the potential to improve. Software and hardware development goal: the ability to easily and cheaply but precisely measure forces and deformations of cars frames or structural elements points in real time.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Turinys</b>   |           |
| <b>ĮVADAS</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>1. LITERATŪTOS ANALIZĖ.</b> .....                               | <b>9</b>  |
| <b>1.1. Laikančiosios transporto priemonių konstrukcijos</b> ..... | <b>9</b>  |
| <b>1.2 Erdvinių rėmų sandara</b> .....                             | <b>12</b> |
| <b>1.3. Suvirintieji sujungimai.</b> .....                         | <b>18</b> |
| <b>2.TYRIMŲ DALIS</b> .....  | <b>21</b> |
| <b>2.1 Tyrimo objektas</b> .....                                   | <b>21</b> |
| <b>2.2. Tiriamojo automobilio sandara.</b> .....                   | <b>24</b> |
| <b>2.3. Tiriamojo automobilio masės nustatymas.</b> .....          | <b>25</b> |
| <b>2.4. Tenzometrinių jutiklių veikimo principai</b> .....         | <b>27</b> |
| <b>2.4. Eksperimento eiga</b> .....                                | <b>29</b> |
| <b>3.SKAITINIS MODELIAVIMAS</b> .....                              | <b>33</b> |
| <b>3.1. Esamos konstrukcijos analizavimas</b> .....                | <b>33</b> |
| <b>3.1. Galimi konstrukcijos tobulinimo variantai.</b> .....       | <b>39</b> |
| <b>DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS</b> .....         | <b>43</b> |
| <b>IŠVADOS</b> .....   | <b>44</b> |
| <b>LITERATŪROS SĄRAŠAS.</b> .....                                  | <b>45</b> |

## ĮVADAS

Besivystant automobilių pramonei ir didėjant bendram automobilizacijos lygiui didėja ir sportinių automobilių kiekis. Daugėjant sportinių automobilių kiekiui vis daugiau dėmesio skiriama turimos technikos kokybei - virtumui, standumui, mažesnei masei.

Sportiniai automobiliai – skirti ne tik smagiai praleisti laisvalaikį. Tai preciziški ir tikslūs inžineriniai kūriniai reikalaujantys žinių, laiko ir kruopštaus darbo. Kaip ir kiekvienoje transporto priemonėje rėmas turi atlaikyti tenkančias apkrovas. Tačiau turi būti netik itin lengvas ir nebloginti valdomumo bet ir standus jog apsaugotų vairuotoją nuo sužeidimų ar žūties galimos avarijos atveju.

Darbo tikslas: ištirti sportinio automobilio pagaminto Honda S2000 pagrindu rėmo stiprumą

- Atlikti automobiliu laikančiųjų konstrukcijų apžvalgą
- Išanalizuoti erdvinio rėmo konstrukciją sudarančius elementus į.
- Eksperimentinio bandymo metu nustatyti erdvinio rėmo elemento taško įtempius ir deformacijas

- Sudaryti skaičiuojamąjį baigtinių elementų modelį ir gautus rezultatus palyginti su natūrinių bandymų rezultatais.

Šiame darbe aprašoma tyrimų metodika turi didelį potencialą tyrimų įrangos tobulinimui. Tobulinant įrangą tikimasi nustatinėti automobilio laikančiąsias konstrukcijas veikiančias jėgas bei konstrukcijų deformacijas realiu laiku.



## 1. LITERATŪROS ANALIZĖ.

### 1.1. Laikančiosios transporto priemonių konstrukcijos

Transporto priemonių laikančiosios konstrukcijos yra pagrindinės dalys prie kurių tvirtinami visi agregatai, t. y. pakabos, stabdžių, hidraulikos ir elektronikos, o jeigu tai savaeigė transporto priemonė, tai varikliai, pavarų dėžės, vairuotojo kabinos ir krovinių kėbulai.

Pagrindinės funkcijos:

- Sujungti visus mazgus į visumą;
- Saugoti vairuotoją ir krovinį;
- Atlaikyti tenkančias statines ir dinamines apkrovas.

Pagrindiniai transporto priemonių laikančiųjų konstrukcijų tipai yra: monokokai, kėbulai, rėmai, liemens tipo rėmai, erdviniai rėmai[1]

**Monokokai.** Monokokams būdinga kevalo tipo konstrukcija kurių centras yra vairuotojo vieta, kitaip dar vadinamas „saugos narvas“. Monokokų privalumas didelis standumas ir stiprumas tačiau palyginus maža masė. Didžiausi trūkumai: sudėtinga gamyba, remontas ir beveik neįmanomas elementų pakeitimas analogais. Dažniausiai naudojami sportiniuose automobiliuose ar egzotiniuose automobiliuose kaip „Bugatti“ ar „Lamborghini“ ir kt. 1 pav. pavaizduota „Bugatti Veyron“ konstrukcijos schema.



1 Pav. Bugatti veyron konstrukcija[21].

Automobilis susideda iš priekinio porėmio laikančio priekinę važiuoklę bei radiatorius, monokokinio saugos narvo ir galinio porėmio laikančio transmisiją ir galinę važiuoklę. Visa galinė dalis prie monokoko tvirtinama viso tik 11 titaninių varžtų.[21]

**Kėbulai.** Kėbulai kaip laikančiosios konstrukcijos naudojami daugumoje šiuolaikinių lengvųjų ir komercinių automobilių. Kėbulas yra sudėtinga karkasinė deformacinių zonų ir keleivių saugos narvo elementų visuma. Dauguma kėbulo karkaso elementų kaip pertvaros, išorinės panelės

yra pagamintos iš šampuotų plieno lakštų. Kėbulo elementai yra sujungiami taškinio suvirinimo, kniedijamos arba suvirinamos lazeriniu būdais. Devyni iš dešimties sportinių automobilių yra priskiriami kėbulinių automobilių klasei.[5]

**Rėmai.** Rėmai dažniausia būna kopėčių tipo, periferiniai arba x-formos. X-formos rėmuose nereikalingi kieti slenksčiai, o periferiniuose rėmuose nereikalingi tuneliai kardaniniams velenams ar išmetimo sistemoms. Kopečių tipo rėmas t. y. du lonžeronai sujungti skersėmis. Lonžeronai gali būti išlankstyti dažniausiai ties tiltais (2 pav. pavaizduotas rėmas lenktais lonžeronais), didžiųjų tiesūs. Tiesaus tipo lonžeronuose gali kisti jų skerspjuvio plotas, atsižvelgiant į numatomą agregatų išdėstymą. Tiesaus tipo rėmas pavaizduotas 3 pav.[1, 9]



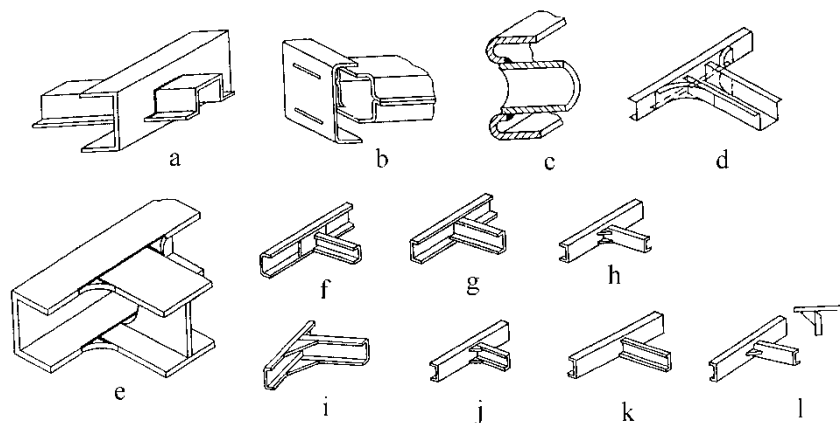
2 pav. Rėmas lenktais lonžeronais[1]



3 pav. rėmas tiesias lonžeronais[1].

Kopėčių tipo rėmuose didelį vaidmenį atlieka skersės padidindamos rėmo stiprumą ir standumą. Pagrindiniai skersių prijungimo būdai: kai lonžerone pramušama skylė skersei (4 pav., a). Virinama iš vienos ar abiejų pusių - dažniausiai - tik iš lauko. Skersės gali būti lovinio profilio, kampuočiai, apvalūs arba stačiakampiai vamzdžiai. Prie išlendančių galų gali būti privirinti lingių gembės. Jei ne - skersės iškiša tik tiek, kiek reikia virinimui. Šio būdo modifikacija parodyta 4 pav., b. Čia skersės tvirtinamos lonžerone pramušus dvi stačiakampes skylės, pro kurias pakišamos skersės ar tarpinės jungiančios detalės iškyšos. 4 pav., c konstrukcijoje išvengiama tarpinių detalių.

Šie jungimo būdai, kaip manoma, padeda išvengti įtempių koncentracijos. Bandymai, atlikti prastuose keliuose, tai patvirtino. Jungiamų skersių skerspjūvio forma gali būti įvairi. [1, 9].



4 pav. Lonžeronų jungimo su skersėmis būdai virintuose sunkvežimių rėmuose [6] : a – virinama iš vienos ar dviejų pusių, b – tvirtinus pramušus skyles, c – be tarpinių detalių, d, e – su pagalbinėmis detalėmis, f – visu kontūru, i, k – su pagalbinais elementais, l – su trikampiu elementu[1].

Virintuose rėmuose įvairios formos skersės jungiamos su lonžeronais lankiniu suvirinimu naudojant pagalbines jungiančias detales (4 pav., d, e). Pagalbinės plokštelės sujungimo vietoje sudaro švelnų perėjimą. Skersės gali būti jungiamos su lovio tipo lonžeronu suvirinant visu kontūru (4 pav., f - h), arba naudojant pagalbinius elementus (4 pav., i - k). Būdo (k) modifikacija parodyta 4 pav., l. Čia skersės lentynėlės nupjautos kampu, o standumas padidintas privirinant papildomą trikampį elementą sienelės viduryje.[1]

Rėminės konstrukcijos sportiniai automobiliai karaliavo iki 7 dešimtmečio pabaigos kai juos dėl didesnio stiprumo, standumo ir mažesnės masės išstūmė kėbulai. Šiuo metu rėmai neatsiejama bekelės ir sunkiasvorių automobilių sporto dalis.

**Liemens tipo rėmai.** Liemens tipo rėmai automobilių sporte yra labai retai pasitaikantys. Šio tipo rėmai sudaryti iš transmisijos ir agregatų korpusų bei tarpinių detalių. Šio tipo rėmai retai naudojami nes sunku komponuoti ir prižiūrėti agregatus. Tokio tipo rėmai pagrinde naudojami žemės ūkio technikoje – traktoriuose, ekskavatoriuose krautuvuose.

**Erdviniai rėmai.** Erdviniai rėmai yra erdvinės santvaros tipo konstrukcijos, kurios gaminamos iš nedidelio skersmens plonasienių vamzdžių. Ši konstrukcija dažniausiai naudojama sportinio tipo ar retuose, savadarbiuose, automobiliuose. 5. Pav pavaizduotas Kauno Technologijos universiteto studentų projekto „Studentiška Formulė“ automobilio rėmas.



5. Pav. studentiškos formulės rėmas

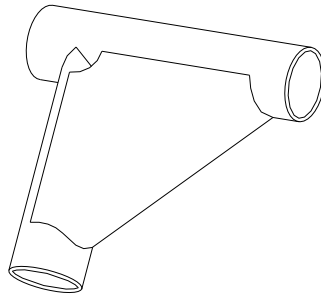
Privalumai: paprasta gamyba, didelis standumas ir stiprumas, galimybė vamzdinėms konstrukcijoms atlikti dvigubą paskirtį (alyvos, vandens cirkuliacija).

## 1.2 Erdvinių rėmų sandara

Pagrindinės erdvinių rėmų sportiniams automobiliams sudedamosios dalys (atsižvelgiant į FIA J priedą) yra[20]

- Pagrindinis apsauginis lankas (pav., 6 a): konstrukcija susidedanti iš vieno beveik vertikalaus (vertikalus kampas ne daugiau +/- 10 laipsnių) rėmo ar lanko, einančio skersai automobilio iškart už priekinių sėdynių.
- Šoninis apsauginis lankas (pav., 6 b): konstrukcija, susidedanti iš beveik vertikalaus ir išilginio rėmo ar lanko, einanti išilgai kairiojo ar dešiniojo automobilio šono. Galinė šoninio lanko atrama turi būti iškart už priekinių sėdynių. Priekinė atrama turi būti priešais priekinio stiklo ir durų statramsčius.
- Šoninis apsauginis puslankis (pav., 6 c): identiška šoniniam rėmui, tačiau be galinės vertikalaus atramos.
- Išilginis elementas: beveik išilginis vamzdis, jungiantis viršutines priekinio ir pagrindinio lankų dalis.
- Skersinis elementas: skersinis vamzdis, jungiantis šoninių rėmų ar pusrėmių viršutines dalis.

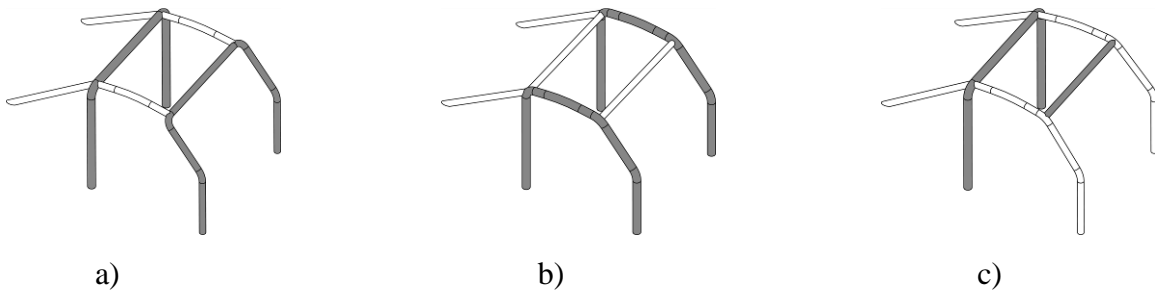
- Įstrižinis elementas: skersinis vamzdis tarp viršutinio pagrindinio rėmo taško, ar vieno iš skersinio elemento šoninių lankų atveju, ir apatinio tvirtinimo taško priešingoje pusėje arba viršutinis spyrio galas ir apatinis spyrio tvirtinimo taškas.
- Tvirtinimo padas: plokštelė privirinta prie lanko vamzdžio, leidžianti varžtais ar suvirinimo būdu jį pritvirtinti prie kėbulo ar važiuoklės konstrukcijų, paprastai prie sutvirtinimo plokštės.
- Sutvirtinimo plokštė: metalinė plokštė, pritvirtinta prie kėbulo ar važiuoklės konstrukcijos po lankų tvirtinimo padais, kad geriau pasiskirstytų konstrukcijai tenkanti apkrova.
- Kampinis sujungimas: U formos (5 pav.) sujungimo mazgų sustiprinimas, pagamintas iš sulenkto metalo lakšto, kurio storis ne mažesnis nei 1,0 mm.
- Šio sustiprinimo kraštai turi būti nuo lenkimo ar sujungimo kampo nuo 2 iki 4 kartų didesniu atstumu už didesniojo vamzdžio diametrą.



5 pav. Kampinis sujungimas[20].

Iš anksčiau paminėtų elementų sudaromi erdviniai rėmai. Pagrindinė rėmų konstrukcija privalo būti sudaroma pagal tarptautinius standartus.

1 pagrindinis lankas + 1 priekinis lankas + 2 išilginiai elementai + 2 spyriai + 6 montavimo padai (6 pav. a) arba 2 šoniniai lankai + 2 skersiniai elementai + 2 spyriai + 6 tvirtinimo padai (6 pav. b) arba 1 pagrindinis lankas + 2 šoniniai puslankiai + 1 skersinis elementas + 2 spyriai + 6 montavimo padai (6 pav. c).[22]



6 pav. Saugos lankų supaprastinta schema[20].

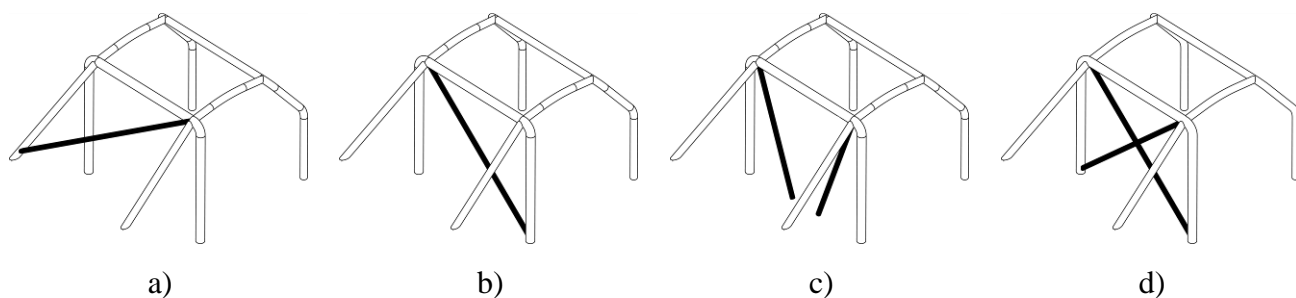
Vertikali pagrindinio lanko dalis turi būti kuo arčiau priglundusi prie vidinių kėbulo kontūrų ir jo apatinė dalis gali turėti tik vieną linkimą, be to apatinė jo dalis turi būti vertikali. Priekinio arba

šoninio lanko priekinė atrama turi eiti kiek galima arčiau priekinio stiklo statramsčio ir turėti tik vieną įlinkį su apatine vertikalia dalimi. [13]

Gaminant saugos rėmą, sujungimai tarp išilginio elemento ir priekinio bei pagrindinio rėmų ar šoninių lankų ir pagrindinio rėmo privalo būti stogo lygyje. Visais atvejais stogo lygyje negali būti daugiau nei 4 nuimamų sujungimų. Spyriai turi būti pritvirtinti prie pagrindinio lanko šalia stogo linijos ir šalia viršutinio išorinio išlinkimo abiejose automobilio pusėse, gali būti su išardomais sujungimais. Statmens atžvilgiu jie turi sudaryti  $30^\circ$  kampą, turi būti nukreipti atgal, būti tiesūs ir eiti kuo arčiau vidinių kėbulo sienelių.[6]

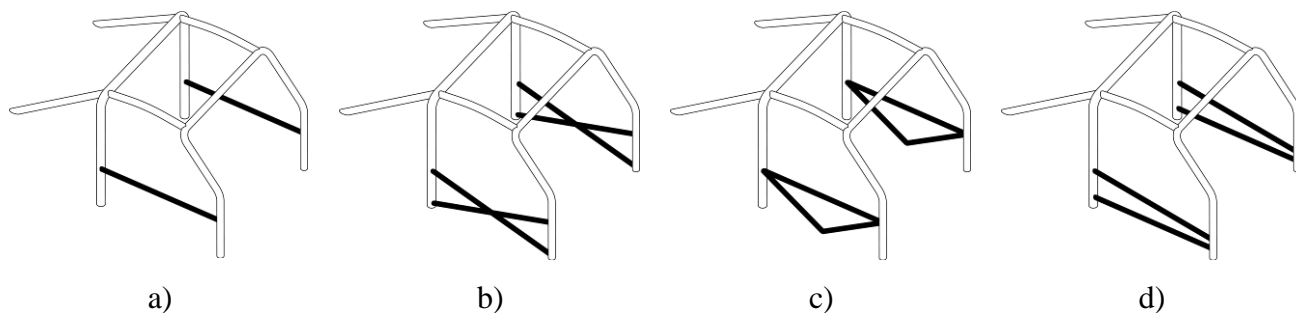
Pagrindiniame lanke rėmai privalo turėti du įstrižinius elementus, pavaizduotus (7 pav., d). Elementai privalo būti tiesūs ir gali būti nuimami.

Apatinis įstrižainės galas privalo jungtis prie pagrindinio lanko ne toliau kaip 100 mm nuo jo tvirtinimo padų (7 pav., c). Viršutinis įstrižainės galas privalo jungtis prie pagrindinio lanko ne toliau kaip 100 mm nuo sujungimo su spyriu arba spyris turi jungtis su pagrindiniu lanku ne toliau kaip 100 mm nuo sujungimo su įstrižaine vietos.[20]



7 pav. Saugos lankų papildomi elementai: [20].

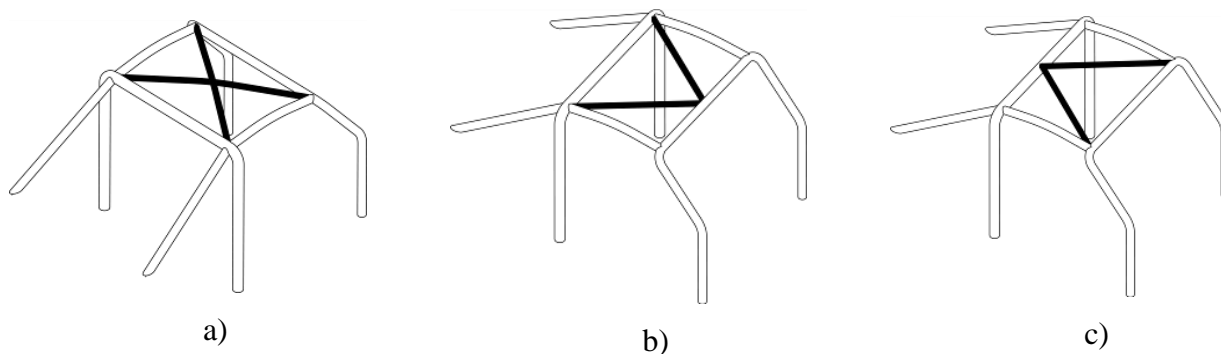
Automobilio šonuose privalo būti pritvirtinti vienas arba keletas išilginių elementų pagal (8 pav., a, b, c, d), (8 pav., b, c ir d) Šoninė apsauga turi būti kuo aukščiau, tačiau viršutinis jos tvirtinimo taškas neturi būti aukščiau nei pusė bendrojo durų aukščio matuojant nuo slenksčio. Jei šis tvirtinimo taškas yra prieš durų angą arba už jos, aukščio ribojimas taip pat galioja atitinkamai tarpinei sekcijai tarp spyrio ir durų angos. Aukštis ribojamas dėl galimybių vairuotojui įlipti ir išlipti iš automobilio.[20]



8 pav. Saugos lankų supaprastinta schema[20].

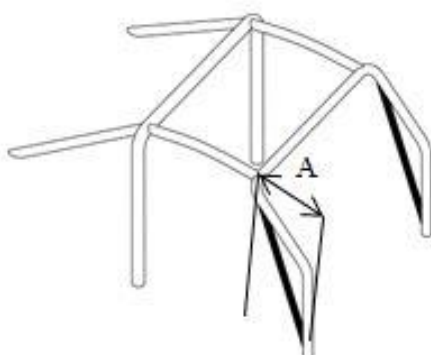
Tuo atveju, kai durų lankai yra „X” formos (kryžminiai spyriai), (8 pav., b) rekomenduojama, kad apatiniai kryžminių spyrių tvirtinimo taškai būti tiesiogiai ant išilginio elemento ir kad mažiausiai viena „X” detalė būtų iš vientiso vamzdžio. [16]

Viršutinė saugos rėmo dalis privalo atitikti vieną iš (9 pav., a, b, c). Sustiprinimai gali atkartoti stogo formos išlinkimus.



9 pav. Saugos lankų supaprastinta schema[20].

A statramsčio sutvirtinimai privalo būti kiekvienoje priekinio lanko pusėje, jei dydis „A” (10 pav.) yra didesnis nei 200 mm. Šis sustiprinimas gali būti sulenktas tiek, kad jis atrodytų tiesus žiūrint iš šono, ir kad lenkimo kampas nebūtų didesnis nei  $20^\circ$ . Jo viršutiniai galai privalo būti ne toliau kaip 100 mm nuo sujungimų tarp priekinio (šoninių) lanko ir išilginių (skersinio) elementų. Jų apatiniai galai privalo būti ne toliau kaip 100 mm nuo priekinio (šoninio) lanko priekinių kojų. Šis dydis taipogi ribojamas dėl erdvės vairuotojo įlipimui ir išlipimui.[20]



10 pav. Saugos rėmo priekinio lango stovo sustiprinimas[20].

Saugos rėmai privalomai stiprinami mažiausiai dviem kampiniais sujungimais. Paprastai lenkimų ir sujungimų sutvirtinimai: sujungimai tarp pagrindinio lanko įstrižinių elementų; stogo sustiprinimų durų šoninės apsaugos elementams; durų šoninės apsaugos elementų ir priekinio stiklo rėmo sutvirtinimų (11 pav.) Jei durų šoninės apsaugos elementai ir priekinio lango stovo sutvirtinimai nėra toje pačioje plokštumoje, sutvirtinimai gali būti padaryti iš lakštinio plieno. Visi elementai ir sustiprinimai gali būti naudojami atskirai arba sujungiami tarpusavyje.[16]

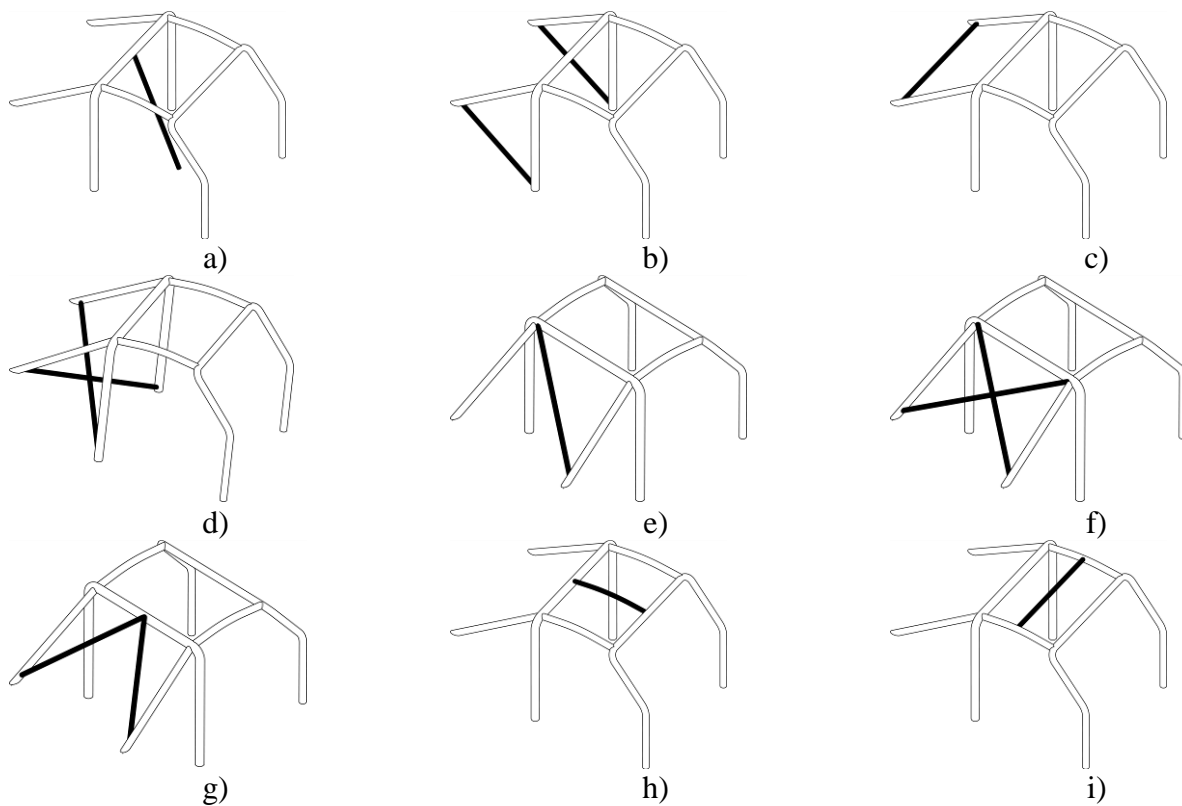


Saugos rėmo priekinio lango stovo sutvirtinimas (11 pav. Šis sustiprinimas gali būti sulenktas tiek, kad jis atrodytų tiesus žiūrint iš šono, ir kad lenkimo kampas nebūtų didesnis nei  $20^\circ$ .

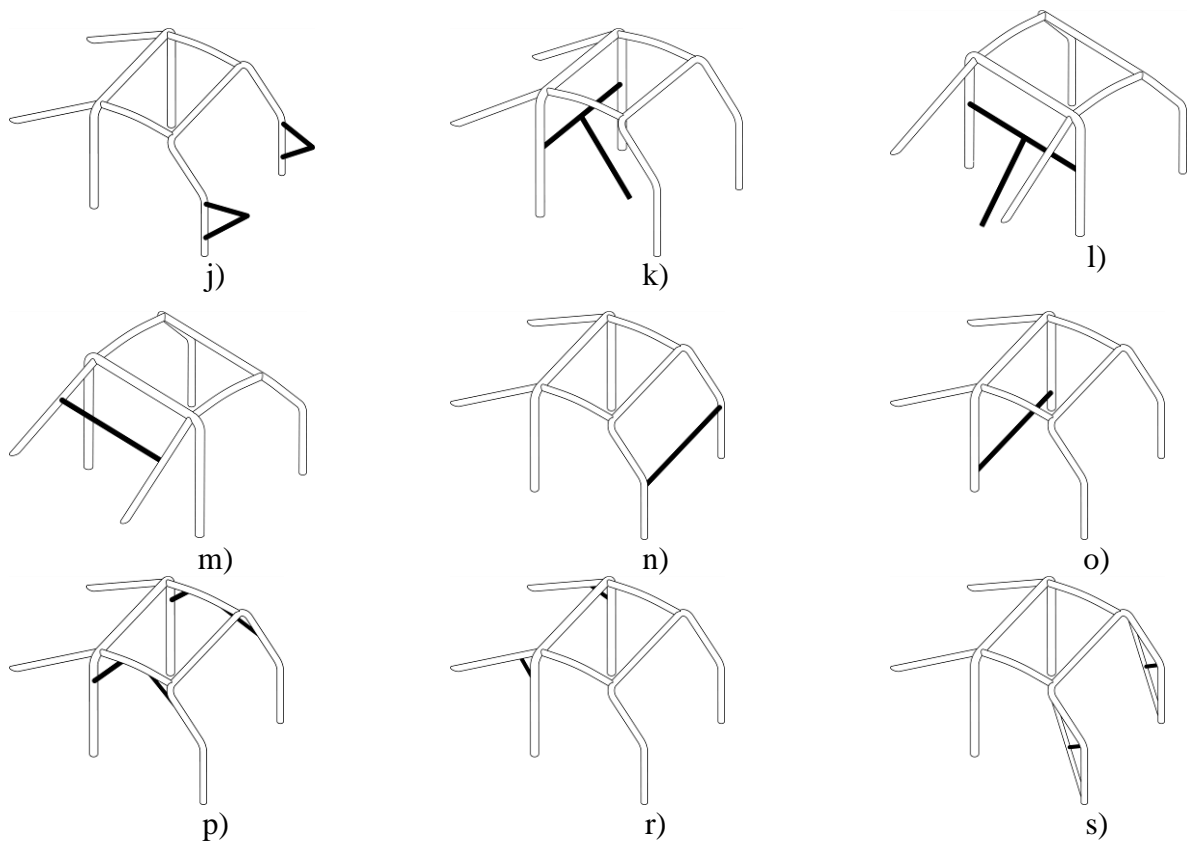
Spyrių įstrižainės (11 pav., f): (11 pav., f), konfiguracija gali būti pakeista (11 pav., g), jei naudojamas stogo sustiprinimas pagal (11 pav., c).

Priekinės pakabos tvirtinimo taškai (11 pav., j): pailginimai privalo būti sujungti su viršutiniais priekinės pakabos viršutiniais tvirtinimo taškais.[20]

Skersiniai elementai (11 pav. nuo k iki o): skersinius elementus, pritvirtintus prie pagrindinio lanko arba tarp spyrių, galima naudoti saugos diržų tvirtinimui (naudoti išardomus elementus, draudžiama). Konstrukcijoje, aprašytoje (11 pav., k ir l), kampas tarp centrinio išilginio stiprinimo ir vertikalės turi būti ne mažiau  $30$  laipsnių. Skersinis elementas, sumontuotas prie priekinio lanko, neturi įsikišti į erdvę, skirtą ekipažui. Jis gali būti sumontuotas kaip galima aukščiau, tačiau jo žemiausias kampas neturi būti aukščiau kaip aukščiausias prietaisų panelės taškas. Lenkimų ir sujungimų sustiprinimai (11 pav. nuo p iki s.): Sustiprinimai privalo būti pagaminti iš vamzdžių ar U formos sulenkto metalo lakšto. Komponentų storis privalo būti ne mažesnis kaip  $1,0$  mm. Vamzdinių sustiprinimų galai privalo būti nutolę daugiau kaip pusė atstumo žemyn ar išilgai elemento, prie kurio jie pritvirtinti, išskyrus tuos priekinio lanko sujungimus, kurie gali sujungti durų šoninius vamzdžius su priekiniu lanku.[16, 17, 20]



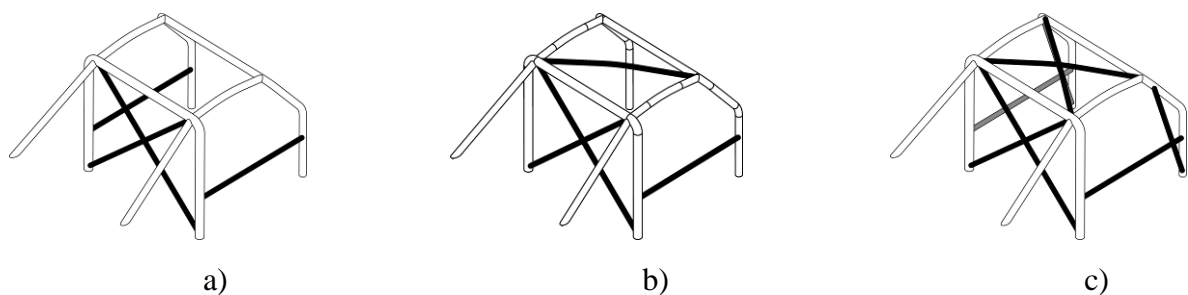




11 pav. Saugos lankų supaprastinta schema[20].

a) papildomas pagrindinio lanko vidurio sustiprinimas; b) spyris ir pagrindinis lankas sustiprinami tarpusavyje; c) spyrių sutvirtinimas; d) „x“ formos spyrių ir pagrindinio lanko sustiprinimai; e) spyrių sustiprinimas istrižu elementu; f) spyrių sustiprinimas „x“ forma; g) „V“ formos spyrių sustiprinimas; h) stogo sustiprinimas išilginiu elementu; i) stogo sustiprinimas skersiniu elementu; j) priekinio lanko sujungimas su priekine pakaba; k) skersinis elementas įtvirtintas pagrindiniame lanke su galimybe prie jo tvirtinti saugos diržus; l) skersinis elementas įtvirtintas pagrindiniame lanke su galimybe prie jo tvirtinti saugos diržus; m) spyriai sutvirtinti skersiniu elementu; n) priekinis lankas sutvirtintas skersiniu elementu; o) pagrindinis lankas sutvirtintas skersiniu elementu; p, r, s) lenkimų ir sujungimų sustiprinimai.

Minimali saugos rėmo konfigūracija lyginant reikalavimus galiojusius nuo 2002 iki 2006 metų kiek darėsi sudėtingesnė. Išskiriami trys etapai. Pirmasis 2002-01-01 iki 2004-12-31. 12 pav. A, 2005-01-01 iki 2006-12-31 12 pav B ir nuo 2006 metų 12 pav C.



12 pav. Saugos lankų minimalios konfigūracijos supaprastinta schema[20].

Rėmai paprastai sudaromi iš apvalių besiūlių vamzdžių. Matmenys pateikiami 1 lentelėje.

1.lentelė.

Minimalūs reikalavimai saugos rėmų medžiagoms[20]

| Medžiaga   | Minimali tempimo stiprumo riba | Minimalūs matmenys (mm)   | Panaudojimas  |
|--|--------------------------------|---|---|
| Šalto tempimo besiūlis anglinis plienas (turintis maks. 0,3 % anglies) | 350 N/mm <sup>2</sup>          | 45 x 2.5<br>(1.75"x0.095")<br>arba<br>50 x 2.0<br>(2.0"x0.083") | Pagrindinis lankas, šoniniai lankai ir jų sujungimai, priklausomai nuo konstrukcijos    |
|  |                                | 38 x 2.5<br>(1.5"x0.095")<br>arba<br>40 x 2.0<br>(1.6"x0.083")  | Išilginiai puslankiai ir kiti saugos lankų elementai, jei kitaip nėra parašyta aukščiau |

Vamzdžiai turi būti lankstomi šaltu būdu, o ašinės linijos lenkimo spindulys turi būti ne mažesnis nei trigubas vamzdžio skersmuo. Jei vamzdis lenkimo metu susiploja, mažesniojo ir didesniojo skersmenų santykis turi būti 0,9 arba didesnis. Lenkimo vieta privalo būti lygi, be raukšlių ar įtrūkimų. [17]

### 1.3. Suvirintieji sujungimai.

Saugos lankuose suvirimo būdai nėra stipriai reglamentuojami. Atrodo gan primityvu tačiau pasikliaunama vizualine siūlių būkle. Geros vizualinės būklės siūlės visuomet bus geresnės nei prastai atrodančios su aiškiais įtrūkais ar šlako intarpas.[18]

Reglamentuojami suvirinančio asmens pasirengimas šiam darbui. Jis turi turėti specialią atestaciją. Atestaciją valstybėse išduoda FIA patvirtintos organizacijos. Lietuvos atestaciją išduoda LASF. (Lietuvos automobilių sporto federacija).[17]

Suvirintieji sujungimai yra racionaliausi ir labiausiai paplitę neišardomi sujungimai. Dažniausiai naudojami šie suvirinimo būdai: • Lankinis suvirinimas; Suvirinimas apsauginėje dujų aplinkoje; Dujinis suvirinimas; Taškinis suvirinimas; Lankinis suvirinimas po fliuso sluoksniu; Suvirinimas spinduliais.

Suvirintų jungčių privalumai:

- Galimybė gauti didelių gabaritų detales (rėmai, korpusai, vamzdynai, tiltai).
- Detalių masės sumažėjimas lyginant su lietomis ar kniedytomis detalėmis
- Galimybė automatizuoti suvirinimo procesą

Suvirintų jungčių trūkumai:

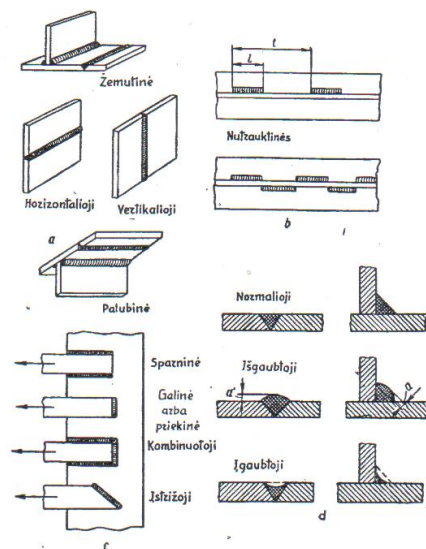
- Gaunami liekamieji įtempimai (dėl temperatūrinių deformacijų)
- Dėl vietinio terminio poveikio netoli siūlės gali pasikeisti pagrindinio metalo mechaninės charakteristikos.
- Suvirinant lydymu galimi siūlių defektai. T.y. šlakų intarpai, dujų pūslelės nepilnas suvirinimas ir kita [9].

Suvirinimo siūlės skirstomos į šias grupes: Pagal padėtį erdvėje – žemutinės, horizontaliosios, vertikaliosios ir palubinės (10 pav., a). Paprasčiausiai suvirinama žemutinė siūlė, o sunkiausiai – palubinė. Palubines siūles leidžiama suvirinti suvirintojams, kurie specialiai yra mokęsi šios rūšies suvirinimo. Palubines siūles suvirinti elektros lanku sunkiau, negu dujomis. Suvirinti horizontaliąsias ir vertikaliąsias siūles, esančias vertikaliame paviršiuje, šiek tiek sudėtingesnis dalykas, negu suvirinti žemutinės siūles.[19]

Pagal veikiančias jėgas – sparninės, galinės arba priekinės, kombinuotosios ir įstrižosios (13 pav. b).

Pagal ilgumą – ištisinės ir neištisinės (13 pav. c). Neištisinės siūlės naudojamos tais atvejais, kai sujungimas neturi būti sandarus, o pagal apskaičiavimą stiprumui nebūtina ištisinė siūlė. Neištisinės siūlės atskirų ruoželių ilgis ( $l$ ) yra nuo 50 iki 150mm; paprastai atstumas tarp siūlės ruoželių 1,5 – 2,5 karto didesnis už ruoželio ilgį; dydis  $t$  vadinamas *siūlės žingsniu*. Neištisinės siūlės naudojamos gana plačiai, nes sutaupoma prilydyto metalo, pigiau atsieina suvirinimas ir sugaištama mažiau laiko.[19]

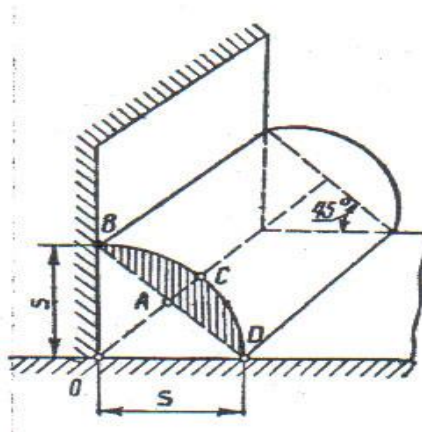
Pagal išgaubtumą – normaliosios, išgaubtosios ir įgaubtosios (13 pav., d). Siūlės a išgaubtumas priklauso nuo naudojamų elektrodų tipo; naudojant plonai glaistytus elektrodus, gaunamos labai išgaubtos siūlės; naudojant storai glaistytus elektrodus, dėl didelio išsilydžiusio metalo tankumo paprastai gaunamos normaliosios siūlės[19]



13 pav. Suvirinimo siūlių tipai. a- pagal padėtį erdvėje. b- pagal veikiančias jėgas. c- pagal ilgumą. d- pagal siūlės paviršių išgaubimo laipsnį[9]

Tyrinėjimai parodė, kad, esant labai išgaubtai siūlei, nepadidėja jos stiprumas, ypač jeigu suvirintą sujungimą veikia kintamos apkrovos ir vibracija. Tai aiškinam tuo, kad, esant labai išgaubtom siūlėms, negalima gauti sklandaus perėjimo nuo siūlės rumbelės prie pagrindinio metalo ir toje vietoje susidaro tarsi siūlės briaunos įpjova; šioje vietoje atsiranda gana didelė įtempimų koncentracija. Todėl, veikiant kintamoms, smūginiams arba vibracinėms apkrovoms, nuo šios vietos gali pradėti irti suvirintas sujungimas. Labai įgaubtos siūlės yra neekonomiškos, nes joms sunaudojama daugiau elektrodų, sugaištama daugiau laiko ir suvartojama daugiau elektros energijos.[19]

Pagal sujungimo tipą – sandūrinės ir kampinės (14 pav.). Kampinės siūlės naudojamos užleistiniuose, pridurtiniuose, kampiniuose sujungimuose su antdėklais.



14 pav. Kampinė siūlė[9]

Užbrūkšniuotas plotas ABCD parodo siūlės išgaubtumo laipsnį, lyginant su normaliaja, ir ji neįeina į skaičiavimus, nustatant suvirinimo sujungimo stiprumą. Kampinės siūlės daromos taip, kad jų statiniai būtų lygūs, t. y.  $OB=OD=k$ . Kampas tarp kraštinių OD ir DB lygus  $45^\circ$  [9].

Apibendrinus sportinio automobilio erdvinį rėmą apibrėžia minimali konstrukcijos konfigūracija, minimalaus skersmens apvalūs besiūliai vamzdžiai, plieno markė ir suvirintojo kvalifikacinis laipsnis.

## 2. TYRIMŲ DALIS.

### 2.1 Tyrimo objektas

Tiriamasis automobilis - Honda S2000 pagrindu sukurtas bolidas pavaizduotas 15 pav.



15 pav. Lenktyninis automobilis sukurtas Honda S2000 pagrindu. Vaizdas iš šono.[28]

Šis automobilis ilgo praktinio tobulinimo rezultatas. Tačiau jis turi vieną trūkumą. Analitiniai laikančiosios konstrukcijos skaičiavimai po keleto paskutiniųjų patobulinimų nebuvo atlikti. Automobilio techniniai duomenys 2 lentelėje

2 Lentelė.

Automobilio parametrai

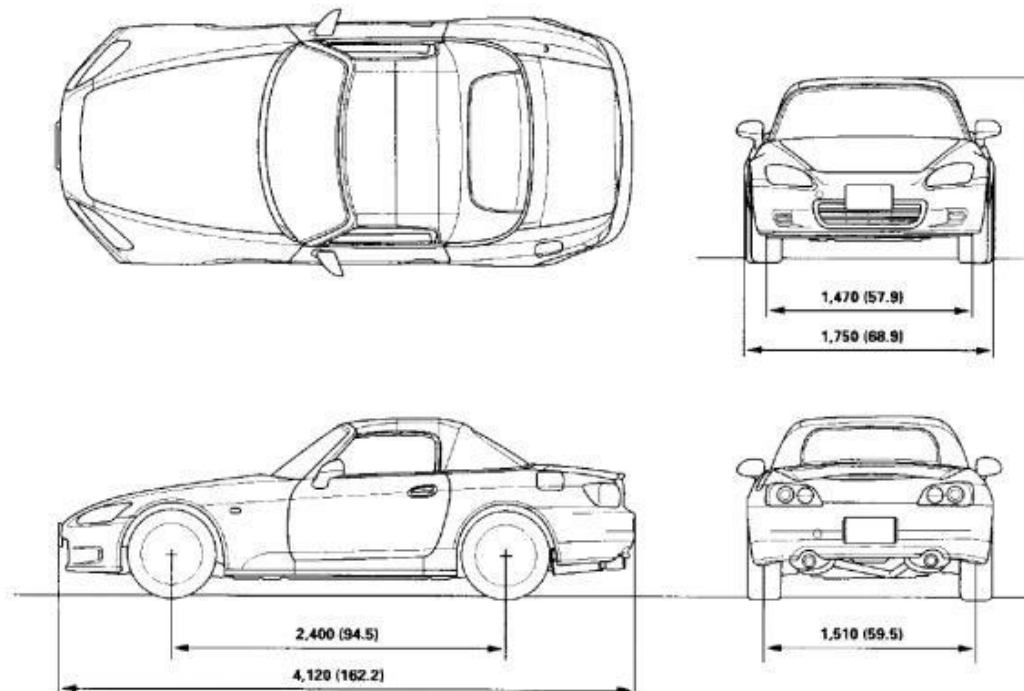
| Matmuo                                | Reikšmė                  |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Automobilio ilgis $L_a$ , mm          | 4350                     |
| Automobilio plotis $B_a$ , mm         | 1850                     |
| Automobilio aukštis $H_a$ , mm        | 1250                     |
| Automobilio bazė, mm                  | 2400                     |
| Aerodinaminis koef. $c_x$             | 0,32                     |
| Paruošto automobilio masė, kg         | 1040                     |
| <b>Charakteristika</b>                | <b>Reikšmė (aprašas)</b> |
| Cilindrų skaičius                     | 4                        |
| Cilindrų išdėstymas                   | L                        |
| Variklio darbinis tūris $\text{cm}^3$ | 1997                     |
| Maksimali galia kW                    | 350 / prie 8300 aps/min  |
| Maksimalus sukimo momentas Nm         | 307 / prie 6500 aps/min  |
| Kuro tipas                            | benzinas                 |
| Suspaudimo laipsnis                   | 10,0:1                   |
| <b>Pavarų perdavimo santykiai</b>     |                          |
| I - pavara                            | 3,133                    |
| II – pavara                           | 2,045                    |
| III – pavara                          | 1,481                    |
| IV – pavara                           | 1,161                    |
| V – pavara                            | 0,970                    |
| VI - pavara                           | 0,810                    |
| Atbulinė pavara                       | 2,80                     |
| Pagrindinė pavara                     | 4,10                     |

Šis automobilis buvo laimėtos „Fast Lap“, Mini žiedo, Sprinto ir kitų daugelio regioninių varžybų atskirų etapų bei bendros metinės įskaitos varžybos. Taip pat dalyvavauta ilgų nuotolių žiedinėse lenktynėse kuriose užimtos prizinės vietos. Ilgą laiką priklausė „Fast Lap“ varžybų, Nemuno Žiedo trasos rekordas. 16 paveikslėlyje kairėje matyti sportinis automobilis ir šalia standartinis Honda S2000.



16 pav. Lenktyninis automobilis sukurtas Honda S2000 pagrindu ir standartinis Honda S2000 dešinėje [28]

Standartinio automobilio Honda S2000 charakteristikos pateiktos 17 pav. ir 3 lentelėje.

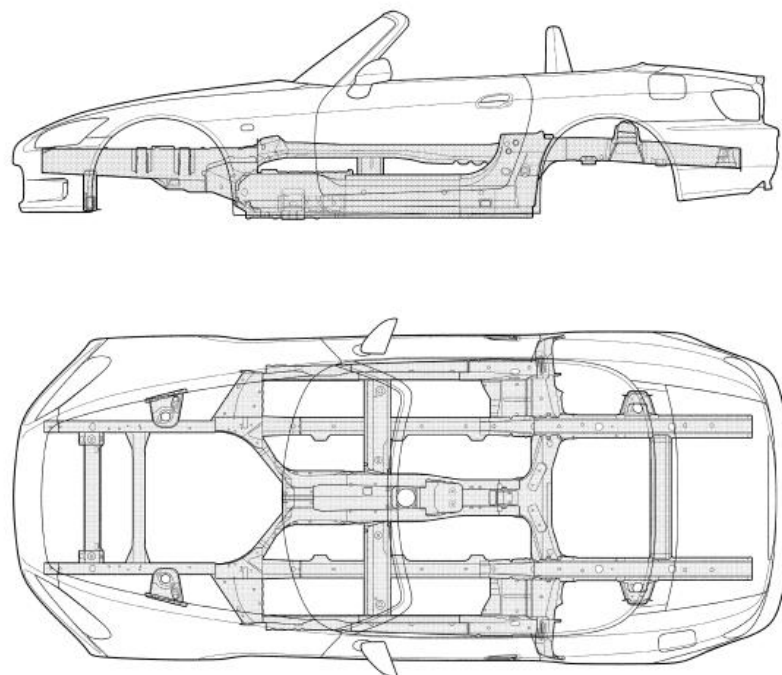


17 Pav. Honda S2000 gabaritiniai matmenys [27]

## Automobilio parametrai

| <b>Matmuo</b>                         | <b>Reikšmė</b>           |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Automobilio ilgis $L_a$ , mm          | 4120                     |
| Automobilio plotis $B_a$ , mm         | 1750                     |
| Automobilio aukštis $H_a$ , mm        | 1285                     |
| Automobilio bazė, mm                  | 2400                     |
| Aerodinaminis koef. $c_x$             | 0,31                     |
| Paruošto automobilio masė, kg         | 1260                     |
| <b>Charakteristika</b>                | <b>Reikšmė (aprašas)</b> |
| Cilindrų skaičius                     | 4                        |
| Cilindrų išdėstymas                   | L                        |
| Variklio darbinis tūris $\text{cm}^3$ | 1997                     |
| Maksimali galia kW                    | 177 / prie 8300 aps/min  |
| Maksimalus sukimo momentas Nm         | 208 / prie 7500 aps/min  |
| Kuro tipas                            | benzinas                 |
| Suspaudimo laipsnis                   | 11,0:1                   |
| <b>Pavarų perdavimo santykiai</b>     |                          |
| I - pavara                            | 3,133                    |
| II – pavara                           | 2,045                    |
| III – pavara                          | 1,481                    |
| IV – pavara                           | 1,161                    |
| V – pavara                            | 0,970                    |
| VI - pavara                           | 0,810                    |
| Atbulinė pavara                       | 2,80                     |
| Pagrindinė pavara                     | 4,10                     |

Automobilio laikančioji konstrukcija pavaizduota 18 pav.



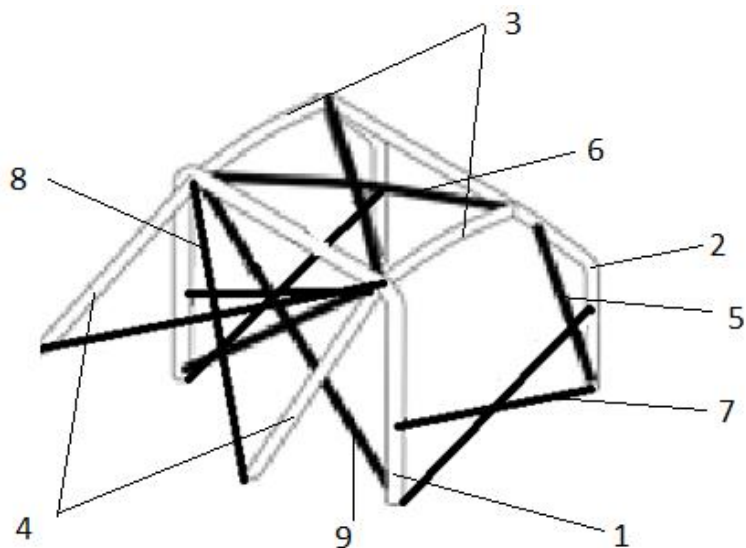
18 pav. Standartinio automobilio laikančioji konstrukcija[27]



Standartinio automobilio pagrindinė laikančioji konstrukcija susideda iš priekinių ir galinių lonžeronų ir standaus centrinio tunelio bei slenksčių. Tokia neįprasta konstrukcija kai standus centrinis tunelis ir slenksčiai naudojama nes automobilis yra kabrioletu tipo su minkštu nuleidžiamu stogu

## 2.2. Tiriamojo automobilio sandara.

Sportinio automobilio laikančiosios konstrukcijos sandara: 1 pagrindinis lankas, 2 priekinis lankas, 3 išilginiai elementai, 4 spyriai. Papildomi elementai. 5 Priekinio lanko sutvirtinimas. 6 X formos stogo sutvirtinimas. 7 X formos šoniniai sutvirtinimai, 8 X formos spyrių sutvirtinimai, 9 formos galinio lanko sutvirtinimas. Pagrindinio saugos narvo konstrukcija pavaizduota pav. ir 19, 20 ir 21 pav. matoma esama konstrukcija.



19 Saugos narvo sandara. Baltos spalvos pagrindiniai elementai. Juodos spalvos papildomi elementai



20 pav. Lenktyninis automobilis sukurtas Honda S2000pagrindu. Šasi vaizdas iš viršaus[28]





21 pav. Lenktyninis automobilis sukurtas Honda S2000 pagrindu. Šasi vaizdas iš šono[28]

### 2.3. Tiriamojo automobilio masės nustatymas.

Automobilio ašių apkrovoms nustatyti naudotos „ComputerscaleAccuSet“ svarstyklės (22 pav.).



22 pav. Elektroninės automobilio svarstyklės[25]

Sveriant automobilį šiomis svarstyklėmis, matomos apkrovos tenkančios kiekvienam automobilio ratui. Taip pat svarstyklės turi galimybę išmatuoti svorio pasiskirstymą tarp ašių ir tarp automobilio kairiojo ir dešiniojo šonų.[25]

Automobilio masė ir ašių apkrovos nustatytos sveriant elektroninėmis svarstyklėmis „longrace“. Rezultatai pavaizduoti 4 lentelėje.

4 lentelė

Automobilio svėrimo rezultatai

| Svėrimo nr | Priekinio kairio rato apkrova | Priekinio dešinio rato apkrova | Galinio kairio rato apkrova | Galinio dešinio rato apkrova | Priekinės ašies apkrova | Galinės ašies apkrova | Bendra automobilio masė |
|------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1          | 250,1                         | 268,8                          | 255,4                       | 265,6                        | 518,8                   | 521                   | 1039                    |
| 2          | 250                           | 268,7                          | 255,5                       | 265,7                        | 518,7                   | 521,2                 | 1039                    |
| 3          | 250,1                         | 268,8                          | 255,4                       | 265,6                        | 258,9                   | 521                   | 1039                    |
| Vidurkis   | 250,1                         | 268,8                          | 255,4                       | 265,6                        | 518,8                   | 521,1                 | 1039                    |

Pagal gautus rezultatus matyti jog automobilio masė be vairuotojo yra 1039kg ir masės pasiskirsto 49,9% priekiniai ir 50.1% galiniai ašiai. Su vairuotoju automobilio masė 1113kg ir masės paskirstymas tampa idealus 50-50 ašims bei ratams. 23 Pav. matoma tiriamojo automobilio svėrimo proceso eiga.



23 pav. Tiriamojo automobilio svėrimas

Pagal automobilio masę naudojant 1 ir 2 formulę gaunamos apkrovos kurias turi atlaikyti priekinis ir galiniai pagrindiniai lankai.

$$F1=3.5*(mg+1500)=40924 \text{ N}$$

$$F7=7.5*(mg+1500)=87695 \text{ N}$$

Šias apkrovas turi atlaikyti tiriamojo automobilio rėmo konstrukcija.

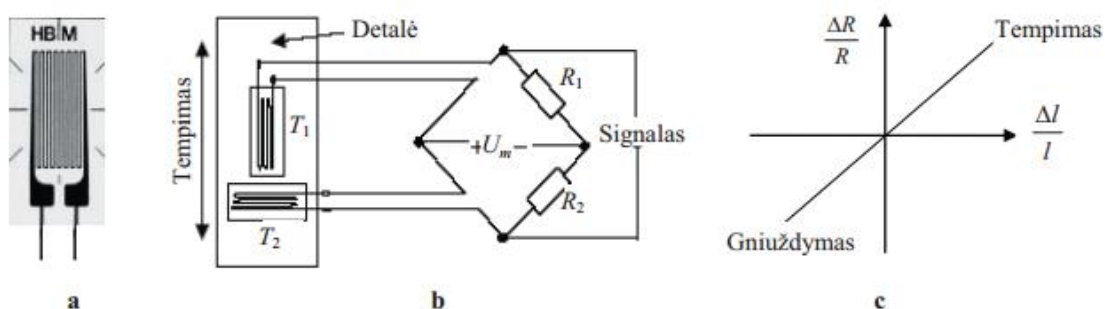
## 2.4. Tenzometrinių jutiklių veikimo principai

Atliktas eksperimentas. Naudojantis tenzorezistoriais pamatuota rėmo taško deformacijos ir išskaičiuoti įtempiai. Taškas pasirinktas dėl patogaus įrangos sumontavimo. Bei turimos įrangos matavimo ribų bei „Ansys Workbench“ aplinkoje sukurto modelio rezultatų. Taškas pasirinktas vamzdžio esančio nuo pagrindinio lanko iki amortizatoriaus tvirtinimo vietos.

Kai elementus veikia jėga jie deformuojasi. Šios deformacijos naudojamos jėgai išmatuoti. Pagrindiniai jutiklių tipai yra du: vieliniai ir puslaidininkiniai. Daugiau naudojami vielinio tipo tenzorezistoriai. Juose matuojama charakteringų tampriojo elemento vietų deformacija. Labai svarbu klijuojant tenzorezistorius juos klijuoti vietose kur deformacijos didžiausios.[2]

Tenzorezistoriai apibrėžiami tenzorejautriu, bazės ilgiu ir varža. Svarbiausias yra tenzorejautris. Deformuojant elementą santykinai kinta jo varža. Taipogi reikia atsižvelgti į temperatūrą nes nuo jos keičiasi elementų varža ir jų nedeformuojant.[8]

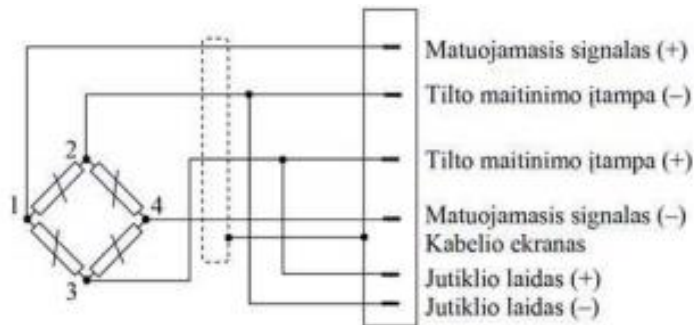
Tenzorezistoriu tenzorejautris nustatomas eksperimentiškai. Nes jų jautris visuomet šiek tiek skiriasi dėl jautriojo elemento medžiagos, konstrukcijos, aplinkos sąlygų, priklijavimo būdo. 24 pav. A pavaizduotas tenzorezistoriaus vaizdas, B jungimo schema ir C veikimo charakteristika.[8]



24 pav. a - Tenzorezistoriaus bendras vaizdas. B- jungimo schema, C charakteristika[2]

Tenzirezistoriai paprastai jungiami tilteliu(25 pav.). Taip jungiant varžų pokyčiai sumuojasi pagal jungimo būdą gali padidėti 4 kartus. Tačiau to yra maža jog pokytį išeitų nustatyti paprastu voltmetru dėl mažos išėjimo signalo įtampos. Stiprinimui naudojami elektroniniai stiprintuvai kurių svarbiausia charechteristika yra stiprinimo koeficientas. Koeficientas nusako santykį tarp įėjimo ir išėjimo įtampos. Šioje vietoje dažniausiai naudojami operaciniai stiprintuvai nes juos pildant

išoriniais elementais galima atlikti matematinius veiksmus. [8]



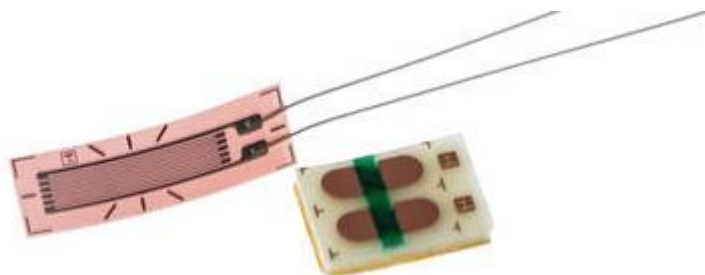
25 pav. Tenzorezistorių jungimo tilteliu schema[2]

Sustiprintas signalas nuskaitomas skaitmeniniais arba analoginiais prietaisais (pvz voltmertas). Šiam modeliui naudojamas „Race technology DLI“ duomenų kaupiklis(26. Pav) DL1 tinka naudoti automobiliuose, laivuose ir dviračiuose. DL1 taip pat plačiai naudojami pramonės tyrimuose. DL1 gali saugoti duomenis iš įvairių šaltinių tokių kaip integruotas 5Hz GPS imtuvas, skaitmeniniai 3 ašių akselerometrai, 8 12bit analoginiai jėgimai, ratų greičio, velenų ar variklio apskukos, temperatūra. OBDII duomenys (su tinkamu adapteriu Programinė įranga leidžia itin tiksliai išskirti vartotojo nustatytas kanalus, palyginti iki 10 duomenų rinkinių (lenktynių) vienu metu bei patogiai eksportuoti duomenis i excel, matlab programas.[24]



26 pav. duomenų kaupiklis[24]

Naudoti Tenzojutikliai: RS Pro 8mm Wire Lead Strain Gauge, 120Ω, -30 → +80 °C, 13 x 4 mm. Šis tenzorejutiklis pavaizduotas 27 paveiksle.[26]



27 pav. Tenzorejutiklis RS pro.[26]



Šių tenzozjutiklių charakteristikos yra:

- Jutiklio ilgis 8mm
- Jutiklio koeficientas 2
- Jutiklio varža 120Ω
- Tipas Vielinis
- Bendras ilgis 13mm
- Bendras plotis 4mm
- Minimali veikimo temperatūra -30°C
- Maksimali veikimo temperatūra +80°C

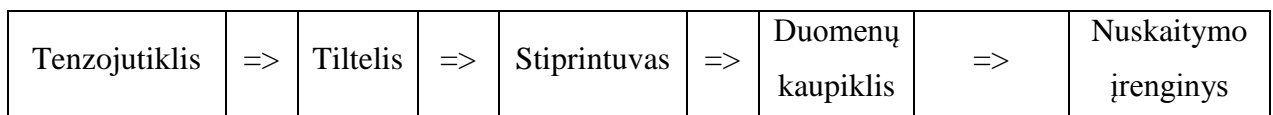
#### 2.4. Eksperimento eiga:

Švariai nušveitus dažus ir nupoliravus paviršių cianokrilato pagrindo klijais priklijuotas tenzozjutiklis (28 pav.)

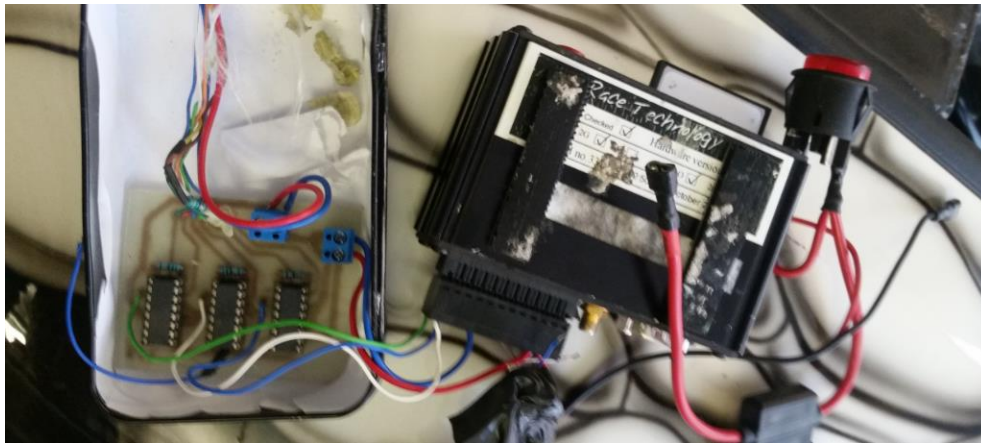


28 pav. Priklijuotas tenzozjutiklis

Priklijavus tenzozjutiklį ir palaukus 24 valandas (kol sukietės klijai) galima atlikti apkrovimo bandymus. Iki tol konstrukcija turi išlikti ramybės būsenoje. Tuo metu galima suderinti ir sukalibruoti įrangą. Matavimo įrangos jungimo principinė schema parodyta 29 paveiksle. 30 Paveiksle matomas duomenų kaupiklis su prijungtu instrumentiniu stiprintuvu „INA125“



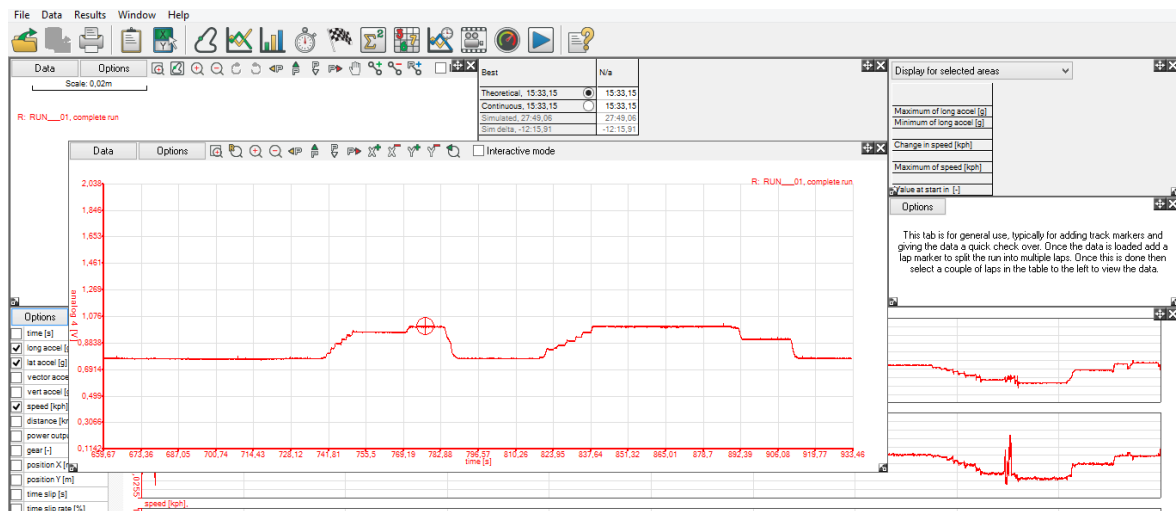
29 pav. Įtempių matavimo įrangos jungimo schema



30 pav. Duomenų kaupiklis dešinėje ir prijungtas stiprintuvas INA125 kairėje

„Race Technology DL1“ duomenų kaupiklis pasirinktas dėl galimybės ateityje modernizavus sistemą įtempius matuoti realiu laiku. Šiuo metu susiduriama su dideliais elektroniniais triukšmais dirbant benzininiai varikliui. Šiuos triukšmus sukelia automobilio uždegimo sistema. Kai variklis nedirba gaunamos reikšmės praktiškai neturi „triukšmų“.

Duomenis iškėlus iš duomenų kaupiklio patogų apdoroti „Race technology Analysis V8“ programos aplinkoje. Šios programos vaizdas pateikiamas 31 pav.



31 pav. Race technology Analysis V8 programos langas

Matavimo rezultatai kai rėmo dalis (nuo amortizatoriaus tvirtinimo vietos iki lango apačios) apkraunama 267 kg mase pateikiami 5 lentelėje

5 Lentelė

Matavimo rezultatai

| Matavimas | Neapkrauta | Apkrauta | Įtampos pokytis |
|-----------|------------|----------|-----------------|
| 1         | 0,772      | 1,005    | 0,223           |
| 2         | 0,771      | 1,004    | 0,223           |
| 3         | 0,772      | 1,005    | 0,223           |
| Vidurkis  | 0,772      | 1,005    | 0,223           |

Iš įtampos pokyčio išskaičiuojamos deformacijos. Svarbiausia tenzorezistorius apibūdinanti reikšmė tenzojautris. Jis apskaičiuojamas:

$$S = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

Čia:

S – tenzojautris;

R – Pradinė tenzorezistoriaus varža

$\Delta R$  – Varžos pokytis

$\varepsilon$  – Santykinė deformacija

Tiltelio varžos pusiausvyros padėtyje yra lygios:

$$R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (1)$$

Tiltelio išėjimo įtampa apskaičiuojama pagal formulę

$$U_{i\check{s}} = U_0 \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2)$$

Čia:

$U_0$  – tiltelio maitinimo įtampa (V)

$U_{i\check{s}}$  – išėjimo gnybtų įtampa (V)

Apkraunant tenzotutiklį, šis deformuojasi ir susidaro varžos pokytis. Šiuo konkrečiu atveju apskaičiuojama pagal formulę:

$$U_{is} = U_0 \frac{(R_1 + \Delta R)R - R^2}{(R_1 + \Delta R + R)2R} = U_0 \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} \quad (3)$$

Tenzojautri išreiškus per  $\Delta R$  gauname:

$$\Delta R = S\varepsilon R \quad (4)$$

$$U_{is} = \frac{U_0 S \varepsilon R}{4R + 2(S\varepsilon R)} = \frac{U_0}{4/S\varepsilon + 2} \quad (5)$$

Išsireiškiamos deformacijos:

$$\varepsilon = \frac{4U_{is}}{U_0 S - 8S} \quad (6)$$

Operacinio stiprintuvo stiprinimo koeficientas apskaičiuojamas:

$$G = 4 + \frac{60000}{R_s} \quad (7)$$

Čia

G – stiprinimo koeficientas

$R_s$  – Stiprinimo varžos dydis.

Visa tai turint galima apskaičiuoti konkrečius taško įtempius:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (8)$$

Čia

$\sigma$  – taško įtempiai

E – Jungo modulis.

MS Excel programos aplinkoje sudarytas skaičiavimo algoritmas. Suvedus konstantų dydžius bei pradinę ir galinę įtampas gaunamas rezultatas – taško įtempiai. Matavimo rezultatai pavaizduoti 32 paveiksle, kuriuose matoma jog pasirinkto taško itempiai siekia 13,45 MPa.

|    | A | B                            | C         | D | E |
|----|---|------------------------------|-----------|---|---|
| 1  |   | Duomenų suvedimas            |           |   |   |
| 2  |   | Pradinė išėjimo įtampa       | 1,005 V   |   |   |
| 3  |   | Įšėjimo įtampa apkrovus      | 0,772 V   |   |   |
| 4  |   |                              |           |   |   |
| 5  |   | Tenzorezistoriaus varža      | 120 Omais |   |   |
| 6  |   |                              |           |   |   |
| 7  |   | Stiprintuvo stiprinimo varža | 7,5 Omais |   |   |
| 8  |   |                              |           |   |   |
| 9  |   | Jungo modulis                | 210 GPa   |   |   |
| 10 |   |                              |           |   |   |
| 11 |   | Tenzojautris                 | 2         |   |   |
| 12 |   |                              |           |   |   |
| 13 |   | Tiltekio maitinimo įtampa    | 2,5 V     |   |   |
| 14 |   |                              |           |   |   |
| 15 |   | Taško įtempiai               | 13,45 MPa |   |   |
| 16 |   |                              |           |   |   |

32 pav. Taško įtempių skaičiavimas

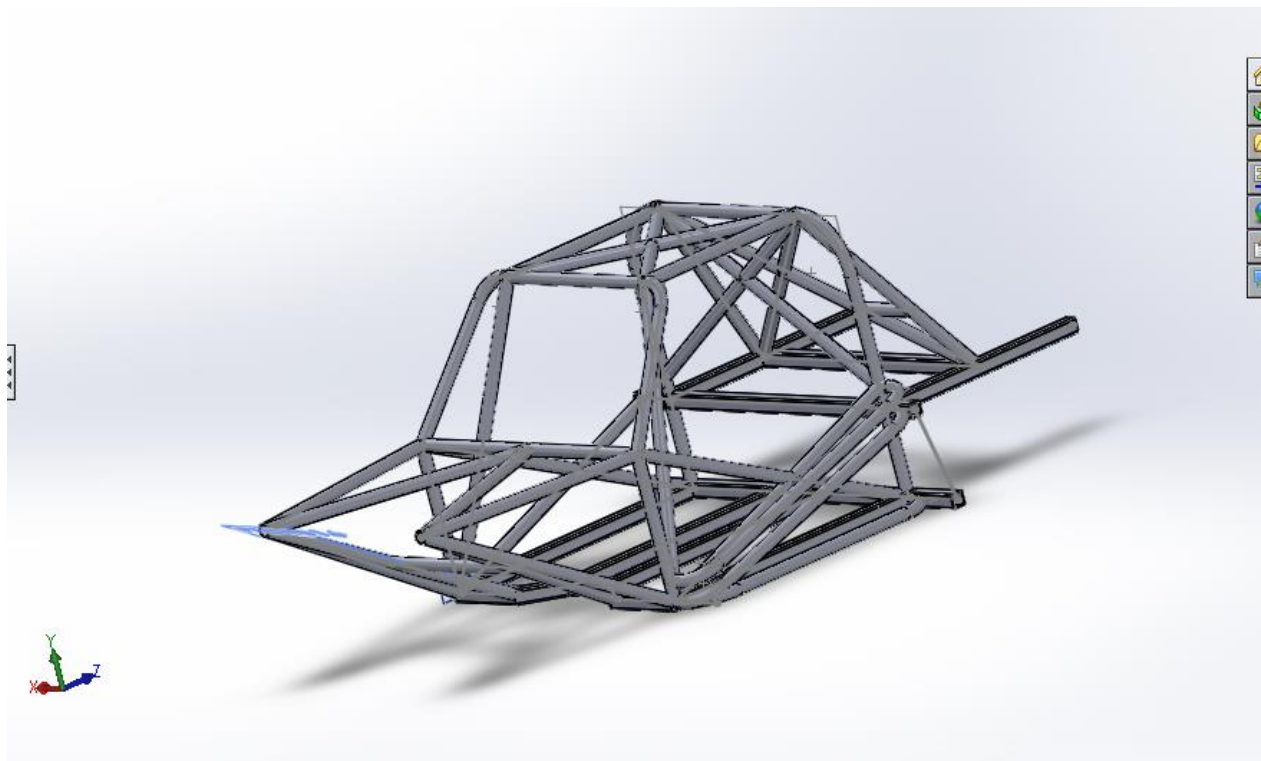
Atlikus eksperimentą sudarytas algoritmas skaičiavimams atlikti. Nustatyta jog pasirinkto taško įtempiai apkrovus pasikeičia 13,45 MPa.



### 3. SKAITINIS MODELIAVIMAS

#### 3.1. Esamos konstrukcijos analizavimas

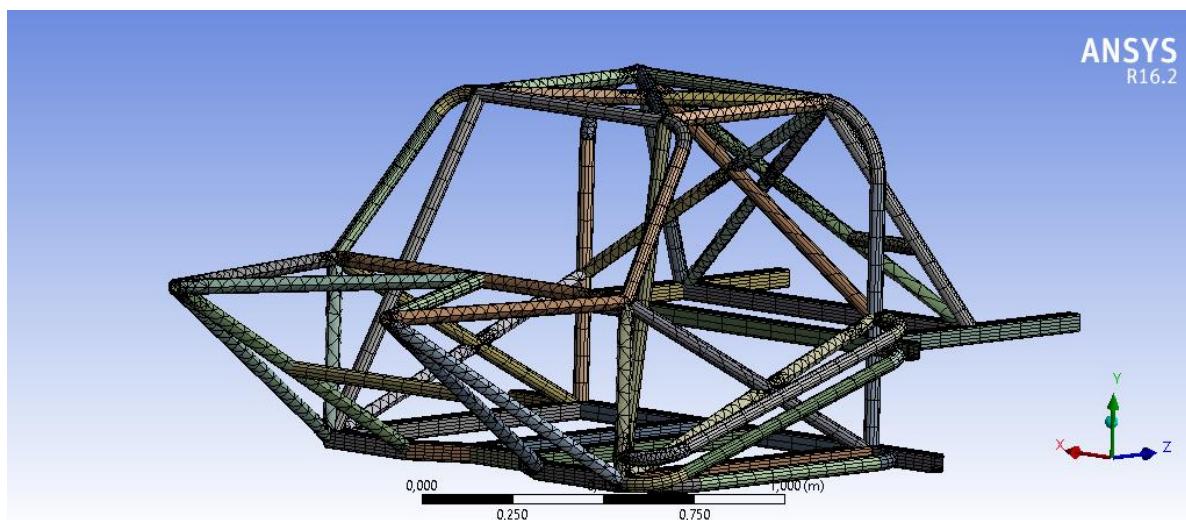
Išnagrinėjus realaus automobilio konstrukciją, atlikus matavimus bei eskizinius braižymus, SolidWorks aplinkoje sukurtas rėmo baigtinių elementų modelis. Skaitinis elementų modelis pavaizduotas 33 paveiksle. Automobiliui kurti naudotas S355 konstrukcinis plienas.



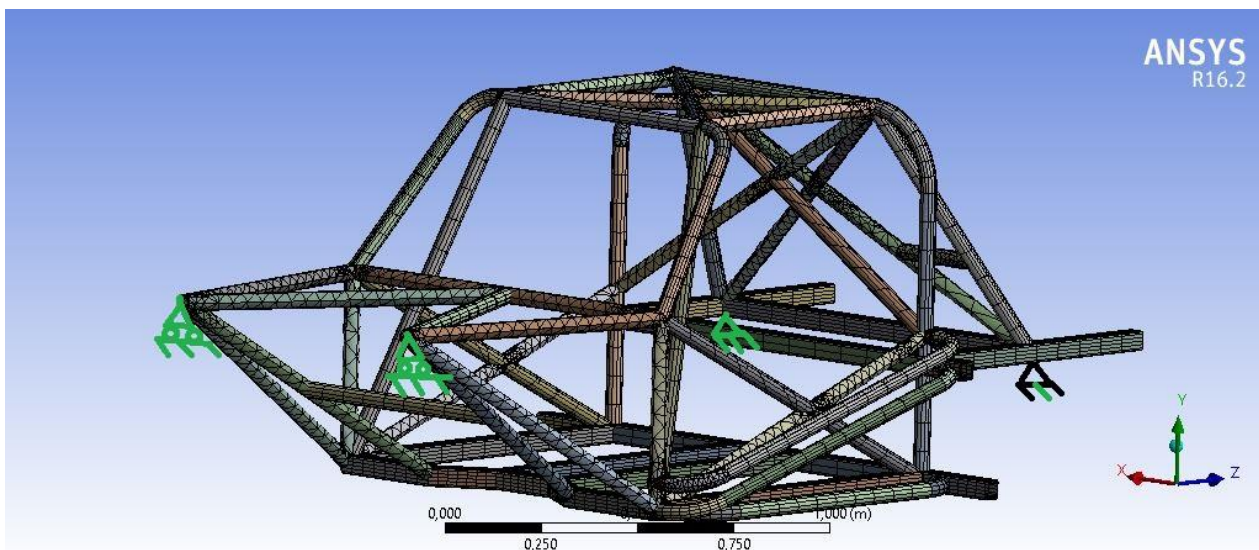
33pav. Solidworks aplinkoje sukurtas rėmo modelis.

Kadangi rėmas sukurtas iš plonasienių vamzdžių tai solidworks aplinkoje braižytas naudojantis „structural member“ elementus.

Visi rėmo stipruminiai skaičiavimai atlikti „Ansys Workbench“ aplinkoje.. Rėmas įtvirtintas galinėje ir priekinėje dalyje (amortizatorių tvirtinimo vietose) ir apkrautas jėgomis. Rezultatai paveikslėliuose žemiau. 34 Pav. pavaizduotas rėmo baigtinių elementų tinklelis.

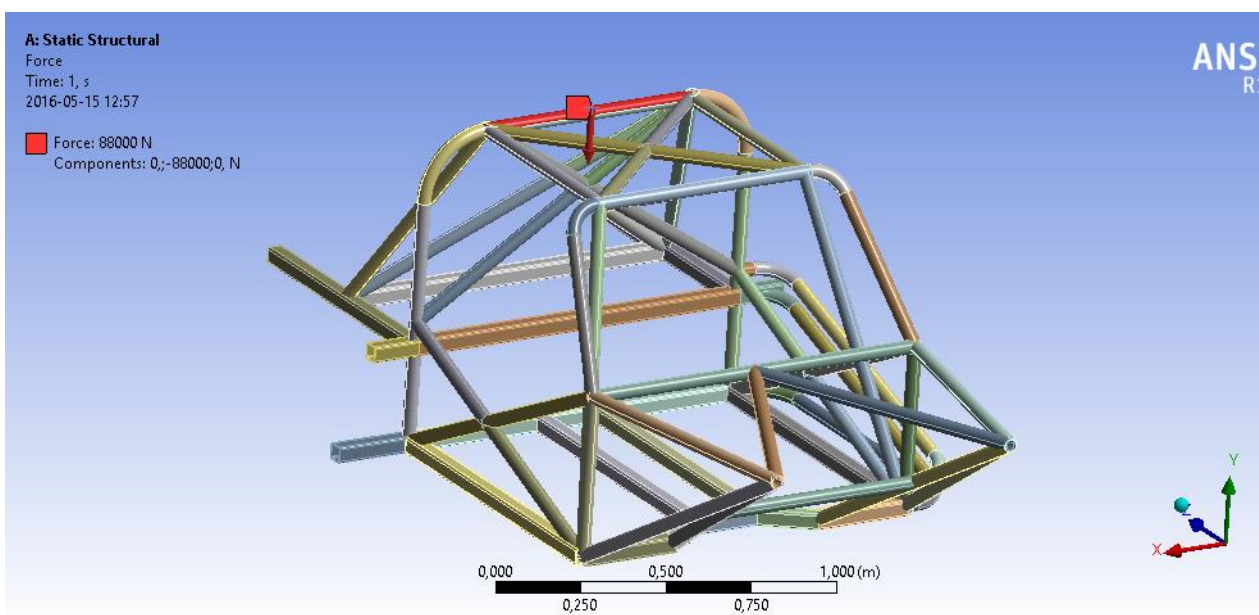


34 Pav. Baigtinių elementų tinklelis

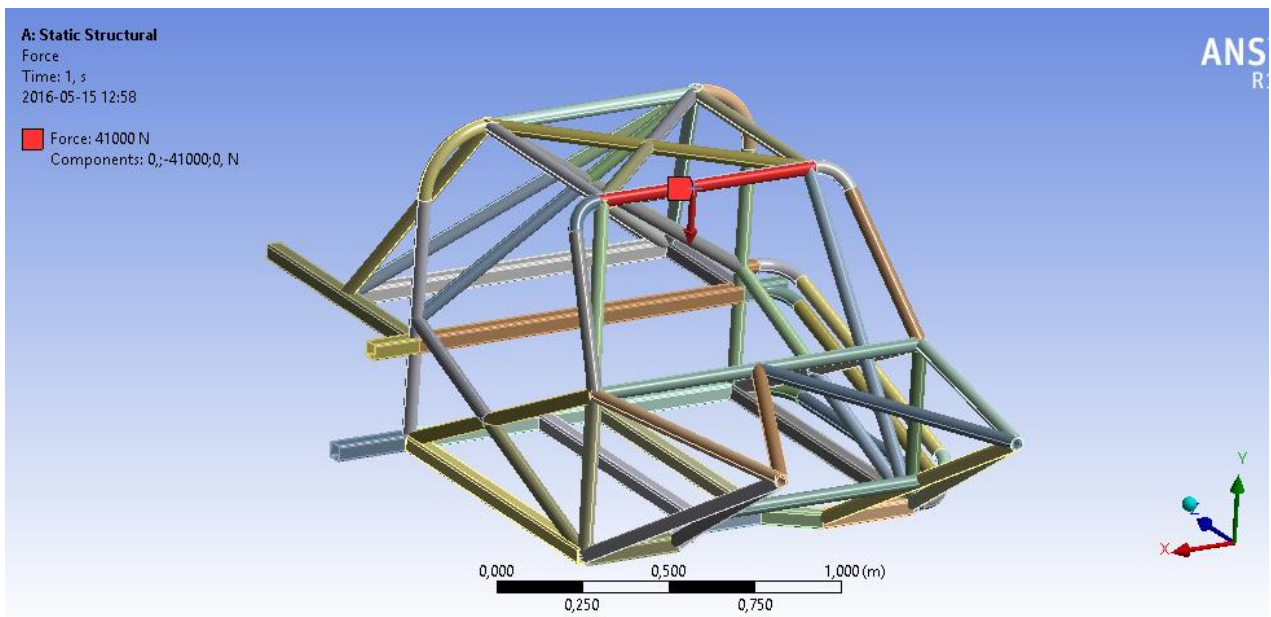


35 Pav. Rėmo įtvirtinimai

36 pav. Rėmas galinėje padėtyje įtvirtintas standžiai. Priekinių amortizatorių tvirtinimo vietose įtvirtintas standžiai su galimybe slankiotis pagal z ašį. 31pav. pavaizduotas pagrindinio lanko viršaus apkrovimas išskirstytu krūviu kuris lygus 88000 N. 37 pav. Pavaizduotas priekinio pagrindinio lanko viršaus apkrovimas išskirstytu krūviu kuris lygus 41000 N.



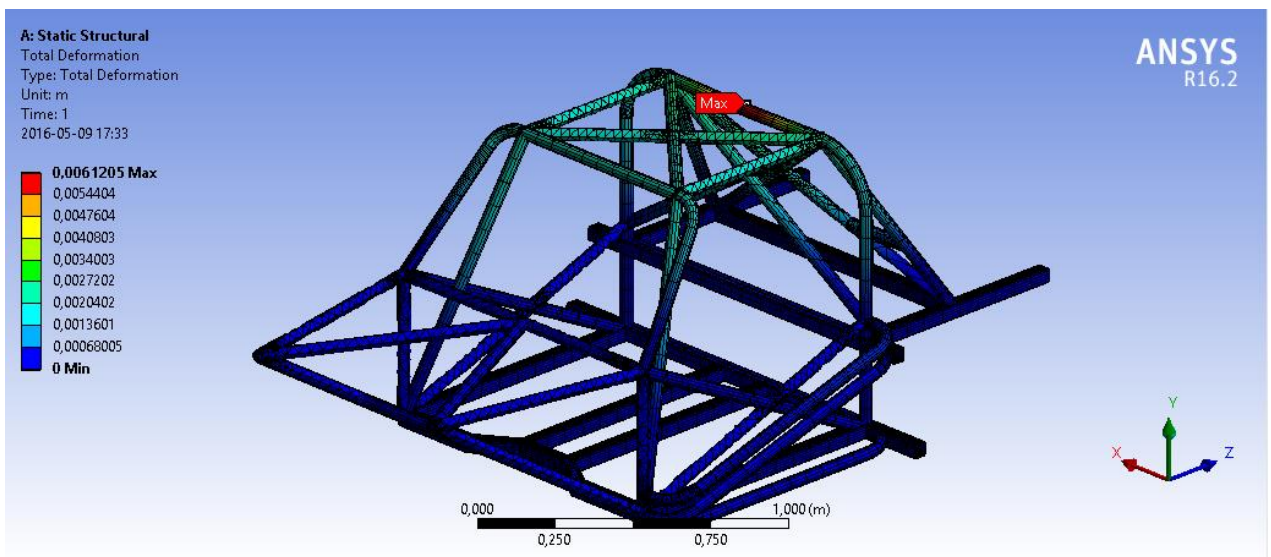
36 pav. Pagrindinio lanko apkrovimas



37 pav. Priekinio lanko apkrovimas

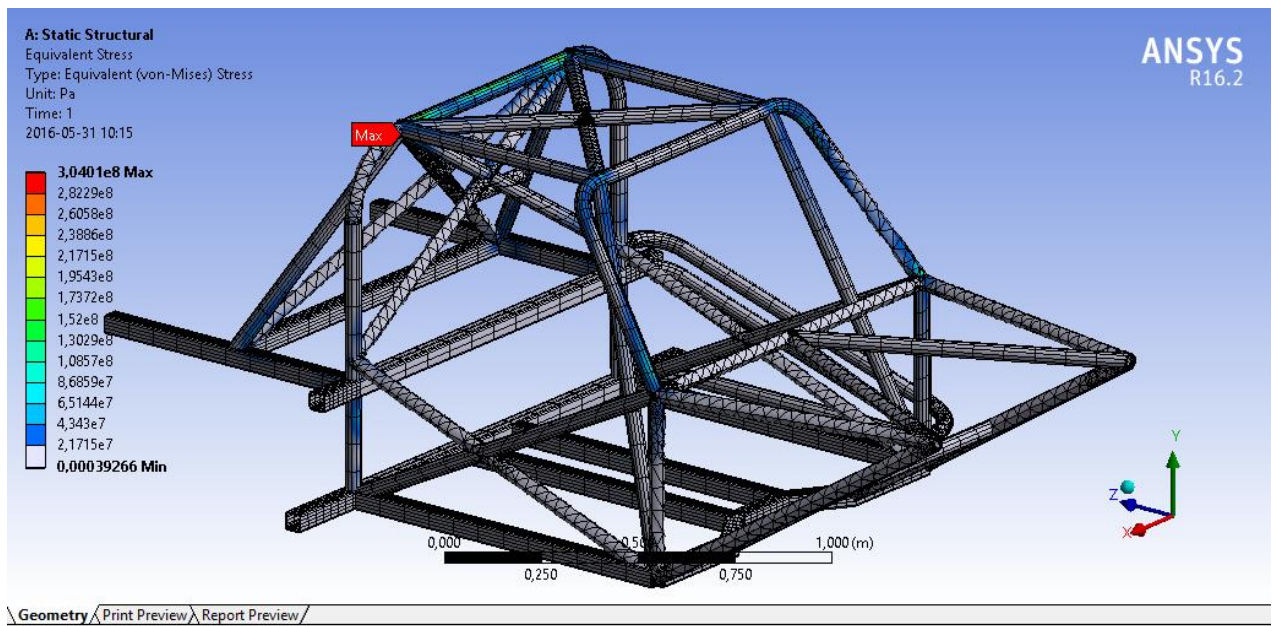
Iš pirmosios simuliacijos matyti jog pagrindinis (galinis) lankas apkrovus 88000 N jėga deformuojasi 6 mm (38 pav.), maksimalūs įtempiai 304 MPa. (39 Pav.) Jie neviršija leistinųjų įtempių kurie yra 355 MPa.

Kadangi kėbule yra papildomos panelės ir stogo konstrukcija, bei apkrauta truputį didesne jėga nei reikalaujama šis lankas yra tinkamas naudojimui.



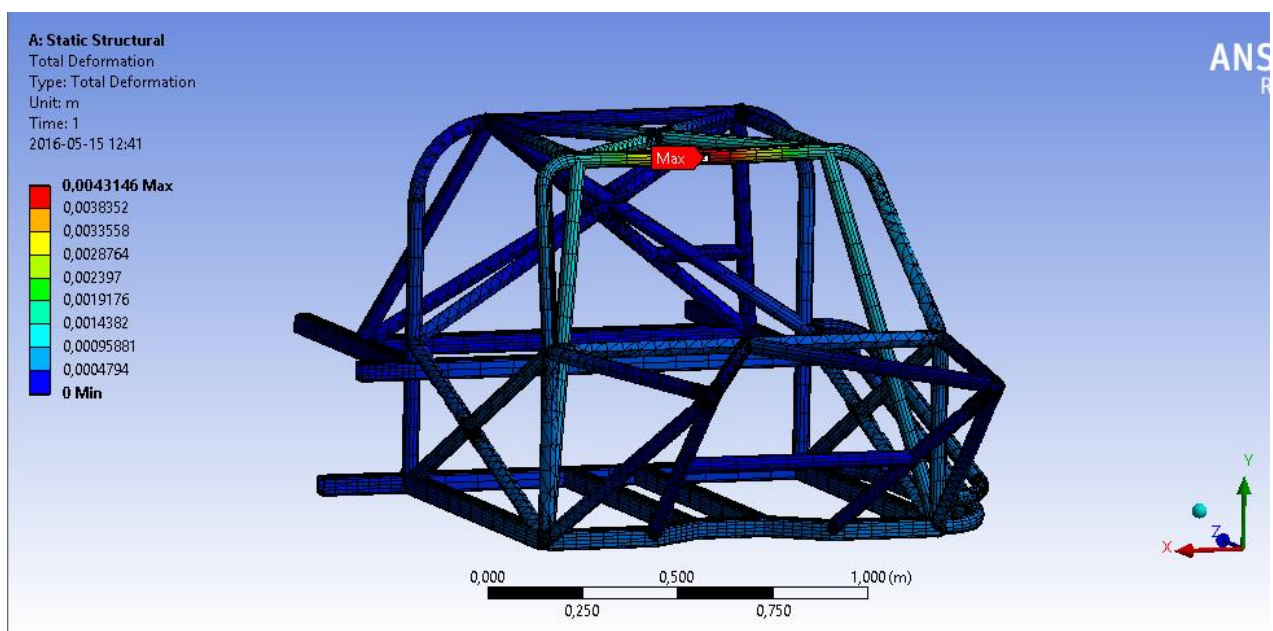
38 Pav. Rėmo pagrindinio lanko deformacija



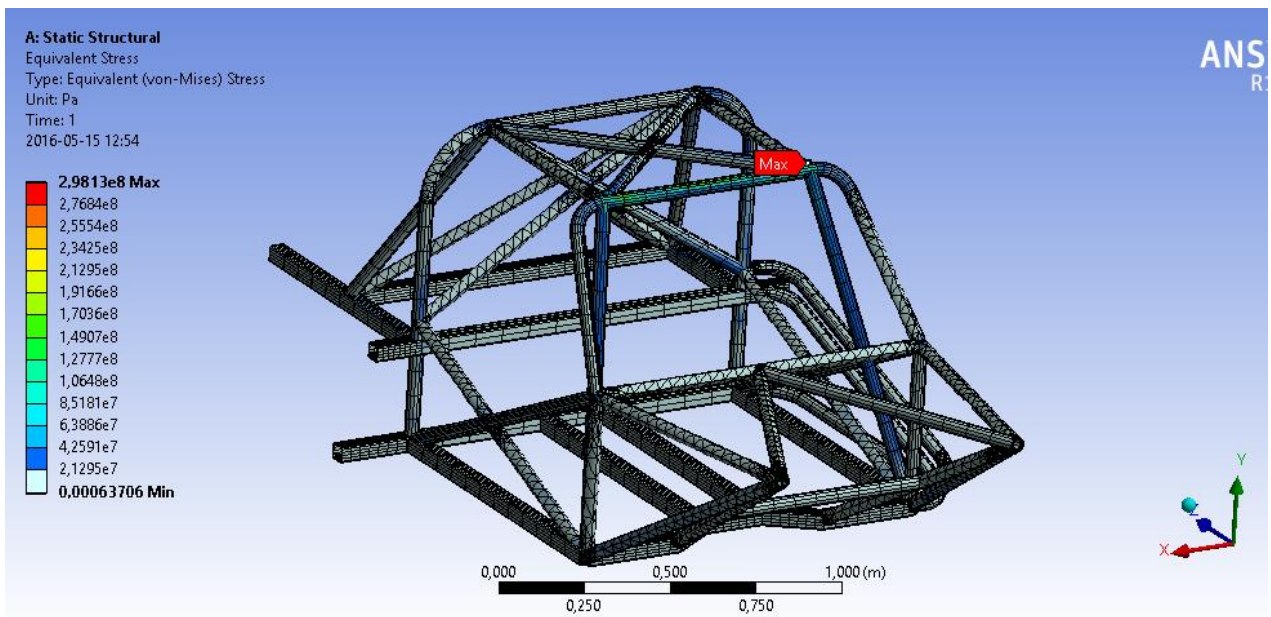


39 Pav. Rėmą veikiantys įtempiai

Iš antrosios simuliacijos matyti jog priekinio pagrindinio lanko deformacijos (apkrovus jėga lygia 41000N )yra 4,3 mm (40 pav.) maksimalūs įtempiai lygūs 298 MPa (41 pav.) ir neviršija liesintųjų.

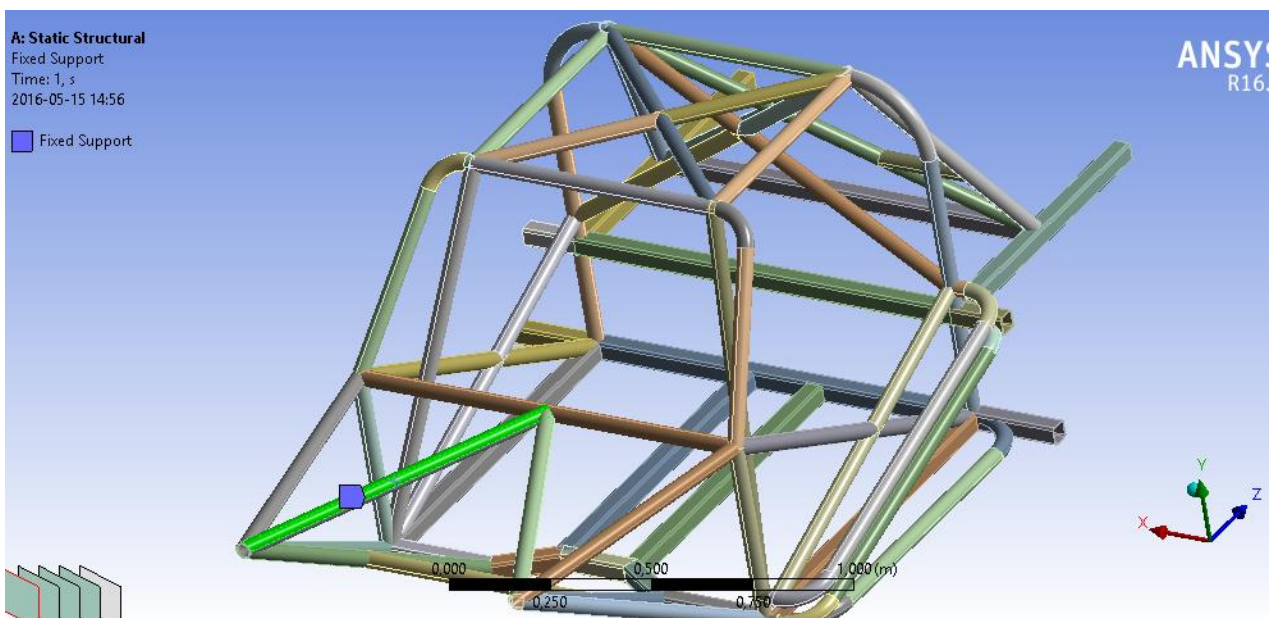


40 pav. Priekinio lanko deformacijos



41 Rėmą veikiantys įtempiai kai apkrautas priekinis lankas

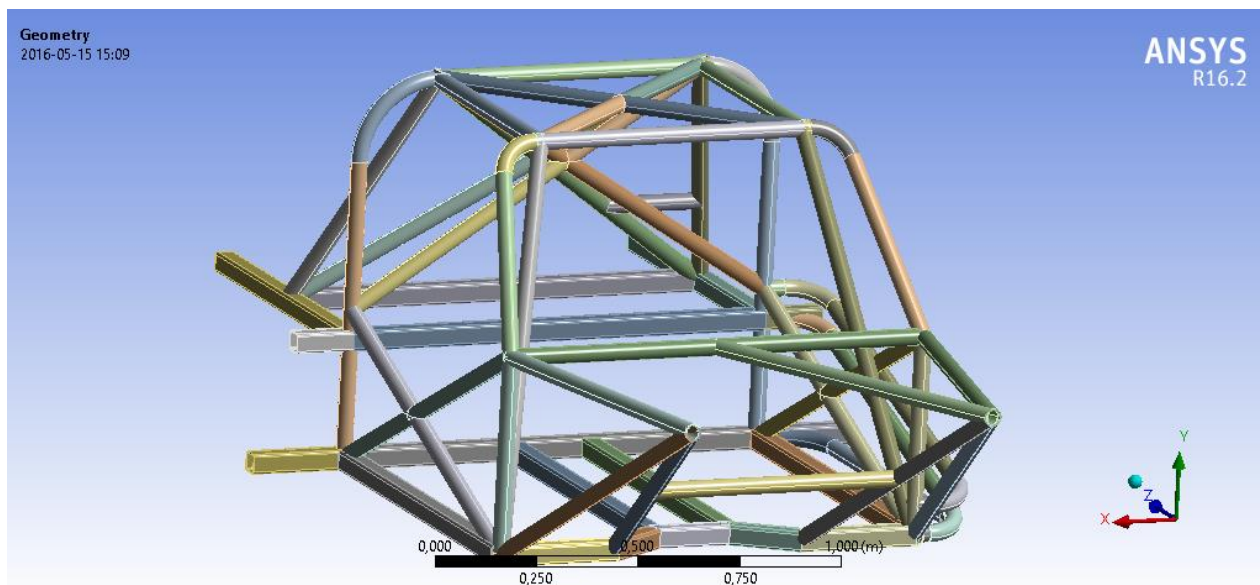
Greitėjant automobiliams sporte ir kylant konkurentų technikos galingumui neapsieinama ir be nuosavo automobilio tobulinimo. Automobilio savininkas nusprendė sumontuoti turbiną kuri padidintų jo automobilio galią nuo standartinių 240 ag. iki 500 ag. Montuojant turbiną iškilo dilema dėl netilpimo rėme. Tam buvo išpjautas vienas iš konstrukcijos elementų. Pašalintasis elementas (42 pav.) pažymėtas paveikslėlyje žalia spalva ir violetine vėliavėle.



42 Pav. Rėmo elementas kuris buvo pašalintas



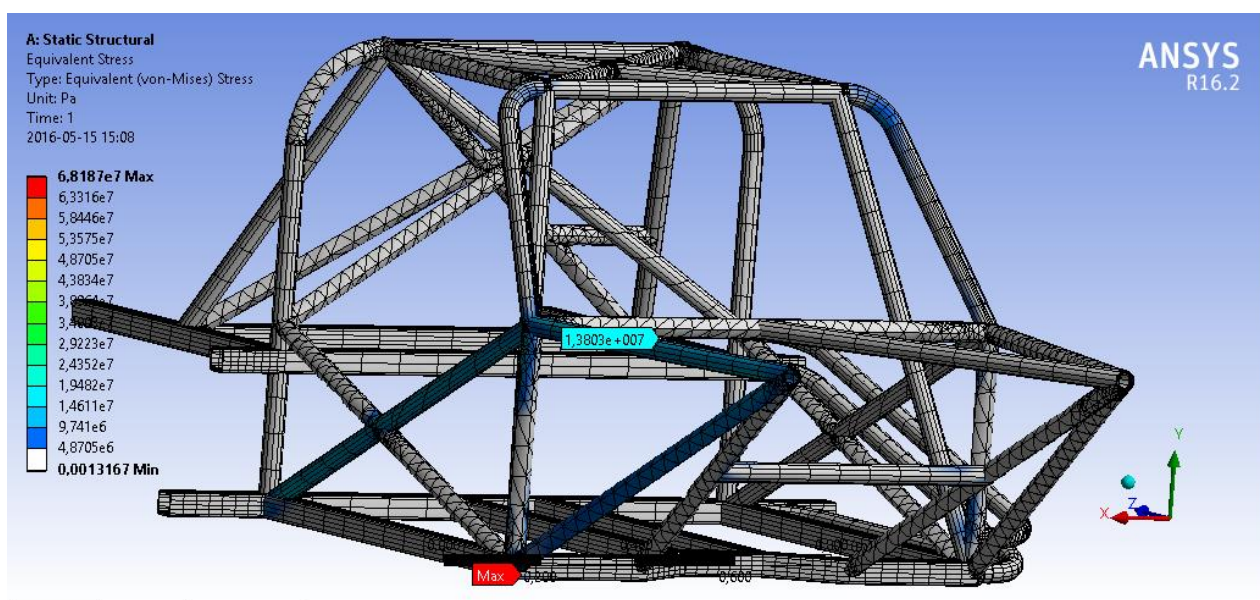
Sudarytas koreguotas baigtinių elementų modelis (43 Pav.) pašalinus strypinių elementą.



43 pav. Koreguotas baigtinių elementų modelis

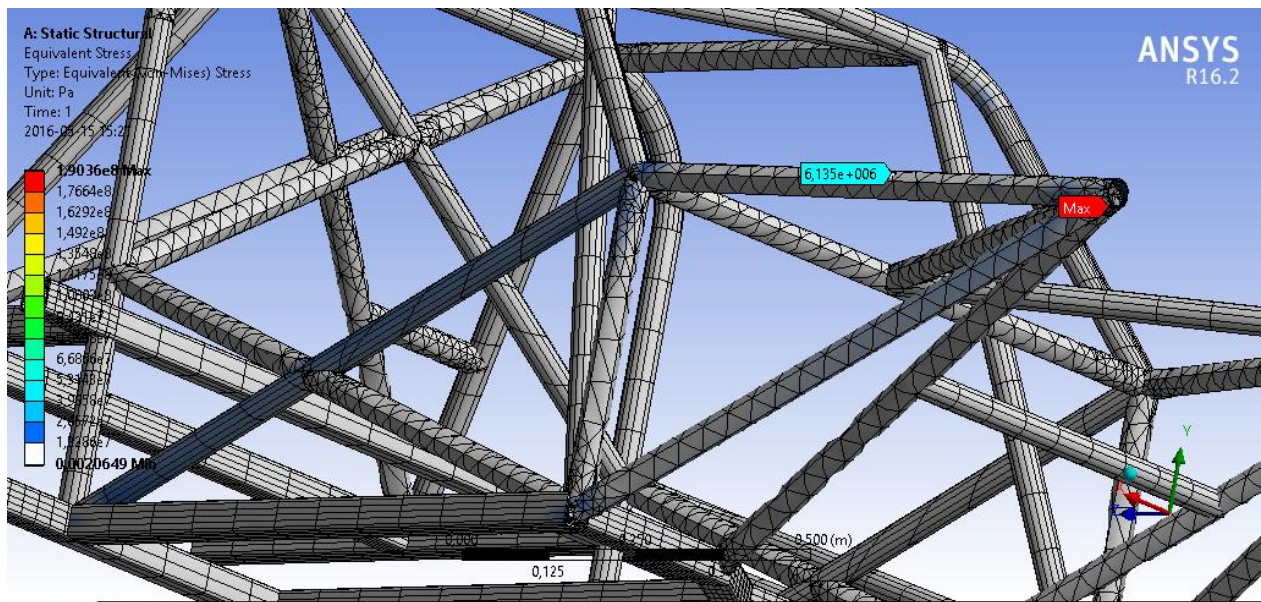
Koreguotas elementų modelis „įtvirtintas“ „slenksčių“ vietose. Priekinio dešinio rato amortizatoriaus tvirtinimo taške pridėta jėga. Jėga ekvivalentiško didumo kokia yra automobiliui stovint. (Automobilio svoris vienam ratui). Automobilį keliant ir apkrovą ratui mažinant galima nustatyti taško deformacijas.

Simuliacijos rezultatai pavaizduoti 44 pav.



44 pav. apkrautas koreguotas modelis

Skaitinio apkrovimo metu nustatyta jog veikiant 2500 N jėgai pasireiškia maksimalūs 68 MPa įtempiai. Pasirinktame taške įtempiai viso labo 13 MPa.. Palyginimui tokiomis pat sąlygomis testuotas ir pradinis modelis. Jo bandymo rezultatai pavaizduoti 45 pav.



45 Apkrautas pradinis modelis

Maksimalūs įtempiai pradiname modelyje mažesni daugiau nei tris kartus (atitinkamai 19 ir 68 MPa) taško įtempiai mažesni du kartus t. y. 6,1 ir 13,8 MPa.

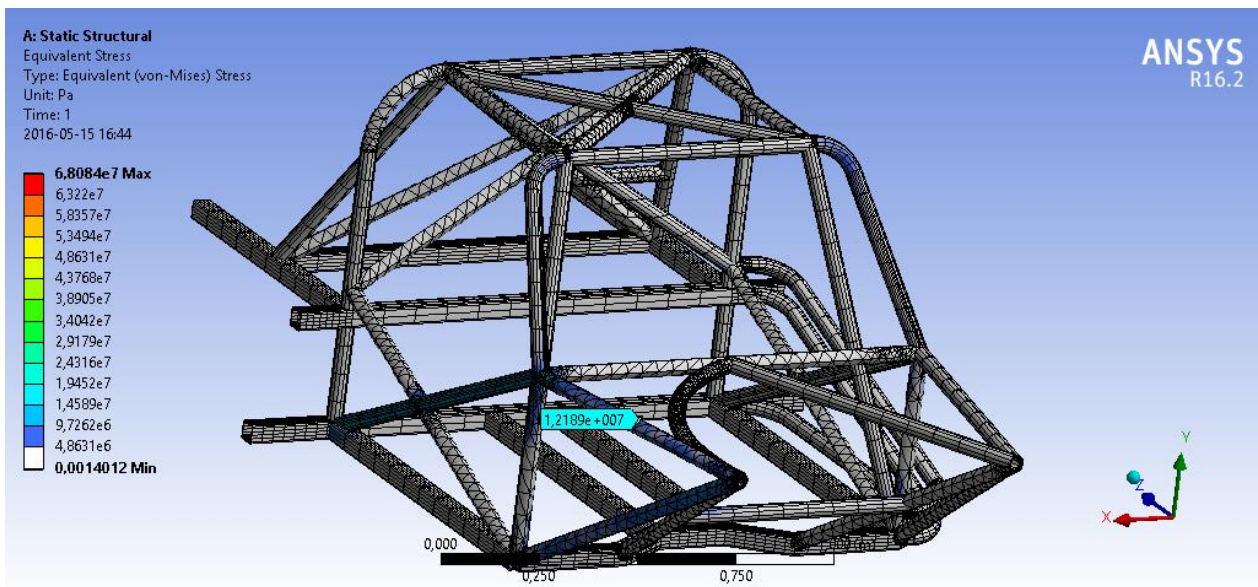
Kai vienas konstrukcijos elementas taip įtakoja stiprumą būtina stiprinti koreguotą konstrukciją iki bent artimo prieš tai buvusiam stiprumo.

### 3.1. Galimi konstrukcijos tobulinimo variantai.

Žvelgiant į automobilio komponentę ir jėgos agregatus parenkami galimi papildomų elementų išdėstymo variantai.

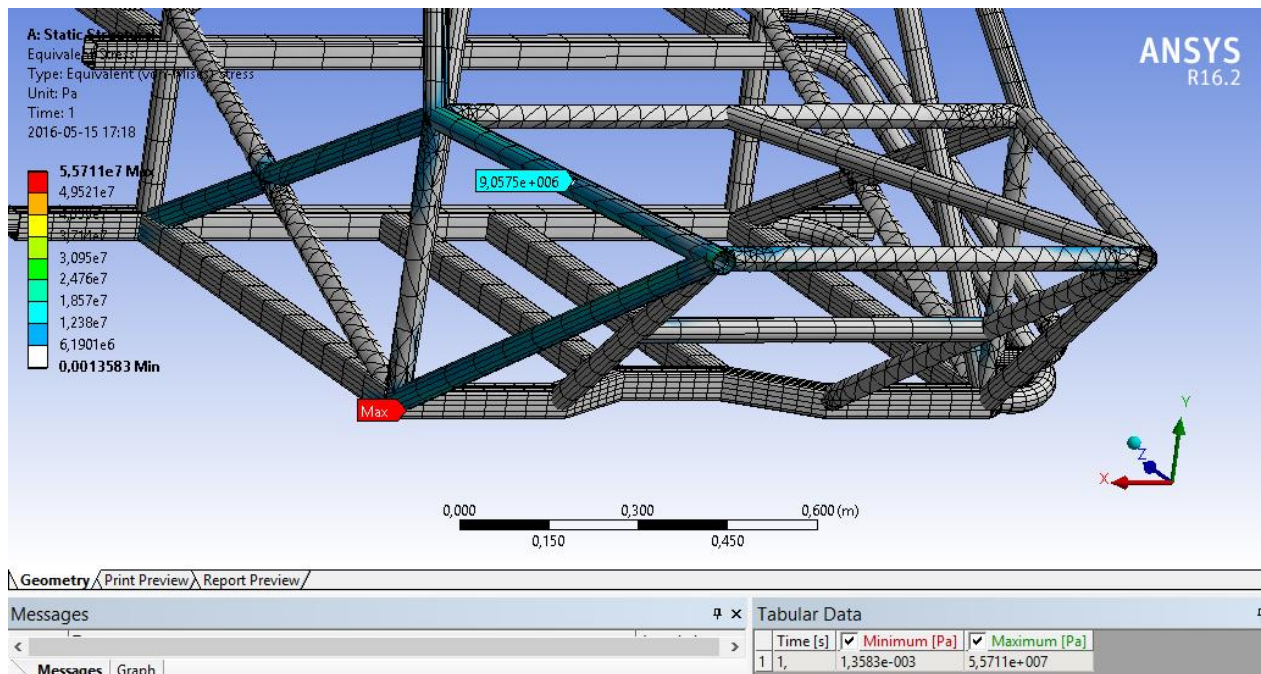
Pradinės komponentės elemente vietose sumontuoti lenktos formos vamzdį. Atitinkamai sukurtas skaitinis BE modelis ir apkrautas identiška kaip ir pirmieji elementai. Skaitinio modeliavimo rezultatai pateikiami 46 pav. Maksimalūs įtempiai siekia 68 MPa. Pasirinkto taško vietoje įtempiai siekia 13 MPa. Lenktos formos vamzdis praktiškai neapsikrauna. Ši komponentė netenkina reikalavimo nes praktiškai nesiskiria maksimalios vertės lyginant su nemodernizuojama konstrukcija.





46 Pav. Apkrovimo rezultatai kai įkomponuotas lenktas elementas

Sumodeliuotas elementas sujungiantis priekinių amortizatorių tvirtinimo taškus (47 Pav.) įtvirtinus papildomą elementą tarp amortizatorių tvirtinimo taškų gaunamos simuliacijos rezultatai matomi 41 pav. Lyginant su nemodernizuota konstrukcija maksimalūs įtempiai sumažėja nuo 68 iki 56 MPa. Tiriamajame taške įtempiai nuo 13 sumažėjo iki 9, tačiau tai vis tiek daugiau nei pačiame pradiniam modelyje esantys 6 MPa.

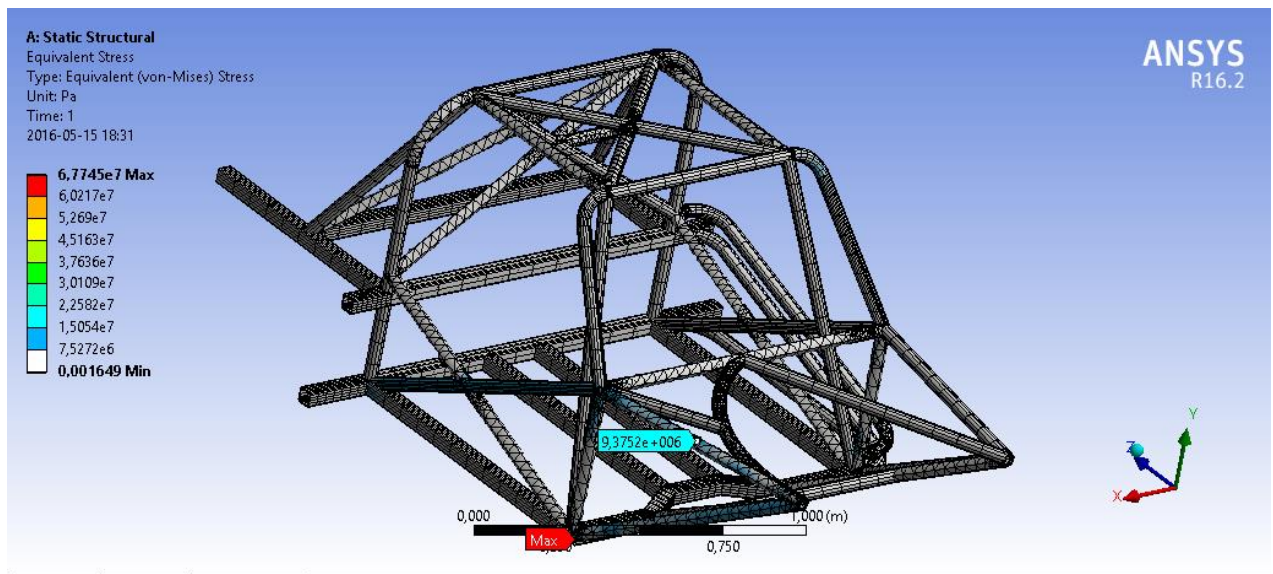


47 pav. Papildomas amortizatorių taškų sutvirtinimas

Pradinės komponuotės elemento vietose sumontuoti lenktos formos vamzdį su skersiniu įtvirtinimu (48 Pav.).



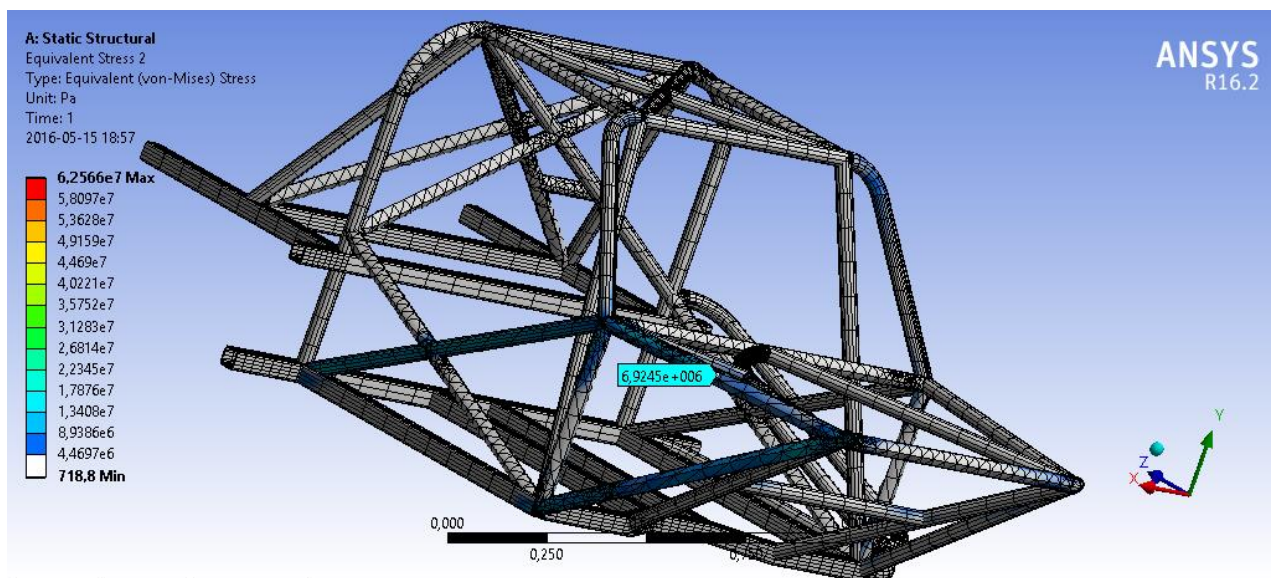
Atitinkamai sukurtas skaitinis BE modelis ir apkrautas identišškai kaip ir pirmieji elementai. Maksimalūs įtempiai siekia 67 MPa. Pasirinkto taško vietoje įtempiai siekia 19 MPa.



48. Pav. Lenktos formos vamzdis su skersiniu jo įtvirtinimu

Pradinės komponentės elemento vietose sumontuoti lenktos formos vamzdį su skersiniu įtvirtinimu ir elementą jungiantį amortizatorių tvirtinimo taškus (49 Pav.).

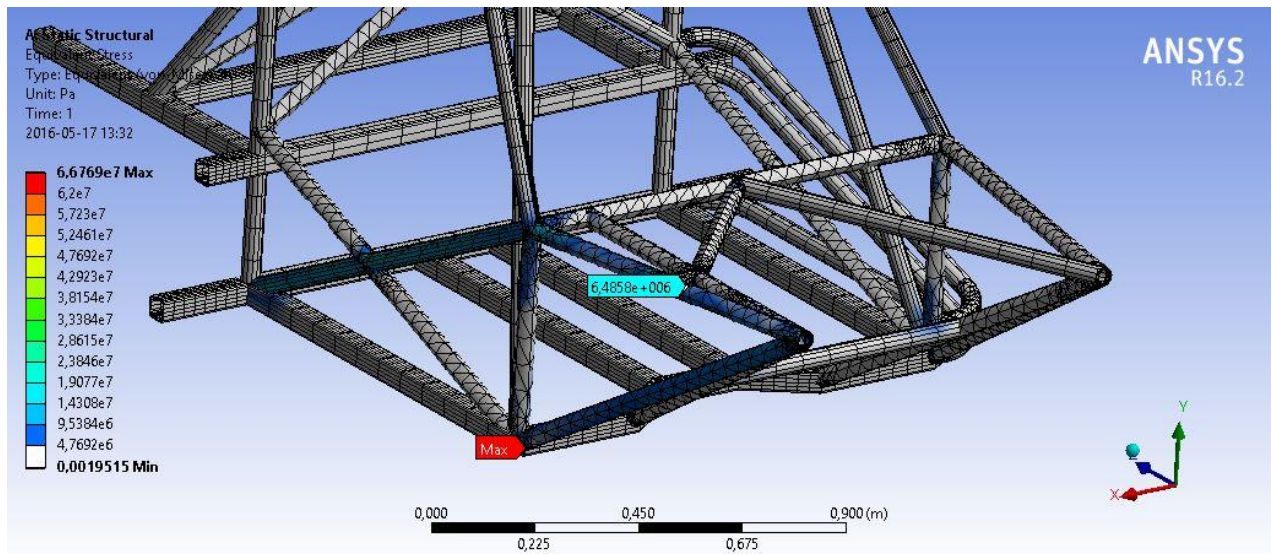
Atitinkamai sukurtas skaitinis BE modelis ir apkrautas identišškai kaip ir pirmieji elementai. Maksimalūs įtempiai siekia 62 MPa. Pasirinkto taško vietoje įtempiai siekia 7 MPa.



49 pav. Lenktas vamzdis su dviem įtvirtinimais

Sumodeliuotas ir 50 pav. parodytas modernizavimo būdas kai įmontuojamas papildomas tiesus elementas su dvejais skersiniais sutvirtinimais. Šios simuliacijos metu nustatyta jog

tiriamajame taške įtempiai siekia 6,48 MPa. Maksimalūs įtempiai 66,7 MPa.



50 Pav. Simuliacijos rezultatai su tiesiu elementu bei dvejais sutvirtinamais

Šis rėmo modernizavimo metodas pasirinktas kaip optimaliausias dėl paprasčiausio sumontavimo bei įtempiai pasiskirsto panašiausiai kaip pradinėje konstrukcijoje. Šis metodas taipogi patogiausias atliekant remonto darbus – t. y. neapribos priėjimo prie variklio ir neapsunkins mazgų išmontavimo.

## DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS

Atlikta automobilių laikančiųjų konstrukcijų apžvalga. Išanalizuoti erdvinio rėmo konstrukciją sudarantys elementai. Eksperimentinio bandymo metu nustatyti erdvinio rėmo elemento taško įtempiai ir deformacijos. Gauta jog strypinio elemento, esančio nuo priekinio dešinio rato iki priekinio lango apačios, taško įtempiai apkrovus 2500 N jėga yra 13,49 MPa.. SolidWorks programos aplinkoje sudarytas skaičiuojamasis baigtinių elementų modelis. „Ansys workbench student edition“ aplinkoje atlikti stipruminiai skaičiavimai. Rėmas atitinka Lietuvos Automobilių Sporto Federacijos ir FIA keliamus reikalavimus. Skaitinio modelio rezultatai palyginti su eksperimento metu gautais rezultatais. Rezultatų neatitikimas yra 4 procentai. Kuom galima teigti jog modelis yra pakankamai tikslus. Skaitiniu metodu parinktas geriausias rėmo modernizavimo metodas. Kuris yra paprasčiausias sumontuoti bei įtempiai pasiskirsto panašiausiai lyginant su pradine konstrukcija. Šiame darbe aprašoma tyrimų metodika turi didelį potencialą tyrimų įrangos tobulinimui. Tobulinant įrangą ir pašalinus uždegimo sistemos sukeltus elektroninius triukšmus galima nustatinėti automobilių laikančiųjų konstrukcijų apkrovas bei deformacijas realiu laiku. Šios deformacijos padėtų optimizuoti konstrukcijas. Žinant konkrečias apkrovas lengviau nustatyti silpnas vietas, ar maksimaliai sumažinti konstrukcijos masę

## IŠVADOS

1. Atlikta automobilių laikančiųjų konstrukcijų apžvalga. Pagrindiniai transporto priemonių laikančiųjų konstrukcijų tipai yra: monokokai, kėbulai, rėmai, liemens tipo rėmai, erdviniai rėmai.
2. Išanalizuoti erdvinio rėmo konstrukciją sudarantys elementai. Erdvinį rėmų sudedamosios dalys: saugos rėmas, apsauginis lankas, pagrindinis apsauginis, priekinis apsauginis lankas, šoninis apsauginis lankas, šoninis apsauginis puslankis, išilginis elementas, skersinis elementas, įstrižinis elementas, nuimami elementai, tvirtinimo padas, sutvirtinimo plokštės, kampiniai sujungimai
3. Eksperimentinio bandymo metu nustatyti erdvinio rėmo elemento taško įtempiai ir deformacijos. Gauta jog strypinio elemento, esančio nuo priekinio dešinio rato iki priekinio lango apačios, taško įtempiai apkrovus 2500 N jėga yra 13,49 MPa
4. SolidWorks programos aplinkoje sudarytas skaičiuojamasis baigtinių elementų modelis. „Ansys workbench student edition“ aplinkoje atlikti stipruminiai skaičiavimai. Rėmas atitinka Lietuvos Automobilių Sporto Federacijos ir FIA keliamus reikalavimus.
5. Skaitinio modelio rezultatai palyginti su eksperimento metu gautais rezultatais. Rezultatų neatitikimas yra 4 procentai.
6. Skaitiniu metodu parinktas geriausias rėmo modernizavimo metodas. Kuris yra paprasčiausias sumontuoti bei įtempiai pasiskirsto panašiausiai lyginant su pradine konstrukcija.
7. Šiame darbe aprašoma tyrimų metodika turi didelį potencialą tyrimų įrangos tobulinimui. Tobulinant įrangą ir pašalinus uždegimo sistemos sukeltus elektroninius triukšmus galima nustatinėti automobilių laikančiųjų konstrukcijų apkrovas bei deformacijas realiu laiku.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS.

1. J.Sapragonas. Transporto priemonių kėbulai. Lietuvos edukologijos universiteto leidykla, 2013m. ISBN 978-9955-20-921-8
2. A.Ruseckas, R.Šniuolis, J.Ščiukaitė. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO ANALIZĖ. JAUNŲJŲ MOKSLININKŲ DARBAI. Nr. 3 (24). 2009 ISSN 1648-8776.
3. A. Crolla. Automotive Engineering. Powertrain, Chassis and Vehicle Bodies. 2009 Elsevier Inc. ISBN 978-1-85617-577-7
4. C.A.Eurenius, N.Danielsson, A.Khokar, E.Krane, M.Olofsson, J.Wass. Analysis of Composite Chassis. Division of Vehicle Engineering and Autonomous Systems CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden, 2013 Kandidatarbete 2013:11
5. S.Pukalskas. Transporto Priemonės. VGTU leidykla TECHNIKA, 2008. ISBN 987-9955-28-241-9 Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.ebooks.vgtu.lt/reader/transporto-priemons/130>
6. Lonny L Thomson, et. al., "Design of a Twist Fixture to Measure the Torsional Stiffness of a Winston Cup Chassis", SAE Paper No. 983054, Motorsports Engineering Conference and Exposition, Dearborn, Michigan, November 16-19,1998.
7. P.Kumar, G.Madhusudhana. Desing and Analysis of a Tubular Space Frame Chasis of High Performance Race Car. International Journal of Reasearch in Engineering and Technology. eISSN: 2319-1163 pISSN: 2321-7308
8. M.Lendraitis Aerodinaminiam vamzdžiui skirtos jėgų matavimo įrangos tyrimas. Bakalauro baigiamasis darbas, Kaunas 2015
9. P. Gražulis. Universalios traktoriaus puspriekabės projektavimas. Bakalauro baigiamasis darbas, Kaunas 2014
10. Eitiutis A. Kaušinis S. Mechaniniu dydžių matavimai, Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008. 569 p.
11. Instrumentation amplifier with Precision Voltage Reference INA125, Burr-Brown Corporation, 1997. 18p.
12. Brown, Jason C.; Robertson, John A.; Serpento, Stan T.: Motor Vehicle Structures, Butterworth. Heinemann 2002
13. Law, E. H.; Raju, S.; Soni, P. H.; Thompson, L. L.: The Effects of Chassis Flexibility on Roll Stiffness of a Winston Cup Car, Motorsports Engineering Conference Proceedings, 1998
14. Crolla, D., Deakin, A., Hanley, R., Ramirez, J. (2000) The Effect of Chassis Stiffness on Race Car Handling Balance, SAE technical paper
15. LHMC Spaceframe Technical Regulations Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.rallycrossbrx.com/assets/img/uploads/2015-Spaceframe-Appendix-4-FINAL.pdf>

16. B.J. Waterman. Design and Construction of a Space-frame Chassis [žiūrėta 2016-05-10] <http://robotics.ee.uwa.edu.au/theses/2011-REV-SAE-SpaceFrame-Waterman.pdf>
17. FIA DRAFT 2014 FORMULA 4 TECHNICAL REGULATIONS Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] [http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/FIA%202014%20F4%20TECHN%20REGS\\_17\\_09\\_2013\\_corr%20-GS\\_modRM-nl\\_RM2-nl2.pdf](http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/FIA%202014%20F4%20TECHN%20REGS_17_09_2013_corr%20-GS_modRM-nl_RM2-nl2.pdf)
18. Advanced Welding Techniques for Tubular Frame Assembly Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Great%20Designs%20in%20Steel/GDIS%202008/14%20-%20Advanced%20Welding%20Techniques%20for%20Tubular%20Frame%20Assembly.pdf>
19. Paskaitų konspektas. <http://stud.ppf.ktu.lt/vaiciulis/paskaitos/me1/me1-05.pdf> Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-10]
20. Fia reikalavimai (j priedas) Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] [http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/253%20\(2013\).pdf](http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/253%20(2013).pdf)
21. Bugatti technologijos Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.bugatti.com/veyron/technology/>
22. Car Chassis Basics and How-To Design [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.buildyourownracecar.com/race-car-chassis-basics-and-design/2/>
23. Chassis explained [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.formula1-dictionary.net/chassis.html>
24. Produktų katalogas. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] [www.racetechology.com](http://www.racetechology.com)
25. Produktų katalogas. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.longacracing.com/products.aspx?itemid=1785&prodid=7146&pagetitle=Computers%20cales%20AE+AccuSet+II%E2%84%A2+1100+lb%20fpad>
26. Produktų katalogas. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://uk.rs-online.com/web/p/strain-gauges/0308102/>
27. Nuotraukų galerija. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-05-10] <http://www.s2ki.com/s2000/topic/844348-s2000-roll-center-discussion/>
28. Andriaus Firanto asmeninis nuotraukų archyvas.