



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lenktyninio automobilio virpesių slopintuvo reguliavimo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Jonas Januškevičius
Projekto autorius

Doc. Dr. Vaidas Lukoševičius
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lenktyninio automobilio virpesių slopintuvo reguliavimo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Jonas Januškevičius
Projekto autorius

Doc. Dr. Vaidas Lukoševičius
Vadovas

Prof. Dr. Artūras Keršys
Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Jonas Januškevičius

Lenktyninio automobilio virpesių slopintuvo reguliavimo tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Jono Januškevičiaus, baigiamasis projektas tema „Lenktyninio automobilio virpesių slopintuvo reguliavimo 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**

Studijų programa 621E20001

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS**

Studentui Jonui Januškevičiui

1. Baigiamojo projekto tema.

„Lenktyninio automobilio virpesių slopintuvo reguliavimo tyrimas“

„Adjustment of race car shock absorbers“

2. Projekto tikslas ir uždaviniai.

Projekto tikslas: ištirti amortizatoriaus savybes, atlikti bandymus lenktynių trasoje, pateikti rekomendacijas virpesių slopintuvo suregulavimui.

Projekto uždaviniai:

- apžvelgti pakabų tipus, bei jų elementus. Aprašyti amortizatorių veikimą ir savybes;
- ištirti amortizatorių savybes dinamometro stende;
- atlikti matavimus lenktynių trasoje, nustatyti kokiame diapazone virpesių slopintuvas veikia;
- aprašyti skirtingų matavimų rezultatus;
- pateikti rekomendacijas virpesių slopintuvo reguliavimui.

Magistrantas:
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Išvadas	11
1. Referatinės medžiagos apžvalga bei analizė	12
1.1. Pakabų tipai.....	12
1.2. Pakabų elementai	15
1.3. Sukibimas su kelio danga.....	22
2. Virpesių slopintuvų ir spyruoklių savybių nustatymas	26
2.1. Priekinių virpesių slopintuvų savybių nustatymas.....	26
2.2. Galinių virpesių slopintuvų savybių nustatymas.....	37
2.3. Spyruoklių savybių nustatymas	45
3. Virpesių slopintuvo matavimai Nemuno žiedo trasoje	49
3.1. Automobilio specifikacijos ir poslinkio jutiklio įtvirtinimas.....	49
3.2. Trasa ir naudojamos padangos	51
3.3. Matavimai lenktynių trasoje.....	52
4. Lenktynininko pastebėjimai ir rekomendacijos slopintuvų sureguliuvimui	58
4.1. Lenktynininko išvalgos.....	58
4.2. Rekomendacijos virpesių slopintuvų sureguliuvimui	59
Išvados	61
Literatūros sąrašas	62

Paveikslų sąrašas

1.1. pav. „McPherson“ kolona.....	12
1.2. pav. Daugiasvirtė pakaba.....	13
1.3. pav. Priklausoma linginė pakaba	14
1.4. pav. Nepriklausoma ir priklausoma pakaba	15
1.5. pav. Stabilizatorius	16
1.6. pav. Svirtys ir vairo traukės.....	16
1.7. pav. Įvairių dydžių spyruoklės.....	17
1.8. pav. Slopintuvas	18
1.9. pav. Slopintuvo sudedamosios dalys	19
1.10. pav. Reguliuojamo aukščio amortizatoriai	20
1.11. pav. Slopintuvo reguliavimas	21
1.10. pav. Dinamometras bandymams.....	22
1.11. pav. Toyo „slick“ padangos.....	23
1.12. pav. Šoninės jėgos ir ratų pasukimo grafikas	23
1.13. pav. Sukibimo jėgos apskritimas	24
2.1. pav. „Honda Civic Type R“ virpesių slopintuvai: 1 – priekinis; 2 – galinis	26
2.2. pav. „Honda Civic Type R“ virpesių slopintuvo reguliavimas	27
2.3. pav. Dinamometras „BTP 2000“	28
2.4. pav. Virpesių slopintuvo įtvirtinimas dinamometro stende: 1 – viršuje; 2 – apačioje	29
2.5. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 32.....	30
2.6. pav. Priekinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32.....	30
2.7. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32.....	31
2.8. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 16.....	31
2.9. pav. Priekinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16.....	32
2.10. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16	32
2.11. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 0.....	33
2.12. pav. Priekinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0.....	33
2.13. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0	34
2.14. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo regulatoriaus padėties.....	35
2.15. pav. Skirtingų matavimų jėgų histogramos, esant tai pačiai regulatoriaus padėčiai	36
2.16. pav. Taškų sklaidos diagrama skirtingiems matavimams	37
2.17. pav. Galinio virpesių slopintuvo įtvirtinimas dinamometro stende: 1 – viršuje; 2 – apačioje .	38
2.18. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 32	39
2.19. pav. Galinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32.....	39

2.20. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32	40
2.21. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 16	40
2.22. pav. Galinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16.....	41
2.23. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16	41
2.24. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 0	42
2.25. pav. Galinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0.....	42
2.26. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0	43
2.27. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo regulatoriaus padėties	44
2.28. pav. Taškų sklaidos diagrama skirtingiems matavimams	45
2.29. pav. „Honda Civic Type R“ spyruoklės: 1 – galinė; 2 – priekinė	46
2.30. pav. Spyruoklės įtvirtinimas dinamometro stende	46
2.31. pav. Priekinės spyruoklės jėgos priklausomybė nuo poslinkio	47
2.32. pav. Galinės spyruoklės standumo priklausomybė nuo poslinkio.....	47
2.33. pav. Galinės spyruoklės jėgos priklausomybė nuo poslinkio.....	47
2.34. pav. Galinės spyruoklės standumo priklausomybė nuo poslinkio.....	48
3.1. pav. „Honda Civic Type R“ automobilis.....	49
3.2. pav. Amortizatorius automobilyje: 1 – traukės pritvirtinimas; 2 –slopintuvo regulatorius	50
3.3. pav. Poslinkio jutiklio įtvirtinimas: 1 – viršuje; 2 – apačioje.....	50
3.4. pav. Kačerginės Nemuno žiedo trasa: 1 – posūkis į dešinę; 2 – posūkis į kairę	51
3.5. pav. „Semi slick“ padagos: 1 – prieš važiavimą; 2 – po važiavimo.....	52
3.6. pav. DL1 įranga	52
3.7. pav. Analizuojamas posūkis į dešinę pusę.....	53
3.8. pav. Slopintuvo poslinkis posūkyje į dešinę, esant skirtingai regulatoriaus padėčiai	54
3.9. pav. Slopintuvo poslinkis posūkyje į kairę, esant skirtingai regulatoriaus padėčiai	55
3.10. pav. Slopintuvo poslinkis trasoje, esant skirtingai regulatoriaus padėčiai	57
4.1. pav. Juliaus Skirmanto lenktyninis automobilis	58
4.2. pav. Slopintuvo poslinkis įveikiant vieną ratą nustačius 12 regulatoriaus padėtį	59

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Priekinio virpesių slopintuvo savybės, esant skirtingai regulatoriaus padėčiai.....	34
2.2 lentelė. Priekinio virpesių slopintuvo dviejų matavimų duomenų statistika.....	35
2.3 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatas skirtingiems matavimams.....	37
2.4 lentelė. Galinio virpesių slopintuvo savybės, esant skirtingai regulatoriaus padėčiai	43
2.5 lentelė. Galinio virpesių slopintuvo dviejų matavimų duomenų statistika.....	44
2.6 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatas skirtingiems matavimams.....	45
2.7 lentelė. Spyruoklių gauti rezultatai.....	48
3.1 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkiai sukant į dešinę	53
3.2 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkiai sukant į kairę	56
3.3 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkiai trasoje	56
4.1 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkis, esant skirtingoms situacijoms	60

Januškevičius Jonas. Lenktyninio automobilio virpesių slopintuvo reguliavimo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vaidas Lukoševičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *automobilis, amortizatorius, reguliavimas, pakaba*.

Kaunas, 2018. 63 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro darbe tiriami reguliuojamo aukščio ir mechaninių savybių amortizatoriai. Literatūros apžvalgoje pateikiama su projekto tematika susijusi informacija. Dinamometru „BTP 2000“ ištirtos virpesių slopintuvų savybės, keičiant reguliatoriaus padėtis. Nustatyta tiesinė spyruoklių jėgos priklausomybė nuo poslinkio. Koreliacine analize ir taškų sklaidos diagramomis patikrintas gautų rezultatų tikrumas. Aprašytas amortizatoriaus ir poslinkio jutiklio įtvirtinimas automobilyje. Nustatytos virpesių slopintuvo koto eigos skirtinguose posūkiuose ir pateikti vairuotojo pastebėjimai, kaip keitėsi automobilio valdymas pakeitus slopintuvo savybes. Apibendrinus rezultatus, sudarytos rekomendacijos amortizatorių sureguliuvimui ir pateiktos išvados.

Januškevičius Jonas. Adjustment of race car shock absorbers. Master's Final Degree Project supervisor doc. dr. Vaidas Lukoševičius; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: *vehicle, shock absorber, adjustment, suspension.*

Kaunas, 2018. 63 pages.

Summary

In this master's thesis an investigation of adjustable height and mechanical properties shock absorbers are carried out. The literature review provides information on the subject of the project. Using the „BTP 2000,, dynamometer, damper properties were investigated by changing the position of the controller. The linear dependence of the spring force and displacement exist. Correlation analysis and point scatter graphs verify the validity of the results. Shock absorber and displacement sensor fixation in the car is described. The shock absorber movement was determined at different turns and driver notes were provided of how the car's handling changed after changing the characteristics of the damper. Recommendations are made for the adjustment of shock absorbers and the conclusions are presented.

Ivadas

Automobilių sporte, variklio galios pranašumas ne visuomet yra pergalės faktorius. Kiekvienais metais konkurencija didėja o laiko skirtumai tarp lenktynininkų mažėja. Tai verčia lenktynininkus tobulinti savo mašinas ir ieškoti galimybių, kaip padaryti, kad automobilis būtų kuo geriau suvaldomas tam tikrose situacijose. Didelę reikšmę automobilio valdymui turi amortizatoriai, jie padeda sugerti kelio nelygumus, išlaiko stabilią mašiną, važiuojant posūkiuose ir tiesiame kelyje. Lenktyniniuose automobiliuose montuojami reguliuojamo aukščių ir mechaninių savybių amortizatoriai, tačiau jų suregulavimui neturima reikiamų žinių. Šiame darbe yra tiriamas amortizatorių veikimas lenktynių trasoje, nustatomos amortizatorių savybės dinamometro stende, reguliuojamas ir išbandomas amortizatorius trasoje.

Darbo tikslas: ištirti amortizatoriaus savybes, atlikti bandymus lenktynių trasoje, pateikti rekomendacijas virpesių slopintuvo suregulavimui.

Uždaviniai:

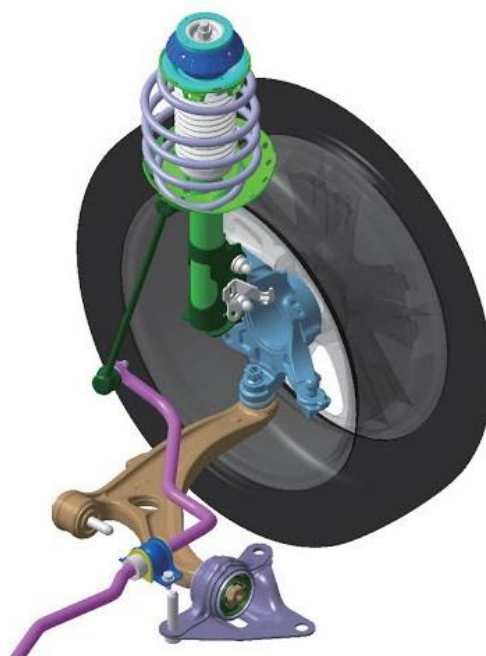
1. Apžvelgti pakabų tipus, bei jų elementus. Aprašyti amortizatorių veikimą ir savybes.
2. Ištirti amortizatorių savybes dinamometro stende.
3. Atlikti matavimus lenktynių trasoje, nustatyti kokiame poslinkio diapazone virpesių slopintuvas veikia.
4. Aprašyti skirtingų matavimų rezultatus.
5. Pateikti rekomendacijas virpesių slopintuvo reguliavimui.

1. Referatinės medžiagos apžvalga bei analizė

1.1. Pakabų tipai

Automobilio pakaba – elementų sistema, kuri jungia kėbulą su automobilio ratais. Jos paskirtis išlaikyti kėbulą nustatytame aukštyje virš kelio, izoliuoti nuo išorinių virpesių, kurie atsiranda dėl kelio nelygumų, absorbuoti dalį jėgų atsirandančių važiuojant per nelygumus posūkiuose arba stabdant. Komfortiškas važiavimas be pakabos elementų neįmanomas. Dažniausiai naudojami standūs ir lankstūs elementai, kurie sujungia ratus su kėbulu. Konstruktoriai daugelį metų siekė suderinti dažnai viena kitai prieštaraujančių funkcijų. Pradžioje buvo naudojama standi pakaba, vėliau atsirado priklausoma ir nepriklausoma pakaba. Šiuo metu labiausiai naudojama nepriklausoma pakaba. Ji ne tik montuojama į lengvųjų automobilių priekines ašis, bet ir į galines. Išskiriami pagrindiniai nepriklausomų priekinių pakabų tipai:

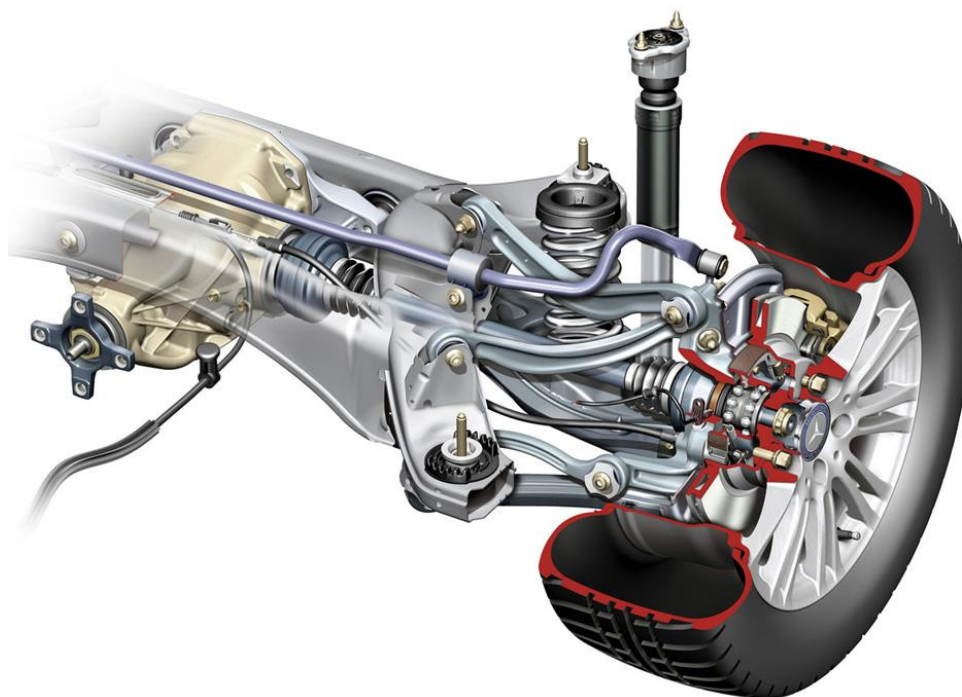
- McPherson kolona naudojama šiuolaikiniuose žemesnės klasės automobiliuose. Naudojant šį pakabos tipą sutaupoma daug vietos, nes amortizuojantis, laikantis ir posūkio elementai sujungti į vieną sistemą. Pagrindiniai elementai: amortizatorius ir sraigtinė spyruoklė. Amortizatorius viršuje yra tvirtinamas guoliu todėl yra galimybė kolonai sukis apie savo ašį, ir tuo pačiu pasukti ratus. Kolona standžiai sujungta su posūkio kronšteinu, o posūkio kronšteinas rutuliniu lankstu sujungtas su svirtimi.



1.1. pav. „McPherson“ kolona [1]

- Nepriklausoma pakaba susukamais strypais. Pakaboje apatinė svirtis sujungta su susukamuoju strypu išdrožine jungtimi. Susukamas strypas pritvirtintas prie rėmo arba dugno. Viršutinė posūkio gembės dalis prijungta prie viršutinės svirties arba amortizatoriaus svirties kronšteino. Kuomet pakaboje naudojama viena apatinė svirtis, jėgos atsirandančios stabdymo ar greitėjimo metu yra perduodamos reaktyvinėms traukėms, kurios yra tarp apatinio posūkio kronšteino dalies ir rėmo. Velkamų svirčių sistema gali būti panaudota vietoje dažnai naudojamų skersinių svirčių

- Daugiasvirtė pakaba užtikrina komfortą, bet tuo pačiu ir puikias vairavimo savybes. Konstrukciją sudaro išilginės, skersinės ir įstrižinės svirtys sujungtos į vieną sistemą, prie sistemos taip pat prijungtos ir skersinės traukės, o prie jų pritvirtintas amortizatorius su spyruokle (apačioje ir viršuje). Tokia konstrukcija apsaugo nuo galinės pakabos pasvirimo, kampų pokyčių didėjant apkrovai. Pakabos didžiausias plusas, kad ji puikiai sugeria kelio nelygumus, mažiau bilda ir barška pakaba. Jos tarnavimo laikas yra ganėtinai ilgas, dažnai originalias dalis nereikia keisti net 5-10 metų. Didžiausias minusas kuomet tokio tipo pakabą reikia tvarkyti, tai kainuoja dideles sumas, nes ją sudaro daugybė elementų.

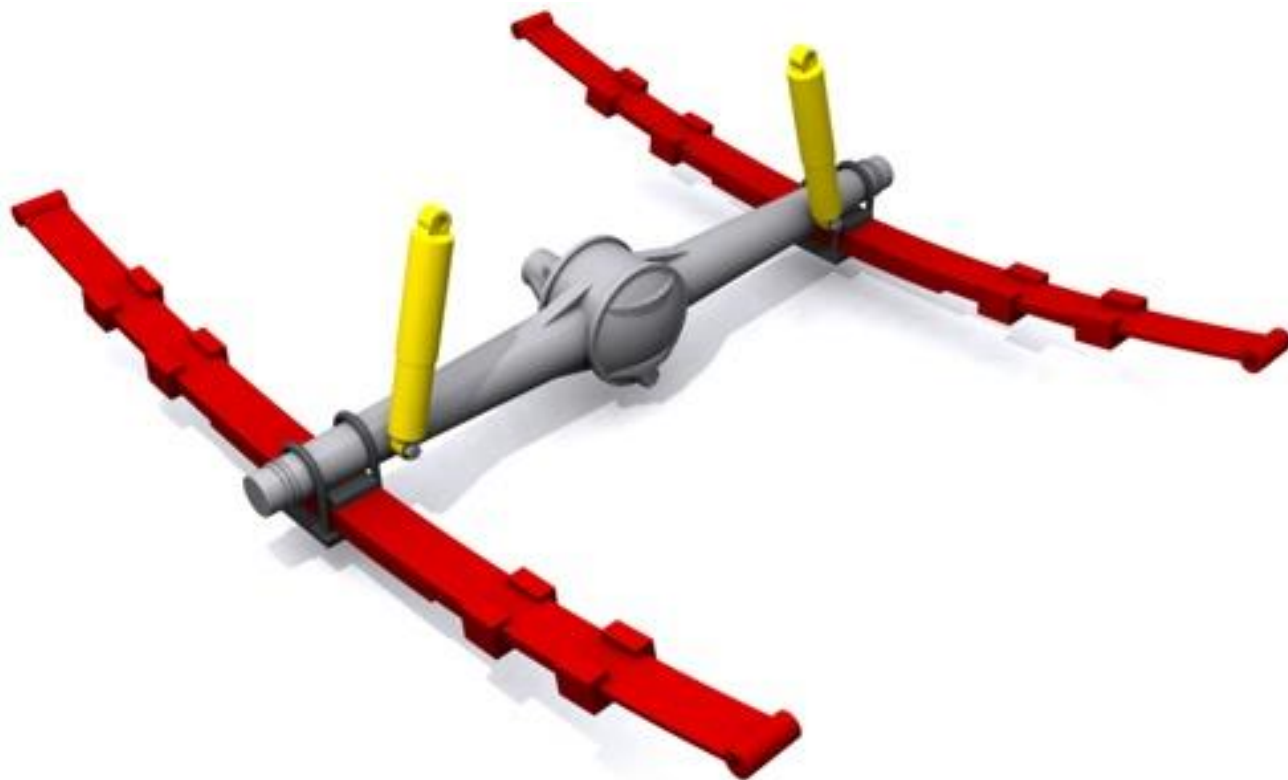


1.2. pav. Daugiasvirtė pakaba [2]

- Nepriklausomos pakabos ratai gali judėti vertikaliajoje plokštumoje, nedarydami įtakos vienas kitam, dėl šios savybės ratai turi gerą sukibimą su kelio danga. Tai yra vienas iš didžiausių plusų lyginant su priklausomomis pakabomis.

- Priklausomos pakabos priekiniuose tiltuose, lengvuosiuose automobiliuose, nebenaudojamos, tokio tipo pakabas galima rasti, tik senesnio modelio automobiliuose įmontuotas į galinį tiltą. Viena

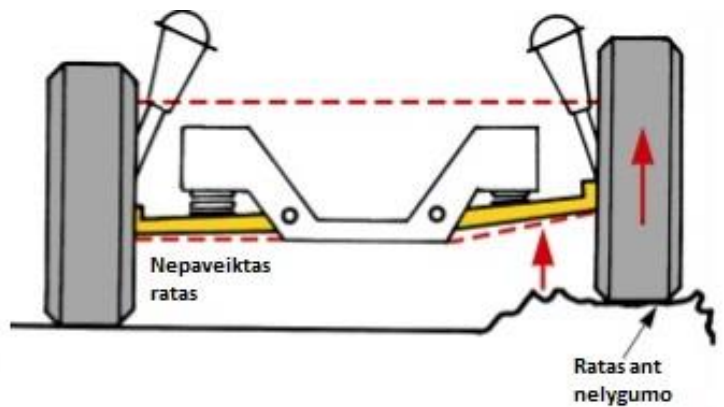
iš priklausomų pakabų – linginė pakaba. Ji yra didelių gabaritų ir sunki, dėl šios priežasties retai montuojama į lengvuosius automobilius. Linginė pakaba montuojama į priekabas ar krovinį transportą. Populiariausias naudojamas konstrukcinis sprendimas, kai skersinė lingė įmontuota po pakabos elementais ir sujungta su apatiniu posūkio kronšteino dalimis. Viršutiniai kronšteinai sujungti su svirtimis, kurie sukamosiomis jungtimis pritvirtinti prie važiuoklės atramų.



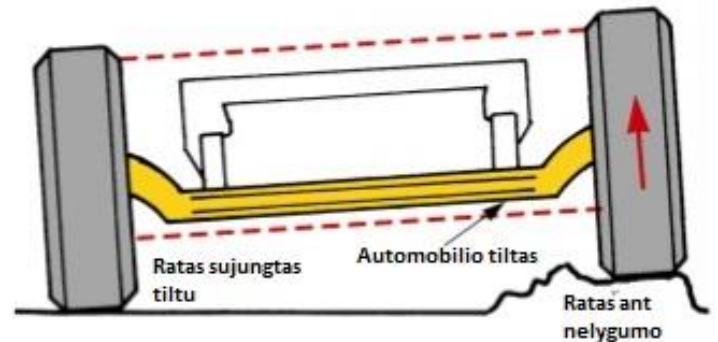
1.3. pav. Priklausoma linginė pakaba [3]

Išskiriami tokio tipo pakabų trūkumai: ratų tarpusavio ryšys tiltui pakrypus, tilto posūkiai vertikaloje ašyje, rato apkrovų paskirstymas dėl momento veikiančio pagrindinę pavarą, ratų eiga vertikaloje kryptyje nevienoda. Dideli trūkumai yra ir pakabos konstrukcijoje – ištisinei tilto sijai reikia daug vietos kėbule, todėl gamintojai turi suprojektuoti automobilį atsižvelgiant į masyvaus tilto gabaritus. Stabilumas taip pat yra vienas iš trūkumų, dėl kurio šis pakabos tipas retai naudojamas. Pagrindinis skirtumas tarp nepriklausomos ir priklausomos pakabos pavaizduotas 1.4 paveiksle. Matome, kad užvažiavus ant kelio nelygumo nepriklausomos pakabos kairysis ratas išlieka savo pozicijoje ir išlieka automobilio horizontalumas. Automobiliui užvažiavus ant kliūtis su priklausoma pakaba, visas automobilis pasvyra, tuo pačiu pasvyra ir automobilio ratai, tai turi neigiamą įtaką automobilio stabilumui, nes nėra išlaikoma horizontali tiesė, taip pat sumažėja automobilio ratų protektoriaus sukibimo plotas, o tai gali įtakoti blogesnę pravažumą.

Nepriklausoma



Priklausoma



1.4. pav. Nepriklausoma ir priklausoma pakaba [4]

Lenktyniniuose automobiliuose stengiamasi kuo geriau išnaudoti variklio galią, ir šios galios išnaudojimui turi įtakos automobilio pakaba. Kuo važiuoklė yra lengvesnė ir arčiau žemės, tuo geriau. Automobiliuose su lengvesniais pakabos elementais atsiranda mažesnės inercijos, sugeriant kelio nelygumus, dėl šios priežasties ji nesvyruoja ir neperduoda svyravimų automobiliui, o šių svyravimų eliminavimas išlaiko ratų prispaudimą ir sukibimą.

1.2. Pakabų elementai

- **Pakabos svirtys, guminės įvorės, stabilizatorius.** Stabilizatoriai yra montuojami į daugelį automobilių, tačiau yra modelių, kur jis nėra numatytas. Pagrindinė paskirtis didinti mašinos stabilumą. Įprastai metaliniu strypu vienos ašies ratas yra sujungiamas su kitu ratu. Stabilizatoriaus gale tvirtinamos traukės, lankstai, o prie jų gali būti montuojami amortizatoriai arba šakės, tai priklauso nuo kiekvieno automobilio konstrukcijos. Prie kėbulo stabilizatorius tvirtinamas gumomis, kad sumažintų perduodamus virpesius vairuotojui ir keleiviams. Pasitaiko defektų, kai susidėvi traukės jungiančios stabilizatorių, tuomet automobilis tampa nestabilus.



1.5. pav. Stabilizatorius [5]

Svirtimis yra sujungiamos judančios pakabos detalės. Svirtys turi lankstus, kurie gali lankstytis 360 laipsnių kampu. Ilgainiui jie susidėvi ir važiuojant pradedamas girdėti beldesys pakaboje.



1.6. pav. Svirtys ir vairo traukės [6]

Svirtyse taip pat yra guminės įvorės, kurios padeda švelninti kelio nelygumų, atsiradusią energiją ir virpesius. Įvorėms sudilus, automobilis tampa nestabilus. Važiuojant tiesiu, lygiu keliu automobilis vinguriuoja po kelią. Dažniausiai įvorės suplyšta arba išplyšta.

• **Spyruoklės** - vienos iš svarbiausių amortizatoriaus komponentų. Ši detalė užtikrina vairavimo saugumą, padeda išlaikyti automobilį tam tikrame aukštyje. Palaipsniui spyruoklės praranda savo standumą ar net lūžta, tokiu atveju jos nėra remontuojamos o keičiamos naujomis. Jų tarnavimo

laikas yra ilgas, jos keičiamos retai. Dažnai žmonės keičia kitomis, norėdami, kad automobilis būtų kuo arčiau žemės, tokiu atveju reikia žinoti plačiau apie jų specifiką. Perkant ir keičiant spyruokles, reikia įsitikinti, kad jos tinkamos numatytam automobiliui. Tamprumas yra vienas iš parametru, į kurį reikia atkreipti dėmesį, jis žymimas kg/cm. Standartinės automobilių spyruoklės turi 26-27kg/cm išraišką, tai reiškia, kad esant 26-27kg apkrovai ant jos, ji susispaus vieną centimetrą. Taip pat reikia žinoti, kad gamintojai yra vidutiniškai numatę galimybę sužeminti automobilį apie keturis centimetrus. Jei žeminama daugiau, nekeičiant amortizatoriaus, galima pakenkti automobilio amortizatoriui ar kitiems važiuoklės elementams.



1.7. pav. Įvairių dydžių spyruoklės [7]

Automobilių spyruoklės būna įvairių ilgių, skirtingų tamprumų. Elemento galai sujungiami spaustukais, kurie veikia lenkimo režimu. Siekiant sumažinti automobilio masę jos gaminamos ne tik iš plieno, bet ir iš kitokių medžiagų. Konstrukcijoje jos montuojamos viduryje ant automobilio platformos, o galai pritvirtinami prie kėbulo, bet gali pasitaikyti ir nestandartinių sprendimų. Pagrindinė funkcija, kurią atlieka šis elementas – smūgių amortizavimas. Naudojant spyruokles būtina taip pat naudoti ir slopintuvą.

• **Slopintuvas** atlieka slopinimo funkciją, konvertuodamas mechaninę energiją į šilumą. Šis įtaisas padeda sugerti kelio nelygumų sukurtą energiją. „Automobiliuose yra įrengti virpesių slopintuvai skirti sumažinti pokytį tarp kelio dangos ir padangos, kuri kontaktuoja su važiuokle“. [8]. Vairuotojas jaučiasi komfortiškai ir saugiai. Slopintuve yra dujų sukimosi strypai, spyruoklės, skysčiai ir guminės dalys. Alyvos klampumas, kuria užpildytas slopintuvas, turi įtaką jo

efektyvumui. Slopintuvai yra skirstomi į hidraulinius, dujinius ir pučiamuosius pagal temperatūros diapazoną, kuris veikia automobilyje. Jų veikimo principas išlieka nepakitęs. Pagrindinis vožtuvas yra stumiamas į centrinio cilindro vidų. Dujinis slopintuvas neturi išorinio cilindro.

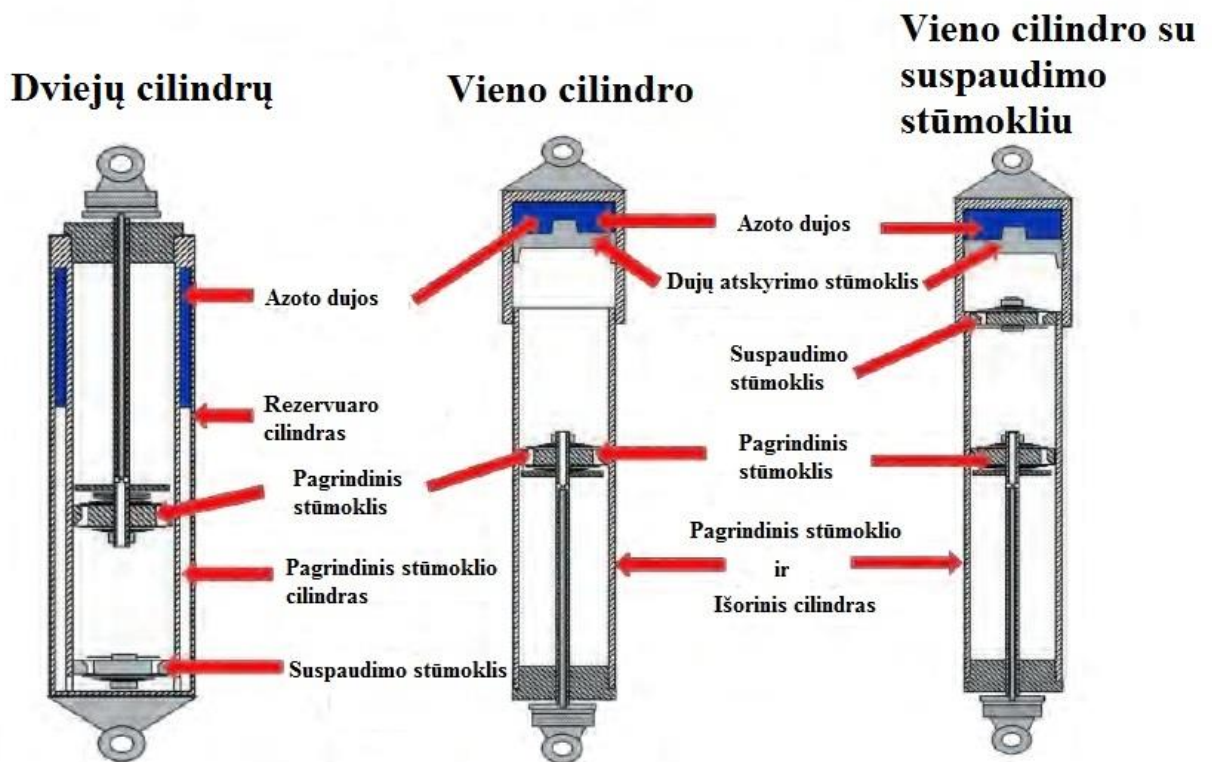


1.8. pav. Slopintuvas [9]

Slopintuvų defektai pasitaiko retai, jei jie yra tinkamai sumontuoti ir tinkamai eksploatuojami. Vienas iš galimų defektų yra tada, kai slopintuvas nebeslopina svyravimų, tuomet automobilis stabdant ar važiuojant per nelygumus tiesiog šokinėja. Dar vienas iš defektų, kai nutrūksta slopintuvo koto riebokšlio guma ir per ją patenka nešvarumai arba vanduo, kurie laikui bėgant pakenkia amortizatoriui. Pasitaiko ir mechaninių amortizatoriaus pažeidimų: įtrūkimas, įdubimas korpuse, koto kreivumas. Visos slopintuvo sudedamosios dalys:

- pagrindinis stūmoklis. sukuria pagrindines slopinimo jėgas. Trijose nurodytose konstrukcijose visos ištraukimo jėgos yra sukuriamos pagrindiniu stūmokliu;
- suspaudimo stūmoklis. Turi keletą funkcijų: sukuria kompresijos jėgą, pagrįstą koto poslinkiu per suspaudimo stūmoklį, todėl sumažėja suspaudimo slėgis, esant tai pačiai slopinimo jėgai, ir ratai veikiami tolygesne jėga. Taip pat sukuria slėgio balansą pagrindiniam stūmokliui, taip išvengiant kavitacijos, tai leidžia slopintuvui su suspaudimo stūmokliu veikti esant mažesniai dujų slėgiui;
- dujų atskyrimo stūmoklis. Jis leidžia atskirti dujas nuo alyvos;
- pagrindinis stūmoklio cilindras. Tai yra cilindras, kuriame dirba pagrindinis stūmoklis;

- rezervuaro cilindras. Cilindras dviejų cilindrų slopintuve, kuris turi erdvę papildomam alyvos ir dujų slėgiui. [10].



1.9. pav. Slopintuvo sudedamosios dalys[10]

Skirtingų slopintuvų konstrukcijų privalumai ir trūkumai:

- Dviejų cilindrų. Privalumai: nebrangus, turi suspaudimo stūmoklį, dėl kurio mažesnis suspaudimo ir dujų slėgis. Trūkumai: stūmoklio kotas turi eiti iš viršaus į apačią, kad išvengti kavitacijos. Nėra dujų atskyrimo stūmoklio, dėl to dujos gali susimaišyti su alyva. Mažesnis pagrindinio stūmoklio diametras, dėl papildomo cilindro, gali susidaryti didesni slėgiai,
- Vieno cilindro. Privalumai: alyva atskirta nuo dujų, didesnės kokybės konstrukcija. Trūkumai: nėra suspaudimo stūmoklio, todėl reikalingas didesnis dujų slėgis norint išvengti kavitacijos. Slopintuvas ilgesnis dėl azoto dujų kameros
- Vieno cilindro su suspaudimo stūmokliu. Privalumai: alyva atskirta nuo dujų, turi suspaudimo stūmoklį, dėl kurio mažesnis slėgis dujose ir mažesnė kompresija. Trūkumai: Slopintuvas ilgesnis dėl azoto dujų kameros ir suspaudimo stūmoklio.

- **Spyruoklės ir slopintuvo sistema**, angliškai „coilover“. Įprastai vadinami reguliuojamais automobilio amortizatoriais. Važiuklės elementas universaliau leidžia išnaudoti pakabą, bei lengviau keisti ratų išvirtimą. Lenktyninėje mašinoje amortizatoriaus turi du tikslus: sumažinti padangos ir kelio dangos sąlyčio kitimą, bei įtakoti trumpalaikius važiuklės judesius, nes mašina patiria šoninius, išilginius ir vertikalius pagreičius. Naudotojai pakabą gali pritaikyti savo individualiems poreikiams, pavyzdžiui, kieta gerame kelyje arba minkšta žvyrkelyje, žema vasarą, bet aukšta žiemą. Jie yra parduodami, kaip vientisi mechanizmai, dėl šios priežasties prie jų nebandoma pritaikyti, kitokių spyruoklių.

Aukštis reguliuojamas, pasukant veržles, gamintojų numatytu būdu, priklausomai nuo specifikacijų reguliuojami amortizatoriai gali turėti skirtingas reguliavimo ribas. Amortizavimo reguliavimas dar paprastesnis: reikia pasukti rankenėlę ar ratuką į vieną ar kitą pusę ir amortizatorius taps minkštesnis arba kietesnis. Dažnai susiduriama su problema, kaip tinkamai sureguliuoti, kad būtų pasiektas maksimaliai geras rezultatas reguliuojamų amortizatorių lenktynių trasoje. Kiekvienai mašinai sureguliuojamas yra skirtingas ir jis pasiekiamas ilgu bandymų keliu, kai išbandomi skirtingai sureguliuoti variantai, pasirenkant geriausią.

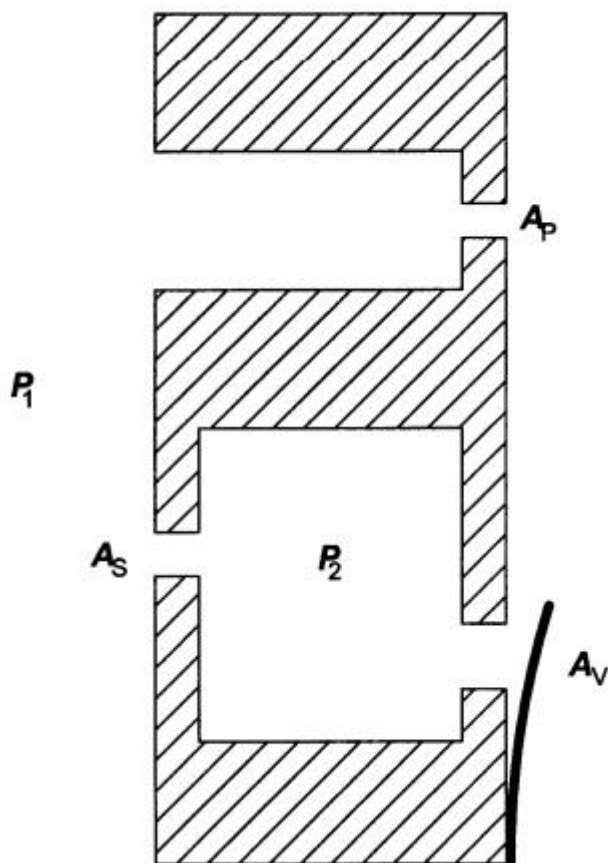


1.10. pav. Reguliuojamo aukščio amortizatoriai [11]

Tokio tipo amortizatoriai retai įrengiami gamykliniuose automobiliuose, juos dažnai naudoja automobilių sporto lenktynininkai arba automobilių entuziastai, norintys pakeisti pakabos savybes.

Spyruoklės yra keičiamos tik tuomet, jei reikalingos visai kitos savybės, pavyzdžiui, jeigu visada lenktyniaujama lygioje plento trasoje ir norima pereiti prie ralio trasos kurioje yra daug nelygumų.

Reguliuojamų mechaninių savybių amortizatoriuose reguliuojamas suspaudimas ir ištraukimas, kartais šie parametrai reguliuojami atskirai, bet dažnai regulatorius naudojamas vienas abiem kryptims. Slopintuvo veikimas yra reguliuojamas vožtuvo pagalba, kuris yra ant pagrindinio stūmoklio galo.



1.11. pav. Slopintuvo reguliavimas [12]

Vožtuvo ertmėmis prateka alyva, kuri yra pagrindiniame cilindre P_1 , P_2 ir P_3 . Ertmės yra pažymėtos A_p , A_s ir A_v , keičiant regulatoriaus pagalba A_v ertmę yra reguliuojamas virpesių slopintuvas, ją praveriant slopintuvas minkštinamas, tuomet slopintuvui reikalinga mažesnė jėga jį suspausti. Užvėrus A_v ertmę įrenginys kietinamas. [12].

Amortizatoriai yra jautrūs greičiui, kuriuo jie yra veikiami. Jie sukuria jėgą, kuri proporcinga suspaudžiamam ar atspaudžiamam greičiui. Kai amortizatorius yra suspaudžiamas lėtai, jo pasipriešinimo jėga bus mažesnė, negu tuo atveju, kuomet jis suspaudžiamas greitai. Spyruoklės sukurta jėga taip pat yra proporcinga suspaustam ar atspaudžiamam atstumui, nepaisant judėjimo greičio. Todėl spyruoklė sukuria maksimalią jėgą, kai ji yra maksimaliai suspausta, o slopintuvas pasiekia didžiausią jėgą, kai jo suspaudimo greitis yra didžiausias.



1.10. pav. Dinamometras bandymams [13]

Amortizatoriaus charakteristikos gali būti išmatuotos dinamometru. Smūgio jėga lyginama su strypo judėjimo greičiu, tai parodo kokia jėga sukurta tam tikru greičiu, imituojant duobes ar iškilimus kelyje.

Norint tinkamai sureguliuoti amortizatorių tam tikrai mašinai, pirmiausiai reikia nustatyti savybes kokias turi amortizatorius. Tam reikia atlikti tyrimą dinamometro stende, nustatant smūgio jėgos ir koto greičio kreivę. Vėliau turime patikrinti, koku greičiu amortizatorius yra veikiamas žemyn ir aukštyn, kai lenktyninis automobilis važiuoja trasoje. Tai galima nustatyti iš įrašytų pakabos duomenų. Linijiniai išmatuoti važiuoklės judesį. Potenciometras yra dedamas į vieną liniją su amortizatoriumi, kai potenciometrai paprastai naudojami, matuojamas amortizatoriaus judėjimas. Tam tikras judesio santykis tarp potenciometro signalo ir smūginio judėjimo yra gaunamas atliekant matavimą. Šis judesio signalas gali būti lengvai nustatytas, pašalinus spyruoklę ir kilnojant ratą aukštyn ir žemyn.

1.3. Sukibimas su kelio danga

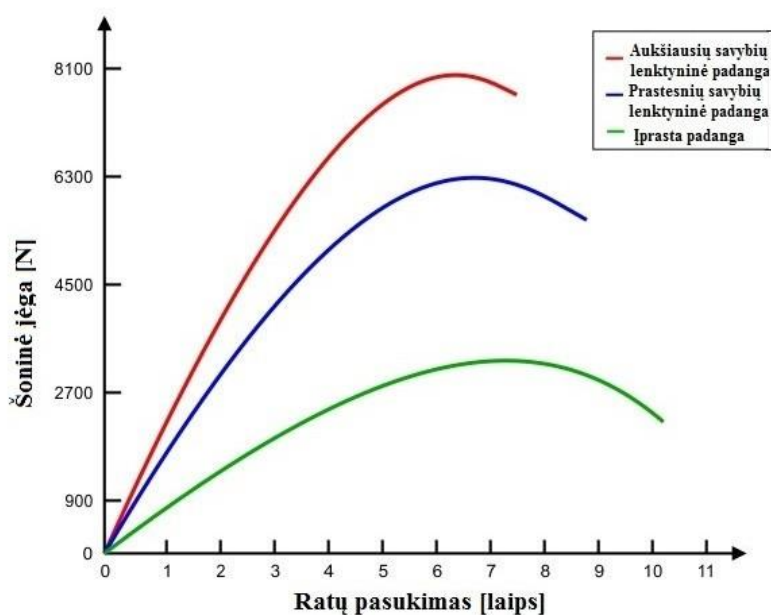
Padagos yra vienos iš svarbiausių lenktyninio automobilio elementų, jų dėka automobilis kontaktuoja su kelio danga ir išsilaiko lenktynių trasoje. Jos padeda įgyvendinti visas automobilio charakteristikas, galią, sukimą, sukibimą. Padangos sukuria šoninę jėgą, priklausomai nuo to, kiek ji

yra apkrauta iš viršaus, tai yra, jeigu ratas yra apkraunamas didesne jėga, jis sukuria didesnę šoninę jėgą, ir automobilis gali posūkyje važiuoti didesniu greičiu.



1.11. pav. Toyo „slick“ padangos [14]

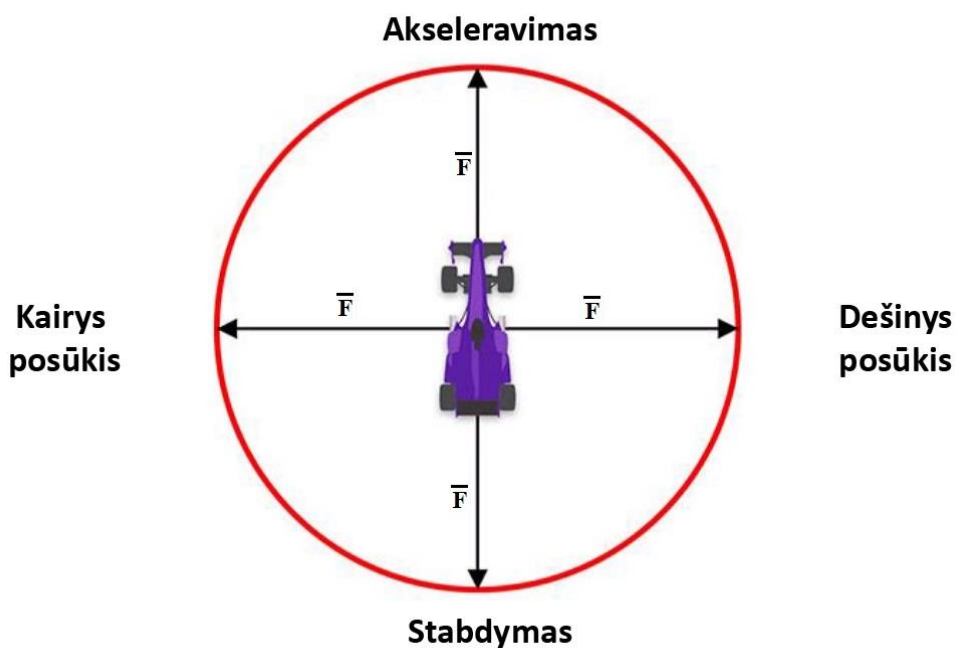
Svarbu, kad automobilio svoris būtų paskirstytas vienodai, tuomet gaunamas vienodas galinių ir priekinių ratų sukibimas posūkyje. Jei svoris ne vienodas, tuomet priekiniai ar galiniai ratai pradės slysti posūkyje anksčiau, priklausomai nuo to, kurie ratai turės mažesnę prispaudimo jėgą. Nuo padangai tenkančio automobilio masės ir jėgos, atsirandančios dėl aerodinaminių savybių, atsiranda priklausomybė tarp galimo pasukimo kampo ir jėgos. Šios savybės atvaizduotos toliau esančiame paveikslėlyje, skirtingam padangų tipui.



1.12. pav. Šoninės jėgos ir ratų pasukimo grafikas [15]

Iš grafiko matyti, kad aukštų savybių lenktyninė padanga gali atlaikyti daug didesnę šoninę apkrovą, nei įprasta padanga. Bet ratų pasukimo kampas ties kuriuo gaunama maksimali šoninė jėga, yra beveik identiškas.

Norint pilnai išnaudoti padangų savybes, reikia suprasti sukibimo jėgos apskritimo esmę. Šis apskritimas pavaizduotas žemiau esančiame paveikslėlyje. Vektoriais F yra atvaizduotos jėgos, atsirandančios stabdant, akseleruojant, sukant į kairę ir į dešinę. Šios jėgos brėžiamos iš apskritimo centro, kuriame yra automobilis, į jėgų veikimo kryptis. Vektorių ilgiai yra vienodi, tai reiškia, kad ir maksimalios jėgos yra vienodos. Dėl šios priežasties, jei yra išnaudojama maksimali jėga stabdant, susukus vairą automobilis vis tiek važiuos tiesiai, todėl, pagal šią teoriją, maksimalią jėgą galima išnaudoti tik vienam darbui atlikti. Jeigu išnaudojama ne pilna jėga, tuomet dalis jėgos gali būti skirta kitam darbui atlikti, kaip pavyzdys – automobilio posūkyje stabdymas arba greitėjimas, išlaikant sukibimą su kelio danga, tokiu atveju dalis jėgos tenka posūkiui, o kitas dalis stabdymui ar greitėjimui.



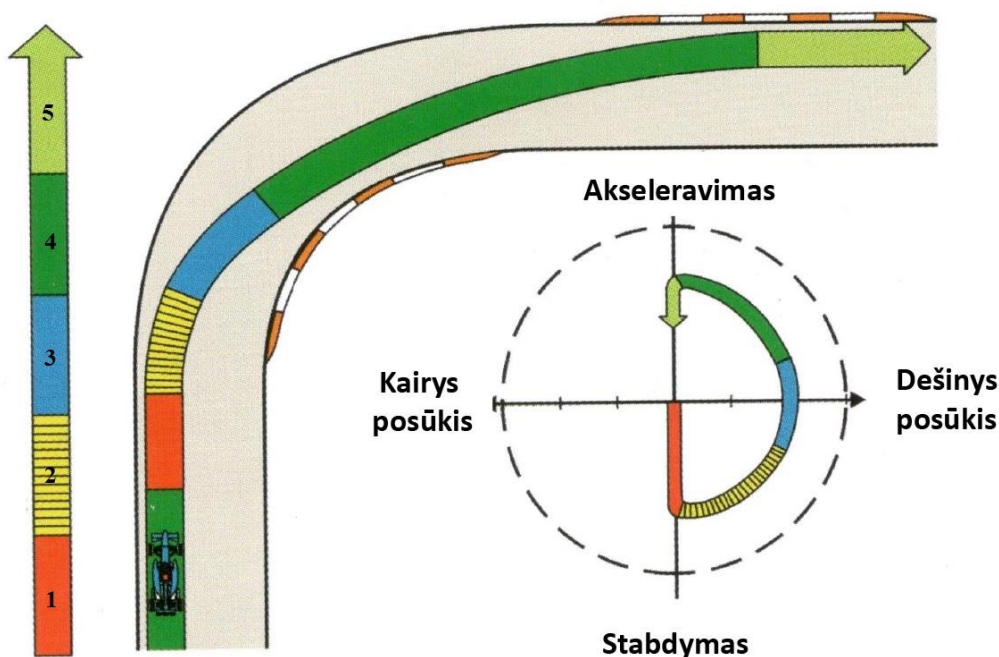
1.13. pav. Sukibimo jėgos apskritimas [16]

Lenktyniniai automobiliai trasoje stabdo kitaip, nei įprasti automobiliai gatvėje. Gatvėje stabdymas vyksta iš lėto pamačius kliūtį, ir žiūrima, ar pavyks sustoti, nekeičiant stabdžių pedalo paspaudimo jėgos, jei matoma, kad nepavyks, stabdoma intensyviau. Lenktynių trasoje pedalo paspaudimo jėga yra maksimali pradėjus stabdyti prieš posūkį, o vėliau stabdžių pedalas po truputį atleidžiamas, tai yra dėl to, kad esant dideliame greičiui, yra didelis greičių skirtumas tarp stabdžių

disko ir kaladėlių. Dėl šios priežasties reikalinga didelė jėga, kad pavyktų užblokuoti stabdžius. Lėtėjant greičių skirtumas taip pat mažėja, todėl stabdžių pedalas turi būti atleidinėjamas, kad padangos išlaikytų sukibimą su kelio danga, kitu atveju jie pradės slysti.

Stabdant posūkyje svarbu maksimaliai išnaudoti sukibimą, stabdyti kuo vėliau, įvažiuoti į posūkį kuo didesniu greičiu, kuriuo pavyks tą posūkį įveikti. Toliau pateiktame paveikslėlyje pavaizduota, kokie veiksmai turi būti atliekami, įvažiuojant į posūkį:

- o maksimaliai stabdyti, kad sulėtinti įvažiavimo greitį;
- o mažinti stabdymo jėgą ir pradėti sukti;
- o sukti;
- o didinti greitį ir sukti;
- o maksimaliai didinti transporto priemonės greitį.



1.14. pav. Lenktyninio automobilio važiavimas posūkyje [17]

Lenktyniniai stengiasi pasirinkti kuo kokybiškesnes padangas pagal turimą biudžetą, nes jos turi didžiausią įtaką geram sukibimui. Tačiau yra ir kitų veiksnių, kurie padeda padidinti stabilumą ir sukibimą. Žvelgiant nuo kelio, kaip atskaitos taško į automobilį, po padangų turime pakabą ir amortizatorius, kurie yra svarbūs, siekiant padidinti padangų sukibimą tiek tiesioje atkarpoje, tiek posūkyje, kuomet kėbulas pasvyra į vieną ar kitą pusę.

2. Virpesių slopintuvų ir spyruoklių savybių nustatymas

2.1. Priekinių virpesių slopintuvų savybių nustatymas

Lenktyniniuose ir įprastuose automobiliuose naudojami dvipusio veikimo virpesių slopintuvai, jie pasižymi tuo, kad geba slopinti švytavimus tiek automobilio ratams užvažiavus ant kliūtis (kylant), tiek ratams įvažiavus į duobę (leidžiantis). Tokiu būdu išlaikomas transporto priemonės stabilumas ant kelio dangos.

Bėgant laikui, slopintuvo ir spyruoklės savybės blogėja. Šio nusidėvėjimo priežastys gali būti tokios:

- laisvumo tarp stūmoklio ir cilindro padidėjimas, t. y. pakabos spyruoklių slopinimo jėgos sumažėjimas tiek suspaudimo, tiek išsitempimo metu;
- virpesių slopintuvo koto riebokščių nusidėvėjimas, turi įtakos dujų slėgio mažėjimui ir (arba) alyvos nuotėkiui;
- amortizatoriaus alyvos klampumo sumažėjimas daro įtaką slopinimo jėgos mažėjimui esant bet kuriam darbo režimui. [17].

Tiriamajam darbui naudojami lenktyninio automobilio „Honda Civic Type R“ amortizatoriai, jie pavaizduoti toliau esančiame paveikslėlyje.



2.1. pav. „Honda Civic Type R“ virpesių slopintuvai: 1 – priekinis; 2 – galinis

Sportiniai „Meister R“ firmos slopintuvai pasižymi aukštu dujų slėgiu su didelio skermens stūmokliu ir mažo ilgio cilindru, tai suteikia greitą slopinimą ir pailgina eksploatacines savybes. Įrenginiai turi slopinimo reguliatorius, kurie turi 32 padėtis, šiuo vienu reguliatoriumi yra keičiamas dvipusis veikimas, pakeitus reguliatoriaus padėtį, pakeičiamas slopintuvo veikimas kuomet jis yra

suspaudžiamas ir traukiamas, tokiu būdu tampa daug lengviau amortizatorių pritaikyti skirtingam vairavimo režimui ir skirtingai trasai.



2.2. pav. „Honda Civic Type R“ virpesių slopintuvo reguliavimas

Reguliatorių sukant pagal laikrodžio rodyklę, didinamas slopintuvo standumas. Didinti standumą naudinga tuomet, kai yra didelis virpesių dažnis. Sukant reguliatorių prieš laikrodžio rodyklę standumas mažinamas, toks mažinimas naudingas, kai kelias yra lygus ir nesukuriami didelio dažnio virpesiai. Regulatorius įrengtas ant stūmoklio koto. Dar vienas pasirinktų amortizatorių privalumas, kad jų aukštis reguliuojamas nepakeičiant slopintuvo ar spyruoklės savybių. Dažnai pasitaiko, kad norint pakeisti automobilio aukštį suspaudžiama spyruoklė, tokiu būdu pakinta ir jėgos dydis, kuris geba suspausti spyruoklę ir amortizatorių. Automobilio amortizacija tampa standesnė, nors to ne visada siekiama.

Virpesių slopintuvo ir spyruoklių parametrus tirti naudojamas dinamometras „Shock Absorber Dynamometer BTP 2000“. Įrenginio specifikacija:

- o kompiuterizuotas įrenginio mechanizmo valdymas;
- o 2.2 kW keičiamo greičio elektros variklis;
- o maksimalus išvystomas greitis 0.95 m/s;
- o dažnių diapazonas nuo 0,15 iki 6 Hz;
- o temperatūros jutiklis;
- o galimybė keisti veleno eigą nuo 25 iki 100 mm viena kryptimi;
- o įrenginio masė 70 kg;

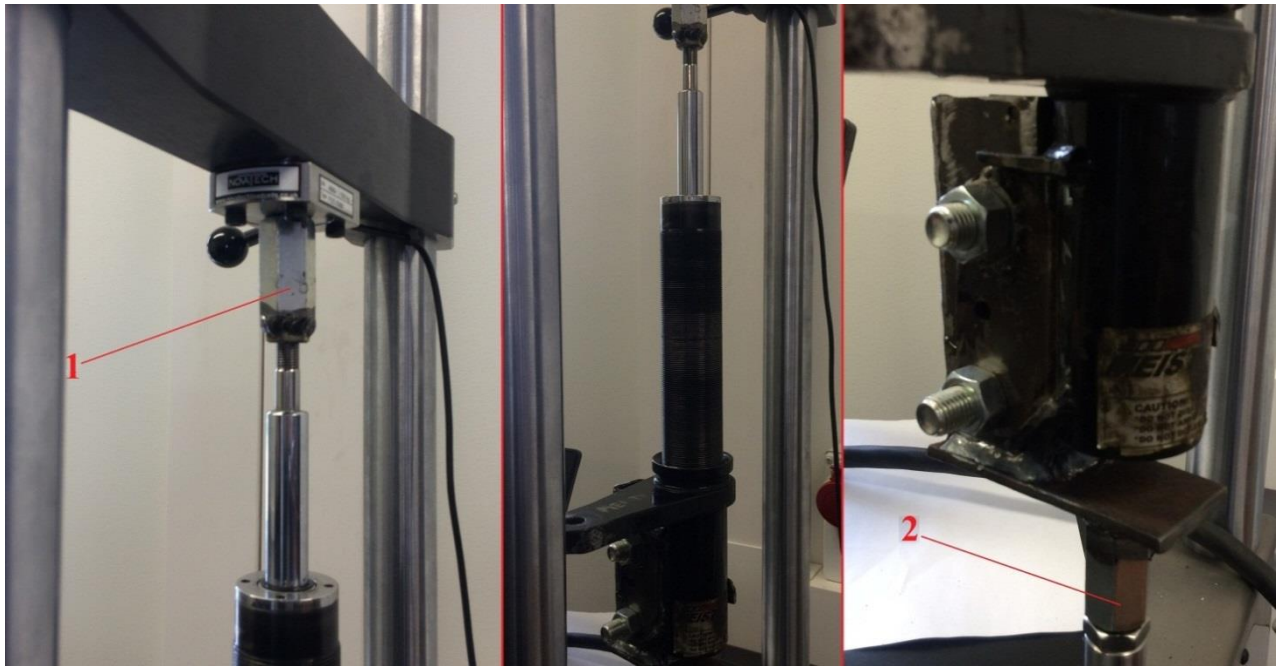
- o lengvai perstatomas, įtvirtintas ant stumdomos platformos;
- o USB jungtis.



2.3. pav. Dinamometras „BTP 2000“ [18]

Dinamometro apatinis judamosios dalies strypas ir įtvirtintas strypas viršuje, turi sriegius, šiais sriegiais automobilio slopintuvas ir spyruoklės yra įtvirtinamos įrenginyje. Slopintuvai taip pat turi sriegį ant koto ir įprastą sujungimą apatinėje dalyje, todėl reikalinga pasigaminti specialius laikiklius, kad būtų galima tinkamai įtvirtinti agregatus į dinamometro stendą. Laikikliai, privalo būti standžiai sujungti su agregatais, kad matavimo metu būtų kuo mažesnis laisvumas sujungimuose, tai reikalinga tam, kad būtų gauti tikslūs rezultatai, be nukrypimų.

Įtvirtintas tiriamas priekinis slopintuvas pavaizduotas 2.4 paveikslėlyje. Viršutinė dalis įtvirtinta dviem veržlėmis, kurios yra tarpusavyje suvirintos. Apatinė dalis įtvirtinta specialiu laikikliu, kuris standžiai įtvirtintas prie amortizatoriaus, jį laiko du M18 varžtai ir veržlės, prie laikiklio privirinta veržlė, kurios sriegis atitinka dinamometro koto sriegį. Svarbu kad, laikiklių vertikali ir horizontali ašis sutaptų su virpesių slopintuvu, kitu atveju bus neįmanoma įtvirtinti agregatų stende.



2.4. pav. Virpesių slopintuvo įtvirtinimas dinamometro stende: 1 – viršuje; 2 – apačioje

Pradedant matavimus slopintuvas yra sušildomas iki 50 °C, matavimams atlikti yra parenkamas 3 Hz dažnis. Programa „Dyno 6.4“ gaunami matavimo duomenys, kurie iškeliami tekstinėmis eilutėmis ir apdorojami „Microsoft Excel“ programine įranga. Matavimai atliekami 9 kartus, keičiant slopintuvo savybes reguliatoriumi. Pirmas matavimas atliekamas esant maksimaliam kietumui, jis mažinamas kiekvieno matavimo metu, pasukant reguliatorių per keturias padėtis prieš laikrodžio rodyklę. Slopintuvas turi 32 reguliavimo padėtis.

Gaunami išvesties duomenys:

- didžiausia jėga (N);
- mažiausia jėga (N);
- temperatūra (°C);
- poslinkis (mm);
- greitis (mm/s).

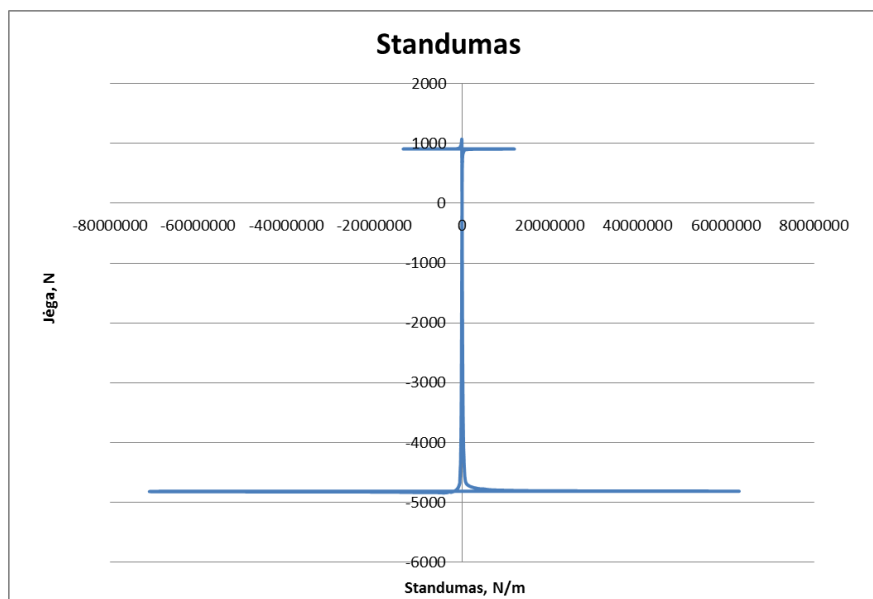
Apskaičiuojamas kiekvienos padėties, virpesių slopintuvo standumas ir slopinimas. Pagal formules pateiktas toliau:

$$k = \frac{F}{x}; \quad (2.1)$$

$$\delta = \frac{F}{v}; \quad (2.2)$$

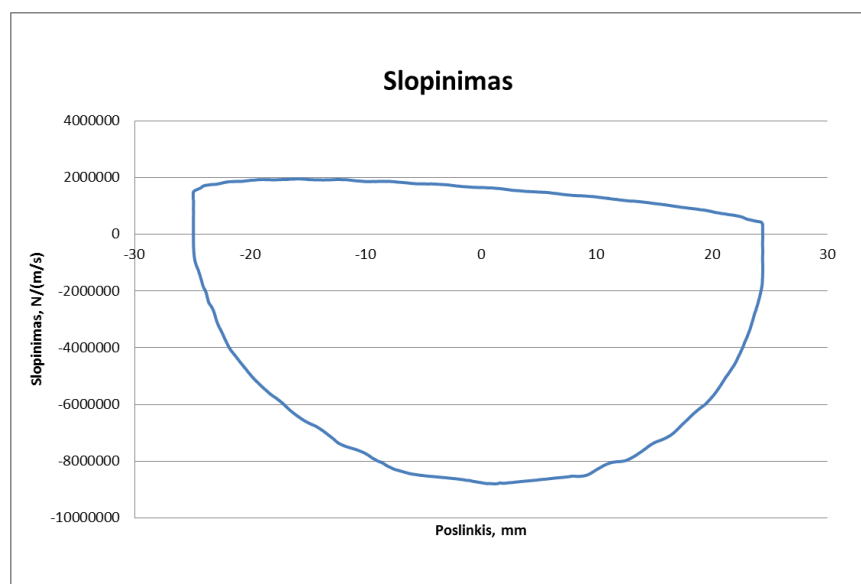
čia: k – standumas (N/m); F – jėga (N); x – poslinkis (m); δ – slopinimas (N/(m/s)); v – greitis (m/s)

Išmatavus ir suskaičiavus reikiamus dydžius, sudaromi grafikai, iš kurių atsispindi virpesių slopintuvo mechaninės savybės. Pateikti grafikai esant: 32, 16, 0 reguliatoriaus padėtimis.



2.5. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 32

Pateiktame 2.5 pav. matomas laipsniškas standumo kitimas, keičiantis jėgai. Jėgai didėjant, standumas didėja. Pasiekus didžiausią suspaudimą ar ištraukimą standumo reikšmės yra didžiausios.



2.6. pav. Priekinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32

Slopinimo priklausomybės nuo poslinkio grafikas parodo, kad suspaudimo metu (grafiko dalis, kai slopinimo reikšmė ≥ 0) grafikas nėra parabolės formos, labiau panašesnis į tiesę. Virpesių slopintuvo darbas suspaudimo metu nėra tinkamas, slopinimas keičiantis poslinkiui (nuo 25 mm iki

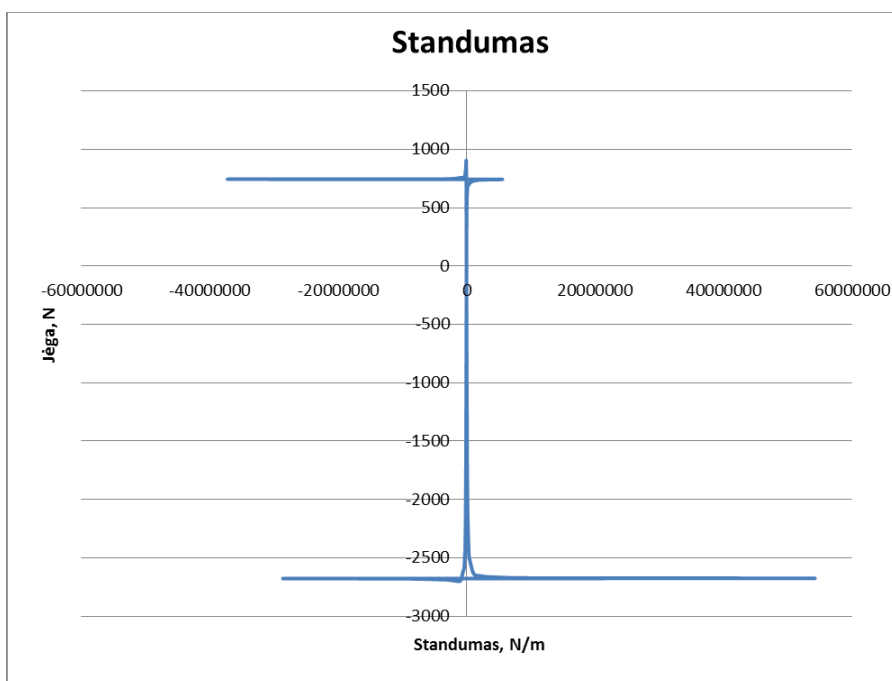
-25 mm) padidėja mažu intervalu ir slopinimo reikšmė esant poslinkiui 0 mm nėra didžiausi, tačiau ištraukimo metu amortizatoriaus darbas yra tinkamas, grafikas taisyklingos parabolės formos.



2.7. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32

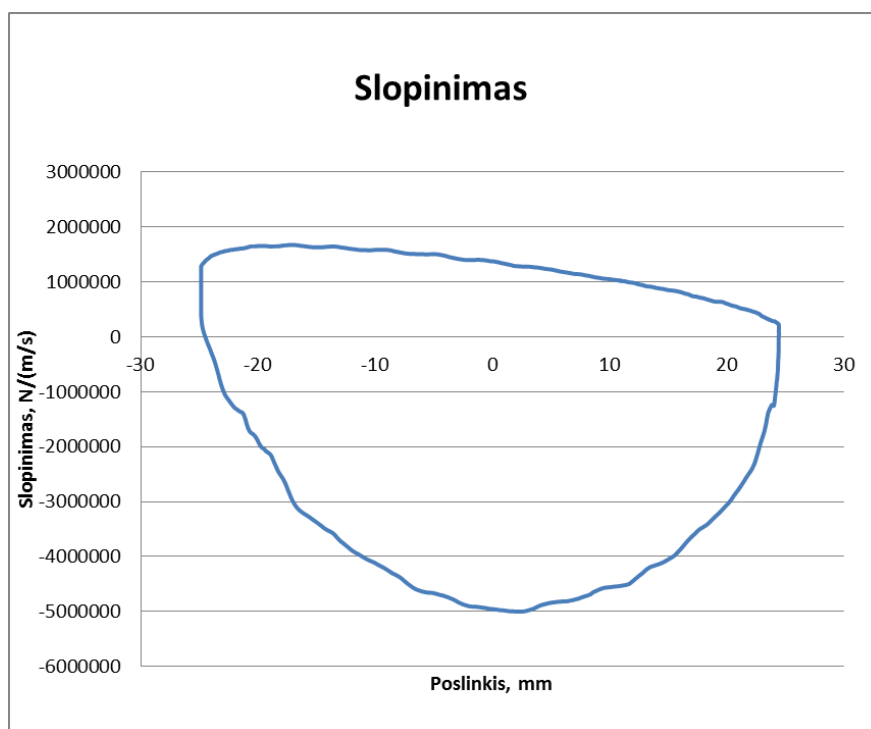
Jėgos ir poslinkio priklausomybės grafike matomas nukrypimas viršutinėje grafiko dalyje, kaip ir slopinimo metu. Dėl šios priežasties virpesių slopintuvas veikia tinkamai ištraukimo metu, kai automobilio ratas įvažiuoja į duobę.

Regulatoriaus padėtis 16.



2.8. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 16

Parinkus 16 reguliatoriaus padėtį, standumas sumažėjo dešiniojoje diagramos pusėje, viršuje, šalia didžiausios jėgos, ir kairėje pusėje, apačioje. Jėga sumažėjo nuo 1076 ir -4861 N iki 903 ir -2701 N.



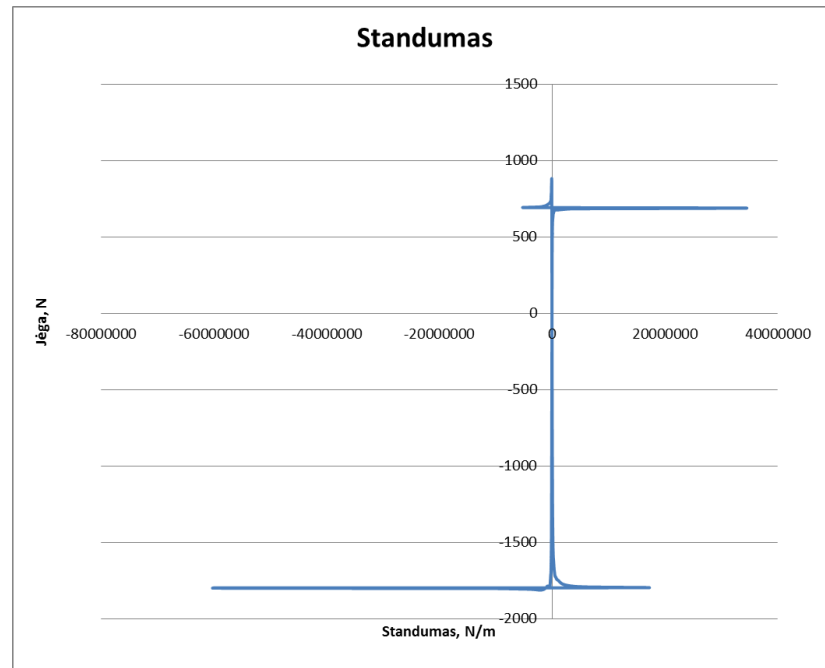
2.9. pav. Priekinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16

Slopinimo kreivė panaši kaip ir 32 padėtyje pastatyto reguliatoriaus. Slopinimas sumažėjo nuo 1 950 000 ir -8 800 000 N/(m/s) iki 1 740 000 ir -5 002 000 N/(m/s).



2.10. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16

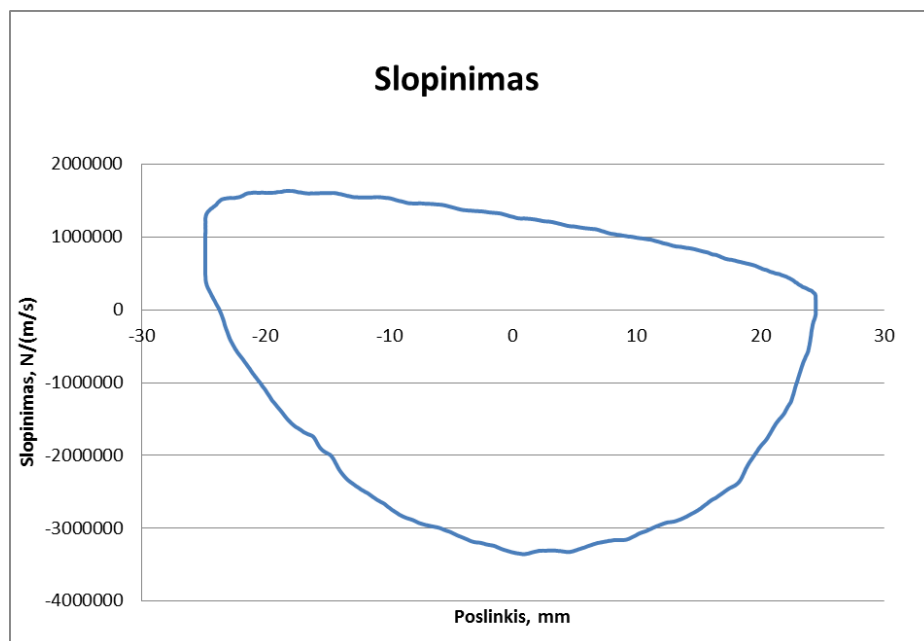
Regulatoriaus padėtis 0.



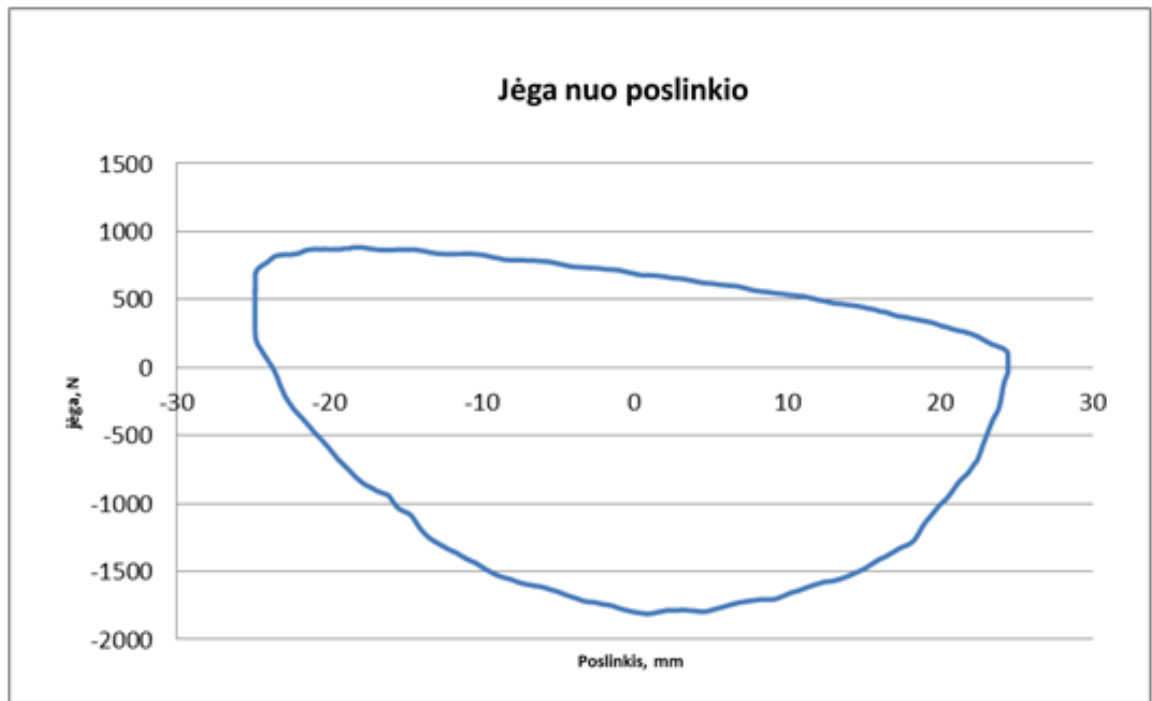
2.11. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 0

Parinkus 0 regulatoriaus padėtį, standumas sumažėjo dešiniojoje apatinėje diagramos pusėje ties mažiausia jėga ir kairiojoje viršutinėje dalyje. Jėga sumažėjo nuo 1076 ir -4861 N kai regulatorius buvo 32 padėtyje iki 884 ir -1812 N. Didžiausias standumas pasiekiamas ties 610 N ir -1810 N.

Slopinimas pakito nuo 1 950 000 ir -8 800 000 N/(m/s) iki 1 637 000 ir -3 355 000 N/(m/s).



2.12. pav. Priekinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0



2.13. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0

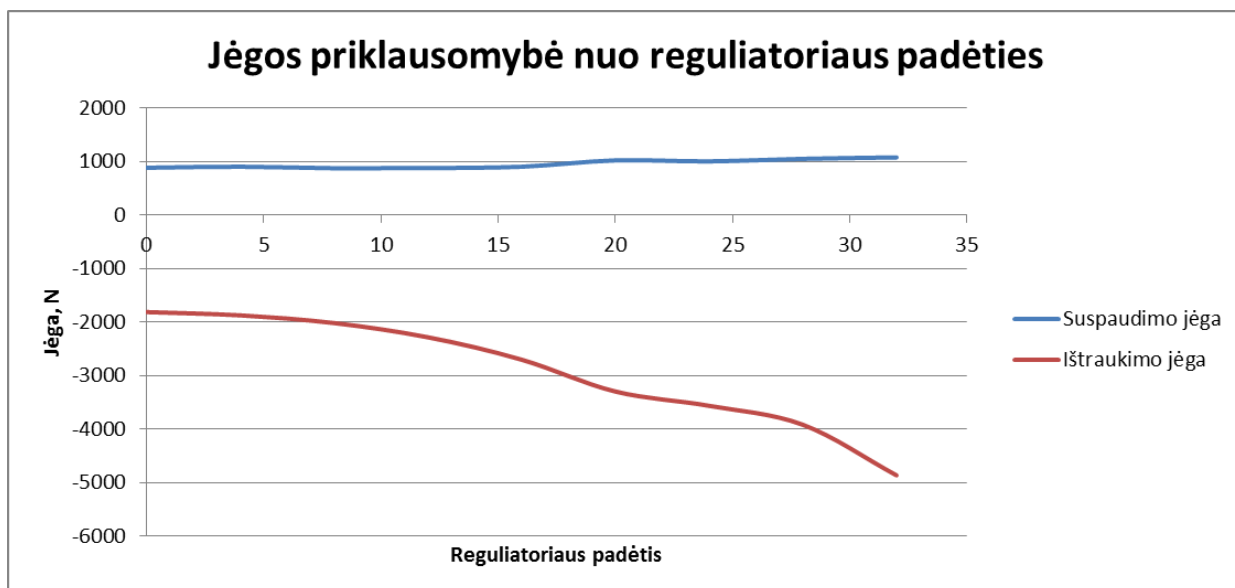
Jėgos nuo poslinkio grafiko forma panaši kaip ir reguliatoriui esant 32 padėtyje.

2.1 lentelė. Priekinio virpesių slopintuvo savybės, esant skirtingai reguliatoriaus padėčiai

Regulatoriaus padėtis	Didžiausia jėga, N	Mažiausia jėga, N	Didžiausias standumas, N/m	Mažiausias standumas, N/m	Didžiausias slopinimas, N/(m/s)	Mažiausias slopinimas, N/(m/s)
32	1076	-4861	60174875	-68823142	1951272	-8801690
28	1050	-3915	72431500	-42626411	1903763	-7119181
24	1003	-3562	50361857	-39235444	1786400	-6477490
20	1021	-3295	52450500	-25066846	1741462	-6100962
16	903	-2701	52555000	-37179500	1674703	-5002425
12	877	-2282	37911833	-20671000	1621925	-4227648
8	875	-2017	18070818	-49799000	1618796	-3733462
4	903	-1873	14152076	-92118500	1683831	-3496093
0	884	-1812	34526500	-59959000	1637370	-3354000

Pagal gautus duomenis matyti, kad jėga nuosekliai keičiasi tik apatinėje grafikų zonoje, kai virpesių slopintuvas yra ištraukiamas, tai atsispindi ir 2.1 lentelės pateiktuose duomenyse (lentelės grafa „Mažiausia jėga, N“). Suspaudimo metu jėga keičiasi tolygiai nuo 32 iki 8 padėties, 4 ir 0

padėtyje jėga išauga ir vėl sumažėja, todėl standumas irgi tampa netolygiai kintantis, pasukus reguliatorių.



2.14. pav. Priekinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo reguliatoriaus padėties

Pateiktame jėgos priklausomybės nuo reguliatoriaus padėties grafike matoma, kad suspaudimo jėga didėja ne taip sparčiai, kaip ištraukimo jėga keičiantis reguliatoriaus padėčiai, todėl reguliuojant virpesių slopintuvą, didžiausias efektas pasireiškis kuomet ratas įvažiuos į duobę, kai virpesių slopintuvo kotas bus ištraukiamas.

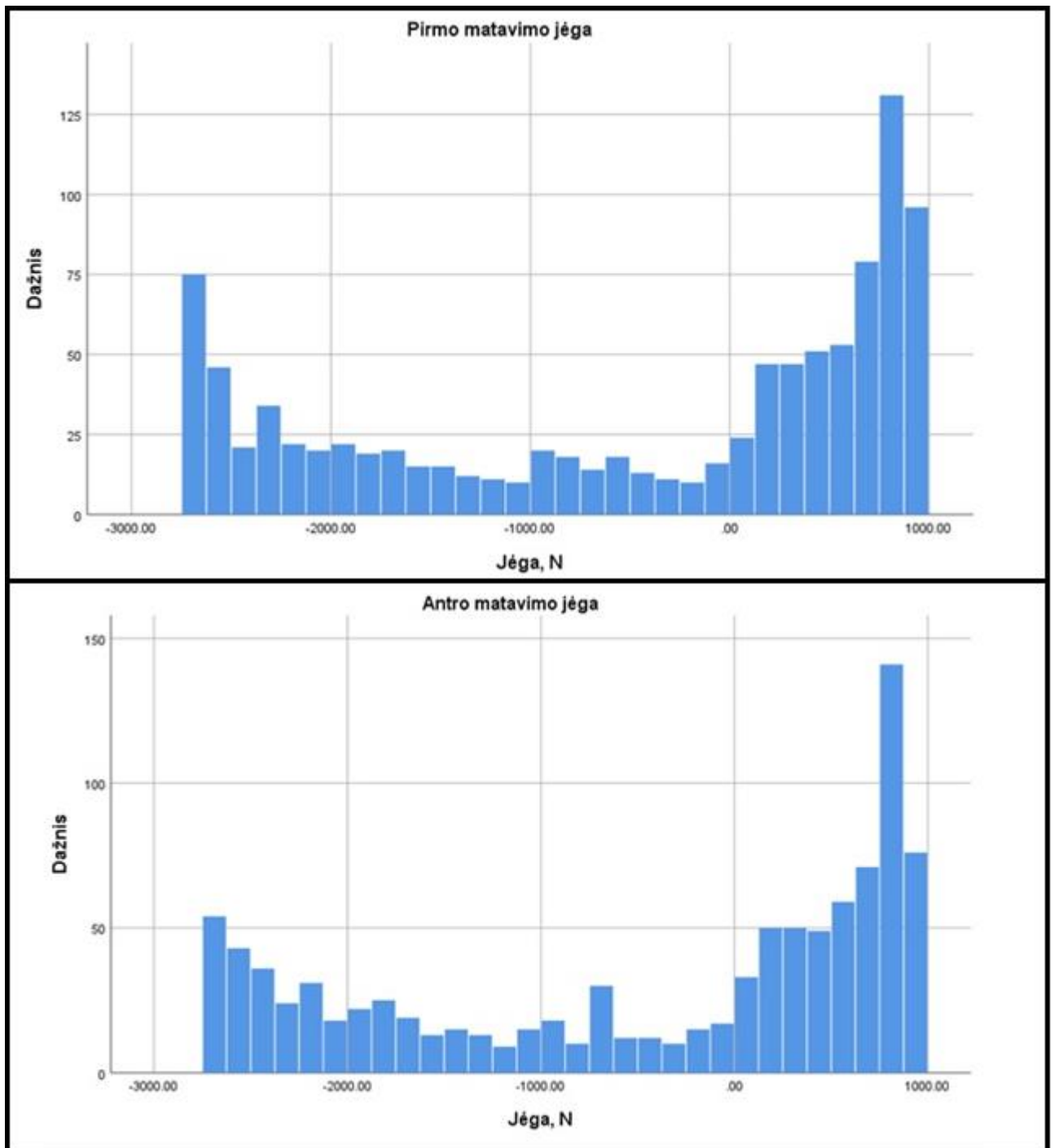
Patikrinti gautų duomenų tikslumą atliekami skaičiavimai naudojant „IBM SPSS“ programinę įrangą. Atliekamas dviejų vienodos reguliatoriaus padėties (reguliatoriaus padėtis 16), gautų duomenų dinamometro stende palyginimas.

2.2 lentelė. Priekinio virpesių slopintuvo dviejų matavimų duomenų statistika

		Pirmo matavimo jėga, N	Antro matavimo jėga, N
N	Duomenų skaičius	990	990
	Duomenų trūkumas	0	0
Vidurkis		-477.9	-462.7
Mediana		153.9	127.7
Moda		913.1	890.7

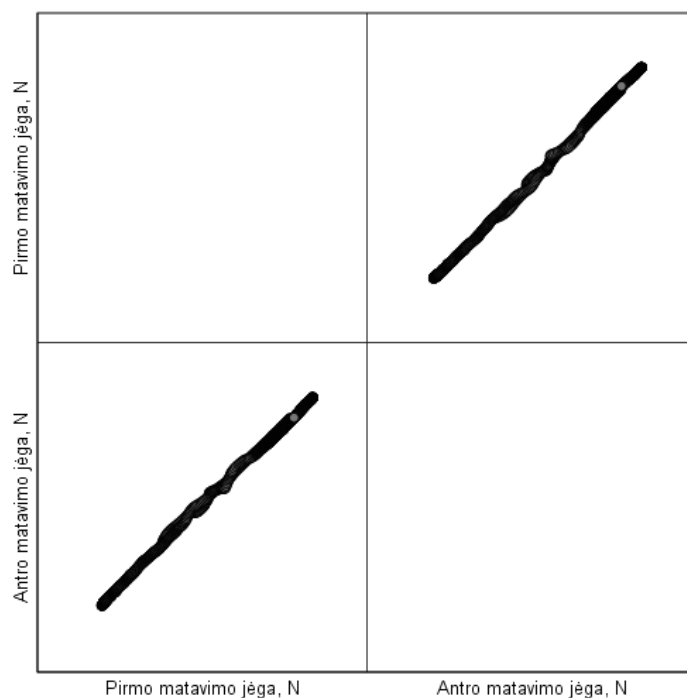
Pirmo matavimo metu virpesių slopintuvo temperatūra buvo 46,7 °C. Antro matavimo metu temperatūra 50.1 °C. Apskaičiavus abiejų matavimų duomenų statistiką, matomas nedidelis jėgų vidurkio skirtumas – 15,2 N. Mediana skiriasi labiau pirmo matavimo metu, ji yra 153,9, o antro matavimo metu 127,7. Moda skiriasi mažu dydžiu, pirmo matavimu metu 913,1, o antro matavimo

metu – 890,7. Mažas skirtumas gali atsirasti dėl virpesių slopintuvo skirtingos temperatūros darbo metu, skirtingos suspaudimo padėties, įtvirtinus į dinamometro stendą.



2.15. pav. Skirtingų matavimų jėgų histogramos, esant tai pačiai regulatoriaus padėčiai

Histogramose matyti labai didelis panašumas, tarp atskirų matavimų. Abiejose histogramose maksimalus dažnis yra dešinėje pusėje. Siekiant nustatyti ar egzistuoja stiprus tiesinis teigiamas ryšys tarp atskirų matavimų, braižomos taškų sklaidos diagramos ir atliekama koreliacinė analizė.



2.16. pav. Taškų sklaidos diagrama skirtingiems matavimams

Taškų sklaidos diagrama parodo, kad yra tiesinis ryšys tarp kintamųjų. Matoma tiesė parodo kad ryšys yra stiprus.

2.3 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatas skirtingiems matavimams

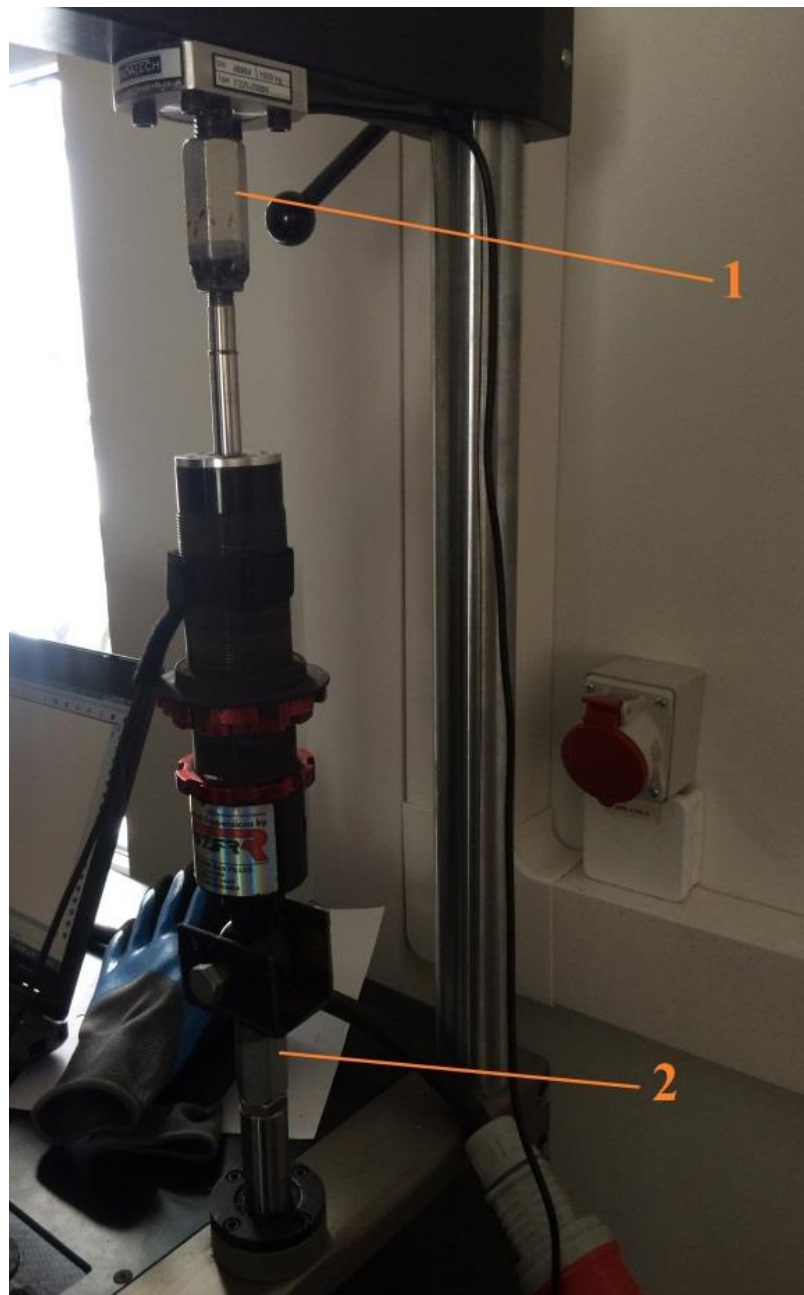
Koreliacija			
		Pirmo matavimo jėga, N	Antro matavimo jėga, N
Pirmo matavimo jėga, N	Pirsono koreliacija	1	1.000
	Sig.		.000
	N	990	990
Antro matavimo jėga, N	Pirsono koreliacija	1.000	1
	Sig.	.000	
	N	990	990

Atlikus koreliacinę analizę tarp pirmo ir antro matavimo, jėgos pirsono koeficientas yra lygus 1,000 tai reiškia kad yra stiprus ryšys tarp kintamųjų, todėl matavimai yra atlikti teisingai ir gauti duomenys yra teisingi.

2.2. Galinių virpesių slopintuvų savybių nustatymas

Galini virpesių slopintuvų įtvirtinimas pavaizduotas 2.17 paveikslėlyje. Viršutinė dalis, taip pat kaip ir priekinio slopintuvo, įtvirtinta dviem veržlėmis, kurios yra tarpusavyje suvirintos. Apatinė

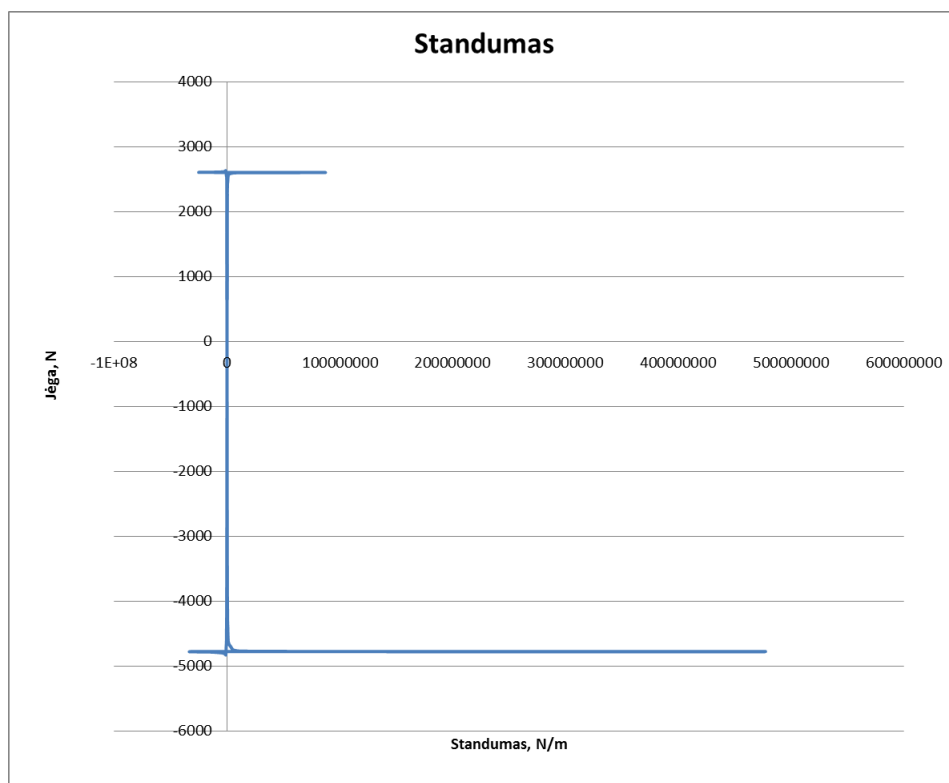
dalis įtvirtinta pasigamintu laikikliu, jis standžiai įtvirtintas prie amortizatoriaus vienu varžtu ir veržle, prie laikiklio privirinta veržlė, kurios sriegis atitinka dinamometro koto sriegį.



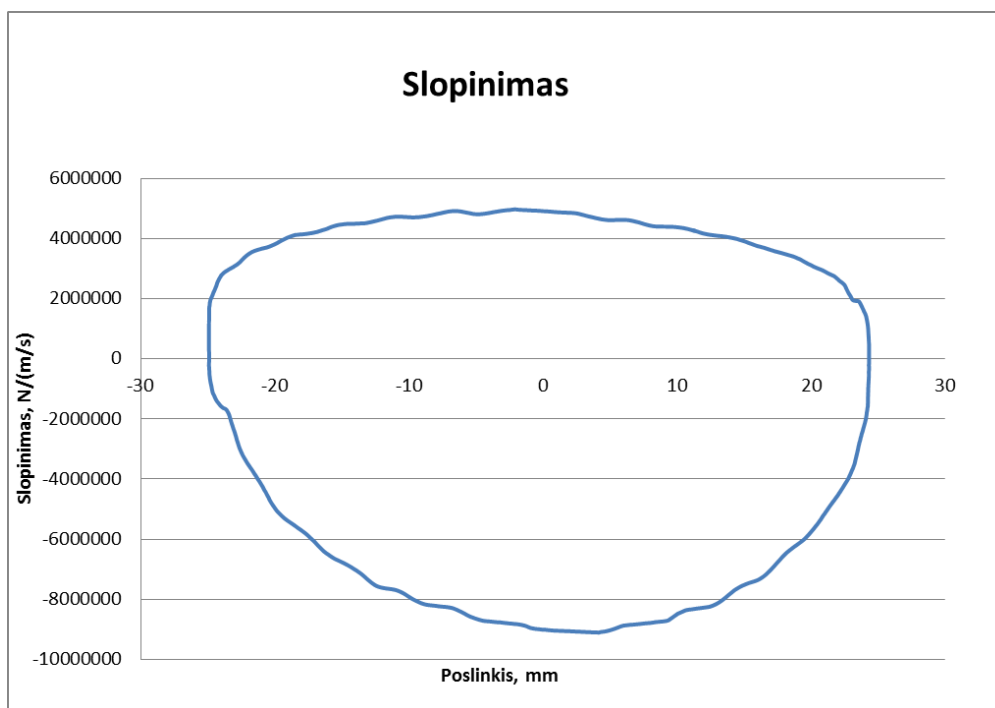
2.17. pav. Galinio virpesių slopintuvo įtvirtinimas dinamometro stende: 1 – viršuje; 2 – apačioje

Slopintuvas yra sušildomas iki 50 °C dinamometro stende, matavimams atlikti yra parenkamas 3 Hz dažnis. Atliekami devyni matavimai pasukant reguliatorių prieš laikrodžio rodyklę per keturias padėtis. Gaunami rezultatai, iš kurių papildomai yra suskaičiuojamas slopinimas ir standumas pagal anksčiau pateiktas 2.1 ir 2.2 formules. Sudaromi standumo, slopinimo ir jėgos grafikai.

Regulatoriaus padėtis 32



2.18. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 32

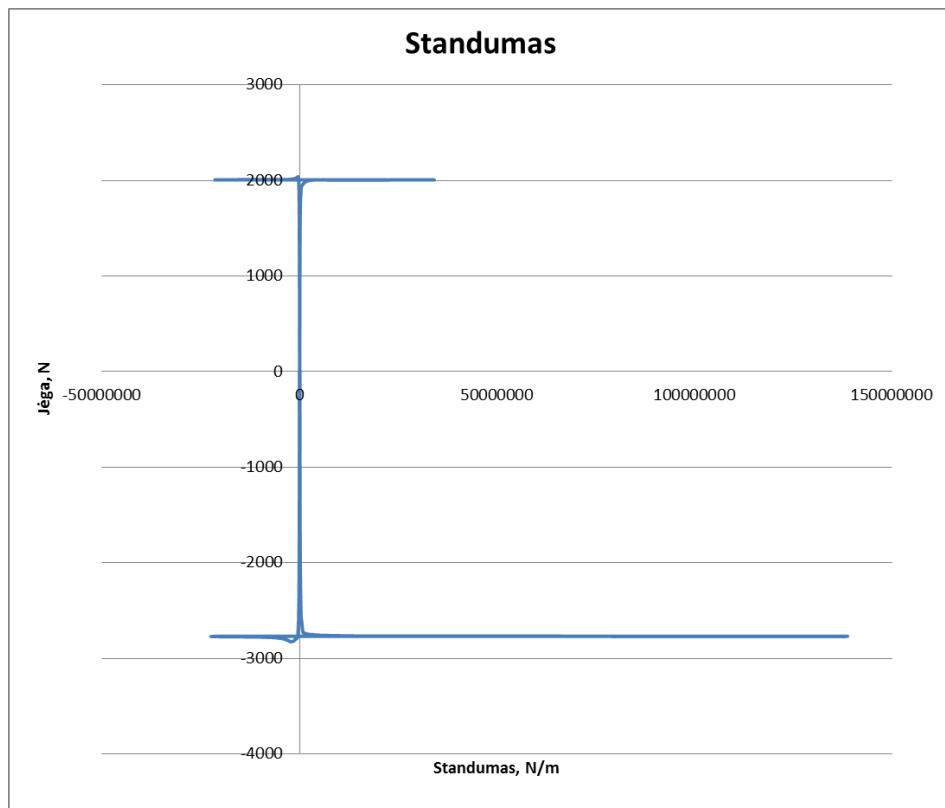


2.19. pav. Galinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32

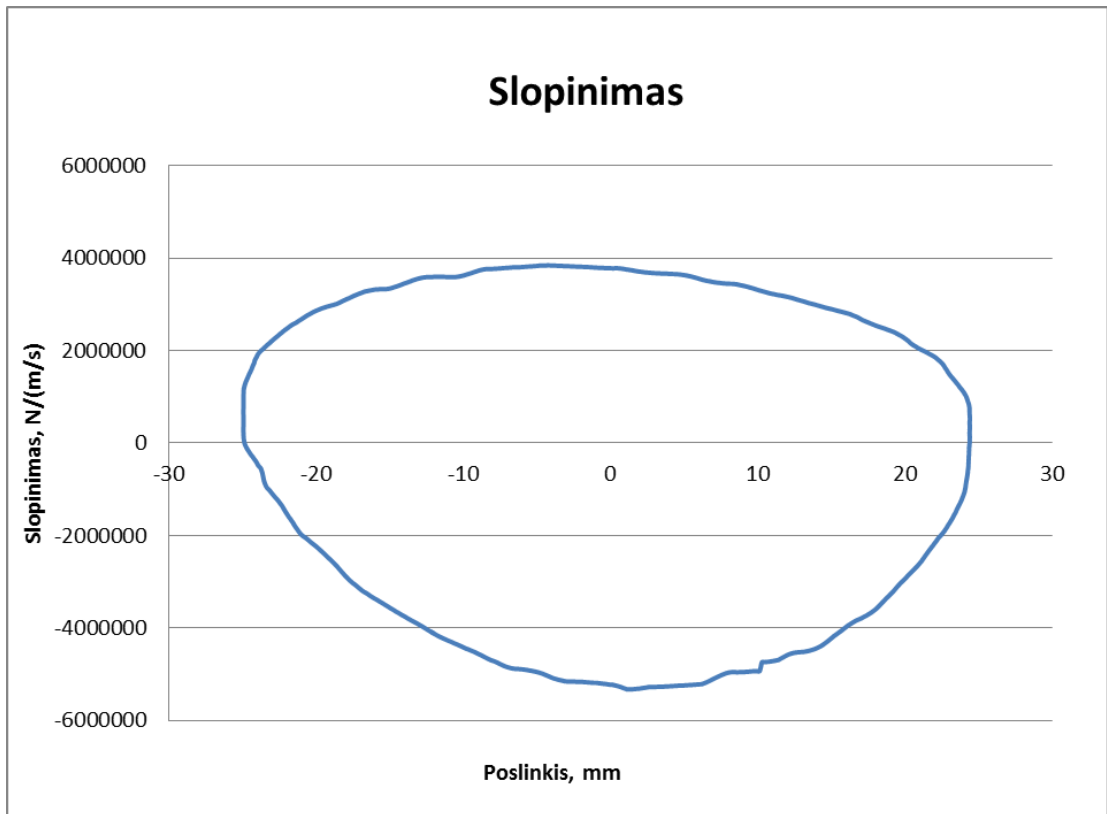


2.20. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 32

Regulatoriaus padėtis 16



2.21. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 16

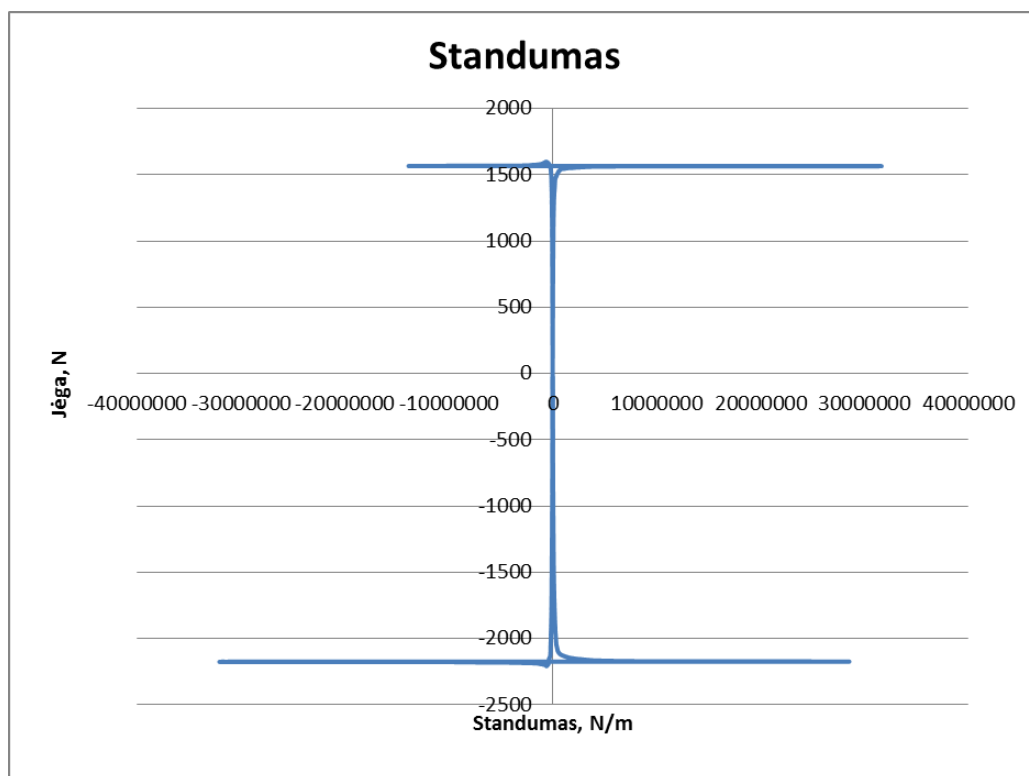


2.22. pav. Galinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16

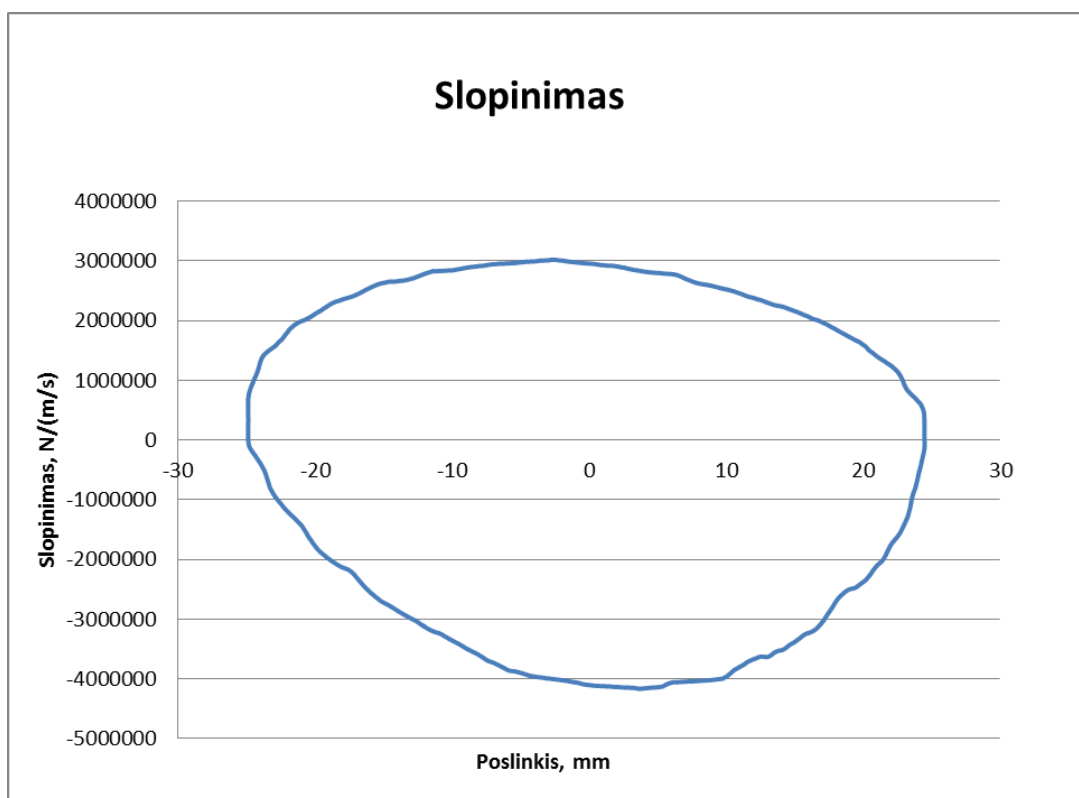


2.23. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 16

Regulatoriaus padėtis 0



2.24. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo standumo, padėtis – 0



2.25. pav. Galinio virpesių slopintuvo slopinimo priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0



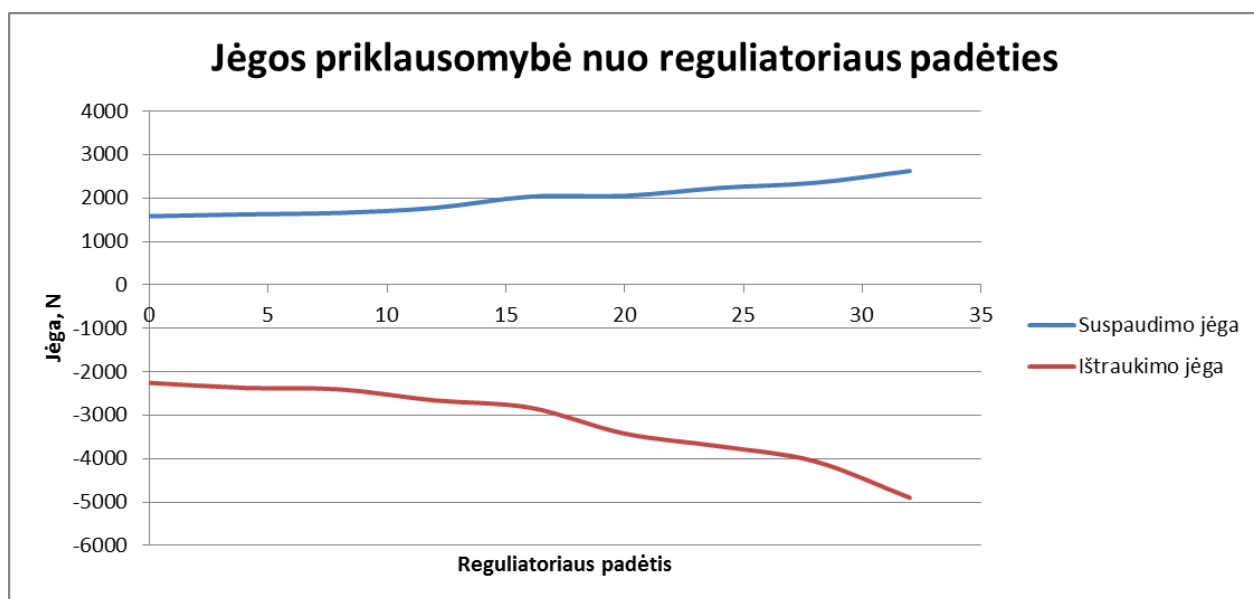
2.26. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo poslinkio, padėtis – 0

2.4 lentelė. Galinio virpesių slopintuvo savybės, esant skirtingai reguliatoriaus padėčiai

Regulatoriaus padėtis	Didžiausia jėga, N	Mažiausia jėga, N	Didžiausias standumas, N/m	Mažiausias standumas, N/m	Didžiausias slopinimas, N/(m/s)	Mažiausias slopinimas, N/(m/s)
32	2625	-4901	477663000	-31847733	4975660	-9109018
28	2353	-4061	393627000	-28137142	4356574	-7518648
24	2235	-3716	366006000	-26207642	4209433	-7013113
20	2053	-3423	42711625	-101484000	3884943	-6458188
16	2034	-2824	138522500	-21313076	3847584	-5331584
12	1776	-2658	21586250	-86641666	3378800	-4995790
8	1660	-2405	53433000	-119047000	3130358	-4538037
4	1625	-2370	25023000	-39908500	3076266	-4431695
0	1584	-2254	31314600	-31071714	3018528	-4167150

Pateiktuose grafikuose ir lentelės duomenyse matome, kad galinio virpesių slopintuvo darbas viršutinėje ir apatinėse dalyse yra panašus, tik skiriasi jėgų reikšmės. Parabolės formos grafikai parodo, kad slopintuvas dirba tinkamai ir reguliatorius atlieka savo funkciją – mažina slopinimą ir reikiamą jėgą jį suspaudžiant. Lentelėje dydžiai mažėja nuosekliai, išskyrus standumą, jo reikšmės kinta nenuosekliai. Grafikuose matoma, kaip standumas keičiasi į skirtingas puses.

Pagal 2.4 lentelės duomenis sudaromas jėgos priklausomybės nuo reguliatoriaus padėties grafikas. Grafikas parodo, kad, keičiantis reguliatoriaus padėčiai, keičiasi ir jėgų dydis tiek virpesių slopintuvą suspaudžiant, tiek jį ištraukiant. Todėl jis reguliuojamas abejomis kryptimis.



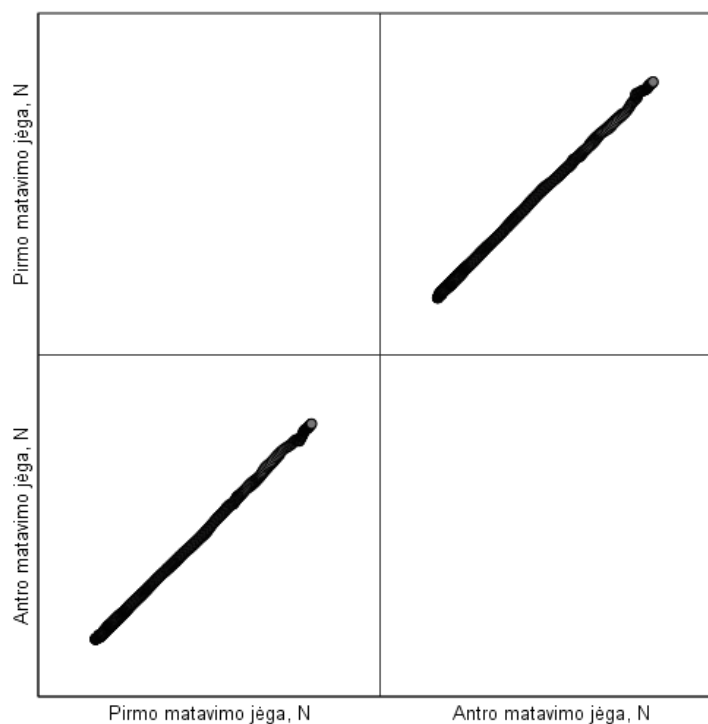
2.27. pav. Galinio virpesių slopintuvo jėgos priklausomybė nuo reguliatoriaus padėties

Duomenų tikslumo patikrinimui atliekami du to paties reguliatoriaus padėties (reguliatoriaus padėtis 12) matavimai dinamometro stende ir atliekami statistiniai skaičiavimai, parinkus poslinkio duomenis nuo -25 mm iki 25 mm, kai virpesių slopintuvas yra ištraukimo etape.

2.5 lentelė. Galinio virpesių slopintuvo dviejų matavimų duomenų statistika

		Pirmo matavimo jėga, N	Antro matavimo jėga, N
N	Duomenų skaičius	573	573
	Duomenų trūkumas	0	0
Vidurkis		-2539.8	-2571.1
Mediana		-3015.3	-3039.8
Moda		-4656.4 ^a	-4702.9 ^a

Skirtingų matavimų vidurkiai beveik identiškai atsižvelgiant, kad jėgų imtis yra nuo 600 iki -4800 N, vidurkių skirtumas – 32 N. Medianų skirtumas mažas, tik 24 N, dažniausiai pasikartojantis narys skiriasi nedideliu skaičiumi.



2.28. pav. Taškų sklaidos diagrama skirtingiems matavimams

Taškų sklaidos diagrama parodo stiprų tiesinį ryšį tarp kintamųjų. Diagramoje nematyti jokių nukrypimų.

Pirsono koreliacijos koeficientas lygus 1, ryšys yra stiprus, ir matavimai yra atlikti taisyklingai. Abu matavimai atlikti esant vienodai virpesių slopintuvo temperatūrai 45,3 °C, dėl šios priežasties nukrypimai yra mažesni, lyginant su nukrypimais tarp matavimų priekinio virpesių slopintuvo.

2.6 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatas skirtingiems matavimams

Koreliacija			
		Pirmo matavimo jėga, N	Antro matavimo jėga, N
Pirmo matavimo jėga, N	Pirsono koreliacija	1	1.000
	Sig.		.000
	N	573	573
Antro matavimo jėga, N	Pirsono koreliacija	1.000	1
	Sig.	.000	
	N	573	573

2.3. Spyruoklių savybių nustatymas

Priekinės ir galinės spyruokles ilgai skiriasi, galinė spyruoklė yra trumpesnė už priekinę, tarpai tarp vijų skirtingi, dėl šių priežasčių jėga reikalinga suspausti spyruokles skiriasi.



2.29. pav. „Honda Civic Type R“ spyruoklės: 1 – galinė; 2 – priekinė

Spyruoklės įtvirtinamos dinamometro stende specialiais laikikliais, kurie pavaizduoti žemiau esančiame paveikslėlyje. Priekinės spyruoklės matavimai atliekami 5 Hz dažniu, o galinės spyruoklės 3 Hz dažniu.



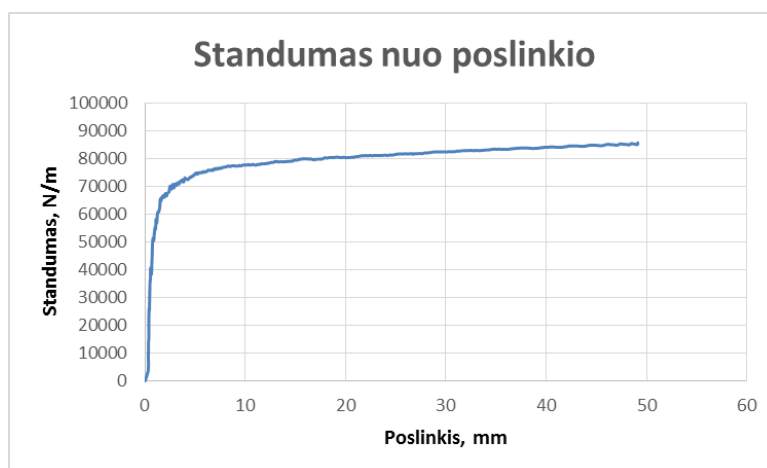
2.30. pav. Spyruoklės įtvirtinimas dinamometro stende

Gaunami duomenys – jėga ir poslinkis, iš jų apskaičiuojamas standumas pagal 2.1 formulę. Sudaromi spyruoklių grafikai: jėga nuo poslinkio ir standumas nuo poslinkio.

Priekinė spyruoklė



2.31. pav. Priekinės spyruoklės jėgos priklausomybė nuo poslinkio



2.32. pav. Galinės spyruoklės standumo priklausomybė nuo poslinkio

Galinė spyruoklė



2.33. pav. Galinės spyruoklės jėgos priklausomybė nuo poslinkio



2.34. pav. Galinės spyruoklės standumo priklausomybė nuo poslinkio

2.7 lentelė. Spyruoklių gauti rezultatai

	Didžiausia jėga, N	Didžiausias standumas, N/m
Priekinė spyruoklė	4217	85715
Galinė spyruoklė	4750	96136

Pagal gautus grafikus matyti, kad spyruoklės turi tiesinę jėgos priklausomybę spaudžiant. Jėga nuosekliai didėja suspaudimo metu. Priekinės spyruoklės didžiausia pasiekama jėga 50 mm poslinkyje – 4217 N, galinės spyruoklės didžiausia pasiekama jėga – 4750 N. Galinė spyruoklė yra trumpesnė negu priekinė, dėl šios priežasties ji susispaudžia mažiau, todėl jėga suspaudžianti ją turi būti didesnė. Priekinės spyruoklės standumo kreivė sparčiai pakyla į viršų ir nuo 8 mm poslinkio įgauna tiesinę priklausomybę, galinės spyruoklės tiesinė priklausomybė tarp standumo ir poslinkio pasireiškia spyruoklę suspaudus 20 mm.

3. Virpesių slopintuvo matavimai Nemuno žiedo trasoje

3.1. Automobilio specifikacijos ir poslinkio jutiklio įtvirtinimas

Matavimams atlikti Kačerginės „Nemuno žiedo“ trasoje naudojamas „Honda Civic Type R“ automobilis. Transporto priemonės salonas nėra išardytas, kaip įprasta lenktyniniams automobiliams, jis neturi saugos lankų, tačiau visi kiti techniniai duomenys atitinka lenktyninio automobilio duomenis, skiriasi tik masė.



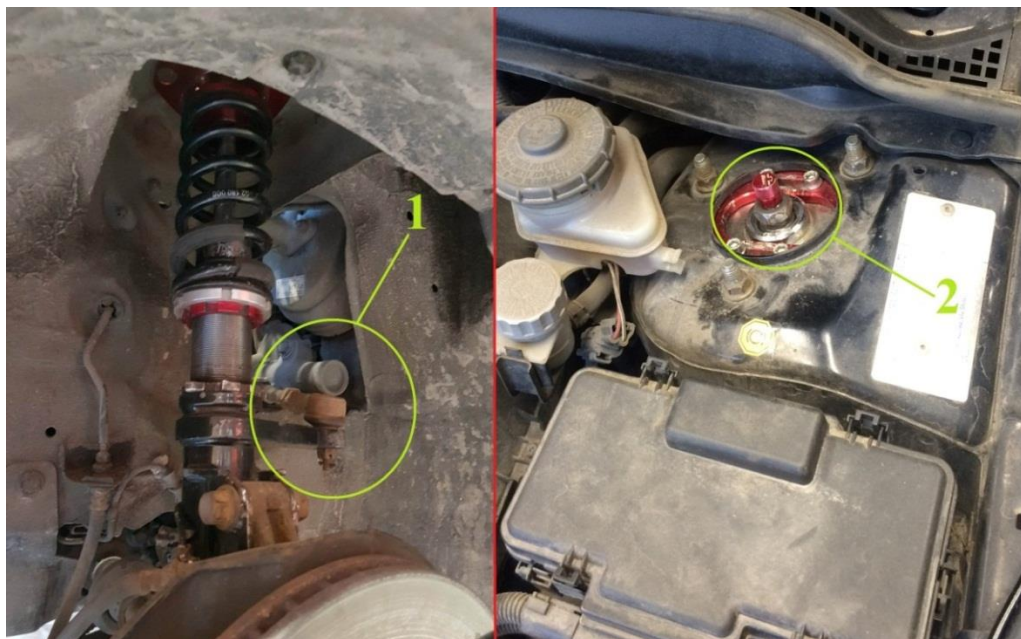
3.1. pav. „Honda Civic Type R“ automobilis

Techniniai duomenys:

- versija: Civic VII;
- modifikacija: Civic 2.0i Type-R;
- darbinis tūris: 2.0 l;
- degalų tipas: benzinas;
- variklio galia: 147 kW (200 AG);
- variklio sukimo momentas: 196.0 Nm;
- įsibėgėjimas 0-100 km/val: 6.8 sek;
- varantieji ratai: priekiniai varantys ratai;
- kėbulo tipas: hečbekas
- masė: 1130 kg (1600 kg maksimalus);
- ilgis: 4140 mm;
- plotis: 1695 mm;
- aukštis: 1425 mm;
- atstumas tarp ašių: 2575 mm. [19]

Minėtoje transporto priemonėje priekyje ir gale yra įmontuojami antrame skyriuje nagrinėti reguliuojamo aukščio amortizatoriai. Sumontavus virpesių slopintuvus su spyruoklėmis, yra

atliekamas ratų suvedimas, kuris yra būtinas dėl skirtingos vairo traukės montavimo padėties skirtinguose amortizatoriuose.



3.2. pav. Amortizatorius automobilyje: 1 – traukės pritvirtinimas; 2 –slopintuvo reguliatorius

Atlikus visus išvardintus darbus, montuojamas jutiklis, kuris matuoja amortizatoriaus koto poslinkį. Jis montuojamas lygiagrečiai su virpesių slopintuvu, kad eiga važiavimo metu būtų tiksliai išmatuota. Įtaisas tvirtinamas priekyje dešininėje pusėje, atsižvelgus į tai, kad lengviau išvesti jutiklio laidą į automobilio saloną. Matuoklio viršutinė dalis tvirtinama prie viršutinės spyruoklės vijos, o apatinė dalis prie pakabos, kuri slankiojasi kartu su amortizatoriumi.



3.3. pav. Poslinkio jutiklio įtvirtinimas: 1 – viršuje; 2 – apačioje

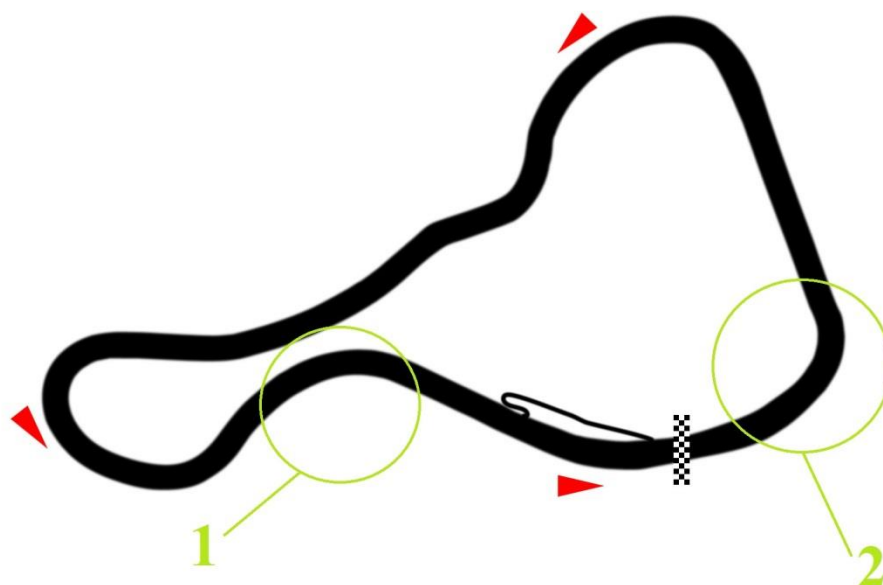
Jutiklio apačia tvirtinama prie pakabos, nes jis yra per ilgas, kad būtų įmanoma pritvirtinti prie apatinės amortizatoriaus tvirtinimo dalies. Įrenginio laidas pravedamas pro vairo traukos angą į ertmę po variklio dangčiu ir iš jos nuvedamas į automobilio saloną.

3.2. Trasa ir naudojamos padangos

Kačerginės Nemuno žiedo trasoje vyksta automobilių, motociklų ir kitų transporto priemonių treniruotės, bei varžybos. Trasa įrengta prie 140 kelio Kaunas – Šakiai, joje renkasi ne tik profesionalūs lenktyniniai, bet ir mėgėjai, kurie nori patobulinti savo vairavimo įgūdžius. Renginiai vyksta tiek vasaros sezono metu, tiek žiemą ir pritraukia daug automobilių sporto entuziastų.

Nedideli trasos rekonstravimo darbai yra atlikti šiais metais: dalyje trasos įrengti nauji atitvarai, išpjauti krūmai, dėl kurių žiūrovai negalėjo matyti trasos. Praplatinta saugos zona už trasos kelio, kad lenktyniniai avarijos atveju automobilį kuo mažiau apgadintų ir jis būtų kuo greičiau sustabdomas.

Žiedinė trasa pasižymi, staigiais posūkiiais ir reljefo pokyčiais, tam tikruose atkarpose už kalno nematyti toliau esančio kelio, todėl prie trasos reikia priprasti, kad būtų galima važiuoti maksimaliu greičiu. Besikeičiantis reljefas ir staigūs posūkiai yra didelis išbandymas ne tik amortizatoriams, bet ir padangoms. Trasos ilgis – 3350 metrų, o visas plotas 74 ha.



3.4. pav. Kačerginės Nemuno žiedo trasa: 1 – posūkis į dešinę; 2 – posūkis į kairę [20]

Važiavimams buvo pasirinktos „Semi slick“ padangos, tinkamos važiuoti ant drėgnos dangos. Jos pasižymi geru sukibimu su kelio danga ir vandens pašalinimu iš padangos sąlyčio su keliu zonos.



3.5. pav. „Semi slick“ padagos: 1 – prieš važiavimą; 2 – po važiavimo

Pavaizduotame 3.4. paveiksle matoma, kaip dešinės priekinės padangos protektorius pasikeitė atlikus visus numatytus važiavimus. Dešinė padanga susidėvėjo labiausiai, nes trasoje yra daug posūkių į kairę pusę, dėl šios priežasties daugiausiai apkraunama priekinė dešinė padanga.

3.3. Matavimai lenktynių trasoje

Matavimams atlikti naudojama DL1 įranga, jos paskirtis įrašinėti judančios transporto priemonės duomenis tokius kaip greitis, šoninis ir vertikalus pagreitis, judėjimo trajektorija. Įrenginys turi GPS imtuvą taip pat papildomas „Analog“ jungtis, prie kurių papildomai galima jungti įvairius jutiklius, fiksuoti tam tikrus duomenis.



3.6. pav. DL1 įranga [21]

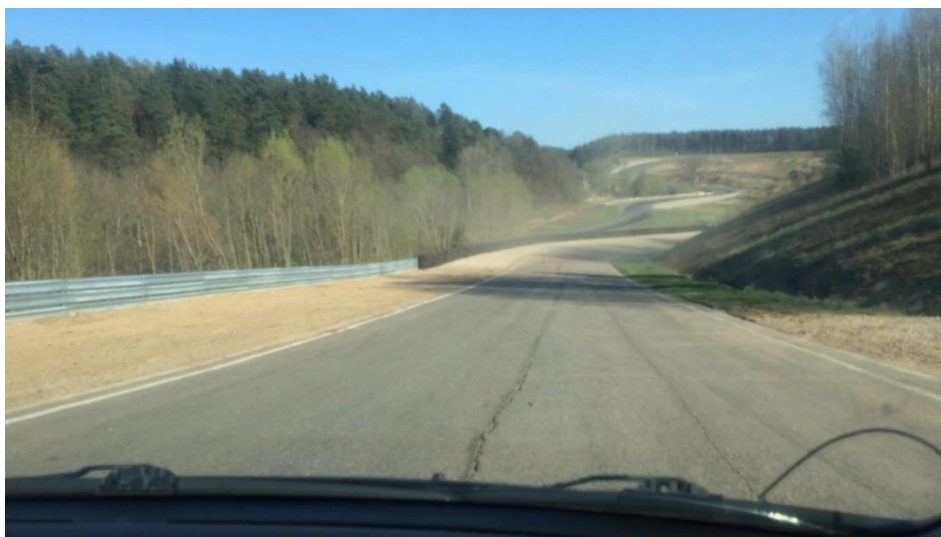
Pasinaudojant „Analog“ jungtimi, prie įtaiso prijungiamas ir poslinkio jutiklis, kuris poslinkį fiksuoja voltais. Kintant jutiklio koto padėčiai, kinta ir elektrinė įtampa. Esant pilnai ištrauktam kotui įtampa – 0 V, pilnai jį suspaudus, įtampa – 5 V. Koto eiga yra 205 mm, ji turi tiesinę priklausomybę tarp poslinkio ir įtampos.

$$A = \frac{B}{U} \quad (3.1)$$

čia: A – poslinkis vienam voltui (mm/V); B – koto eiga (mm); U – įtampa (V).

Apskaičiavus pagal formulę gauname, kad $A=41$ (mm/V), vėliau šį skaičių reikia dauginti iš poslinkio jutiklio gautų duomenų. Duomenys apdorojami „Race Technology Analysis Software“ kompiuterine programa.

Nemuno žiedo trasoje atliekami devyni atskiri važiavimai. Vieno važiavimo metu įveikiami trys ratai, iš viso 27 trasos ratai. Prieš kiekvieną matavimą yra pakeičiamas virpesių slopintuvo reguliatoriaus padėtis. Ji mažinama nuo 32 padėties iki 0 kas 4 padėtis, slopintuvas – minkštinamas. Toliau aprašomi gauti duomenys, esant skirtingai reguliatoriaus padėčiai, posūkiuose į dešinę ir į kairę, kurie pavaizduoti 3.4. paveiksle.

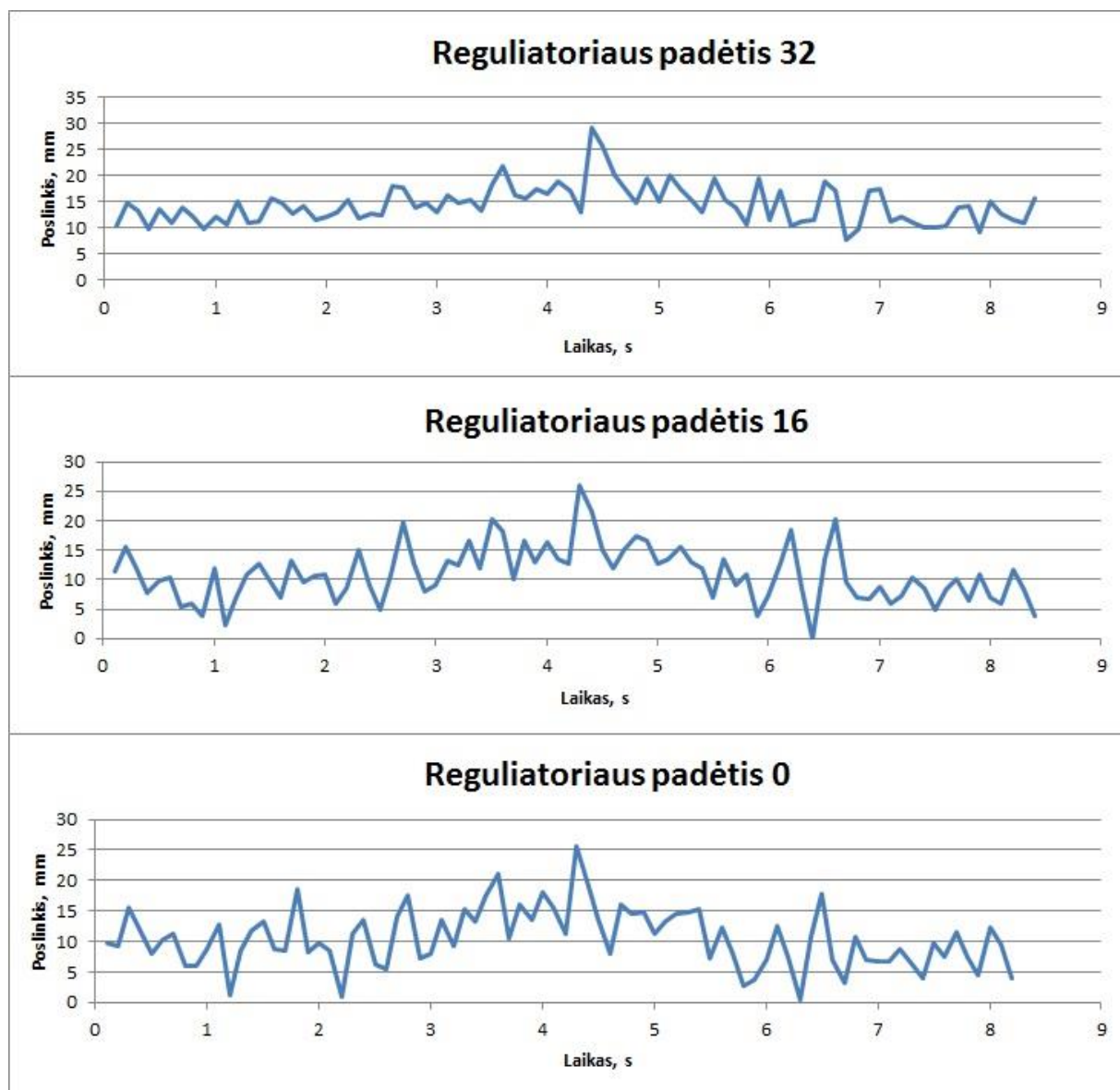


3.7. pav. Analizuojamas posūkis į dešinę pusę

3.1 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkiai sukant į dešinę

Regulatoriaus padėtis	Vidutinis greitis, km/h	Mažiausias poslinkis, mm	Didžiausias poslinkis, mm	Slopintuvo eigos apimtis, mm
32	121,7	7,7	25,4	17,7
28	126,0	3,2	22,2	19,0
24	135,9	4,2	24,7	20,5
20	133,9	2,0	24,9	22,9
16	132,8	2,4	26,0	23,6
12	135,7	0,7	25,1	24,4
8	140,6	0,0	25,5	25,5
4	136,6	0,4	26,7	26,3
0	138,6	0,4	25,7	25,3

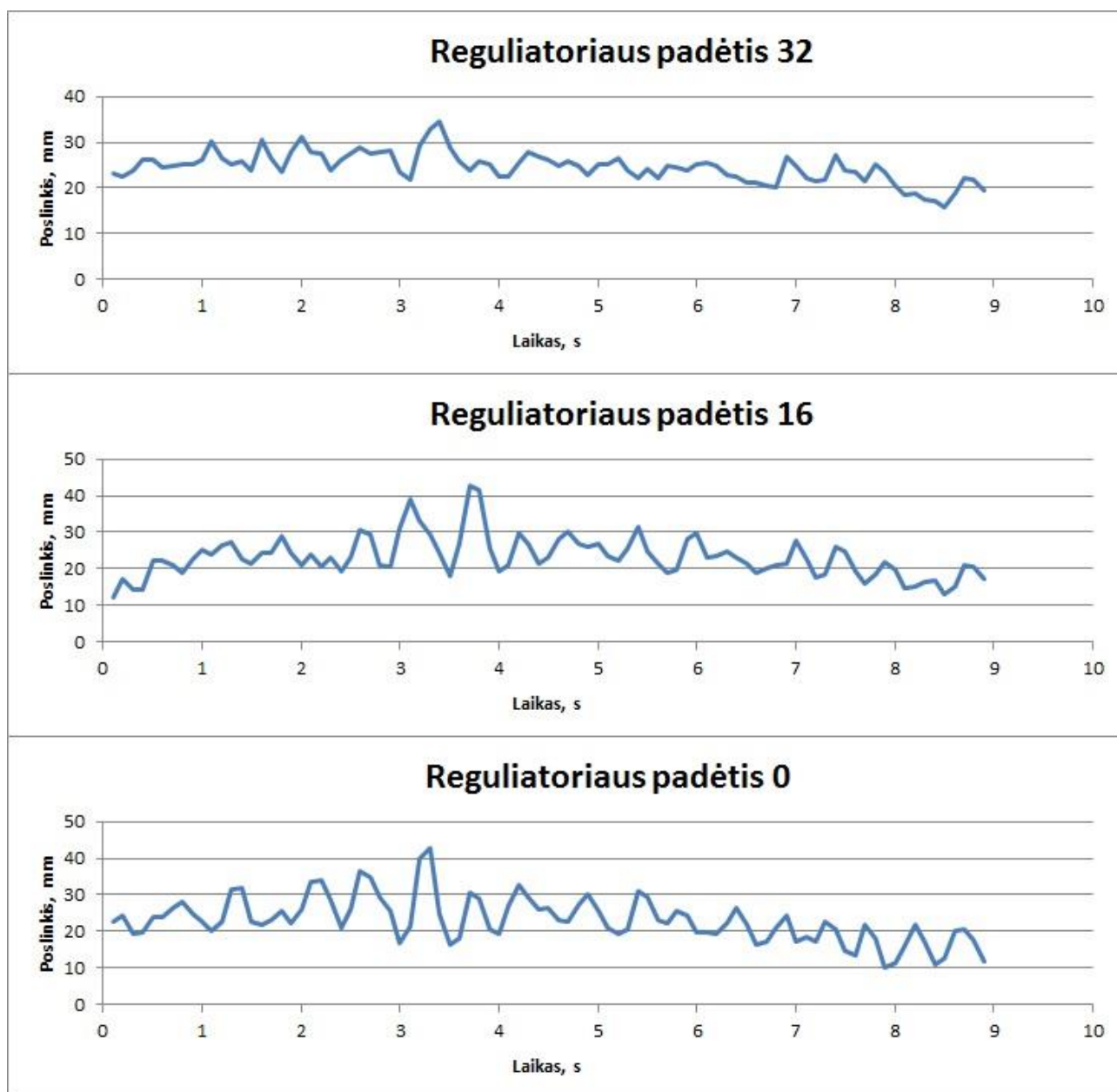
Pagal lentelės 3.1 duomenis matyti, kad keičiant reguliatoriaus padėtį, slopintuvo eiga didėja, tai yra dėl, to kad virpesių slopintuvas yra minkštinamas, jam suspausti reikalinga mažesnė jėga, kuomet reguliatorius yra 0 padėtyje, slopintuvo eiga sumažėja, tai galėjo įvykti dėl to, kad buvo neišlaikyta vienoda trajektorija posūkyje. Jutiklis įtvirtintas dešinėje automobilio pusėje, dėl šios priežasties slopintuvo maksimali eiga yra 26,3 mm, sukant į kairę eiga yra didesnė.



3.8. pav. Slopintuvo poslinkis posūkyje į dešinę, esant skirtingai reguliatoriaus padėčiai

Pateiktuose grafikuose matomas akivaizdus poslinkių amplitudės padidėjimas, reguliatoriaus padėtį sumažinus iki 0. Grafikai kinta sparčiai, kadangi trasos pagrindas yra nelygus, jis turi daug iškilimų ir duobių, todėl slopintuvas turi sugebėti laiku sugerti kelio nelygumus, bet taip pat ir būtų ne per minkštas, kuomet jis išnaudoja visą savo koto eigą ir perduoda smūgį į kėbulą.

Posūkis į kairę pusę turi mažiau nelygumų kelyje, bet jutiklis yra įtvirtintas dešinėje, todėl eiga virpesių slopintuvo yra didesnė, nors kelio nelygumų nėra tiek daug. 32 padėtyje matoma, kad slopintuvo eiga yra maža, grafikas kinta ne taip greitai, kaip esant 16 ar 0 reguliatoriaus padėtimis.



3.9. pav. Slopintuvo poslinkis posūkyje į kairę, esant skirtingai reguliatoriaus padėčiai

Tokio tipo posūkyje amortizatoriaus minkštumas nėra būtinas, jis netgi yra kenksmingas, kadangi nereikalingas staigus duobių ar iškilimų sugėrimas, o esant minkštesniam amortizatoriui automobilis pasvyra į posūkio išorę, dėl kurios kairės pusės ratai praranda sukibimą, ir atkarpa įveikiama lėčiau. Visų skirtingų važiavimų kairio posūkio slopintuvo eigos apimtys pateiktos toliau esančioje lentelėje.

3.2 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkiai sukant į kairę

Regulatoriaus padėtis	Vidutinis greitis, km/h	Mažiausias poslinkis, mm	Didžiausias poslinkis, mm	Slopintuvo eigos apimtis, mm
32	113,2	15,6	34,6	19,0
28	120,1	13,7	39,5	25,8
24	117,4	11,0	37,0	26,0
20	121,5	12,9	42,7	29,8
16	122,2	12,2	42,6	30,4
12	123,8	11,8	42,8	31,0
8	126,1	11,6	43,1	31,5
4	128,5	8,6	43,1	34,5
0	125,5	10,3	42,6	32,3

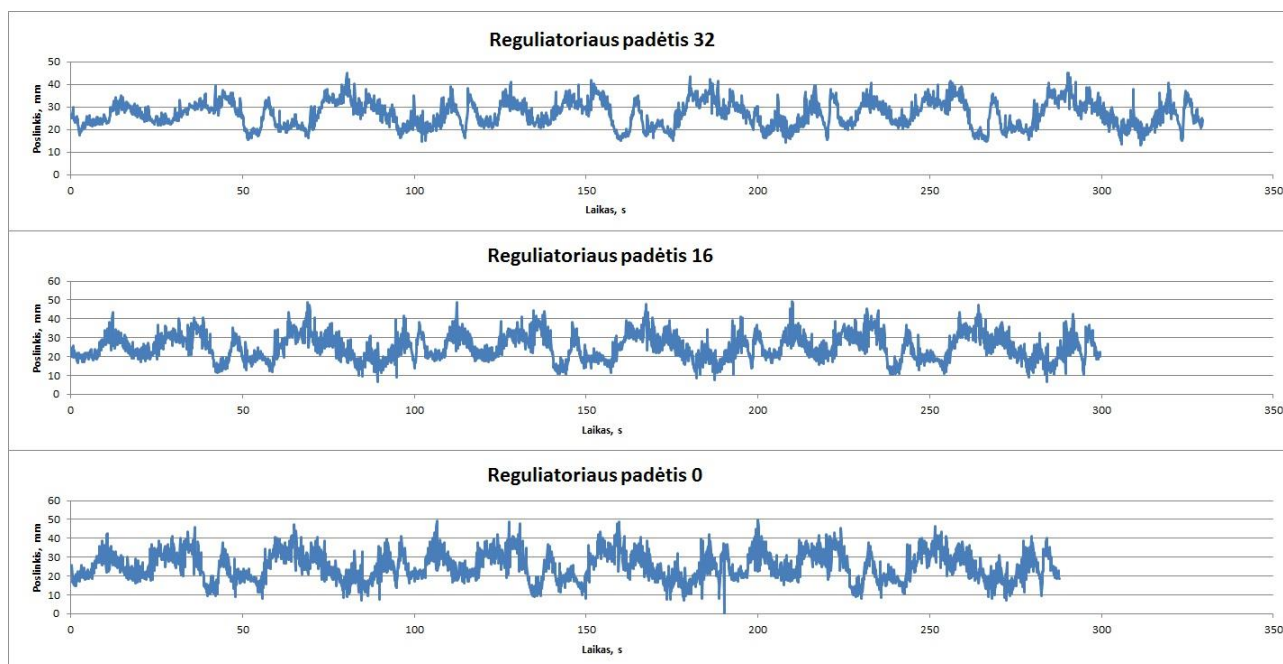
Lentelėje matomas staigus apimties padidėjimas, keičiant regulatoriaus padėtį, esant 0 regulatoriaus padėčiai eiga yra mažesnė, nei regulatoriaus padėčiai esant 4 pozicijoje. Tokį skirtumą įtakojo greičio sumažėjimas ir trajektorijos pasikeitimas.

Kačerginės Nemuno žiedo trasos pagrindas yra nelygus, todėl virpesių slopintuvo poslinkio ekstremumams nustatyti, analizuojami visi trys ratai trasoje. Trasos didžioji dalis posūkių yra į kairę pusę ir tik keletas posūkių yra į dešinę. Didžiausias greitis ir slopintuvo eiga yra pateikta žemiau esančioje lentelėje.

3.3 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkiai trasoje

Regulatoriaus padėtis	Didžiausias greitis, km/h	Mažiausias poslinkis, mm	Didžiausias poslinkis, mm	Slopintuvo eigos apimtis, mm
32	151,6	12,9	44,9	32,0
28	154,7	9,5	48,3	38,8
24	157,4	6,8	49,7	42,9
20	150,8	6,6	49,2	42,6
16	164,1	6,5	49,1	42,6
12	157,9	6,7	50,2	43,5
8	158,8	6,4	50,0	43,6
4	160,8	6,7	50,6	43,9
0	163,3	0,0	49,3	49,3

Pateiktoje lentelėje eiga sparčiai didėja tarp 32 ir 24 reguliatoriaus padėties, toliau mažinant padėtį, eigos kitimas nėra toks spartus. Nustačius reguliatorių į 0 padėtį eiga, yra didžiausia, pastebima, kad mažiausia poslinkio reikšmė kardinaliai skirtinga su prieš tai buvusiomis, nes paskutinio važiavimo metu prieš važiavimo pabaigą, dešinės pusės priekinis ratas prarado sukibimą su kelio danga, jis pakilo į viršų. Todėl galime teigti, kad slopintuvas sureguliuotas per minkštai ir neišlaiko sukibimo su kelio danga.



3.10. pav. Slopintuvo poslinkis trasoje, esant skirtingai reguliatoriaus padėčiai

Pateiktuose slopintuvo poslinkio nuo laiko grafikuose, matyti kad esant 32 reguliatoriaus padėčiai, trasa įveikiama lėčiau, negu esant 16 ir 0 padėtimis. Pirmo grafiko kreivė yra plonesnė, kadangi amortizatorius veikia mažesnių poslinkių diapazone. Nustačius 16 padėtį kreivė yra storesnė, pastebimi didesni poslinkių šuoliai trumpame laike dėl kelio nelygumų. Parinkus 0 padėtį grafike pastebimi poslinkiai artimi 0 reikšmei, esant tokiam poslinkiui, automobilio ratas nekontaktuoja su kelio danga ir prarandamas jo sukibimas, taip pat grafikas pastorėja, tai parodo didesnius automobilio važiuoklės svyravimus, todėl nulinė padėtis nėra tinkama šiai trasai, o 32 padėtis per kieta, automobilis nespėja sugerti kelio nelygumų.

4. Lenktynininko pastebėjimai ir rekomendacijos slopintuvų sureguliuvimui

4.1. Lenktynininko išvalgos

Automobilį Kačerginės Nemuno žiedo trasoje vairavo lenktynininkas Julius Skirmantas, jis yra daugkartinis varžybų „Fastlap“ ir „BaTCC“ nugalėtojas ir prizinininkas. Lenktynininkas pasižymi puikiais vairavimo gabumais ir agresyvumu lenktynių trasoje. Jis Vairuoja 24 numeriu pažymėtą baltą „Honda Civic Type R“ automobilį.



4.1. pav. Juliaus Skirmanto lenktyninis automobilis

Julius, kiekvieno bandymo metu keičiant reguliatoriaus padėtis, išsakė savo pastebėjimus, kaip keičiasi mašinos valdymas lenktynių trasoje:

o pirmas važiavimas, reguliatoriaus padėtis 32. Automobilio pakaba labai kieta, smūgiai iš važiuoklės perduodami į kėbulą, automobilis greitai valdomas, tačiau nespėja sugerti atsiradusių nelygumų trasoje, posūkiuose dėl nelygumų prarandamas sukibimas.

o antras važiavimas, reguliatoriaus padėtis 28. Automobilyje juntami dideli pakabos perduodami smūgiai, nelygiuose posūkiuose mažas sukibimas, automobilis dreba važiuodamas per nelygumus.

o trečias važiavimas, reguliatoriaus padėtis 24. Vingiuose nesijaučiama drąsiai, geresnis sukibimas posūkiuose, kėbulas nepasvyra, šiek tiek komfortiškesnis važiavimas, lyginant su 32 ir 28 padėtimis.

o **ketvirtas važiavimas, reguliatoriaus padėtis 20.** Gerai sugeria nelygumą, kuris yra kairiame analizuotame posūkyje, automobilis jame yra stabilus, nepakyla. Dešiniame analizuotame posūkyje dėl didelių kelio nelygumų amortizatorius nespėja visko sugerti.

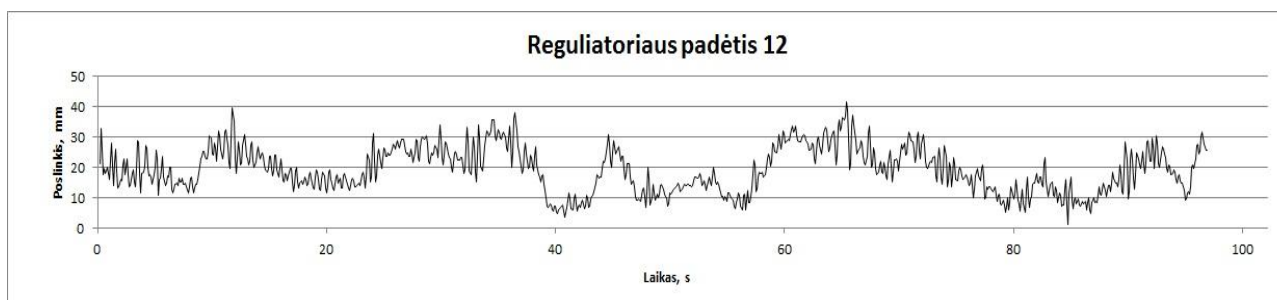
o **penktas važiavimas, reguliatoriaus padėtis 16.** Gale juntamas padidėjęs laisvumas, kairys posūkis įveikiamas labai gerai sukimbant padangoms. Trasoje gerai sugeria nelygumus ir duobes.

o **šeštąs važiavimas, reguliatoriaus padėtis 12.** Iš visų prieš tai buvusių važiavimų sukibimo jausmas geriausias, kairį ir dešinį posūkį prie ąžuolo įveikti lengva ir drąsu. Akivaizdžiai jaučiamas minkštesnis važiavimas.

o **septintas važiavimas, reguliatoriaus padėtis 8.** Panašus sukibimas ir jausmas kaip ir šešto važiavimo metu.

o **aštuntas važiavimas, reguliatoriaus padėtis 4.** Per didelis minkštumas, automobilis posūkyje per daug pasvyra, tačiau duobes sugeria tinkamai.

o **devintas važiavimas, reguliatoriaus padėtis 0.** Pakaba per minkšta, važiuojant per duobes automobilio priekį ir galą meta į viršų, automobilis per daug pasvyra posūkiuose. Per didelius iškilimus juntamas galinio virpesių slopintuvo eigos galas, smūgis perduodamas į kėbulą.



4.2. pav. Slopintuvo poslinkis įveikiant vieną ratą nustačius 12 reguliatoriaus padėtį

Lenktynininko nuomone, šešto ir septinto važiavimo virpesių slopintuvų sureguliuavimai buvo tinkamiausi šiai trasai, jo teigimu su šiais slopintuvais mašina sukibo su kelio danga tinkamai, automobilyje jis jautėsi gerai ir pabrėžė, kad nesitikėjo gauti tokią gerą valdymo kokybę, kuomet standartinio Honda Civic masė yra didesnė, nei jo vairuojamo lengvesnio automobilio.

4.2. Rekomendacijos virpesių slopintuvų sureguliuavimui

Norint tinkamai sureguliuoti virpesių slopintuvą, reikia atkreipti dėmesį į padangas, važiuojant per duobes ar iškilimus, tikslas kad ji, įveikiant šiuos nelygumus, nebūtų suspaudžiama per daug, bet ir nebūtų suspaudžiama per mažai, kai sumažėja padangos kontakto zona su keliu. Tam nustatyti geriausiai naudotis vaizdo medžiaga, nufilmuota bandymo metu.

Kuo standesnis virpesių slopintuvas, tuo perduodamas smūgio svoris yra didesnis, esant minkštam virpesių slopintuvui, svoris perduodamas mažesnis, tai pat sumažėja valdymo reakcija. Sureguliuojamas priklauso nuo trasos reljefo, posūkių staigumo ir kelio nelygumų.

4.1 lentelė. Virpesių slopintuvo poslinkis, esant skirtingoms situacijoms

Virpesių slopintuvas	Stabdymas	Greitėjimas	Posūkis į kairę	Posūkis į dešinę
Priekinis kairys	Suspaudimas	Ištraukimas	Ištraukimas	Suspaudimas
Priekinis dešinys	Suspaudimas	Ištraukimas	Suspaudimas	Ištraukimas
Galinis kairys	Ištraukimas	Suspaudimas	Ištraukimas	Suspaudimas
Galinis dešinys	Ištraukimas	Suspaudimas	Suspaudimas	Ištraukimas

Trasa lygi, be duobių ar iškilimų. Virpesių slopintuvas sureguliuojamas standžiai, posūkyje automobilis nesvyra, padangos kontaktas su keliu didžiausias, reakcija į valdymą didelė, važiavimo metu didžiausius smūgius sugeria padanga.

Trasa turi duobių ir iškilimų. Svarbu turėti pakankamai smūgio slopinimo jėgos, įveikiant kelio nelygumus, jei slopintuvų standumas yra per didelis, jausmas tarsi važiuotum be pakabos – visi smūgiai perduodami į ratus ir kėbulą. Ratai suspaudžiami per daug, ir kontakto paviršius pakinta. Esant duobėms ir standžiam virpesių slopintuvui, spyruoklės sukuriama jėgos nepakanka laiku ištraukti virpesių slopintuvo koto, ir automobilio ratas pavėluotai įvažiuoja į duobę, todėl prarandamas kontaktas su kelio danga. Norint to išvengti, reikia mažinti virpesių slopintuvo standumą tol, kol ratas įvažiuoja į duobes tolygiai. Jeigu ratas iš duobės išstumiamas ir mašina svyruoja, taip pat stipriai pasvyra posūkiuose, virpesių slopintuvo standumas per mažas, amortizatorius per minkštas, tokia situacija yra labai pavojinga, nes automobilį sunku suvaldyti. Būtina atkreipti dėmesį į slopintuvo eigą – ar ji nėra išnaudojama visa. Išnaudojus visą eigą, juntami smūgiai į ratus ir kėbulą, dėl kurių būtina standinti virpesių slopintuvą.

Kiekvienai skirtingai trasei virpesių slopintuvai turi būti sureguliuojami skirtingai. Kačerginės Nemuno žiedo trasa pasižymi staigiais reljefo pokyčiais, didelėmis duobėmis kelyje, daugybe posūkių į kairę pusę. Dėl skirtingų trasos savybių yra sudėtinga surasti tinkamas sąlygas įveikti kiekvieną atkarpą, todėl yra atsižvelgiama į bendrą vaizdą. Su tirtais amortizatoriais lenktynių trasoje nustatyta, kad amortizatoriai turi būti ganėtinai minkšti, regulatoriaus padėtis tarp 12 ir 8 padėčių, kuomet 32 regulatoriaus padėtis yra standžiausia.

Išvados

1. Darbe ištirti reguliuojamų savybių „Honda Civic Type R“ virpesių slopintuvai ir spyruoklės.
2. Priekinio virpesių slopintuvo 32 reguliatoriaus padėties jėgos 1076 N ir -4861 N, slopinimas 1951272 N/(m/s) ir -8801690 N/(m/s). 16 reguliatoriaus padėties jėgos 903 N ir -2701 N, slopinimas 1674703 N/(m/s) ir -5002425 N/(m/s). 0 reguliatoriaus padėties jėgos 884 N ir -1812 N, slopinimas 1637370 N/(m/s) ir -3354000 N/(m/s).
3. Galinio virpesių slopintuvo 32 reguliatoriaus padėties jėgos 2625 N ir -4901 N, slopinimas 4975660 N/(m/s) ir -9109018 N/(m/s). 16 reguliatoriaus padėties jėgos 2034 N ir -2824 N, slopinimas 3847584 N/(m/s) ir -5331584 N/(m/s). 0 reguliatoriaus padėties jėgos 1584 N ir -2254 N, slopinimas 3018528 N/(m/s) ir -4167150 N/(m/s).
4. Koreliacinė analizė ir taškų sklaidos diagrama patvirtina išmatuotų duomenų tikslumą.
5. Priekinės spyruoklės didžiausia jėga 4217 N, Didžiausias standumas 85715 N/m. Galinės spyruoklės didžiausia jėga 4750 N, Didžiausias standumas 96136 N/m.
6. Priekinio amortizatoriaus eigos apimtis sukant į dešinę, reguliatoriaus padėtis: 32 – 17,7 mm, 16 – 23,6 mm, 0 – 25,3 mm.
7. Priekinio amortizatoriaus eigos apimtis sukant į kairę, reguliatoriaus padėtis: 32 – 19,0 mm, 16 – 30,4 mm, 0 – 32,3 mm.
8. Tinkamiausia reguliatoriaus padėtis yra tarp 12 ir 8 reguliatoriaus padėčių.
9. Kiekvienai skirtingai trasai virpesių slopintuvai turi būti perreguliuojami ir pritaikomi pagal reljefą ir nelygumus kelyje.

Literatūros sąrašas

1. „McPherson“ kolona [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://maybach300c.blogspot.lt/2012/09/mcpherson-struts-and-strut-damper.html>
2. *Daugiasvirtė pakaba*. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.autoevolution.com/news/how-multi-link-suspension-works-7804.html>
3. *Priklausoma linginė pakaba*. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.toymods.org.au/forums/threads/7348-Your-suspension-amp-you>
4. *Nepriklausoma ir priklausoma pakaba* [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.autotechinsu.ga/2016/05/suspension-system-fundamentals.html>
5. *Stabilizatorius*. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.autodinaracing.lt/lt/preke/hampr-hampr-bmw-e36-m3-stabilizatorius>
6. *Svirtys ir vairo traukės* [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio d.]. Prieiga per internetą: http://www.iauto.lt/detales/1506975/0/Link_Set_wheel_suspension_27421_01_LEMF%C3%96RDER
7. *Ivairių dydžių spyruoklės* [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieigos per internetą: <http://www.eibachsa.co.za/index.php/products-ers-race-car-springs/>
8. SEGERS, Jorge. *Analysis techniques for racecar data acquisition*. Warrendale, Pennsylvania, USA, 2008, pp. 97-103. ISBN 9780768016550
9. *Slopintuvai* [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.fourwheeler.com/how-to/suspension-brakes/129-1001-off-road-shock-absorbers-101/>
10. KASPRZAK, Jim. *Understanding your dampers*. Kaz technologies [interaktyvus] [žiūrėta 2018 gegužės 4 d.]. Prieigos per internetą: <http://www.kaztechnologies.com/wp-content/uploads/2014/03/A-Guide-To-Your-Dampers-Chapter-from-FSAE-Book-by-Jim-Kasprzak.pdf>
11. DIXON, J.C. *The Shock Absorber Handbook*, 2nd edn, Professional Engineering Publishing Ltd & John Wiley and Sons Ltd, England, 2007, pp. 289-299. ISBN 9780470510209
12. *Reguliuojamo aukščio amortizatoriai* [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://shop.automanas.lt/naujienos/ksport-racing.html>
13. *Dinamometras bandymams* [interaktyvus] [žiūrėta 2017 balandžio 11 d.]. Prieiga per internetą:

http://www.intercompracing.com/shock-spring-torque-testers-shock-dynamometers-c-27_29-l-en.html

14. *Toyo „slick“ padangos* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 sausio 20 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.superstreetonline.com/features/news/eurp-1206-toyo-proxes-rs1-slick->
15. *Šoninės jėgos ir ratų pasukimo grafikas* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 sausio 20 d.]. Prieiga per internetą:
<http://racingcardynamics.com/racing-tires-lateral-force/>
16. *Mokymai „Wolf School“ sportinis vairavimas ir lenktynių inžinerija* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 sausio 21 d.]. Prieiga per internetą:
https://www.youtube.com/watch?time_continue=4308&v=XNsWNe2I2-0
17. *Amortizatorių vaidmuo pakaboje* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 kovo 20 d.]. Prieiga per internetą:
<http://motofocus.lt/technika/369,amortizatoriu-vaidmuo-pakaboje>
18. *Dinamometras „BTP 2000“* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 kovo 21 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.spa-uk.co.uk/dynamometers/btp2000/>
19. *Honda Civic VII 2.0i techniniai duomenys* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 balandžio 25 d.]. Prieiga per internetą:
<https://autogidas.lt/auto-katalogas/honda/civic/vii-2.0i-type-r-2002-2004-k48702>
20. *Kačerginės Nemuno žiedo trasa* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 balandžio 26 d.]. Prieiga per internetą:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nemuno-ziedas_scheme.jpg
21. *DL1 įranga* [interaktyvus] [žiūrėta 2018 balandžio 26 d.]. Prieiga per internetą:
<https://www.race-technology.com/wiki/index.php/DL1/Connections>