



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

Algirdas Laskys

**Automobilio važiuoklės tampriųjų ir slopinančiųjų elementų
parametrų įtakos važiavimo komfortui tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Rolandas Makaras

KAUNAS, 2017

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

**AUTOMOBILIO VAŽIUOKLĖS TAMPRIŲJŲ IR
SLOPINANČIŲJŲ ELEMENTŲ PARAMETRŲ ĮTAKOS
VAŽIAVIMO KOMFORTUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (kodas 621E20001)

Vadovas

Doc. dr. Rolandas Makaras

Recenzentas

Prof. Artūras Keršys

Projektą atliko

Algirdas Laskys

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

ALGIRDAS LASKYS

(Studento vardas, pavardė)

TRANSPORTO PRIEMONIŲ INŽINERIJA 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Automobilio važiuoklės tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametų įtakos važiavimo komfortui tyrimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. balandis 20 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Algirdo Laskio**, baigiamasis projektas tema „Automobilio važiuoklės tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametų įtakos važiavimo kokybei 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)

Laskys Algirdas. Automobilio važiuoklės tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametru įtakos važiavimo komfortui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Inžinerijos mokslai, Transporto priemonių inžinerija

Reikšminiai žodžiai: automobilis, važiuoklė, slopinimas, kokybė, virpesių slopintuvas, spyruoklė.

Kaunas, 2017. 66 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe nagrinėjama kiek įtakos važiavimo kokybei turi skirtingų parametru važiuoklės tamprieji ir slopinantieji elementai t.y. virpesių slopintuvai ir spyruoklės. Bandymams naudoti du AUDI A4 AVANT automobiliai su kiek įmanoma identiškais parametrais, išskyrus minėtus elementus. Vienas iš automobilių turi standartinės modifikacijos važiuoklę su standartiniais elementais, o kitas - gamykinę sportinę važiuoklės modifikaciją su kietesnėmis spyruoklėmis ir didesnio slopinimo virpesių slopintuvais.

Naudojant DL racing technology matavimo įrangą su rato eigos matuokliu buvo atlikti bandomieji važiavimai parinktu specialiu maršrutu, stengiantis atkartoti kiek įmanoma daugiau skirtingų važiavimo režimų. Gauti rezultatai grindžiami matavimo stende gautomis kiekvieno elemento charakteristikomis ir lyginami su teoriniu automobilio pakabos ketvirčio modeliu.

Atlikus teorinę ir praktinę analizę gauti rezultatai:

Sportinės (s-line) spyruoklės yra standesnės 18% priekiu ir 20% galui. Tai reiškia, kad reikalinga didesnė jėga norint jai suteikti tokią pačią deformaciją. Bet, nepaisant to, sportinės spyruoklės turi specifinį standumą. Jos standumo koeficientas kinta netiesine priklausomybe.

Bendras priekinių virpesių slopintuvų standumas skiriasi 20% ir galinių – 30%. Sportiniai (s-line) virpesių slopintuvai standesni, bet priekinių slopinimo koeficientas matomai žemesnis netgi 22%. Galiniai priešingai – slopina geriau 19%. Šis netikėtas skirtumas atsirado dėl, galimai, didesnio priekinio sportinio bandomojo virpesių slopintuvo išdilio.

Bendros masės skirtumas tarp automobilių 6,9kg (0,4%). Priekinės ašies apkrova skiriasi - 4,7kg (0,5%). Šis skirtumas praktiškai neturi įtakos kitiems natūriniais ir analitiniams tyrimams.

Laskys Algirdas. The research Of Vehicles Chassis Resilience And Inhibitory Elements Parameters Influence On Driving Comfort: Master's thesis in Transport Engineering / supervisor assoc. prof. Rolandas Makaras. The Faculty of Mechanical engineering and design, Kaunas University of Technology.

Research area and field:

Key words: vehicle, chassis, inhibitory, quality, shock absorber, coil spring.

Kaunas, 2017. 66 p.

SUMMARY

In this research it is being considered how much influence does chassis resilience and inhibitory elements with different parameters, that is shock absorbers and coil springs, have on driving quality. Vehicles used for the research are two AUDI A4 AVANT with as identical as possible parameters, only mentioned element excluded. One of the vehicles is equipped with standard chassis modification and other with factory build modified sports modification with harder springs and better inhibitory shock absorbers.

Test drives were made in special road course while using DL racing technology measuring equipment and wheel course meter and trying to repeat as many possible different driving conditions as possible. The results are validated by characteristics got from measuring stand for every element and compared with theoretical model with analytical solution of $\frac{1}{4}$ model.

The results are:

Sport (s-line) springs have more stiffness than standard 18% for front and 20% rear. That means, that more force is needed to press spring. However, sports spring has specified stiffness. It depends on nonlinear function.

Basic front shock absorber stiffness is unequal 20% and rear – 30%. Sport shock absorbers are more stiff, but because of wear damage front elements have poor inhibitory function. Rear has 19% better inhibitory parameters than standard.

Whole mass difference between vehicles 6,9kg (0,4%). Front axle vertical force differs - 4,7kg (0,5%). This inequality will not affect further research.

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATEDRA

Suderinta:

Studijų krypties programų vadovas
prof. Artūras Keršys

Transporto inžinerijos katedros
vedėjas
doc. Rolandas Makaras

2016 m. vasario mėn. 8 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Algirdui Laskiui

1. Projekto tema:

Automobilio važiuoklės tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametrų įtakos važiavimo komfortui tyrimas.

The research Of Vehicles Chassis Resilience And Inhibitory Elements Parameters Influence On Driving Comfort

Patvirtinta: 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-8

2. Projekto tikslas:

Ištirti gamyklinių „AUDI“ sportinės bei standartinės važiuoklių parametrus ir nustatyti jų įtaką važiavimo komfortui.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

1. Nustatyti važiuoklių tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametrus dinamometriniame stende
 - a. Spyruoklių parametrų tyrimas
 - b. Virpesių slopintuvų parametrų tyrimas
2. Nustatyti abiejų automobilių ratų vertikalios apkrovas
3. Nustatyti abiejų automobilių slopinančiųjų elementų būklę matavimo stendu
4. Atlikti eksperimentinius tyrimus nustatant atsirandančius masių svyravimus ir pagreičius naudojant „DL racing technology“ įrangą.
5. Sudaryti ketvirčio modelį „Matlab“ aplinkoje ir palyginti su eksperimentiniais rezultatais.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2016 m. vasario mėn. 8 d.

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2017 m. gegužės mėn. 18 d.

Vadovas: _____
(vardas, pavardė) (parašas)

Užduotį gavau: _____
(studento vardas, pavardė) (parašas)

Įvadas

Atėjus modernių automobilių laikams atsiranda vis daugiau galimybių juos modifikuoti ir tobulinti. Esant ganėtinai dideliui populiarumui šioje srityje patys automobilių koncernai siūlo gamyklines modifikacijas, kurios atitinka visus keliamus techninius reikalavimus saugumo sumetimais. Viena iš sričių yra važiuoklės tobulinimas ir jos komponentų keitimas. Keičiant virpesių slopintuvus ar spyruokles su kitokiomis slopinimo ir standumo charakteristikomis galima gauti visiškai kitokią automobilio elgseną ir dinamiką. Bet ar padidėjęs automobilio važiuoklės standumas ir geresnė dinamika atperka sumažėjusį komfortą?

Šio darbo tikslas – ištirti gamyklinių „AUDI“ sportinės bei standartinės važiuoklių parametrus ir nustatyti jų įtaką važiavimo komfortui.

Atsakyti į klausimą - Ar verta, už tam tikrą papildomos komplektacijos kainą, mažinti važiavimo komfortą siekiant sportiškumo ir geresnių dinaminų savybių? Pasiiekti reikalingiems ir svariems rezultatams iškeliami uždaviniai:

1. Nustatyti važiuoklių tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametrus dinamometriniame stende
 - a. Spyruoklių parametrų tyrimas
 - b. Virpesių slopintuvų parametrų tyrimas
2. Nustatyti abiejų automobilių ratų vertikalias apkrovas
3. Nustatyti abiejų automobilių slopinančiųjų elementų būklę matavimo stendu
4. Atlikti eksperimentinius tyrimus nustatant atsirandančius masių svyravimus ir pagreičius naudojant „DL racing technology“ įrangą.
5. Sudaryti ketvirčio modelį „Matlab“ aplinkoje ir palyginti su eksperimentiniais rezultatais.

Gavus visus rezultatus ir atlikus jų analizę galima spręsti, kuris važiuoklės tipas yra labiau tinkamas Lietuvos Respublikos kelių tinklui ir ar verta aukoti komfortą dėl geresnės dinamikos, bei ar ekonomiškai tai yra naudinga/žalinga.

Turinys

<u>Ivadas</u>	7
<u>1. Literatūros apžvalga</u>	9
<u>1.1. Automobilių važiuoklės</u>	9
<u>1.1.1. „McPherson“ važiuoklė</u>	10
<u>1.1.2. Dviejų skersinių svirčių važiuoklė</u>	11
<u>1.1.3. Vienos skersinės svirties važiuoklė</u>	12
<u>1.1.4. Daugiasvirtė važiuoklė</u>	13
<u>1.2. Slopinantieji elementai</u>	14
<u>1.2.1. Virpesių slopintuvai</u>	15
<u>1.2.1.1. Tepaliniai virpesių slopintuvai</u>	15
<u>1.2.1.2. „Dujiniai“ virpesių slopintuvai</u>	16
<u>1.2.1.3. Reguliuojamieji virpesių slopintuvai</u>	16
<u>1.3. Tamprieji elementai</u>	17
<u>1.3.1. Spyruoklės</u>	17
<u>1.3.2. Torsionas</u>	17
<u>1.3.3. Oro pagalvės</u>	18
<u>2. Tiriamoji dalis</u>	19
<u>2.1. Tyrime naudojami automobiliai</u>	19
<u>2.2. Spyruoklių ir virpesių slopintuvų parametru tyrimas</u>	21
<u>2.2.1. Spyruoklių standumo koeficiento nustatymas</u>	22
<u>2.2.2. Virpesių slopintuvų slopinimo savybių tyrimas</u>	26
<u>2.3. Automobilio bendros masės bei ratų vertikalios apkrovos nustatymas</u>	31
<u>2.4. Bandomųjų automobilių virpesių slopintuvų būklės nustatymas</u>	34
<u>2.5. Bandomieji važiavimai</u>	36
<u>2.6. Ketvirčio modelio sprendimas</u>	43
<u>3. Ekonominis įvertinimas</u>	60
<u>4. Išvados</u>	62
<u>Šaltiniai</u>	64

1. Literatūros apžvalga

1.1. Automobilių važiuoklės

Važiuoklė – jungtis tarp kėbulo ir automobilio ratų. Jos paskirtis:

- Valdyti ratus leidžiant jiems sukiotis ir judėti vertikaliai
- Išlaikyti ratus kontakte su keliu ir mažinti triukšmą
- Išskirstyti kėbulo suteikiamas vertikalias apkrovas tolygiai ratams
- Mažinti automobilio masę, išlaikant nedidelę neamortizuotą masę
- Mažinti kelio poveikį sukant, stabdant, pagreitėjant
- Išlaikyti optimalų darbą derant su kitais komforto elementais išlaikant

važiavimo kokybę

Visus šiuos tikslus įgyvendinti yra sudėtinga, bet pasiekti kompromisą įmanoma. Tam yra sugalvota eilė metodų, jie išbandyti ir kai kurie vis dar naudojami. Atsižvelgiant į šiuos tikslus galima suprasti kodėl vis skirtingos važiuoklių konstrukcijos vis dar naudojamos.

Neamortizuota masė – važiuoklės komponentų masė su spyruokle ir ratu. Skaičiavimui naudojama pusė judančių jungtinių elementų masės, kurios kitą pusę galima priskirti jau prie amortizuotos masės. Neamortizuojamą masę privalu išlaikyti kuo mažesnę lyginant su kėbulu. Taip išlaikomas mažesnis jėgos perdavimas į kėbulą, įveikiant kelio nelygumus, ir važiavimo komfortas.

Automobiliui važiuoklė reikalinga sugerti kelio nelygumų keliamas vibracijas. Tokiu būdu išlaikomas važiavimo komfortas ir mažinama žala nešančiai kėbulo konstrukcijai. Spyruoklė leidžia ratui sekti kelio reljefą išlaikant pastovų kontaktą. Dalį šio darbo atlieka ir spūdi padanga, kuri geba sugerti mažesnius žadinius. Lygiagrečiai spyruoklės naudojamas amortizatorius ir visi kiti judantys elementai yra laikomi važiuokle.

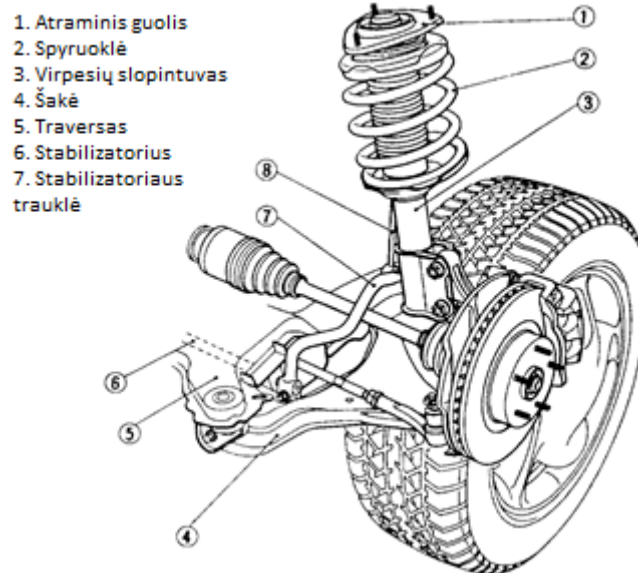
Kuomet ratas pataiko į kelio nelygumą, jis pajudinamas vertikalia kryptimi su jėga. Kadangi ratas yra pastoviai veikiamas tik gravitacijos, jis norės grįžti atgal į savo pradinę padėtį. Didžioji suteiktos energijos dalis bus perduota į automobilio kėbulą. Panaudojus spyruoklę tarp rato ir kėbulo didžioji dalis energijos išnaudojama jos suspaudimui ir mažesnę dalis perduodama amortizuotai masei. Kėbulo posvyris, palyginus su rato eiga, skiriasi kardinaliai.

Spyruoklės kartu su visa važiuoklės sistema atkartoja kelio paviršių. Visa judesio energija yra sugerama ir kaupiama spyruoklėje. Jos tipai gali būti įvairūs, bet atlieka tą pačią funkciją. Jei tamprusis elementas naudojamas minkštas, tai išlaikomas geresnis važiavimo

komfortas. Naudojant kietą – gali būt pravartu sportiškam važiavimui. Norint pasiekti kompromisą tarp abiejų savybių sugalvotos įvairios važiuoklių modifikacijos [1].

1.1.1. „McPherson“ važiuoklė

Viena iš alternatyvių važiuoklės modifikacijų – “McPherson” statramstis, kurio vienas galas atraminiu guoliu susietas su lanžeronu, o kitas šake su traversu. Tarp rato atramos ir viršutinio tvirtinimo taško įrengti virpesių slopintuvas ir sraigtinė spyruoklė. Jėgos perdavimui reikalingas ypač atsparus lenkimui stūmoklio kotas virpesių slopintuve ir kėbulo sutvirtinimas viršutinio atraminio guolio srityje. Atvėrus variklio dangtį aiškiai matosi kėbulo taškai, kur statramstis atremiamas gana aukštoje pozicijoje. „McPherson“ amortizatorinis statramstis (1 pav.) atlieka kreipiamosios svirties funkcijas ir kartu padeda spyruokliavimui bei automobilio svyravimams slopinti. Atraminis guolis turi priimti dideles ašines jėgas ir valdomoms ašims leisti pasisukti dideliu pasisukimo kampu. Ašine kryptimi gumuoti guoliai yra minkšti, o šonine kryptimi jie turi didelį valdymo tikslumą..

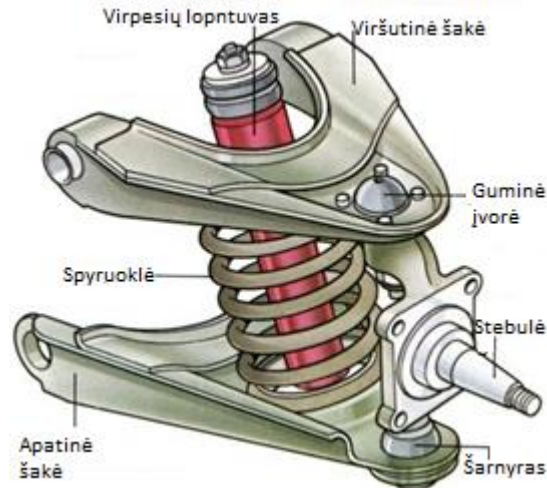


1 pav. „McPherson“ amortizatorinis statramstis [3]

Konstrukcija labai paprasta, kurioje viršutinė šakė pakeista statramsčiu, kuris gali sukiotis kėbulo atžvilgiu. Pagrindinis privalumas – trys funkcijos naudojant vieną elementą ir padoriose ribose išlaikomas rato išvirtimas visos eigos metu [2].

1.1.2. Dviejų skersinių svirčių važiuoklė

Dviejų svirčių pakaba (2 pav.) išsiskiria savo kinematinėmis savybėmis – keičiant svirčių ilgius, jų tarpusavio padėtį, galima gauti norimą rato judesio dėsnį.



2 pav. Dviejų skersinių svirčių pakaba [4]

Nepriklausomos pakabos su dviem svirtimis schemas, kai viršutinė ir apatinė svirtys vienodo ilgio ir nelygios. Tiksliau ratas kreipiamas, kai abi svirtys yra vienodo ilgio. Šiuo atveju pakabai dirbant nesikeistų rato išvirtimas, tačiau keičiasi provėža, dėl to padanga stumdoma skersine kryptimi ir labai dyla. Norint išvengti didelio provėžos kitimo, naudojamos pakabos su nevienodo ilgio svirtimis. Tada galima sumažinti rato skersinę eigą, pakreipiant ją. Rato išvirtimas, pakabai dirbant, keisis, bet galima surasti kompromisinius sprendimus. Numačius $\rho_3/\rho_1 = 0,55 - 0,65$, galima pasiekti, kad rato eiga skersine kryptimi sumažės iki 4-5 mm, o rato išvirtimas keisis ne daugiau kaip $5-6^\circ$. Apskaičiuoti dydžiai analizuojami, siekiant nustatyti pakabos korekcijos galimybes. Gerai suprojektuotose pakabose rato išvirtimo kampas neturėtų keistis daugiau nei $\pm 3^\circ$. Rato skersinį poslinkį iki ± 2 mm kompensuoja padangos.

Suderinti skirtingus reikalavimus, keliamus pakabai, neįmanoma. Kompromisinis sprendimas galimas, numatant, kad kinematiniai reikalavimai bus taikomi ne visai pakabos eigai, o tik tam tikrai jos daliai, tikintis, kad pilna pakabos eiga, važiuojant normaliais keliais, retai išnaudojama [5].

1.1.3. Vienos skersinės svirties važiuoklė

Vienos svirties pakabos kinematinės savybės panašios į dviejų svirčių pakabos. Keičiant svirties ašies padėtį bei svirties matmenis, galima gauti norimą charakteristiką. Vienos svirties pakabos variantas, kai svirties ašis statmena automobilio simetrijos plokštumai (išilginė svirtis), pakabai dirbant, nesikeičia provėža, rato išvirtimo kampas, tačiau truputį keičiasi bazė. Nepaisant tokių gerų kinematinų savybių, pakaba naudojama tik mažuose automobiliuose. Šios pakabos trūkumas tas, kad posvyrio centras yra žemai – kelio lygyje – ir kėbulas posūkiuose labiau pakrypsta, dėl to nepageidautina kryptimi keičiasi ratų išvirtimas. Be to, dėl tampriųjų pakabos elementų deformacijų ratų išvirtimas dar padidėja taip, kad sumažėja padangų keliamoji galia skersine kryptimi.

Erdvinės svirtinės pakabos pradėtos naudoti palyginus neseniai Mercedes lengvuosiuose automobiliuose bei BMW 8-toje serijoje (3 pav.).



3 pav. BMW i8 pakaba [7]

Tai sudėtingos kinematikos pakabos. Ratas jose kreipiamas 4 erdvėje išdėstytomis svirtimis, o penktoji svirtis (trauklė) naudojama specialiai rato suvedimui koreguoti. Pakaba pradėta naudoti, nes įprastinės pakabos netenkino konstruktorių. Net labai tiksliai parinkus pakabos kinematiką, natūriniuose bandymuose būdavo fiksuojami jos nukrypimai sudėtingesnėse situacijose, ypač dideliais greičiais važiuojant posūkiuose. Detalesni tyrimai parodė, kad priežastis – pakabos guminių įvorių ir pačių pakabos svirčių bei kitų detalių deformacijos esant didesnėms šoninėms apkrovoms. Turinti didžiulę automobilių, jų tarpe sportinių, projektavimo patirtį Daimler-Benz firma ryžosi suprojektuoti pakabą, kurioje svirtys būtų išdėstytos taip, kad sudėtingose situacijose pakabos deformacijos stabilizuotų automobilio padėį. Pavyzdžiui, pakaba užtikrina silpną nepakankamą automobilio sukrumą,

kuris stiprėja didėjant greičiui posūkiuose. Nepakankamas sukrumas stiprėja ir automobilį apkraunant [6].

1.1.4. Daugiasvirtė važiuoklė

„McPherson“ trūkumai, kurie yra - ribota eiga, staus kampo tarp rato ir kelio paviršiaus neišlaikymas, lėmė tai, kad transporto priemonių gamintojai vis dažniau pasirenka daugiasvirtę pakabą (4 pav.). Dažniausiai ji pasirenkama aukštesnės klasės transporto priemonėse, turinčiose pakankamai didelę masę ir galinčiose išvystyti didelius greičius. Be to, jų naudotojai reikalauja labai didelio komforto.



4 pav. Daugiasvirtė pakaba [8]

Kaip ir dauguma kitų naujovių, pritaikomų serijinei gamybai, daugiasvirtė pakaba yra kilusi iš automobilių sporto. Ten ši pakaba buvo labai gerai įvertinta dėl to, kad ratas yra išlaikomas statmenai kelio plokštumai beveik bet kuriomis sąlygomis – taip pat įveikiant posūkius dideliu greičiu. Panaudojus komfortą gerinančius elementus, ši pakaba buvo sėkmingai pritaikyta „civiliniam“ naudojimui. Transporto priemonių gamintojai vis mieliau pasirenka šį pakabos tipą tiek priekinei, tiek galinei ašiai.

Tipinis tokio sprendimo pavyzdys – automobilio „VW Passat B5“ priekinė pakaba. Pagrindiniai elementai, sudarantys šią pakabą: po dvi viršutines svirtis (priekinės ir galinės), po dvi apatines svirtis, dvi posūkio gembės (dar kitaip vadinami „kronšteinai“), stabilizatorius, dvi stabilizatoriaus traukės bei virpesių slopintuvai ir spyruoklės. Visos svirtys pagamintos iš lengvųjų metalų lydinių, o rutuliniai lankstai sudaro su jais integruotą visumą. Svirties ir kėbulo sujungimo vietose naudojami metaliniai – guminiai elementai. Jie leidžia

tam tikrus, konstruktoriaus numatytus, rato geometrijos pokyčius. Šie elementai gali turėti metalinės įvorės, įvulkanizuotos į gumą, pavidalą. Guma slopina virpesius ir triukšmą. Sudėtingesnė yra galinės apatinės svirties tvirtinimo įvorės konstrukcija. Tai hidraulinis guolis su membrana, pripildytas hidraulinio skysčio. Atitinkama metalinių – guminių įvorių konstrukcija didina transporto priemonės stabilumą įveikiant posūkius dideliu greičiu bei stabdant.

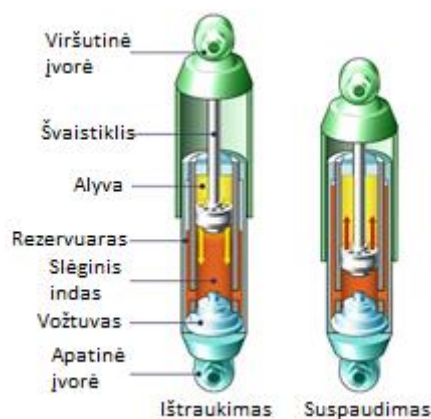
Reikia pastebėti, kad daugiasvirtę pakabą sudaro kur kas daugiau elementų nei „McPherson“ pakabą. Dėl šios priežasties atsiranda didesnė gedimų tikimybė. Dirbtuvių personalas privalo turėti atitinkamą kvalifikaciją, reikalingą diagnozuojant šio tipo pakabose atsirandančius gedimus ir juos šalinant. Atskirų elementų būklė turi būti tikrinama kiekvienos periodinės apžiūros metu arba tada, kai naudotojas skundžiasi dėl triukšmo, bildesio ar girgždesių pakabos srityje. Kuo anksčiau aptikti pažeidimą ir jį pašalinti šiuo atveju yra labai svarbu, nes atskiri pakabos elementai sąveikauja tarpusavyje ir vieno elemento pažeidimas gali lemti greitesnį kitų elementų nusidėvėjimą. Be to, net viena pažeista svirtis gali sąlygoti didelį geometrijos pasikeitimą, bloginantį transporto priemonės vairavimo charakteristikas bei lemiantį greitesnį padangų dilimą [9].

1.2. Slopinantieji elementai

1.2.1. Virpesių slopintuvai

Virpesių slopintuvai ir spyruoklės didžiaja dalimi užtikrina komfortą ir saugumą, taip pat daro įtaką transporto priemonės vairavimui ir daugumos sistemų (tokių kaip ABS, ESP, traukos kontrolės) veikimui.

Būtent virpesių slopintuvai (5 pav.) ir pakabos spyruoklės užtikrina tinkamą padangų sukibimą, t. y. nuolatinį jų sąlytį su kelio paviršiumi, kartu slopina vibraciją, kad jokie nelygumai neveiktų kėbulo. Paprastai kalbant, pakabos spyruoklės įrengtos tarp neamortizuojamos masės (ratų, stabdžių, pakabos elementų) ir amortizuojamos masės (kėbulo), taip užtikrinant sklandų minėtos amortizuojamos masės judėjimą be vibracijos ir trūkčiojimų. Su spyruokle „bendradarbiaujantis“ virpesių slopintuvas turi nuslopinti spyruoklės darbą, kad būtų išvengta kėbulo siūbavimo ir per didelių jo pasvirimų (pavyzdžiui, greitėjant arba stabdant).



5 pav. Virpesių slopintuvas ir jo sudėtis

Šių dviejų elementų, iš pirmo žvilgsnio neatrodančių sudėtingai, veikimas yra glaudžiai tarpusavyje susijęs ir priklauso nuo individualių jų darbinių savybių. Populiariuose automobilių modeliuose gamintojai siekia kompromiso tarp prognozuojamo ir tikslaus vairavimo būdo bei važiavimo patogumo. Žinoma, viskas priklauso nuo automobilio tipo ir paskirties. Vienaip pakaba dirba mažame miesto automobilyje, kitaip – limuzine ir visiškai kitaip – autobuse arba sportiniame automobilyje. Būtent todėl virpesių slopintuvai yra skirtingų konstrukcijų ir tvirtinimo būdų, naudojamos įvairios slopinančios terpės.

1.2.1.1. Tepaliniai virpesių slopintuvai

Virpesių slopintuvuose alyvos stūmoklis, kuris slopina važiavimo metu susidarančias jėgas, stumia alyvą per du vožtuvus – vieną stūmoklyje ir vieną korpuse. Stūmoklis yra vidiniame vamzdyje, o alyvos perteklius išstumiamas į išorinį vamzdį. Išoriniame vamzdyje virš alyvos sluoksnio yra oras, kuris, maišydamasis su banguojančia alyva, gali sukelti jos putojimą. Dviejų vamzdžių dujiniuose virpesių slopintuvuose vietoje oro išorinis vamzdis yra pripildytas nedidelio slėgio (4–8 bar) azoto. Šio tipo virpesių slopintuvai užtikrina geresnį automobilio sukibimą su keliu, nes greičiau reaguoja į važiuojamosios dalies nelygumus, be to, suteikia daugiau patogumo. Tačiau jie yra brangesni už alyvos. Dviejų vamzdžių virpesių slopintuvų trūkumai yra greitesnis susidėvėjimas ir blogesnės vibracijos slopinimo savybės, kurias lemia alyvos putojimas, taip pat tai, kad jie gali veikti tik vertikalioje padėtyje.

1.2.1.2. „Dujiniai“ virpesių slopintuvai

Dviejų vamzdžių virpesių slopintuvai trūkumus stengėsi pašalinti Christian Bourcier de Carbon, kuris 1953 metais patentavo vieno vamzdžio virpesių slopintuvą, dar vadinamą aukšto slėgio, alyvos-dujų arba dujiniu. Šiame virpesių slopintuve nėra išorinio vamzdžio, todėl alyva atvėsta greičiau. Be to, alyva nuo dujų yra atskirta judančiu stūmokliu, todėl ji neputoja. Šis gudrus žingsnis taip pat suteikė galimybę dujų slėgį padidinti iki 20-30 MPa, todėl virpesių slopintuvas pasižymi geru vibracijų slopinimu, greitu reagavimu, tyliu darbu ir mažu svoriu. Trumpai tariant, jo savybės dar geresnės nei dviejų vamzdžių dujinio virpesių slopintuvo.

1.2.1.3. Reguliuojamieji virpesių slopintuvai

Elektroninio reguliavimo

Sistemoje įrengti jutikliai matuojantys vertikalų priekinės ir galinės ašių judėjimą, stabdymo jėgą, bendrą transporto priemonės apkrovą ir jos poveikį atskiriems pakabos elementams greitėjant ir stabdant bei įveikiant posūkius. Elektroninis virpesių slopintuvo valdymo blokas, naudodamas greičio, pagreičio ir ratų padėties jutiklius, realiu laiku nustato kelio sąlygas. Tada sistema per kelias milisekundes apskaičiuoja optimalią kiekvieno rato virpesių slopintuvo slopinimo jėgą.

Pneumatiniai virpesių slopintuvai

Dažniausiai sutinkami universalio, SUV ir bekelės tipo keleiviniuose automobiliuose pneumatiniai virpesių slopintuvai suteikia galimybę nuolat kontroliuoti pakabos aukštį. Jeigu automobilis yra pakrautas, galiniai virpesių slopintuvai nustatomi taip, kad visas kėbulas vėl būtų vienodame aukštyje. Pakabos aukštis taip pat gali būti reguliuojamas atsižvelgiant į kelio sąlygas – važiuojant per nelygumus galima pakelti visą automobilį arba nuleisti jį važiuojant greitkeliu. Jie padidina vairavimo saugumą, nes automobilio vairavimas yra tinkamai kontroliuojamas, pavyzdžiui, esant maksimaliai apkrovai. Išplėtos pneumatinės pakabos sistemos yra, pavyzdžiui, prisitaikančios pakabos, kurios nuolat pritaiko savo standumą ir aukštį prie vairavimo būdo ir kelio sąlygų. Pneumatiniuose virpesių slopintuvuose yra įrengtas išorinis elektroniniu būdu valdomas vožtuvas, o tradicinės spyruoklės buvo pakeistos oro pagalvėmis.

„Nivomat“ tipo hidrauliniai virpesių slopintuvai

Tai virpesių slopintuvai, kurie dažniausiai montuojami galinėje transporto priemonių ašyje. Juose įrengti siurbliu valdomi hidrauliniai cilindrai ir valdymo modulis, kuris gauna informaciją iš apkrovos jutiklių, sumontuotų automobilio gale, skirtų automobilio apkrovos lygiui automatiškai nustatyti. Tai – populiaros pakabos, kurias galima rasti senesniuose „Mercedes-Benz“ (W124), „Ford“ („Mondeo“, „Galaxy“), „Volvo“ (V70) ir „Opel“ („Vectra“) modeliuose. Virpesių slopintuvai gali būti atskiri elementai arba „McPherson“ tipo kolonos (t. y. vibracijų slopinimo, amortizavimo ir rato vairavimo sistemos kartu) [10].

1.3. Tamprieji elementai

1.3.1. Spyruoklės

Ritinė spyruoklė

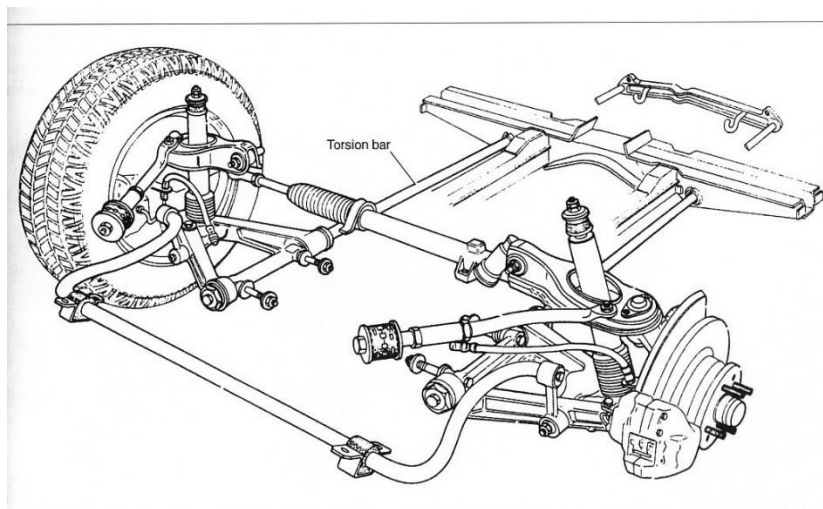
Ritinė spyruoklė gaminama susukant metalinę vielą į ritės pavidalo darinį. Naudojamos tiek prikinėms, tiek ir galinėms važiuoklėms. Kaikuriais atvejais jos suvijamos kūgiškai norint išgauti kintančias standumo savybes. Tokiu atveju kuo didesnė suspaudimo eiga veikia spyruoklę, tuo daugiau pasipriešinimo jėgos atiduoda.

Lapinė spyruoklė (lingė)

Lingės būna kelių tipų – vienalapės arba daugialapės, kurios sudėtos iš kelių tamprių tam tikro ilgio plieninių plokštelių, kurios tarpusavyje surištos laikikliais. Jos besiformuodamos sugeria kelio suteikiama žadinimą į važiuoklę. Didžioji dalis energijos sunaudojama plokštelėms lankstyti ir tarpusavio trinčiai nugalėti [11].

1.3.2. Torsionas

Torsionas pasižymi mažu svoriu, bet reikalauja sudėtingo tvirtinimo, kuris užima daug vietos. Jo ilgio faktorius kompensuojamas pagal tai, kokio dydžio vertikalus poslinkis reikalaujamas. Pagrindė torsionai (6 pav.) turi ganėtinai ribotą eigą suteikiamą važiuoklei ir dėl to nėra plačiai naudojama ypač nestandartiniuose automobiliuose. Jie pagrinde naudojami nedideliuose miesto automobiliuose ir mikroautobusuose.



6 pav. Torsionas [12]

Visas torsiono korpusas – praktiskai vientisa tampri masė, kuri jungia važiuoklę su kėbulu [12].

1.3.3. Oro pagalvės

Oro spyruoklės t.y. pagalvės naudoja oro klampumą ir savybę keisti tūri esant tam tikram slėgiui. Jos gali būti ypatingai minkštos kol nėra apkrovos ir atitinkamai kietėti kol ašis būna apkraunama iki maksimumo. Taip yra dėl to, kad pagalvės viduje gali būti reguliuojamas oro slėgis. Visa tai lemia, kad galima išlaikyti vienodą komforto lygį esant betkokiai apkrovai.

Nors net identiška kėbulo lygį galima išlaikyti esant skirtingoms krovos sąlygoms, tik keičiant slėgį sistemoje, ši modifikacija turi ir trūkumų. Naudojant oro pagalves reikalinga ganėtinai sudėtinga sistema iš daug dalių, kaip kompresorius, pagalvė, skirtymo mazgai, elektrinis valdymas ir pan. Tokiu atveju važiuoklė tampa ganėtinai sudėtinga. Inžinieriai dėl to jau yra linkę orinę pakabą keisti elektrinę – orinę. Ją galima jau aptikti keliuose automobilių modeliuose kaip alternatyva tradicinei [13].

2. Tiriamoji dalis

2.1. Tyrime naudojami automobiliai

Tyrimams atlikti atrinkti du automobiliai. Jie pasižymi geru stabilumu ir komfortišku važiavimu. Vienas jų su sportine važiuoklės modifikacija, o kitas -standartine. Abiejų važiuoklės konstrukcija identiška, ganėtinai sudėtinga ir skiriasi tik slopinimo bei tampriųjų elementų charakteristikos. Gamintojas automobiliams suprojektavo nepriklausomą daugiasvirtę važiuoklę priekyje ir taip pat nepriklausomą galiniams ratams. Sukomplektuoti praktiškai identišškai su ergonominiu sportinio tipo salonu. Sėdynės turi įvairias reguliavimo galimybes ir šoninio prilaikymo pagalvėles, kurios sėdintįjį sulaiko esant dideliems šoniniams pagreičiams. Kiti automobilių duomenys surašyti lentelėje (1 lent.)

1 lentelė. Tiriamasis automobilis [14]

Gamintojas	Audi
Modelis	A4
Laida	A4 Avant (B6 8E)
Variklis	1.9 TDI (130 AG)
Durys	5
Galia	130 ag/4000 aps/min.
Maksimalus greitis	208 km/h
Įsibegėjimas 0 - 100 km/h	10,1 sec
Degalų talpyklos tūris	70 l
Gamybos pradžia	2001m
Gamybos pabaiga	2004m
Kėbulo tipas	Universalas
Sėdimų vietų sk.	5
Ilgis	4548 mm
Plotis	1772 mm.
Aukštis	1428 mm
Bazė	2650 mm
Priekinė tarpvežė	1528 mm
Galinė tarpvežė	1526 mm
Pasipriešinimo koeficientas (C_x)	0,31
Minimali bagažinės talpa	442 l
Maksimali bagažinės talpa	1184 l

Variklio pozicija	Priekis/išilgai
Darbinis tūris	1896 cm ³
Maksimalus sukimo momentas	305 Nm/1950 aps./min.
Degalų tiekimo sistema	Tiesioginis įpurškimas/purkštuvas-siurblys (PD)
Oro tiekimo sistema	Turbina su tarpiniu oro aušintuvu
Vožtuvų valdymas	OHC
Komponuotė	Eilė
Cilindrų skaičius	4
Cilindro diametras	79,5 mm.
Stūmoklio eiga	95,5 mm.
Suspaudimo laipsnis	19,5
Vožtuvų skaičius cilindrui	2
Degalai	Dyzelinas
Varantieji ratai	Priekiniai
Pavarų skaičius	6
Priekinė važiuoklė	Daugiasvirtė nepriklausoma
Galinė važiuoklė	Nepriklausoma
Priekiniai stabdžiai	Ventiliuojami diskiniai
Galiniai stabdžiai	Diskiniai
ABS	Taip
ESP	Taip
Vairuojamųjų ratų valdymas	Vairo kolonėlė
Vairavimo stiprinimas	Hidraulinis
Minimalus apsisukimo spindulys	11,1 m
Degalų sąnaudos mieste	7,4 l/100 km.
Degalų sąnaudos užmiestyje	4,4 l/100 km.
Degalų sąnaudos mišriu režimu	5,5 l/100 km.
Automobilio svoris	1450 kg.
Maksimus automobilio svoris	2000 kg.
Padangų matmenys	205/60 R15
Ratų dydis	7J x 15 ET42

Tyrimui svarbūs parametrai – gabaritiniai matmenys, masė, galia, padangų ir ratų parametrai.

2.2. Spyruoklių ir virpesių slopintuvų parametrų tyrimas

Šiems tyrimams buvo naudotas „Shock Absorber Dynamometer BTP 2000“ dinamometrinis stendas (7 pav.) su sumontuotu „NOVATECH F225-ZO2886“ matuokliu. Stendas spaudydamas spyruokles nustatytu dažniu ir eiga išmatuoja spyruoklių pasipriešinimo jėgas ir poslinkio greitį. Iš šių duomenų pritaikius reikiamas formules apskaičiuojamos slopinimo ir standumo charakteristikos.



7 pav. Matavimo stendas su bandomąja spyruokle

Stendo parametrai:

- CNC staklėmis apdirbta kietojo anoduoto aliuminio važiuoklė;
- 2.2kW elektros variklis su galimybe rankiniu ar kompiuteriniu būdu keisti greitį;
- Tiesioginės pavaros slankiklio sistema;
- Veleno dažnių diapazonas nuo 0,15 iki 6 Hz;
- Svoris apie 70 kg;
- Reguliuojamo aukščio stiebas;
- Matavimo ribos 1500 kg

- Smūginių impulsų greičio jutiklis;
- Poslinkio matavimų keitiklis;
- Termopora

Virpesių slopintuvų tyrimui pakeičiami stendo darbiniai režimai. Stendas atkartodamas virpesių slopintuvo darbo režimus (8 pav.) išmatuoja pasipriešinimo jėgas ir poslinkio greitį. Iš šių duomenų galima suskaičiuoti slopinimo ir standumo charakteristikas. Reikia užtikrinti, kad virpesių slopintuvai bandymo metu būtų vienodai sušilę, nes alyvos klampa viduje gali keisti rezultatus.



8 pav. Matavimo stendas su paruoštu virpesių slopintuvu

Matematinė formulė galutinių charakteristikų išvedimui:

$$\text{Standumas} = \frac{\text{Jėga}}{\text{Poslinkis}} = \frac{N}{m}; \quad (2.1)$$

Spyruoklių bei virpesių slopintuvų pozicijos įtvirtinimui buvo gaminti specialūs laikikliai pagal bandinių geometrinius parametrus ir stendo specifiką.

2.2.1. Spyruoklių standumo koeficiento nustatymas

Spyruoklių (9 pav.) tyrimui sukalibruotas stendas 3Hz žadinimo dažniui ir 5cm suspaudimo eigai. Gautus rezultatus apdoroti naudojama formulė (2.1).

Tyrimo eiga:

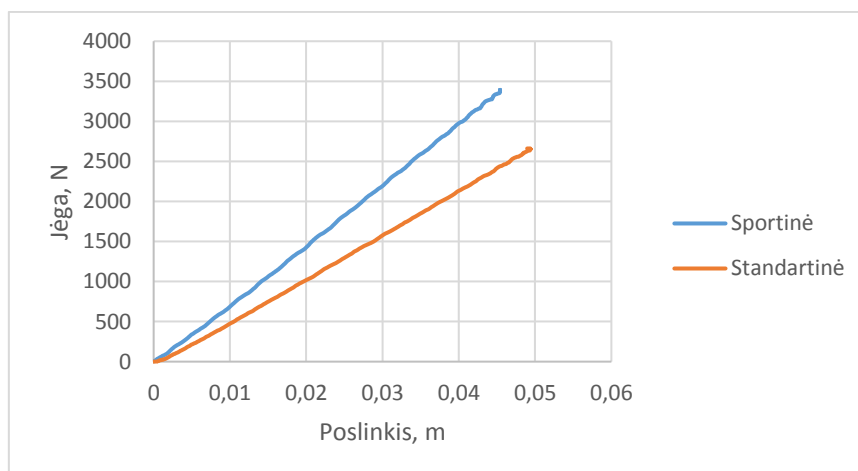
- Stendas susiejamas su kompiuteriu, aprūpintu reikalinga programine įranga duomenų surinkimui ir matavimo parametrų keitimui
- Nustatomas matavimo režimas
- Sumontuojami reikiami tvirtinimo elementai bandiniams
- Įdedami bandiniai matavimui ir atliekami papildomi reguliavimai pagal poreikį
- Paleidžiamas užduotas bandymų ciklas
- Gaunami reikiami rezultatai tolimesniems skaičiavimams



9 pav. Bandomosios spyruoklės

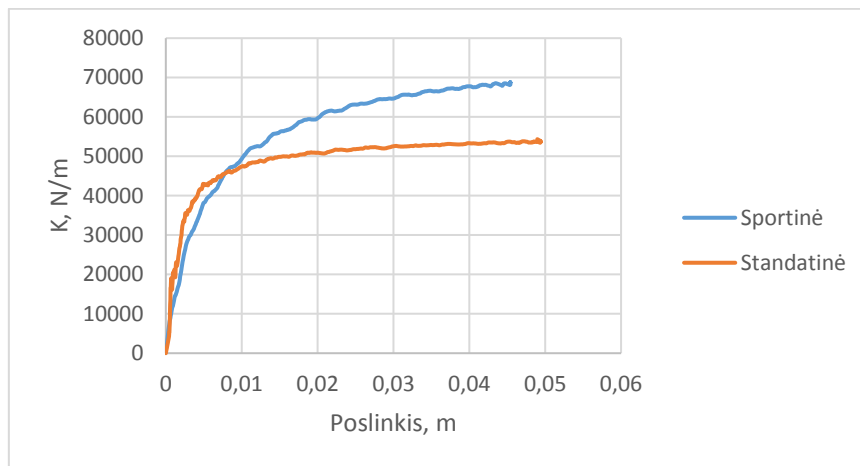
Atlikus standartinių ir sportinių (s-line) priekinių bei galinių spyruoklių tyrimus gauti duomenys. Jie perskaičiuoti naudojant formulę (2.1). Rezultatai pateikiami grafiniu (10,11,12,13 pav.) būdu bei rezultatų lentele (1 lent.).

Priekinių spyruoklių tyrimas:



10 pav. Priekinių spyruoklių jėgos priklausomybė nuo poslinkio

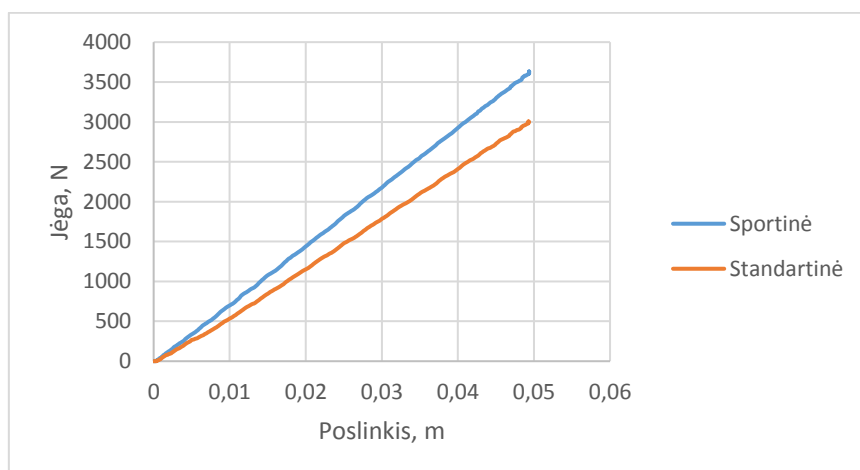
Paveikslėlyje (10 pav.) matosi suspaudimo jėgos poreikis didėjant spyruoklės poslinkiui iki 5 cm. Sportinės spyruoklės didesnis pasipriešinimas suspaudimui, lyginant su standartine, pastebimas nuo pat suspaudimo pradžios ir ryškėja iki deformacijų pabaigos.



11 pav. Priekinių spyruoklių standumo koeficientas

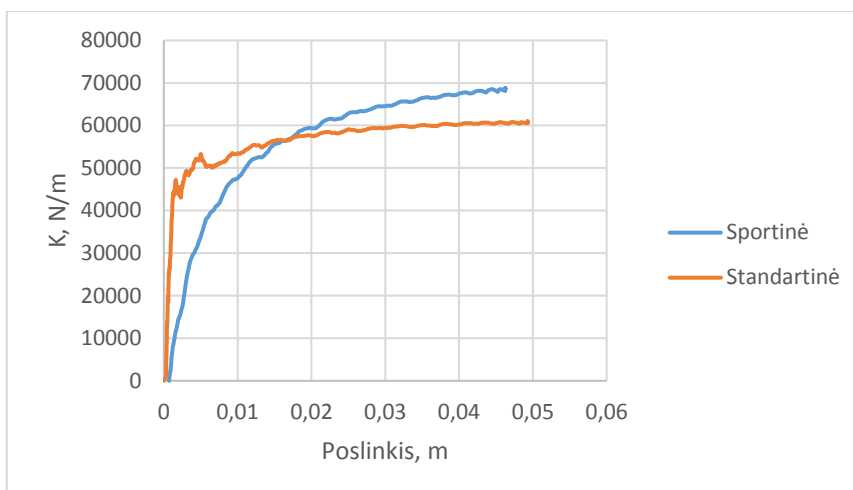
Grafike (11 pav.) matomas kreivių susikirtimas. Jis reiškia, kad sportinės spyruoklės standumas yra kintantis. Iki pirmojo deformacijos centimetro sportinė spyruoklė būna mažiau standi negu standartinės modifikacijos. Toliau didinant deformaciją rezultatas kardinaliai keičiasi ir koeficientas ryškiai išauga.

Galinių spyruoklių tyrimas:



12 apv. Galinių spyruoklių jėgos priklausomybė nuo poslinkio

Išmatavus galinių spyruoklių jėgų priklausomybę nuo poslinkio tendencija išlieka tokia pati kaip ir priekinių. Paveikslėlyje (12 pav.) taip pat matomas didesnės jėgos poreikis norint tiek pat suspausti sportinę spyruoklę lyginant su standartine.



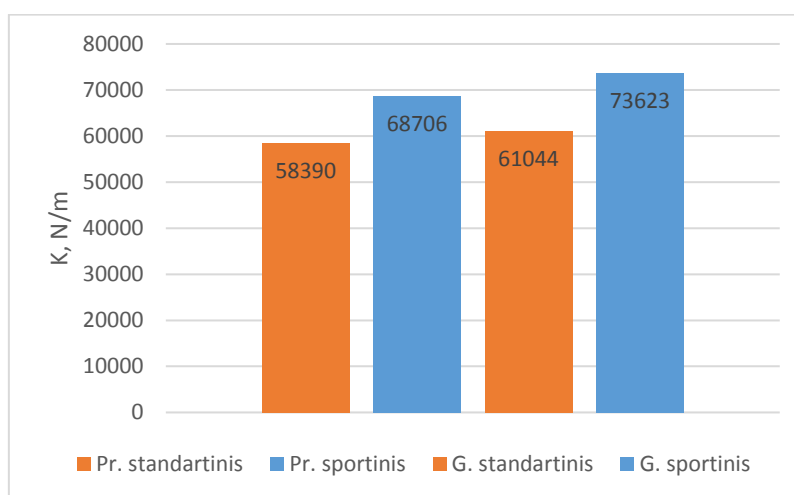
13 pav. Galinių spyruoklių standumo koeficientas

Netiesinė standumo koeficiento priklausomybė pastebima ir galinių spyruoklių tyrimo rezultate (13 pav.) Kreivių persikirtimas įvyksta tarpe tarp pirmojo ir antrojo deformacijos centimetro.

Standumo rezultatų suvestinė:

2 lentelė. Standumo koeficientai

Spyruoklė	Priekis	Galas
S-line	58390 N/m	73623 N/m
Standartas	68706 N/m	61044 N/m



14 pav. Rezultatų sulyginimo stulpelinė diagrama

Sportinės (s-line) spyruoklės yra standesnės 18% priekiui ir 20% galui (2 lent., 14 pav.). Tai reiškia, kad reikalinga didesnė jėga norint jai suteikti tokį patį poslinkį. Bet, nepaisant to, sportinės spyruoklės turi specifinį standumą. Jos standumo koeficientas kinta

netiesine priklausomybe. Tai reikalinga nuleisti amortizuotą masę t.y. nuleisti žemiau masės centrą siekiant geresnės automobilio dinamikos ir estetinio automobilio vaizdo. Be to naudojant tokių parametru spyruokles nekinta bendras spyruoklės ilgis ir nereikalingos kitos automobilio važiuoklės modifikacijos.

2.2.2. Virpesių slopintuvų slopinimo savybių tyrimas

Virpesių slopintuvų (15 pav.) charakteristikų nustatymui stendas paruošiamas pagal naujų darbo režimų reikalavimus. Žadinimo dažnis paliekamas 3 Hz, o eiga pakeičiama į 10 cm. Iš gautų rezultatų slopinimo ir standumo koeficientams rasti naudojamos (2.2;2.3) formulės.

Tyrimo eiga:

- Stendas prijungiamas prie kompiuterio, aprūpinto reikalinga programine įranga duomenų surinkimui ir matavimo parametru keitimui
- Nustatomas matavimo režimas
- Sumontuojami reikiami tvirtinimo elementai bandiniams
- Įdedami bandiniai matavimui ir atliekami papildomi reguliavimai pagal poreikį
- Paleidžiamas stendas sušildyti bandiniuose esančiai alyvai
- Paleidžiamas užduotas bandymų ciklas
- Gaunami reikiami rezultatai tolimesniems skaičiavimams



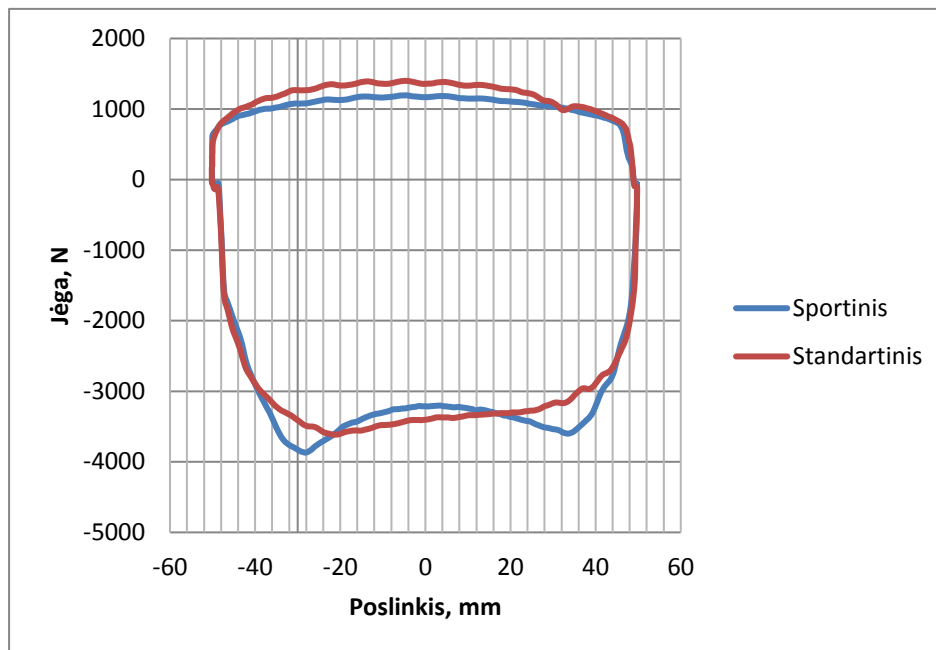
15 pav. Virpesių slopintuvai

Matematinės formulės gautų duomenų perskaičiavimui į slopinimą ir standumą:

$$\text{Standumas } k = \frac{\text{Jėga}}{\text{Poslinkis}} = \frac{N}{m}; \quad (2.2)$$

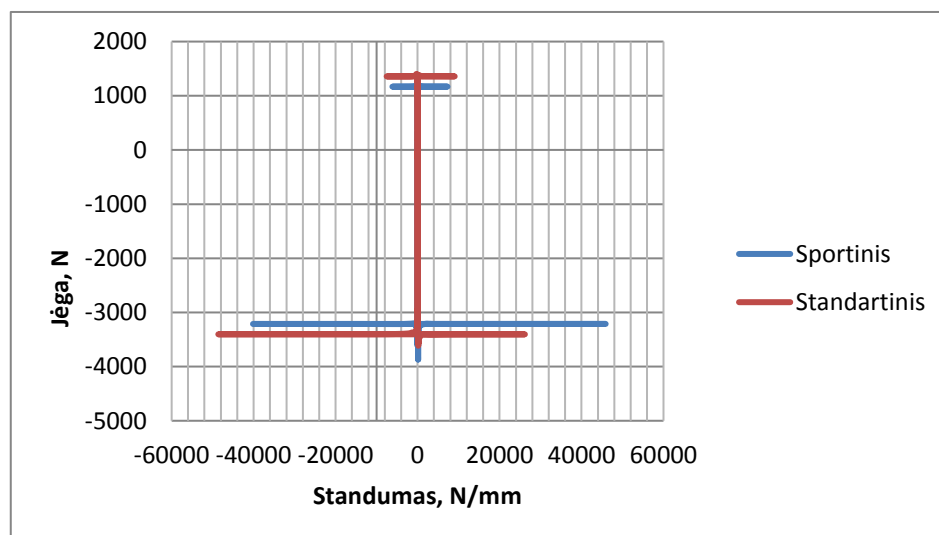
$$\text{Slopinimas} = \frac{\text{Jėga}}{\text{Greitis}} = \frac{N}{m/s}. \quad (2.3)$$

Priekinių virpesių slopintuvų tyrimas:



16 pav. Jėgos priklausomybė nuo poslinkio

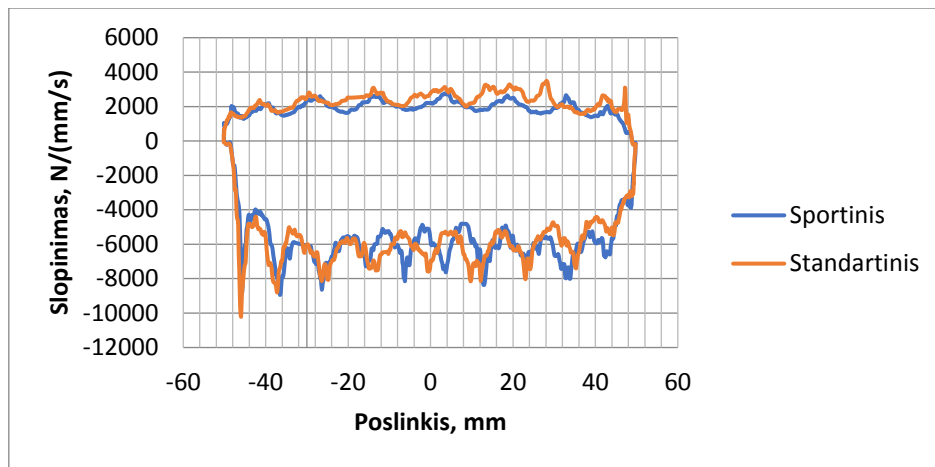
Paveiksle (16 pav.) matosi pastebimas sportinio virpesių slopintuvo išdilimas ties darbine zona smūgio slopinimo kryptimi. Poslinkio zonoje nuo -20mm iki 20mm standartiniam virpesių slopintuvui reikalinga didesnė jėga poslinkiui.



17 pav. Standumo priklausomybė nuo pasipriešinimo jėgos

Standumo vertės paveiksle (17 pav.) tik įrodo, kad bandomasis standartinis virpesių slopintuvas yra tiesiog geresnės būklės. Iš keturių pikinių taškų trejuose vertė

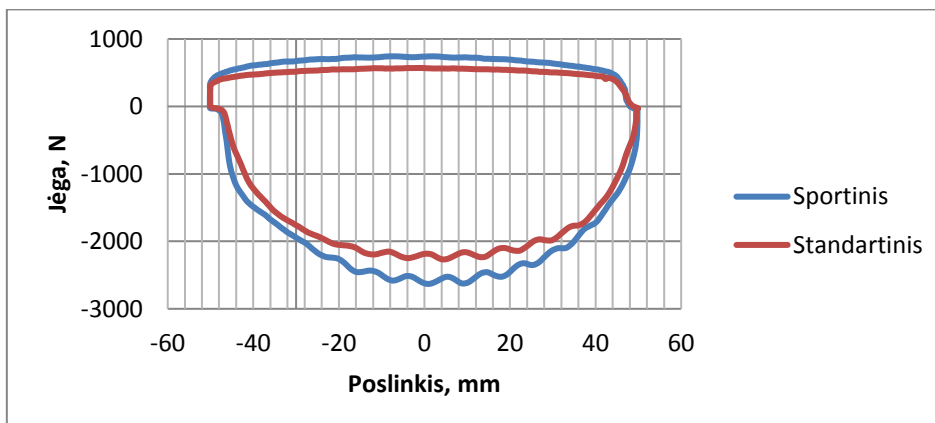
didesnė. Ketvirtasis pikinis taškas rodo sportinio virpesių slopintuvo išlikusias savybes. Kadangi vienos eigos krypties parametrai dar daug nepakitę, galima matyti užčiuopiama tendenciją turėti didesnę standumą sportiniame virpesių slopintuve.



18 pav. Slopavimo koeficiento priklausomybė nuo poslinkio

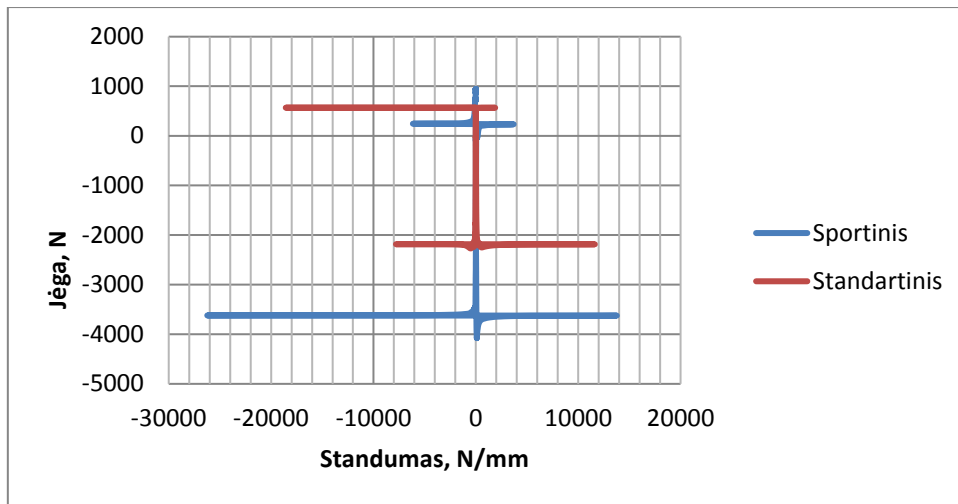
Slopavimo koeficientas (18 pav.) taip pat geresnis standartinio virpesių slopintuvo daugumoje grafiko keterų. Šiuos rezultatus lėmė ta pati priežastis,

Galinių virpesių slopintuvų tyrimas:



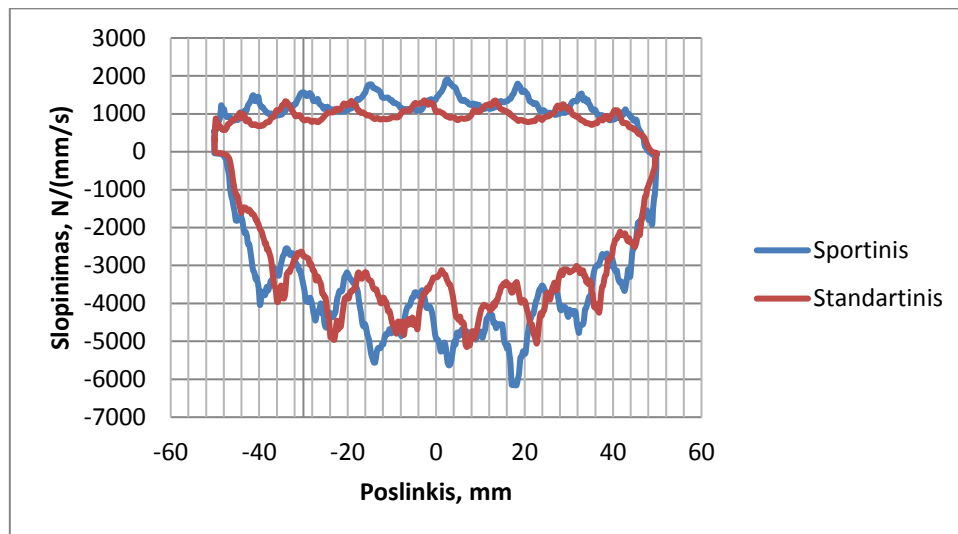
19 pav. Jėgos priklausomybė nuo poslinkio

Priešingai nei priekinių virpesių slopintuvų tyrime, šiame grafike (19 pav.) matomas ryškus sportinio virpesių slopintuvo jėgos verčių dominavimas. Abejomis veikimo kryptimis parametrai yra geresni nei standartinio varianto.



20 pav. Standumo koeficiento priklausomybė nuo jėgos

Trijuose iš keturių pikinių taškų sportinio virpesių slopintuvo standumas (20 pav.) viršija standartinio. Ketvirtojo taško rezultatas galėjo būti iškreiptas dėl virpesių slopintuvo galimo užsikirtimo matavimo metu.



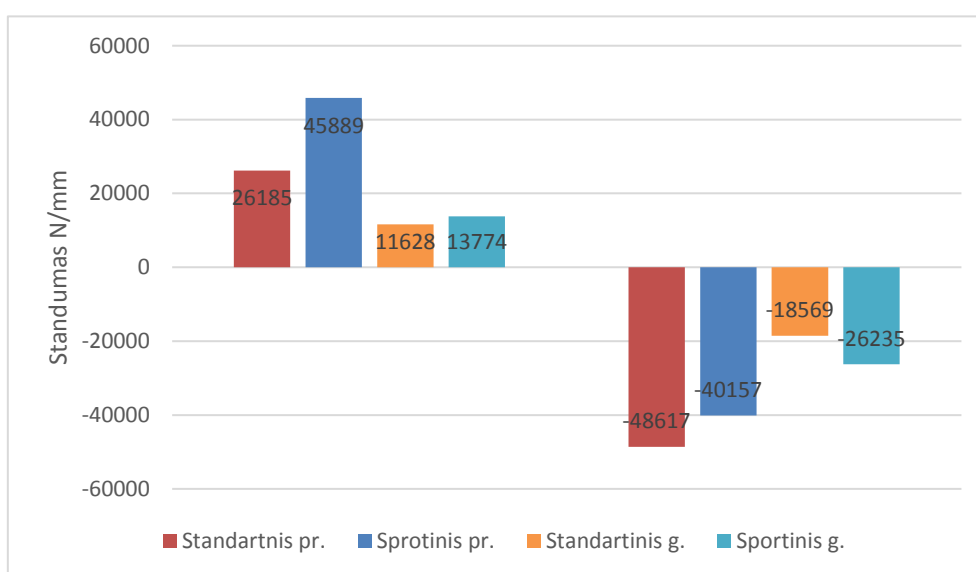
21 pav. Slopavimo koeficiento priklausomybė nuo poslinkio

Standesnis sportinis virpesių slopintuvas turi geresnes slopinimo savybes lyginant su standartiniu (21 pav.). Praktiškai visos grafiko keteros turi didesnę slopinimo reikšmę kintant virpesių slopintuvo štoko poslinkiui.

Rezultatų suvestinė:

3 lentelė. Standumo koeficientai

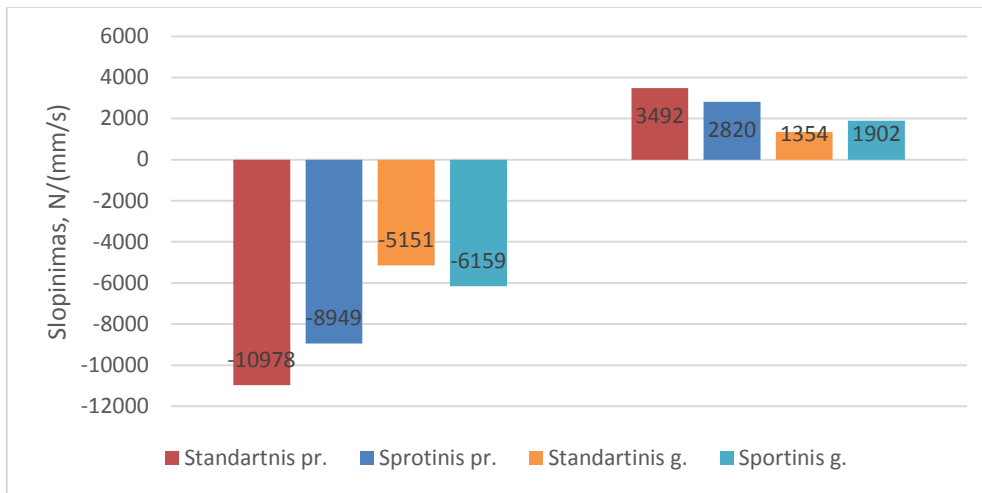
Virpesių slopintuvas		Priekis	Galas
S-line	min	-40157 N/mm	-26235 N/mm
	max	45889 N/mm	13774 N/mm
Standartas	min	-48617 N/mm	-18569 N/mm
	max	26185 N/mm	11628 N/mm



22 pav. Virpesių slopintuvų standumo koeficientų palyginimas

4 lent. Slopinimo koeficientai

Virpesių slopintuvas		Priekis	Galas
S-line	min	-10798	-6159
	max	3492	1902
Standartas	min	-8949	-5151
	max	2820	1354



23 pav. Virpesių slopintuvų slopinimo koeficiento sulyginimas

Bendras priekinių virpesių slopintuvų standumas skiriasi 20% ir galinių – 30% (3 lent., 22pav.). Sportiniai (s-line) virpesių slopintuvai standesni, bet priekinių slopinimo koeficientas mažesnis netgi 22%, nors galiniai priešingai – slopina geriau 19% (4lent. 23pav.). Šis netikėtas skirtumas atsirado dėl, galimai, didesnio priekinio sportinio bandomojo virpesių slopintuvo išdilimo. Bet tendencija išlieka ganėtinai aiški – sportinio tipo virpesių slopintuvai skirtas didesnėms apkrovoms nepaisant galimai didesnių pagreičių perdavimo į amortizuotą masę.

2.3. Automobilio bendros masės bei ratų vertikalios apkrovos nustatymas

Tyrimas atliekamas su „Longacre Accuset“ elektroninėmis svarstyklėmis (24 pav.) norint įsitikinti ar abu tyrimuose naudojami automobiliai yra vienodos masės. Tuo pačiu nustatoma apkrova tenkanti ratui kiekviename automobilio ketvirtyje. Šis parametras yra labai svarbus norint tinkamai įvertinti atsirandančius kėbulo svyravimus ir svyravimų pagreičius, virpesių slopintuvų darbo diapazoną.

Svėrimo eiga:

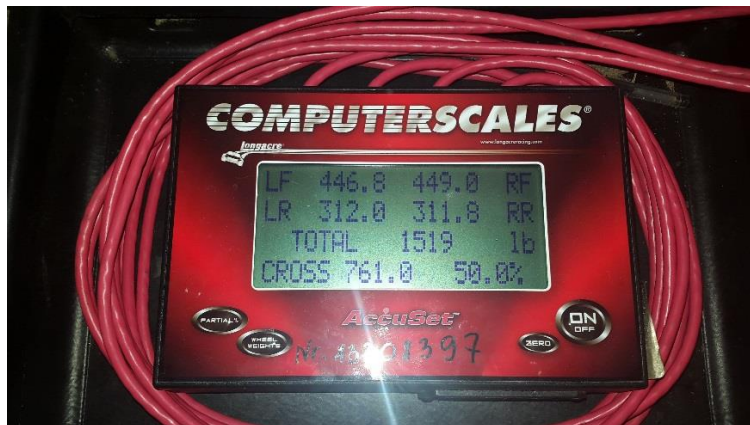
- Išmatuojamas atstumas tarp ašių centrų ir tarpvežė
- Sustatomi svarstyklių padai ir užvažiavimo platformos ant lygių grindų ir pagal išmatuotus atstumus
- Sukalibruojami svėrimo padai ir atstatomas svoris į nulinę padėtį

- Automobiliai paruošiami svėrimui t.y. sukomplektuojami pilnai pagal gamintojo specifikas, įsitikinama ar vienodai užpildytas degalų bakas.
- Automobiliai lėta eiga užvairuojami ant svarstyklių nepažeidžiant svėrimo plokščių pozicionavimo



24 pav. Automobilio svėrimo eiga

Pirmojo automobilio (s-line sportinė važiuoklės modifikacija) svėrimas:



25 pav. Pirmojo automobilio svėrimas

LF – apkrova priekiniam kairiam ketvirčiui (446,8 kg)

LR – apkrova galiniam kairiam ketvirčiui (312 kg)

RF – apkrova priekiniam dešiniam ketvirčiui (449 kg)

RR – apkrova galiniam dešiniam ketvirčiui (318,8 kg)

TOTAL – bendra automobilio masė (1519kg)

Antrojo automobilio (standartinė važiuoklės modifikacija) svėrimas:



26 pav. Antrojo automobilio svėrimas

LF – apkrova priekiniam kairiam ketvirčiui (445,6 kg)

LR – apkrova galiniam kairiam ketvirčiui (316,9 kg)

RF – apkrova priekiniam dešiniam ketvirčiui (458,8 kg)

RR – apkrova galiniam dešiniam ketvirčiui (316,9 kg)

TOTAL – bendra automobilio masė (1525kg)

Rezultatų suvestinė:

5 lent. Svėrimų rezultatai

Automobilis	Audi A4 avant (s-line)			Audi A4 avant (standart)		
	Kairė	Dešinė	Bendras	Kairė	Dešinė	Bendras
Masė (kg)	446,8	449	895,8	445,6	454,8	900,5
Galas	Kairė	Dešinė		Kairė	Dešinė	
Masė (kg)	312	311,8	623,8	316,9	308,2	625
Viso:			1518,6	Viso:		1525,5

Atlikus svėrimus įsitikinta, kad automobiliai praktiškai identiškios masės (5lent). Bendros masės skirtumas tarp automobilių 6,9kg (0,4%) ir 4,7kg priekinės ašies (0,5%), kuris galėtų lemti važiavimo tyrimo rezultatus jeigu būtų didesnis. Automobilio su sportine važiuoklės modifikacija masė nežymiai, bet tolygiau paskirstyta.

2.4. Bandomųjų automobilių virpesių slopintuvų būklės nustatymas

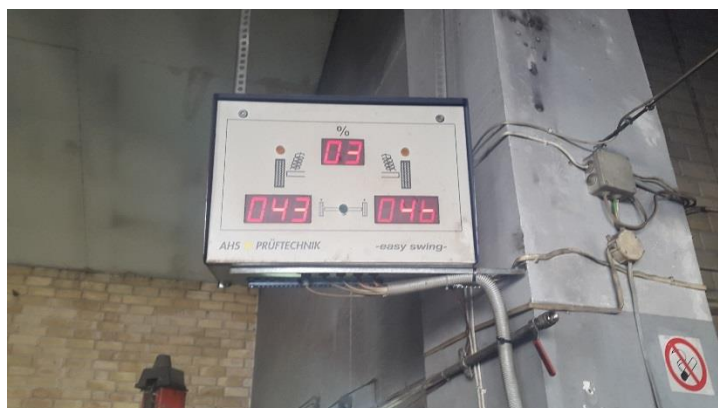
Tyrimas atliktas UAB „Adampolis“ autoservise esančiame Jonavos g. 32, Kaune. Pasitelkiant AHS PRUFTECHNIK „easy swing“ užvažiuojamąjį virpesių slopintuvų stendą galima nustatyti automobilyje sumontuotų virpesių slopintuvų būklę procentais jų nedemontuojant. Stendas pagamintas pagal reglamentuotą „BOGE“ virpesių slopintuvų gamintojų tyrimų stendų technologiją ir patentą NR.: 10.200.514, paskelbtą 2003 m spalio 9d. Būklės nustatymas vyksta naudojant rezonansinį metodą [15]. Maksimali stendo matavimo vertė 78% ir ji atitinka visškai naujo amortizatoriaus būklę.

Automobilio su sportine važiuoklės modifikacija virpesių slopintuvų būklės nustatymas:



27 pav. Priekinės ašies virpesių slopintuvų būklė

Ištyrus priekinių virpesių slopintuvų būklę (27 pav.) matomas nedidelis išdilimo skirtumas – 6 %.



28 pav. Galinės ašies virpesių slopintuvų būklės nustatymas

Galinėje ašyje išdilimas tolygesnis (28 pav.). Skirtumas tesiekia tik 3 %.

Automobilio su standartine važiuoklės modifikacija virpesių slopintuvų būklės nustatymas



29 pav. Priekinės ašies virpesių slopintuvų būklės nustatymas

Keleivio pusės virpesių slopintuvas (29pav.) taipogi išdilęs labiau kaip pastarojo automobilio. Skirtumas mažesnis – 2%, kuris irgi nėra labai reikšmingas.



30 pav. Galinės ašies virpesių slopintuvų būklės nustatymas

Galinėje ašyje (30 pav.) rezultatas prastesnis. Skirtumas siekia 5%, bet tyrimams didelės įtakos neturės.

Rezultatų suvestinė:

6 lent. Rezultatai

Automobilis	Audi A4 avant (s-line)		Audi A4 avant (standart)	
	Kairė	Dešinė	Kairė	Dešinė
Buklė (%)	49	43	49	47
Galas	Kairė	Dešinė	Kairė	Dešinė

Būklė (%)	43	46	43	38
-----------	----	----	----	----

Rezultatai (6 lent.) rodo, kad virpesių slopintuvų būklė labai panaši t.y. skirtumas galinėje ašyje iki 8%, priekinėje – 4% tarp tyrimams naudojamų automobilių. Aktualiausio ketvirčio, kuriame montuojama matavimo įranga, virpesių slopintuvo išdilimas netgi identiškas. Galima užtikrintai automobilius naudoti bandomiesiems važiavimams ir gauti adekvačius rezultatus.

2.5. Bandomieji važiavimai

Tyrimas atliekamas naudojant „DL1 racing technology data logger“ matuoklį, kuris montuojamas ant plokščio ir horizontalaus paviršiaus. Su papildomu rato eigos matuokliu VLP 200 DL1 (31 pav.), prijungtu prie „DL1“ analogine jungtimi ir sumontuotu lygiagrečiai automobilio virpesių slopintuvo, išmatuotas virpesių slopintuvo poslinkis ir atsiradę judesio pagreičiai. Kad tyrimas būtų atliktas teisingai, abu automobiliai sukomplektuoti tais pačiais ratai ir padangomis, kurių slėgis taip pat vienodas. Tokiu atveju išlaikomas vienodas slopinimo koeficientas, standumo koeficientas, bei neamortizuota masė.



31 pav. Eigos matuoklio pozicija

Bandymams atlikti parinktas specialus maršrutas (32 pav.) Kauno gatvėmis bandant atkartoti kiek įmanoma daugiau važiavimo režimų su skirtingu dangos reljefu. Visas maršrutas suskirstytas į 8 ruožus. Abu automobiliai tyrime dalyvavo esant panašiomis oro, eismo sąlygomis, važiavo tomis pačiomis eismo juostomis ir kiek įmanoma tokiu pat greičiu.



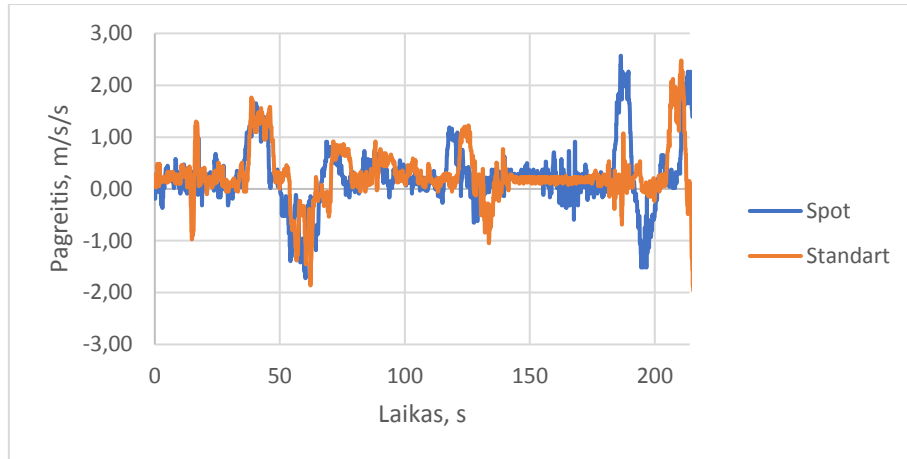
32 pav. Važiavimų maršrutas

Tyrimų ruožai:

1. Greito važiavimo (60 km/h) vidutinės kokybės danga (Tunelio g.)
2. Lėto važiavimo (15 km/h) grįsta danga su greičio mažinimo kalneliais (Rotušė)
3. Greito važiavimo (60 km/h) geros kokybės danga (Jonavos g.)
4. Važiavimas greitkeliu (Kaunas-Vilnius, Kauno ribose)
5. Važiavimas greitais posūkiais dviejų lygių sankryža (greitkelio A1 ir kelio A6 sandūra)
6. Vidutinio greičio (50 km/h) vidutinės kokybės danga (Taikos pr.)
7. Lėtas važiavimas (40 km/h) prasta kelio kokybe su trapecinės formos plataus profilio greičio mažinimo kalneliais (Studentų g.)
8. Lėtas važiavimas (40 km/h) prasta kelio kokybe su greičio mažinimo kalneliais (Gričiupo g.)

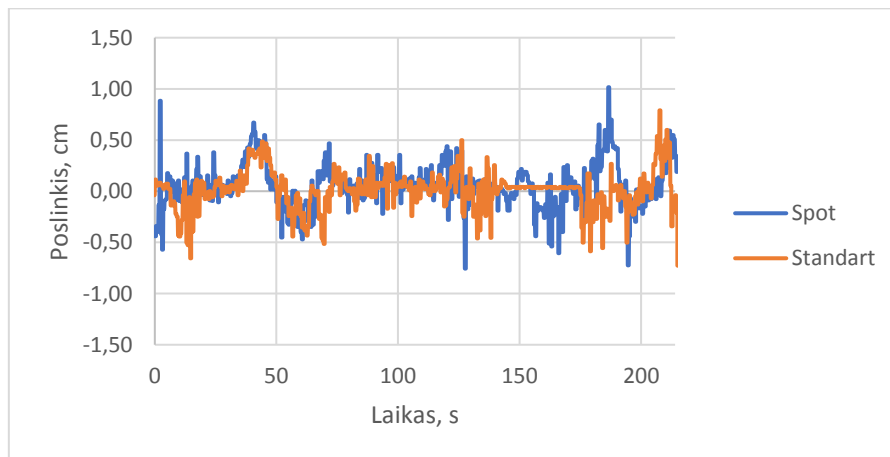
Ruožo Nr.1 tyrimas:

Matavimai atlikti visa Tunelio gatve važiuojant antrąja eismo juosta.



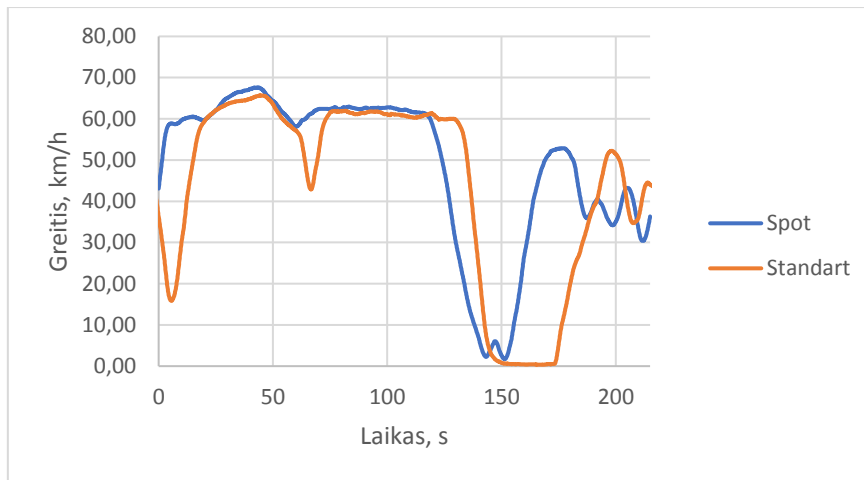
33 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Kėbule vyraujantys pagreičiai (33 pav.) labai panašūs abiejuose automobiliuose. Ties ~180-a sekunde rezultatai prasilenkia dėl ilgesnio stovėjimo prie šviesoforo. Nepaisant to, tendencija išlieka tokia pati.



34 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Šiame grafike (34 pav.) aiškiai matosi, kad kurį laiką antrojo automobilio virpesių slopintuvo koto eiga visiškai nekito – automobilis stovi vietoje. Nepaisant 180-200-tos sekundės tarpo automobilių virpesių slopintuvai dirbo panašiu režimu.

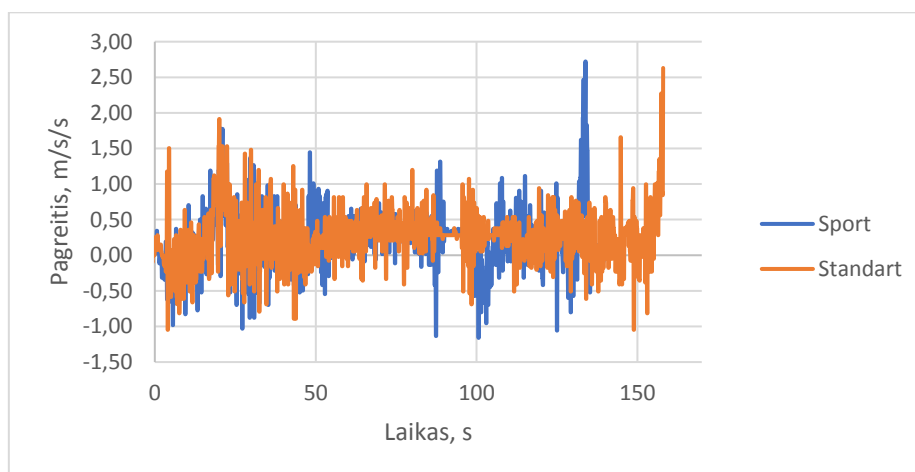


35 pav. Važiavimo greičio kaita

Grafikas (35 pav.) tik įrodo, kad minėtu laiko tarpu pirmasis automobilis jau buvo pajudėjęs, kol antrasis dar stovėjo. Visu kitu ruožo važiavimo metu judėjimo greitis buvo palaikomas panašus ar toks pat.

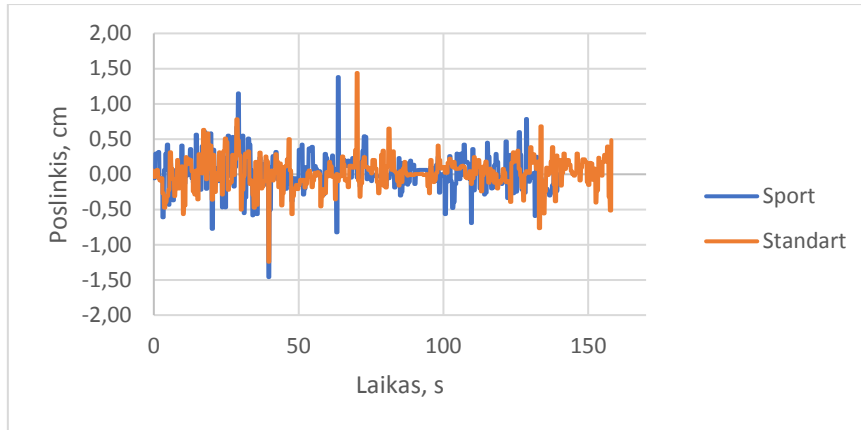
Ruožo Nr.2 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant Rotušės aikšte.



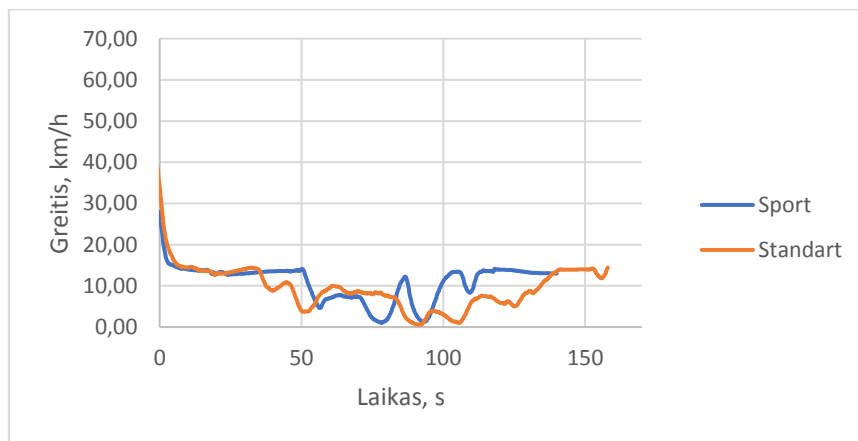
36 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Amortizuotos masės pagreičiai (36 pav.) kinta tokiu pat ritmu iki kol 130-aja sekunde antrasis automobilis ilgiau nestovi priešais pėsčiųjų perėja. Maksimalios vertės panašios abiejų važiavimų metu.



37 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Kaip ir automobilių kėbulų pagreičiai virpesių slopintuvo koto eiga kinta tokia pačia tvarka (37 pav.). Matoma, kad sportinio tipo važiuoklės modifikacija aprūpinto automobilio rato svyravimų amplitudė šiek tiek didesnė.

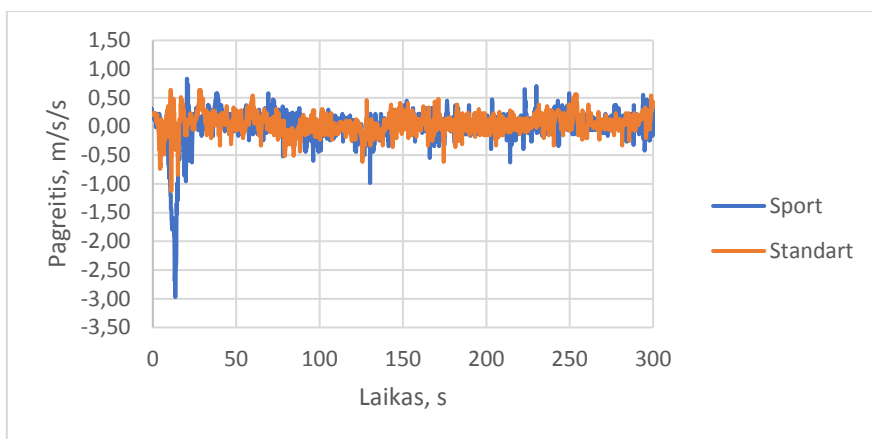


38 pav. Važiavimo greičio kaita

Abiejų grafikų rezultatus apsašo važiavimo greičio ir jo pokyčio kitimo kreivė (38 pav.). Pirmuoju automobiliu pavyko geriau palaikyti numatytą 14km/h greitį, kas galėjo duoti tendenciją gauti didesnes rato eigos vertes.

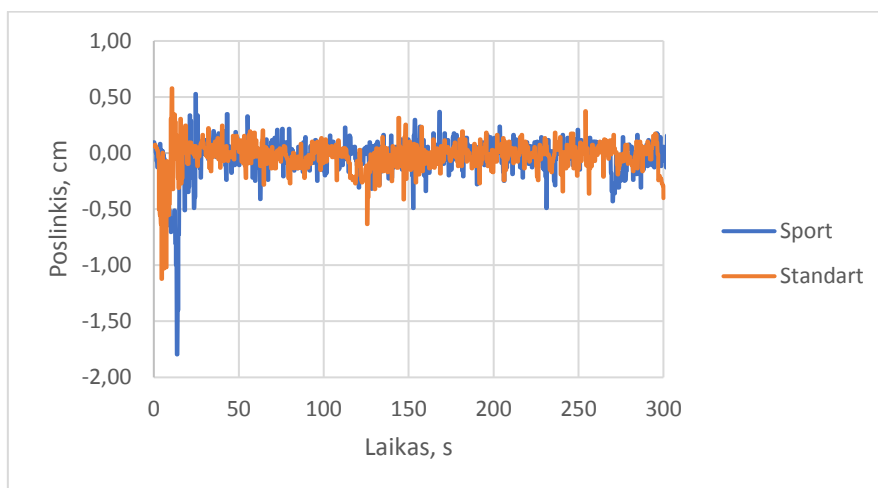
Ruožo Nr.3 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant trečiaja Jonavos g. juosta.



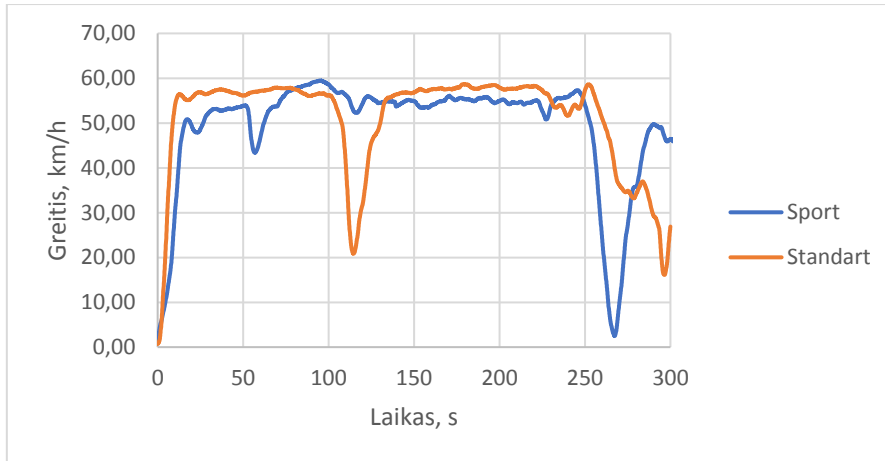
39 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Nepaisant to, kad ties 10-a sekunde kėbule neadekvačiai išauga pagreitis (39 pav.), visame tolimesniame maršrute išlieka tendencija jį turėti taipogi didesnį.



40 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Grafikas (40 pav.) paaiškina, kad 10s-aja sekunde pirmojo automobilio ratas pataikė ant didesnio kelio nelygumo, nei antrojo. Virpesių slopintuvo koto poslinkis pusantro karto didesnis, kas ir iššaukė staigesnį amortizuotos masės judesį.

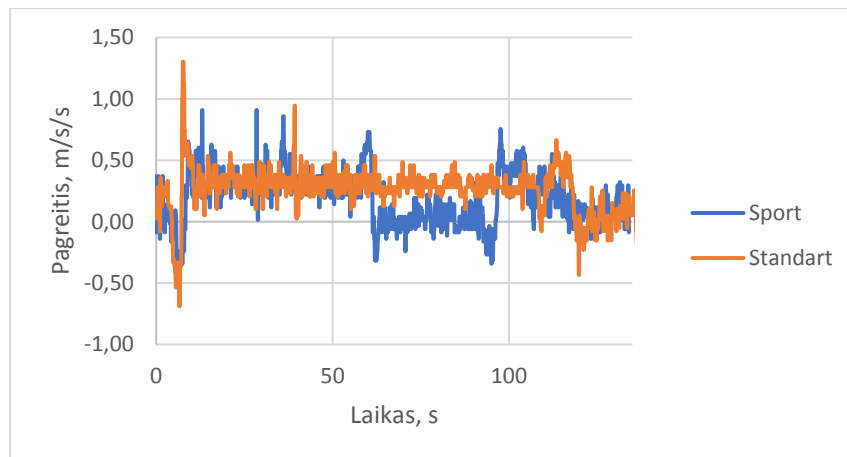


41 pav. Važiavimo greičio kaita

Važiavimo greitis išlaikytas panašus (41 pav.). Tiktais 120-ąja ir 260-ąja sekundėmis šviesoforai pakeitė važiavimo ritmą.

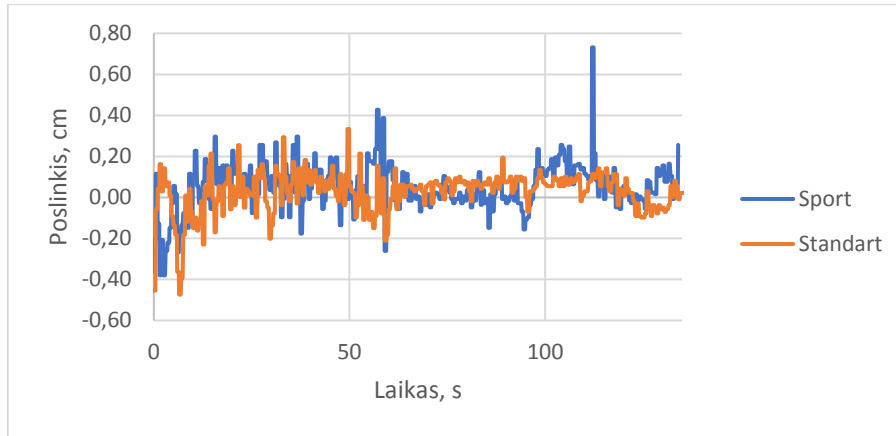
Ruožo Nr.4 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant antrąja A1 greitkelio juosta nuo Jonavos g. iki A6 kelio.



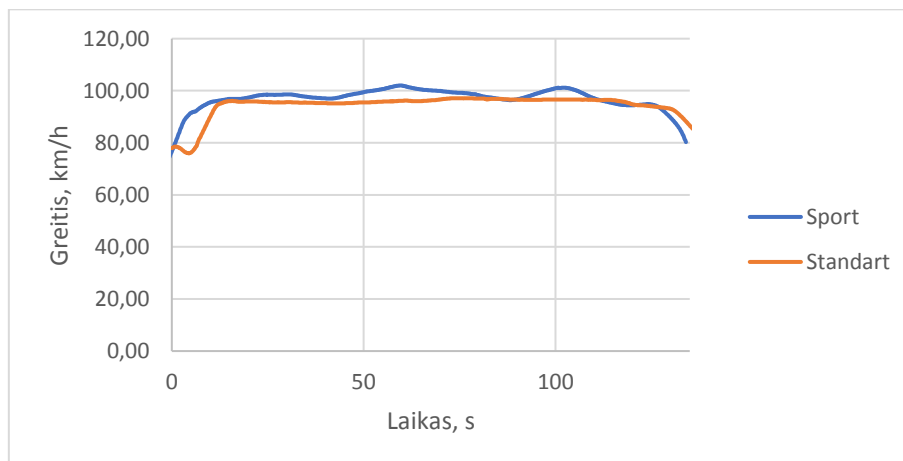
42 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Pagreičiai vyrauja panašūs. Antrojo automobilio kėbulas linkęs svyruoti labiau, tik 60-95-tos sekundės atkarpa (42 pav.) nesutampa.



43 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Tendencija (43 pav.) išlaikoma tokia pati iki kol 110-a sekunde pirmasis automobilis nepradėjo mažinti greičio ir persirikiuodamas nepataikė į atkarpą, kurioje sužemėja kelias ir vėl negrižta į buvusį aukštį.

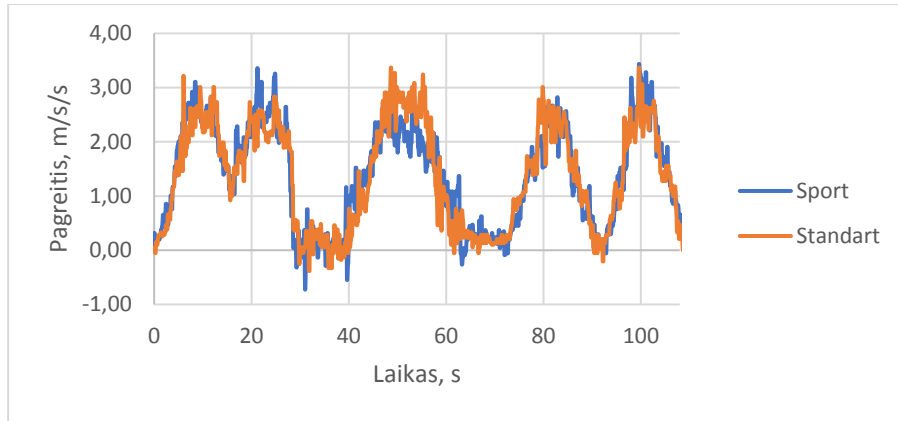


44 pav. Važiavimo greičio kaita

Visą ruožą abiejų važiavimų greitis (44 pav.) buvo išlaikytas panašus.

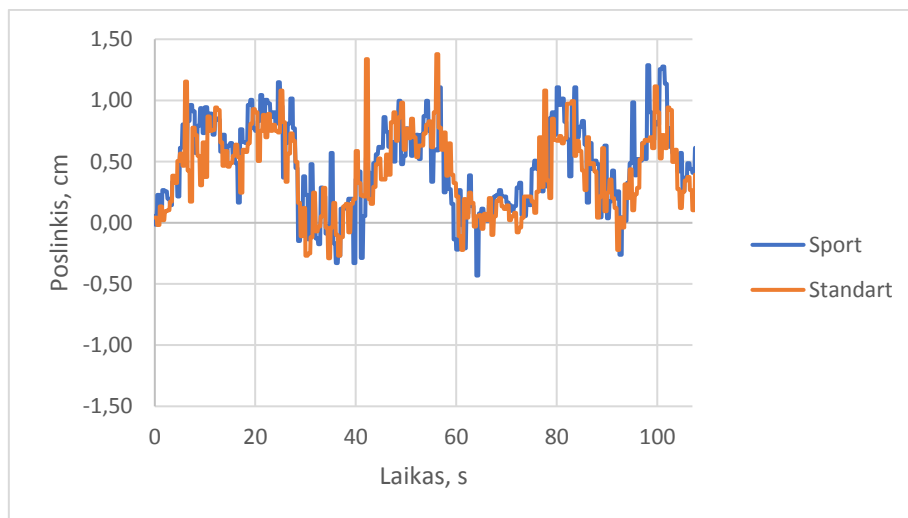
Ruožo Nr.5 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant greitais posūkiais dviejų lygių sankryža greitkelio A1 ir kelio A6 sandūroje.



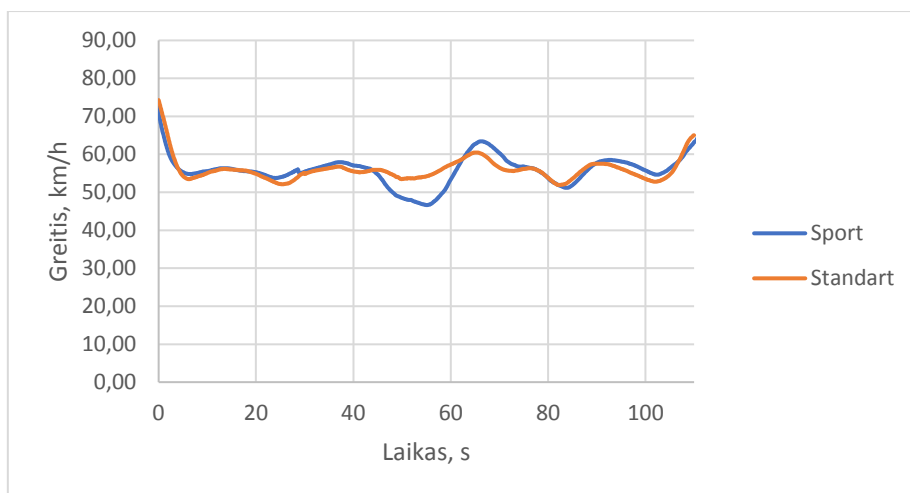
45 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Greitųjų posūkių metu pirmojo automobilio su sportine važiuoklės modifikacija svyravimas kito truputį greičiau (45 pav.) nei antrasis su standartine. Tiksliai 47-55-tos sekundės atkarpoje antrojo automobilio amortizuotos masės pagreitis ryškiau išsiskyrė.



46 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Matuojamojo rato virpesių slopintuvo koto poslinkis (46 pav.) kito tokia pačia tvarka kaip ir pagreičiai kėbule.

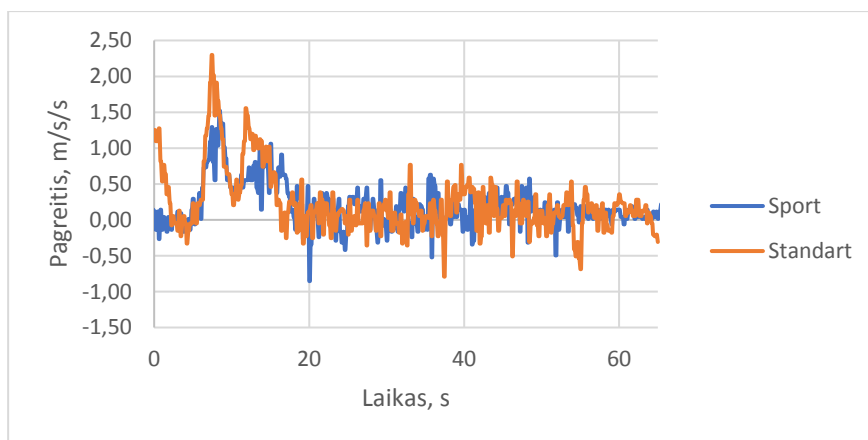


47 pav. Važiavimo greičio kaita

Greičio grafikas (47 pav.) paaikškina kodėl išsiskyrė kėbulo svyravimo pagreičiai. Minėtoje atkarpoje pirmasis automobilis važiavo apie 5km/h lėčiau nei antrasis.

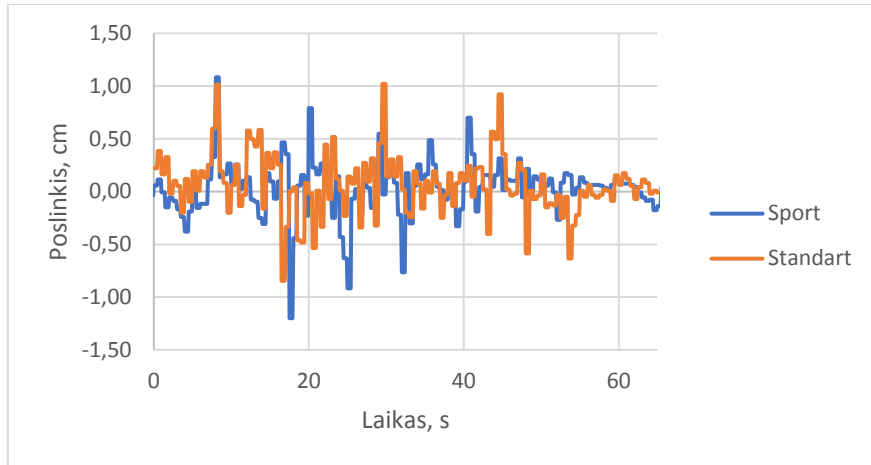
Ruožo Nr.6 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant Taikos pr. tarp Pramonės pr. ir Kovo 11-osios g.



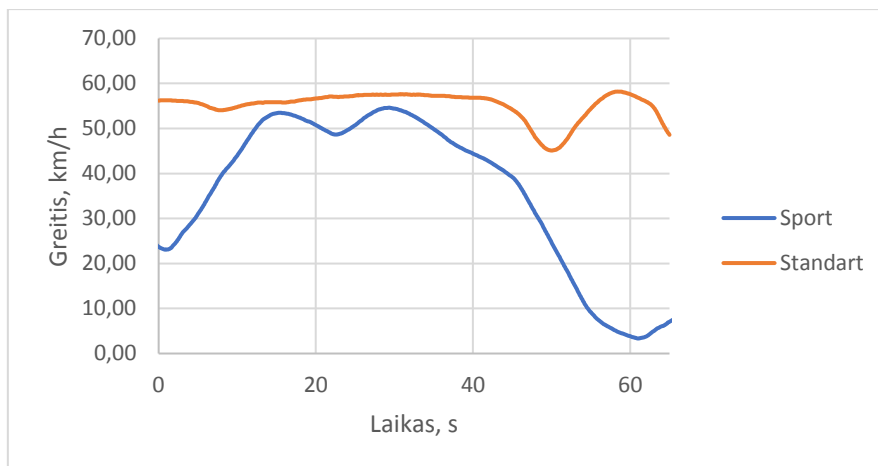
48 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Iki 20-tos sekundės antrajame automobilyje pagreičiai vyrauja užčiuopiamai didesni. Pikinio taško vertė didesnė beveik dvigubai. Tolimesnėje atkarpos dalyje tendencija išlaikoma panaši.



49 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Grafike matosi, kad standesnis virpesių slopintuvas ir spyruoklė neleidžia neamortizuotai masei judėti vertikalia teigiama kryptimi tiek, kiek standartinis.

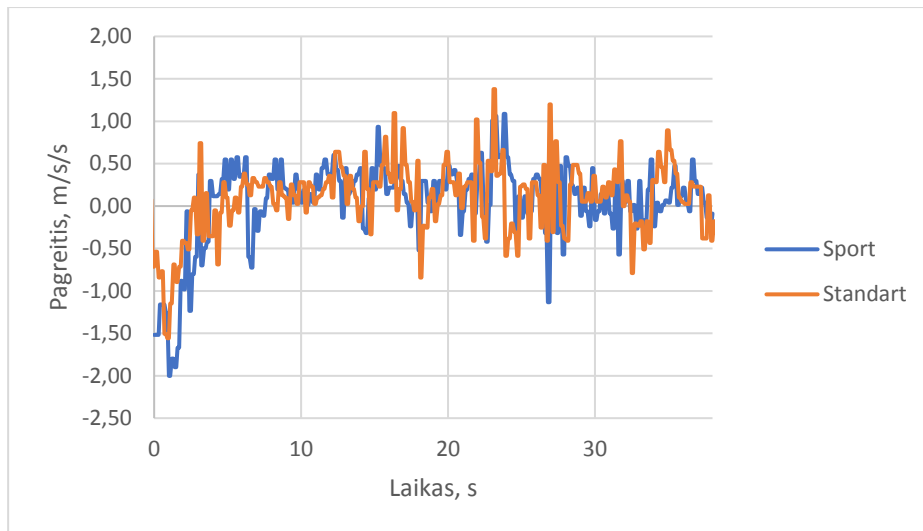


50 pav. Važiavimo greičio kaita

Greičio kitimo skirtumas rodo, kad 15-28-tos sekundės atkarpoje pavyko išlaikyti tik panašų greitį. Visose kitose dalyse greiti labai ženkliai skiriasi.

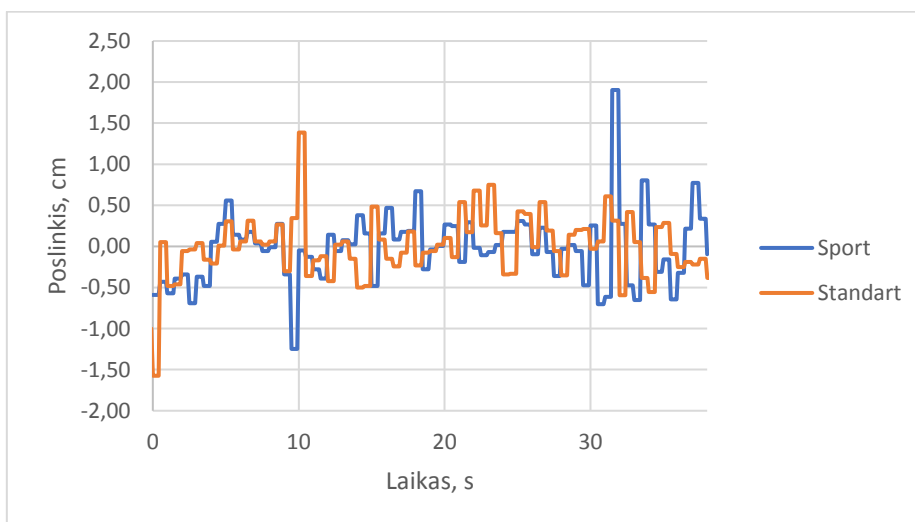
Ruožo Nr.7 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant Studentų g. tarp Rytų g. ir Gričiupo g.



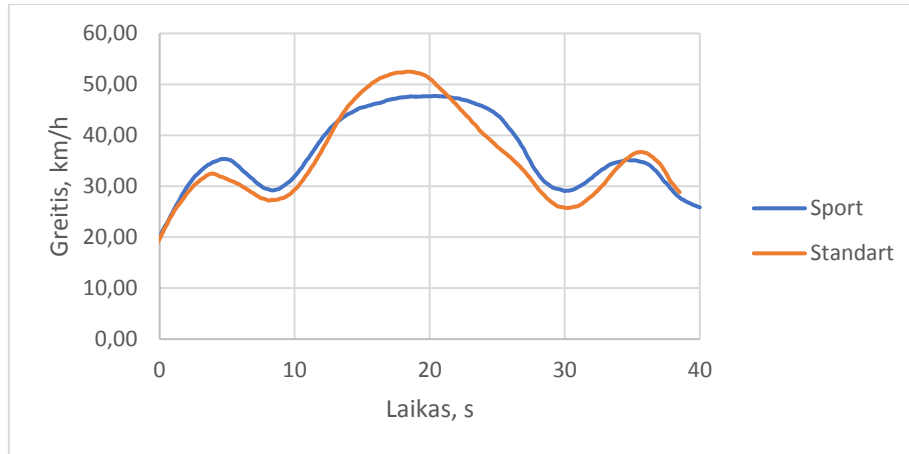
51 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Pirmojo automobilio kėbulo svyravimas (51 pav.) kinta dažniau ir staigiau nei antrojo, amplitudės daugumoje atvejų didesnės.



52 pav. Virpesių slopintuvo koto poslinkis

Virpesių slopintuvo koto poslinkis (52 pav.) didesnis pirmojo automobilio. Galima daryti prielaidą, kad buvo važiuota prastesne kelio dalimi. Per trapečinės formos plataus profilio greičio mažinimo kalnelius važiuojant rato judesio amplitudės panašos (10-ta sekundė, pirmas kalnelis), bet (32-a sekundė, antrasis kalnelis) ryškiai skiriasi.

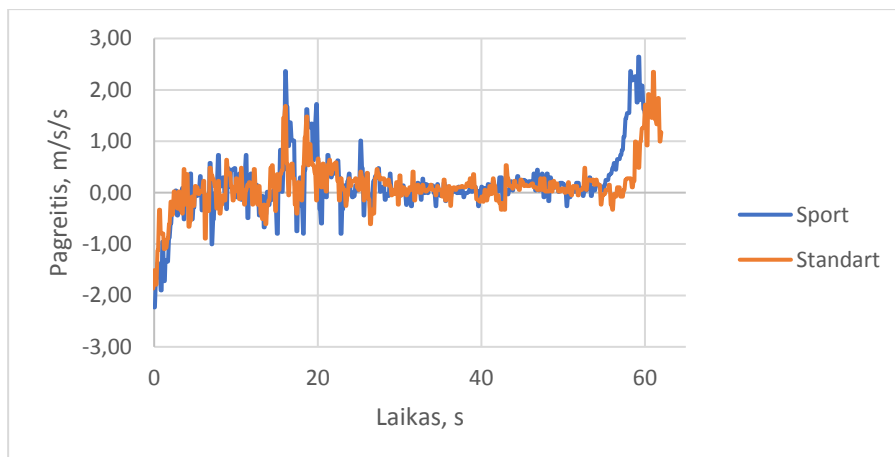


53 pav. Važiavimo greičio kaita

Maršruto dalį pavyko pravažiuoti išlaikant minimalų važiavimo greičio (53 pav.) skirtumą.

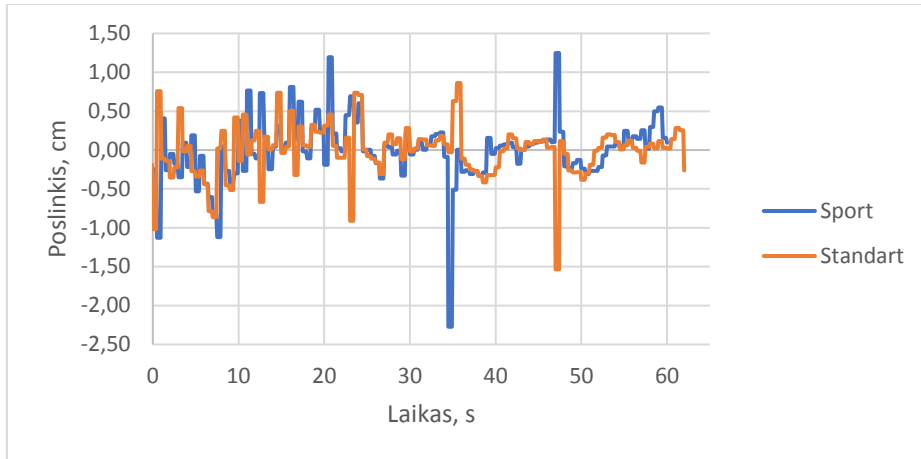
Ruožo Nr.8 tyrimas:

Matavimai atlikti važiuojant Gričiupo g.



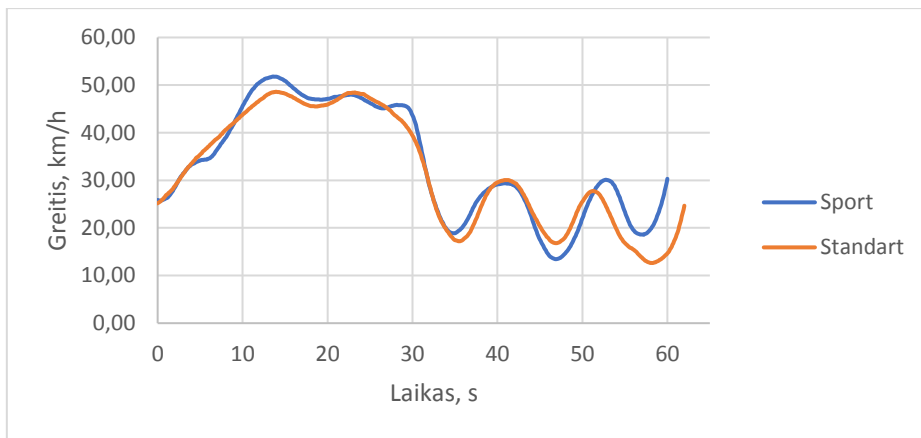
54 pav. Amortizuotos masės pagreitis

Paskutiniojoje maršruto dalyje antrojo automobilio amortizuota masė turėjo mažesnius pagreičius (54 pav.). Rezultatai išsiskiria labiau duobėtoje 0-25-tos sekundės atkarpoje bei 58-oje sekundėje su greičio mažinimo kalnėliu.



55 pav. Virpesių slopintuvo poslinkis

Šis ruožas susideda iš skirtingos kokybės kelio atkarpų. Pirmoji dalis iki 25s labai nelygi. Šioje atkarpoje didelis kelio profilio kitimas. Daugumoje atvejų pirmojo automobilio virpesių slopintuvo kotas judėjo didesnėmis amplitudėmis (55 pav.) išskyrus nelygiojo ruožo pabaigą ir pervažiavimą per greičio mažinimo kalnelį.



56 pav. Važiavimo greičio kaita

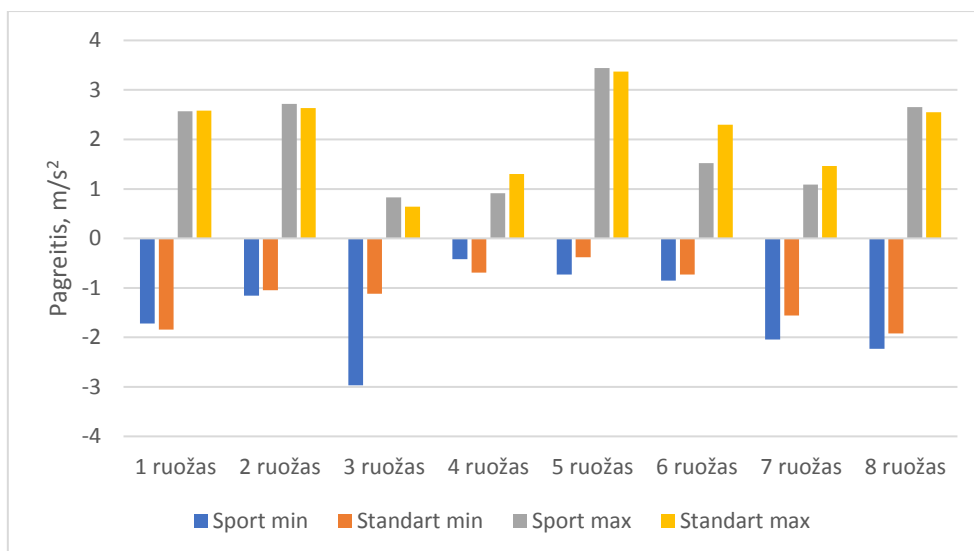
Paskutiniojo ruožo metu išlaikytas labai panašus greitis (56 pav.) abejais automobiliais. Šioje srityje mažiausiai įtakos turėjo eismo intensyvumas.

Rezultatų analizė:

7 lent. Tiriamųjų ruožų rezultatų maksimalių reikšmių lentelė

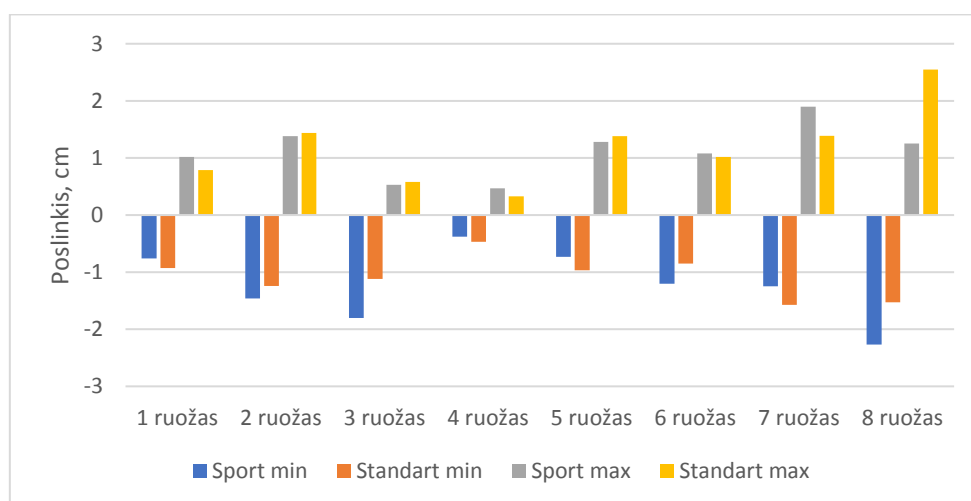
		Amortizuotos masės pagreitis (m/s ²)		Virpesių slopintuvo koto poslinkis (cm)	
Ruožo Nr.	Vertė	Sport	Standart	Sport	Standart
1	Min	-1,72	-1,84	-0,76	-0,93
	Max	2,57	2,58	1,02	0,79
2	Min	-1,16	-1,05	-1,46	-1,24
	Max	2,72	2,63	1,38	1,44
3	Min	-2,97	-1,12	-1,8	-1,12
	Max	0,83	0,64	0,53	0,58
4	Min	-0,42	-0,69	-0,38	-0,47
	Max	0,91	1,3	0,47	0,33
5	Min	-0,73	-0,38	-0,73	-0,97
	Max	3,44	3,37	1,28	1,38
6	Min	-0,85	-0,73	-1,2	-0,85
	Max	1,52	2,3	1,08	1,02
7	Min	-2,04	-1,56	-1,25	-1,57
	Max	1,09	1,46	1,9	1,39
8	Min	-2,23	-1,92	-2,27	-1,53
	Max	2,65	2,55	1,25	0,86

Lentelėje Nr.7 galima matyti rezultatų variacijas tyrimo metu. Sklandžiausiai pavykęs ruožas – 5.



57 pav. Amortizuotos masės pagreičių palyginimas ruožuose

Kad būtų aiškiau, abiejų automobilių masių pagreičiai iš visų ruožų pavaizduoti stulpeline diagrama (57 pav.). Automobilis su sportine važiuokle staigiau reaguoja į kelio profilio pokyčius.

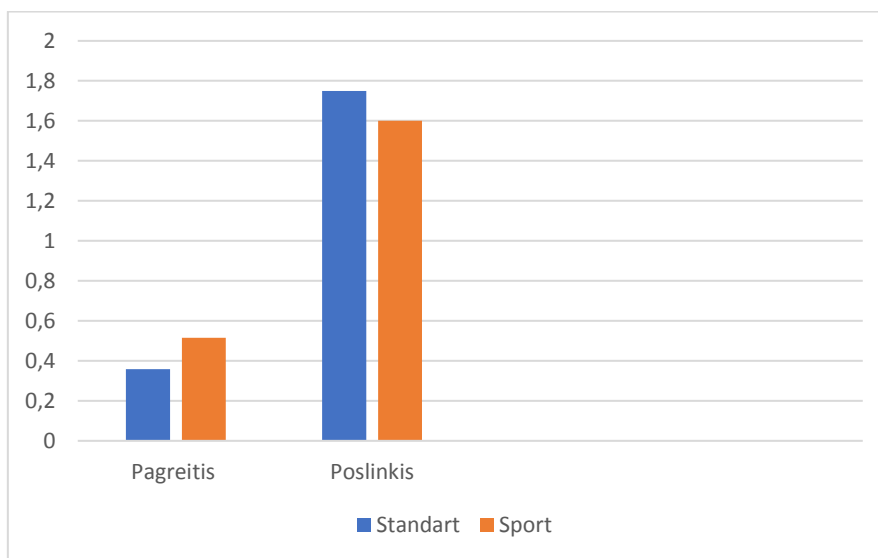


58 pav. Virpesių slopintuvo koto eiga

Taip pat, kaip su pagreičiais, rato eigos matavimų rezultatai sudėti į stulpelinę diagramą (58 pav.). Paveikslukas rodo, kad standartinės modifikacijos važiuoklės ratai turi didesnę svyravimų amplitudę.

8 lent. Visų bandomųjų važiavimų rezultatų vidurkių lentelė

Amortizuotos masės pagreitis (m/s^2)		Virpesių slopintuvo koto poslinkis (cm)	
Standart	Sport	Standart	Sport
0,358	0,515	1,75	1,6



59 pav. Visų bandomųjų važiavimų rezultatų palyginimas

Atlikus tyrimą rezultatai ganėtinai dvejopi. Pasižiūrėjus į lentelę (7 lent.) matosi dideli duomenų svyravimai ir tendencijų kaita. Praktiškai tik 5-ojo ruožo analizė pilnai sutinka su prieš tai buvusia tendencija, kad automobilis su sportinės važiuoklės modifikacija turi mažesnę neamortizuotos masės eigą ir didesnius kėbulo svyravimo pagreičius. Taip atsitiko dėl to, kad neįmanoma idealiai atkartoti važiavimo režimo dėl nuolat kintančių eismo sąlygų ir žmogaus klaidos. Klaida – užvažiavimas ant kliūtis ar pataikymas į defektuotame asfalte atsiradusią duobę atsitiktinai. Šie veiksniai kardinaliai keičia atsirandančias maksimalias vertes rezultatų lentelėje.

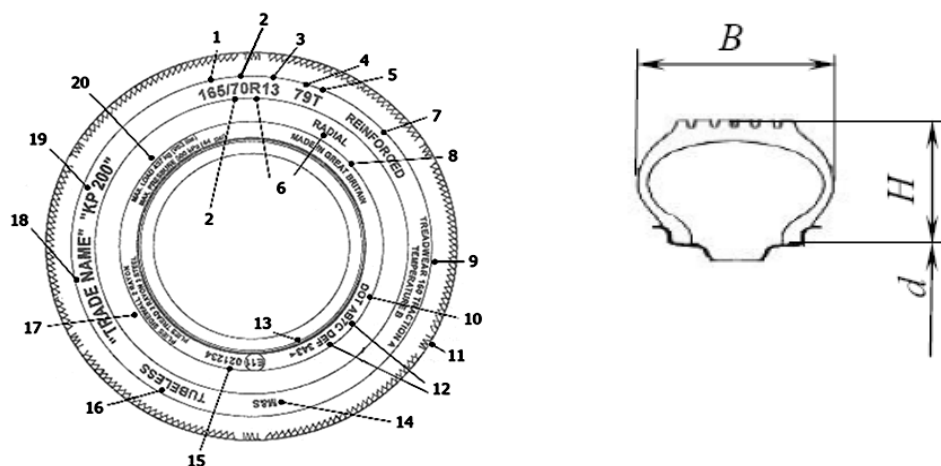
Bet jeigu pažiūrėtume į grafikus (57 pav.), kurie pateikti aukščiau lentelės, tendenciją galima aiškiai pamatyti, kad standartinės modifikacijos automobilis šiek tiek komfortabiliau įveikia pateiktus maršrutus. Tai įrodo ir viso važiavimo vidutinių reikšmių analizė (8 lent., 59 pav.). Netgi 44% didesni pagreičiai neamortizuotoje masėje ir 9% mažesnė neamortizuotos masės eiga.

2.6. Ketvirčio modelio sprendimas

Šiam tyrimui naudojama programa „MATLAB“. Joje sudaromas teorinis automobilio priekio vairuotojo pusės ketvirčio modelis (62 pav.). Programoje suvedami reikalingi duomenys (9 lent.) ir užduodamas pasirinktas važiavimo imitacinis režimas. Bandymui atlikti naudojamos blogą asfaltinį kelią imituojančios sąlygos su atitinkamu nelygumu skaičiumi ir jų aukščiu. Ketvirčio pozicija ir režimas parenkamas taip, kad būtų galima nesunkiai palyginti su natūrinio bandymo rezultatais.

Tam tikriems parametrams gauti reikalingi papildomi skaičiavimai:

Kiekvienam automobiliui atsižvelgiant į jo eksploataavimo bei konstrukcines sąlygas yra parenkamos tam tikros padangos atsižvelgiant į jų charakteristikas. Padangas apibūdina šie parametrai (60 pav.):



60 pav. Padangos žymėjimas [16]

Padangų duomenys:

9 lentelė

Matmuo	Pažymėjimas	Reikšmė	Matavimo vienetai
Padangos plotis	B	205	mm
Padangos aukštis	H	$(205 \cdot 60) / 100 = 123$	mm
Ratlankio skersmuo	d	$15 \cdot 25,4 = 381$	mm

Skaičius 60 ant padangos reiškia, kad padangos aukštis lygus 60% - tų padangos pločio.

Pažymėjimas R15 reiškia ratlankio skersmenį coliais (1 colis = 25,4 mm).

Pneumatinis ratas, dėl jo elastingumo ir veikiant kintamoms pagal dydį išcentrinėms jėgoms, nelieka pastovus, kinta spindulys. Skiriami tokie ratų riedėjimo spinduliai:

- 1) Laisvas r_0 (xpav.) arba maksimaliai nejudančio ir neapkrauto rato spindulys, jis priklauso tik nuo slėgio padangoje.
- 2) Statinis r_{st} (xpav.)- tai minimalus atstumas nuo rato apkrauto vertikalia jėga ašies iki žemės. Šis spindulis priklauso nuo slėgio padangoje ir vertikalios apkrovos bei padangos tipo.
- 3) Rato riedėjimo spindulys (kinematinis) - riedančio rato apkrauto vertikalia jėga ir traukos jėga spindulis
- 4) Rato dinaminis spindulys - traukos jėga apkraunanti ratą, suspaudžia protektoriaus elementus įeinančius į kontaktą ir todėl kelias nuvažiuotas per vieną apsisukimą bus mažesnis už rato apskritiminį ilgį.

Rato laisvasis spindulys – r_0 , randamas iš išraiškos:

$$r_0 = 0,5 \cdot d + H \quad (2.4)$$

čia:

d - ratlankio skersmuo x lent. (mm);

H – padangos aukštis x lent. (mm).

Rato statinis spindulys - r_{st} , randamas iš išraiškos:

$$r_{st} = 0,5 \cdot d + \Delta \lambda_s \cdot B \quad (2.5)$$

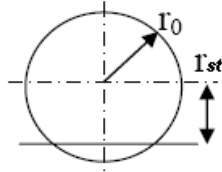
čia:

Δ - santykinis padangos aukštis dalimis (padangoje 205/60 R15 $\Delta = 0,6$);

λ_s – padangos susėdimas (0,8.....0,95);

B – padangos plotis (mm);

Padangos susėdimo koeficientas priklauso nuo padangos tipo. Žemo profilio ar aukšto slėgio padangų susėdimo koeficientas yra didesnis nei aukšto profilio ar žemo slėgio padangų.



61 pav. Rato laisvasis ir statinis spinduliai

$$r_{st} < r_0 \quad (2.6)$$

Skaičiuojant rato statinį spindulį įvertinamas rato susėdimas dėl veikiančios apkrovos. Padangos susėdimo koeficientas priklauso nuo padangos tipo. Žemo profilio ar aukšto slėgio padangų susėdimo koeficientas yra didesnis nei aukšto profilio ar žemo slėgio padangų.

Žemo slėgio padangos $\lambda_s=0,93$

Aukšto slėgio padangos $\lambda_s=0,95$,

Lengvojo automobilio degonalinė padanga $\lambda_s=0,85.....0,9$

Lengvojo automobilio radialinė padanga $\lambda_s=0,8.....0,85$

Padangos standumas skaičiuojamas:

$$k_p = \frac{M \cdot g}{r_0 - r_{st}}; \quad (2.7)$$

čia:

k_p – padangos standumas (N/m);

M – didžiausia padangos apkrova (kg);

g – laisvo kritimo pagreitis (m/s²);

r_0 – neapkrauto rato spindulys (m);

r_{st} – rato statinis spindulys (m).

Padangos slopinimo skaičiavimas:

$$c_p = 0,2 \cdot \sqrt{(k_p \cdot (m_a + m_n))}; \quad (2.8)$$

čia:

c_r – padangos slopinimas (Ns/m);

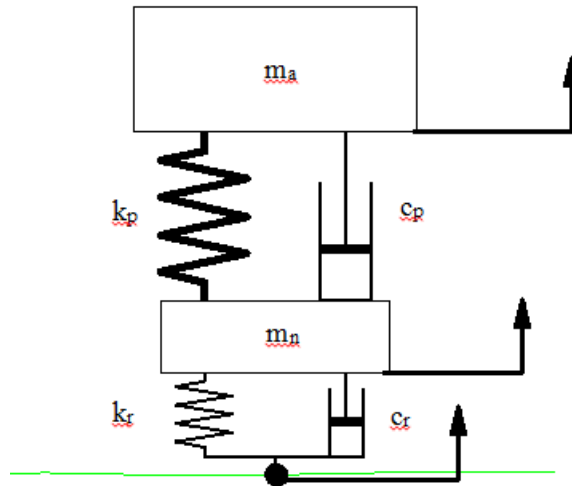
c_p – virpesių slopintuvo slopinimas (Ns/m);

k_r – padangos standumas (N/m);

k_p – virpesių slopintuvo standumas (N/m);

m_a – amortizuota automobilio ketvirčio masė (kg);

m_n – neamortizuota masė (kg), šiuo atveju neamortizuotą masę imsime 18kg.

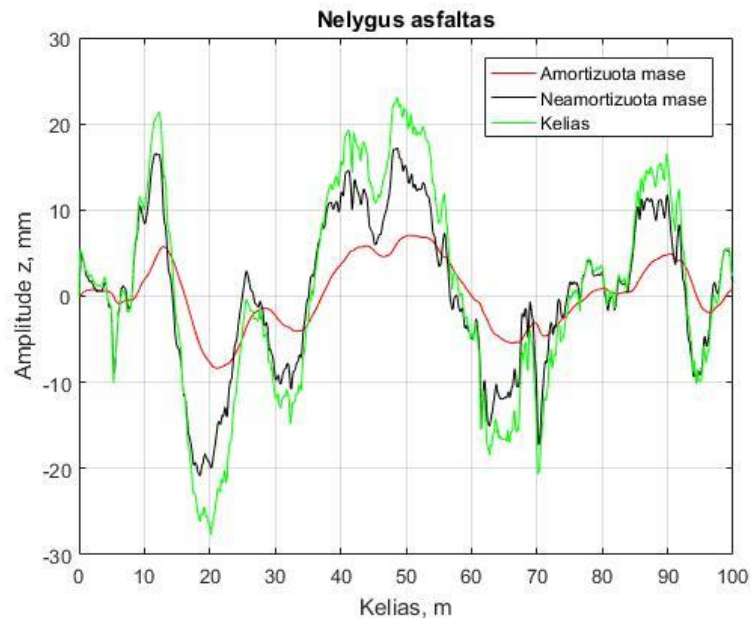


62 pav. Automobilio ketvirčio modelis

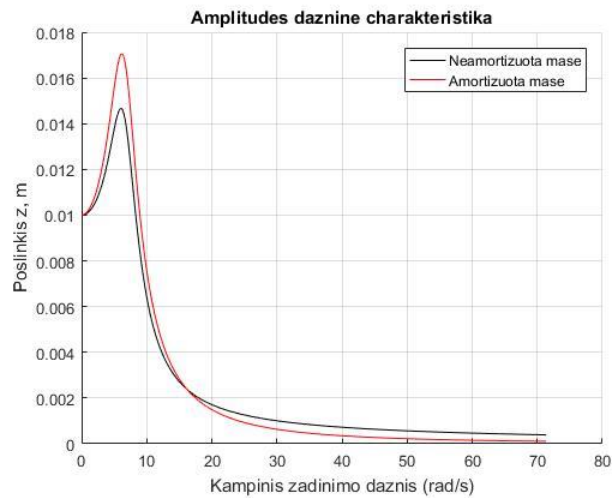
10 lent.

	Sportinė modifikacija	Standartinė modifikacija
Amortizuota masė (kg)	445,6	446,8
Neamortizuota masė (kg)	18	
Virpesių slopintuvo slopinimas (N/m/s)	10798	8949
Padangos slopinimas (N/m/s)	2428	
Spyruoklės standumas (N/m)	68706	58390
Padangos standumas (N/m)	317534	
Automobilio greitis (m/s)	16	
Simuliacijos laikas (s)	2	

Sportinės modifikacijos automobilio ketvirčio modelio analizės rezultatai:



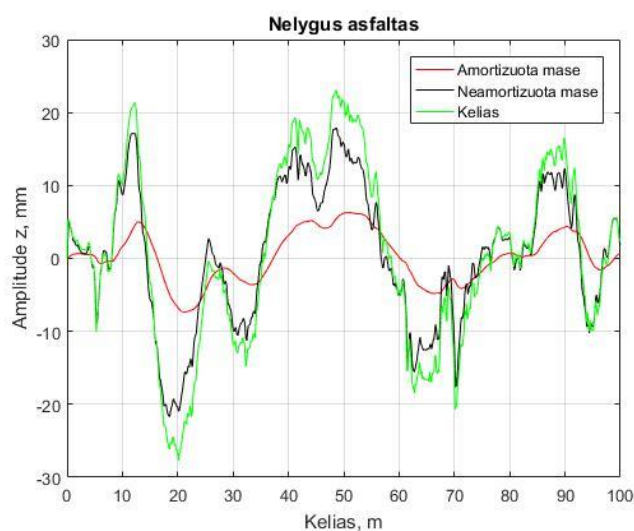
63 pav. Sportinės modifikacijos automobilio masių paslinkiai pagal kelio feljefą



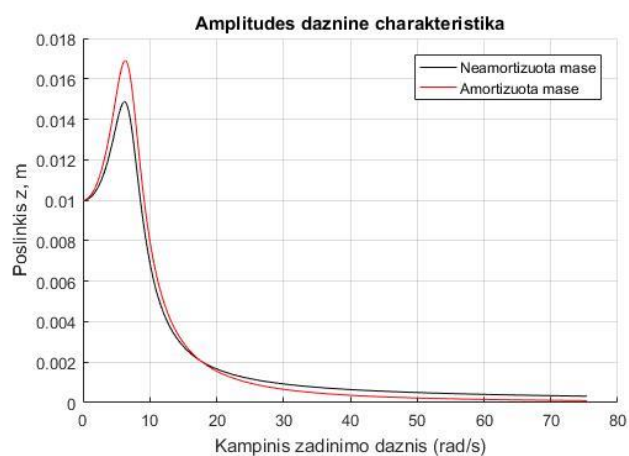
64 pav. Standartinės modifikacijos automobilio neamortizuotos masės poslinkiai pagal kampinio žadinimo dažnį

Paveikslėliuose (63,64,65,66 pav.) matyti kaip reaguoja automobilio važiuoklė į teorinio kelio modelio nustatytus nelygumus. Pavaizduoti kelio nelygumų aukščiai, amortizuotos masės ir neamortizuotos masės svyravimai pagal juos.

Standartinės modifikacijos automobilio ketvirčio modelio analizės rezultatai:



65 pav. Standartinės modifikacijos automobilio masių poslinkis pagal kelio reljefą



66 pav. Standartinės modifikacijos automobilio neamortizuotos masės poslinkiai pagal kampinio žadinimo dažnį

Rezultatų suvestinė:

11 lent. Poslinkiai

Aukščio pokytis (mm)	Sportinė modifikacija	Standartinė modifikacija
Kelias	23	
Neamortizuota masė	16	17
Amortizuota masė	7	6
Neamortizuota masė pagal kampinį žadinimo dažnį	14,5	15

Atlikus analitinius skaičiavimus nustatyta (10 lent.), kad esant sportinei modifikacijai neamortizuotos masės poslinkis yra mažesnis negu standartinės 1mm (6%). Tai lemia tolimesnę amortizuotos masės elgseną, kuri parodo, kad judesys persiduoda į kėbulą. Pastarojo poslinkio skirtumas taip pat 1mm (16%). Neamortizuotos masės poslinkis pagal kampinį žadinimo dažnį skiriasi 0,05mm (3%). Galima teigti, kad šiuo atveju sportinė modifikacija slopina mažiau kelio nelygumus ir poslinkį perduoda į neamortizuotą masę.

3. Ekonominis įvertinimas

Kiekviena papildoma vartotojo užgaida komplektuojant ar modifikuojant automobilį, kuri nukrypsta nuo standartų, kainuoja papildomas lėšas. Šis įvertinimas atskleidžia kiek, visgi, kainuoja geresnė automobilio dinamika. Renkant duomenis buvo kreiptasi į UAB „Intercars“ dėl atsarginių dalių kainų ir į UAB „Autojuta“ dėl tu pačių dalių bei naujų automobilių su skirtingomis komplektacijomis kainų. Detalės buvo renkamos pagal originalius kodus ir reikalingas specifikacijas išvadų svarumui.

12 lent. Atsarginių dalių kainos

	Modifikacija	Gamintojas	Kaina, €
Priekinis virpesių slopintuvas	Sportinė	OEM	169
	Standartinė	KYB	38
		BILSTEIN	56
Galinis virpesių slopintuvas	Sportinė	OEM	169
	Standartinė	KYB	45
		BILSTEIN	56
Priekinė spyruoklė	Sportinė	OEM	109
	Standartinė	SACHS	45
		BILSTEIN	45
Galinė spyruoklė	Sportinė	OEM	109
	Standartinė	SACHS	45
		BILSTEIN	50

Lentelėje (12 lent.) surašytos atsarginių dalių kainos. Sportinio tipo elementų kaina stipriai skiriasi (302-405%) nuo standartinio tipo analogų. Taip yra todėl, kad analogų originalams negamina jokie kiti dalių gamintojai.. Palyginimui imti vienu populiariausių važiuoklės slopinančiųjų ir tampriųjų elementų gamybos koncernų produktai.

13 lent. Naujo automobilio modifikacijų kaina

Modifikacija	Kaina, €
Sportinė	758
Sportinė/reguliuojama	1246
Sportinė/adaptyvi	2089

Perkant naują automobilį iš salono standartinės komplektacijos „AUDI A4 AVANT“ kainuoja apie 38000€ [17]. Norint papildomai pasirinkti norimą sportinės važiuoklės modifikaciją reikia sumokėti papildomą sumą už pasirinktą paketą (13 lent.). Perkant naują automobilį sportinės modifikacijos paketas kainuoja ~47% pigiau, nei tyrime dalyvavusiam automobiliui standartinės važiuoklės dalis pakeisti originaliomis sportinėmis. Taip yra dėl atimamos standartinių dalių kainos gamintojui komplektuojant automobilį. Automobilio kainą išaugina tik ~2-6%.

Galima teigti, kad pagerėjęs automobilio estetinis vaizdas ir pagerėjusi važiavimo dinamika vartotojui kainuoja ~2-6% automobilio vertės įsigyjant naują ir papildomas iki 405% išaugusias virpesių slopintuvų ir spyruoklių keitimo išlaidas.

4. Išvados

1. Sportinio ir standartinio tipo tampriųjų ir slopinančiųjų elementų parametrai skiriasi.
 - a. Sportinės (s-line) spyruoklės yra standesnės 18% priekiu ir 20% galui. Tai reiškia, kad reikalinga didesnė jėga norint jai suteikti tokią pačią deformaciją. Bet, nepaisant to, sportinės spyruoklės turi specifinį standumą. Jos standumo koeficientas kinta netiesine priklausomybe.
 - b. Bendras priekinių virpesių slopintuvų standumas skiriasi 20% ir galinių – 30%. Sportiniai (s-line) virpesių slopintuvai standesni, bet priekinių slopinimo koeficientas matomai žemesnis netgi 22%. Galiniai priešingai – slopina geriau 19%. Šis netikėtas skirtumas atsirado dėl, galimai, didesnio priekinio sportinio bandomojo virpesių slopintuvo išdilimo.
2. Bendros masės skirtumas tarp automobilių 6,9kg (0,4%). Priekinės ašies apkrova skiriasi - 4,7kg (0,5%). Šis skirtumas praktiškai neturi įtakos kitiems natūriniais ir analitiniams tyrimams.
3. Virpesių slopintuvų būklė labai panaši t.y. skirtumas galinėje ašyje iki 8%, priekinėje – 4% tarp tyrimams naudojamų automobilių. Priekinio kairio ketvirčio, kuriame montuojama matavimo įranga, Virpesių slopintuvo išdilimas netgi identiškas. Jų būklė 49% ir galima naudoti automobilius bandomiesiems važiavimams.
4. Važiavimų bandymas rodo, kad automobilis su sportinės važiuoklės modifikacija turi mažesnę neamortizuotos masės eigą ir didesnius kėbulo svyravimo pagreičius. Standartinės modifikacijos automobilis šiek tiek komfortabiliau įveikia pateiktus maršrutus. Tai įrodo ir viso važiavimo vidutinių reikšmių analizė. Netgi 44% didesni pagreičiai neamortizuotoje masėje ir 9% mažesnė neamortizuotos masės eiga.
5. Analitinių skaičiavimų rezultatai patvirtina tendenciją, kad esant sportinei modifikacijai neamortizuotos masės poslinkis yra mažesnis negu standartinės 1mm (6%). Tai lemia tolimesnę amortizuotos masės elgseną, kuri parodo, kad judesys persiduoda į amortizuotąją masę. Pastarosios poslinkių skirtumas taip pat 1mm (16%). Neamortizuotos masės poslinkis pagal kampinį žadinimo dažnį

skiriasi 0,5mm (3%). Galima teigti, kad šiuo atveju sportinės modifikacijos elementai mažiau slopina kelio nelygumus ir poslinkį perduoda į neamortizuotą masę.

Šaltiniai

1. Automobile mechanical and electrical systems : automotive technology : vehicle maintenance and repair / Tom Denton.
Denton, Tom, 1958-
Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2011. xiv, 512 p. : iliustr. ISBN: 9780080969459. UDK: 629.331 (075.8).
2. How your car works : your guide to the components & systems of modern cars, including hybrid & electric vehicles / Arvid Linde.
Linde, Arvid.
Dorchester : Veloce Pub., 2011. 104 p. : iliustr. ISBN: 9781845843908. UDK: 629.331 (035).
3. 1 pav. Subaru automobilio važiuoklės remonto gidas
https://www.google.lt/search?q=mcpherson+suspension&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiixsWVnfjTAhVmQZoKHW76A0wQ_AUICigB&biw=1920&bih=974#imgsrc=NQPDqXTWtNk3pM:
Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
4. 2 pav. Dviejų svirčių važiuoklės konstrukcija
https://www.google.lt/search?q=mcpherson+suspension&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiixsWVnfjTAhVmQZoKHW76A0wQ_AUICigB&biw=1920&bih=974#tbm=isch&q=double+wishbone+suspension
Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
5. Dviejų svirčių važiuoklės aprašymas internetiniame žurnale
<http://www.autotopus.lt/dvieju-svirciu-pakaba/>
Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
6. Vienos svirties važiuoklės aprašymas internetiniame žurnale
<http://www.autotopus.lt/vienos-svirties-pakaba/>
Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
7. 3 pav. BMW erdvinės važiuoklės modelis gamintojo puslapyje
http://www.bmw.com.hr/ca/en/newvehicles/5series/gran_turismo/2013/showroom/driving_dynamic/chassis.html
Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]

8. 45 pav. Daugiasvirtės važiuoklės konstrukcinis modelis
https://www.google.lt/search?q=vienos+skersines+svirties+pakaba&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi45I2ioPjTAhXiJZoKHcRWCPQQ_AUICigB&biw=1920&bih=974#tbm=isch&q=vag+multilink+suspension&imgcr=tUcfW_uffKgsKM:
 Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
9. Daugiasvirtės važiuoklės aprašymas internetiniame žurnale
<http://motofocus.lt/technika/445,daugiasvirte-pakaba>
 Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
10. Automobilio važiuoklės aprašymas internetiniame žurnale
<http://motofocus.lt/naujienos/5366,svarbiausia-pakaba>
 Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
11. Automotive mechanics / William H. Crouse and Donald L. Anglin.
 Crouse, William Harry, 1907- Anglin, Donald L.
 New York [N.Y.] [etc.] : Glencoe, 2003. xi, 820 p. : iliustr. ISBN: 0028009436.
 UDK: 629.331.
12. Advanced motorsport engineering : units for study at level 3 / Andrew Livesey.
 Livesey, Andrew.
 London : Routledge, 2012. xiv, 220 p. : iliustr. ISBN: 9780750689083. UDK:
 629.371.
13. Automobilių važiuoklių tarpričių elementų aprašymas internetiniame žurnale
<http://youronlinemechanic.com/types-of-automotive-suspension-spring-2-of-2/>
 Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
14. AUDI A4 AVANT aprašymas Internetinėje automobilių enciklopedija
https://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car_id=4388
 Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.17]
15. Užvažiuojamojo automobilių virpesių slopintuvų būklės nustatymo stendo aprašymas
 tiekėjo puslapyje
<http://www.autoservicepraxis.de/sixcms/detail.php?id=520745&L=1>
 Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.18]
16. 60 pav. Padangų žymėjimų nustatymas
<https://www.google.lt/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjHifqRgoLUAhXFXhoKHfdkDw8QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.vienaturis.lt%2Fpadangu-zymejimas-ka-reiskia-skaiciai-ir-simboliai->

t421.html&psig=AFQjCNGyrY7mSw7k411q-8zF3pMmJB_4dQ&ust=1495491501092960

Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.15]

17. Audi A4 AVANT naujo automobilio kainininko prieiga gamintojo puslapyje

<http://configurator.audi.com/acc/engine-accw-bal-lit.view?msk=2>

Prieiga internetu [žiūrėta 2017.05.16]