

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

Saulius Juška

**STABDŽIŲ TRINKELIŲ DRĖGMĖS ĮTAKOS LENGVOJO
AUTOMOBILIO STABDYMO EFEKTYVUMUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Artūras Keršys

KAUNAS, 2016

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

**STABDŽIŲ TRINKELIŲ DRĖGMĖS ĮTAKOS LENGVOJO
AUTOMOBILIO STABDYMO EFEKTYVUMUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Artūras Keršys
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) Saulius Juška
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Saulius Juška

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Stabdžių trinkelį drėgmės įtakos lengvojo automobilio stabdymo efektyvumui tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 20 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Sauliaus Juškos**, baigiamasis projektas tema „*Stabdžių trinkelį drėgmės įtakos lengvojo automobilio stabdymo efektyvumui tyrimas*“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2015 m. rugsėjo mėn. 5 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Saulius Juška*

1. Darbo tema: *Stabdžių trinkelų drėgmės įtakos lengvojo automobilio stabdymo efektyvumui tyrimas*
Research of Brake-pad Moisture Influence on Car Braking

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

2. Darbo tikslas: Nustatyti stabdžių trinkelų drėgmės įtaką stabdymo efektyvumui.

3. Darbo uždaviniai ir reikalavimai:

1. Parengti eksperimentinio tyrimo metodiką, sukurti stabdžių trinkelų drėkinimo sistemą.
2. Eksperimentiniu tyrimu nustatyti, kaip kinta stabdymo kelias esant skirtingam trinkelų drėgnumui.
3. Nustatyti stabdymo efektyvumą lemiančių veiksnių įtaką.
4. Remiantis gautais tyrimų rezultatais parengti išvadas.

4. Darbo konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹:

Konsultantų nebuvo.

5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. rugsėjo mėn. 5 d.

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

Vadovas: _____

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau: _____

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Juška, Saulius. Stabdžių trinkelėjų drėgmės įtakos lengvojo automobilio stabdymo efektyvumui tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Artūras Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: *stabdžių, efektyvumas, kelias, drėkinimo, trinkelėjų, proceso.*

Kaunas, 2016. 53 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe atliekamas M1 klasės lengvojo automobilio „Peugeot 307 SW“ stabdžių trinkelėjų drėgmės įtakos automobilio stabdymo efektyvumui tyrimas. Tyrimo metu siekiama įvertinti, kaip kinta automobilio stabdymo kelias, esant skirtingiems trinkelėjų drėkinimo parametrams. Šio tyrimo tikslas yra nustatyti, kaip maksimaliai pasikeičia stabdymo kelio ilgis, bei laikas, ir dėl kokių parametru kitimo, stabdymo metu, keičiasi stabdymo efektyvumas.

Darbo metu nustatoma, kokie parametrai lemia stabdymo efektyvumą, esant drėgnoms stabdžių trinkelėms. Apskaičiuojama, kaip kinta stabdžių sistemos efektyvumas, nuo stabdžių pedalo paspaudimo iki automobilis visiškai sustoja. Tyrimui atlikti automobilyje sumontuojama stabdžių trinkelėjų drėkinimo sistema. Tyrimo metu gauti duomenys fiksuojami DL1 Mk2 klasikiniu duomenų registratoriumi. Skaičiavimų atlikimui ir grafiniam gautų rezultatų pateikimui naudojama „Microsoft Excel“ programa.

Pagal tyrimo metu gautus duomenis nustatytas stabdžių trinkelėjų trinties koeficiento kitimas, esant sausoms ir drėgnoms stabdžių trinkelėms. Apskaičiuotas stabdymo efektyvumo kitimas, esant skirtingiems trinkelėjų drėkinimo parametrams. Tyrimo atlikimo eiga, skaičiavimų analizė ir gauti rezultatai pateikiami darbo eigoje.

Juška, Saulius. *Research of Brake-pad Moisture Influence on Car Braking*. Master's thesis in / supervisor prof. dr. Artūras Keršys. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Key words: *brake, efficiency, road, irrigation, pad, process*.

Kaunas, 2016. 53p.

SUMMARY

An investigation of brake pad moisture effect on the passenger car's braking efficiency was carried out. The study aims to assess the change of the car's stopping distance at different pad irrigation parameters. The aim of this study is to determine the ultimate change of stopping distance, the length of stopping time and what variations of breaking parameters determine the efficiency of stopping.

In this study it was determined what parameters condition the efficiency of breaking when the brake pads are damp. The change of breaking system efficiency was calculated from the moment of brake pedal operation to a full vehicle stop. For this investigation, a pad irritating system was installed in a chosen vehicle. The data of the test was recorded with DL1 Mk2 classical data recorder. MS Excel was used for calculations and graphical presentation of the results.

According to the results of the study, the alteration of friction coefficient of breaking pads was assessed for both wet and dry braking pads. The change of breaking efficiency at different pad irrigation parameters was calculated. The course of investigation, analysis of calculation and the results of the study are presented in the paper.

Turinys

1	Įvadas.....	9
2	Informacijos šaltinių analizė.....	10
2.1	Stabdžių sistemų apžvalga	10
2.2	Lengvojo automobilio stabdymo sistemos vykdančiųjų įtaisų konstrukcijų analizė.....	11
2.3	ABS sistemo veikimo analizė	13
2.4	Stabdymo proceso įtaka apkrovų pasiskirstymui	14
2.5	Automobilio stabdymo procesą įtakančių veiksnių analizė	15
2.6	Ekstremaliai stabdomo automobilio tiesaus judėjimo lygtis	16
2.7	Automobilio lėtėjimo pagreitis.....	17
2.8	Reikalavimai stabdžių sistemai	18
2.9	Padangų sukibimo su kelio danga išnaudojimas	19
3	Stabdymo efektyvumą įtakančių procesų analizė.....	21
3.1	Padangos.....	21
3.2	Padangos sukibimas su kelio danga	21
3.3	Stabdžių trinkelio trinties koeficiento įtaka stabdymui	26
4	Automobilio stabdymo efektyvumo tyrimas	31
4.1	Tyrimo tikslas ir uždaviniai.....	31
4.2	Tiriamasis automobilis	31
4.3	Ašims tenkančių apkrovų pasiskirstymas stabdant	33
4.4	Stabdymo momento ir stabdžių trinkelio efektyvumo nustatymas	36
5	Stabdžių trinkelio drėgmės įtakos lengvojo automobilio stabdymo efektyvumui tyrimo eiga ir rezultatai.....	40
5.1	Padangos sukibimo su kelio danga įvertinimas.....	40
5.2	Tyrimo eiga ir priemonės	41
5.3	Bandymo duomenų apdorojimas.....	42

6	Išvados	48
7	Informacijos šaltinių sąrašas.....	50
8	Priedai	52
8.1	Bandymas nr. 1. Trinkelės sausos	52
8.2	Bandymas nr. 2. Trinkelės drėkinamos 5 min.....	52
8.3	Bandymas nr. 3. Trinkelės drėkinamos 15 min.....	53
8.4	Bandymas nr. 4. Trinkelės drėkinamos 30 min.....	53
8.5	Bandymas nr. 5. Trinkelės drėkinamos 60 min.....	54
8.6	Bandymas nr. 6. Stabdymas atliekamas pervažius per balą	54

1 Įvadas

Pradėjus kurti automobilius buvo reikalinga sistema, galinti sumažinti važiuojančio automobilio greitį. Esant tam tikroms situacijoms ir aplinkybėms automobilį reikėdavo sustabdyti kuo greičiau ir efektyviau. Vienas iš pagrindinių ir svarbiausių automobilio elementų, kuris padeda kontroliuoti greitį, yra stabdžių sistema. Nepriklausomai nuo to, kokia tai sausumos transporto priemonė, jos valdymo sistemoje yra sumontuota stabdžių sistema.

Stabdžių sistemos paskirtis – kontroliuoti automobilio judėjimo greitį ir užtikrinti efektyvų stabdymą bei atstumo iki kliūties kontroliavimą. Siekiant užtikrinti saugų ir patikimą automobilio dalyvavimą eisme, bet kokiomis eismo sąlygomis, reikalinga patikima ir efektyviai dirbanti stabdžių sistema. Stabdžių sistemos efektyvumą nulemia tokie veiksniai kaip: stabdžių sistemos konstrukcija, padangos sukibimas su kelio danga, oro sąlygos ir kt.

Šiame darbe atliekamam tyrimui pasirinktas lengvasis automobilis „Peugeot 307 SW“. Tyrimo metu skaičiuojama, kaip kinta automobilio stabdymo kelias, esant skirtingam stabdžių trinkelėlių drėgnumui. Atliekant skaičiavimus įverinamas, automobilį veikiančių jėgų pasiskirstymas, stabdymo proceso metu. Šio tyrimo tikslas yra nustatyti, kaip maksimaliai pasikeičia stabdymo kelio ilgis, bei laikas, ir dėl kokių parametrų kitimo, stabdymo metu, keičiasi stabdymo efektyvumas.

Darbo metu nustatoma, kokių parametrų kitimas daro įtaką stabdymo efektyvumui, esant drėgnoms stabdžių trinkelėms, ir kaip šie parametrai kinta stabdymo proceso metu, nuo stabdžių pedalo paspaudimo iki automobilis visiškai sustoja. Tyrimui atlikti automobilyje sumontuojama stabdžių trinkelėlių drėkinimo sistema, tyrimo metu gauti duomenys fiksuojami DL1 Mk2 klasikiniu duomenų registratoriumi.

Skaičiavimų atlikimui ir grafiniam gautų rezultatų pateikimui naudojama „Microsoft Excel“ programa. Pagal tyrimo metu gautus duomenis nustatytas stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento kitimas, esant sausoms ir drėgnoms stabdžių trinkelėms. Apskaičiuotas stabdymo efektyvumo kitimas, esant skirtingam trinkelėlių drėgnumui. Tyrimo atlikimo tvarka, skaičiavimų analizė ir gauti rezultatai pateikiami darbo eigoje.

2 Informacijos šaltinių analizė

2.1 Stabdžių sistemų apžvalga

Automobilių stabdžių sistema leidžia visiškai saugiai sustabdyti važiuojantį automobilį, sumažinti jo greitį arba išlaikyti stovintį automobilį stabilioje padėtyje, įvairiomis kelio sąlygomis. Nuo stabdymo kokybės ir efektyvumo labai priklauso automobilio važiavimo stovumas, jo dinaminės ir eksploatacinės savybės. Kuo kokybiškiau ir efektyviau įmanoma stabdyti greitai važiuojantį automobilį, tuo saugiau ir didesniu greičiu juo galima važiuoti.

Pagal tarptautinius standartus stabdžių sistema privalo turėti darbo, stovėjimo ir atsarginį stabdžius, o autobusai, kurių masė ne mažesnė kaip 5t, ir kroviniai automobiliai, kurių masė didesnė kaip 12 t, papildomai privalo turėti pagalbinių stabdžių (stabdžių lėtintuvą) [5].

Pagal valdymo tipą stabdžiai būna:

- Mechaniniai;
- Hidrauliniai;
- Inerciniai;
- Pneumatiniai;
- Elektriniai;
- Kombinuoti.

Pagal stabdymo elementų (mechanizmų) konstrukciją stabdžiai yra:

- Būgniniai (trinkeliniai ir juostiniai);
- Diskiniai.

Pagal stabdomą mazgą stabdžiai yra:

- Variklio;
- Transmisijos;
- Rato.

Darbo stabdys skirtas važiuojančio automobilio stabdymui. Stovėjimo stabdys skirtas išlaikyti stovinčiam automobiliui, kad neriedėtų. Atsarginiu stabdžiu galima stabdyti važiuojantį automobilį, kai sugenda darbo stabdys. Jis mažiau efektyvus už darbo stabdį, todėl lengvuosiuose automobiliuose praktiškai nemontuojamas [5].

Pagalbinis stabdys skirtas važiavimo greičiui sumažinti, arba neleisti jam didėti važiuojant nuo kalno ilgesnį kelio ruožą. Pagal tarptautinį standartą jis privalo užtikrinti automobilio greitį 30 ± 2 km/h, kai leidžiasi ne mažiau kaip 6 km nuo kalno, esant 7 % kelio nuolydžiui. Pagalbinio stabdžio funkcijas gali atlikti transmisijoje sumontuoti hidrauliniai arba elektriniai stabdžiai. Kai kuriuose automobiliuose stabdymui panaudojamas variklis, uždarančias dujų išleidžiamąjį vamzdį specialia sklende ir išjungiant degalų tiekimą [5].

Lengvoms priekaboms stabdyti naudojamas inercinis stabdys, kurio veikimą lemia stabdymo metu atsirandančios inercijos jėgos, kai priekaba pradeda stumti automobilį. Priekabos stabdymo jėga turi tiesioginę priklausomybę nuo automobilio lėtėjimo pagreičio ir priekabos masės.

Kiekviena stabdžių sistema sudaryta iš valdymo pavaros (sistemos) ir stabdymo mechanizmų. Valdymo pavaros yra mechaninės, hidraulinės, pneumatinės, elektrinės ir kombinuotos.

Labiausiai paplitusios dvi darbo stabdžių sistemos: su hidrauliniu ir pneumatiniu valdymu. Visuose lengvuosiuose automobiliuose, mažuose autobusuose ir mažos masės krovininiuose automobiliuose yra darbo stabdžiai su hidrauliniu valdymu, o dideliuose autobusuose, vidutinio ir didelio tonažo krovininiuose automobiliuose naudojamos pneumatinės stabdžių valdymo sistemos [5].

2.2 Lengvojo automobilio stabdymo sistemos vykdančiųjų įtaisų konstrukcijų analizė

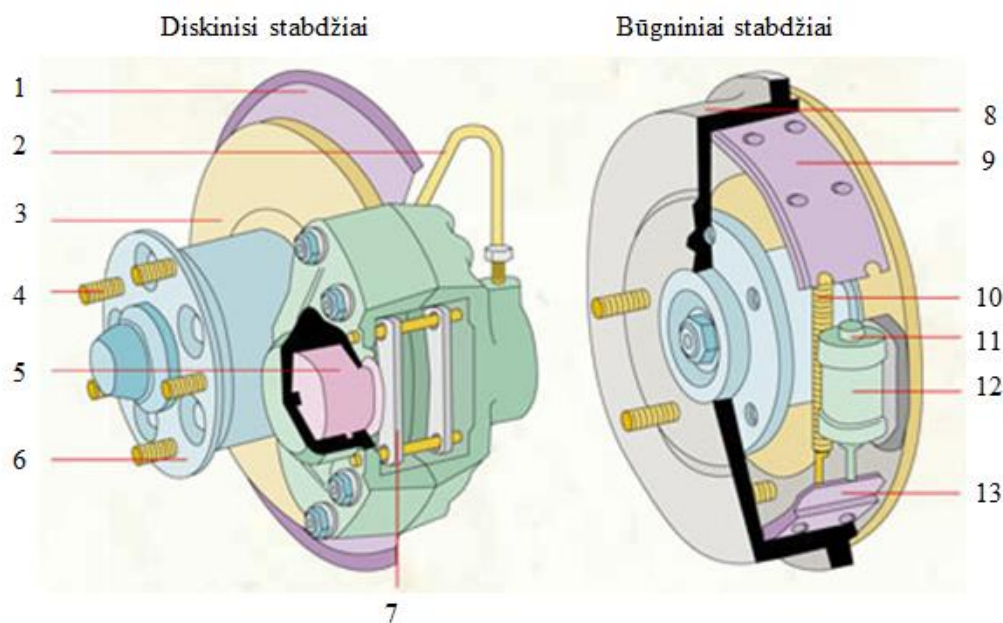
Vykdantiesiems stabdžių sistemos įtaisams priskiriami stabdžių sistemos elementai, kurie yra skirti tiesiogiai atlikti automobilio rato stabdymo funkciją. Pagrindiniai šios sistemos elementai yra stabdžių diskas (arba būgnas, tai priklauso nuo vykdančiojo stabdžių sistemos įtaiso konstrukcijos), stabdžių trinkelė ir darbinis stabdžių sistemos cilindras. Efektyvesniu stabdymu pasižymi diskinė stabdžių sistemos konstrukcija ir yra plačiau naudojama negu būgninių stabdžių konstrukcija. Būgninių stabdžių konstrukcija dažniausiai montuojama mažos klasės automobiliuose, galinės ašies ratų stabdymui [3].

Būgninių stabdžių efektyvumas, kylant temperatūrai stabdymo metu, smarkiai sumažėja. Stabdžių efektyvumo sumažėjimas dar vadinamas fedingu (angl. to fade – nykti). Fedingas atsiranda pasikeitus stabdžių būgno formai, o ji pasikeičia dėdidelių temperatūrų (temperatūrinis išsiplėtimas) ir įtempimo jėgos. Stabdžių būgnas įgauna kūgio formą, dėl to frikciniai antdėklai negali vienodai priglusti visame apskritime. Sumažėjus efektyviam stabdžių

paviršiumi, sumažėja stabdžių efektyvumas. Be to, kaistant tarp besitrinančių paviršių sumažėja trinties koeficientas.

Diskiniuose stabdžiuose šis trūkumas dalinai išlyginamas tuo, kad kaistant išsiplečia stabdžių diskas. Dėl ašinio išsiplėtimo padidėja prispaudimo jėga. Taip diskiniuose stabdžiuose iš pradžių stabdžių efektyvumas nežymiai padidėja, kol ilgiau stabdant sumažėja trinties koeficientas ir stabdžių efektyvumas sumažėja. Diskinių stabdžių trūkumas yra tas, kad juose reikalingos didelės įtempimo jėgos [3].

Vykdantieji stabdžių sistemos elementai pateikti 1 paveiksle:



1 pav. Vykdantieji stabdžių sistemos elementai: 1 – apsauginė plokštelė; 2 – darbinio skysčio vamzdelis; 3 – stabdžių diskas; 4 – smeigė; 5 – darbinis cilindras; 6 – stebulė; 7 – stabdžių trinkelės; 8 – stabdžių būgnas; 9, 13 – stabdžių trinkelė; 10 – gražinimo spyruoklė; 11 – stūmuoklis; 12 – cilindras.[3]

Stabdžių diskas priveržtas prie stebulės. Esant didelėms prispaudimo jėgoms ir mažiems stabdžių antdėklų plotams, diską veikia didelės šiluminės apkrovos. Kadangi stabdžių diskas beveik pilnai skalaujamas priešpriešinio oro srauto, jis yra gerai aušinamas. Labai stipriai apkraunami stabdžių diskai dažnai gaminami platesni (daugiau sukaupia šilumos) ir su radialinėmis tuštumomis. Priešpriešinis oro srautas patenka į tuštumas, todėl pagerėja aušinimo poveikis. Stabdžių diskai gaminami iš karščiui atsparių plieno liejinių arba ketaus su rutuliniu grafitu.

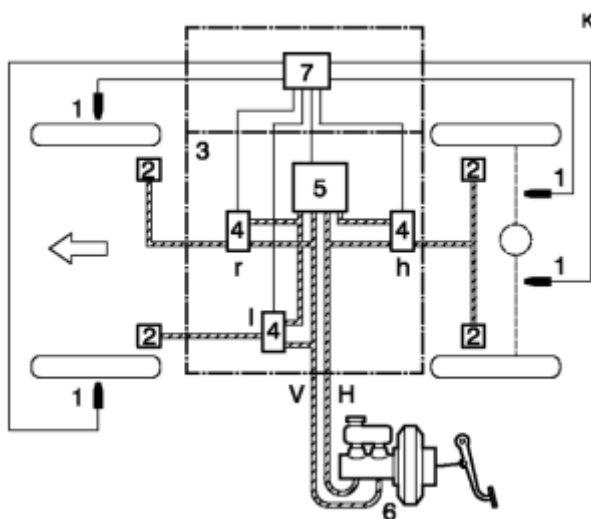
2.3 ABS sistemo veikimo analizė

Stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) buvo sukurta 1978 metais, tačiau praktiškai pradėta naudoti lengvuosiuose automobiliuose tik maždaug po 10 metų. Ši sistema padeda optimaliai sustabdyti automobilį ant bet kokios kelio dangos. Priklausomai nuo kelio dangos savybių ir padangų susidėvėjimo kiekvieno rato sukibimas su kelio danga skirtingas. Stabdant be ABS sistemos atsiranda skersinės jėgos, veikiančios automobilį šonine kryptimi. Todėl ir reikia kiekvienam ratui stabdymo momentą valdyti atskirai, norint užtikrinti saugų sustojimą. Taip pat automobilį su ABS sistema stabdant galima valdyti, nes ši sistema neleidžia užblokuoti ratų [13].

Stabdant automobilį slidžiame kelyje, gali būti užblokuoti visi ar kai kurie transporto priemonės ratai. ABS neleidžia tam įvykti. Ji pasižymi šiais privalumais:

- Transporto priemonė išlieka valdoma, nors stabdymo ir šoninės jėgos padidėja;
- Gaunamas pats trumpiausias stabdymo kelias (geras valdomumas ir stabilumas leidžia sutrumpinti stabdymo kelią);
- Sumažinamas padangų susidėvėjimas;

Principinė ABS sistemos schema pateikta 2 pav.:



2 pav. Principinė ABS sistemos schema: 1- ratų jutikliai, 2 - stabdžių cilindrai, 3 - hidraulinis modulatorius, 4 - elektromagnetiniai vožtuvai, 5 - siurblys, 6 - pagrindinis stabdžių cilindras, 7 - valdymo blokas, H - galinių ratų grandinė, V - priekinių ratų grandinė.[13]

Ratų sukimosi dažnis dažniausiai matuojamas induktyviais jutikliais. Jutiklių signalas perduodamas į valdymo bloką kintamos įtampos forma, kurios signalas tiesiogiai proporcingas ratų sukimosi dažniui. Kai transporto priemonė stabdoma atsargiai, ratų slydimas yra

labai nežymus - ratai neblokuojami. Esant dideliam slydimui reikia ABS, kad būtų išvengta ratų blokavimo. Iškilus rato blokavimo pavojui atitinkamas modulatoriaus elektromagnetas mažina stabdymo slėgį, tokiu būdu valdydamas rato stabdymo momentą taip, kad jo slydimas būtų ne didesnis kaip 5 %. Slydimui didėjant (blogėja sukibimo sąlygos) slėgis stabdžių sistemoje mažinamas. Ratai greitėjant, jo slydimas mažėja ir slėgis stabdžių sistemoje vėl didinamas. Valdymo blokas apskaičiuoja iš gautų atskirų ratų jutiklių signalų ratų sukimosi greičių dydžius ir slydimą, kad galėtų tinkamai reguliuoti kiekvieno rato stabdymo momento dydį [2, 3, 13].

2.4 Stabdymo proceso įtaka apkrovų pasiskirstymui

Automobilio lėtėjimas atsiranda dėl stabdymo jėgų, veikiančių tarp padangų ir kelio dangos, ir iš visų stabdančių ratų stabdymo jėgų.

Stabdymui svarbios dvi sąvokos:

Stabdymo pagreitis (lėtėjimas) – visų stabdančių jėgų tarp padangų ir kelio dangos suma, padalyta iš automobilio masės:

$$a = \frac{F_{B,vo} + F_{B,hi}}{m} \quad (2.1)$$

Pristabdymas – visų stabdančių jėgų, veikiančių tarp padangų ir kelio dangos, suma, padalyta iš automobilio svorio:

$$z = \frac{F_{B,vo} + F_{B,hi}}{m \cdot g} \quad (2.2)$$

arba

$$z = \frac{F_{B,vo} + F_{B,hi}}{m \cdot g} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

Kol stabdomas ratas neužsiblokuoja, stabdymo jėga, veikianti tarp rato ir kelio dangos, atitinka stabdymo momento prie stabdžio disko ar stabdžio būgno sukeltą stabdžių sistemos jėgą; tačiau jeigu stabdomas ratas užsiblokuoja, tuomet tolygiai bendram automobilio stabdymo poveikiui veikia tik jėgos dalis: stabdanti užblokuoto rato jėga = rato apkrova · slydimas tarp padangos ir kelio dangos.

Kai toliau stipriau spaudžiamas stabdžių pedalas, stabdymo momentas arba stabdžių sistemos jėga vis labiau didinama.

Dėl automobilio lėtėjimo (neigiamo pagreičio) greta statinio apkrovos pasiskirstymo neigiamam pagreičiui didėjant priekiniams ratams tenka papildoma dinaminė apkrova, o užpakalinių ratų apkrova mažėja; ši dinaminė apkrovos pasikeitimo dalis sudaro:

$$\pm m \cdot a \cdot \chi \quad (2.4)$$

čia: m – automobilio masė; a – momentinis pagreitis; χ – svorio centro aukštis / atstumas tarp ratų ašių (0,195–0,235 lengvajam automobiliui su vairuotoju).

Stabdžių sistema būtų išnaudojama optimaliai ir visos padangos būtų tolygiai apkraunamos tuo atveju, jeigu stabdžių sistema kiekvienam ratui per stabdymo momentą suteiktų tiek stabdymo jėgos, kad visų ratų jėgų sukibimas su kelio danga būtų vienodas. Tačiau dėl neigiamo pagreičio, atsirandančio dėl dinaminio ratų apkrovų persiskirstymo, ši sąlyga nėra pateikta kaip paprastas linijinis priekinės ir užpakalinės stabdymo jėgos santykis, tačiau šis pasiskirstymas yra sudėtingesnis ir suvienodinti abiejų ašių ratams suteikiamus stabdymo momentus, taikant stabdžių sistemose naudojamus konstrukcinius elementus, negalima.

2.5 Automobilio stabdymo procesą įtakojančių veiksnių analizė

Lėtėjimas stabdant, kaip ir greitėjimas įsibėgėjant, lemia vidutinį automobilio greitį. Didesnį lėtėjimą lemia maksimalus stabdymo pagreitis. Kuo greičiau pasiekiamas maksimalus ir pastovus stabdymo pagreitis, tuo greičiau mažėja automobilio greitis. Svarbu, kad stabdant būtų kuo trumpesnis stabdymo kelias (didesnis lėtėjimas), kad automobilis neprarastų pusiausvyros ir būtų valdomas.

Stabdymo jėga kontaktuojant ratui su keliu:

$$P_s = \frac{M_s}{r} \quad (2.5)$$

Čia: M_s -stabdymo momentas, r -rato spindulys.

Kad stabdomas ratas nečiuožtų, turi būti vykdoma sąlyga:

$$P_s = G_r \varphi_1 \quad (2.6)$$

čia: G_r – automobilio svoris, tenkantis stabdomam ratui, kai kelias yra horizontalus ($\alpha = 0$), φ_1 - rato sukibimo su keliu koeficientas.

Norint rasti bendrą automobilio stabdymo jėgą, visų stabdomų ratų stabdymo momentus reikia sudėti, todėl:

$$P_{sv} = G\varphi \quad (2.7)$$

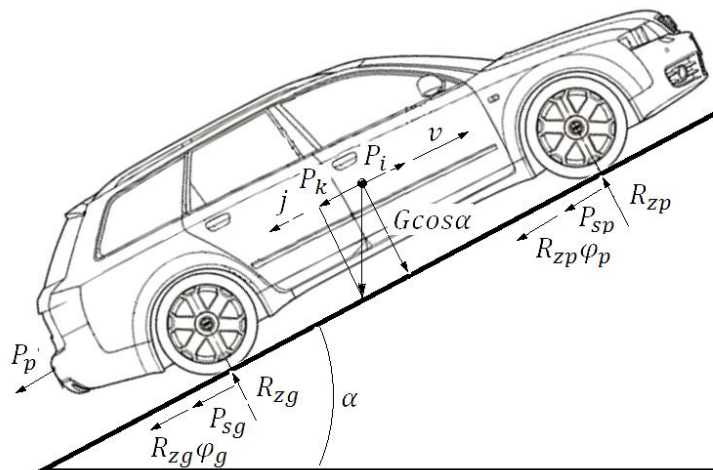
čia: G – viso automobilio svoris; φ_1 – visų ratų vidutinis sukibimo koeficientas. Ekstremaliai stabdomo automobilio tiesaus judėjimo lygtis.

2.6 Ekstremaliai stabdomo automobilio tiesaus judėjimo lygtis

Tarkim, kad stabdant variklis atjungtas nuo transmisijos. Riedėjimo, įkalnės ir oro varža visada padeda stabdyti, inercija, nuokalnė ir nestabdoma priekaba – trukdo stabdyti. 3 paveiksle pateikta stabdymo metu automobilį veikiančios jėgos. Automobilio tiesaus judėjimo lygtį rašome taip pat, kaip ir energetinę lygtį, tik vietoj variklio jėgos imame stabdymo jėgą ir atitinkamai pakeičiame judėjimo varžų ženklus:

$$P_{sp} + P_{sg} + R_{zp}\varphi_p + R_{zg}\varphi_g + G\sin\alpha + kFv^2 - m\delta\dot{v} + P_p = 0 \quad (2.8)$$

čia: P_{sp} – priekinių ratų stabdymo jėga; P_{sg} – užpakalinių ratų stabdymo jėga; R_{zp} – priekinės ašies vertikali apkrova, R_{zg} – galinės ašies vertikali apkrova, φ_p – priekinių padangų sukibimo su keliu koeficientas, φ_g – galinių padangų sukibimo su keliu koeficientas, k – koeficientas įvertinantis oro tankį ir automobilio aptakumo koeficientą, F – automobilio midelio plotas, v – automobilio greitis, m – automobilio masė, δ – dinamiškumo koeficientas, P_p – priekabos pasipriešinimo jėga.



3 pav. Jėgos, veikiančios stabdomą automobilį.[4]

Tarę, kad $\varphi_p = \varphi_g = \varphi$ ir supaprastinę išraišką $P_{sp} + P_{sg} = P_s$ gauname:

$$P_s + G\varphi \cos \alpha + G \sin \alpha + kFv^2 - m\delta\dot{v} + P_p = 0 \quad (2.9)$$

$$P_s + G\gamma + kFv^2 - m\delta\dot{v} + P_p = 0 \quad (2.10)$$

Remdamiesi antruoju Niutono dėsniumi, šią lygtį parašome taip:

$$m\delta\dot{v} = \sum P + P_p \quad (2.11)$$

čia: $\sum P$ – visų stabdymo jėgų arba judėjimui priešinančių jėgų suma.

2.7 Automobilio lėtėjimo pagreitis

Lėtėjimas stabdant randamas iš stabdymo lygties:

$$j = \dot{v} = \frac{1}{m\delta} (\sum P + P_p) = \frac{1}{m\delta} (P_s + G\varphi \cos \alpha + G \sin \alpha + kFv^2 + P_p) \quad (2.12)$$

Didžiausia stabdymo jėga tarp ratų ir kelio yra:

$$P_s \leq G\varphi \cos \alpha \quad (2.13)$$

Ekstremalus stabdymo atveju dažniausiai ratai nesisuka (užblokuoti), todėl $G\varphi = 0$ ir $\delta = 1$. Tarę, kad kelias horizontalus, priekabos nėra, oro pasipriešinimo įtaka nedidelė (kai greitis mažas iki 50 km/h), judėjimo lygtį perrašome taip:

$$G\varphi - m\dot{v} = 0 \text{ arba } j = \dot{v} = \varphi g$$

Kai $P_s = G\varphi \cos \alpha$, $kFv^2 = 0$, $\delta = 1$, gauname:

$$j = \frac{1}{m} (G\varphi \cos \alpha + Gf \cos \alpha + G \sin \alpha = g((\varphi + f) \cos \alpha + \sin \alpha)) \quad (2.14)$$

Įprastomis sąlygomis, stabdant kelyje su sausa asfalto danga, lėtėjimo pagreitis siekia $2,5 - 4,0 \text{ m/s}^2$, o esant ekstremaliai stabdymui – $6,0 - 8,0 \text{ m/s}^2$.

Santykinis lėtėjimo pagreitis:

$$z = \frac{j}{g} \quad (2.15)$$

2.8 Reikalavimai stabdžių sistemai

Darbinė stabdžių sistema skirta visoms eksploatacijos metu transporto priemonei judant atsirandančioms situacijoms, pradedant numatytu stabdymu siekiant sumažinti automobilio greitį ir baigiant ekstremaliu stabdymu avarinėse situacijose. Pagrindiniai jai keliami reikalavimai – reikiamas efektyvumas ir stabdymo tolygumas. Stabdymo efektyvumas išreiškiamas didžiausiu ledžiamu stabdymo keliu pradedant stabdyti esant tam tikram greičiui (atsižvelgiant į transporto priemonės kategoriją greitis būna 40 – 80 km/h) ir lėtėjimo pagreičiu nusistovėjusiu stabdymo režimu. Be to, ribojama stabdžių pedalą veikianti jėga stabdant didžiausiu intensyvumu (lentelė). Tikrinant stenduose nustatoma suminė stabdymo jėga ir jos pasiskirstymas tarp ašių. Stabdžiai turėtų būti bandomi neįkaitę (kai temperatūra prie stabdžių paviršiaus žemesnė nei 100 °C) ir įkaitinti (kai stabdymo mechanizmai įšildyti pagal specialią metodiką), prieš tai stabdant nustatytomis sąlygomis. Reglamentuojamas leidžiamas stabdymo jėgų pokytis stabdymo metu.

Darbinė stabdžių sistema automobiliuose turi turėti bent du nepriklausomus kontūrus. Reglamentuojamas stabdžių sistemos efektyvumo sumažėjimas sugedus vienam kontūriui. Darbinės stabdžių sistemos reikalavimai pateikiami 2.1 lentelėje:

2.1 lentelė[1]

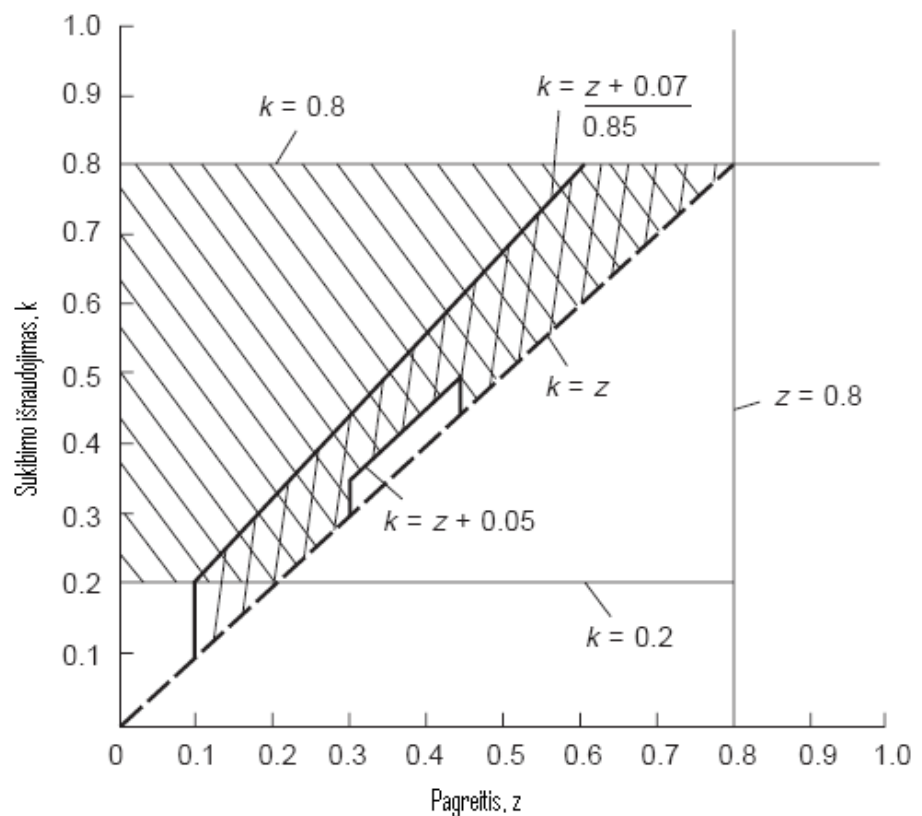
Transporto priemonės kategorija	Stabdymo režimas		Efektyvumo reikalavimai	
	Pradinis greitis, km/h	Maksimali stabdžių pedalą veikianti jėga, N	Maksimalus stabdymo kelias, m	Minimalus lėtėjimas nusistovėjusiu režimu, m/s ²
M1	80	490	43,2	7,0
M2, M3	60	687	32,1	6,0
N1	80	687	61,2	5,0
N2, N3	60	687	36,7	5,0
Sąstatai su M1	80	490	50,7	5,8
Sąstatai su M2, M3	60	687	33,9	6,0
Sąstatai su N1	80	687	63,6	5,0
Sąstatai su N2, N3	60	687	38,5	5,0

Rezervinė, nepriklausoma nuo darbinės, stabdžių sistema numatoma tam atvejui, jei sugestų darbinė stabdžių sistema. Šiai sistemai nustatytas minimalus stabdymo pagreitis M1 kategorijos transporto priemonėms – 2,9 m/s², M2 – 2,5 m/s², N2 – 2,2 m/s². Kaip rezervinę sistemą leidžiama numatyti stovėjimo stabdžių sistemą, jei jos pavara nėra priklausoma nuo darbinės stabdžių sistemos.

Viena iš stabdžių sistemos charakteristikų yra jos greitaveika. Stabdžių sistemos greitaveika priklauso nuo pavaros tipo stabdžių mechanizmų. Hidraulinės stabdžių sistemos stabdžių mechanizmų suveikimo trukmė, kol trinkelės priartėja iki stabdomo paviršiaus, diskiniams stabdžiams lygi 0,05 – 0,07 s, būgniniams stabdžiams – 0,15 – 0,2 s, sistemoms su pneumatine pavarą – 0,2 – 0,4 s. Prie šios trukmės reikia pridėti slėgio didėjimo iki nustatyto lygio trukmę. Hidraulinėms pavaroms ji lygi: 0,05 – 0,2 s lengviesiems automobiliams ir 0,05 – 0,4 sunkvežimiams. Pneumatinėms stabdžių sistemoms ši trukmė lygi: 0,15 – 1,5 s sunkvežimiams ir 0,12 – 1,3 s autobusams. Be to, skaičiuojant stabdymo kelią įvedama vairuotojo reakcijos laiko trukmė, kuri, atsižvelgiant į vairuotojo būseną ir situaciją kelyje, numatoma 0,2 – 1,5 s. Modeliuojant paprastai numatoma 0,8 s.

2.9 Padangų sukibimo su kelio danga išnaudojimas

Pagal direktyvinius nurodymus sukibimo koeficientas laikomas efektyviu tada, kai jo vertės patenka į intervalą 0,2-0,8. Tai yra vienas iš svarbiausių ES direktyvos reikalavimų stabdžių sistemoms, nes susijęs su automobilio stabilumu. Sukibimo su kelio danga išnaudojimo grafikas M1 tipo transporto priemonėms pavaizduotas 4 pav.



4 pav. M1 kategorijos automobilio padangų sukibimo su kelio danga išnaudojimo grafikas.[4]

Pagal direktyvą raidė k žymi sukibimo išnaudojimą, z – pagreitį lyginant su $g = 9,8m/s^2$. Naudojama priklausomybė:

$$z = \frac{j}{g} \geq 0,1 + 0,85(k - 0,2) \quad (2.16)$$

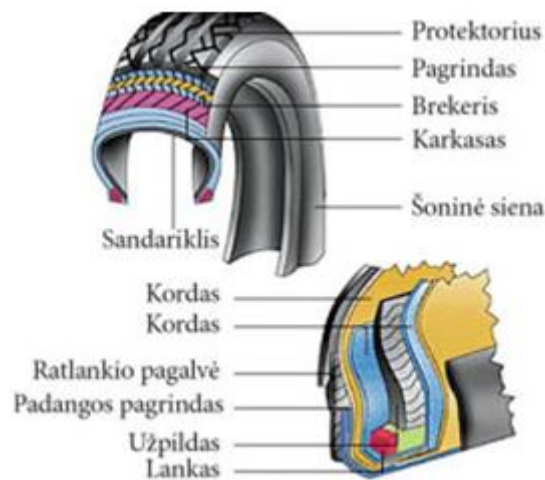
čia: j – automobilio pagreitis, (m/s^2).

Reikalavimai išskiria priekinę ir galinę ašis. Priekinės ašies sukibimo išnaudojimo kreivė turi būti aukščiau už galinės ašies sukibimo išnaudojimo kreivę visais galimais apkrovimo ir stabdymo pagreičio tarp $0,15g - 0,8g$ atvejais. Esant $0,3g - 0,45g$ pagreičio vertėms leidžiamas kreivių pasikeitimas su sąlyga $k = z + 0,05$. Išvardintos sąlygos taikomos plotui, apibrėžtam tiesėmis $k = 0,8$ ir $z = 0,8$. Nagrinėtų sąlygų išlaikymas apsaugo nuo galinių ratų užblokavimo, stipriai nesumažindamas stabdžių sistemos efektyvumo.

3 Stabdymo efektyvumą įtakojančių procesų analizė

3.1 Padangos

Padanga – tai vienas iš automobilio krypties stabilumą ir stabdymo efektyvumą užtikrinančių elementų. Padangą sudaro protektorius, tiesiogiai kontaktuojantis su kelio danga, sudarytas iš rantytosios ir nerantytosios dalies, bei kordas, armuojantis gumą ir užtikrinantis galimybę per žiedą perduoti apkrovas diskui. Padangos sandara pateikta 5 pav.



5 pav. Padangos sandara[15]

Padangos krašto forma projektuojama taip, kad būtų gerai sandarinama disko ir padangos kontakto vieta, nes visos apkrovos, išskyrus didžiąją radialinės apkrovos dalį, į diską perduodamas būtent žiedu.

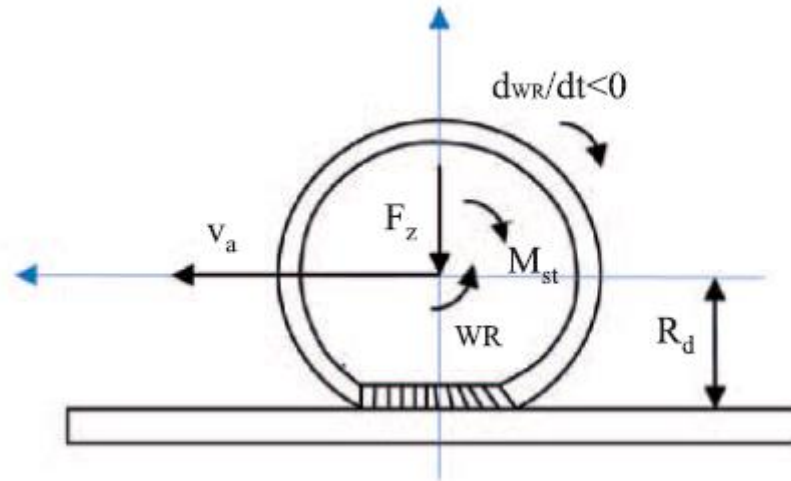
3.2 Padangos sukibimas su kelio danga

Rato ir kelio kontakte apskritimine kryptimi atsiranda dvi zonos: padangos protektorius suspaudžiamas (kontakto pradžioje); kita zona - protektorius išstempiamas (po kontakto). Kontakto plote vyksta praslydimas arba padangos sluoksnių šlytis, kuriuose tangentiniai įtempimai didesni už sukibimo jėgų įtempimus. Transporto priemonės rato linijinis greitis v_d rato centre nesutampa su apskritiminiu rato greičiu $R_d\omega_R$ kontakte (R_d - rato dinaminis spindulys, ω_R - rato kampinis greitis). Dėl šių greičių nesutapimo atsiranda praslydimo greitis (6 pav.). Praslydimo greitis v_s rato ir kelio kontakte yra lygus:

Stabdymas:

$$v_s = R_d \omega_R - v_a \quad (3.1)$$

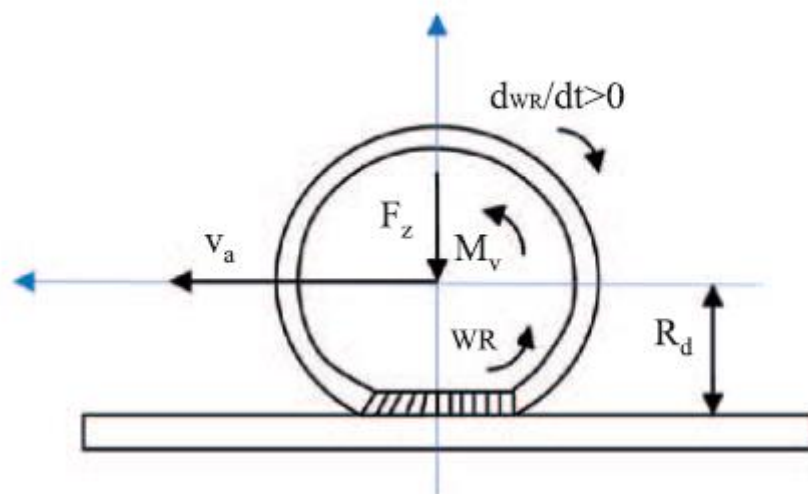
čia: R_d – rato dinaminis spindulys; ω_R – rato kampinis greitis; v_a – automobilio greitis.



6 pav. Stabdomą ratą veikiančios jėgos.[4]

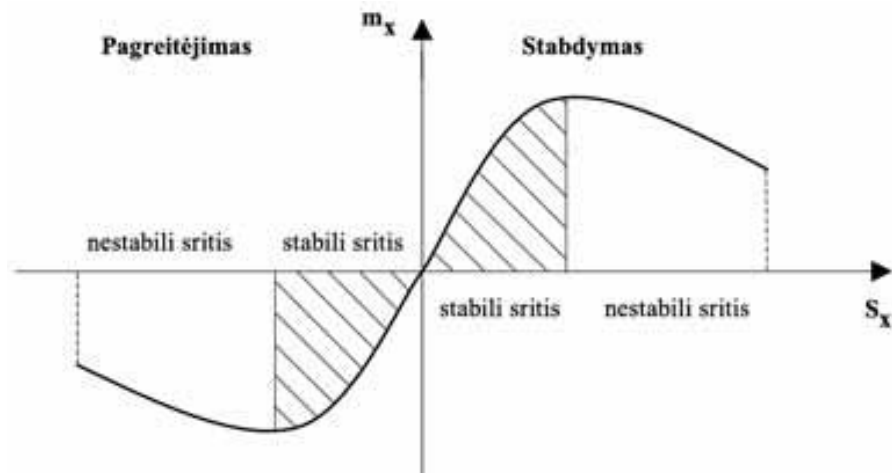
Pagreitėjimas:

$$v_s = v_a - R_d \omega_R \quad (3.2)$$



7 pav. Greitėjantį ratą veikiančios jėgos.[4]

Viena iš pagrindinių rato su kelio danga sukibimą apibūdinančių charakteristikų yra išilginio sukibimo koeficiento μ_x priklausomybė nuo išilginio santykinio slydimo s_x , ši priklausomybė vadinama $\mu_x - s_x$ diagrama (8 pav.) :



8 pav. $\mu_x - s_x$ diagrama[21]

Rato teorijoje įvedama santykinio išilginio slydimo koeficiento s_x sąvoka:

$$s_x = \frac{v_s}{v_a} \quad (3.3)$$

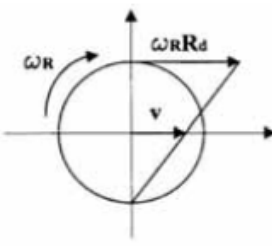
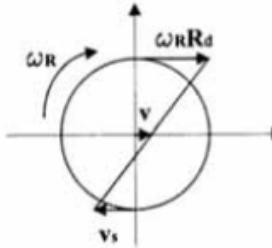
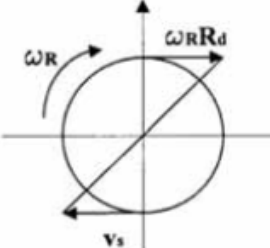
čia: v_a – rato linijinis greitis

Išilginį sankybio koeficientą galime išreikšti 3.4 formule, kaip išilginės jėgos F_x ir vertikalios jėgos F_z , veikiančios statmenai i kontakto paviršių, santykį:

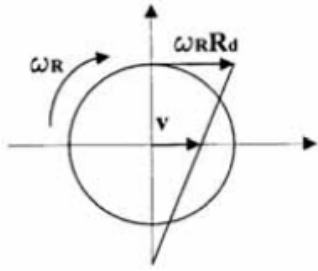
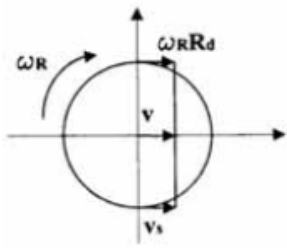
$$\mu_x = \frac{F_x}{F_z} \quad (3.4)$$

Iš 8 pav. pateiktos diagramos matome, jog didėjant santykiniam išilginio slydimo koeficientui s_x išilginis sukibimo koeficientas μ_x didėja beveik tiesiškai. Šioje srityje praslydimas yra nedidelis ir turi nežymią įtaką transporto priemonės stabilumui. Didėjant išilginio slydimo koeficientui pasiekiami maksimali $\mu_{x,max}$ reikšmė. Rato santykinis išilginis slydimo koeficientas, kuriam esant pasiekiami maksimali išilginio sukibimo koeficiento reikšmė, vadinamas kriziniu ir žymimas $s_{x,kr}$. Kai $s_x = 1$ – ratas visiškai užblokuotas ir nesisuka, kai $s_x = -1$ – ratas visiškai prasisuka ir $v_a=0$. Kai $s_x > s_{x,kr}$, transporto priemonė praranda stabilumą.

Priklausomai nuo transporto priemonės judėjimo kinematinių parametrų (greičių) galimi penki santykinio išilginio slydimo koeficiento atvejai (9, 10 pav.).

Laisvai riedantis ratas	Pagreitėjimas	
$s_x = 0$	su praslydimu $s_x < 1$	su praslydimu $s_x = 1$
		
$v_s = R_d \omega_R$	$v < R_d \omega_R$	$v = 0$
$s_x = 0$	μ_x $s_x = \frac{v_s}{R_d \omega_R}$	$s_x = 1$

9 pav. Rato santykinio išilginio slydimo koeficiento atvejai[4]

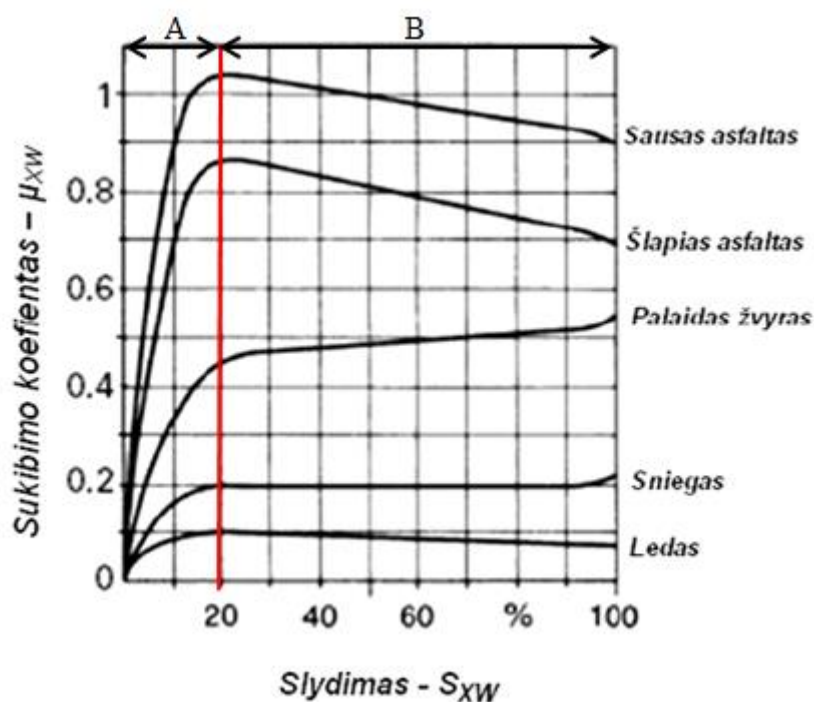
Stabdymas	
su praslydimu $s_x < 1$	su praslydimu $s_x = 1$
	
$v > R_d \omega_R$	$\omega_R = 0$
$v_s = v - R_d \omega_R$ $s_x = \frac{v_s}{v}$	$s_x = 1$

10 pav. Rato santykinio išilginio slydimo koeficiento atvejai[4]

Padangos sukibimo su kelio paviršiumi koeficientas nėra pastovus dydis ir gali būti kintantis dėl tokių parametrų kaip:

- padangos protektoriaus gylis;
- oro salygos;
- kelio dangos būklė;
- padangos gumos mišinio mechaninės ir fizikinės savybės ir kt.

Atskirų padangų sukibimo su keliu koeficiento priklausomybės nuo slydimo gali keistis tiek absoliučia koeficiento reikšme, tiek kitimo nuo slydimo pobūdžiu, tačiau šis skirtumas nėra toks ryškus. Rato slydimo – sukibimo charakteristika esant skirtingoms kelio dangoms pateikta 11 pav.



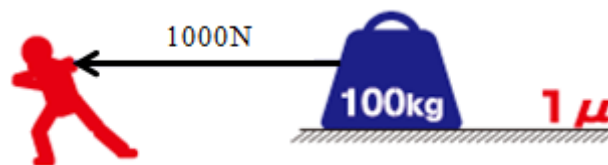
11 pav. Rato slydimo – sukibimo su kelio danga charakteristika.[5]

Kol sukibimo koeficientas μ_{χ} didėja, slydimas išlieka stabilus ir transporto priemonė nepraranda stabilumo, kai sukibimo koeficientas pasiekia maksimalią reikšmę, o slydimas toliau didėja, transporto priemonė tampa nestabili, šiuo atveju grafiką galima išskirti į stabilią A ir nestabilią B zonas.

3.3 Stabdžių trinkelė trinties koeficiento įtaka stabdymui

Vienas iš svarbiausių kriterijų, kada norime įvertinti stabdžių trinkelė stabdymo efektyvumą, yra trinties koeficientas. Trinties koeficientas, tai trinties jėgos, tarp dviejų tarpusavyje kontaktuojančių paviršių, santykis su jėga, veikiančia statmenai į kontaktuojančius paviršius. Kuo mažesnis trinties koeficientas tarp kontaktuojančių paviršių, tuo mažesnės jėgos reikia norint priversti juo praslysti vienas kito atžvilgiu. Esant dideliame trinties koeficientui tarp kontaktuojančių paviršių, reikalaujama didesnė jėga, kad jie pradėtų slysti vienas kito atžvilgiu.

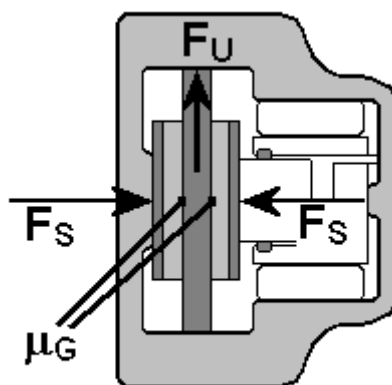
Trinties koeficientas μ lygus 1 kai 100 kg masės kūnui pajudinti reikia 1000 N jėgos, o jėgos veikimo kryptis yra lygiagreti plokštumai, kuria slysta kūnas (12 pav.).



12 pav. Trinties koeficientas.[10]

Skaičiuojant trinties koeficientą tarp stabdžių trinkelė ir stabdžių disko, stabdymo proceso metu, vertiname rato stabdymo momentą ir slėgį, sudarytą stabdžių darbiniam cilindre (gali būti ir du darbiniai stabdžių cilindrai, tai priklauso nuo vykdančiųjų stabdžių sistemos elementų konstrukcijos).

Stabdymo jėga, automobilio stabdžių sistemoje, F_u yra trinties jėga veikianti tarp stabdžių trinkelė ir stabdžių disko (jei stabdžių stabdomas elementas būgnas, tai trinties jėga veikia tarp trinkelė ir būgno), jėgų veikimo kryptys pavaizduotos 13 pav.



13 pav. Stabdymo jėga stabdžių elemente.[20]

Stabdymo jėga F_u apskaičiuojama pagal 3.5 formulę. Stabdymo jėga lygi dvigubai trinties koeficiento ir stabdžių trinkelėlių prispaudimo jėgos sandaugai:

$$F_u = 2 \cdot \mu \cdot F_s \quad (3.5)$$

čia: μ – trinties koeficientas tarp stabdžių disko ir trinkelės; F_s – trinkelėlių prispaudimo jėga.

Apskaičiuoti stabdžių disko stabdymo momentui naudojama 3.6 formulė, kadangi reikia įvertinti efektyvų stabdžių disko spindulį r_e . Efektyvus spindulys – tai atstumas nuo stabdžių disko centro iki slėgio, veikiančio į stabdžių diską, centro.

$$M_s = F_u \cdot r_e \quad (3.6)$$

Trinkelėlių prispaudimo jėgos F_s dydis priklauso nuo slėgio darbiniam stabdžių cilindre ir nuo darbinio stūmoklio ploto, o prispaudimo jėga priklauso nuo pedalo spaudimo jėgos. Žinant slėgį P trinkelėlių prispaudimo jėgą F_s galima apskaičiuoti pagal 3.7 formulę:

$$F_s = P \cdot A \quad (3.7)$$

čia: A – darbinio stabdžių stūmoklio plotas.

Stabdžių sistemoje yra kinetinės energijos, kurią suteikia judantis automobilis ir ši kinetinė energija, stabdymo proceso metu virsta šilumine energija. Judančio kūno kinetinė energija išreiškiama formule:

$$E_k = \frac{m_a \cdot v_a^2}{2} \quad (3.8)$$

čia: m_a – automobilio masė; v_a – automobilio greitis.

Idealiu atveju, ši energija yra absorbuojama stabdžių sistemoje. Stabdymo proceso metu, kinetinė energija tampa šilumine ir ją galima išreikšti priklausomybe:

$$\frac{m_a \cdot v_a^2}{2} \rightarrow m_b \cdot C_p \cdot \Delta T_b \quad (3.9)$$

čia: m_b – stabdžių sistemos elementų, absorbuojančių energiją, masė; C_p – medžiagos specifinė šiluma; ΔT_b – temperatūros pokytis.

Stabdžių trinkelėlių trinties koeficientas nėra viendodas, jį lemia medžiagos, iš kurių yra gaminami stabdžių trinkelėlių frikciniai antdėklai ir trinties koeficiento reikšmės svyruoja nuo 0,3 iki 0,5. Esant didesniam trinties koeficientui, reikalingas mažesnis hidraulinio skysčio slėgis darbiniam cilindre, kad būtų pasiektas maksimalus rato stabdymo momentas. Taip pat reikalinga mažesnė stabdžių pedalo spaudimo jėga.

14 paveiksle pateikiama ATE firmos stabdžių trinkelės parametrų žymėjimas:



14 pav. Stabdžių trinkelėlių parametrai.[17]

Stabdžių trinkelėlių eksploatacines savybes M1 grupės automobiliams standartizuoja SAE J866 standartas. Išreikštas dviejų raidžių kodu: pirma raidė žymi trinties charakteristiką, esant žemai temperatūrai (0 – 100 °C), o antra raide žymima trinties charakteristika, esant aukštai temperatūrai (100 – 400 °C). Jei pirmoji raidė yra mažoji, o antra didžioji, stabdžių trinkelė geriau dirba esant aukštai temperatūrai, jei antroji raidė yra mažoji, o pirma didžioji stabdžių trinkelė gali prarasti stabdymo efektyvumą, esant aukštai temperatūrai.

Geriausios stabdžių trinkelės dirba efektyviai esant žemai ir aukštai temperatūrai ir žymimos dviem didžiosiomis raidėmis (pvz. FF). Trinties koeficientų reikšmės ir žymėjimas pateikiami 3.1 lentelėje.

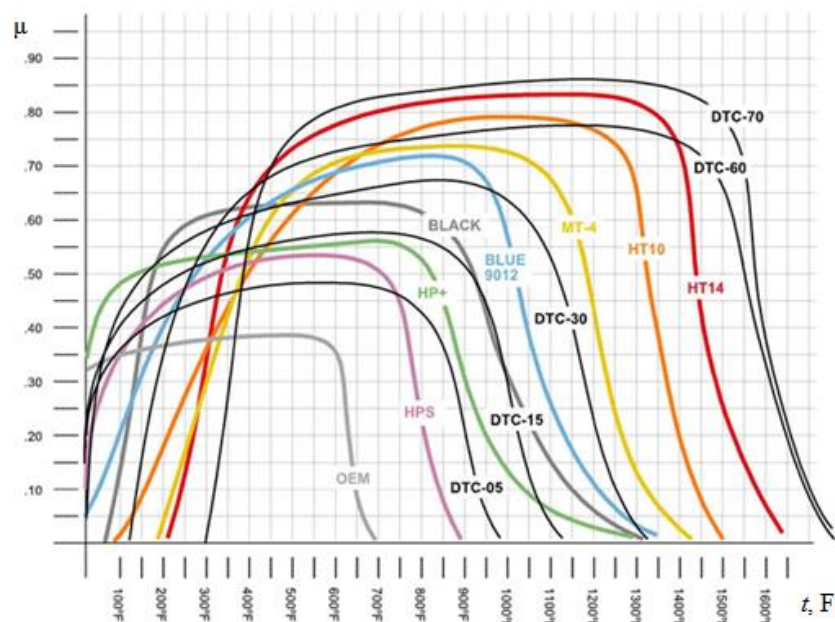
Svarbiausias stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento faktorius yra pasiekti maksimalų trinties lygį iškart po stabdžių pedalo paspaudimo. Jei pradinė stabdymo jėga maža, o darbinio

skysčio slėgis cilindre maksimalus, tai trinties koeficientas per mažas ir stabdžių sistema negali sukurti pakankamo stabdymo momento ir dėl šios priežasties pailgėja stabdymo kelias.

3.1 lentelė[14]

Trinties koeficientas μ	Kodas
iki 0,15	C
nuo 0,15 iki 0,25	D
nuo 0,25 iki 0,35	E
nuo 0,35 iki 0,45	F
nuo 0,45 iki 0,55	G
daugiau negu 0,55	H
neklasifikuojamas	Z

Kitas svarbus stabdžių trinkelėlių faktorius yra stabilus trinties koeficiento išlaikymas, kintant temperatūrai kontaktuojamoje zonoje (tarp stabdžių disko ir stabdžių trinkelės). Trinties koeficientas išlieka pastovus ir galima pasiekti efektyvų stabdymą tik tam tikruose temperatūrų intervaluose, kadangi, esant žemai arba per aukštai temperatūrai tarp stabdžių disko mažėja trinties koeficientas ir negalima pasiekti maksimalaus rato stabdymo momento. 15 paveiksle pateikta „HAWK“ stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros:



15 pav. „HAWK“ stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros. [21]

Norint padidinti trinties koeficientą ir užtikrinti stabilų ir efektyvų stabdžių sistemos darbą, trinkelė gamybai naudojami priedai, tokie kaip bronzos, plieno pluoštas, stiklo pluoštas, kevlaras, keramika, titanas, anglis. Tai yra populiariausi priedai, naudojami stabdžių trinkelė gamybai.

4 Automobilio stabdymo efektyvumo tyrimas

4.1 Tyrimo tikslas ir uždaviniai

Išnagrinėjus stabdymo efektyvumą įtakojančius procesus, pastebėta, jog nėra pateikta jokių duomenų, kaip kinta automobilio stabdymo efektyvumas ir stabdymo kelias ekstremalaus stabdymo metu, ilgą laiką važiuojant šlapia kelio danga lyjant, kai stabdžių trinkelės ir diskas yra nuolatos drėkinami vandens srauto. Tuo remiantis, šiame darbe analizuojama, kaip pasikeičia M1 klasės lengvojo automobilio stabdymo kelias, esant drėgnoms stabdžių trinkelėms. Pagrindinis šio darbo tikslas – nustatyti maksimalų stabdymo kelio pailgėjimą ir nustatyti kaip kinta stabdžių trinkelių trinties koeficientas stabdant.

Siekiant atlikti šį tyrimą sprendžiami uždaviniai:

- Parengti eksperimentinio tyrimo metodiką, sukurti stabdžių trinkelių drėkinimo sistemą;
- Eksperimentiniu tyrimu nustatyti kaip kinta stabdymo kelias, esant skirtingam trinkelių drėgnumui;
- Nustatyti stabdymo efektyvumą lemiančių veiksnių įtaką;
- Remiantis gautais tyrimų rezultatais parengti išvadas.

4.2 Tiriamasis automobilis

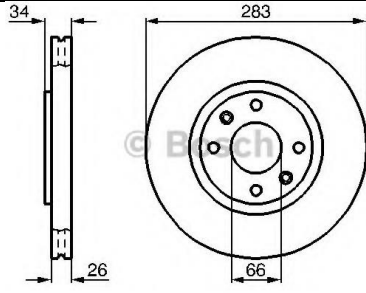
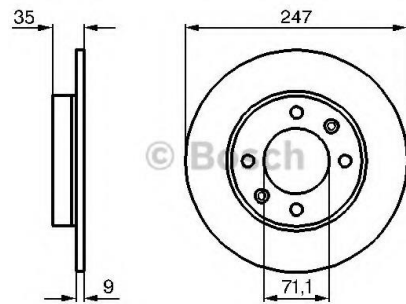
Tiriamasis automobilis Peugeot 307 Station Wagon - 2.0 HDi (107 Hp) (16 pav.). Šis automobilis priskiriamas M1 transporto priemonių kategorijai, tyrimo metu bus nagrinėjama kaip kinta stabdymo kelias, esant skirtingoms trinkelių drėkinimo sąlygoms (automobilis bus stabdomas ekstremaliai, pradinis automobilio greitis 80 km/h).



16 pav. Tiriamasis automobilis.[18]

Automobilio techniniai duomenys pateikiami 4.1 lentelėje:

4.1 lentelė

Markė	Peugeot
Modelis	307
Modifikacija	307 Station Wagon
Variklis	2.0 HDi (107 Ag)
Durų skaičius	5
Variklio galia	107 Ag/4000 aps/min.
Maksimalus greitis	184 km/h
Įsibėgėjimas 0 - 100 km/h	13.8 s
Kuro bako talpa	60 l
Sėdimų vietų skaičius	5
Ilgis	4420 mm.
Plotis	1755 mm.
Aukštis	1570 mm.
Ratų bazė	2710 mm.
Priekinė tarpvėžė	1505 mm.
Galinė tarpvėžė	1510 mm.
Variklio padėtis	Priekyje, skersai
Variklio darbinis tūris	1997 cm ³
Sukimo momentas	250 Nm/1750 aps/min.
Kuro tipas	Dyzelinas
Varantieji ratai	Priekiniai
Pavarų skaičius	5
Priekiniai stabdžių diskai	 <p>Ventiliuojami</p>
Galiniai stabdžių diskai	 <p>Neventiliuojami</p>
ABS sistema	yra
Masė (nepakrauto)	1420 kg.
Masė (pakrauto)	2015 kg.
Padangos	205/55 R 15

4.3 Ašims tenkančių apkrovų pasiskirstymas stabdant

Automobilio ašims tenkančių apkrovų dydžiai nėra vienodi. Statinės ašių apkrovos, veikiančios vertikaliai žemyn, priklauso nuo automobilio masės centro padėties koordinatinių ašių atžvilgiu. Šios apkrovos nustatomos automobilių sveriant, kai kiekvienos ašies apkrova matuojama atskiru svorio elementu. Idealiu ašių apkrovimo atveju, apkrovos pasiskirsto tolygiai kiekvienam ratui. Stabdymo metu ašių apkrovimas priklauso nuo masių centro aukščio ir automobilio lėtėjimo pagreičio. Statinių apkrovų matavimą galima atlikti naudojant Longacre Accuset Computer scales svarstyklės (17 pav.).



17 pav. Longacre Accuset Computer scales svarstyklės[19]

Statinės tiriamo automobilio ašių apkrovos pateiktos 4.2 lentelėje. Tiriamas automobilis sveriamas dalinai pakrautas. Bendrą automobilio masę sudaro:

- nepakrauto automobilio masė;
- vairuotojas ir keleivis;
- 30 l degalų;
- tyrimui naudojama įranga.

4.2 lentelė

Automobilio masės pasiskirstymas, kg				Automobilio masės pasiskirstymas %			
Priekis kairė	475,8	Galas kairė	389,1	Priekis kairė	29,1	Galas kairė	23,8
Priekis dešinė	446,3	Galas dešinė	323,8	Priekis dešinė	27,3	Galas dešinė	19,8
Priekinės ašies apkrova	922,1	Galinės ašies apkrova	712,9	Priekinės ašies apkrova	56,4	Galinės ašies apkrova	43,6
Bendra masė m, kg	1635			Bendra masė m, kg	1635		

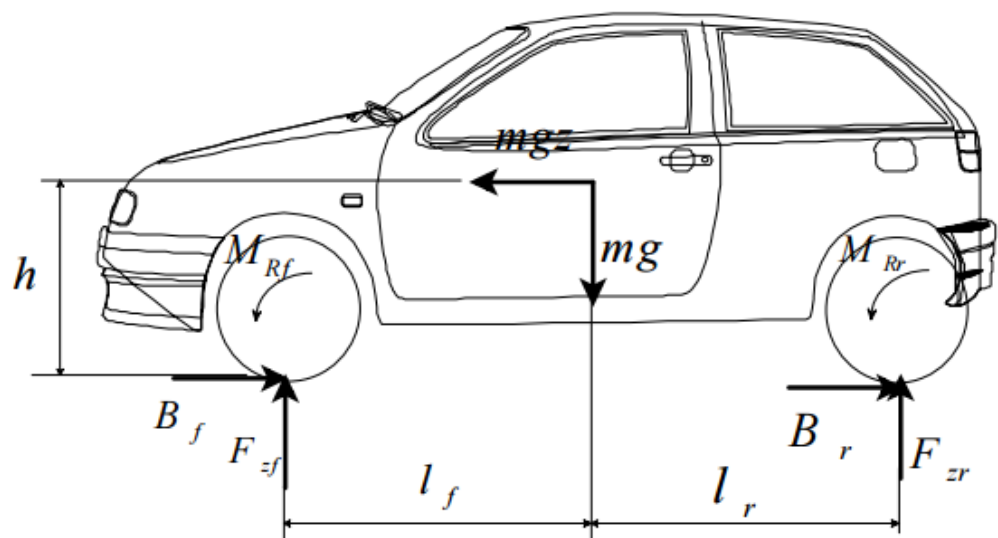
Kadangi automobilis juda su pagreičiu a , stabdant automobilį atsiranda inercijos jėga, todėl būtina įvertinti masės centro koordinatės. Automobilį stabdant, priklausomai nuo lėtėjimo pagreičio dyžio, persiskirsto ašių apkrovos, priekinės ašies apkrova didėja, o galinė ašis yra nukraunama. Šis stabdymo procesas suteikia skirtingus priekinių ir galinių ratų stabdymo momentus. Masės centro koordinatės randamos įvertinant automobilio agregatų išdėstymo koordinatės ir masę, rezultatai apskaičiuojami naudojant „MAS1“ programą. Gauti rezultatai pateikti 18 pav:

Automobilių masės centro koordinatė skaičiuoklė

Bazė, mm	Masė kg	Atstumas nuo buferio iki priekinės ašies, mm	Rezultatai		
2710	1635	852	Masė, kg	1635	
			Xc, mm	2032,3	
			Zc, mm	658,9	
			a, mm	1180,3	
			b, mm	1529,7	
			bazė l, mm	2710	
			hc, mm	658,9	
			R1, N %	9053,9	56,4
			R2, N %	6985,4	43,6

18 pav. „MAS1“ programos rezultatai.

Gautas ašių apkrovos perskaičiuojame pagal 4.1 ir 4.2 formulę, kadangi skaičiuojant stabdymo jėga B_f ir B_r kinta, negalima vertinti statinio ašių apkrovimo. Ašių apkrovimas skaičiuojamas esant skirtingiems santykinėms stabdymo pagreičiams z , o gauti rezultatai pateikiami grafiškai 20 pav.



19 pav. Stabdomą automobilį veikiančios jėgos.[4]

Pagal gautus grafinius duomenis (20 pav), atsižvelgiant į tai, kokia kelio danga buvo stabdoma, ir naudojantis 4 pav. grafiko duomenimis, nustatome ašių apkrovas stabdymo metu. Pagal gautas apkrovas, nustatoma kitų jėgų įtaka stabdymo efektyvumui ir apskaičiuojam stabdžių trinkelėlių sukibimo koeficientas su stabdžių disku.

$$F_{zf} = F_{zfstat} + mg \frac{h}{l} \cdot z = mg \left(\frac{l_f}{l} + \frac{h}{l} \cdot z \right) \quad (4.1)$$

čia: F_{zf} – priekinės ašies apkrova stabdant; F_{zfstat} – statinė priekinės ašies apkrova; z – santykinis stabdymo pagreitis; l_r – atstumas nuo galinės ašies iki masių centro; h – masių centro aukštis.

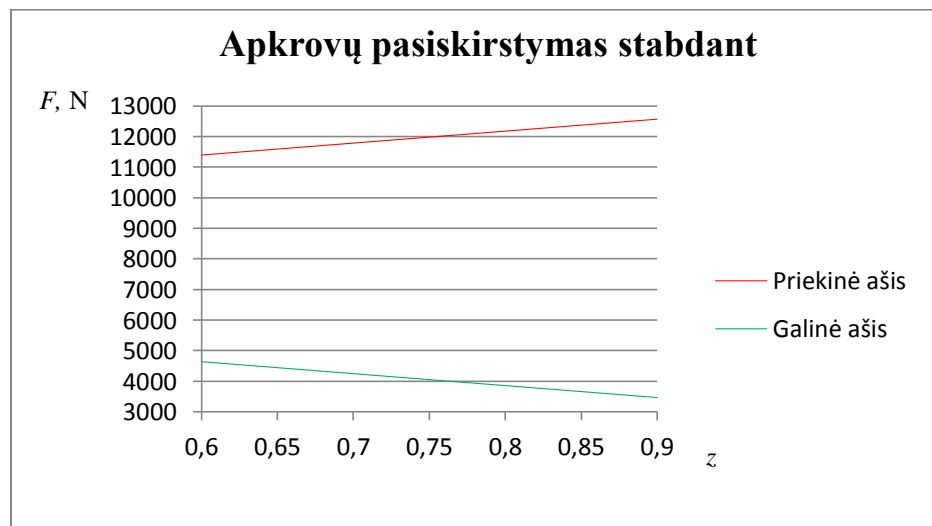
$$F_{zr} = F_{zrstat} - mg \frac{h}{l} \cdot z = mg \left(\frac{l_f}{l} - \frac{h}{l} \cdot z \right) \quad (4.2)$$

čia: F_{zr} – galinės ašies apkrova stabdant; F_{zrstat} – statinė galinės ašies apkrova; l_f – atstumas nuo priekinės ašies iki masių centro.

Santykinis lėtėjimo pagreitis z išreiškiamas lėtėjimo pagreičio a ir laisvojo kritimo pagreičio santykiu:

$$z = \frac{a}{g} \quad (4.3)$$

Apskaičiuojame ašių apkrovų pasiskirstymą, kai santykinis stabdymo pagreitis kinta nuo 0,6 iki 0,9, ekstremalaus stabdymo metu turi būti pasiektas 0,6 – 0,8 santykinis stabdymo pagreitis.

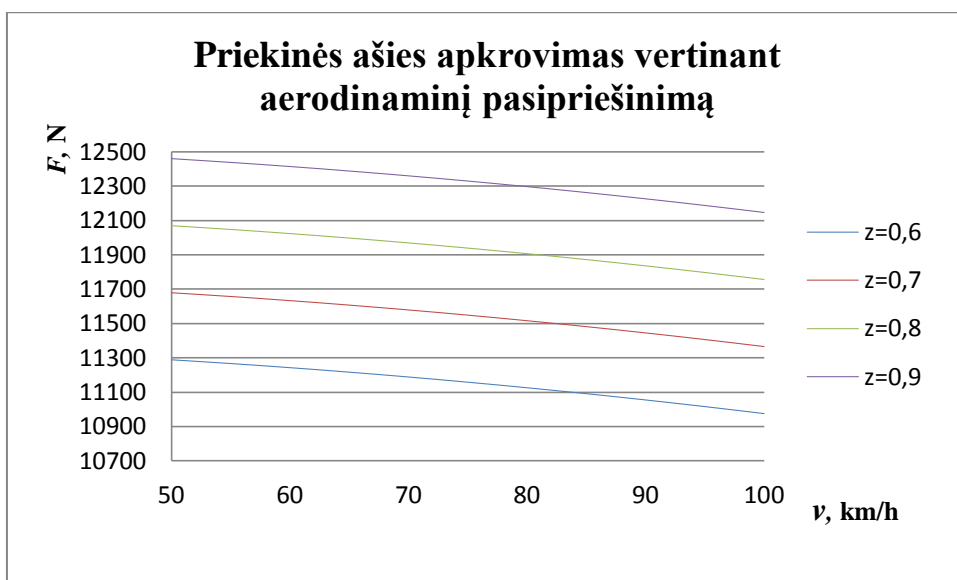


20 pav. Ašių apkrovos pasiskirstymas pagal santykinį stabdymo pagreitį.

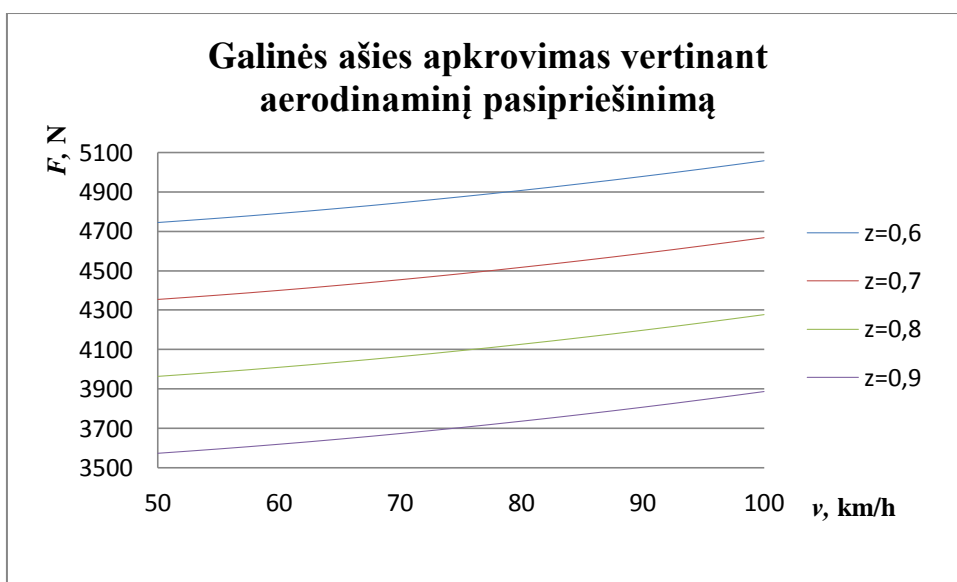
Iš 20 pav. grafiko matome, jog stabdant priekinė ašis yra apkraunama didesne jėga, negu statinė apkrova, o galinės ašies apkrova mažėja. Apkrova kinta tiesiškai. Pagal šiuos duomenis galime teigti, jog didžiausią stabdymo momentą turi sukurti priekiniai ratai.

4.4 Stabdymo momento ir stabdžių trinkelėlių efektyvumo nustatymas

Jeigu pradinis automobilio stabdymo greitis neviršija 50 km/h, aerodinaminio pasipriešinimo jėgos galime nevertinti, tačiau, jeigu pradinis automobilio greitis stabdymo metu yra didesnis už minėtąjį, perskaičiuojame apkrovų pasiskirstymą ir rezultatus pateikiame grafiškai.



21 pav. Priekinės ašies apkrovimas pagal greitį.



22 pav. Galinės ašies apkrovimas pagal greitį.

Aukščiau pateiktuose grafikuose (21 ir 22pav.) matome, kaip keičiasi ašių apkrovos pasiskirstymas esant skirtingam pradiniam stabdymo greičiui, vertinant aerodinaminio pasipriešinimo jėgą 4.4 formulė:

$$F_{Ae} = 0.5\rho c_d A_m (v + v_{pv})^2 \quad (4.4)$$

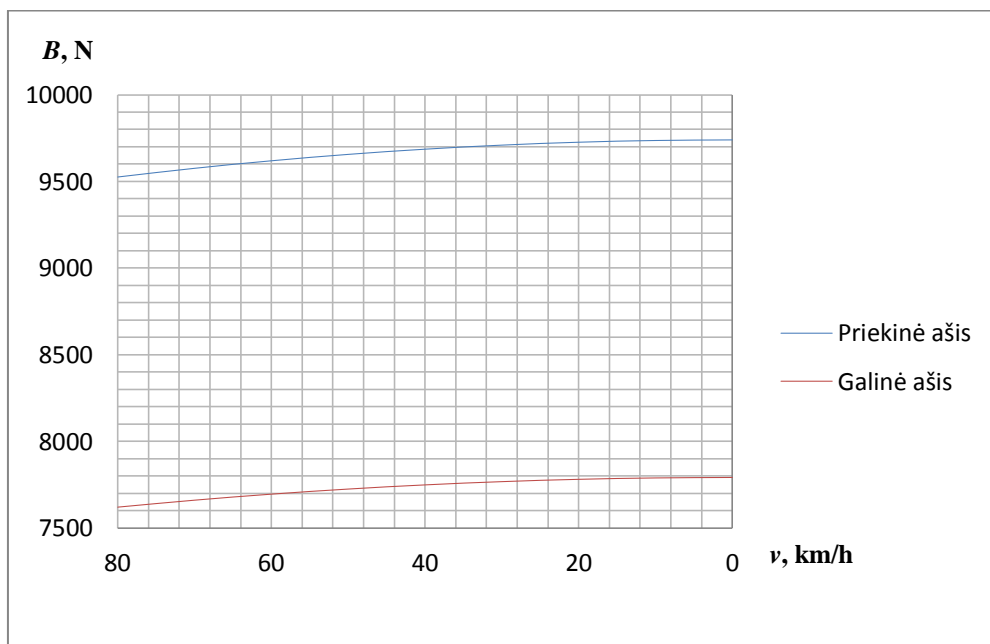
čia: ρ - atmosferos oro tankis ($1.2 \div 1.3 \text{ kg/m}^3$); c_d - aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas (lengviesiems automobiliams $c_d = 0.26 \div 0.7$); A_m - automobilio priekinės projekcijos (midelio) plotas (m^2).

Pertvarke 2.8 formulę apskaičiuojame ratams tenkančias stabdymo jėgas, o žinodami rato spindulį r , apskaičiuojame ratų stabdymo momentus.

$$B_f + B_r = mgz - F_{ae}$$

Kadangi bandymo metu stabdymas vyksta sauso asfalto danga, priimame, kad padangos sukibimo koeficientas su kelio danga φ lygus 0,8, optimalus santykinis stabdymo pagreitis lygus 0,8. Rezultatai pateikiami grafiškai, nes vertinama aerodinaminio pasipriešinimo jėga. Kad ratai stabdymo metu neslystų turi būti tenkinamos sąlygos:

$$B_f < F_{zf} \cdot \varphi \text{ ir } B_r < F_{zr} \cdot \varphi$$



23 pav. Stabdymo jėgų pasiskirstymas ir kitimas, kai $\varphi=0,8$ ir $z=0,8$.

Toliau skaičiuojama stabdžių trinkelė optimalus trinties koeficientas, kuriam esant, stabdymas būtų efektyvus ir išlaikytas pastovus santykinis lėtėjimo pagreitis, kuris lygus 0,8. Stabdžių pedalą veikianti jėga lygi 490 N, naudojant manometrą išmatuotas pagrindinio stabdžių stūmuoklio sukuriamas slėgis, veikiant šiai jėgai, lygus 56 bar. Priekinio darbinio stabdžių cilindro diametras lygus 54 mm, galinio – 38 mm. Skaičiavimai atliekami vertinant statinį rato diametrą, kuris lygus 304 mm.

Stabdymo jėga F_u apskaičiuojama pagal 3.5 formulę. Stabdymo jėga lygi dvigubai trinties koeficiento ir stabdžių trinkelė prispaudimo jėgos sandaugai:

$$F_u = 2 \cdot \mu \cdot F_s$$

čia: μ – trinties koeficientas tarp stabdžių disko ir trinkelės; F_s – trinkelė prispaudimo jėga.

Apskaičiuoti stabdžių disko stabdymo momentui naudojama 3.6 formulė, kadangi reikia įvertinti efektyvų stabdžių disko spindulį r_e . Efektyvus spindulys – tai atstumas nuo stabdžių disko centro iki slėgio, veikiančio į stabdžių diską, centro.

$$M_s = F_u \cdot r_e$$

Trinkelė prispaudimo jėgos F_s dydis priklauso nuo slėgio darbiniam stabdžių cilindre ir nuo darbinio stūmuoklio ploto, prispaudimo jėga priklauso nuo pedalo spaudimo jėgos. Žinant slėgį P trinkelė prispaudimo jėgą F_s galima apskaičiuoti pagal 3.7 formulę:

$$F_s = P \cdot A$$

čia: A – darbinio stabdžių stūmuoklio plotas.

Tiriamas automobilio optimalus stabdžių trinkelė trinties koeficientas, stabdant 0,8g pagreičiu, apskaičiuojamas pagal 4.5 formulę. Efektyvūs ratų stabdymo spinduliai pateikti 4.3 lentelėje:

4.3 lentelė

Priekinio rato efektyvus stabdymo spindulys r_{ep} , mm	Galinio rato efektyvus stabdymo spindulys r_{eg} , mm
121,5	104,5

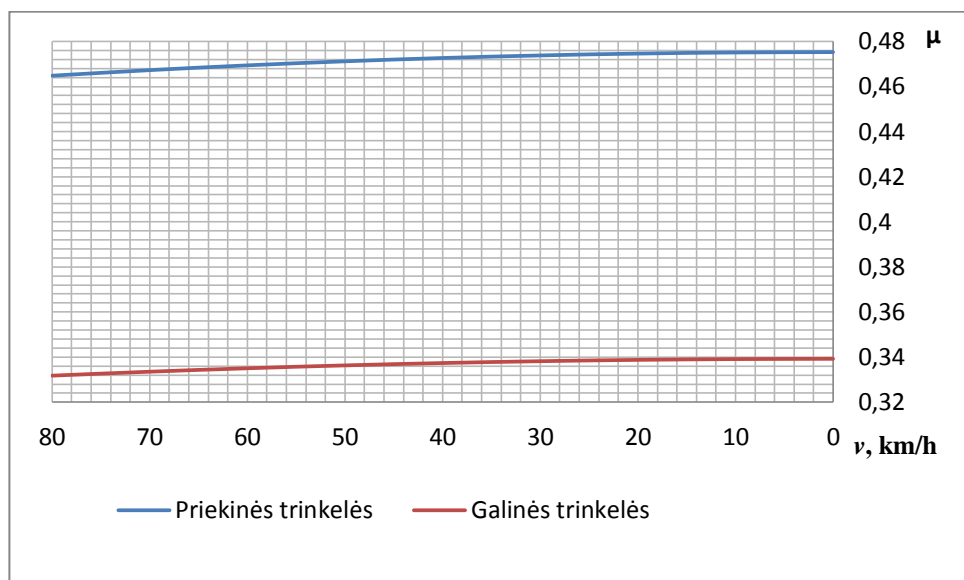
4.5 formulėje skaičius 4 parodo, kiek yra kontaktuojančių paviršių stabdymo metu (tai kontakto vieta tarp stabdžių disko ir trinkelės) priekinėje ir galinėje ašyje šiuo atveju kontaktuojančių paviršių skaičius lygus 4.

$$\mu = \frac{M_s}{4PAr_e} \quad (4.5)$$

Gauti efektyvaūs stabdžių trinkelė trinties koeficientai pateikti 4.4 lentelėje

4.4 lentelė

Greitis V, km/h	Stabdymo momentas M_s , Nm		Trinkelė trinties koeficientas	
	Priekinė ašis	Galinė ašis	Priekis	Galas
80	2896	880	0,464818	0,33177
70	2911	885	0,467266	0,333517
60	2924	889	0,469388	0,335031
50	2935	892	0,471183	0,336313
40	2945	895	0,472652	0,337361
30	2951	897	0,473794	0,338177
20	2956	898	0,47461	0,338759
10	2960	899	0,4751	0,339108
0	2960	899	0,475263	0,339225



24 pav. Stabdžių trinkelė trinties koeficiento priklausomybė nuo automobilio greičio.

Apibendrinant galima teigti, jog tiriamo automobilio optimalus stabdžių trinkelė trinties koeficientas priekiniai ašiai apytiksliai lygus 0,5, o galinei ašiai 0,34. Tokį trinties koeficientų skirtumą įtakoją ašims tenkančių vertikalių apkrovų pasiskirstymas stabdymo metu.

5 Stabdžių trinkelių drėgmės įtakos lengvojo automobilio stabdymo efektyvumui tyrimo eiga ir rezultatai

5.1 Padangos sukibimo su kelio danga įvertinimas

Prieš pradėdant gautų rezultatų apdorojimą, patikriname ar teisingai buvo parinktas padangos sukibimo su kelio danga koeficientas. Parinkto koeficiento reikšmė lygi 0,8, šis koeficientas parinktas atsižvelgiant į tai, jog bandomas automobilis stabdomas esant sausai asfalto dangai. Žinodami, kad greitis yra koordinatės kitimo išvestinė $v = \frac{ds}{dt}$ ir pagreitis lygus greičio išvestinei $j = \frac{dv}{dt}$, automobilio stabdymo kelią apskaičiuojame:

$$ds = v \cdot dt = \frac{v}{j} dv \quad (5.1)$$

čia: v – automobilio greitis; j – pagreitis.

$$s = m \cdot \delta \int_{v_2}^{v_1} \frac{v dv}{B_s + G \cdot f \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha + k \cdot F \cdot v^2 + B_p} \quad (5.2)$$

Šis integralas taip pat sprendžiamas apytiksliai grafiniu – analitiniu būdu. Padarę prielaidą, kad $\alpha=0$, $G_s = G \cdot \varphi$, $G \cdot f = 0$, $k \cdot F \cdot v^2 = 0$, $B_p = 0$, $\delta = 1$, gauname:

$$s = \frac{1}{2 \cdot \varphi \cdot g} (v_1^2 - v_2^2) \quad (5.3)$$

čia: φ – sukibimo su kelio danga koeficientas.

Žinodami pradinį automobilio greitį $v_1 = 80 \text{ km/h}$, ir galutinį $v_2 = 0 \text{ km/h}$, ir išmatuotą stabdymo kelią $s = 32 \text{ m}$, pertvarkome 5.3 formulę ir patikriname sukibimo su kelio danga koeficiento φ reikšmę:

$$\varphi = \frac{v_1^2}{2gs} = \frac{22,22^2}{2 \cdot g \cdot 32,27} = 0,78 \sim 0,8$$

Atlikus patikrinimą, matome, jog padangos sukibimas su kelio danga stabdymo metu parinktas tinkamai ir apytiksliai lygus 0,8. Šis koeficientas tikslinamas, kadangi bus naudojamas tolimesiame bandymo rezultatų apdorojime.

5.2 Tyrimo eiga ir priemonės

Atliekant tyrimą, automobilyje Peugeot 307 SW, buvo sumontuota stabdžių trinkelė drėkinimo įranga. Įrangą sudaro: vandens purkštukai (4vnt.), kuro pompa, žarnelės, sujungtos į bendrą sistemą ir prijungtos prie kuro pompos, akumuliatorius, vandens bakas. Duomenų registravimui naudojamas DL1 Mk2 klasikinis duomenų registratorius.



25 pav. DL1 Mk2 klasikinis duomenų registratorius.

Bandymo atlikimo tvarka pateikta 5.1 lentelėje

5.1 lentelė

Bandymo numeris	Bandymo aprašymas
1	Esant sausoms stabdžių trinkelėms pasiekiamas 80 km/h greitis ir maksimaliai stabdoma, kol automobilio greitis lygus 0 km/h.
2	Stabdžių trinkelės drėkinamos 5 min, pasiekiamas 80 km/h greitis ir maksimaliai stabdoma, kol automobilio greitis lygus 0 km/h.
3	Stabdžių trinkelės drėkinamos 15 min, pasiekiamas 80 km/h greitis ir maksimaliai stabdoma, kol automobilio greitis lygus 0 km/h.
4	Stabdžių trinkelės drėkinamos 30 min, pasiekiamas 80 km/h greitis ir maksimaliai stabdoma, kol automobilio greitis lygus 0 km/h.
5	Stabdžių trinkelės drėkinamos 60 min, pasiekiamas 80 km/h greitis ir maksimaliai stabdoma, kol automobilio greitis lygus 0 km/h.
6	Pervaziuojama dirbtinai sukurta bala, pasiekiamas 80 km/h greitis ir maksimaliai stabdoma, kol automobilio greitis lygus 0 km/h.

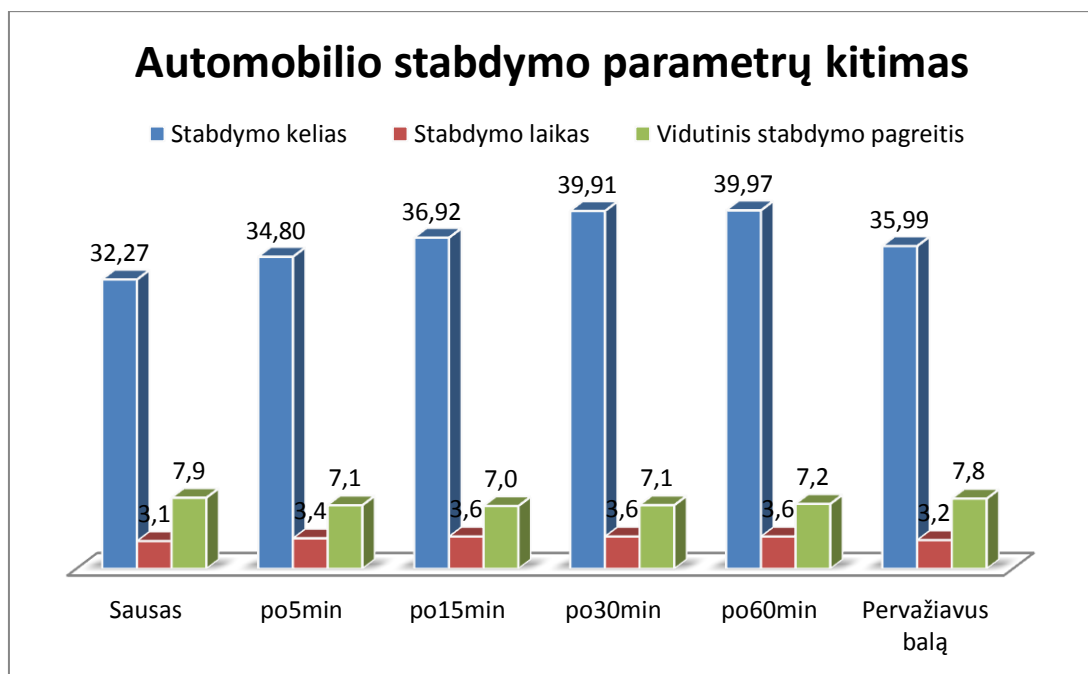
Prieš kiekvieną bandymą, stabdžių trinkelės išdžiovinamos atliekant kelis stabdymus, kai trinkelės išdžiovinamos, laukiama kol jos atvės iki aplinkos temperatūros ir atliekamas sekantis bandymas. Kiekvieno rato stabdžių trinkelės drėkinamos 6,25 l/valandą, intensyvu.

Bandymo metu galiojantys parametrai:

- Pedalo spaudimo jėga lygi 490 N;
- Pradinis automobilio greitis stabdant 80 km/h.

5.3 Bandyto duomenų apdorojimas

Bandyto rezultatų duomenys apdorojami naudojant „Microsoft excel“ programą. Rezultatai pateikiami grafiškai. Apdorojus DL1 Mk2 klasikiniu duomenų registratoriumi gautus duomenis, nustatyta, kaip pasikeičia automobilio stabdymo kelias, stabdymo laikas ir stabdymo pagreitis (26 pav).



26 pav. Automobilio stabdymo parametrų kitimas.

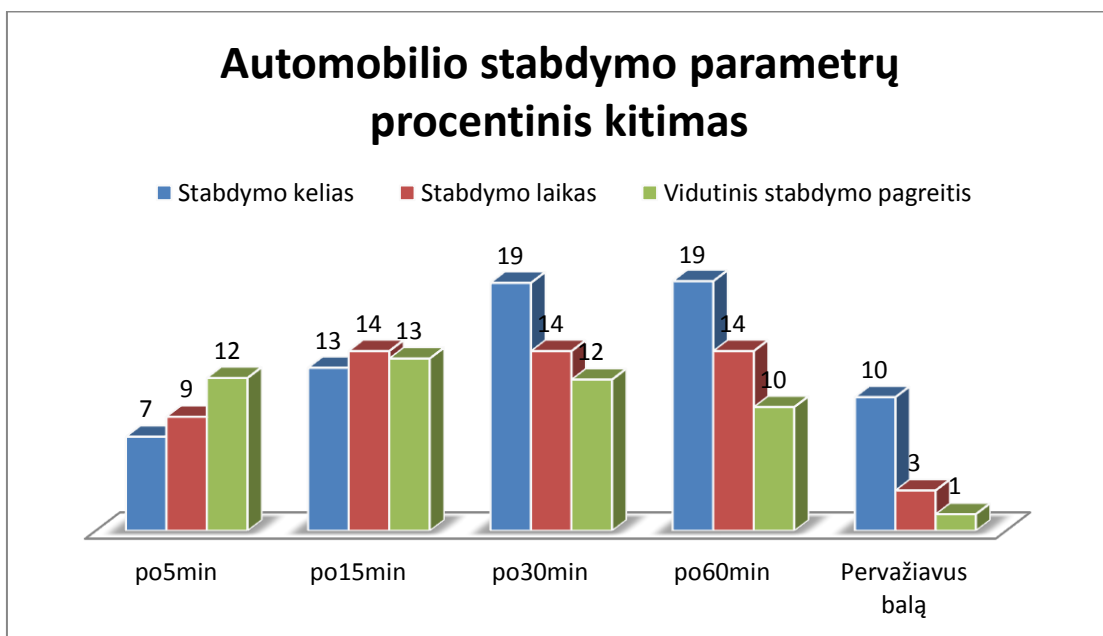
26 pav. pateiktame grafike matome, jog ir trumpą laiko tarpą (5 minutes) drėkintų stabdžių trinkelėlių stabdymo efektyvumas sumažėja, ir stabdymo kelias pailgėja 2,5 m. lyginant su stabdymo efektyvumu esant sausoms trinkelėms.

5.2 lentelė

Bandymas	Stabdymo kelias <i>s</i> , m	Stabdymo laikas <i>t</i> , s
Sausas	32,27	3,1
Po 5 min	34,80	3,4
Po 15 min	36,92	3,6
Po 30 min	39,91	3,6
Po 60 min	39,97	3,6
Pervažiavus balą	35,99	3,2

Pagal gautus rezultatus apskaičiuojamas sustojimo kelias. Stabdymo ir sustojimo kelias – tai dvi skirtingos sąvokos. Stabdymo kelias – tai kelias, kurį nuvažiuoja automobilis nuo to

momento kai vairuotojas paspaudžia stabdžių pedalą iki automobilis visiškai sustoja. Sustojimo kelias – tai kelias, kurį automobilis nuvažiuoja nuo to momento, kai vairuotojas suvokia, kad reikia stabdyti iki momento, kai automobilis visiškai sustoja. Sustojimo kelio negalima vertinti vienodai, nes jis priklauso nuo vairuotojo fizinių ir psichinių ypatybių. Tyrime nėra aktualus sustojimo kelias, todėl jo nevertinam ir neatliekame skaičiavimų.



27 pav. Automobilio stabdymo parametru procentinis kitimas.

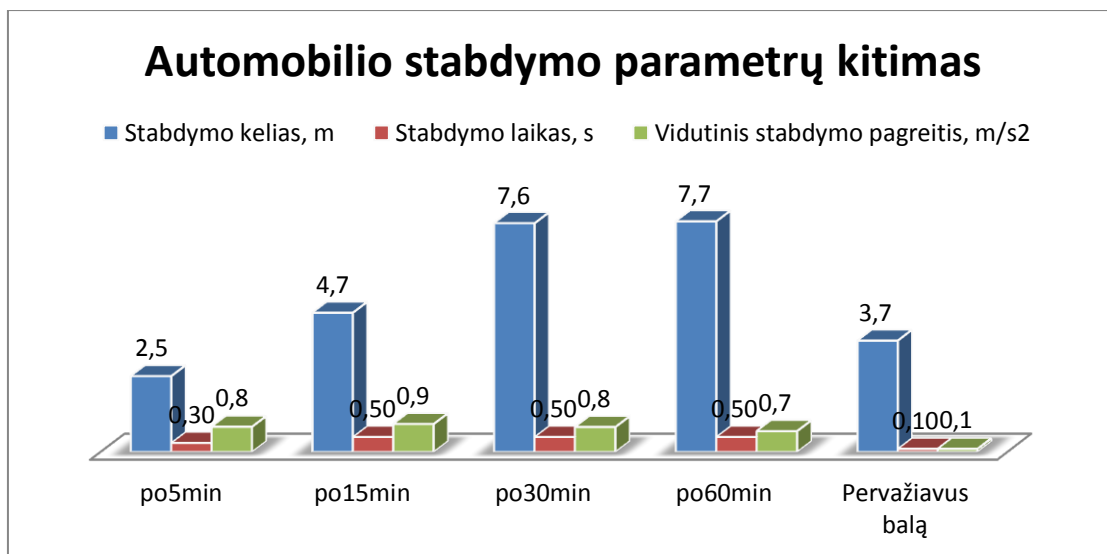
Automobilio stabdymo kelio kitimo skirtumą išreiškus procentais matome, jog stabdymo kelias pailgėja iki 19 % ir tai yra maksimalus kelio pailgėjimas. Bandymo metu buvo ilginamas trinkelų drėkinimo laikas, siekiant nustatyti maksimalų stabdymo kelio pailgėjimą.

5.3 lentelė

Bandymas	Stabdymo kelio pailgėjimas, %	Stabdymo laiko pailgėjimas, %	Stabdymo pagreičio sumažėjimas, %
Po 5 min	7	9	12
Po 15 min	13	14	13
Po 30 min	19	14	12
Po 60 min	19	14	10
Pervažiavus balą	10	3	1

5.3 lentelėje pateikiama informacija, kiek procentaliai pailgėjo automobilio stabdymo kelias kiekvieno bandymo metu, kokią įtaką, stabdymo kelias, turėjo stabdymo laikui ir kaip pakito vidutinis stabdymo pagreitis. Stabdymo laikas pailgėjo iki 14 %, o stabdymo pagreičio sumažėjimas siekia 13 %.

Žinant kaip kito automobilio stabdymo pagreitis, galime vertinti stabdžių trinkelėlių stabdymo efektyvumą ir panaudojus 4.5 formulę apskaičiuojame trinties koeficiento, tarp stabdžių trinkelėlių ir stabdžių disko, kitimą, laiko atžvilgiu, stabdymo metu.



28 pav. Automobilio stabdymo parametrų kitimas.

Antro bandymo metu, kai trinkelės buvo drėkintos 5 min, stabdymo kelias pailgėjo 2,5 metro, stabdymo laiko pailgėjimas siekia 0,3 sekundės, o vidutinis stabdymo pagreitis sumažėjo 0,8 m/s². Ketvirto bandymo metu buvo pasiektas maksimalus kelio pailgėjimas ir siekė 7,7 metro, stabdymo laikas pailgėjo 0,5 sekundės, o vidutinio stabdymo pagreičio reikšmė kito nežymiai antrojo bandymo atžvilgiu. Kitų bandymų rezultatai pateikti 5.4 lentelėje:

5.4 lentelė

Bandymas	Stabdymo kelio pailgėjimas, m	Stabdymo laiko pailgėjimas, s	Stabdymo pagreičio sumažėjimas, m/s ²
Po 5 min	2,5	0,3	0,8
Po 15 min	4,7	0,5	0,9
Po 30 min	7,6	0,5	0,8
Po 60 min	7,7	0,5	0,7
Pervažiavus balą	3,7	0,1	0,1

Nenaudojant priverstinio stabdžių trinkelėlių drėkinimo, buvo atliktas bandymas važiuojant ber balą ir pervažiavus balą ekstremaliai stabdoma, pradinis automobilio greitis siekė 80 km/h, kaip ir kituose bandymuose. Šio bandymo metu nustatyta, jog stabdymo kelias pailgėja 3,7 metro, stabdymo laikas padidėja 0,1 sekundės, o stabdymo pagreičio pokytis nežymus ir siekia 0,1 m/s².

Svarbiausias stabdžių trinkelė trinties koeficiento faktorius yra pasiekti maksimalų trinties lygį iškart po stabdžių pedalo paspaudimo ir išlaikyti jį maksimaliai tolygų viso stabdymo proceso metu. Jei pradinė stabdymo jėga maža, o darbinio skysčio slėgis cilindre maksimalus, tai trinties koeficientas per mažas ir stabdžių sistema negali sukurti pakankamo stabdymo momento ir dėl šios priežasties pailgėja stabdymo kelias.

Atlikus tyrimą ir gautus rezultatus apdorojus „Excel“ programa, buvo nustatyta, kaip kinta priekinių ir galinių stabdžių trinkelė trinties koeficientai.

Stabdymo metu priekinė ir galinė automobilio ašys yra skirtingai apkraunamos, priekinė ašis apkraunama daugiau, o galinė ašis nukraunama (apkrovų pasiskirsymas ašims aprašytas ketvirtame skyriuje), pagal padangos reakciją į kelią, kiekvienai ašiai reikalingi skirtingo dydžio stabdymo momentai. Bandymo metu pradinis automobilio greitis v_1 buvo lygus 80 km/h, todėl buvo vertinama ir aerodinaminio pasipriešinimo jėga.

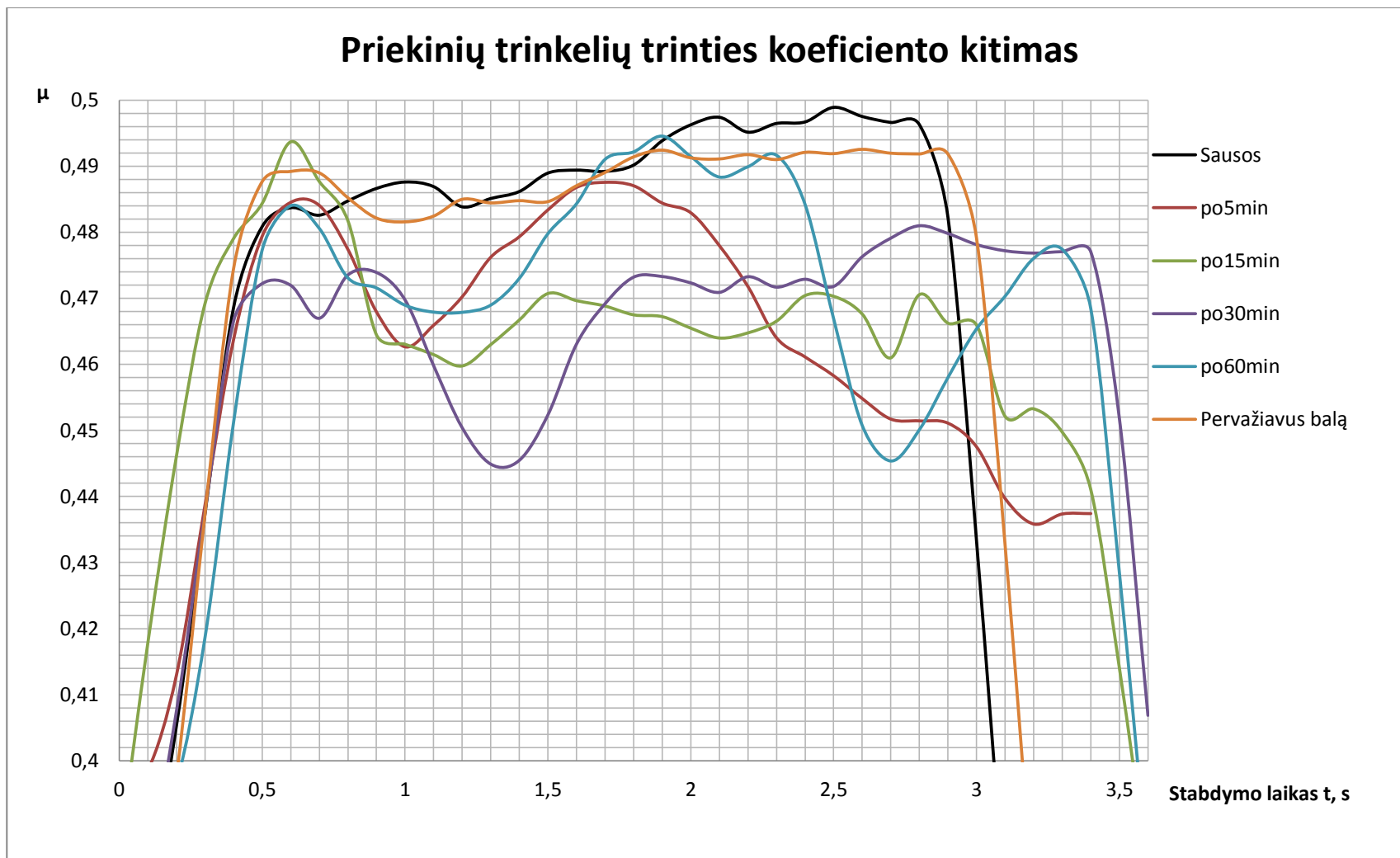
Atlikus stabdžių trinkelė sukibimo koeficiento kitimo skaičiavimus iš 29 pav. grafiko matome kaip kinta priekinės ašies stabdžių trinties koeficientas kiekvieno bandymo metu.

Esant sausoms stabdžių trinkelėms, matome, jog trinties koeficientas išlieka tolygus ir ties 1,7 sekundės riba pradeda nežymiai didėti. Šį didėjimą lemia aerodinaminio pasipriešinimo jėgos mažėjimas, mažėjant aerodinaminio pasipriešinimo jėgai, didėja priekinės ašies apkrovimas ir tuo pačiu didėja rato stabdymo momentas. Trinties koeficientas panašiai kinta ir atliekant bandymą pervažiavus per balą.

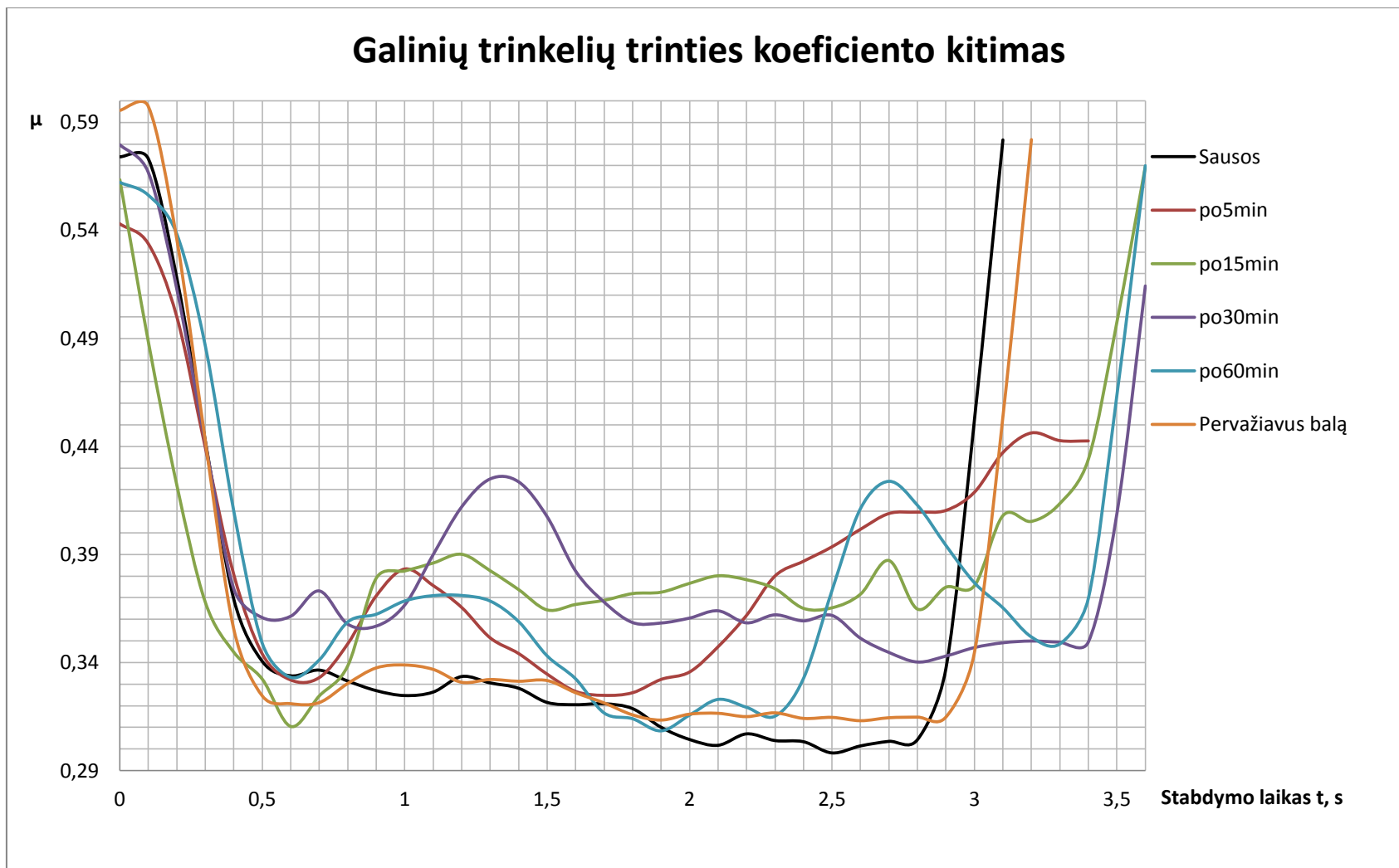
Iš kitų bandymų grafinių rezultatų matome, jog trinties koeficientas μ kinta netolygiai, staiga didėja ir staiga mažėja. Toks trinties koeficiento nepastovumas yra pagrindinė stabdymo efektyvumo blogėjimo priežastis, ko pasekoje ilgėja stabdymo kelias ir laikas.

Galinės ašies stabdžių trinkelė trinties koeficiento kitimas pateikiamas 30 pav. grafike. Esant sausoms stabdžių trinkelėms trinties koeficientas išlieka pastovus ir pradeda nežymiai mažėti ties 1,7 sekundės riba, kadangi keičiasi aerodinaminės jėgos įtaka. Panagrinėjus kitų bandymų grafikus, matome, jog galioja ta pati problema, kaip ir priekinėje stabdžių sistemoje, jog trinkelė trinties koeficientas neišlaiko pastovios reikšmės.

Prieduose pateikiama kiekvieno bandymo greičio, pagreičio ir santykinio pagreičio priklausomybė nuo laiko.



29 pav. Priekinių trinkelių trinties koeficiento kitimas.



30 pav. Galinių trinkelių trinties koeficiento kitimas.

6 Apibendrinimas

Atlikus literatūros analizę, buvo pastebėta, jog nėra atlikta tyrimo, kurio metu nustatoma, kaip pasikeičia automobilio stabdymo kelias, keičiantis stabdžių trinkelėlių drėgnumui. Būtent dėl šios priežasties buvo pasirinkta atlikti eksperimentinį tyrimą, kurio metu nustatomas automobilio stabdymo kelio pailgėjimas ir stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento kitimas, kintant stabdžių trinkelėlių drėgnumui.. Tyrimo atlikumui buvo parengta eksperimentinio tyrimo metodika ir sukurta stabdžių trinkelėlių drėkinimo sistema.

Eksperimentinis tyrimas atliktas pagal M1 transporto priemonių kategorijai keliamus darbinės stabdžių sistemos efektyvumo reikalavimus. Eksperimentas atliktas esan sausai ir asfaltuotai kelio dangai, kurios sukibimo su automobilio padanga koeficientas lygus 0,8. Tyrimo metu gautų duomenų apdorojimui naudota „Excel“ programa.

Atliekant skaičiavimus buvo veritinama aerodinaminio pasipriešinimo jėga, nuo kurios priklauso priekinės ir galinės ašių apkrovimas ir reikalingas rato stabdymo momentas, stabdymo proceso metu. Gauti rezultatai parodė, kad stabdžių trinkelėlių drėgnumas turi ženklią įtaką stabdymo efektyvumui ir tai lemia stabdymo kelio pailgėjimą. Pagal gautus grafinius tyrimo rezultatus, buvo pastebėta, jog esant drėgnoms stabdžių trinkelėms, blogėja jų trinties koeficientas. Trinties koeficientas kinta netolygiai ir stabdymo proceso metu padidėja šio koeficiento svyravimai.

7 Išvados

1. Nustatyta, kad maksimalus tiriamo automobilio stabdymo kelio pailgėjimas, dėl neefektyvaus stabdžių trinkelėlių sukibimo su stabdžių disku lygus 7,7 metro ir palyginus su pradiniu stabdymo keliu, šis atstumas padidėja 19 %.

2. Stabdymo proceso metu vidutinis lėtėjimo pagreitis maksimaliai sumažėja $0,9 \text{ m/s}^2$ ir yra 13 % mažesnis negu stabdymo pagreitis, kuris pasiekiamas esant sausoms stabdžių trinkelėms.

3. Įvertinus automobilių veikiančių jėgų pasiskirstymą stabdymo metu, apskaičiuota, jog esant sausoms stabdžių trinkelėms priekinei ašiai tenkantis stabdymo momentas padidėja 24 %, o galinei ašiai tenkantis stabdymo momentas sumažėja 48 % . Esant maksimaliai drėgnoms stabdžių trinkelėms, priekinės ašies stabdymo momentas padidėja 23 %, o galinės ašies stabdymo momentas sumažėja 46 %.

4. Apdorojus bandymo metu gautus duomenis ir atlikus skaičiavimus "Excel" programa, nustatyta, kaip stabdymo efektyvumą įtakoja stabdžių trinkelėlių trinties koeficientas μ ir koks turi būti jo kitimas, kad būtų pasiektas minimalus stabdymo kelias. Stabdymo kelias pailgėja dėl trinties koeficiento sumažėjimo priekinėje stabdžių sistemoje, kuris lyginant su stabdymu, esant sausoms stabdžių trinkelėms ir stabdymu esant maksimaliai drėgnoms, lygus 3%.

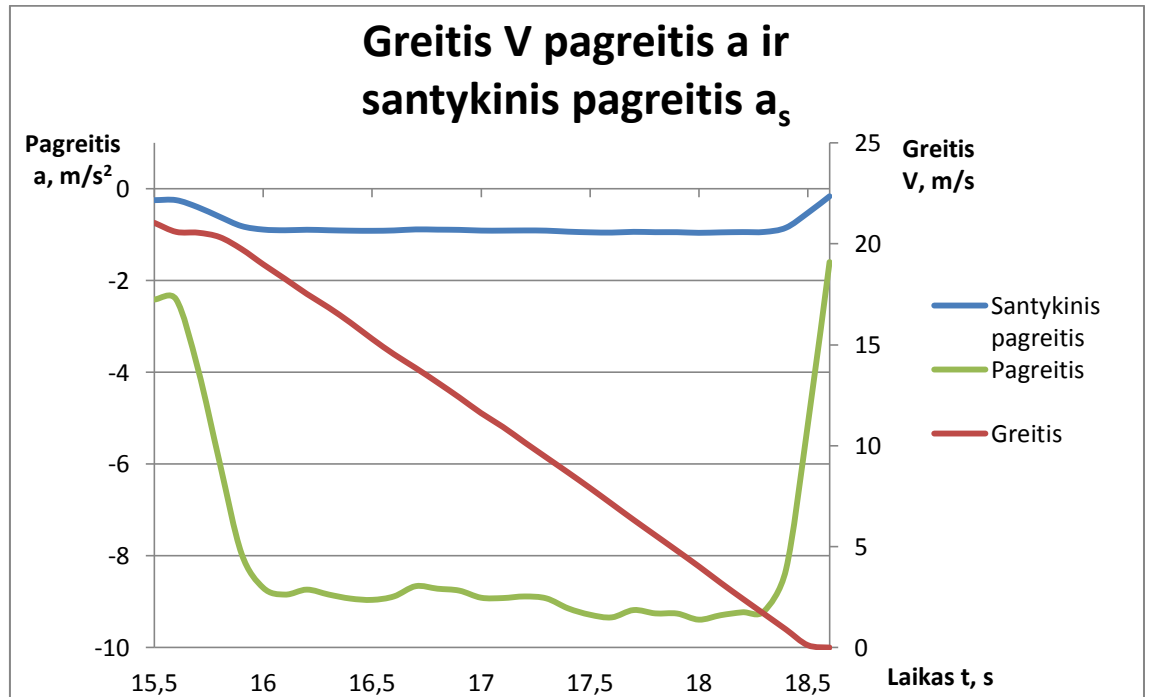
8 Informacijos šaltinių sąrašas

1. J.Sapragonas. Kelių transporto priemonių saugumas. Kaunas: Lietuvos edukologijos universiteto leidykla, 2013m. – 336p.
2. J.Sapragonas. Automobilių ir traktorių konstravimas. Kaunas: Technologija, 1997m. - 223 psl.
3. Aut. Peter Gerigk, Detlef Bruhn, Dietmar Danner, Leonhard Endruschat, Jürgen Göbert, Heinrich Gross, Detlef Komoll. Automobiliai. Kaunas: Jotema, 2006m. – 607p.
4. M.Bodgevičius. Transporto priemonių dinamika. Vilnius: Technika, 2012m. – 206p.
5. S.Buteliauskas. Automobilių sandara ir priežiūra. Kaunas „Technologija“, 2008m. – 188p.
6. Nunney M.J. Light and heavy vehicle technology. UK: Butterworth – Heinemann, 1998m. – 654p.
7. Straipsnis. „Thermal analysis of brake disc“. Prieiga per internetą: <http://www.slideshare.net/paragdeshattiwar/thermal-analysis-of-brake-disc-2015> [žiūrėta 2016-04-20].
8. Straipsnis. „Braking calculations“. Prieiga per internetą: <http://www.altraliterature.com/pdfs/P-1648-pages41-44.pdf> [žiūrėta 2016-04-20].
9. Straipsnis. „The physics of brake systems“. Prieiga per internetą: <http://stoptech.com/docs/media-center-documents/the-physics-of-braking-systems> [žiūrėta 2016-04-22].
10. Straipsnis. „What is coefficient of friction?“. Prieiga per internetą: http://www.dixcel.co.jp/en/subcontent/literature/literature03.html#pad_01 [žiūrėta 2016-04-23].
11. Straipsnis. „Constitutes of brake pads raw friction materials?“. Prieiga per internetą: http://www.bullbrakes.com/Technical_Knowledge/Constituents-of-Brake-Pads-Raw-Friction-Materials.html [žiūrėta 2016-04-23].

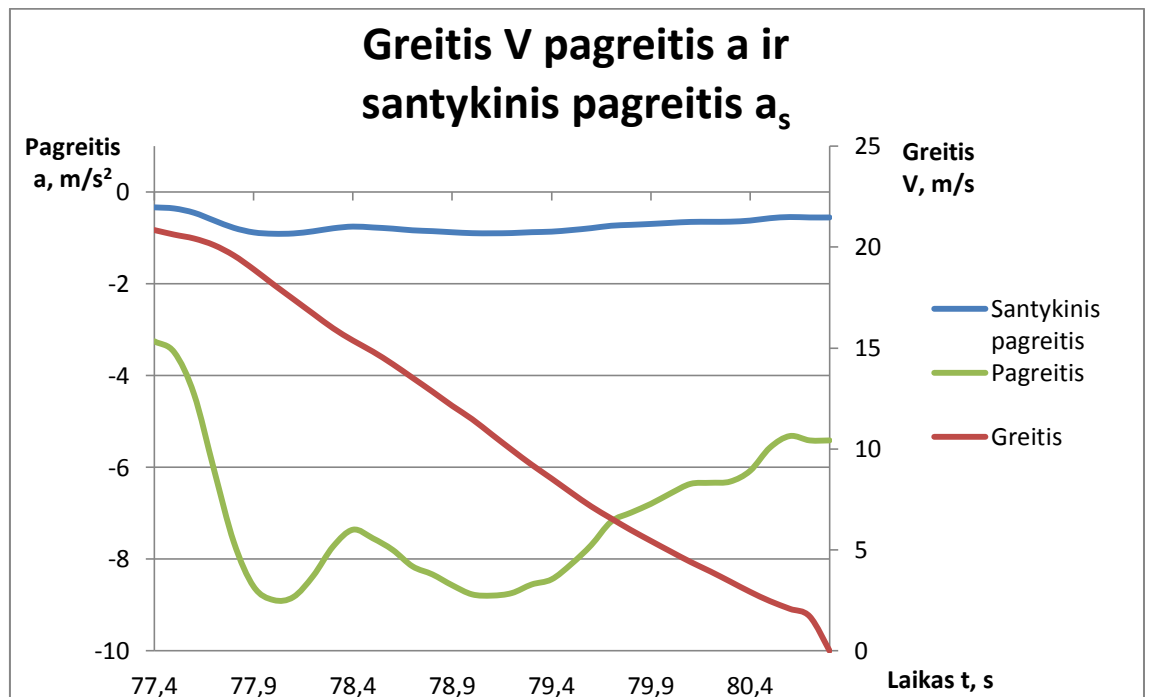
12. Straipsnis. „Antilock braking system effectiveness in prevention of road traffic crashes in Iran“. Prieiga per internetą: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3649935/> [žiūrėta 2016-04-23].
13. Straipsnis. „ABS sistemų diagnostika ir taisymas“. Prieiga per internetą: <http://www.lbm.lt/index.php/home?id=6:abssystemos&catid=1:straipsniai> [žiūrėta 2016-04-23].
14. Paveikslas „ABS schema“. Prieiga per internetą: <http://www.clublexus.com/forums/attachments/suspension-and-brakes/137469d1232842667-abs-diagram-abs.jpg> [žiūrėta 2016-03-10]
15. Paveikslas „Padangos sandara“. Prieiga per internetą: <http://ausegra.lt/uploads/images/ratu%20montavimas%20ir%20balansavimas/padangos.jpg> [žiūrėta 2016-03-12]
16. Paveikslas „Padangos sandara“. Prieiga per internetą: <http://www.hotrod.com/how-to/chassis-suspension/hrdp-1003-brake-pad-technology/> [žiūrėta 2016-03-12]
17. Paveikslas „Brake pad“. Prieiga per internetą: http://www.ate-brakes.com/www/ate_de/en/themes/10_products/channel_disc_brakes_en/productinfo_brake-pads_en.html?page=4 [žiūrėta 2016-03-12]
18. Paveikslas „Peugeot 307“. Prieiga per internetą: <http://betterparts.org/images/peugeot-307-break-01.jpg> [žiūrėta 2016-04-12]
19. Paveikslas „Longacre Accuset Computer scales“. Prieiga per internetą: http://static.summitracing.com/global/images/prod/mediumlarge/LNG-72582_ml.jpg [žiūrėta 2016-04-25]
20. Paveikslas „Braking force“. Prieiga per internetą: <http://www.kfz-tech.de/Engl/Formelsammlung/Bremskraft.htm> [žiūrėta 2016-04-25]
21. Paveikslas „„HAWK“ stabdžių trinkelė trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros“. Prieiga per internetą: <http://www.lotustalk.com/forums/attachments/f91/186751d1339888542-brake-pads-master-list-hawks.jpg> [žiūrėta 2016-04-25]

9 Priedai

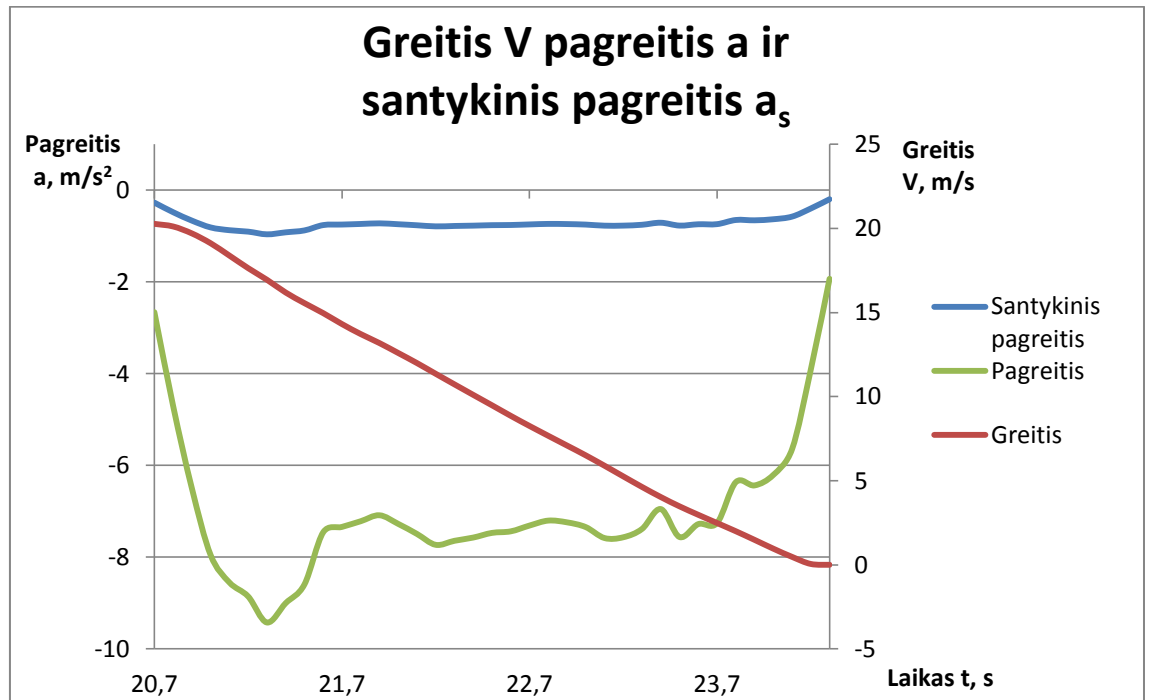
9.1 Bandymas nr. 1. Trinkelės sausos



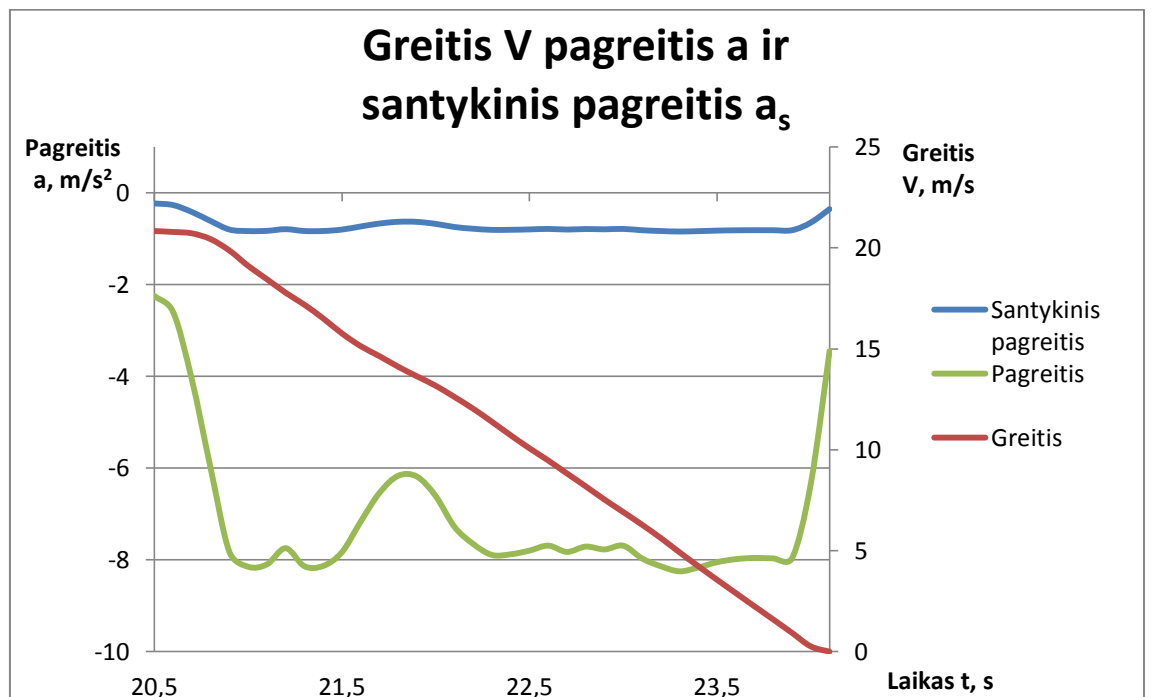
9.2 Bandymas nr. 2. Trinkeliės drėkinamos 5 min



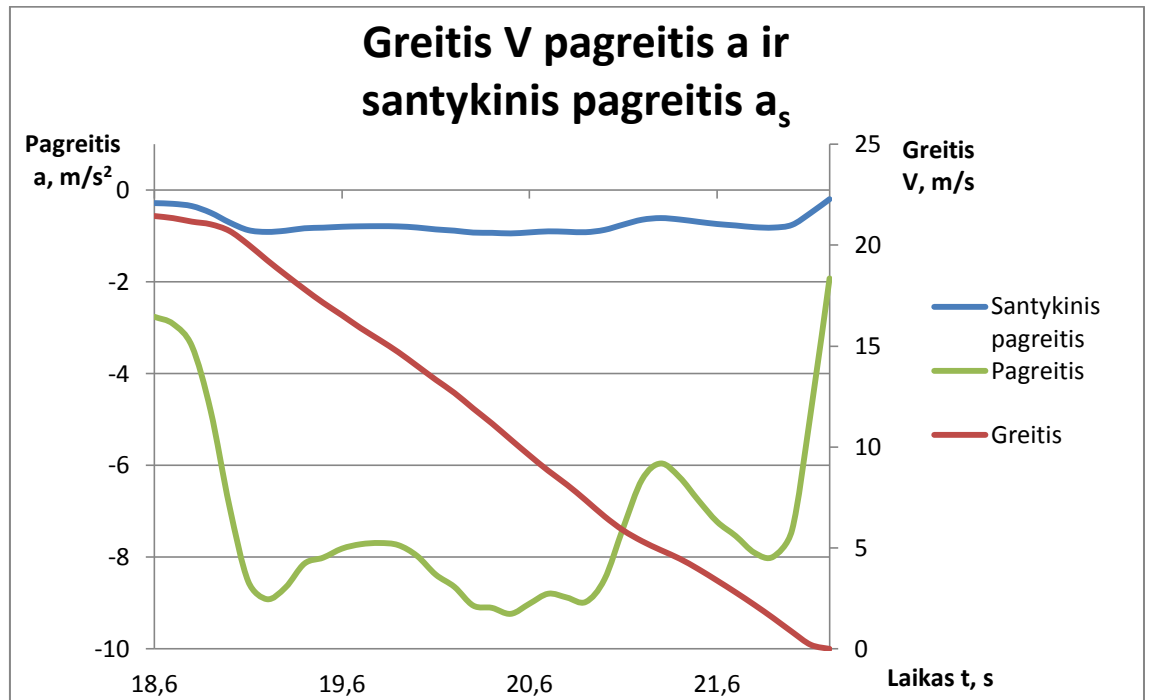
9.3 Bandymas nr. 3. Trinkelės drėkinamos 15 min



9.4 Bandymas nr. 4. Trinkelės drėkinamos 30 min



9.5 Bandymas nr. 5. Trinkelės drėkinamos 60 min



9.6 Bandymas nr. 6. Stabdymas atliekamas pervaziavus per balą

