



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Saulius Stravinskas

**LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ STABDymo PARAMETRŲ TYRIMAS**

**THE RESEARCH OF AUTOMOBILES BRAKING PARAMETERS**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2014-06-02

(Data)

Saulius Stravinskas

## LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ STABDYMO PARAMETRŲ TYRIMAS

## THE RESEARCH OF AUTOMOBILES BRAKING PARAMETERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. doc. Saulius Stravinskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

2014-05-27

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

A. Petraitienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

2014-05-20

(Data)

Vilnius, 2014



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS  
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

doc. dr. Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2012-12-17

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO  
UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) *Saulius Stravinskis*

Baigiamojo darbo tema:  *lengvųjų automobilių stabilumo parametrai tyrimas*  
patvirtinta 201..... m. .... dekanas potvarkiu Nr. ....

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201...m. .... d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

*lengvųjų automobilių stabilumo efektyvumo nustatymo galimybių analizei (modelinis literatūros apžvalga). Stabilizacijos sistemos kabinui ir kabinavimui. Eksperimentiniai lengvųjų automobilių stabilizacijos efektyvumo tyrimai, kvantinant stabilizacijos pajamos nupildymo jėgą, stabilizacijos jėgų reikšmes ratuose bei automobiliai matė. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė, pateiktas lygintinis dydžių, kuriais remiamas galima greitai ir gana paprastai kvantinant, ar automobiliai stabilizacijos sistemos techniniai svarbūs. Matematinės stabilizacijos metodų tyrimas analizuojant gautus duomenis. Išvados ir praktiniai uždaviniai stabilizacijos sistemos patikrinimui.*

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....  
.....  
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

*Staugas*

(Parašas)

*dr. doc. Saulius Staugas*

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

*Saulius Stravinskis*

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
Transporto inžinerijos fakultetas  
Automobilių transporto katedra

ISBN ISSN  
Egz. sk. ....  
Data  
.....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Lengvųjų automobilių stabdymo parametrų tyrimas**

Autorius **Saulius Stravinskas**

Vadovas **doc. dr. Saulius Nagurnas**

**Kalba:** lietuvių

#### **Anotacija**

Baigiamajame darbe nagrinėjamas lengvųjų automobilių stabdymo procesas, automobilius bandant ant ritininio stabdžių efektyvumo patikros stendo. Pagrindinis tikslas – įvertinant automobilio masę ir atitinkamų ašių maksimalią stabdymo jėgą, nustatyti, kokia galėtų būti stabdžių paminos nuspaudimo jėga. Šie duomenys gali būti pritaikyti praktikoje, pavyzdžiui, atliekant automobilių techninę apžiūrą. Eksperimentiniuose tyrimuose naudoti būgniniai stabdžių efektyvumo patikros stendai. Stabdžių paminos nuspaudimo jėga matuota prietaisu VZM 100. Darbe pateikta eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė. Gauti santykiniai dydžiai, pagal kuriuos galima spręsti apie lengvųjų automobilių stabdymo efektyvumą. Sudarytas matematinės statistikos modelis. Suformuluotos išvados ir pasiūlymai.

Darbo apimtis 60 p. teksto be priedų, 40 paveikslų, 18 lentelių.

**Prasminiai žodžiai:** Stabdymo efektyvumas, stabdžių paminos nuspaudimo jėga, ritininis stabdžių efektyvumo patikros stendas, automobilio masė, stabdymo jėgos.

Vilnius Gediminas Technical University  
Faculty of Transport Engineering  
Department of Automobile Transport

ISBN ISSN  
Copies No. ....  
Date  
.....-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **The research of automobiles braking parameters**

Author **Saulius Stravinskas**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Saulius Nagurnas**

**Thesis language:**  
Lithuanian

#### **Annotation**

In this Master Thesis is explored braking process on a roller brake test stand. The main aim – to estimate maximum pedal depress force while mass of automobile and braking forces are known. The following data could be used practically, for example, in technical inspection centers. Brakes efficiency tests were performed on a roller brake test stands. Brake pedal depress force was measured with VZM 100. There are represented results and main dependences of exploration, also a mathematical statistical model.

The scope of the present paper - 60 P. 40 figures, 18 tables.

**Keywords:** Brakes efficiency, brake pedal depress force, roller brake test stand, mass of automobile, brake forces.



**(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)**

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS**

Saulius Stravinskas, 20084291

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Transporto inžinerija, ATfm-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

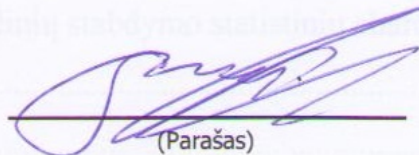
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)  
SĄŽINGINGUMO DEKLARACIJA**

2014 m. gegužės 26 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Lengvųjų automobilių stabdymo parametrų tyrimas“ patvirtintas 2012 m. gruodžio 4 d. dekanų potvarkiu Nr. 503ti, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Angelika Petrėtienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Saulius Nagurnas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Saulius Stravinskas

(Vardas ir pavardė)



## Turinys

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Paveikslų sąrašas.....                                                                          | 8  |
| Lentelių sąrašas.....                                                                           | 11 |
| Įvadas .....                                                                                    | 12 |
| 1. Literatūros analizė.....                                                                     | 13 |
| 1.1. Mokslinės literatūros apžvalga .....                                                       | 13 |
| 1.2. Stabdžių sistemai keliami reikalavimai.....                                                | 21 |
| 2. Eksperimentiniai tyrimai .....                                                               | 22 |
| 2.1. Eksperimentinių tyrimų tikslai ir metodika .....                                           | 22 |
| 2.2. Įranga, naudota atliekant eksperimentinius tyrimus.....                                    | 25 |
| 2.3. Eksperimentinių tyrimų rezultatai.....                                                     | 28 |
| 3. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė.....                                                | 35 |
| 3.1. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir ašies suminės stabdymo jėgos santykiniai dydžiai..... | 35 |
| 3.2. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir automobilio masės santykiniai dydžiai.....            | 38 |
| 3.3. Eksperimentinių tyrimų rezultatų grafinis palyginimas .....                                | 41 |
| 4. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė taikant matematinės statistikos modelius .....      | 47 |
| 4.1. Priekinės ašies ratų pagrindinių stabdymo statistinių charakteristikų nustatymas .....     | 47 |
| 4.2. Galinės ašies ratų pagrindinių stabdymo statistinių charakteristikų nustatymas.....        | 54 |
| Išvados ir pasiūlymai .....                                                                     | 59 |
| Literatūra .....                                                                                | 60 |
| Priedai .....                                                                                   | 61 |
| A Priedas .....                                                                                 | 62 |
| B Priedas .....                                                                                 | 64 |

## Paveikslų sąrašas

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 pav. Slėgio jutiklio montavimo vieta .....                                                                                                                                               | 14 |
| 2 pav. Stabdžių sistemos slėgio jutiklis .....                                                                                                                                             | 15 |
| 3 pav. Išradėjo Seibl užpatentuotas stabdymo efektyvumo patikros įrenginys.....                                                                                                            | 16 |
| 4 pav. Išradėjo Seibl užpatentuoto stabdymo efektyvumo patikros įrenginio schema.....                                                                                                      | 16 |
| 5 pav. Plokštinis stabdžių patikros stendas .....                                                                                                                                          | 17 |
| 6 pav. Testavimo stendas, naudotas standartinių ir perprogramuotų stabdžių valdymo blokų palyginimui.....                                                                                  | 18 |
| 7 pav. Testavimo stendo, naudoto standartinių ir perprogramuotų stabdžių valdymo blokų palyginimui, schema .....                                                                           | 19 |
| 8 pav. <i>Seat Leon</i> .....                                                                                                                                                              | 23 |
| 9 pav. <i>Mitsubishi Carisma</i> .....                                                                                                                                                     | 23 |
| 10 pav. <i>Lancia Kappa</i> .....                                                                                                                                                          | 23 |
| 11 pav. <i>Mercedes-Benz 300TD</i> .....                                                                                                                                                   | 23 |
| 12 pav. <i>Nissan Almera</i> .....                                                                                                                                                         | 23 |
| 13 pav. <i>Audi B4</i> .....                                                                                                                                                               | 23 |
| 14 pav. <i>VW Golf III</i> .....                                                                                                                                                           | 24 |
| 15 pav. <i>BMW 330d</i> .....                                                                                                                                                              | 24 |
| 16 pav. <i>BMW 318i</i> .....                                                                                                                                                              | 24 |
| 17 pav. Duomenų perkėlimas po bandymo: 1 – prietaisas VZM 100, 2 – nešiojamasis kompiuteris <i>CINET</i> .....                                                                             | 25 |
| 18 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos jutiklis .....                                                                                                                                   | 27 |
| 19 pav. Stabdžių efektyvumo patikros stendas <i>85BOX Tecnotest</i> .....                                                                                                                  | 27 |
| 20 pav. Stabdžių efektyvumo patikros stendas <i>John BEAN</i> .....                                                                                                                        | 27 |
| 21 pav. Stabdžių efektyvumo patikros stendo <i>John BEAN</i> volų modulis.....                                                                                                             | 28 |
| 22 pav. Vaizdas kompiuterio monitoriuje vieno iš bandymų pabaigoje.....                                                                                                                    | 28 |
| 23 pav. <i>Seat Leon</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant priekinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas.....     | 29 |
| 24 pav. <i>Seat Leon</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant galinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas.....       | 30 |
| 25 pav. <i>Nissan Almera</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant priekinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas..... | 31 |
| 26 pav. <i>Nissan Almera</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant galinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas .....  | 31 |

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 27 pav. <i>BMW 330d</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant priekinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas.....                       | 32 |
| 28 pav. <i>BMW 330d</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant galinės ašies stabdžius: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas .....                    | 33 |
| 29 pav. Bandytų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga bandant priekinės ir galinės ašies ratų stabdžius .....                                                                                        | 41 |
| 30 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės bei galinės ašies ratų stabdymo jėgos santykinų dydžių $k_{p,vid}$ ir $k_{g,vid}$ vidutinių reikšmių palyginimas.....                                | 42 |
| 31 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykinų dydžių $k_{p,m,f,vid}$ ir $k_{g,m,f,vid}$ vidutinių reikšmių palyginimas.....                                             | 42 |
| 32 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių $k_{p,m,vid}$ ir $k_{g,m,vid}$ vidutinių reikšmių palyginimas.....                                               | 43 |
| 33 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, stabdymo jėgos ratuose, faktinės ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių vidutinių reikšmių palyginimas.....                                            | 43 |
| 34 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgos ratuose, santykinų dydžių maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilio masės.....                                               | 44 |
| 35 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės, santykinų dydžių maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilio masės.....                                           | 44 |
| 36 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės, santykinų dydžių maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilio masės.....                                         | 45 |
| 37 pav. Lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, empirinės tankio funkcijos histograma ir diferencialinė funkcija .....                                     | 50 |
| 38 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, integralinės funkcijos.....                                                                                                     | 52 |
| 39 pav. Lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, empirinės tankio funkcijos histograma ir diferencialinė funkcija .....                                       | 56 |
| 40 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, integralinės funkcijos .....                                                                                                      | 57 |
| 41 pav. B. Stabdžių efektyvumo patikros stendas <i>John BEAN</i> .....                                                                                                                                      | 65 |
| 42 pav. B. Automobilio <i>Seat Leon</i> stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko bandant galinės ašies ratų stabdžius: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas..... | 65 |
| 43 pav. B. Bandytų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga stabdant priekinės ir galinės ašies ratus .....                                                                                             | 66 |



|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 44 pav. B. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgos ratuose santykinų dydžių $k_p$ ir $k_g$ maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilių masės.....                   | 66 |
| 45 pav. B. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykinų dydžių $k_{p,m,f}$ ir $k_{g,m,f}$ maksimalių reikšmių priklausomybės nuo bendrosios automobilių masės ..... | 66 |
| 46 pav. B. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių $k_{p,m}$ ir $k_{g,m}$ maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilių masės.....     | 66 |

## Lentelių sąrašas

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 lentelė. Bandytų lengvųjų automobilių techniniai duomenys .....                                                                                                                                                        | 22 |
| 2 lentelė. Pagrindiniai prietaiso VZM 100 techniniai parametrai .....                                                                                                                                                    | 26 |
| 3 lentelė. <i>Seat Leon</i> bandymų rezultatai .....                                                                                                                                                                     | 29 |
| 4 lentelė. <i>Nissan Almera</i> bandymų rezultatai.....                                                                                                                                                                  | 30 |
| 5 lentelė. <i>BMW 330d</i> bandymų rezultatai .....                                                                                                                                                                      | 32 |
| 6 lentelė. Bandytų automobilių atitinkamos ašies ratų suminių stabdymo jėgų reikšmės.....                                                                                                                                | 33 |
| 7 lentelė. Bandytų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmės.....                                                                                                                                            | 34 |
| 8 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykinų dydžių $k_p$ reikšmės.....                                                                                         | 36 |
| 9 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir galinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykinų dydžių $k_g$ reikšmės.....                                                                                           | 37 |
| 10 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės bei galinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos vidutinių santykinų dydžių $k_{p,vid}$ ir $k_{g,vid}$ reikšmės .....                                            | 37 |
| 11 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant priekinės ašies ratus, ir faktinės automobilio masės santykinų dydžių $k_{p,m,f}$ reikšmės .....                                                                  | 39 |
| 12 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant galinės ašies ratus, ir faktinės automobilio masės santykinų dydžių $k_{g,m,f}$ reikšmės.....                                                                     | 39 |
| 13 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant priekinės ašies ratus, ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių $k_{p,m}$ reikšmės.....                                                                   | 40 |
| 14 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant galinės ašies ratus, ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių $k_{g,m}$ ir reikšmės .....                                                                 | 40 |
| 15 lentelė. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės bei faktinės automobilio masės vidutinių santykinų dydžių $k_{p,m,f,vid}$ , $k_{g,m,f,vid}$ , $k_{p,m,vid}$ , $k_{g,m,vid}$ reikšmės ..... | 41 |
| 16 lentelė. Automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, pasiskirstymo rodiklių lentelė.....                                                                                          | 49 |
| 17 lentelė. Patikslinta automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių pasiskirstymo rodiklių lentelė.....                                                                                                        | 53 |
| 18 lentelė. Automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, pasiskirstymo rodiklių lentelė.....                                                                                            | 55 |

# **Įvadas**

## **Temos aktualumas**

Eismo saugumas – viena iš aktualiausių problemų Lietuvoje, susijusių su kelių transportu. Kasmet užregistruojama daugiau kaip 3 tūkst. įskaitinių eismo įvykių, kuriuose nukenčia žmonės. Nemaža dalis eismo įvykių įvyksta dėl blogos automobilių techninės būklės. Daugėjant transporto priemonių skaičiui keliuose ši problema tampa vis aktualesnė, todėl atsižvelgdami į įvairių keliuose važinėjančių transporto priemonių amžių, nagrinėsime, kaip griežčiau kontroliuoti jų techninę būklę.

Aktyviojo saugumo požiūriu stabdžių sistema yra pagrindinis elementas, galintis padėti išvengti eismo įvykio ir sumažinti jo pasekmes. Kiekvienos transporto priemonės stabdymo efektyvumas įvertinamas periodinės techninės apžiūros metu ant stabdžių tikrinimo stendo. Tačiau tipinis stabdžių tikrinimo procesas yra gana ribotas šiandieninėms modernioms (sudėtingoms) stabdžių sistemoms. Todėl stabdymo jėgų pasiskirstymas ant atskirų ratų, priklausomai nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, negali būti tinkamai įvertintas.

Šiame darbe nagrinėsime stabdymo procesą ant stabdžių tikrinimo stendo, konkrečiai įvertinant stabdžių jėgos ant ratų priklausomybę nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, faktinės automobilio masės bei bendrosios automobilio masės. Jeigu bandomame automobilyje šios priklausomybės atitinka nustatytą priklausomybę – stabdžių sistema tvarkinga.

## **Darbo tikslas ir uždaviniai**

Darbo tikslas – įvertinant automobilio masę ir atitinkamų ašių maksimalią stabdymo jėgą, nustatyti, kokia galėtų būti stabdžių paminos nuspaudimo jėga bandant automobilio stabdžius ant stabdžių efektyvumo patikros stendo.

Tikslui pasiekti suformuluoti šie uždaviniai:

1. Mokslinės literatūros apžvalga.
2. Atlikti eksperimentus ant ritininio stabdžių tikrinimo stendo įvertinant stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdymo jėgą ratuose ir automobilio masę;
3. Nustatyti santykinius dydžius, įvertinančius ryšį tarp stabdymo jėgos ratuose, faktinės automobilio masės, bendrosios automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos;
4. Įvertinti leistiną stabdžių paminos nuspaudimo jėgą taikant matematinės statistikos modelius.

## **Praktinė vertė**

Nustatytas priklausomybes būtų galima naudoti techninių apžiūrų centruose, siekiant tiksliau įvertinti lengvųjų automobilių stabdžių sistemos būklę, bei supaprastinti automobilių stabdymo efektyvumo nustatymo metodiką.

# 1. Literatūros analizė

## 1.1. Mokslinės literatūros apžvalga

Atliekant baigiamąjį darbą bus remiamasi moksline literatūra. Tai mokslinės knygos, straipsniai, publikacijos, kuriose nagrinėjamas automobilių stabdžių efektyvumas, stabdžių efektyvumo tyrimo metodai bei įranga. Pagrindinė mokslinė literatūra yra anglų ir lietuvių kalbomis.

Mokslininkai iš įvairių šalių atlieka daug bandymų, tyrimų ir skaičiavimų siekdami sukurti metodiką, kaip tikrinti stabdžių efektyvumą, naudojant įvairius stabdžių efektyvumo patikros standus. Pavyzdžiui, J. Babincev straipsnyje *Transporto priemonių stabdymo efektyvumo tyrimas* rašo: stabdymo savybės lemia transporto priemonės stabdymo kelią. Šis turi būti kuo trumpesnis, tačiau automobilis turi išlikti stabilus ir valdomas. Nuo stabdymo efektyvumo taip pat priklauso automobilio dinaminės savybės. Kuo intensyviau galima stabdyti automobilį, tuo didesnis yra saugus greitis, vadinasi, efektyvesnis transporto priemonės naudojimas.

Stabdymo savybių eksperimentinis įvertinimas yra atliekamas tiek bandant kelyje, tiek ir stacionariai – naudojant įvairius stabdžių tikrinimo standus. Atliekant kelio bandymus turi būti specialūs poligonai, kurie užima didelius plotus, reikia daug degalų, įvairių prietaisų ir pan. Todėl kartais bandymus tikslingiau yra atlikti stacionariai, naudojant stabdžių patikros standus. Pavyzdžiui, dėl didelio transporto priemonių srauto valstybinės techninės apžiūros metu stabdžių sistemos atitiktis keliams reikalavimams yra tikrinama stabdžių patikros stendais (2006).

Vienas iš pagrindinių autoriaus tikslų buvo nustatyti, kaip pasiskirsto tiriamų automobilių priekinės ir galinės ašių stabdymo jėgos, kuri ašis linkusi pirmoji blokuotis stabdymo metu.

Bendras stabdymo efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\mu_x = \frac{\sum B_{st}}{\sum F_z} \cdot 100\%; \quad (1)$$

čia:  $\mu_x$  – santykinė išilginė jėga;

$B_{st}$  – stabdymo jėga;

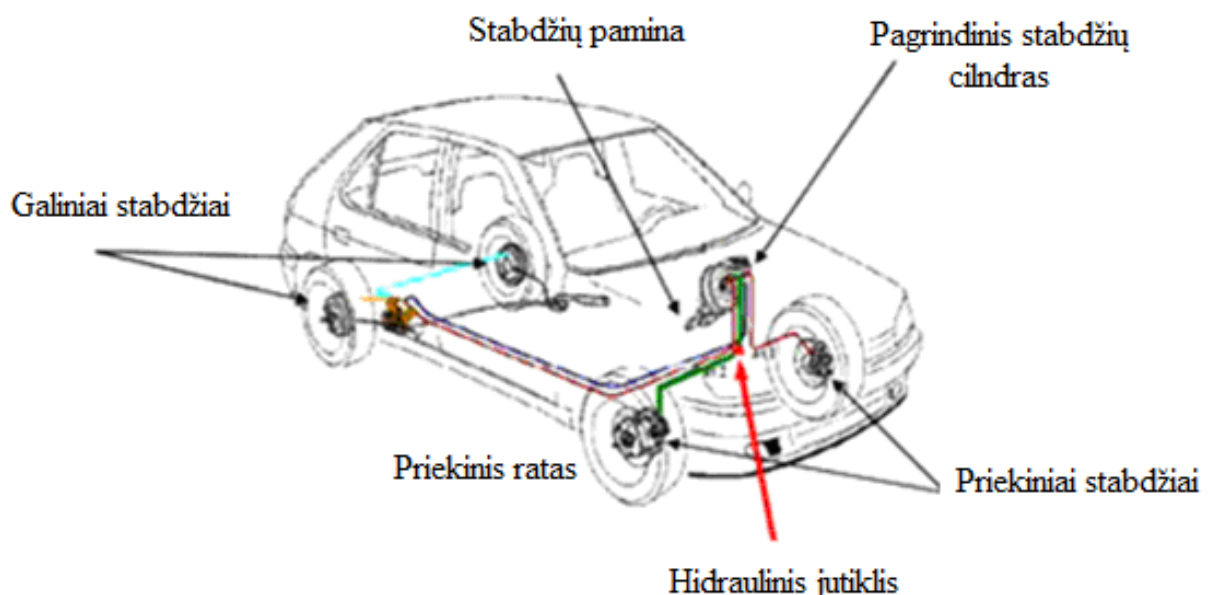
$F_z$  – dinaminė kelio reakcija.

Kadangi stabdymas darbinio stabdžio vyksta dinamiškai ir būtent dinaminis bandymas leidžia geriau nustatyti šiam stabdymui būdingus trūkumus, todėl bandymai buvo atliekami naudojant plokštinį stabdžių tikrinimo stendą.

Kito autoriaus aprašytas metodas naudojamas tikrinti stabdžių efektyvumą ant stabdžių patikros stendo, kai vienos ašies ratai patikros metu sukami į priešingas puses. Testo metu matuojami abiejų ratų sukimosi greičiai ir išlaikomi tokie, kokių reikia tiksliam matavimui. Prietaise yra kontaktiniai ritiniai, kurie matuoja ratų sukimosi greitį. Vienos ašies ratų sukimosi greičių skirtumas stabdant leidžia įvertinti tos ašies ratų stabdžių efektyvumą (Anton 2004).

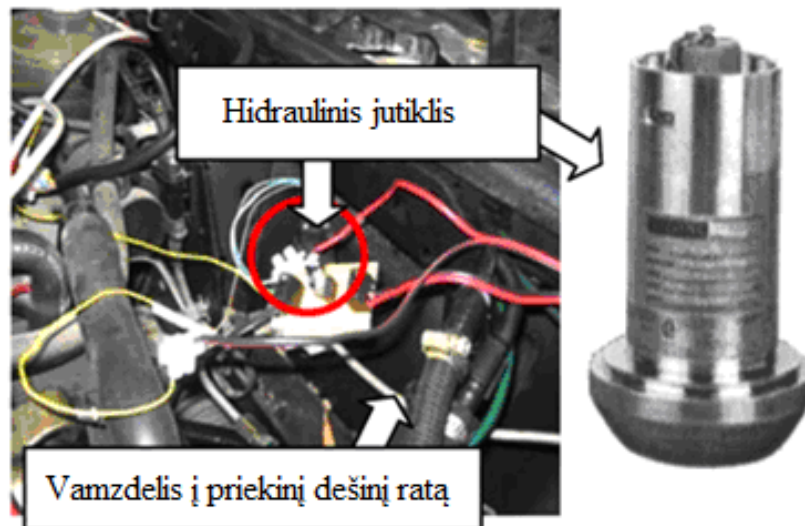
Autoriai C. Senabre, E. Velasco ir S. Valero (2010) straipsnyje *Comparative analysis of vehicle brake data in the Ministry of Transport test on the roller brake tester and on flat ground* rašo, kad tyrimai parodo skirtumus tarp stabdymo ant Transporto ministerijos stabdžių sistemos kontrolės stendo ir ant lygaus paviršiaus. Keičiamas tik oro slėgis padangose, o visi kiti parametrai išlieka pastovūs. Šio eksperimento rezultatai pagrįsti išsamiais lyginamaisiais tyrimais Miguel Hernandez universiteto laboratorijoje leido padaryti tokias išvadas: keičiant oro slėgį padangose, MOT stendas gali parodyti klaidingus rezultatus. Pavyzdžiui, jeigu oro slėgis padangose mažas, tačiau stabdžių būklė gera, stendas gali rodyti, kad stabdžiai nėra efektyvūs. Taip pat, jeigu oro slėgis padangose didesnis nei rekomenduoja gamintojas, o stabdžių būklė prasta, stendas gali parodyti, kad stabdžių efektyvumas pakankamas. Šie tyrimai rodo, kad MOT stabdžių patikros stendai dažnai neparodo tikrosios stabdžių sistemos būklės, nes rezultatai priklauso nuo oro slėgio padangose.

Matavimai buvo atliekami su dviem koduotuvais, sumontuotais ritiniame stabdžių stende ir slėgio jutikliu, prijungtu prie automobilio stabdžių sistemos (1, 2 pav.).



**1 pav.** Slėgio jutiklio montavimo vieta





**2 pav.** Stabdžių sistemos slėgio jutiklis

Šie prietaisai buvo naudojami matuoti stabdžių skysčio slėgį spaudžiant stabdžių paminą ir susieti ją su ratų sukimosi greičiu.

Buvo atlikti du bandymai (kartojami su skirtingu oro slėgiu padangose):

1. Stabdoma ant ritininio stabdžių stendo, kurio ritiniai sukasi 5 km/h greičiu. Tokio greičio pakanka išgauti 100 % ratų slydimą.

Šio testo metu slydimas skaičiuojamas:

$$\text{Slydimas} = 1 - \frac{\text{rato sukimosi greitis}}{\text{ritinio sukimosi greitis}}. \quad (2)$$

2. Automobilis greitėja iki 40 km/h ant lygaus paviršiaus. Toks greitis būtinas pasiekti 100 % ratų slydimą. Stabdoma tol, kol automobilio ratai pradeda slysti.

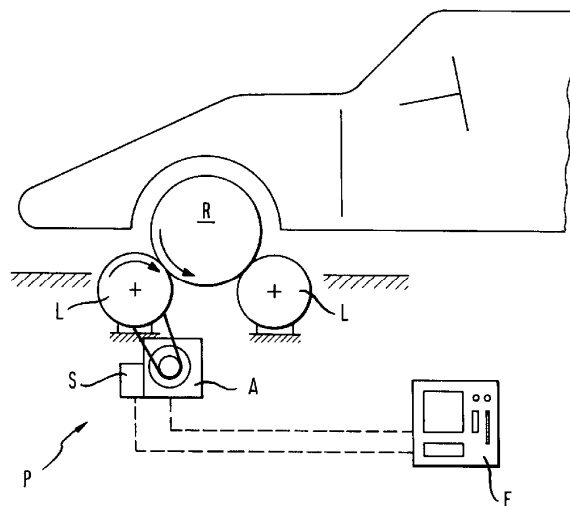
Šio testo metu slydimas skaičiuojamas:

$$\text{Slydimas} = 1 - \frac{\text{automobilio rato sukimosi greitis}}{\text{penktojo rato sukimosi greitis}}. \quad (3)$$

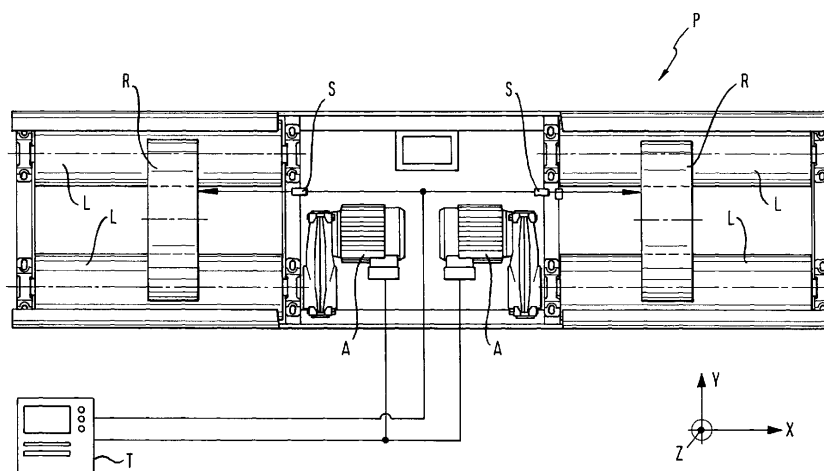
Tyrimo rezultatai parodė, kad stabdžių efektyvumas, matuojant ant ritininio stabdžių stendo, priklauso nuo stabdžių sistemos būklės ir nuo oro slėgio padangose. Stendas parodė, kad stabdžių sistema tvarkinga, jeigu padangose būtų 2,5 bar. ar didesnis oro slėgis. Jeigu slėgis mažesnis, stendas parodė, kad stabdžių sistema netvarkinga.

Išradėjas Seibl užpatentavo tokį stabdžių efektyvumo matavimo įrenginį: išradimas pagrįstas ritininiu stabdžių testavimo dinamometru (P) (3 pav.), kuriame yra bent vienas ritinys (L) sukamas

variklio (A), tam, kad pasukti automobilio ratą (R) prieš ritinį (L), kuriame yra bent vienas stabdžių jėgos jutiklis (S) įvertinantis stabdymo jėgą sukuriamą ant ritinio (L) rato (R), ir kuriame yra vertinimo ir kontrolės įrenginys (E). Be to, vertinimo ir kontrolės įrenginys (E) yra pritaikytas pagal stabdymo jėgos jutiklio (S) signalus nustatyti slydimo pradžios momentą tarp rato (R) ir ritinio (L) nepriklausomai nuo ritinio sukimosi greičio.



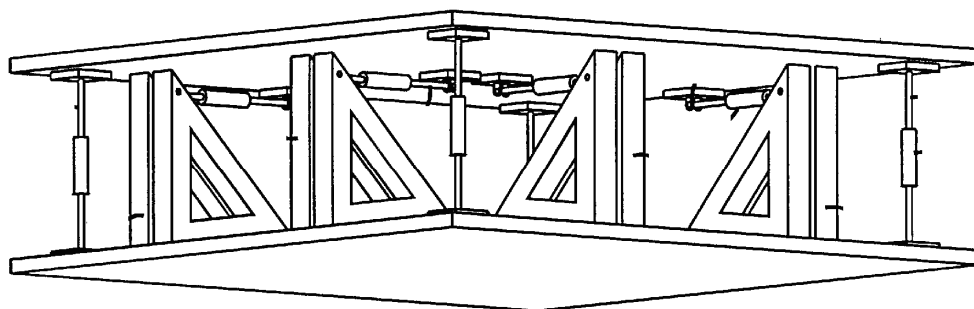
**3 pav.** Išradėjo Seibl užpatentuotas stabdymo efektyvumo patikros įrenginys



**4 pav.** Išradėjo Seibl užpatentuoto stabdymo efektyvumo patikros įrenginio schema

Visiškai kitokiu principu veikiančią stabdžių tikrinimo stendą (5 pav.) aprašė Stevens (2004). Jo išradimas susijęs su jėgos matavimo sistema, galinčia matuojamas jėgas susieti su transporto priemonės stabdžių efektyvumu. Išradimą sudaro dvi eilės lygiagrečių plokščių, jėgos matuokliai, sumontuoti po viršutine plokšte. Taip pat vertikalčiai ir horizontalčiai išdėstytos jungtys, jungiančios viršutinę ir apatinę plokštes su jėgos matavimo įrenginiais. Kiekvienas matavimo įrenginys turi relę

ir skaičiavimo prietaisą, apdorojantį jėgos vertę. Aprašytas išradimas gali būti naudojamas įvairių automobilių stabdžių patikrai.



5 pav. Plokštinis stabdžių patikros stendas

D. Žukauskas ir S. Glėbus straipsnyje *Automobilių stabdžių sistemos kontrolės stendų ir jų eksploatacijos analizė* rašo: beveik visose Lietuvos techninių apžiūrų centruose sumontuoti ritininės stabdžių sistemos kontrolės stendai su dinaminio rato stabdymo jėgos matavimu. Stabdomą ratą suka būgnų pora iki praslydimo ir fiksuojamas stabdymo momentas, o pradėjus ratui slysti, bandymas automatiškai nutraukiamas. Kadangi matavimo rezultatai priklauso nuo padangos ir ritinio paviršiaus sukibimo jėgos, jie kartojami kelis kartus.

Dauguma šiuolaikinių ritininių stabdžių stendų gali išmatuoti didžiausią stabdymo jėgą, didžiausios stabdymo jėgos skirtumą, stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, ovališkumą, ašies stabdymo efektyvumą, ašies svorį bei pilnutinį automobilio stabdymo efektyvumą.

Pavyzdžiui, lengvųjų automobilių stabdymo efektyvumas turėtų būti ne mažesnis nei 50 % stabdant darbinio stabdžiu ir ne mažesnis kaip 16 % stabdant stovėjimo stabdžiu. Be to, skirtumas tarp vienos ašies ratų stabdymo jėgos neturėtų būti didesnis nei 30 % stabdant darbinio stabdžiu ir 70% stabdant stovėjimo stabdžiu (Žukauskas, Glėbus 2008).

Autorius E. Sokolovskij (2005) straipsnyje apie eksperimentinį stabdymo proceso tyrimą *Experimental investigation of the braking process of automobiles* rašo: straipsnyje parodomi stabdymo parametrų tyrimo automobiliuose su ABS sistema ir be ABS sistemos, rezultatai. Taip pat atliekami eksperimentiniai automobilių lėtėjimo, automobilių lėtėjimo pagreičio laiko augimo, bei kiti bandymai ant sauso asfaltbetonio dangos. Bandymais pagrindžiamas lėtėjimo skirtumas tarp automobilių su ABS sistema ir be jos. Taip pat parodomas stabdymo parametrų skirtumas, tarp automobilių su ABS ir be, ant slidžios dangos (sniego ir ledo).

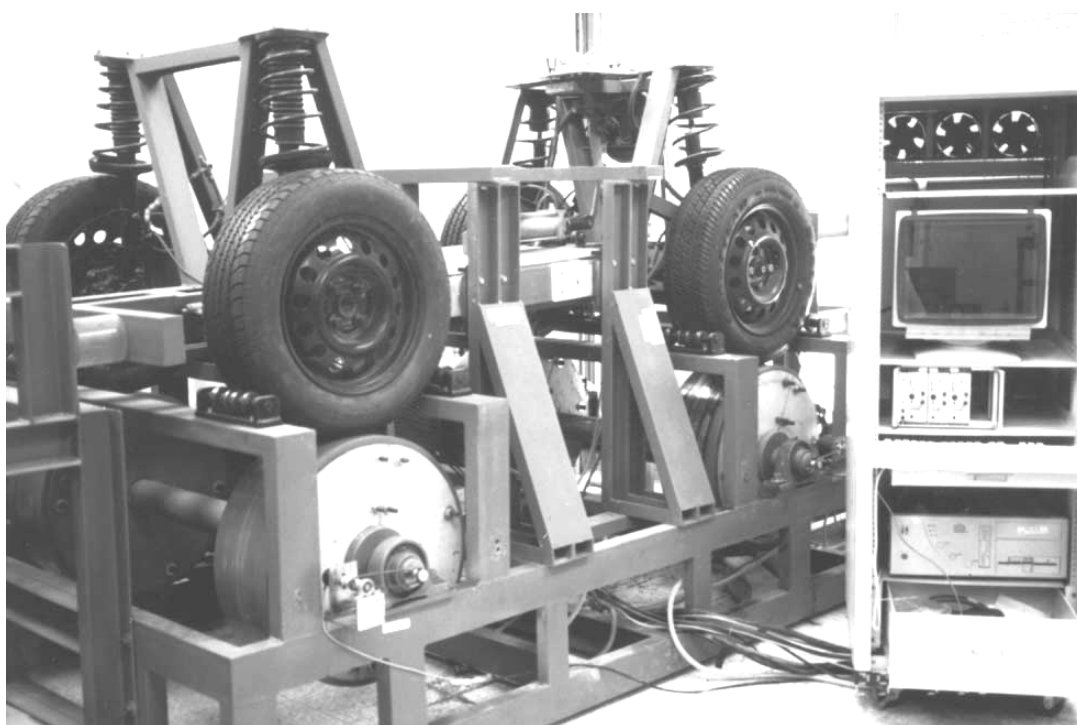
Bandymai buvo atlikti su elektroniniu prietaisu, matuojančiu lėtėjimą. Autorius padarė išvadą, kad lėtėjimo pagreičio ir sustojimo kelio reikšmės automobiliuose su ABS sistema yra

žymiai geresnės, nei automobiliuose be šios sistemos. Taip pat, ABS sistema leidžia neprarasti automobilio valdomumo stabdymo metu.

Visiškai kitokį stabdžių efektyvumo tyrimą aprašė autoriai J. A. Calvo, V. Diaz. J. L. San Roman ir D. Garcia-Pozuelo (2006) straipsnyje *Influence of shock absorber wearing on vehicle brake performance*. Pagrindinis autorių tikslas buvo nustatyti stabdymo efektyvumo priklausomybę nuo amortizatorių būklės. Amortizatorių būklė buvo tikrinama ant specialaus stendo ir po to atliekami stabdymo bandymai. Bandymai buvo atliekami tiek ant lygaus, tiek ant nelygaus virtualaus paviršiaus. Pradinis transporto priemonės greitis – 100 km/h. Autoriai pateikia tokius bandymų rezultatus:

1. Amortizatorių būklė neturi didelę įtakos stabdant ant lygaus paviršiaus.
2. Amortizatorių būklė turi didelę įtaką stabdymo keliui, stabdant ant nelygaus paviršiaus.

Autoriai Ming-chin Wu ir Ming-chang Shih (2000) straipsnyje *Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system using sliding-mode PWM control* aprašė eksperimentinius ir teorinius stabdžių atiblokavimo sistemos tyrimus. Autoriai naudojo testavimo stendą, parodytą 6 pav. Tyrimai buvo atliekami naudojant du slydimo valdiklius, kurių valdymas pagrįstas impulso pločio moduliavimu ir impulso dažnio valdymu (ant specialiai suprojektuoto ritininio stabdžių patikros stendo).



**6 pav.** Testavimo stendas, naudotas standartinių ir perprogramuotų stabdžių valdymo blokų palyginimui



atsižvelgiant į jų temperatūrą. Mokslininkas padarė pagrindinę išvadą, kad stabdymo metu temperatūra tarp trinties paviršių negali viršyti 200 °C.

Autoriai N. Patel, C. Edwards ir S. K. Spurgeon (2007) aprašė stabdžių efektyvumo tyrimo metodą, pagrįstą padangos ir kelio sukibimu. Šiame straipsnyje aprašyta schema, paremta slydimu tam, kad gauti optimalų lėtėjimą stabdymo metu. Bandymas pagrįstas modeliu, kuriuo siekiama išlaikyti optimalią išilginio slydimo reikšmę tarp padangos ir kelio paviršiaus – tašką, kuriame slydimo trinties koeficientas yra didžiausias.

Trinties koeficientas išreiškiamas:

$$\mu = \frac{F_x}{F_n}; \quad (4)$$

čia:  $\mu$  – trinties koeficientas;

$F_x$  – trinties jėga;

$F_n$  – normalinė jėga.

Šiuo metodu matuojamas rato kampinis greitis ir įvertinama padangos bei kelio būklė. Modelis siekia išlaikyti maksimalią trinties koeficiento reikšmę stabdymo metu.

Nuo pat pirmojo automobilio išradimo, buvo labai svarbu žinoti transporto priemonių stabdymo efektyvumą. Tačiau, dėl didelės stabdžių sistemų įvairovės, buvo sunku tiksliai jį numatyti. Straipsnyje aprašoma skaičiuojamoji programa, kuri skaitmeniniu būdu įvertina stabdžių efektyvumą. Šis stabdymo efektyvumo programa įvertina stabdžių paminos spaudimo jėgą, paminos eigą ir stabdžių sistemos detalių, tokių kaip pagrindinis stabdžių cilindras, stabdžių stiprintuvas, įvairūs vožtuvai, stabdžių trinkelės, stabdžių diskai ir stabdžių vamzdeliai, įtaką. Tam, kad padidinti programos tikslumą, naudojamas pusiau empirinis stabdžių sistemos modelis, įvertinantis stabdžių trinkelės suspaudimą, stabdžių vamzdelių išsiplėtimą ir trinties koeficientą tarp stabdžių trinkelės ir stabdžių disko. Šių dydžių tikslumas įvertinamas lyginat juos su realių testų rezultatais. Sukurta programa naudinga automobilių inžinieriams, kadangi gali būti panaudota naujų transporto priemonių stabdžių sistemų kūrimui.

Pagrindinis programos tikslas yra įvertinti automobilio lėtėjimą priklausomai nuo dviejų faktorių: stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bet paminos eigos (Lee *et al.* 2009).



## 1.2. Stabdžių sistemai keliami reikalavimai

Stabdžių sistemai keliami ypač dideli reikalavimai, kadangi ji yra svarbiausia aktyvi automobilio saugos priemonė. Reikalavimai stabdžių sistemai yra reglamentuojami tarptautiniais standartais. Stabdžiams keliami reikalavimai aprašyti Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2009/40/EB:

- Stabdant turi būti kuo trumpesnis stabdymo kelias arba didžiausias pastovus lėtėjimas.
- Stabdymo metu automobilis turi neprarasti pusiausvyros ir būti vairuojamas.
- Stabdymo savybės turi nesikeisti, kai stabdoma daug kartų.
- Laikas nuo paminos paspaudimo iki stabdymo pradžios turi būti minimalus.
- Paminos spaudimo jėga turi būti nedidelė: lengviesiems automobiliams ne daugiau kaip 500 N, krovininiams – ne daugiau kaip 700 N ir proporcinga stabdymo momentui.
- Stabdžių paminos eiga turi būti 80-180 mm.
- Visi sistemos elementai turi būti patikimi.

Stabdžiai yra viena svarbiausių eismo saugumo požiūriu automobilio sistemų, todėl jų tvarkingumui ir patikimumui skiriamas ypatingas dėmesys. Techninės apžiūros metu tikrinama, kaip funkcionuoja stabdžių sistemos ir mechanizmų elementai, ar jie atitinka gamintojo reikalavimus. Vienas pagrindinių įvertinamų parametrų yra stabdymo efektyvumas – transporto priemonės suminės stabdymo jėgos ir jos svorio santykis, išreikštas procentais. Pavyzdžiui, lengvųjų automobilių stabdymo efektyvumas turėtų būti ne mažesnis nei 50 % stabdant darbinio stabdžiu ir ne mažesnis kaip 16 % stabdant stovėjimo (atsarginiu) stabdžiu. Be to, skirtumas tarp vienos ašies ratų stabdymo jėgos neturėtų būti didesnis nei 30 % stabdant darbinio stabdžiu ir 70 % stabdant stovėjimo (atsarginiu) stabdžiu. Šis skirtumas vadinamas vienos ašies ratų stabdymo netolygumu.

Stabdžių sistemos vamzdeliai turi būti tvarkingi, sandarūs bei pastebimai nepaveikti korozijos, o stabdžių žarnelės nesutrūkinėjusios, gerai pritvirtintos ir užfiksuotos.

Apžiūros metu neretai nustatoma, kad virš leistinos ribos sudilę stabdžių diskai. Jei stabdžių diskų nusidėvėjimas iš kiekvieno šono didesnis kaip 1 mm, patariama pakeisti juos naujais. Stabdžių trinkelėlių antdėklų storis, jei gamintojo nenurodyta kitaip, turi būti ne mažesnis kaip 3 mm.

## 2. Eksperimentiniai tyrimai

### 2.1. Eksperimentinių tyrimų tikslai ir metodika

#### Eksperimentinių tyrimų tikslai:

1. Nustatyti lengvųjų automobilių stabdymo parametrus: stabdžių paminos nuspaudimo jėgą  $P$ , stabdymo jėgą priekiniuose ir galiniuose ratuose  $F$ .
2. Nustatyti ryšį tarp maksimalios stabdymo jėgos ratuose bei stabdžių paminos nuspaudimo jėgos.
3. Nustatyti ryšį tarp stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, faktinės automobilio masės ir bendrosios automobilio masės.
4. Įvertinti leistiną stabdžių paminos nuspaudimo jėgą stabdžių bandymo metu, kai žinoma maksimali ratų stabdymo jėga ir automobilio masė.

Bandymams atlikti buvo pasirinkta 10 lengvųjų automobilių. Visi automobiliai techniškai tvarkingi. Automobilių amžius apie 15 m. Tai dominuojanti lengvųjų automobilių grupė Lietuvos automobilių parke. Bandymai buvo atliekami ant ritininių stabdžių efektyvumo tikrinimo stendų *Tecnotest* ir *John BEAN*. Tiriamų automobilių (8–16 pav.) duomenys pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Bandytų lengvųjų automobilių techniniai duomenys

| Eil. Nr. | Automobilio markė, modelis, pagaminimo metai | Padangų matmenys | Bendroji automobilio masė, kg | Faktinė automobilio masė, kg |
|----------|----------------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1.       | <i>Seat Leon</i> , 2000 m.                   | 195/65 R15       | 1780                          | 1310                         |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i> , 2002 m.          | 195/50 R15       | 1660                          | 1250                         |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i> , 2001 m.                | 235/45 R17       | 2030                          | 1600                         |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> , 1988 m.         | 195/65 R15       | 2120                          | 1600                         |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i> , 2003 m.               | 185/65 R15       | 1800                          | 1560                         |
| 6.       | <i>Audi B4</i> , 1993 m.                     | 195/65 R15       | 1860                          | 1550                         |
| 7.       | <i>BMW 520d</i> , 2001 m.                    | 205/65 R15       | 2000                          | 1650                         |
| 8.       | <i>VW Golf</i> , 1994 m.                     | 185/60 R14       | 1505                          | 1200                         |
| 9.       | <i>BMW 330d</i> , 2000 m.                    | 225/45 R17       | 2020                          | 1700                         |
| 10.      | <i>BMW 318i</i> , 2003 m.                    | 205/55 R16       | 1820                          | 1420                         |



**8 pav. Seat Leon**



**11 pav. Mercedes-Benz 300TD**



**9 pav. Mitsubishi Carisma**



**12 pav. Nissan Almera**



**10 pav. Lancia Kappa**



**13 pav. Audi B4**





**14 pav. VW Golf III**



**15 pav. BMW 330d**



**16 pav. BMW 318i**

Visi automobiliai su hidrauline stabdžių sistema ir vakuuminiais stabdžių stiprintuvais. Bandymų metu buvo tikrinami darbiniai stabdžiai.

#### **Eksperimentinių tyrimų eiga ir sąlygos:**

1. Automobilių stabdžiai buvo bandomi tokia tvarka: iš pradžių matuojamas priekinės ašies stabdžių efektyvumas bei stabdžių paminos nuspaudimo jėga (fiksuojamos didžiausios reikšmės), po to bandymas kartojamas galinei ašiai.
2. Bandymai buvo atliekami po 3 kartus kiekvienai ašiai (vienam automobiliui 6 bandymai. *Lancia Kappa* buvo bandyta 2 kartus, *BMW 520d* ir *VW Golf* – po 4 kartus, todėl iš viso – 52 bandymai).
3. Visais atvejais laiko žingsniu  $t = 0,02s$  buvo fiksuojama stabdžių paminos nuspaudimo jėga  $P$ . Priimta, kad maksimali stabdžių jėgos reikšmė ratuose pasiekama esant didžiausiai stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmei.

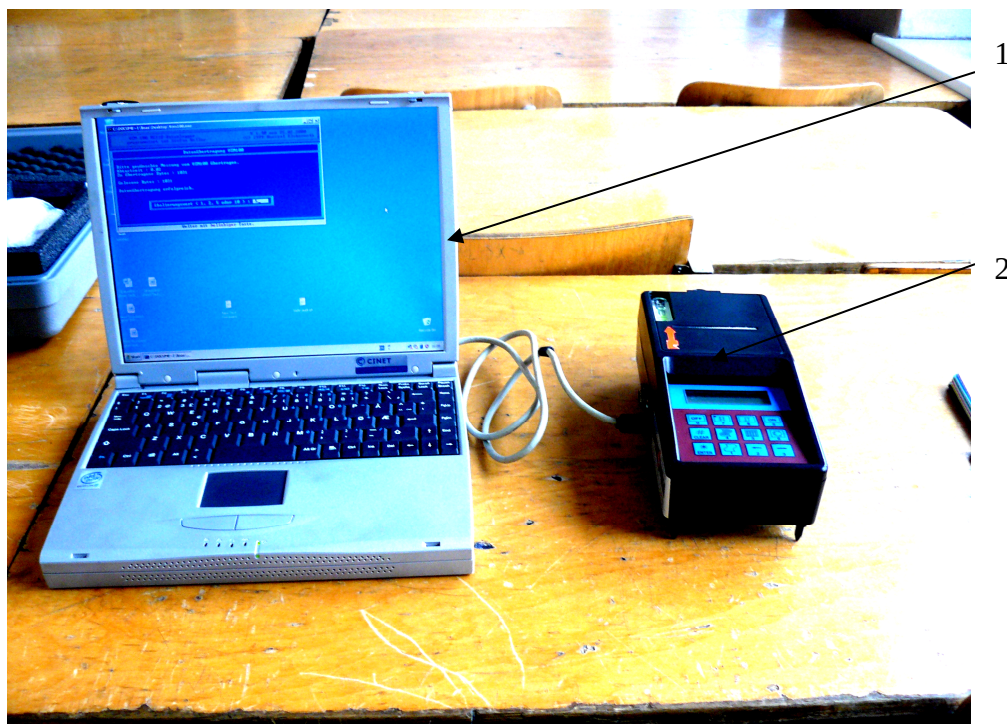
4. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos matavimai buvo atliekami kilnojamu prietaisu *VZM 100*. Stabdymo jėgos reikšmės ratuose matuotos būgniniu stabdžių patikros stendu.
5. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos  $P$  reikšmės iš prietaiso *VZM 100* atminties *RS232* ryšio sąsaja perkeltos į nešiojamąjį kompiuterį ir apdorotos programiniu paketu *vzm100.exe*. Taip gauta dydžio  $P$  reikšmės kas 0,02 s.

## 2.2. Įranga, naudota atliekant eksperimentinius tyrimus

### Paminos nuspaudimo jėgos matavimo prietaisas *VZM 100*

Atliekant eksperimentus buvo naudotas stabdžių paminos nuspaudimo jėgos matavimo prietaisas *VZM 100* (17 pav. 2 pozicija). Šio matavimo prietaiso atitiktis kontrolės prietaisų reikalavimams yra patvirtinta ir sertifikuota Vokietijos techninių apžiūrų susivienijimo (*TUV*).

Prietaiso *VZM 100* galimybės praplečiamos programinės įrangos paketu *PROM V.1.20*, kurio valdymas atliekamas funkciniais klavišais, o matavimų rezultatai pateikiami skystųjų kristalų ekrane arba išspausdinami ant tam tikros juostos. Pagrindiniai šio prietaiso parametrai pateikti 2 lentelėje.



**17 pav.** Duomenų perkėlimas po bandymo: 1 – prietaisas *VZM 100*, 2 – nešiojamasis kompiuteris *CINET*

**2 lentelė.** Pagrindiniai prietaiso VZM 100 techniniai parametrai

| <b>Matuojamų dydžių diapazonas</b>                            |                                                              |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Maksimali matuojama stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmė | 1,0 kN                                                       |
| Maksimalus matuojamas lėtėjimo pagreitis stabdant             | 10 m/s <sup>2</sup>                                          |
| <b>Elektrotechniniai duomenys</b>                             |                                                              |
| Įtampos šaltiniai                                             | Įmontuotas akumuliatorius 6 V/1,2 Ah                         |
|                                                               | Automobilio maitinimo šaltinis                               |
|                                                               | El. tinklo adapteris                                         |
| Naudojama srovė                                               | Minimali – 150 mA<br>Vidutinė – 250 mA<br>Maksimali – 500 mA |
| <b>Fiziniai duomenys</b>                                      |                                                              |
| Masė su akumuliatoriumi                                       | 1,1 kg                                                       |
| Aukštis                                                       | 65 mm                                                        |
| Plotis                                                        | 120 mm                                                       |
| Ilgis                                                         | 245 mm                                                       |
| Darbo temperatūra                                             | nuo -10 °C iki +50 °C                                        |
| Aplinkos temperatūra                                          | nuo -20 °C iki +60 °C                                        |
| <b>Elektronika</b>                                            |                                                              |
| Matuojamų reikšmių atmintis – 1 laikinoji ir 6 pastoviosios   |                                                              |
| Procesorius                                                   | Hitachi H8/532                                               |
| RAM                                                           | 8 kB                                                         |
| Displėjus                                                     | Skystųjų kristalų                                            |
| Pastovioji atmintis                                           | 128 B EEPROM                                                 |
| Nuoseklusis įvadas                                            | RS 232                                                       |
| Prietaiso matavimų tikslumas                                  | ±5 %                                                         |

Prietaiso sensoriniai elementai, skaičiavimo blokas bei spausdintuvas integruoti viename korpuse, o maitinimas autonominis arba nuo papildomo elektros šaltinio.

Duomenys nuskaityti iš VZM 100 prietaiso RS232 ryšio sąsaja buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris CINET. Matavimo įrangos išdėstymas duomenų perkėlimo metu parodytas 17 pav. Paminos nuspaudimo jėgos jutiklis bandymo metu parodytas 18 pav.





**18 pav.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos jutiklis

### **Stendai 85BOX Tecnotest ir John BEAN**

Bandymai buvo atliekami naudojantis ritininiais stabdžių patikros stendais 85 BOX Tecnotest (19 pav.) ir John BEAN (20, 21 pav.).



**19 pav.** Stabdžių efektyvumo patikros stendas  
85BOX Tecnotest



**20 pav.** Stabdžių efektyvumo patikros stendas  
John BEAN





**21 pav.** Stabdžių efektyvumo patikros stendo *John BEAN* volų modulis

Abu patikros stendai, pagal atliekamas funkcijas, yra panašūs, todėl A priede pateikiami vieno iš jų (*John BEAN*) techniniai ypatumai.

### 2.3. Eksperimentinių tyrimų rezultatai

Vieno iš bandymo pabaigoje rodoma informacija kompiuterio monitoriuje (22 pav.).

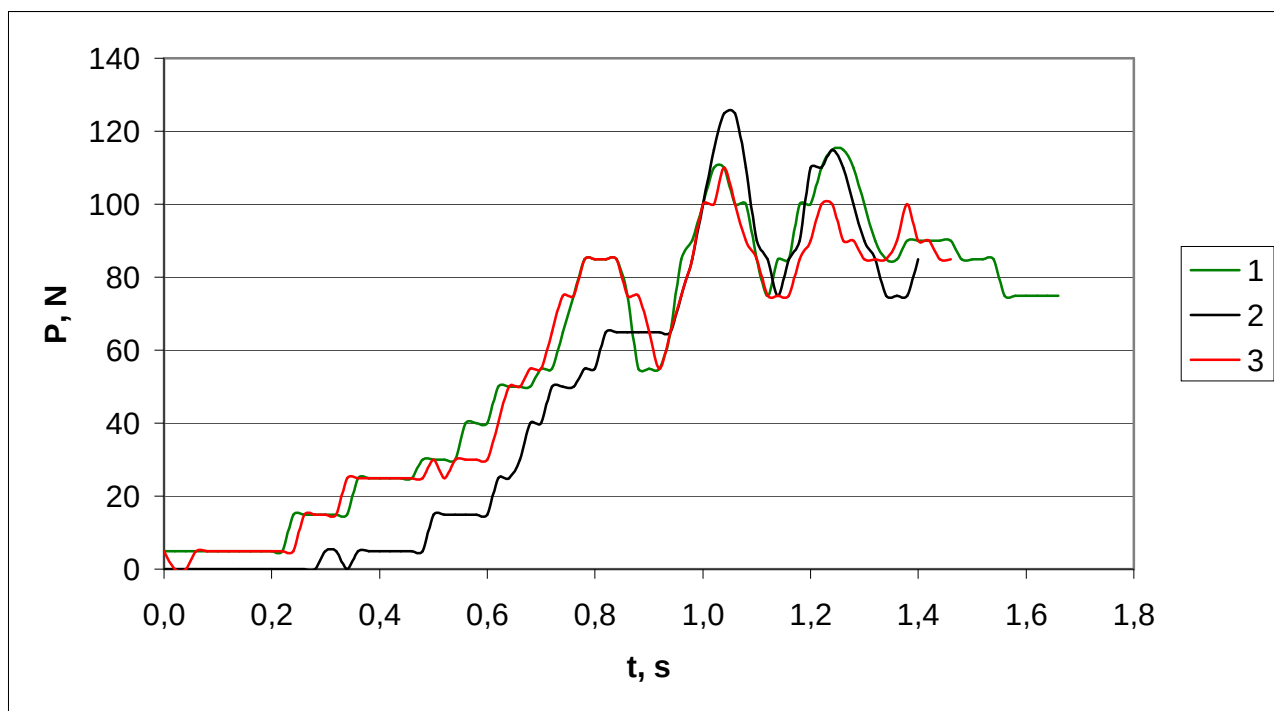


**22 pav.** Vaizdas kompiuterio monitoriuje vieno iš bandymų pabaigoje

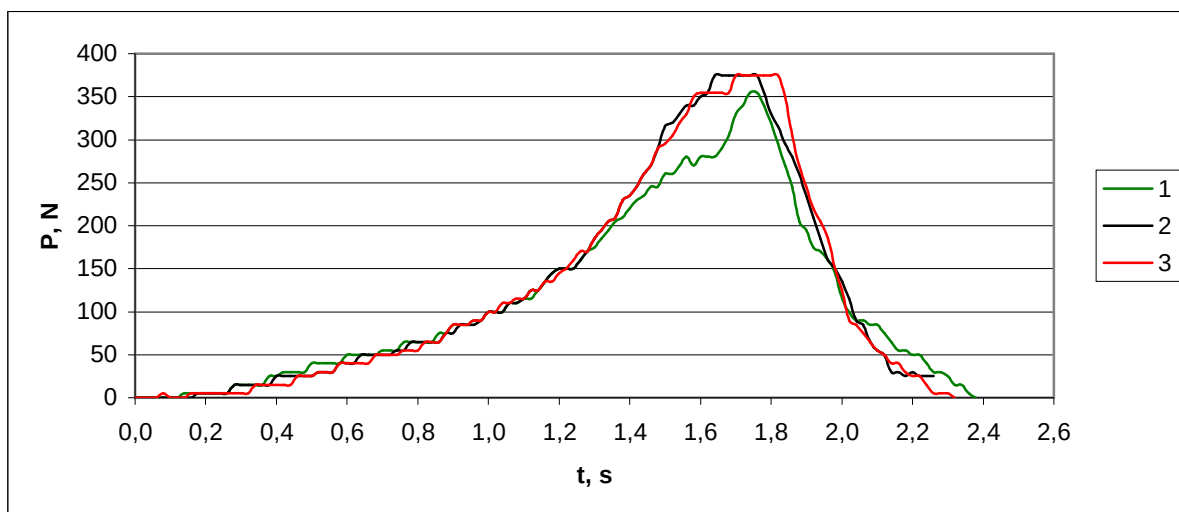
Bandymų metu gauti rezultatai surašomi į 3–5 lenteles bei 23–28 pav. pateikiamos priklausomybės, gautos iš prietaiso VZM 100.

**3 lentelė.** *Seat Leon* bandymų rezultatai

| Bandymo Nr.                                           |        | Priekinė ašis |      |      | Galinė ašis |      |      |
|-------------------------------------------------------|--------|---------------|------|------|-------------|------|------|
|                                                       |        | 1             | 2    | 3    | 1           | 2    | 3    |
| Maksimali stabdymo jėga, N                            | Kairė  | 2827          | 2138 | 2548 | 2363        | 2313 | 2040 |
|                                                       | Dešinė | 2668          | 2045 | 2477 | 2191        | 2148 | 1899 |
| Ratų pasipriešinimo riedėjimui jėga, N                | Kairė  | 127           | 133  | 127  | 93          | 93   | 93   |
|                                                       | Dešinė | 114           | 114  | 114  | 93          | 103  | 103  |
| Blokavimosi skirtumas, %                              |        | 6             | 4    | 3    | 7           | 7    | 7    |
| Maksimalios stabdymo jėgos skirtumas, %               |        | 6             | 4    | 3    | 7           | 7    | 7    |
| Maksimali paminos nuspaudimo jėga, N                  |        | 115           | 125  | 110  | 355         | 375  | 375  |
| Laikas, per kurį pasiekama maksimali stabdymo jėga, s |        | 1,24          | 1,04 | 1,04 | 1,74        | 1,64 | 1,70 |



**23 pav.** *Seat Leon* stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant priekinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas



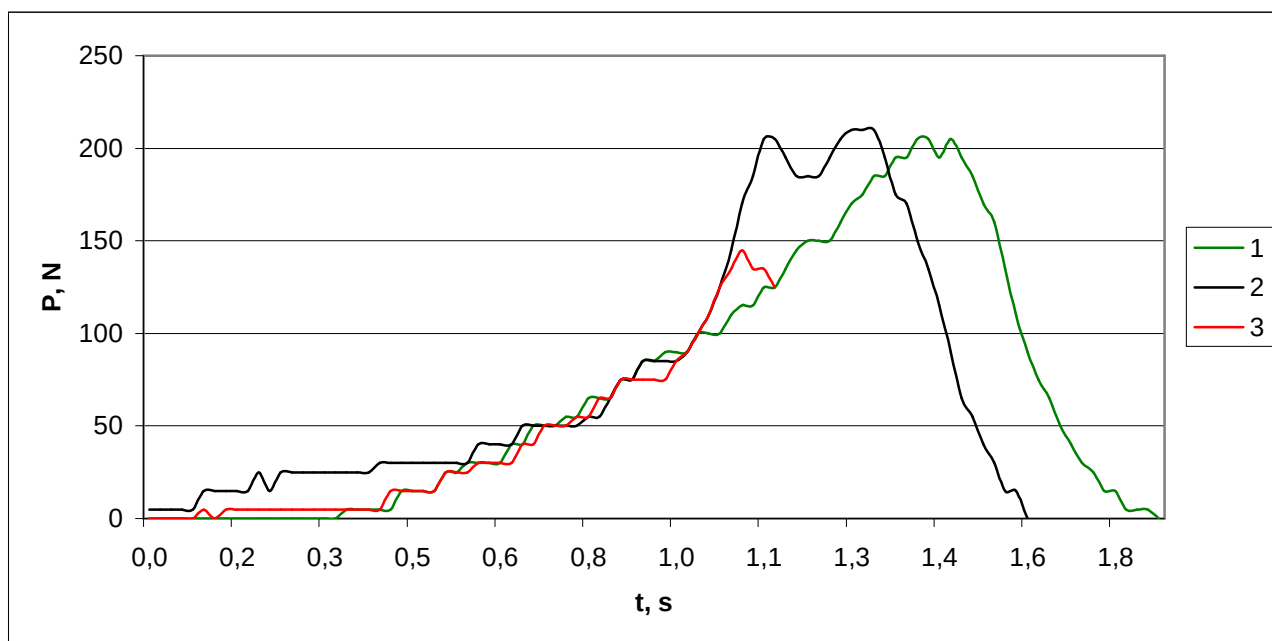
**24 pav.** *Seat Leon* stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant galinės ašies ratus:  
1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas

#### **Seat Leon bandymų rezultatai:**

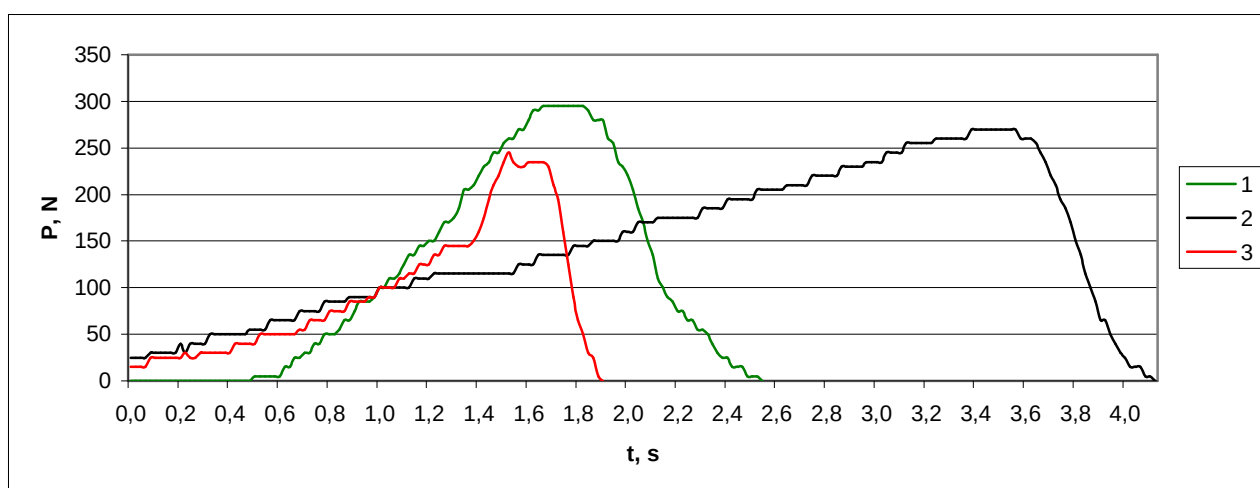
1. Didžiausias priekinės ašies stabdžių efektyvumas pasiekiamas spaudžiant paminą nedidele (apie 115 N) jėga, per trumpą – apie 1,10 s laiko tarpą. Stabdymo jėgų skirtumas leistinose ribose (mažiau kaip 30 %), todėl galima teigti, kad stabdžiai tvarkingi.
2. Didžiausias galinės ašies stabdžių efektyvumas pasiekiamas spaudžiant paminą daugiau kaip tris kartus didesne (apie 370 N) jėga ir laikas, reikalingas pasiekti maksimalų efektyvumą, didesnis – apie 1,70 sekundės, todėl pirmieji blokuosis priekinės ašies ratai. Stabdymo jėgų skirtumas 7 %. Galima teigti, kad stabdžiai tvarkingi.

**4 lentelė.** *Nissan Almera* bandymų rezultatai

| Bandymo Nr.                                           |        | Priekinė ašis |      |      | Galinė ašis |      |      |
|-------------------------------------------------------|--------|---------------|------|------|-------------|------|------|
|                                                       |        | 1             | 2    | 3    | 1           | 2    | 3    |
| Maksimali stabdymo jėga, N                            | Kairė  | 2880          | 3040 | 2560 | 2040        | 1920 | 1960 |
|                                                       | Dešinė | 3000          | 3040 | 2600 | 1800        | 1640 | 1640 |
| Ratų pasipriešinimo riedėjimui jėga, N                | Kairė  | 200           | 360  | 280  | 120         | 160  | 160  |
|                                                       | Dešinė | 200           | 240  | 240  | 120         | 160  | 160  |
| Blokavimosi skirtumas, %                              |        | 4             | 0    | 2    | 12          | 15   | 16   |
| Maksimalios stabdymo jėgos skirtumas, %               |        | 14            | 2    | 7    | 13          | 21   | 19   |
| Maksimali paminos nuspaudimo jėga, N                  |        | 205           | 210  | 145  | 295         | 270  | 245  |
| Laikas, per kurį pasiekama maksimali stabdymo jėga, s |        | 1,4           | 1,28 | 1,08 | 1,66        | 3,38 | 1,52 |



**25 pav.** Nissan Almera stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant priekinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas



**26 pav.** Nissan Almera stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant galinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas

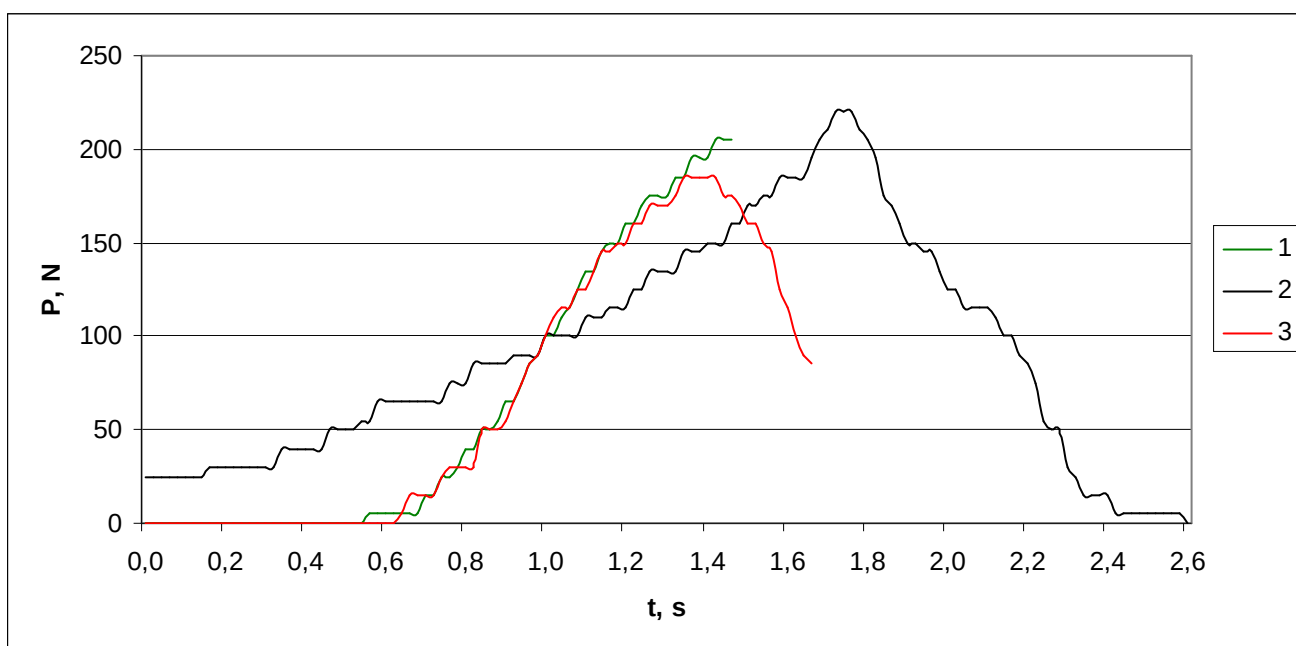
### Nissan Almera bandymų rezultatai:

1. Didžiausias priekinės ašies stabdžių efektyvumas pasiekiamas spaudžiant paminą didesne, lyginant su *Seat Leon*, (apie 190 N) jėga, per trumpą – apie 1,30 s laiko tarpą. Stabdymo jėgų skirtumas leistinose ribose (mažiau kaip 30 %), todėl galima teigti, kad stabdžiai tvarkingi.
2. Didžiausias galinės ašies stabdžių efektyvumas pasiekiamas spaudžiant paminą didesne (apie 270 N) jėga ir laikas, reikalingas pasiekti maksimalų efektyvumą, didesnis – apie 1,80

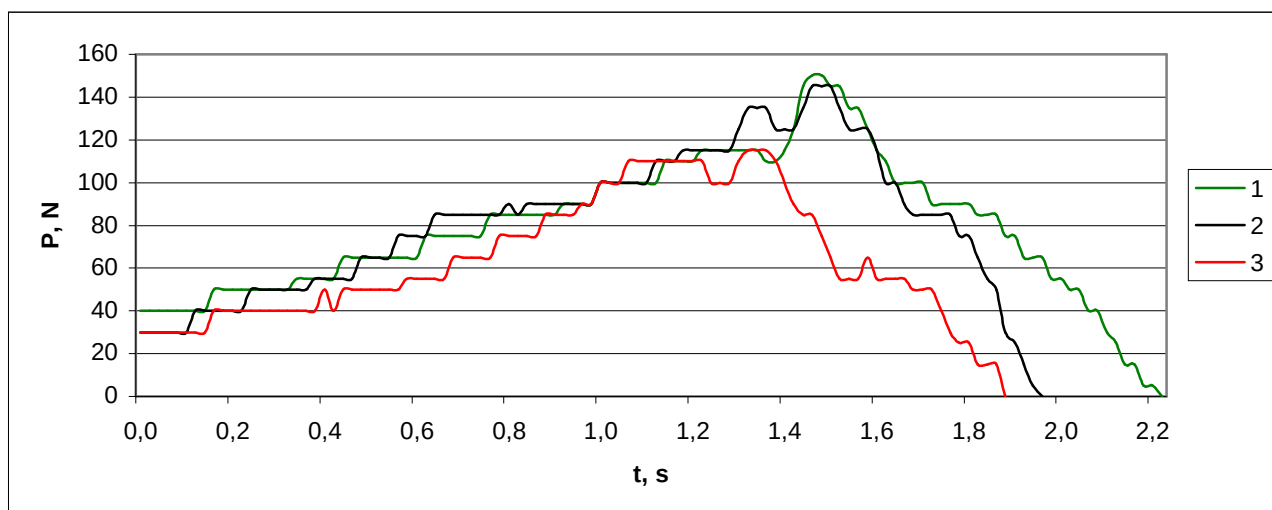
sekundės, todėl pirmieji blokuosis priekinės ašies ratai. Stabdymo jėgų skirtumas 20 %. Galima teigti, kad stabdžiai tvarkingi.

**5 lentelė.** BMW 330d bandymų rezultatai

| Bandymo Nr.                                           |        | Priekinė ašis |      |      | Galinė ašis |      |      |
|-------------------------------------------------------|--------|---------------|------|------|-------------|------|------|
|                                                       |        | 1             | 2    | 3    | 1           | 2    | 3    |
| Maksimali stabdymo jėga, N                            | Kairė  | 2800          | 2880 | 2680 | 2600        | 2560 | 2440 |
|                                                       | Dešinė | 2800          | 2880 | 2680 | 2640        | 2680 | 2560 |
| Ratų pasipriešinimo riedėjimui jėga, N                | Kairė  | 240           | 240  | 240  | 240         | 240  | 240  |
|                                                       | Dešinė | 200           | 200  | 200  | 200         | 200  | 200  |
| Blokavimosi skirtumas, %                              |        | 0             | 0    | 0    | 2           | 4    | 0    |
| Maksimalios stabdymo jėgos skirtumas, %               |        | 8             | 4    | 3    | 4           | 5    | 3    |
| Maksimali paminos nuspaudimo jėga, N                  |        | 205           | 220  | 185  | 150         | 145  | 115  |
| Laikas, per kurį pasiekama maksimali stabdymo jėga, s |        | 1,42          | 1,72 | 1,34 | 1,46        | 1,46 | 1,32 |



**27 pav.** BMW 330d stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant priekinės ašies ratus: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas



**28 pav.** BMW 330d stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko stabdant galinės ašies stabdžius: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas

#### **BMW 330d bandymų rezultatai:**

1. Didžiausias priekinės ašies stabdžių efektyvumas pasiekiamas spaudžiant paminą apie 203 N jėga, per trumpą – apie 1,40 s laiko tarpą. Stabdymo jėgų skirtumas leistinose ribose (mažiau kaip 30 %), todėl galima teigti, kad stabdžiai tvarkingi.
2. Didžiausias galinės ašies stabdžių efektyvumas pasiekiamas spaudžiant paminą mažesne (apie 140 N) jėga ir laikas, reikalingas pasiekti maksimalų efektyvumą, didesnis – apie 1,50 sekundės. Galima teigti, kad stabdžiai tvarkingi.

**6 lentelė.** Bandytų automobilių atitinkamos ašies ratų suminių stabdymo jėgų reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Suminė priekinės ašies stabdymo jėga, N |      |      | Suminė galinės ašies stabdymo jėga, N |      |      |
|----------|----------------------------|-----------------------------------------|------|------|---------------------------------------|------|------|
|          |                            | 1                                       | 2    | 3    | 1                                     | 2    | 3    |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 5495                                    | 4183 | 5025 | 4554                                  | 4461 | 3939 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 5169                                    | 3984 | 5147 | 3248                                  | 3224 | 3065 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 5867                                    | -    | -    | 4715                                  | -    | -    |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 5040                                    | 4880 | 5200 | 5200                                  | 4520 | 5040 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 5880                                    | 6080 | 5160 | 3840                                  | 3560 | 3600 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 4040                                    | 4400 | 4760 | 3120                                  | 3080 | 3240 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 3800                                    | 4280 | -    | 4320                                  | 4280 | -    |
| 8.       | <i>VW Golf</i>             | 4040                                    | 3920 | -    | 2840                                  | 2880 | -    |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 5600                                    | 5760 | 5360 | 5240                                  | 5240 | 5000 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 4840                                    | 4760 | 4440 | 4840                                  | 4840 | 4720 |



**7 lentelė.** Bandytų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Maksimali stabdžių paminos nuspaudimo jėga stabdant priekine ašimi, N |     |     | Maksimali stabdžių paminos nuspaudimo jėga stabdant galine ašimi, N |     |     |
|----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|-----|---------------------------------------------------------------------|-----|-----|
|          |                            | 1                                                                     | 2   | 3   | 1                                                                   | 2   | 3   |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 115                                                                   | 125 | 110 | 355                                                                 | 375 | 375 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 100                                                                   | 205 | 160 | 380                                                                 | 355 | 290 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 195                                                                   | -   | -   | 390                                                                 | -   | -   |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 150                                                                   | 145 | 150 | 355                                                                 | 355 | 260 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 205                                                                   | 210 | 145 | 295                                                                 | 270 | 245 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 145                                                                   | 135 | 170 | 245                                                                 | 350 | 320 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 195                                                                   | 170 | -   | 115                                                                 | 115 | -   |
| 8.       | <i>VW Golf</i>             | 170                                                                   | 230 | -   | 125                                                                 | 135 | -   |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 205                                                                   | 220 | 185 | 150                                                                 | 145 | 115 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 200                                                                   | 190 | 175 | 160                                                                 | 125 | 150 |

Bandant automobilius su priekiniais varančiaisiais ratais, rezultatai panašūs – stabdymo jėga ratuose palaipsniui didėja, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir ratai užblokuojami. Bandant priekinės ašies ratus maksimali stabdymo jėga ratuose pasiekama spaudžiant stabdžių paminą mažesne jėga, lyginant su stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant galinės ašies ratus. Stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant priekinės ašies ratus svyruoja nuo 100 iki 230 N, o suminė ratų stabdymo jėga svyruoja nuo 3800 iki 6080 N. Bandant galinės ašies ratus – nuo 115 iki 390 N, suminė ratų stabdymo jėga – nuo 2840 iki 5240 N.

Bandant automobilius su galiniais varančiaisiais ratais, pastebėta, kad stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant galinės ašies ratus, gali būti mažesnė, už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą bandant priekinės ašies ratus. Stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant priekinės ašies ratus, svyruoja nuo 145 iki 220 N. Bandant galinės ašies ratus – nuo 115 iki 355 N.

### 3. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė

#### 3.1. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir ašies suminės stabdymo jėgos santykiniai dydžiai

Norint susisteminti eksperimentiniuose tyrimuose gautus rezultatus bei pateikti išvadas, stabdžių paminos nuspaudimo jėgą išreiškiame santykiniais dydžiais (automobilio mase ir stabdymo jėga ratuose). Pagal gautus koeficientus, galime vertinti, per santykinius dydžius automobilių stabdymo efektyvumą priklausomai nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos.

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir ašies suminės stabdymo jėgos priekinės ašies ratuose (jeigu stabdymo jėgų skirtumas atskiruose ratuose neviršija leistinų ribų) santykis apskaičiuojamas:

$$k_p = \frac{P}{F_{st.sum}}; \quad (5)$$

čia:  $k_p$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir ašies suminės stabdymo jėgos priekinės ašies ratuose santykis;

$P$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekine ašimi, N;

$F_{st.sum}$  – suminė priekinės ašies ratų stabdymo jėga, N.

Suminė priekinės ašies ratų stabdymo jėga apskaičiuojama sudedant ašies kairiojo ir dešiniojo rato stabdymo jėgas:

$$F_{st.sum} = F_{st.k} + F_{st.d}; \quad (6)$$

čia:  $F_{st.sum}$  – suminė priekinės ašies ratų stabdymo jėga, N;

$F_{st.k}$  – priekinės ašies kairiojo rato stabdymo jėga, N;

$F_{st.d}$  – priekinės ašies dešiniojo rato stabdymo jėga, N.

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir suminės ašies stabdymo jėgos galinės ašies ratuose (jeigu stabdymo jėgų skirtumas atskiruose ratuose neviršija leistinų ribų) santykis apskaičiuojamas:

$$k_g = \frac{P}{F_{st.sum}}; \quad (7)$$

čia:  $k_g$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir ašies suminės stabdymo jėgos galinės ašies ratuose santykis;

$P$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėga bandant galinės ašies ratus, N;

$F_{st.sum}$  – suminė galinės ašies ratų stabdymo jėga, N.

Suminė galinės ašies ratų stabdymo jėga apskaičiuojama sudedant ašies kairiojo ir dešiniojo rato stabdymo jėgas:

$$F_{st.sum} = F_{st.k} + F_{st.d}; \quad (8)$$

čia:  $F_{st.sum}$  – suminė galinės ašies ratų stabdymo jėga, N;

$F_{st.k}$  – galinės ašies kairiojo rato stabdymo jėga, N;

$F_{st.d}$  – galinės ašies dešiniojo rato stabdymo jėga, N.

Apskaičiuojame koeficientų  $k_p$  ir  $k_g$  reikšmes bandytiems automobiliams. Gautas reikšmes surašome į 8 ir 9 lenteles.

**8 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykinų dydžių  $k_p$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |       |       |
|----------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|          |                            | $k_p$        |       |       |
|          |                            | Bandymo Nr.  |       |       |
|          |                            | 1            | 2     | 3     |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,021        | 0,030 | 0,022 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,019        | 0,051 | 0,031 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,033        | -     | -     |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,030        | 0,030 | 0,029 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,035        | 0,035 | 0,028 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,036        | 0,031 | 0,036 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,051        | 0,040 | -     |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,042        | 0,059 | -     |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,037        | 0,038 | 0,035 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,041        | 0,040 | 0,039 |

**9 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir galinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykinų dydžių  $k_g$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |       |       |
|----------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|          |                            | $k_g$        |       |       |
|          |                            | Bandymo Nr.  |       |       |
|          |                            | 1            | 2     | 3     |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,078        | 0,084 | 0,095 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,117        | 0,110 | 0,095 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,083        | -     | -     |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,068        | 0,079 | 0,052 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,077        | 0,076 | 0,068 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,079        | 0,114 | 0,099 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,027        | 0,027 | -     |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,033        | 0,047 | -     |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,029        | 0,028 | 0,023 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,033        | 0,026 | 0,032 |

Apskaičiuojame kiekvieno bandyto automobilio koeficientų  $k_p$  ir  $k_g$  vidutines reikšmes  $k_{p,vid}$  ir  $k_{g,vid}$  (10 lentelė).

**10 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės bei galinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos vidutinių santykinų dydžių  $k_{p,vid}$  ir  $k_{g,vid}$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |             |
|----------|----------------------------|--------------|-------------|
|          |                            | $k_{p,vid}$  | $k_{g,vid}$ |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,024        | 0,086       |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,029        | 0,107       |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,033        | 0,083       |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,030        | 0,066       |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,033        | 0,074       |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,034        | 0,097       |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,046        | 0,027       |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,051        | 0,040       |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,037        | 0,027       |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,040        | 0,030       |

### 3.2. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir automobilio masės santykiniai dydžiai

Toliau apskaičiuojame faktinės automobilio masės bei bendrosios automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant priekinės ašies ratus, santykinius dydžius. Automobilio masę išreiškiame jo svoriu:

$$m_{a.f} = m \cdot g; \quad (9)$$

čia:  $m_{a.f}$  – faktinis automobilio svoris, N;

$m$  – automobilio masė, kg.

Tada:

$$k_{p.m.f} = \frac{P}{m_{a.f}}; \quad (10)$$

$$k_{p.m} = \frac{P}{m_a}; \quad (11)$$

čia:  $k_{p.m.f}$  – faktinės automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos santykis;

$k_{p.m}$  – bendrosios automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos santykis;

$m_{a.f}$  – faktinis automobilio svoris, N;

$m_a$  – bendrasis automobilio svoris, N.

Analogiškai apskaičiuojame faktinės automobilio masės bei bendrosios automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant galinės ašies ratus, santykinius dydžius. Automobilio masę išreiškiame jo svoriu.

$$k_{g.m.f} = \frac{P}{m_{a.f}}; \quad (12)$$

$$k_{g.m} = \frac{P}{m_a}. \quad (13)$$

Taip apskaičiuojame santykinius dydžius visiems bandytiems automobiliams. Šie dydžiai bus naudojami pateikiant išvadas. Gautas reikšmes surašome į 11–14 lenteles.

**11 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant priekinės ašies ratus, ir faktinės automobilio masės santykinių dydžių  $k_{p.m.f}$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |       |       |
|----------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|          |                            | $k_{p.m.f}$  |       |       |
|          |                            | Bandymo Nr.  |       |       |
|          |                            | 1            | 2     | 3     |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,009        | 0,010 | 0,009 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,008        | 0,017 | 0,010 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,012        | -     | -     |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,010        | 0,009 | 0,010 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,013        | 0,014 | 0,009 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,010        | 0,009 | 0,011 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,012        | 0,011 | -     |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,014        | 0,020 | -     |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,012        | 0,013 | 0,011 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,014        | 0,014 | 0,013 |

**12 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant galinės ašies ratus, ir faktinės automobilio masės santykinių dydžių  $k_{g.m.f}$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |       |       |
|----------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|          |                            | $k_{g.m.f}$  |       |       |
|          |                            | Bandymo Nr.  |       |       |
|          |                            | 1            | 2     | 3     |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,028        | 0,029 | 0,029 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,031        | 0,029 | 0,024 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,025        | -     | -     |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,023        | 0,023 | 0,017 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,019        | 0,018 | 0,016 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,016        | 0,023 | 0,021 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,007        | 0,007 | -     |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,012        | 0,011 | -     |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,009        | 0,009 | 0,007 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,011        | 0,009 | 0,011 |



**13 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant priekinės ašies ratus, ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių  $k_{p,m}$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |       |       |
|----------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|          |                            | $k_{p,m}$    |       |       |
|          |                            | Bandymo Nr.  |       |       |
|          |                            | 1            | 2     | 3     |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,007        | 0,007 | 0,006 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,006        | 0,013 | 0,010 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,010        | -     | -     |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,007        | 0,007 | 0,007 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,012        | 0,012 | 0,008 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,008        | 0,007 | 0,009 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,010        | 0,009 | -     |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,012        | 0,016 | -     |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,010        | 0,011 | 0,009 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,011        | 0,012 | 0,010 |

**14 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant galinės ašies ratus, ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių  $k_{g,m}$  ir reikšmės

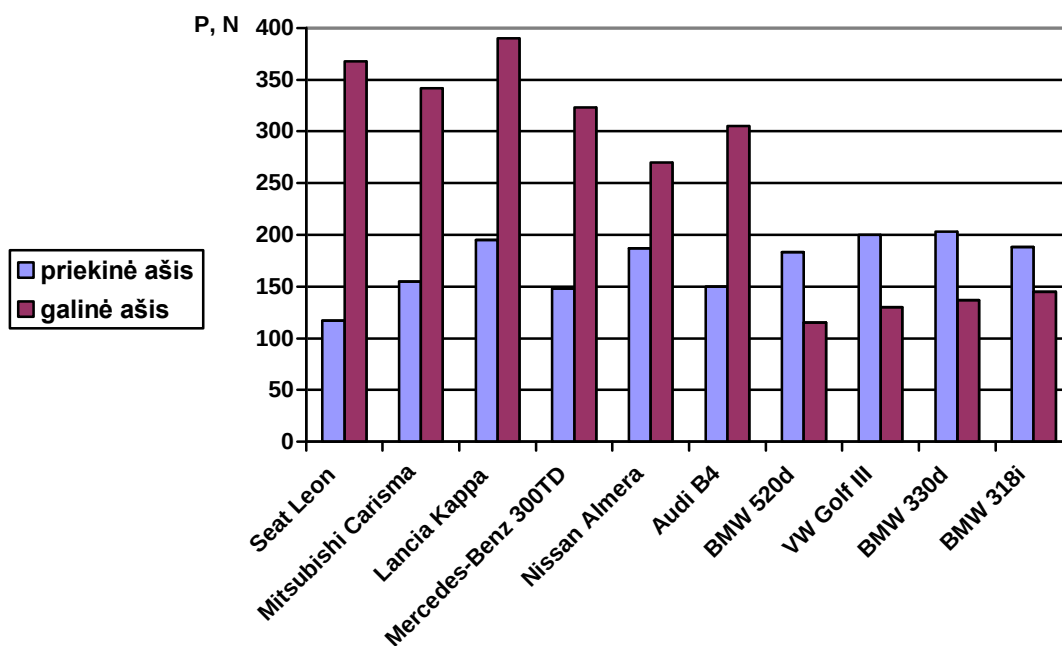
| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas |       |       |
|----------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|          |                            | $k_{g,m}$    |       |       |
|          |                            | Bandymo Nr.  |       |       |
|          |                            | 1            | 2     | 3     |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,020        | 0,021 | 0,021 |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,023        | 0,022 | 0,018 |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,020        | -     | -     |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,017        | 0,017 | 0,013 |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,017        | 0,015 | 0,014 |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,013        | 0,019 | 0,018 |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,006        | 0,006 | -     |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,008        | 0,009 | -     |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,008        | 0,007 | 0,006 |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,009        | 0,007 | 0,008 |

**15 lentelė.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės bei faktinės automobilio masės vidutinių santykinų dydžių  $k_{p.m.f.vid}$ ,  $k_{g.m.f.vid}$ ,  $k_{p.m.vid}$ ,  $k_{g.m.vid}$  reikšmės

| Eil. Nr. | Automobilis                | Koeficientas    |                 |               |               |
|----------|----------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
|          |                            | $k_{p.m.f.vid}$ | $k_{g.m.f.vid}$ | $k_{p.m.vid}$ | $k_{g.m.vid}$ |
| 1.       | <i>Seat Leon</i>           | 0,009           | 0,029           | 0,007         | 0,021         |
| 2.       | <i>Mitsubishi Carisma</i>  | 0,012           | 0,028           | 0,010         | 0,021         |
| 3.       | <i>Lancia Kappa</i>        | 0,012           | 0,025           | 0,010         | 0,020         |
| 4.       | <i>Mercedes-Benz 300TD</i> | 0,010           | 0,021           | 0,007         | 0,016         |
| 5.       | <i>Nissan Almera</i>       | 0,012           | 0,018           | 0,011         | 0,015         |
| 6.       | <i>Audi B4</i>             | 0,010           | 0,020           | 0,007         | 0,017         |
| 7.       | <i>BMW 520d</i>            | 0,012           | 0,007           | 0,010         | 0,006         |
| 8.       | <i>VW Golf III</i>         | 0,017           | 0,012           | 0,014         | 0,009         |
| 9.       | <i>BMW 330d</i>            | 0,012           | 0,008           | 0,010         | 0,007         |
| 10.      | <i>BMW 318i</i>            | 0,014           | 0,010           | 0,011         | 0,008         |

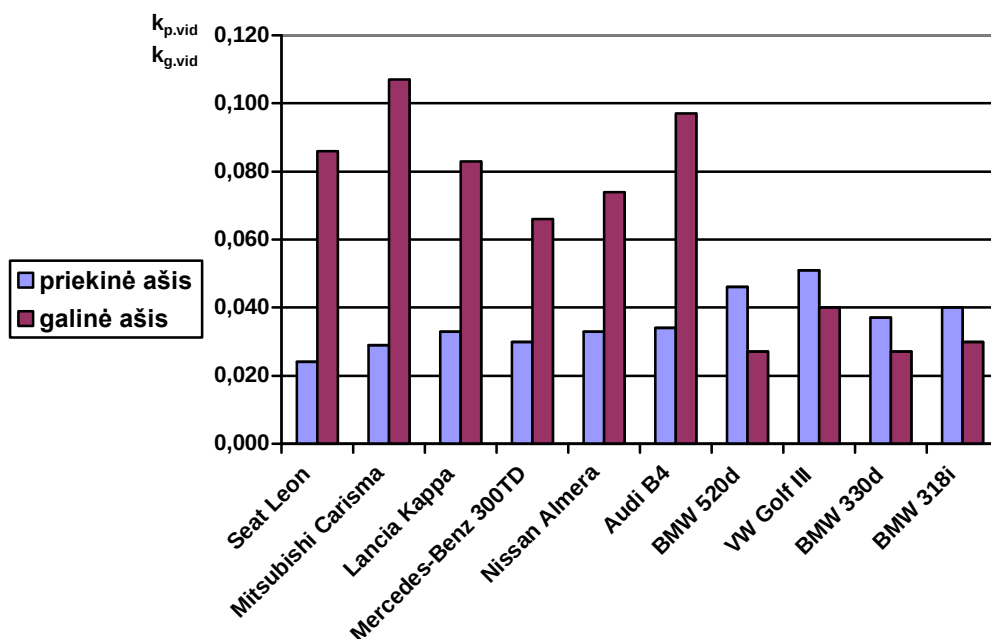
### 3.3. Eksperimentinių tyrimų rezultatų grafinis palyginimas

Eksperimentinių tyrimų metu gautos vieno pagrindinių parametru – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, reikšmės, pateiktos 29 pav.

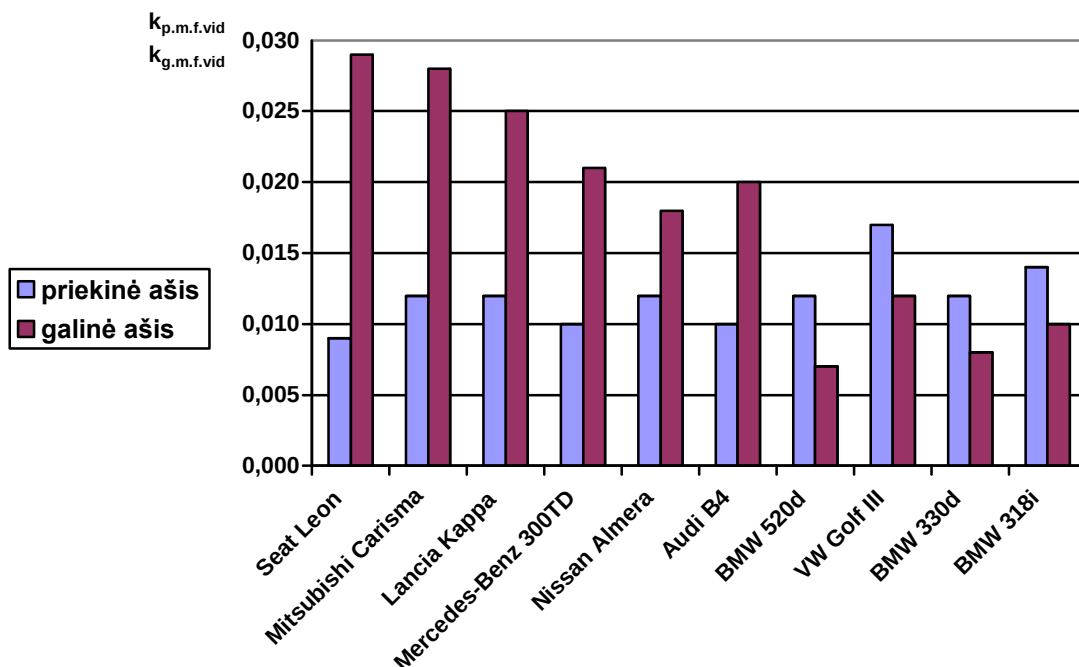


**29 pav.** Bandytų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga bandant priekinės ir galinės ašies ratų stabdžius

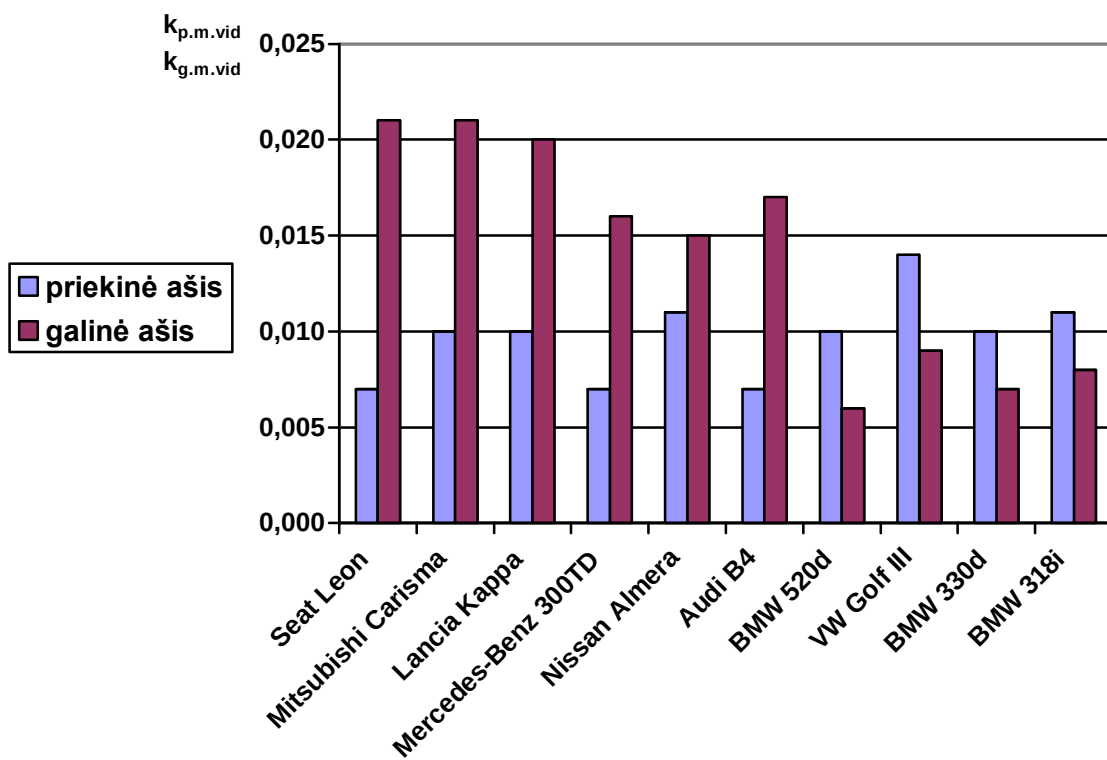
Toliau pateikiami koeficientų, apskaičiuotų 3.1 skyriuje, kiekvienam bandytui automobiliui, vidutinių reikšmių, grafiniai palyginimai (30–32 pav.).



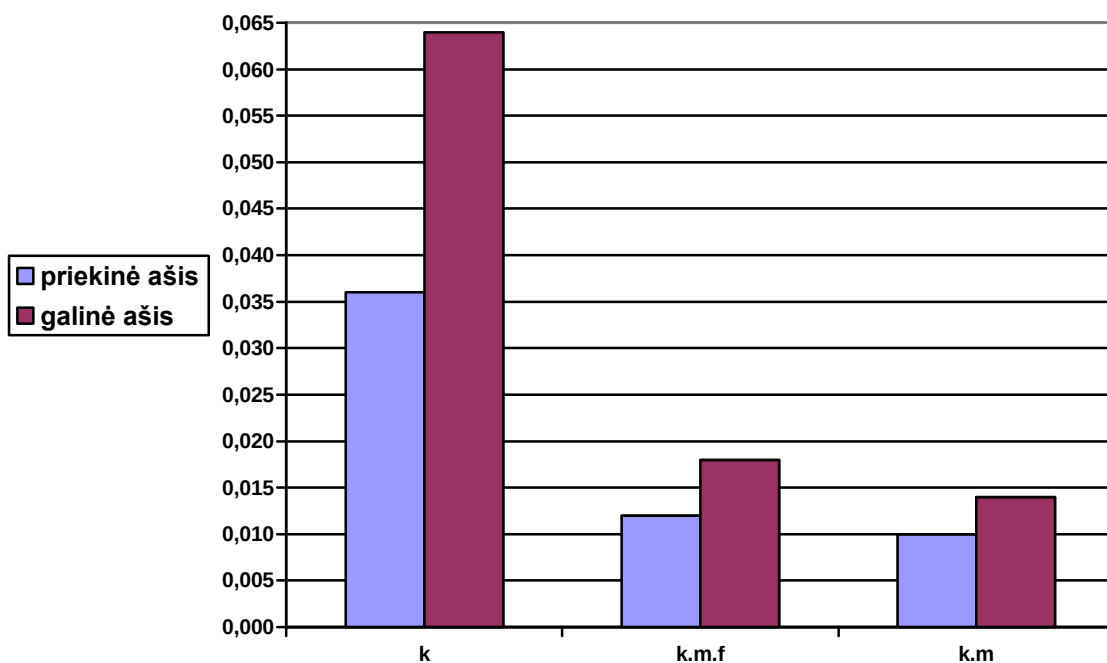
**30 pav.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės bei galinės ašies ratų stabdymo jėgos santykinų dydžių  $k_{p.vid}$  ir  $k_{g.vid}$  vidutinių reikšmių palyginimas



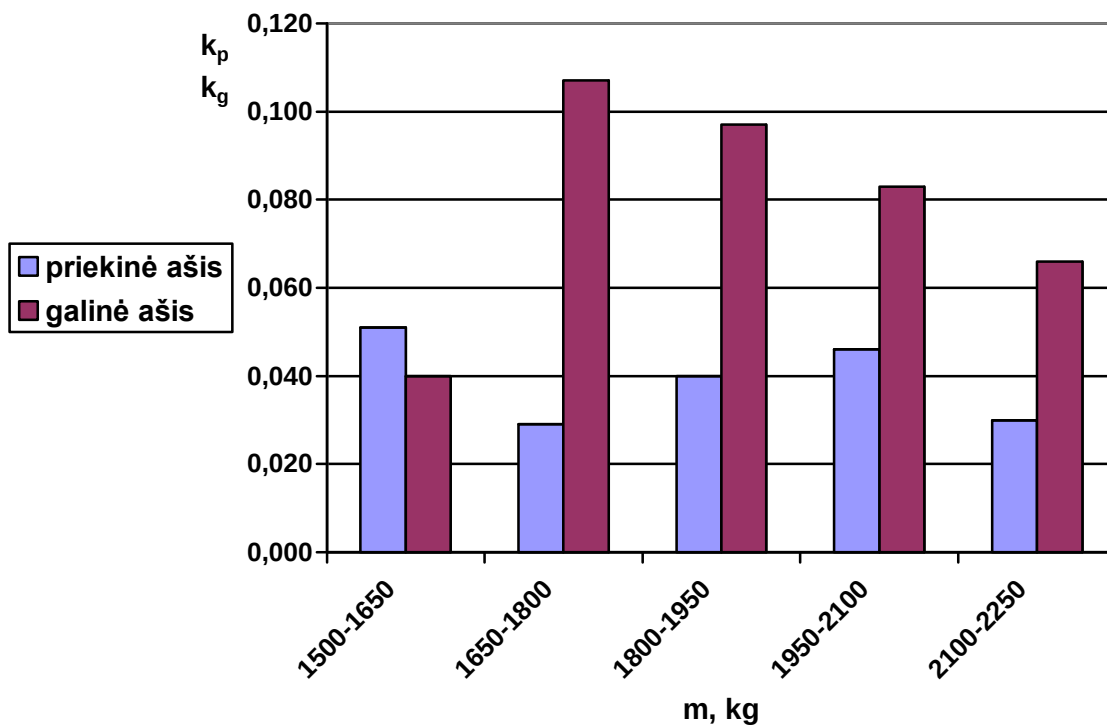
**31 pav.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykinų dydžių  $k_{p.m.f.vid}$  ir  $k_{g.m.f.vid}$  vidutinių reikšmių palyginimas



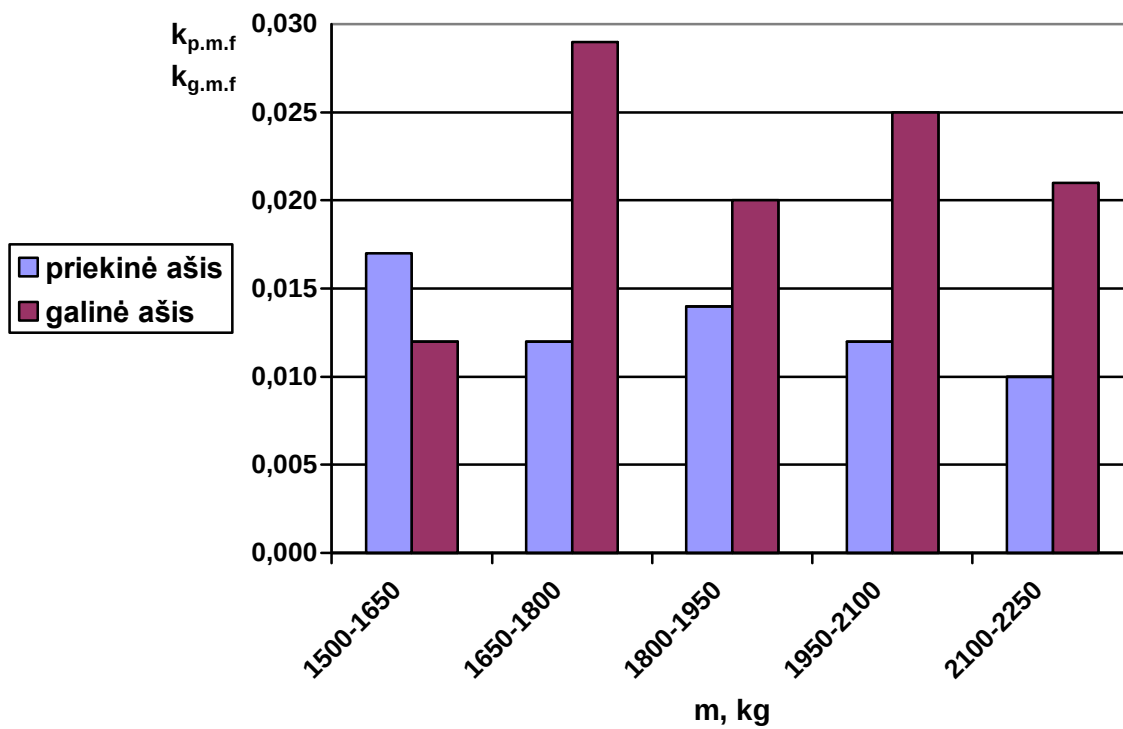
32 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių  $k_{p.m.vid}$  ir  $k_{g.m.vid}$  vidutinių reikšmių palyginimas



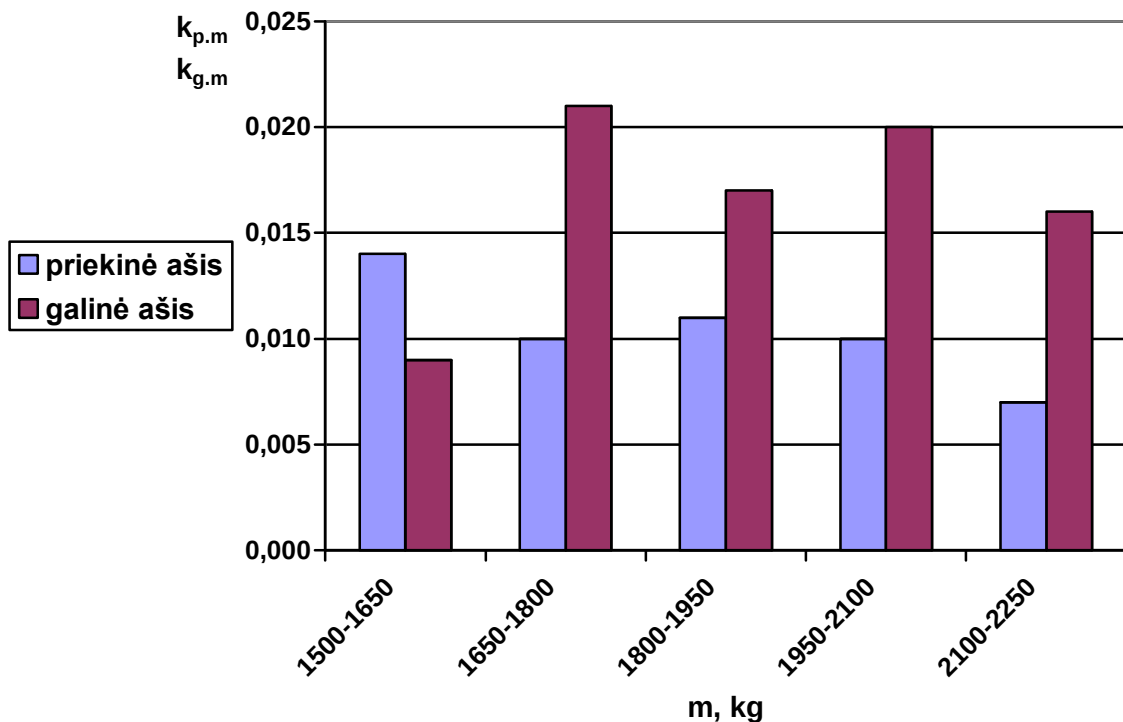
33 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, stabdymo jėgos ratuose, faktinės ir bendrosios automobilio masės santykinų dydžių vidutinių reikšmių palyginimas



34 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgos ratuose, santykinų dydžių maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilio masės



35 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės, santykinų dydžių maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilio masės



**36 pav.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės, santykinų dydžių maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilio masės

Atlikus lengvųjų automobilių stabdymo parametrų bandymus ant ritininio stabdžių patikros stendo, buvo atlikta duomenų analizė.

Iš 29 pav. matyti, kad vidutinė stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant priekinės ašies ratus svyruoja nuo 117 iki 203 N. Bandant galinės ašies ratus, vidutinė stabdžių paminos nuspaudimo jėga svyruoja nuo 115 iki 390 N.

Priekiniais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant priekinės ašies ratus, beveik visada mažesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, bandant galinės ašies ratus.

Galiniais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, bandant priekinės ašies ratus, gali būti didesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, bandant galinės ašies ratus.

Iš 30 pav. matyti, kad stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės ašies ratų stabdymo jėgos vidutinių santykinų dydžių  $k_{p.vid}$  reikšmės svyruoja nuo 0,024 iki 0,051. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir galinės ašies ratų stabdymo jėgos vidutinių santykinų dydžių  $k_{g.vid}$  reikšmės svyruoja nuo 0,027 iki 0,107. Kuo šis dydis mažesnis, tuo stabdymo efektyvumas didesnis, kadangi mažesne jėga spaudžiant stabdžių paminą, gaunama didesnė stabdymo jėga ratuose.

Iš 31 pav. matyti, kad stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir automobilio masės bandymo metu vidutinių santykinų dydžių  $k_{p.m.f.vid}$  ir  $k_{g.m.f.vid}$  reikšmės, bandant priekinės ašies ratus svyruoja nuo

0,009 iki 0,017, o bandant galinės ašies ratus, svyruoja nuo 0,007 iki 0,029. Kuo šis dydis mažesnis, tuo stabdymo efektyvumas didesnis, kadangi stabdžių pamina spaudžiama mažesne jėga.

Iš 32 pav. matyti, kad stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės vidutinių santykinų dydžių  $k_{p.m.vid}$  ir  $k_{g.m.vid}$  reikšmės, bandant priekinės ašies ratus svyruoja nuo 0,007 iki 0,014, o bandant galinės ašies ratus, svyruoja nuo 0,006 iki 0,021. Kuo šis dydis mažesnis, tuo stabdymo efektyvumas didesnis, kadangi lyginant su automobilio mase, stabdžių pamina spaudžiama mažesne jėga.



## 4. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė taikant matematinės statistikos modelius

### 4.1. Priekinės ašies ratų pagrindinių stabdymo statistinių charakteristikų nustatymas

Pagal gautus bandymų rezultatus atliekame automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgos matematinę – statistinę analizę. Ši analizė atliekama tik su duomenimis tų automobilių, kurių stabdžių sistema tvarkinga.

Nagrinėjame stabdžių paminos nuspaudimo jėgas stabdant priekinės ašies ratais. Iš 7 lentelės duomenų matome, kad mažiausia stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmė yra 100 N, o didžiausia – 230 N.

Toliau skaičiuojame bendrą vyraujančių jėgų diapazoną:

$$\Delta L = t_{\max} - t_{\min}; \quad (14)$$

čia:  $t_{\max}$  – didžiausia reikšmė, N;

$t_{\min}$  – mažiausia reikšmė, N.

Tada pagal 14 formulę:

$$\Delta L = 130 \text{ N.}$$

Nustatome intervalo dydį:

$$h = \frac{\Delta L}{1 + 3,3 \lg N}; \quad (15)$$

čia:  $N$  – jėgų reikšmių skaičius, N.

Tada:

$$h \approx 25.$$

Randame intervalų skaičių:

$$n_{\text{int}} = \frac{\Delta L}{h}. \quad (16)$$

Tada:

$$n_{\text{int}} \approx 6.$$

Sudarome lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių stabdant priekine ašimi pasiskirstymo rodiklių lentelę (žr. 16 lent.).

Skačiuojame vidutiniškai išvystomą jėgą (matematinį vidurkį):

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_{\text{vid}} \cdot m_i); \quad (17)$$

čia:  $t_{\text{vid}}$  – intervalo vidurio reikšmė, N;

$m_i$  – jėgų skaičius.

Tada pagal 17 formulę:

$$\bar{t} = 175 \text{ N}.$$

Vidutinis kvadratinis nuokrypis apskaičiuojamas:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( t_{\text{vid}} - \bar{t} \right)^2 \cdot m_i}. \quad (18)$$

Tada pagal 18 formulę:

$$\sigma = 35,875.$$

**16 lentelė.** Automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, pasiskirstymo rodiklių lentelė

| Nustatomas parametras                          | Žymėjimas ir skaičiuojamoji formulė | Intervalas |           |           |           |           |           |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                |                                     | 1          | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |
| Intervalų ribos                                |                                     | [95-120)   | [120-145) | [145-170) | [170-195) | [195-220) | [220-245) |
| Intervalų vidurio reikšmė                      | $t_{vid}$                           | 107,5      | 132,5     | 157,5     | 182,5     | 207,5     | 232,5     |
| Jėgų skaičius                                  | $m_i$                               | 3          | 2         | 6         | 6         | 7         | 2         |
| Jėgų skaičius $t_i$ momentu                    | $r(t_i)$                            | 3          | 5         | 11        | 17        | 24        | 26        |
| Jėgų skaičius nepatenk. į intervalą            | $N(t_i)$                            | 23         | 21        | 15        | 9         | 2         | 0         |
| Statistinė tikimybė                            | $P_i = \frac{m_i}{N}$               | 0,115      | 0,077     | 0,231     | 0,231     | 0,269     | 0,077     |
| Empirinė tikimybė, kad neišvystys tokios jėgos | $F^*(t_i) = \frac{r(t_i)}{N}$       | 0,115      | 0,192     | 0,423     | 0,654     | 0,923     | 1,000     |
| Empirinė tikimybė, kad išvystys tokią jėgą     | $P^*(t_i) = \frac{N(t_i)}{N}$       | 0,885      | 0,808     | 0,577     | 0,346     | 0,077     | 0         |

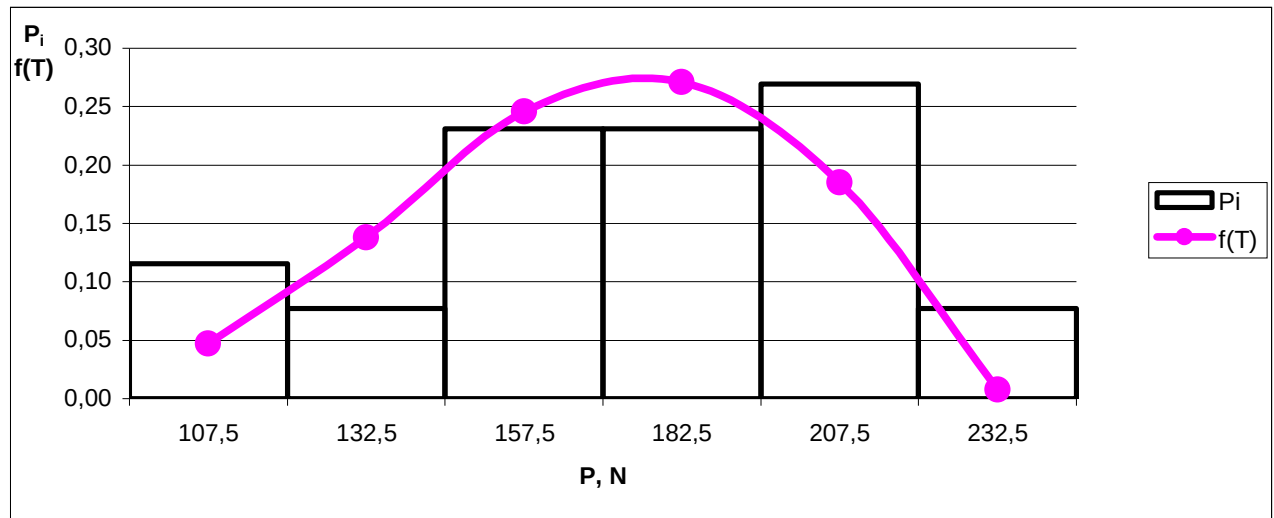
Variacijos koeficientas:

$$v = \frac{\sigma}{t}; \quad (19)$$

$$v = 0,21.$$

Kadangi geometrinės variacijos koeficientas yra mažesnis už 0,33, tikėtina, kad stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmės pasiskirsto pagal Gauso (Normalųjį) pasiskirstymo dėsnį.

Sudaroma stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, pasiskirstymo histograma ir diferencialinė funkcija (žr. 37 pav.).



**37 pav.** Lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, empirinės tankio funkcijos histograma ir diferencialinė funkcija

Normaliojo pasiskirstymo diferencialinė funkcija, arba tikimybės tankis, išreiškiamas lygtimi:

$$f(T) = \frac{A}{\sigma} \varphi_0 \left( \frac{t_{vid} - t}{\sigma} \right); \quad (20)$$

čia:  $A$  – intervalo ribinių reikšmių skirtumas;

$t_{vid}$  – intervalo vidurio reikšmė,  $N$ ;

$f_0(T)$  – reikšmė nustatoma iš matematinės statistikos lentelių (Vestartas, Nagurnas 2004).

Pagal 20 formulę:

$$f(107,5) = 0,0473;$$

$$f(132,5) = 0,1381;$$

$$f(157,5) = 0,2457;$$

$$f(182,5) = 0,2710;$$

$$f(207,5) = 0,1848;$$

$$f(232,5) = 0,0077.$$

Integralinė funkcija arba pasiskirstymo funkcija  $F(T)$  gaunama, integruojant diferencialinę funkciją  $f(T)$ :

$$F(T_g) = F_0 \left( \frac{T_g - \bar{T}_{vid}}{\sigma} \right); \quad (21)$$

čia:  $T_g$  – statistinės eilutės intervalo pabaigos reikšmė;

$F_0(T)$  – reikšmė nustatoma iš matematinės statistikos lentelių (Vestartas, Nagurnas 2004).

Taip pat gauname:

$$F_0(-T) = 1 - F_0(T). \quad (22)$$

Pagal 21 ir 22 formules apskaičiuojame funkcijos reikšmes:

$$F(120) = 0,0630;$$

$$F(145) = 0,2033;$$

$$F(170) = 0,4443;$$

$$F(195) = 0,7123;$$

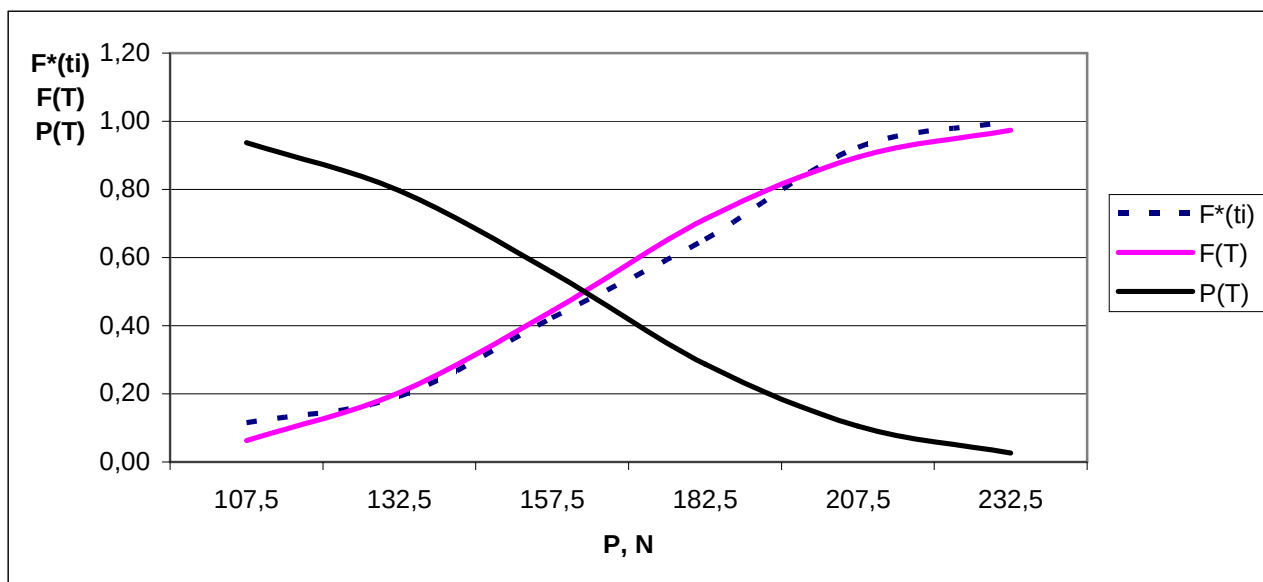
$$F(220) = 0,8944;$$

$$F(245) = 0,9738.$$

Tikimybės, kad tokios jėgos nebus išvystytos,  $P(T)$  reikšmės apskaičiuojamos pasinaudojant priklausomybe:

$$P(T) + F(T) = 1. \quad (23)$$

Braižomos atsitiktinio dydžio pasiskirstymo empirinė tikimybė ir neišvystomų jėgų empirinė tikimybė.



**38 pav.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant priekine ašimi, integralinės funkcijos

Galutinis dėsno parinkimo patikrinimas atliekamas taikant suderinamumo kriterijus arba  $\chi^2$ .

Tikrinant šiuo kriterijumi naudojama formulė:

$$\chi_{sk}^2 = \sum_{i=1}^{int} \frac{(m_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i}; \quad (24)$$

čia:  $p_i$  – patikslinta statistinė tikimybė.

$p_i$  – patikslintos statistinės tikimybės reikšmė apskaičiuojama kiekvienam intervalui pagal:

$$p_i(\alpha \leq t \leq \beta) = \varphi\left(\frac{\beta - \bar{t}}{\sigma}\right) - \varphi\left(\frac{\alpha - \bar{t}}{\sigma}\right); \quad (25)$$

čia:  $\alpha$  – atitinkamo intervalo pradžios reikšmė;

$\beta$  – atitinkamo intervalo pabaigos reikšmė;

$\varphi(t)$  – funkcijos reikšmė randama matematinės statistikos lentelėse (Vestartas, Nagurnas 2004).

Tikrinant šiuo kriterijumi  $\chi^2$  intervalai, kuriuose reikšmių dažnis  $m_i$  reikšmė mažesnė už 5 sujungiami su gretimais.

$$p_1 = p(95 \leq t \leq 120) = 0,0498;$$

$$p_2 = p(120 \leq t \leq 145) = 0,1403;$$

$$p_3 = p(145 \leq t \leq 170) = 0,2410;$$

$$p_4 = p(170 \leq t \leq 195) = 0,2680;$$

$$p_5 = p(195 \leq t \leq 220) = 0,1821;$$

$$p_6 = p(120 \leq t \leq 245) = 0,0794.$$

Kadangi pirmo, antro ir šešto intervalų  $m_i$  mažiau už penkis, juos sujungiame su gretimais. Gauname 17 lentelę.

**17 lentelė.** Patikslinta automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių pasiskirstymo rodiklių lentelė

| Intervalo Nr. | 1      | 2      | 3      | 4      |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| $m_i$         | 5      | 6      | 6      | 9      |
| $p_i$         | 0,1901 | 0,1403 | 0,2680 | 0,2650 |

Tada pagal 25 formulę:

$$\chi_{sk}^2 = 2,2981.$$

Apskaičiavus  $\chi^2$  skaičiuojamąją reikšmę, ši reikšmė lyginama su reikšme, pateikta matematinės statistikos lentelėse.

$\chi^2$  lentelinė reikšmė nustatoma priklausomai nuo reikšmingumo lygmens  $\alpha$ , kuris imamas 0,05, kuria įvertinama apie 95 % paminos nuspaudimo jėgų reikšmių.

Laisvės laipsnių skaičius  $K$  apskaičiuojamas:

$$K = n_{int} - r - 1; \quad (26)$$



čia:  $n_{\text{int}}$  – intervalų skaičius;

$r$  – pasirinkto pasiskirstymo dėsnio parametrų skaičius,  $r = 2$ , nes  $\left(\bar{t}; \sigma\right)$ .

Tada:

$$K = 1.$$

$$\chi_{sk}^2 = 2,2981 \leq \chi_{\ln t}^2 = 3,84.$$

Pagal gautą nelygybę matome, kad Normalusis pasiskirstymo dėsnis parinktas teisingai ir šio dėsnio charakteristikos gali būti taikomos nustatant paminos nuspaudimo jėgos tikimybę.

#### **4.2. Galinės ašies ratų pagrindinių stabdymo statistinių charakteristikų nustatymas**

Nagrinėjame stabdžių paminos nuspaudimo jėgas stabdant galinės ašies ratais. Iš 7 lentelės duomenų matome, kad mažiausia stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmė yra 115 N, o didžiausia – 390 N.

Pagal 14 formulę skaičiuojame bendrą vyraujančių jėgų diapazoną:

$$\Delta L = 275 \text{ N}.$$

Pagal 15 formulę nustatome intervalo dydį:

$$h \approx 50.$$

Randame intervalų skaičių:

$$n_{\text{int}} \approx 6.$$

Sudarome lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, pasiskirstymo rodiklių lentelę (žr. 18 lent.).

Pagal 17 formulę skaičiuojame vidutiniškai išvystomą jėgą (matematinį vidurkį):

$$\bar{t} = 252 \text{ N.}$$

Vidutinis kvadratinis nuokrypis:

$$\sigma = 52,167$$

**18 lentelė.** Automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, pasiskirstymo rodiklių lentelė

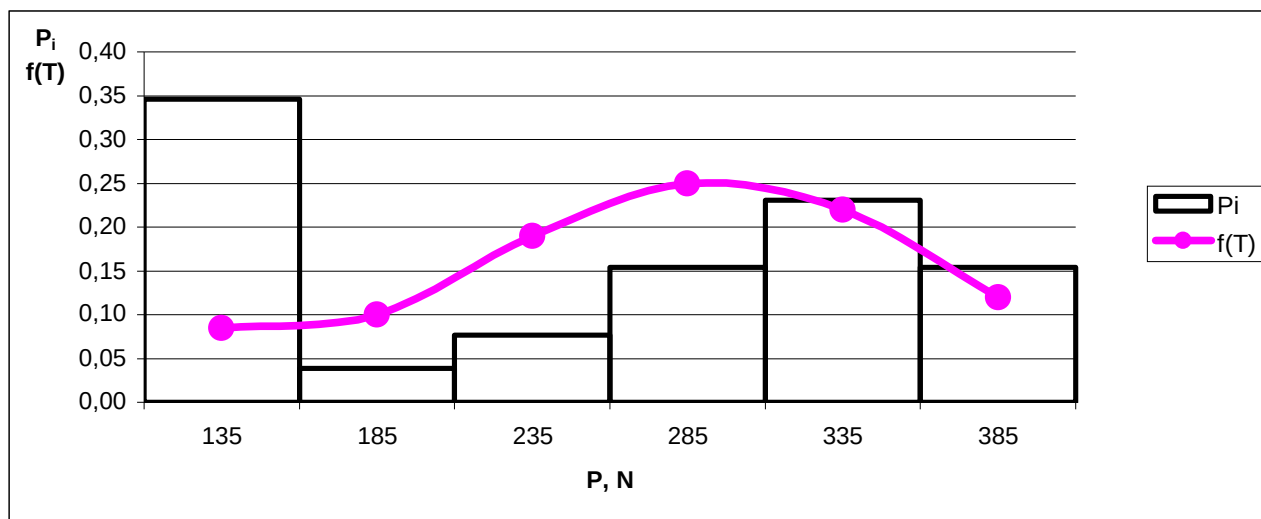
| Nustatomas parametras                          | Žymėjimas ir skaičiuojamoji formulė | Intervalas |           |           |           |           |           |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                |                                     | 1          | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |
| Intervalų ribos                                |                                     | [110-160)  | [160-210) | [210-260) | [260-310) | [310-360) | [360-410) |
| Intervalų vidurio reikšmė                      | $t_{vid}$                           | 135        | 185       | 235       | 285       | 335       | 385       |
| Jėgų skaičius                                  | $m_i$                               | 9          | 1         | 2         | 4         | 6         | 4         |
| Jėgų skaičius $t_i$ momentu                    | $r(t_i)$                            | 9          | 10        | 12        | 16        | 22        | 26        |
| Jėgų skaičius nepatenk. į intervalą            | $N(t_i)$                            | 17         | 16        | 14        | 10        | 4         | 0         |
| Statistinė tikimybė                            | $P_i = \frac{m_i}{N}$               | 0,346      | 0,038     | 0,077     | 0,154     | 0,231     | 0,154     |
| Empirinė tikimybė, kad neišvystys tokios jėgos | $F^*(t_i) = \frac{r(t_i)}{N}$       | 0,346      | 0,385     | 0,462     | 0,615     | 0,846     | 1,000     |
| Empirinė tikimybė, kad išvystys tokią jėgą     | $P^*(t_i) = \frac{N(t_i)}{N}$       | 0,654      | 0,615     | 0,538     | 0,385     | 0,154     | 0,000     |

Variacijos koeficientas:

$$\nu = 0,21.$$

Kadangi geometrinės variacijos koeficientas yra mažesnis už 0,33, tikėtina, kad stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmės, stabdant galine ašimi, pasiskirsto pagal Gauso (Normalųjį) pasiskirstymo dėsnį.

Sudaroma stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, pasiskirstymo histograma ir diferencialinė funkcija (žr. 39 pav.).



**39 pav.** Lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, empirinės tankio funkcijos histograma ir diferencialinė funkcija

Pagal 20 formulę randama Normaliojo pasiskirstymo dėsnio diferencialinė funkcija (tikimybės tankis):

$$f(135) = 0,0837;$$

$$f(185) = 0,1042;$$

$$f(235) = 0,1981;$$

$$f(285) = 0,2530;$$

$$f(335) = 0,2199;$$

$$f(385) = 0,1204.$$

Integralinė funkcija arba pasiskirstymo funkcija  $F(T)$  gaunama, integruojant diferencialinę funkciją  $f(T)$ . Pagal 21 ir 22 formules apskaičiuojame funkcijos reikšmes:

$$F(160) = 0,0384;$$

$$F(210) = 0,2090;$$

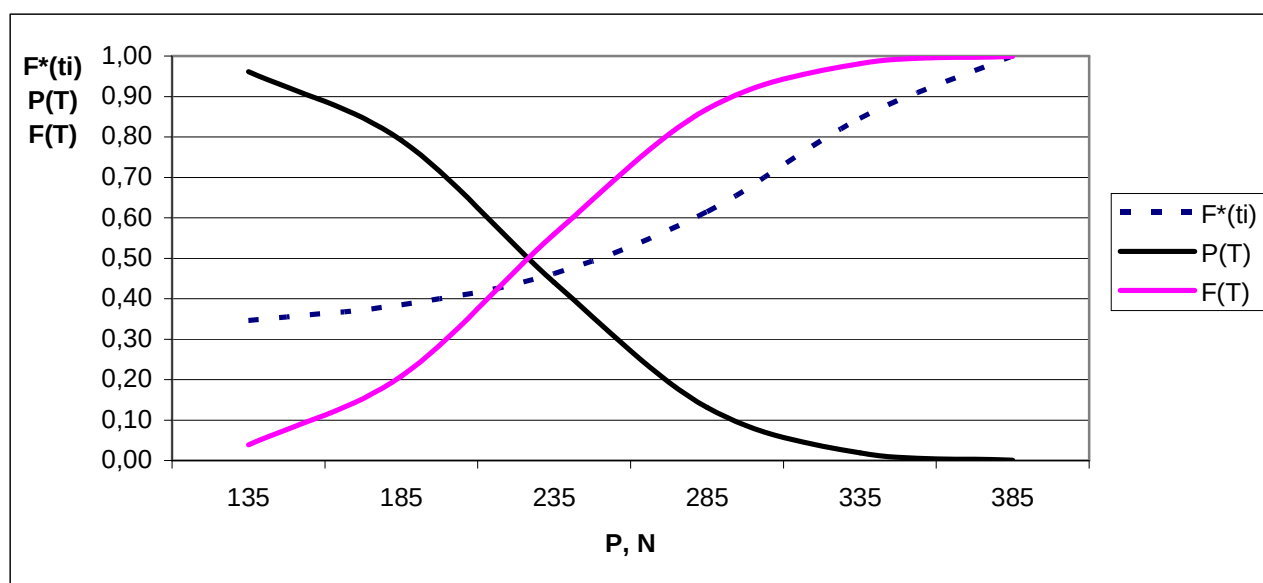
$$F(260) = 0,5596;$$

$$F(310) = 0,8686;$$

$$F(360) = 0,9812;$$

$$F(410) = 0,9988.$$

Negendamumo tikimybės  $P(T)$  reikšmės apskaičiuojamos pasinaudojant 23 priklausomybę. Braižomos atsitiktinio dydžio pasiskirstymo empirinė tikimybė ir neišvystomų jėgų empirinė tikimybė.



**40 pav.** Stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmių, stabdant galine ašimi, integralinės funkcijos

Galutinis dėsno parinkimo patikrinimas atliekamas taikant suderinamumo kriterijus arba  $\chi^2$ .

Patikslintos statistinės tikimybės reikšmė apskaičiuojama kiekvienam intervalui:

$$p_1 = p(110 \leq t \leq 160) = 0,1653;$$

$$p_2 = p(160 \leq t \leq 210) = 0,1706;$$

$$p_3 = p(210 \leq t \leq 260) = 0,3506;$$

$$p_4 = p(260 \leq t \leq 310) = 0,3090;$$

$$p_5 = p(310 \leq t \leq 360) = 0,1063;$$

$$p_6 = p(360 \leq t \leq 410) = 0,0975.$$

Tada:

$$\chi_{sk}^2 = 6,82.$$

Apskaičiavus  $\chi^2$  skaičiuojamąją reikšmę, ši reikšmė lyginama su reikšme, pateikta matematinės statistikos lentelėse.

$\chi^2$  lentelinė reikšmė nustatoma priklausomai nuo reikšmingumo lygmens  $\alpha$ , kuris imamas 0,05, kuria įvertinama apie 95 % paminos nuspaudimo jėgų reikšmių.

Laisvės laipsnių skaičius  $K$ :

$$K = 3.$$

$$\chi_{sk}^2 = 6,82 \leq \chi_{int}^2 = 7,81.$$

Pagal gautą nelygybę matome, kad Normalusis pasiskirstymo dėsnis parinktas teisingai ir šio dėsnio charakteristikos gali būti taikomos nustatant paminos nuspaudimo jėgos tikimybę.

## Išvados ir pasiūlymai

Atlikus eksperimentinius stabdymo efektyvumo tyrimus ant ritininio stabdžių patikros stendo, formuluojamos šios išvados:

1. Esant tvarkingai stabdžių sistemai, tikrinant lengvųjų automobilių (tirtų automobilių masė – 1505-2120 kg) priekinės ašies ratų stabdžius, stabdžių paminos nuspaudimo jėga neturėtų būti didesnė nei 230 N. Tikrinant galinės ašies ratų stabdžius, paminos nuspaudimo jėga neturėtų būti didesnė nei 390 N. Jeigu jėga didesnė, reikalinga nuodugnesnė stabdžių sistemos apžiūra (stabdžių stiprintuvo, paminos pavaros).
2. Priekiniais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus, turėtų būti mažesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdant galinės ašies ratus. Galiniais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus, gali būti didesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdant galinės ašies ratus.
3. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykis  $k_{p.vid}$  neturėtų viršyti 0,05. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir galinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykis  $k_{g.vid}$  neturėtų viršyti 0,11.
4. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykis  $k_{p.m.f.vid}$ , stabdant priekinės ašies ratais, neturėtų viršyti 0,02. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykis  $k_{g.m.b.vid}$ , stabdant galinės ašies ratais, neturėtų viršyti 0,03.
5. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykis  $k_{p.m.vid}$ , stabdant priekinės ašies ratais, neturėtų viršyti 0,02. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykis  $k_{g.m.vid}$ , stabdant galinės ašies ratais, neturėtų viršyti 0,03.
6. Lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgų reikšmės, tikrinant priekinės ir galinės ašies ratų stabdžius, pasiskirsto pagal Normalųjį (Gauso) pasiskirstymo dėsnį. Gautos vidutinės reikšmės atitinkamai lygios  $175 \pm 36$  N ir  $252 \pm 52$  N.

## Literatūra

- Anton, K. 2004. Method and device for testing brakes on a motor vehicle brake testing stand, *International Journal of Automotive Technology* 7, 352–356.
- Batarlienė, N. 2003. *Transporto uždavinių matematiniai – statistiniai metodai*. Vilnius: Technika. 158 p.
- Calvo, J. A.; Diaz, V.; San Roman, J. L.; Garcia-Pozuelo, D. 2006. Influence of shock absorber wearing on vehicle brake performance, *International Journal of Automotive Technology* 9: 467–472.
- Giedra, K.; Kirka, A.; Slavinskas, S. 2006. *Automobiliai*. Kaunas: Smaltija. 560 p.
- Lee, C. H.; Lee, J. M.; Choi, M. S.; Kim, C. K.; Koh, E. B. 2009. Development of a semi-empirical program for predicting the braking performance of passenger vehicles, *International Journal of Automotive Technology* 12: 193–198.
- Ming-chin Wu, Ming-chang Shih. 2000. Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system using sliding-mode PWM control, *Mechatronics* 13: 331–351.
- Patel, N.; Edwards, C.; Spurgeon, S. K. 2007. Optimal braking and estimation of tyre friction in automotive vehicles using sliding modes, *International Journal of Systems Science* 38: 901–912.
- Petrėtienė, A. 2009. *Transportininkų kalbos kultūra*. Vilnius: Technika. 199 p.
- Saeed Abu Alyazeed Albatlan. 2011. Automotive brake pipes characteristics and their effects on brake performance. *Ain Shams Engineering Journal* 3: 279-287.
- Segal, L. 1997. Diagnostic method for vehicle brakes, *NDT&E International* 32 (1999): 369–373.
- Senabre, C.; Velasco, E.; Valero, S. 2010. Comparative analysis of vehicle brake data in the Ministry of Transport test on the roller brake tester and on flat ground, *International Journal of Automotive Technology* 13: 735–742.
- Sokolovskij, E. 2005. Experimental investigation of the braking process of automobiles, *Transport* 20(3): 91–95.
- Vestartas, A.; Nagurnas, S. 2004. Transporto mašinų patikimumo teorija. *Namų darbo metodiniai nurodymai*. Vilnius. 13 p.
- Žukauskas, D.; Glėbus, S. 2008. Automobilių stabdžių sistemos kontrolės stendų ir jų eksploatacijos analizė. *Transbaltica* 9: 240–245.

## **Priedai**



## **A Priedas**

**Stabdžių efektyvumo patikros stendas *John BEAN***

**Gamintojas: Snapon Equipment s.r.l., Italija**

**Modelis: BT 2204 PC**

- Skirta stabdžių patikrai.
- Stabdžių stendo valdymo blokas, elektroninė matavimo sistema ir asmeninis kompiuteris (toliau – PC) sumontuoti į mobilų vežimėlį.
- Asmeninis kompiuteris skirtas įrenginiui valdyti. Komplekte su lazeriniu spalvotu spausdintuvu A4, klaviatūra ir pele bei specialia programine įranga matavimo rezultatams atvaizduoti, matavimo ataskaitoms ir klientų duomenų bazei kaupti.
- Įrenginio meniu lietuvių kalba.

### **Automobilių stabdžių stendo komplektacija:**

- Mobilus vežimėlis su PC sistema patikros linijai valdyti. Tame pačiame PC įdiegta licencijuota programinė įranga lietuvių kalba patikros linijai valdyti.
- Testavimo volų modulis.
- 4WD priedas.
- Infraraudonųjų spindulių nuotolinio valdymo pultas.
- Atverčiami dangčiai stabdžių stendo volams uždengti.
- Matavimų eiga, rezultatai, pasirinktas testavimo režimas atvaizduojami kompiuterio monitoriuje.

### **Sistemos atliekami matavimai:**

- Stabdymo jėga, jos efektyvumas kairėje ir dešinėje testuojamos automobilio ašies pusėse.
- Stabdymo jėgos skirtumas kairėje ir dešinėje testuojamos automobilio ašies pusėse.
- Stabdžių diskų ovalumas.
- Atskiro rato testavimo funkcija.
- Automobilių su 4WD sistema testavimo funkcija.
- Automatizuotas automobilių su 4WD sistema atpažinimas. Sistemai pradėjus veikti tikrinama ar aktyvus diferencialas.
- Rankinis arba automatinis testavimo režimai.
- Automobilių stabdžių stendas patikrintas metrologiškai.

**Automobilių stabdžių sistemos efektyvumo tikrinimo stendo testavimo volų modulis:**

- Vientisas testavimo volų rėmas.
- Volų skersmuo 216 mm.
- Testavimo volai, pritaikyti automobiliams su dygliuotomis padangomis testuoti.
- Testuojamo automobilio ratų bazės minimalus plotis 800 mm.
- Testuojamo automobilio ratų bazės maksimalus plotis 2200 mm.
- Ašinė testuojama apkrova 4000 kg.
- Maksimali testuojama stabdymo jėga 8 kN.
- Automatinis išsijungimas užsiblokavus automobilio ratui.
- Automatinis pakartotinis įsijungimas užsiblokavus automobilio ratui.
- Stendo varikliai apsaugoti nuo įtampos šuolių.
- Testavimo greitis 5,5 km/h.
- Bendras variklių galingumas 6 kW.
- 4WD sistemų automatinio atpažinimo moduliui nustačius, kad testuojamas automobilis su 4WD sistema, stabdžių efektyvumo patikrinimas automatiškai pradedamas 4WD režime.
- Matavimo rezultatų ir jų kreivių atvaizdavimas kompiuterio monitoriuje.
- Atlenkiami testavimo volų dangčiai.
- Testavimo volų modulio svoris 370 kg.

## B Priedas

### LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ STABDYMO PARAMETRŲ TYRIMAS

Saulius Stravinskas<sup>1</sup>, Saulius Nagurnas<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, El. paštas: <sup>1</sup>stravinskassaulius@gmail.com; <sup>2</sup>saulius.nagurnas@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamas lengvųjų automobilių stabdymo procesas, automobilius bandant ant ritininio stabdžių patikros stendo. Pagrindinis tikslas – įvertinant automobilio masę ir atitinkamų ašių maksimalią stabdymo jėgą, nustatyti, kokia galėtų būti stabdžių paminos nuspaudimo jėga. Šie duomenys gali būti pritaikyti praktikoje, pavyzdžiui, atliekant automobilių techninę apžiūrą. Eksperimentiniuose tyrimuose naudotas JOHN BEAN būgninis stabdžių patikros stendas. Stabdžių paminos nuspaudimo jėga matuota prietaisu VZM 100. Straipsnyje pateikta eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė. Gauti santykiniai dydžiai, pagal kuriuos galima spręsti apie lengvųjų automobilių stabdymo efektyvumą. Suformuluotos išvados ir pasiūlymai.

**Reikšminiai žodžiai:** stabdymo efektyvumas, stabdžių paminos nuspaudimo jėga, ritininis stabdžių patikros stendas, automobilio masė, stabdymo jėgos.

#### Įvadas

Aktyviojo saugumo požiūriu stabdžių sistema yra pagrindinis elementas, galintis padėti išvengti eismo įvykio ir sumažinti jo pasekmes. Kiekvienos transporto priemonės stabdymo efektyvumas įvertinamas periodinės techninės apžiūros metu ant stabdžių tikrinimo stendo. Tačiau tipinis stabdžių tikrinimo procesas yra gana ribotas šiandieninėms modernioms (sudėtingoms) stabdžių sistemoms (Senabre *et al.* 2010). Todėl, stabdymo jėgų pasiskirstymas ant atskirų ratų, priklausomai nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, negali būti tinkamai įvertintas. Tai pat, senesnių automobilių stabdžių sistemos turėtų būti tikrinamos griežčiau.

Mokslininkai iš įvairių šalių atlieka daug bandymų, tyrimų ir skaičiavimų siekdami sukurti metodiką, kaip tikrinti stabdžių efektyvumą, naudojant įvairius stabdžių efektyvumo patikros stendus. Pavyzdžiui mokslininkas Calvo yra sukūręs itin tikslų plokštinių stabdžių patikros stendą, kuris sudarytas iš dviejų eilių lygiagrečių plokščių, jėgos matuoklių, sumontuotų po viršutine plokšte. Taip pat vertikalčiai ir horizontalčiai išdėstytų jungčių, jungiančių viršutinę ir apatinę plokštes su jėgos matavimo įrenginiais. Kiekvienas matavimo įrenginys turi relę ir skaičiavimo prietaisą, apdorojantį jėgos vertę. Aprašytas išradimas gali būti naudojamas įvairių automobilių stabdžių patikrai (Calvo *et al.* 2006).

Eksperimentiniai ir teoriniai stabdžių atiblokavimo sistemos tyrimai atliekami naudojant du slydimo valdiklius, kurių valdymas pagrįstas impulso pločio modulavimu ir impulso dažnio valdymu (ant specialiai suprojektuoto ritininio stabdžių patikros stendo). Tiek teorinių, tiek praktinių eksperimentų rezultatai parodė, kad lyginant stabdymo rezultatus tarp standartinio stabdžių sistemos valdymo bloko ir autorių suprojektuoto, matoma, kad suprojektuoti valdymo blokai turi geresnes stabdymo savybes tiek ant sausos, tiek ant drėgnos kelio

dangos (Ming-chin Wu *et al.* 2000, Nitin Patel *et al.* 2007).

Stabdžių efektyvumą įtakoja daugelis veiksnių. Vienas tokių veiksnių – automobilio stabdžių sistemos konstrukcija, pavyzdžiui vamzdeliai. Buvo atlikti tyrimai, norint nustatyti skirtingo vidinio skersmens vamzdelių įtaką galinės ašies ratų stabdžių efektyvumui (Saeed Abu Alyazeed Albatlan 2011, Lee *et al.* 2009). Buvo atliekami teoriniai ir praktiniai eksperimentai, kurių metu paaiškėjo, kad vidinis stabdžių vamzdelių skersmuo turi įtakos tiek stabdymo jėgų pasiskirstymui tarp vienos ašies ratų, tiek stabdymo efektyvumui. Didesnio skersmens vamzdeliai, automobiliui judant tiesia linija, stabdžių efektyvumą padidina 9 %, o judant posūkyje – net iki 19 % priklausomai nuo automobilio masės ir greičio.

Mokslinėje literatūroje nėra aiškiai suformuluotos metodikos, pagal kurią būtų galima nustatyti stabdymo jėgos ant ratų priklausomybę nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir kitų parametrų, tokių kaip faktinė ir bendroji automobilio masė.

Todėl, šiame straipsnyje nagrinėjamas lengvųjų automobilių stabdymo procesas ant ritininio stabdžių patikros stendo, konkrečiai įvertinant stabdžių jėgos ant ratų priklausomybę nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, faktinės bei bendrosios automobilio masės.

#### Eksperimentiniai tyrimai

Eksperimentinių tyrimų tikslas. Įvertinant automobilio masę ir atitinkamų ašių maksimalią stabdymo jėgą, nustatyti, kokia galėtų būti stabdžių paminos nuspaudimo jėga. Tikslui pasiekti suformuluoti šie uždaviniai. Nustatyti automobilių stabdymo parametrus: stabdžių paminos nuspaudimo jėgą  $P$ , stabdymo jėgą priekiniuose ir galiniuose ratuose  $F$ , nustatyti ryšį tarp maksimalios stabdymo jėgos ratuose bei stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, nustatyti ryšį tarp stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, faktinės automobilio masės ir bendrosios automobilio

masės, įvertinti leistiną stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, kai žinoma maksimali ratų stabdymo jėga ir automobilio masė.

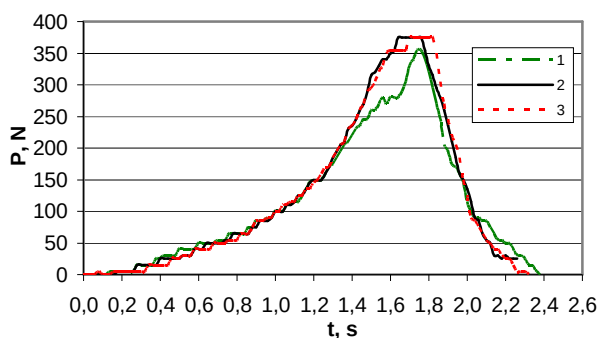
Eksperimentinių tyrimų metodika. Bandymams atlikti buvo pasirinkta 10 lengvųjų automobilių. Visi automobiliai techniškai tvarkingi. Automobilių amžius apie 15 m. Tai dominuojanti lengvųjų automobilių grupė Lietuvos automobilių parke. Bandymai buvo atliekami ant ritininio stabdžių efektyvumo tikrinimo stendo JOHN BEAN (1 pav.).



1 pav. Stabdžių efektyvumo patikros stendas JOHN BEAN

Automobilių stabdžiai buvo bandomi tokia tvarka: iš pradžių matuojamas priekinės ašies ratų stabdymo efektyvumas bei stabdžių paminos nuspaudimo jėga, po to bandymas kartojamas galinei ašiai. Viso atlikti 52 bandymai (po tris kartus kiekvienai ašiai, vienam automobiliui šeši bandymai). Visais atvejais laiko žingsniu  $t = 0,02$  s buvo fiksuojama stabdžių paminos nuspaudimo jėga  $P$ . Priimta, kad maksimali stabdžių jėgos reikšmė ratuose pasiekama prie didžiausios stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmės (ABS šiuo atveju neveikia).

2 paveiksle pateikta automobilio SEAT LEON stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko.



2 pav. Automobilio SEAT LEON stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybė nuo laiko bandant galinės ašies ratų stabdžius: 1 – pirmas bandymas, 2 – antras bandymas, 3 – trečias bandymas

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos matavimai buvo atliekami kilnojamo lėtėjimo matavimo prietaisu VZM 100 su stabdžių paminos nuspaudimo jėgos jutikliu. Stabdymo jėgos reikšmės ratuose matuotos būgniniu stabdžių patikros stendu. Taip gautos dydžio  $P$  reikšmės kas 0,02 s.

### Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė

Norint susisteminti eksperimentiniuose tyrimuose gautus rezultatus bei pateikti išvadas, stabdžių paminos nuspaudimo jėgą išreiškiame santykiniais dydžiais (žr. 1, 4-7 formules). Pagal gautus koeficientus galime vertinti per santykinius dydžius automobilių stabdymo efektyvumą priklausomai nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos.

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir ašies suminės stabdymo jėgos priekinės ašies ratuose (jeigu stabdymo jėgų skirtumas atskiruose ratuose neviršija leistinų ribų) santykis apskaičiuojamas:

$$k_p = \frac{P}{F_{st.sum}}, \quad (1)$$

čia:  $F_{st.sum}$  – suminė priekinės ašies ratų stabdymo jėga, N;  $P$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekine ašimi, N.

Suminė priekinės ašies ratų stabdymo jėga apskaičiuojama sudedant ašies kairiojo ir dešiniojo rato stabdymo jėgas:

$$F_{st.sum} = F_{st.k} + F_{st.d}, \quad (2)$$

čia:  $F_{st.k}$  – priekinės ašies kairiojo rato stabdymo jėga, N;  $F_{st.d}$  – priekinės ašies dešiniojo rato stabdymo jėga, N.

Analogiškai apskaičiuojamas stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir suminės ašies stabdymo jėgos galinės ašies ratuose (jeigu stabdymo jėgų skirtumas atskiruose ratuose neviršija leistinų ribų) santykis  $k_g$ .

Apskaičiuojame koeficientų  $k_p$  ir  $k_g$  reikšmes bandytiems automobiliams.

Toliau apskaičiuojame faktinės automobilio masės bei bendrosios automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant priekinės ašies ratus, santykinius dydžius. Kadangi automobilį veikia ir sunkio jėga, automobilio masę vertiname kaip jėgą:

$$m_{a.f} = m \cdot g, \quad (3)$$

čia:  $m_{a.f}$  – faktinis automobilio svoris, N;  $m$  – automobilio masė, kg;  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis,  $m/s^2$ .

Tada:

$$k_{p.m.f} = \frac{P}{m_{a.f}}, \quad (4)$$

$$k_{p.m} = \frac{P}{m_a}, \quad (5)$$

čia:  $k_{p.m.f}$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykis;  $k_{p.m}$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykis;  $P$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėga, N;  $m_{a.f}$  – faktinis automobilio svoris, N;  $m_a$  – bendrasis automobi-

lio svoris, N.

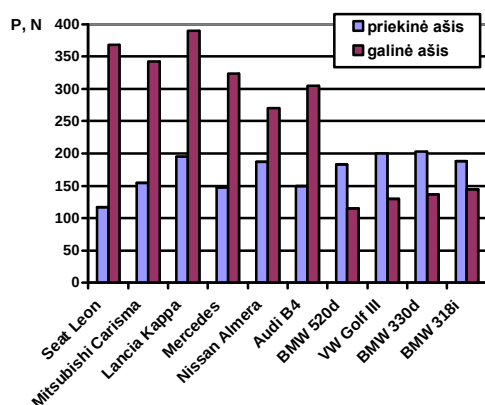
Analogiškai apskaičiuojame faktinės automobilio masės bei bendrosios automobilio masės ir stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, bandant galinės ašies ratus, santykinius dydžius.

$$k_{g,m,f} = \frac{P}{m_{a,f}}, \quad (6)$$

$$k_{g,m} = \frac{P}{m_a}. \quad (7)$$

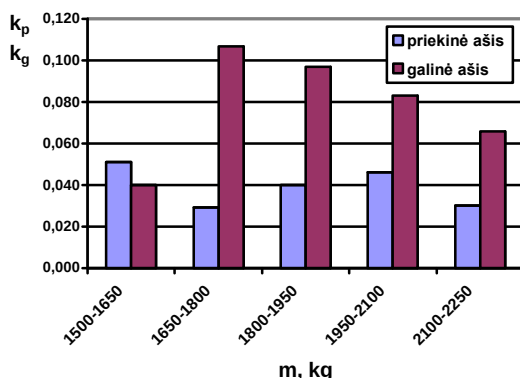
čia:  $k_{g,m,f}$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykis;  $k_{g,m}$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykis;  $P$  – stabdžių paminos nuspaudimo jėga, N;  $m_{a,f}$  – faktinis automobilio svoris, N;  $m_a$  – bendrasis automobilio svoris, N.

Atlikę gautų skaičiavimų rezultatų analizę, pateikiame pagrindines priklausomybes, kuriose matyti tam tikri bandymų duomenų pasiskirstymo dėsningumai. Eksperimentinių tyrimų metu gautos vieno pagrindinių parametrų – stabdžių paminos nuspaudimo jėgos, reikšmės, pateiktos 3 paveiksle.



3 pav. Bandytų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga stabdant priekinės ir galinės ašies ratus

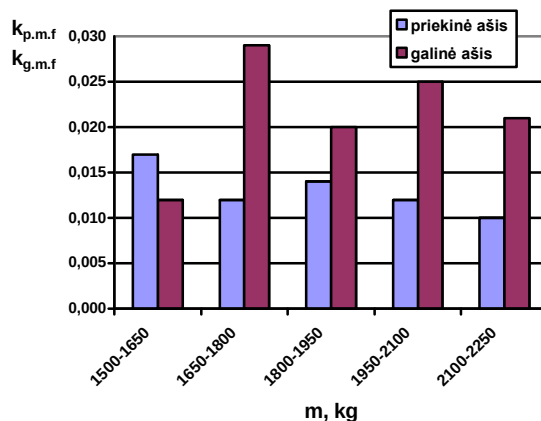
Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgos ratuose santykiniai dydžiai  $k_p$  ir  $k_g$  maksimalių reikšmių priklausomybės nuo bendrosios automobilių masės pateiktos 4 paveiksle.



4 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgos

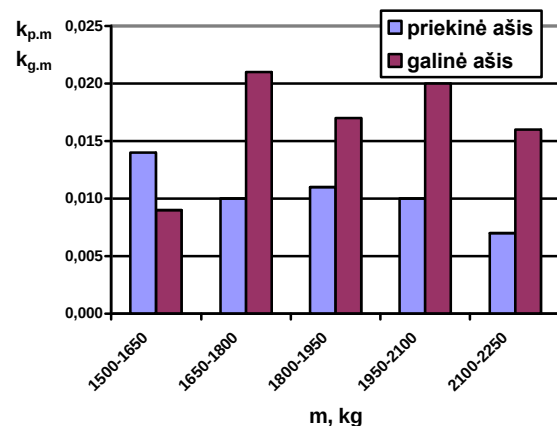
ratuose santykiniai dydžiai  $k_p$  ir  $k_g$  maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilių masės

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykiniai dydžiai  $k_{p,m,f}$  ir  $k_{g,m,f}$  maksimalių reikšmių priklausomybės nuo bendrosios automobilių masės pateiktos 5 paveiksle.



5 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykiniai dydžiai  $k_{p,m,f}$  ir  $k_{g,m,f}$  maksimalių reikšmių priklausomybės nuo bendrosios automobilių masės

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykiniai dydžiai  $k_{p,m}$  ir  $k_{g,m}$  maksimalių reikšmių priklausomybės nuo bendrosios automobilių masės pateiktos 6 paveiksle.



6 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykiniai dydžiai  $k_{p,m}$  ir  $k_{g,m}$  maksimalių reikšmių priklausomybė nuo bendrosios automobilių masės

Atlikus lengvųjų automobilių eksperimentinius stabdymo parametrų tyrimus ant ritininio stabdžių patikros stendo, atlikta gautų duomenų analizė.

Iš 3 paveikslų matyti, kad vidutinė stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus svyruoja nuo 117 iki 203 N. Suminė priekinės ašies ratų stabdymo jėga svyruoja nuo 3800 iki 6080 N. Stabdant galinės ašies ratus, vidutinė stabdžių paminos nuspaudimo jėga svyruoja nuo 115 iki 390 N. Suminė galinės ašies ratų stabdymo jėga svyruoja nuo 2840 iki 5240 N.

Priekiniais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus,

beveik visada mažesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdant galinės ašies ratus.

Galiniiais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus, gali būti didesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdant galinės ašies ratus.

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės ašies ratų stabdymo jėgos vidutinių santykinių dydžių  $k_{p,vid}$  reikšmės svyruoja nuo 0,024 iki 0,051. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir galinės ašies ratų stabdymo jėgos vidutinių santykinių dydžių  $k_{g,vid}$  reikšmės svyruoja nuo 0,027 iki 0,107. Kuo šis dydis mažesnis, tuo stabdymo efektyvumas didesnis, kadangi mažesne jėga spaudžiant stabdžių paminą, gaunama didesnė stabdymo jėga ratuose.

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir automobilio masės bandymo metu vidutinių santykinių dydžių  $k_{p,m,f,vid}$  ir  $k_{g,m,f,vid}$  reikšmės, stabdant priekinės ašies ratus svyruoja nuo 0,009 iki 0,017, o stabdant galinės ašies ratus, svyruoja nuo 0,007 iki 0,029. Kuo šis dydis mažesnis, tuo stabdymo efektyvumas didesnis, kadangi stabdžių pamina spaudžiama mažesne jėga.

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės vidutinių santykinių dydžių  $k_{p,m,vid}$  ir  $k_{g,m,vid}$  reikšmės, stabdant priekinės ašies ratus svyruoja nuo 0,007 iki 0,014, o stabdant galinės ašies ratus, svyruoja nuo 0,006 iki 0,021. Kuo šis dydis mažesnis, tuo stabdymo efektyvumas didesnis, kadangi lyginant su automobilio mase, stabdžių pamina spaudžiama mažesne jėga.

## Išvados

Atlikus eksperimentinius stabdymo efektyvumo tyrimus ant ritininio stabdžių patikros stendo, formuluojame šias išvadas:

1. Esant tvarkingai stabdžių sistemai, tikrinant lengvųjų automobilių (tirtų automobilių masė – 1505-2120 kg.) priekinės ašies ratų stabdžius, stabdžių paminos nuspaudimo jėga neturėtų būti didesnė nei 230 N. Tikrinant galinės ašies ratų stabdžius, paminos nuspaudimo jėga neturėtų būti didesnė nei 390 N. Jeigu jėga didesnė, reikalinga nuodugnesnė stabdžių sistemos apžiūra (stabdžių stiprintuvo, paminos pavaros).

2. Priekiniais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus, turėtų būti mažesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdant galinės ašies ratus. Galiniiais ratais varomų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėga, stabdant priekinės ašies ratus, gali būti didesnė už stabdžių paminos nuspaudimo jėgą, stabdant galinės ašies ratus.

3. Atliekant lengvųjų automobilių stabdymo efektyvumo patikrą, galime teigti, jog stabdžių sistema tvarkinga, kai:

- Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir priekinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykis  $k_{p,vid}$  neviršija 0,05. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir galinės ašies ratų suminės stabdymo jėgos santykis  $k_{g,vid}$  neviršija 0,11.
- Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės

automobilio masės santykis  $k_{p,m,f,vid}$ , stabdant priekinės ašies ratais, neviršija 0,02. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir faktinės automobilio masės santykis  $k_{g,m,f,vid}$ , stabdant galinės ašies ratais, neviršija 0,03.

- Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykis  $k_{p,m,vid}$ , stabdant priekinės ašies ratais, neviršija 0,02. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir bendrosios automobilio masės santykis  $k_{g,m,vid}$ , stabdant galinės ašies ratais, neviršija 0,03.

## Literatūra

- Calvo, J. A.; Diaz, V.; San Roman, J. L.; Garcia-Pozuelo, L. D. 2006. Influence of shock absorber wearing on vehicle brake performance. *International Journal of Automotive Technology* 9, 467-472 p.
- Lee, C. H.; Lee, J. M.; Choi, M. S.; Kim, C. K.; Koh, E. B. 2009. Development of a semi-empirical program for predicting the braking performance of passenger vehicles. *International Journal of Automotive Technology* 12, 193-198 p.
- Ming-chin Wu, Ming-chang Shih. 2000. Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system using sliding-mode PWM control. *Mechatronics* 13, 331-351 p.
- Patel, N.; Edwards, C.; Spurgeon, S. K. 2007. Optimal braking and estimation of tyre friction in automotive vehicles using sliding modes. *International Journal of Systems Science* 38, 901-912 p.
- Saeed Abu Alyazeed Albatlan. 2011. Automotive brake pipes characteristics and their effects on brake performance. *Ain Shams Engineering Journal* 3, 279-287 p.
- Senabre, C.; Velasco, E.; Valero, S. 2010. Comparative analysis of vehicle brake data in the Ministry of Transport test on the roller brake tester and on flat ground. *International Journal of Automotive Technology* 13, 735-742 p.