



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas
Baigiamasis magistro projektas

Domas Markauskas
Projekto autorius

Doc. dr. Arūnas Tautkus
Vadovas

Panevėžys, 2018



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas
Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Domas Markauskas
Projekto autorius

Doc. dr. Arūnas Tautkus
Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2018



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Domas Markauskas

Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas

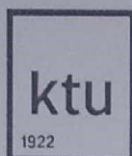
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Domo Markausko, baigiamasis projektas tema „Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO
PANEVŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETO
TECHNOLOGIJŲ IR VERSLUMO KOMPETENCIJŲ CENTRAS**

TVIRTINU
TVKC vadovė
Nida Kvedaraitė

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Diplomantui Markauskui Domui

Baigiamojo projekto tema
(lietuvių kalba)

Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas

Baigiamojo projekto tema
(anglų kalba)

Research on Vehicle Braking Distance

Patvirtinta 2018 m. 03 mėn. 30 d. dekano potvarkiu Nr. V25-13-12-1

Įrišto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2018 m. gegužės 31 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Atlikti stabdymo kelio ilgio eksperimentinius tyrimus mažiausiai su trimis automobiliais, ant įvairių kelio dangų. Eksperimentus atlikti važiuojant: 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h.

Baigiamojo projekto turinys / struktūra (išvardinti pagrindines BP dalis / uždavinius / klausimus, kurie turi būti atskleisti baigiamajame projekte)

1. Atlikti mokslinės literatūros apžvalgą, susijusią su BP tema.
2. Atlikti stabdymo ir sustojimo kelio teorinę analizę ir nustatyti pagrindinius parametrus, kurie įtakoja sustojimo ir stabdymo kelio ilgį.
3. Atlikti eksperimentinių tyrimų aprašymą ir pateikti eksperimento atlikimo metodologiją.
4. Atlikti eksperimentinius stabdymo kelio ilgio tyrimus su mažiausiai trimis automobiliais, važiuojant 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h, skirtingo sukibimo dangose.
5. Atlikti eksperimentinių rezultatų analizę ir nustatyti ryšį tarp automobilio greičio ir kelio dangos sukibimo.

Vadovas

Arūnas Tautkus
doc. dr. Arūnas Tautkus

(parašas, pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

Domas Markauskas
(studento parašas, vardas, pavardė)

2018 m. balandžio 18 d.

Markauskas, Domas. Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Arūnas Tautkus; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: sausumos transporto inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Stabdymo kelias, lėtėjimo pagreitis, kelio danga, padangos, ABS.

Panevėžys, 2018. 65 p.

SANTRAUKA

Greitas ir efektyvus automobilio stabdymas yra vienas iš pagrindinių saugaus eismo aspektų, kuris turi užtikrinti greitą sustojimą kliūties atsiradimo metu. Baigiamajame projekte yra analizuojama, kas lemia stabdymo kelią. Darbe išanalizuota mokslinė literatūra, pateikiama stabdžių sistemų analizė, palyginamos skirtingos stabdžių sistemos, pateikiami jų privalumai ir trūkumai, taip pat aprašomi, kokie yra keliami reikalavimai stabdžių sistemoms. Šiame darbe yra tiriama, kaip stabdymo kelias priklauso nuo kelio dangos esant skirtingoms oro sąlygoms. Taip pat analizuojama, kokią įtaką daro skirtingų tipų padangos atliekant bandymus ant skirtingų dangų. Darbe tyrimo metu buvo atlikti eksperimentai naudojant tris panašios masės mikroautobusus, kuomet bandymai atliekami naudojant lėtėjimo pagreičio matuoklį. Darbe analizuojama kaip automobilio greitis turi poveikį stabdymo keliui, tiriama kaip stabdymo kelias priklauso naudojant ABS sistemą bei atliekami bandymai be jos. Stabdymo kelias apskaičiuojamas teoriniu metodu ir rezultatai lyginami su gautais eksperimento metu. Rezultatai parodė, jog teoriniai skaičiavimai atitinka eksperimentinius bandymus kai yra stabdoma nenaudojant ABS sistemos, tačiau bandymai atlikti su ABS sistema yra žymiai mažesni. Eksperimentiniuose tyrimuose įvertinamas ir grafiškai pateikiamos lėtėjimo pagreičio reikšmės. Tyrimo metu gauti rezultatai parodė, jog didžiausią įtaką stabdymo keliui turi automobilio greitis ir sukibimas tarp rato ir kelio dangos. Atlikus tyrimą su vasarinėmis ir žieminėmis padangos ant sauso kelio dangos, buvo gauti rezultatai, jog stabdymas naudojant vasarines padangas yra efektyvesnis ir stabdymo kelias trumpesnis apie 10 proc. Visais atvejais gauti rezultatai parodė, jog stabdymas naudojant ABS sistemą yra efektyvesnis ir priklausomai nuo pradinio greičio stabdymo kelias yra trumpesnis iki 25 proc. Apibendrinus tyrimą ir pateikus išvadas aprašomi pagrindiniai stabdymo kelią lemiantys veiksniai.

Markauskas, Domas. Research on vehicle braking distance. Master's Final Degree Project / supervisor doc. Dr. Arūnas Tautkus,; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Overland Transport Engineering, Technology Sciences.

Keywords: Braking distance, deceleration, road pavement, tyres, ABS

Panevėžys, 2018. 65 pages.

SUMARRY

Fast and efficient car braking is one of the key aspects in road safety, where automobile braking must ensure fast stopping at the appearing of the obstacle. In the master thesis is analyzed what determines the braking distance. Research was made of the scientific literature, presented the analysis of the braking systems, comparison of different braking systems, presented their advantages and disadvantages, as well described the requirements for the braking systems. Investigation was made for describing braking distance which depends on the road traction under different weather conditions. It is also analyzed the influence of different types of tires on different road surfaces. Experiments are conducted with using three multi vans with similar mass, research was made by using decelerometer. It is analyzed how the automobile speed has effect on braking distance. Braking distance was studied depending on the stopping with ABS and without it. The theoretical calculations are made and the results are compared with the results of experimental braking. The results shown that the results are similar with the experimental braking without usage of ABS, however the experimental result with usage of ABS were considerably smaller. In the experimental research, the values of braking deceleration are evaluated and graphically presented. The results of the research shown that vehicle speed and adhesion of the wheel and road surface have the greatest influence on braking distance. After research was done using summer and winter tires on dry road surface, the results shown that braking with summer tires is more effective and the braking distance is less than 10 percent. In all cases results shown that braking with the usage of ABS is more effective and the distance is shorter than 25 percent. Summarizing the study and presenting the conclusions the main determinants are described of the braking system.

TURINYS

TURINYS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS	9
ĮVADAS	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Bendrieji stabdžių sistemos konstrukcijos ir jų veikimo reikalavimai	15
1.1.1. Bendrieji stabdžių sistemos veikimo reikalavimai	15
1.2. Automobilio stabdymo procesai	16
1.2.1. Automobilio Stabdymas	16
1.2.2. Stabdymo priklausomybė nuo laiko	16
1.3. Stabdžių sistema	18
1.3.1. Stabdžių mechanizmai	19
1.3.2. Stabdžių antiblokavimo sistema	21
1.3.3. Stabdymo skirtumai naudojant ir nenaudojant antiblokavimo sistemą	23
1.4. Kelio danga	23
1.4.1. Kelio dangos konstrukcija	24
1.4.2. Dangos defektų skirstymas	27
1.5. Automobilio padangos	28
1.5.1. Pneumatinių padangų klasifikacija	29
1.5.2. Padangos sukibimas, kontaktas ir deformacijos	31
2. TIRIAMOJI DALIS	34
2.1. Tyrimo metodika	34
2.2. Teorinis stabdymo kelias	41
2.3. Eksperimentinis stabdymo kelias	41
2.4. Tyrimo duomenys ir rezultatai	42
2.4.1. Stabdymo duomenys esant apsnigtai dangai ir žieminėmis padangomis	43
2.4.2. Stabdymo duomenys esant sausai kelio dangai ir žieminėmis padangomis	45
2.4.3. Stabdymo duomenys esant drėgnai kelio dangai ir vasarinėmis padangomis	47
2.4.4. Stabdymo duomenys esant sausai kelio dangai ir vasarinėmis padangomis	49
2.5. Lėtėjimo pagreičio rezultatai	50
2.6. Tyrimo apibendrinimas	56
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	58
LITERATŪRA	60
PRIEDAI	63

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Metodologinė lentelė	13 p.
2 lentelė. Diskinių ir būgninių stabdžių palyginimas	21 p.
3 lentelė Ratų su kelio danga sukibimo koeficientai	25 p.
4 lentelė Vidutinės lengvųjų automobilių stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės	26 p.
5 lentelė. Teorinis stabdymo kelias apsnigta danga	44 p.
6 lentelė. Teorinis stabdymo kelias esant sausai kelio dangai	46 p.
7 lentelė Teorinis stabdymo kelias esant sausai kelio dangai	48 p.
8 lentelė Stabdymo bandymai ant sausos dangos naudojant vasarines padangas ir ABS	49 p.

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Stabdymo procesas	17 p.
2 pav. Būgninių stabdžių ir juos veikiančių jėgų schemas	19 p.
3 pav. Diskiniai stabdžiai	20 p.
4 pav. Stabdymo pagreičio reikšmė	23 p.
5 pav. Kelio ir jo dangos konstrukcija	24 p.
6 pav. Asfaltbetonio dangos defektai	27 p.
7 pav. Padangos pagal protektorių ir jo elementus	31 p.
8 pav. Ratų su kelio paviršiumi sukibimo koeficiento μ priklausomybė nuo santykinio slydimo koeficiento	31 p.
9 pav. Optimalus padangos ir kelio kontakto ploto modelis	32 p.
10 pav. Padangos protektoriaus deformavimo atvejai	33 p.
11 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas automobilis VW Transporter T5	35 p.
12 pav. VW Transporter T5 žieminės padangos	36 p.
13 pav. VW Transporter T5 vasarinės padangos	36 p.
14 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas automobilis VW T5 Caravelle	37 p.
15 pav. VW T5 Caravelle žieminės padangos	38 p.
16 pav. VW T5 Caravelle vasarinės padangos	38 p.
17 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas automobilis VW TRANSPORTER T6	39 p.
18 pav. VW TRANSPORTER T6 žieminės padangos	40 p.
19 pav. VW TRANSPORTER T6 vasarinės padangos	40 p.
20 pav. Stabdymo kelias apsnigtu asfaltu su ABS ir žieminėmis padangomis	43 p.
21 pav. Bendras automobilių stabdymo kelias esant apsnigtai kelio dangai su ABS	44 p.
22 pav. Stabdymo kelias sausu asfaltu su ir be ABS žieminėmis padangomis	45 p.
23 pav. Bendras automobilių stabdymo kelias esant sausai kelio dangai žieminėmis padangomis	46 p.
24 pav. Stabdymo kelias drėgnu asfaltu su ir be ABS vasarinėmis padangomis	47 p.
25 pav. Bendras automobilių stabdymo kelias esant sausai kelio dangai žieminėmis padangomis	48 p.
26 pav. Stabdymo bandymai sausu asfaltu be ABS ir vasarinėmis padangomis	49 p.
27 pav. Bandymai esant sausu asfaltu su ABS a) vasarinėmis padangomis, b) žieminėmis padangomis	50 p.
28 pav. T6 stabdymo pagreitis ir laikas, esant 80 km/h pradiniam greičiui, apsnigta danga, sausas asfaltas, drėgnas asfaltas	51 p.
29 pav. Automobilio T5 Caravelle stabdymo pagreitis ir laikas, drėgna kelio danga su ABS, drėgna kelio danga be ABS	51 p.
30 pav. Automobilio T5 lėtėjimo pagreičio duomenys su vasarinėmis padangomis ant sauso asfalto	52 p.

31 pav. automobilio T5 Caravelle lėtėjimo pagreičio duomenys su vasarinėmis padangomis ant drėgno asfalto	52 p.
32 pav. Automobilio T5 lėtėjimo pagreičio duomenys su žieminėmis padangomis ant sauso asfalto	52 p.
33 pav. Automobilio T6 lėtėjimo pagreičio duomenys su žieminėmis padangomis ant sauso asfalto	53 p.
34 pav. Automobilio T6 lėtėjimo pagreičio duomenys su vasarinėmis padangomis ant sauso asfalto	54 p.
35 pav. Automobilių lėtėjimo pagreičių skirtumai esant apsnigtai kelio dangai	54 p.
36 pav. Automobilio T5 lėtėjimo pagrečiai skirtingomis dangomis ir greičiais	55 p.
37 pav. Automobilio T5 Caravelle lėtėjimo pagrečiai skirtingomis dangomis ir greičiais	55 p.
38 pav. Automobilio T6 lėtėjimo pagrečiai skirtingomis dangomis ir greičiais	56 p.

IVADAS

Šiuolaikinėje visuomenėje, kuomet žmogus nebeįsivaizduoja savo gyvenimo paprastos dienos be automobilio, transporto priemonės įgauna vis didesnę svarbą. Remiantis įskaitinių eismo įvykių statistika, Lietuvoje per pastaruosius kelis metus lengvųjų automobilių skaičius ir srautas šiek tiek sumažėjo, tačiau avarijų skaičius išliko nepakitęs, todėl yra būtina juos sumažinti. Vienas iš pagrindinių būdų yra automobilio stabdymas. Ne visada pavyksta sustabdyti automobilį iki susidūrimo su kliūtimi, tačiau eksploatuojant automobilį su tvarkinga stabdžių sistema, naudojimui tinkamomis geromis padangomis padidina šią tikimybę. Dažniausiai eismo įvykiai įvyksta dėl netvarkingos transporto priemonės stabdžių sistemos, padangų nusidėvėjimo, neįvertintų slidžios kelio dangos, nepasirinkto saugaus greičio ir oro sąlygų. Automobilio stabdymas tai yra automobilio lėtėjimas arba priverstinis greičio sumažinimas. Automobilio stabdymui įtaką daro tokie veiksniai kaip greitis, automobilio stabdžių sistema, kelio danga, oro sąlygos, vairuotojo reakcija, padangų tipas ir kokybė. Ypatingai atsižvelgiant į aukščiau išvardintus veiksnius ir pasirinkus saugų greitį galima išvengti daugelį eismo įvykių.

Daugelis mokslininkų tyrė automobilio stabdymo kelią įvairiais aspektais, daugiausiai vertindami automobilio greitį, kelio dangą, stabdymą su ABS bei be jos (Zheng T., Wang L., Ma F. (2010), Bokare P. S., Maurya A. K. (2016), Sokolovskij E. (2005), Kudarauskas N. (2007), Wu D., Li J., Shu X., Zha X., Xu B. (2010)). Taip pat Schön C. G., Angelo C. M., Machado F. A. C. (2014), Levulytė L. (2014), Ružinskas A. (2017) tyrė kaip padangos tipas ir kokybė daro įtaką stabdymui, aiškinosi koks yra ir kokią įtaką turi padangos kontaktas su keliu skirtingais greičiais. Kudarauskas N. (2009) analizavo stabdomo automobilio stabilumą. Li B., Du H., Li W. (2014) lygino kaip keičiasi lėtėjimo pagreitis ir jėga esant skirtingiems kelio dangos sukibimo koeficientams.

Problema. Remiantis Lietuvos kelių policijos tarnybos pastarųjų metų avaringumo statistika, įvyko beveik keturi tūkstančiai avarijų, kuriuose įvyko 591 eismo įvykis dalyvaujant nepilnamečiams. Lengvuosius mikroautobusus dažniausiai naudoja rajono mokyklos, todėl būtina užtikrinti, kad kuo mažiau vaikų būtų sužeista ir automobilio stabdymas yra vienas iš pagrindinių veiksnių tai sumažinti.

Aktualumas. Daugelis tiek Lietuvos, tiek užsienio autorių atliko tyrimus naudojant lengvuosius automobilius, tačiau pasigendama informacijos apie lengvųjų mikroautobusų stabdymo kelio ilgio tyrimą. Atliekant tyrimą norima išsiaiškinti, kas ir kokie veiksniai daro didžiausią įtaką

automobilio stabdymo kelio ilgiui, taip pat tyrime išsiaiškinama kokia yra stabdymo kelio priklausomybė nuo laiko.

Darbo tikslas: atlikti automobilio stabdymo kelio tyrimą.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti stabdymo kelio teorinę analizę.
2. Atlikti automobilių stabdžių sistemų analizę.
3. Eksperimentiškai ištirti kelio dangos ir tipo ir oro sąlygų įtaką stabdymo kelio ilgiui.
4. Eksperimentiškai ištirti padangų tipo įtaką stabdymo kelio ilgiui.
5. Atlikti eksperimentinių tyrimų analizę.

Tyrimo metodai: teoriniai (analizė, lyginimas, apibendrinimas), eksperimentiniai (bandymai, lyginimas, apibendrinimas).

Konferencijose skaityti pranešimai:

Pranešimas tema „*Lengvųjų mikroautobusų stabdymo kelio ilgio tyrimas*“ studentų mokslinėje konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2018“. Panevėžys. Kauno Technologijos Universitetas, 2018 m. gegužės 4 d.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Siekiant tikslingai įvertinti nagrinėjamą temą, buvo pasirinkta apžvelgti mokslinius straipsnius, kurie būtų susiję su automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimo tema. Dėl detalesnio požiūrio į nagrinėjamą temą, buvo pasirinkta apžvelgti tiek lietuviškus, tiek užsienietiškus straipsnius. Susisteminta metodologijos lentelė 1 lentelėje

1 lentelė

Metodologinė lentelė

Autorius	Pavadinimas (metai)	Tyrimo tikslas	Tyrimo duomenys, rezultatai	Rodikliai, kurie yra vertinami
Ružinskas A.	Padangos protektoriaus elementų sąveikos su ledu modeliavimas ir tyrimas (2017)	Ištirti kaip padanga veikia su ledu, Kaip priklauso kontakto ilgis ir plotis esant skirtingoms vertikalioms apkrovoms	Atliktas padangų protektoriaus elementų sąveikos su ledu danga modeliavimas ir tyrimas parodė, kad minkšto gumos mišinio protektoriaus elementas pasižymi didesnėmis deformacijomis, kontakto slėgio ir liestinių įtempių reikšmėmis lyginant su kietu mišiniu. Taip pat nustatyta, kad protektoriaus elementas su lamelėmis pasižymi didesnėmis kontakto slėgio ir liestinių įtempių reikšmėmis lyginant su vientisu elementu. Didesnis šių dydžių skirtumas pastebimas esant didesnėms apkrovoms, kai elementai labiau deformuojami.	Nagrinėjamas padangos protektoriaus elementų sąveikos modelis
Wu D., Li J., Shu X., Zha X., Xu B.	Test Analysis and Theoretical Calculation on Braking Distance of Automobile with ABS (2010)	Atlikti eksperimentiniai ir teorinius stabdymo kelio skaičiavimus automobiliams su ABS sistema	Šiame darbe buvo atlikti teoriniai stabdymo charakteristikų skaičiavimų metodai. Buvo nustatyta, jog ABS neveiks, jei transporto priemonės greitis bus per mažas. Pateiktas teorinis stabdymo atstumo apskaičiavimas su ABS sistema. Teoriniai skaičiavimai parodė, jog stabdymo efektyvumas yra didžiausias, kai pradinis greitis taip pat yra didžiausias.	Teorinis stabdymo kelias naudojant ABS sistemą, kai pradiniai greičiai 100 km/h ir 130 km/h, sausu ir drėgnu asfaltu.
Zheng T., Wang L., Ma F.	Research on road identification method in Anti-lock Braking System (2010)	Atlikti tyrimą ir palyginti kaip skiriasi teorinis ir eksperimentinis trinties koeficientas taip pat kaip greitai ABS reaguoja į kelią	Tyrimas parodė, kaip kintant greičiui ABS greitai identifikuoja kelio nelygumus ir pasikeitusį trinties koeficientą tarp rato ir kelio dangos.	ABS kontrolės metodas, taip pat pasiūlomas metodas atsižvelgiant į besikeičiančią kelio dangą.
Kudarauskas N.	Analysis of emergency braking of a vehicle (2007)	Atlikti eksperimentini ekstremalų stabdymo kelio tyrimą	Šiame tyrime analizuojama automobilių stabdymo kelias, pateikti teoriniai jo skaičiavimai, aptarta kokią reikšmę stabdymui turi užsiblokavę ratai, Pagrindiniai veiksniai veikiančys stabdymo kelią aprašyti straipsnyje. Apžvelgti pagrindiniai stabdymo procesai, kurie veikia stabdymą. Lyginamas lėtėjimo pagreitis esant skirtingiems sukibimams tarp rato ir kelio dangos.	Teorinis stabdymo kelias, lėtėjimo pagreitis, stabdymo jėgos blokuojant retus.
Sokolovskij E.	Experimental investigation of the braking process of automobiles (2005)	Ištirti kokie yra stabdymo procesai	Aprašyti kaip skiriasi stabdymo kelio bandymai tarp automobilių su ir be ABS sistemos, kaip stabdymo pagreitis didėja naudojant ABS ir atvirkščiai mažėja bandymus atliekant su automobiliais, kurie neturi ABS sistemos. Taip pat lyginamos lėtėjimo reikšmės tarp skirtingų automobilių.	Eksperimentinis stabdymo kelias

1 lentelės tęsinys kitame puslapyje

Levulytė L.	Automobilio padangos ir kelio dangos sąveikos įtaka automobilio lėtėjimo parametrų (2014)	Atliekama padangos ir kelio sąveikos lėtėjimo režime analizė	Nustatyti padangos stabdymo (slydimo) pėdsakų formavimosi ant kelio dangos bruožai. Pagal atliktą tyrimą galima nustatyti trajektoriją ir judėjimą. Tyrime nustatomas važiavimo greitis pagal paliktą padangos pėdsaką. Pateikiama rato su kelio paviršiumi sukibimo koeficiento priklausomybė nuo slydimo.	Automobilio judėjimas lėtėjimo režimu, padangos pėdsakas
Kudarauskas N.	Influence of the construction of car brakes on its stability during braking (2009)	Išanalizuoti stabdomo automobilio stabilumą	Tyrimo metu nustatyta, jog stabdant automobilį jo stabilumas mažėja. Didžiausi veiksniai lemiantys stabilumą stabdant yra vairuotojo veiksmai ir stabdžių sistemos patikimumas. Pateikti skirtumai tarp blokuotų priekinių arba galinių ratų, taip pat tarp ABS įtakos.	Teoriniai skaičiavimai kai stabdant automobilio stabilumas mažėja. Stabdymo jėgų paskirstymas
Choa J. R., Choi J. H., Yoo W. S., Kimb G. J., Woob J. S.	Estimation of dry road braking distance considering frictional energy of patterned tires (2006)	Nustatyti stabdymo kelių esant sausu asfaltu skirtingomis padangomis	Naudojamas skaitinis analitinis metodas nustatyti sausu keliu stabdymo kelių, taip pat kaip keičiasi padangos lėtimosi kontakto plotas esant skirtingiems greičiams. Buvo atlikta analizė dinaminio riedėjimo pasipriešinimui.	Stabdymo teoriniai skaičiavimai, padangos kontakto plotas esant skirtingiems greičiams
Schön C. G., Angelo C. M., Machado F. A. C.	The role of tire size over the fatigue damage accumulation in vehicle bodies (2014)	Nustatyti padangos deformacijas esant skirtingoms vertikaloms apkrovoms	Aprašyti rezultatai kaip padangos matmenys, rato dydis reaguoja į vertikalias apkrovas naudojantis Rainflow metodą. Tyrimas parodė, kad naudojant per dideles padangas, jos nebeatlaiko linijinių apkrovų. Taip pat aprašytos pagrindinės padangos konstrukcijos ir žymėjimai.	Kaip reaguoja skirtingu dydžių padangos apkraunant jas tam tikra jėga
Li B., Du H., Li. W.	Comparative study of vehicle tyre-road friction coefficient estimation with a novel cost-effective method (2014)	Palyginti kelio dangos koeficiento reikšmes naudojant skirtingus metodus	Nustatyti bandytų metodų kelio dangos sukibimo koeficientui privalumai ir trūkumai. Palyginami gauti rezultatai su tikrosiomis reikšmėmis.	Automobilio dinaminis modelis, trinties koeficientai, lėtėjimo pagreitis ir jėga.
Bokare P. S., Maurya A. K.	acceleration-Deceleration behaviour of Various Vehicle types (2016)	Nustatyti kaip keičiasi greitėjimas - lėtėjimas skirtingų tipų ir svorio transporto priemonėms	Aprašomi pagrindiniai veiksniai lemiantys transporto priemonės greitėjimą ir lėtėjimą. Nustatomos pagrečio reikšmės skirtingais metodais.	Stabdymo, greitėjimo kelio ilgis, pagrečio reikšmės skirtingais metodais, ir transporto priemonėms

Apžvelgus aukščiau pateiktą metodologijos lentelę, pastebėta, jog nagrinėjamų mokslinių straipsnių autoriai panašiai vertina, kas lemia automobilio stabdymo kelio ilgį bei susijusias temas. Pavyzdžiui, vieni autoriai tyrimo metu akcentuoja, kokį poveikį stabdymo kelio ilgiui turi transporto priemonių padangos – vertina padangų protektoriaus įtaką, padangų stabdymą (slydimą), padangų lėtimosi kontakto plotą skirtingais greičiais, pačių padangų matmenų įtaką. Taip pat metodologijos apžvalgos metu buvo pastebėta, jog autoriai yra nagrinėję automobilio stabdymo kelio ilgį vertinant, ar transporto priemonėje yra ABS sistema bei įvertinant įvairius kriterijus, tokius kaip stabdymo pagreitis, efektyvumas, transporto priemonės stabilumas. Nagrinėtų mokslinių straipsnių autoriai taip pat vertina užsiblokavusių ratų įtaką, pačių vairuotojų veiksmų įtaką, kelio dangos sukibimo įtaką. Apibendrinus visų autorių tyrimo rezultatus galima teigti, jog transporto priemonių stabdymo kelio ilgiui nustatyti gali būti taikomas ne vienas metodas. Atsižvelgiant į tai, jog nagrinėtoje literatūroje nebuvo pastebėta jokie tyrimo, kuris palygintų lengvųjų mikroautobusų, kurie yra panašios masės, stabdymo kelio ilgio tyrimą, taip pat nebuvo

tirta tų pačių automobilių stabdymo kelio ilgis įvertinant stabdymą su ABS sistema ir be jos, tai parodo pasirinkto tyrimo aktualumą.

1.1. Bendrieji stabdžių sistemos konstrukcijos ir jų veikimo reikalavimai

Remiantis teisės akto įsakymu „Dėl Techninių motorinių transporto priemonių ir jų priekabų reikalavimų“ stabdžių sistemos konstrukcija turi būti originali, kuri atitinka numatyta gamintojo instrukcija, taip pat atitinka nustatyta tvarka patvirtinanti tipą. Bet kokie stabdžių sistemos konstrukciniai keitimai turinti įtakos stabdžių sistemos efektyvumui ir jos valdymui, yra laikomi perdirbti ir nebeatitinka gamintojo nustatytos instrukcijos. Transporto priemonę su tokia sistema yra draudžiama eksploatuoti, kol nebus įvertinta stabdžių sistemos kokybė atliekant techninę ekspertizę. Atliekant stabdžių sistemos remontą, detalės ir mechanizmai turi atitikti gamintojo nustatytus nurodymus (Dėl techninių motorinių transporto priemonių ir jų priekabų reikalavimų įsakymas, 2018).

1.1.1. Bendrieji stabdžių sistemos veikimo reikalavimai

Darbiniai stabdžiai turi būti tvarkingi ir suteikti vairuotojui galimybę valdyti automobilio judėjimą ir saugiai, greitai bei efektyviai leisti sustoti bet kokioje situacijoje, nevertinant koks yra greitis ir nepriklausomai ar automobilis pakrautas ar ne. Transporto priemonės valdytojui turi būti sudarytos sąlygos, kurios leistų valdyti stabdymo jėgą.

Atsarginiai stabdžiai turi suteikti galimybę stabdyti transporto priemonę jei nesuveiktų darbiniai stabdžiai.

Stovėjimo stabdys turi leisti transporto priemonę išlaikyti vietoje nepriklausomai ar ji stovi įkalnėje ar nuokalnėje, taip pat turi užtikrinti transporto priemonės išlaikymą vietoje, net tada kai nėra vairuotojo. Dėl techninių motorinių transporto priemonių ir jų priekabų reikalavimų įsakymas, 2018).

1.2. Automobilio stabdymo procesai

Šiame poskyryje aptariami, kokie yra automobilio stabdymo procesai, kokia yra stabdymo priklausomybė nuo laiko bei nuo kokių veiksnių priklauso stabdymo kelias. Taip pat yra vertinami stabdymo procesai kai yra stabdoma su ABS sistema bei be jos.

1.2.1. Automobilio Stabdymas

Transporto priemonė, esant tam tikram jos greičiui, turi judėjimo energiją E . Ji priklauso nuo transporto priemonės masės m_F ir važiavimo greičio v (Bruhn, Gerigk, 2006);

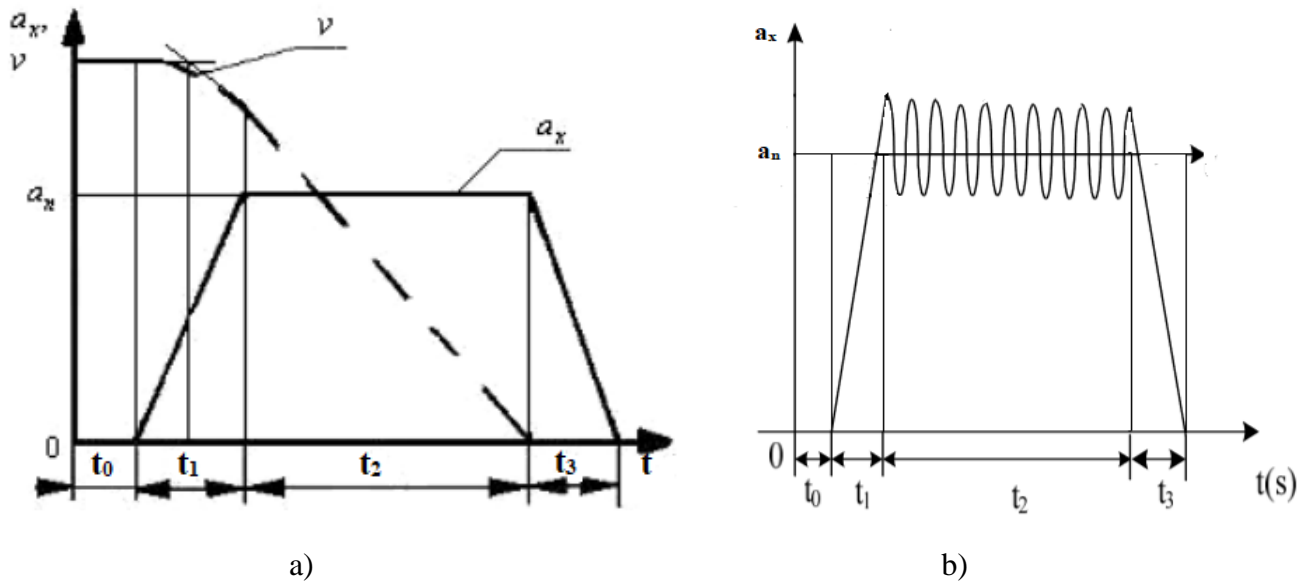
$$E = \frac{1}{2} \cdot m_F \cdot v^2 \quad (1)$$

čia E – judėjimo energija Nm;
 m_F – transporto priemonės masė kg;
 v – važiavimo greitis.

Padvigubinus masę, esant pastoviam važiavimo greičiui, atsiranda dviguba judėjimo energija. Padvigubinus važiavimo greitį, esant tai pačiai masei, judėjimo energija padidėja keturi kartus.

1.2.2. Stabdymo priklausomybė nuo laiko

Bendras stabdymo laikas susideda iš kelių laiko atkarpų. Viena iš atkarpų yra **reakcijos laikas t_0** . Tai yra laikas per kurį vairuotojas pastebi kliūtį. Šis laikas tiesiogiai priklauso nuo vairuotojo reakcijos laiko, kuris dažniausiai priimamas kaip 0,3 – 1,0 s. Esant tokiems faktoriams kaip pervargimas, alkoholio įtaka ir panašiai šį laiką žymiai ilgina. **Stabdymo reagavimo laikas t_1** yra laikas, kurio metu didėja stabdymo jėga kol pasiekia aukščiausią reikšmę. **Nuostovusis lėtėjimas t_2** yra laikas, kurio metu teoriškai lėtėjimo pagreitis išlieka vienodas. **Stabdymo laikas t_3** yra laikas, kurį transporto priemonė nuvažiuoja atleidus stabdžius. Žemiau 1 pav. parodyti stabdymo procesai ir priklausomybės nuo laiko naudojant ir nenaudojant ABS sistemą (Kudarauskas, 2007).



1 pav. Stabdymo procesas: a) su ABS; b) be ABS (Kudarauskas, 2007; Wu, Li, Shu, Zha, Xu, 2011)

Remiantis aukščiau pateiktais grafikais matoma kaip skiriasi stabdymo procesai. Priimant, kad lėtėjimas didėja nuo nulio iki a_n laiko intervalu $0,5t_1$, S_{st} randamas pagal kreivę $v = f(t)$, kai v_0 yra pradinis automobilio greitis. Pagal šiuos aspektus aprašoma žemiau stabdymo formulė (Kudarauskas, 2009)

$$S_{st} = v_0(t_0 + 0.5t_1) + 0.5v_0(0.5t_1 + t_2) \quad (2)$$

Pagrindiniai stabdymo kelią lemiantys veiksniai: (Bruhn, Gerigk, 2006):

- Automobilių važiuojamosios kelio dangos ir padangų savybių – sausa ir šiurkšti kelio dalis pagerina sukibimą tarp padangos ir kelio, o stabdymo kelias tampa daug trumpesnis nei ant drėgno arba apsnigusio slidaus kelio;
- Trinties tarp stabdžių trinkelėlių ir stabdžių diskų ar būgnų koeficiento – jei trinties koeficientas sumažinamas (pavyzdžiui, nevienodai nudilus stabdžių trinkelėms), automatiškai galima perduoti tik žymiai mažesnes stabdymo jėgas ir stabdymo kelias pailgėja;
- Stabdžių fedingo (stabdžių silpnėjimas) – stabdžių efektyvumas mažėja dėl stabdžių diskų ar būgnų šiluminio išsiplėtimo.

1.3. Stabdžių sistema

Stabdžių sistema pagrindinė paskirtis yra sumažinti arba visiškai sustabdyti važiuojančią transporto priemonę. Nuo stabdžių ir stabdymo efektyvumo priklauso pagrindinės automobilių judėjimo savybės ir stabdymo rezultatas. Kuo stabdymo efektyvumas geresnis, tuo yra lengviau stabdyti automobilį ir automobilis gali važinėti didesniu greičiu.

Stabdžių sistemai keliami ypač dideli reikalavimai, kadangi ji yra svarbiausia aktyvi automobilio saugos priemonė. Reikalavimai stabdžių sistemai yra reglamentuojami tarptautiniais standartais (Dėl techninių motorinių transporto priemonių ir jų priekabų reikalavimų įsakymas, 2018).

Stabdant transporto priemonę turi būti užtikrinamas kuo trumpesnis stabdymo kelias arba didžiausias stabdymo lėtėjimas. Taip pat stabdymo metu automobilis turi neprarasti savo dinaminį savybių ir būti stabilus. Stabdymo savybės turi išlikti geros ir neblogėti ilgai naudojant sistemą. Laikas nuo pedalo paspaudimo pradžios iki kol jėga pasiekia aukščiausią reikšmę turi būti kuo mažesnis. Taip pat pedalo spaudimo jėga turi būti sąlyginai nedidelė tiesiogiai proporcinga stabdymo momentui. Visi sistemos elementai turi būti patikimi ir visada paruošti eksploatacijai.

Lengvojo automobilio stabdžių sistema turi turėti stovėjimo ir darbinį stabdžius. Lengvojo automobilio stabdžiai klasifikuojami pagal (Bruhn, Gerigk, 2006)

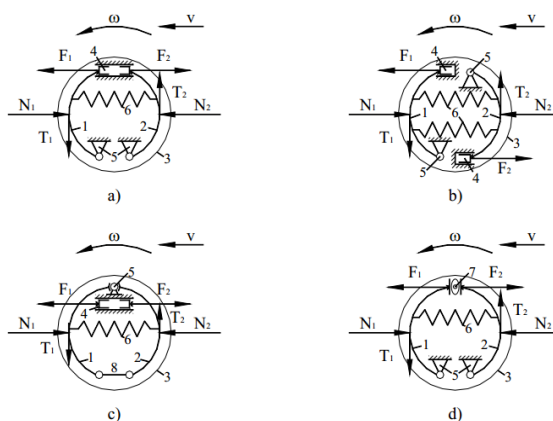
- paskirtį (darbo, stovėjimo);
- stabdymo būdus (mechaninius (frikcinius), hidraulinius);
- stabdžių mechanizmo tipą (būgninius ir diskinius);
- stabdžių pavaros tipą (hidrauline, mechanine).

Darbiniai stabdžiai yra skirtai judančiai transporto priemonei stabdyti norimu intensyvumu. Galima sakyti visais atvejais šie stabdžiai valdomi pedalais. Tuo tarpu, stovėjimo stabdys skirtas išlaikyti vietoje nejudamai stovintį automobilį, kad neriedėtų. Dažniausiai valdomas rankine svirtimi, yra ir kojų pedalu, naujuose automobiliuose valdomas elektros pagalba. Stovėjimo stabdys turi laikyti vietoje automobilį nepriklausomai ar automobilis pakrautas ar ne. Lengviesiems automobiliams šis stabdys taip pat gali būti naudojamas kaip atsarginis stabdys jei nesuveiktu darbo stabdys. Šis stabdys dažniausiai būna sujungtas su užpakalinių ratų darbo stabdžių mechanizmu. Hidraulinėje pavaroje spaudžiant pedalus veikianti jėga perduodama stabdžių mechanizmams skysčiu. Pagalbiniai stabdžiai naudojami stabdyti automobilį, kuris ilgą laiką važiuoja nuokalne.

1.3.1. Stabdžių mechanizmai

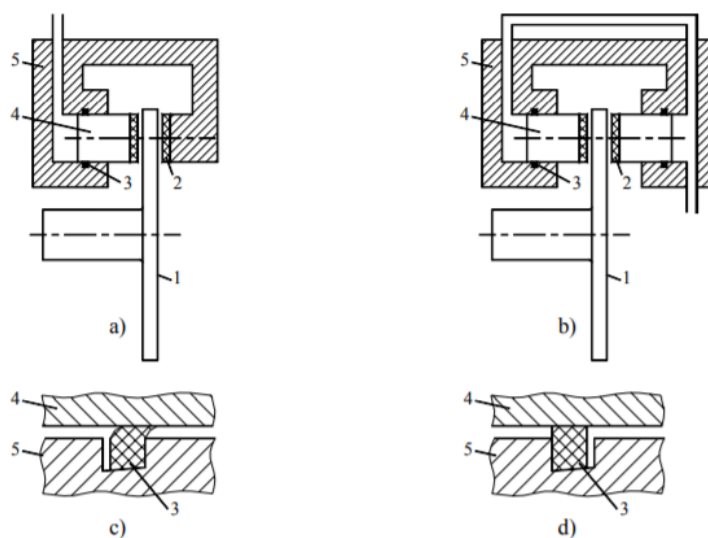
Dažniausiai lengvuosiuose automobiliuose naudojami frikciniai stabdžių mechanizmai. Dabar visuose lengvuosiuose automobiliuose naudojami diskiniai stabdžiai abiejose ašyse. Stabdžių mechanizmai vertinami pagal jų stabdymo efektyvumą, stabilumą. Kuo didesnę stabdymo momentą sukuria stabdžio mechanizmas, tuo jis efektyvesnis. Atsvertu vadinamas automobilio stabdžių komponentas, kuriame ratų guolių neveikia trinties jėgos. Stabilumu vadinama automobilio stabdžio savybė, kuri esant galimybei nekeičia stabdymo efektyvumo, kai keičiasi trinties koeficientas (Buteliauskas, 2008).

2 pav. pateiktas būgninio stabdžio mechanizmas. Būgnas sujungtas su rato stebule ir sukasi kartu su ratu. Būgno viduje lygiagrečiai šonuose yra prie tilto korpuso šarnyrų pagalba pritvirtintos stabdžių trinkelės 1 ir 2 su frikciniais antdėklais. Spyruoklės (pažymėtos skaičiumi 6) veikiamos, trinkelės remiasi į cilindro (pažymėtu skaičiumi 4) stūmoklius ar kumštelį (pažymėtų skaičiumi 7). Spaudžiant stabdžio pedalą, slegiamas skystis į cilindrą (pažymėtu skaičiumi 4), arba pasukamas kumštelis (pažymėtas skaičiumi 7), arba tarp trinkelėlių vietoje kumštelio įstumiamas kūgis. Atsiradusios jėgos F_1 ir F_2 išskeičia trinkelės ir prispaudžia jas prie besisukančio būgno. Trinties jėgos dešiniąją trinkelę stumia nuo būgno (mažina N_2 ir T_2), o kairiąją spaudžia prie jo (didina N_1 ir T_1). Todėl dešinioji trinkelė vadinama pasyviaja, o kairioji – aktyviaja, arba kitaip vadinama pirmine ir antrine. Aktyvioji trinkelė išvysto apie du kartus didesnę stabdymo momentą palyginus su pasyviaja. Todėl ji dažniausiai greičiau susidėvi. Norint, kad stabdžių trinkelėlių dėvėjimasis būtų kuo vienodesnis, reikia, kad jų veikiamas slėgis į būgną būtų kuo panašesnis. Tai galima pasiekti sumažinant pasyviosios trinkelės ilgį. Būtų galima naudoti skirtingo dydžio ratų stabdžių cilindrus, kuomet didesnę pasyviajai trinkelei o mažesnę – aktyviajai. Tačiau konstrukcija taptų per daug sudėtinga (Ružinskas, 2018).



2 pav. Būgninių stabdžių ir juos veikiančių jėgų schemas: a ir d – trinkelės įtaisytos atskirose atramos; b – dviejų cilindrų, trinkelėlių atramos įtaisytos priešingose pusėse; c – trinkelės įtaisytos vienoje atramoje (Ružinskas, 2018)

3 pav. pateiktas diskinio stabdžio mechanizmas. Diskiniuose stabdžių mechanizmuose stabdžių diskas (pažymėtas skaičiumi 1) pritvirtinamas prie rato stebulės ir atvirkščiai kaip būgniniuose, stabdžių trinkelės (pažymėtos skaičiumi 2) yra pritvirtinamos disko išorėje abiejose pusėse, valdomos stūmokliais (pažymėtais skaičiais 4). Stūmokliai slankioja cilindruose pirmyn ir atgal (pažymėta skaičiumi 5). Stabdant trinkelės iš abiejų pusių suspaudžia besisukantį diską, taip trinties pagalba jis lėtėja. Stabdymo metu kai slenka stūmokliai, vyksta guminių sandarinimo žiedų deformacija (pažymėta skaičiumi 3). Atleidus stabdžio pedalą, skystis nebeslegia stūmoklių ir jie veikiami deformuotų sandarinimo žiedų (pažymėta skaičiumi 3), grįžta į pradinę padėtį. Diskas (pažymėtas skaičiumi 1) beveik visada turi mušimą ašine kryptimi taip atstumdamas trinkeles (pažymėta skaičiumi 2) į pradinę padėtį. Dylant trinkelėlių frikciniams antdėklams, stūmokliai (pažymėti skaičiumi 4) slenkasi vis arčiau disko. Trinkelės kai kada vos liečia besisukantį diską, tačiau dėl tokio nežymaus lietimosi diskas labai nekaista ir trinkelėlių darbo amžius netrumpėja. Diskiniai stabdymo mechanizmai yra neatsverti (trinties jėgos veikia į disko atramas), nelabai efektyvūs, bet labai stabilūs (Giedra, 2006).



3 pav. Diskiniai stabdžiai: a – su slankiuoju laikikliu; b – su standžiai įtaisytu laikikliu; c – stabdant; d – atleidus stabdį (Ružinkas, 2018)

Būgninių stabdžių efektyvumas, atsirandant didesnei temperatūrai stabdymo metu, smarkiai sumažėja. Stabdžių efektyvumo sumažėjimas, kuris atsiranda tada, kai keičiasi stabdžio būgno forma, o ji keičiasi dėl temperatūrinio išsiplėtimo ir įtempimo jėgos. Stabdžių būgnas tuo metu įgauna kūgio formą, dėl to frikciniai antdėklai nebegali vienodai visame stabdžių būgno apskritime priglusti. Kadangi, sumažėja efektyvus stabdžių paviršius taip pat ir mažėja stabdžių efektyvumas.

Kai didėjant temperatūrai tarp besitrinančiųjų stabdžių būgno ir antdėklų paviršių sumažėja trinties koeficientas, kuris stabdymo procese yra būtinas.

Lyginant Diskinius stabdžius šis trūkumas yra dalinai išlyginamas tuo, esant temperatūriniam išsiplėtimui plečiasi pats diskas. Dėl šio temperatūrinio išsiplėtimo padidėja prispaudimo jėga tarp disko ir trinkelį frikcinio antdėklo. Taip diskinių stabdžių mechanizme iš pradžių stabdžių efektyvumas nežymiai didėja, kol ilgiau atliekant stabdymą ima mažėti trinties koeficientas ir stabdžių efektyvumas taip pat mažėja. Diskinių stabdžių sistemos pagrindinis trūkumas yra tas, kad juose reikalingos didelės įtempimo jėgos. Žemiau 2 lentelėje pateiktas diskinių ir būgninių stabdžių palyginimas (Bruhn, Gerigk, 2006).

2 lentelė

Diskinių ir būgninių stabdžių palyginimas (Bruhn, Gerigk, 2006)

	Būgniniai stabdžiai	Diskiniai stabdžiai
Slėgis stabdžių magistralėje ρ	25 iki 50 bar	50 iki 80 bar
Įtempimo jėga F_{Sp}	Maža	Maža
Antdėklų paviršių slėgis P_{FL}	Mažas 120 iki 150 N/cm ²	Didelis 600 iki 800 N/cm ²
Stabdžių cilindro skersmuo d	Mažas	Didelis
Stabdžių fedingas	Didelis	Nežymus
Tarpelis nustatomas	0,3 iki 0,5 mm grąžinančia spyruokle	0,15 mm sandarinimo žiedu
Tarpelio reguliavimas	Rankinis ir automatinis	Automatinis
Trinties koeficiento μ svyravimo poreikis	Sudėtingas	Paprastas

Įvertinius tiek būgninius, tiek diskinius stabdžius yra pastebimi skirtumai. Tačiau dėl paprastesnės konstrukcijos ir eksploataavimo savybių, dažniausiai lengviesiems automobiliams renkamosi diskines stabdžių sistemas.

1.3.2. Stabdžių antiblokavimo sistema

Antiblokavimo sistema (ABS), t. y. neleidžianti blokuoti ratų sistema, reikalinga tam, kad stabdymo metu ratai nebūtų blokuojami, pavyzdžiui, stabdymo jėgų pasiskirstymas tarp ratų pagal jų sukibimo sąlygas su kelio danga (Ma, Zheng, Wang, 2011).

Stipriai automobilį stabdant kelyje, gali būti užblokuoti vienas ar kai kurie transporto priemonės ratai. ABS neleidžia tam įvykti ir žemiau išvardinti pagrindiniai jos privalumai :

- Transporto priemonė išlieka valdoma, nors stabdymo ir šoninės jėgos padidėja;
- Užtikrinamas pats trumpiausias stabdymo kelias taip pat mažinamas padangų susidėvėjimas.

Yra keturi pagrindiniai ABS sistemos komponentai [20]:

1. Greičio jutikliai. Dažniausiai jie yra sumontuoti ant kiekvieno rato. Jų dėka, ABS „žino“, kada reikia blokuoti ratą.
2. Vožtuvai. Jie išlaisvina stabdžių spaudimą.
3. Siurblys. Tą patį spaudimą sugrąžina atgal.
4. Regulatorius. Tai automobilio kompiuteris, kuris stebi greičio jutiklius ir kontroliuoja vožtuvus.

Regulatoriaus pagalba yra nuolat stebimi greičio jutikliai ir ratų lėtėjimas. Prieš ratui užsiblokuojant bus staigus lėtėjimas. Automobilį sustabdyti, kuris važiuoja idealiomis kelio sąlygomis maždaug 100 km/h greičiu, reiktų 5 sekundžių nenaudojant ABS sistemos, o su ABS automobilį galima būtų sustabdyti kur kas greičiau.

ABS regulatorius atitinkamai sumažina stabdžių slėgį tol, kol jis mato pagreitį, o tada padidina slėgį tol, kol bus vėl reikalingas lėtėjimas. Aprašyti veiksmai vyksta labai greitai, dar prieš ratams pakeičiant savo greitį. To rezultatas yra tas, kad automobilio ratai lėtėja taip pat kaip ir pats automobilis. Stabdžiai ratus išlaiko labai arti ratų užsiblokavimo momento. Taip yra sutelkiamas maksimalus lėtėjimas ir stabdymo jėga.

Kai ABS sistema veikia, yra jaučiamas stabdžių pedalo pulsavimas. Jis perduodamas iš greitojo atsidadymo ir užsidadymo vožtuvų. Kai kurios ABS sistemos gali suveikti iki 15 kartų per sekundę. Stabdžių antiblokavimo sistemoms naudojamos skirtingos schemos, kurios priklauso nuo stabdomo automobilio paskirties. Yra 3 rūšių sistemos: vieno kanalo ir vieno jutiklio, trijų kanalų ir trijų jutiklių, ir efektyviausia keturių kanalų ir keturių jutiklių, kadangi jutikliai yra ant visų keturių ratų, taip pat ant visų keturių yra atskiri vožtuvai. Šių jutiklių ir vožtuvu pagalba kiekvienas ratas yra kontroliuojamas atskirai, taip užtikrinant didžiausią stabdymo jėgą (Ma, Zheng, Wang, 2011).

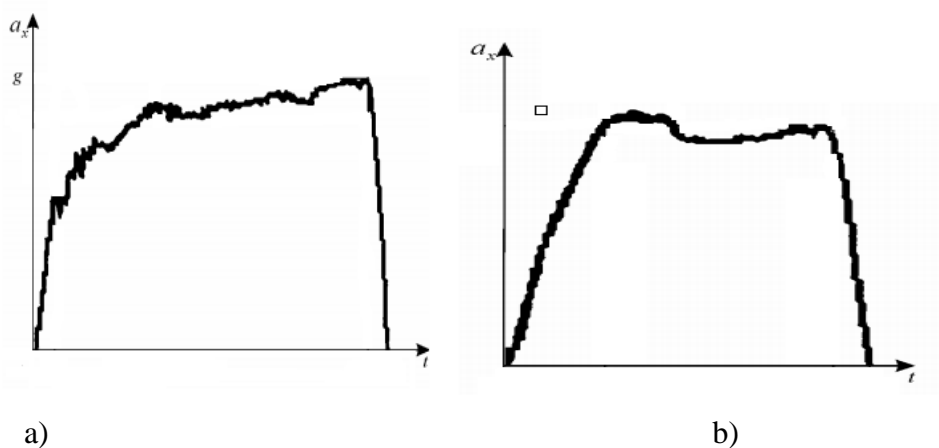
ABS keliami reikalavimai:

- ABS turi veikti esant labai mažam greičiui;
- ABS turi reaguoti į kelio sukibimo sąlygas;
- Turi būti garantuojama valdymo galimybė posūkiuose;
- ABS turi atpažinti akvaplaniravimą, t. y. vandens pleišto susidarymą ir į jį reaguoti;
- Turi išlikti galimybė stabdyti varikliu.

Jei atpažįstama klaida, daranti įtaką ABS funkcijai, pagrindinis stabdymo įrenginys turi nekliudomas dirbti toliau. Kontrolinė lemputė turi aiškiai perspėti apie ABS gedimą (A. Kudarauskas 2007).

1.3.3. Stabdymo skirtumai naudojant ir nenaudojant antiblokavimo sistemą

Automobiliuose be stabdžių antiblokavimo sistemos, stabdymo pagreitis mažėja esant didesniams pradiniam greičiui, o stabdant automobilį su ABS sistema stabdymo pagreitis didėja esant didesniams pradiniam greičiui. Iš transporto priemonių teorijos žinoma, jog lėtėjant geros techninės būklės transporto priemonei be ABS, lėtėjimo pagreičio reikšmė aukščiausia reikšmę pasiekia pačioje pradžioje stabdymo procese ir po to pradeda reikšmė mažėti (Wu, Li, Shu, Zha, Xu, 2011). Tai vyksta dėl to, kad aukščiausia stabdymo pagreičio reikšmė pasiekama prieš pat ratams užsiblokuojant. Kai ratai užsiblokuoja sukibimas tarp kelio ir ratų mažėja, dėl to mažėja ir stabdymo pagreitis. (Kudarauskas 2009; Sokolovskij 2005) 4 pav. pateiktos stabdymo pagreičio kreivės.



4 pav. Stabdymo pagreičio reikšmė a) su ABS, b) be ABS (Sokolovskij, 2005)

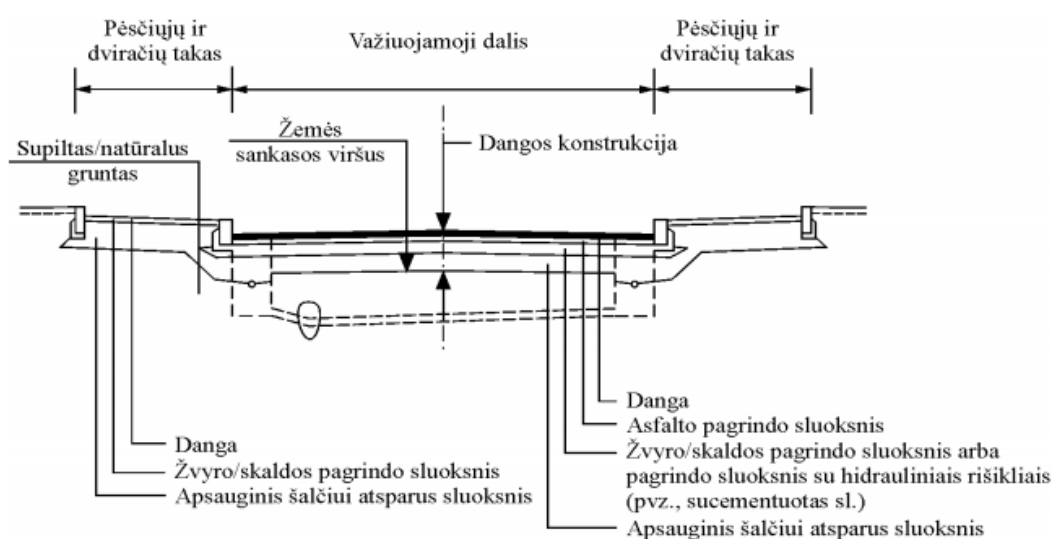
Stabdant su stabdžių antiblokavimo sistema matoma, kad aukščiausia reikšmė išlaikoma ilgiau, ypatingai tai pasimato kai yra didesnis pradinis greitis, o stabdant be ABS esant didesniems greičiams aukščiausia lėtėjimo pagreičio reikšmė yra trumpesnė laiko atžvilgiu. Tai paaiškina, kodėl lėtėjimo pagreičio reikšmė mažėja didinat greitį.

1.4. Kelio danga

Pagrindinė automobilių kelių paskirtis – Užtikrinti saugų ir optimalų transporto priemonių eismą, vežant krovinius ar keleivius (Pektevičius, 2005). Automobilių kelių danga turi būti lygi, o jų konstrukcija stipri. Šias savybes keliai turi išsaugoti numatytą laikotarpį. Atsiradus defektams kelio dangoje labai sumažėja transporto priemonių stabilumas, taip pat saugumas, taip pat netvarkant kelio dangos atsiranda skirtinga trintis tarp ratų.

1.4.1. Kelio dangos konstrukcija.

Kelio konstrukcija tai yra statinys, kuris yra sudarytas iš kelių dalių – žemės sankasos, pagrindo ir dangos. Išskiriamos dvi pagrindinės šio statinio dalys – dangos konstrukcija, kuri yra pagrindo sluoksnis, danga ir žemės sankasa, kuri yra grunto statinys, kuris atlieka kelio dangos konstrukcijos pagrindo funkcijas, kuris gali būti įrengtas iš papildomai atgabento grunto arba neišjudinto esančio šalia natūraliojo grunto. Žemiau 5 pav. parodyta kelio ir jo dangos konstrukcija (Dėl automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklių KPT SDK 07 patvirtinimo, 2014).



5 pav. Kelio ir jo dangos konstrukcija [17]

Kelio dangos paviršius gali turėti skirtingose vietose skirtingus profilio aukščius. Tai vyksta esant įvairioms klimato sąlygoms, skirtingose kelio dangos paviršiaus vietose, gali būti skirtingi kelio dangos ir transporto priemonės ratų sukibimo koeficientai (vanduo, sniegas, ledas, gruntas, sausas asfaltas ir tt.), taip pat dėl kelio dangos skirtingo nusidėvėjimo (duobės, įtrūkimai ir tt). Žemiau 3 lentelėje pateikti teoriniai ratų su kelio danga sukibimo koeficientai.

Ratų su kelio dangą sukibimo koeficientai [26]

Kelio danga	Koeficientas	
	sausa	šlapia
1. Asfaltas		
- kokybiška danga	0,75-0,85	0,4-0,45
- patenkinama danga	0,7-0,75	0,35-0,4
2. Gruntas		
-kieta danga	0,55-0,6	0,25-0,4
-minkšta danga	0,45-0,55	0,2-0,35
3. Žvyro danga	0,6-0,7	0,3-0,4
4. Smėlis	0,2-0,25	0,25-0,3
5.Sniegas	0,2-0,3 (kietas)	0,35 (palaidas)
6. Apledėjusi	0,1-0,2	0,1- 0,2

Stabdymo metu svarbiausias aspektas yra automobilio lėtėjimo pagreitis, kurio reikšmė priklauso nuo kelio dangos, taip pat lygumo ir būklės, oro sąlygų ir padangos savybių.

Automobilio nuostoviojo stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmė (Giedra, Kirka, 2006).

$$S_{st} = v/3,6(t_s + t_a/2) + v^2/26a_x \quad (3)$$

čia t_s – stabdžių suveikimo laikas s;

t_a – stabdymo lėtėjimo pagreičio augimo laikas s ;

a_x – nuostovusis stabdymo lėtėjimo pagreitis m/s^2 .

Norint įvertinti šį pagreitį reikia žinoti lengvųjų automobilių stabdžių suveikimo laiką t_s ir stabdymo lėtėjimo pagreičio augimo laiką t_a . Pagal Autotechninę ekspertizę naudojami lengviesiems automobiliams šie normatyvai: $t_s = 0.2s$ ir $t_a = 0.4s$. Apskaičiuota pagal šiuos parametrus naudojant 3 formulę nuostoviojo stabdymo lėtėjimo reikšmė yra $a_x = 5.9 m/s^2$ Tačiau šioji reikšmė nėra tiksli ir analiziniu būdu iš esmės yra taikomos ribinės (5,2 - 6) leistinos reikšmės,

kur vairuotojų reakcijos laikas yra suvienodintas ir paimtas vidurkis 0,8s. Žemiau 4 lentelėje matomi teoriniai lėtėjimo pagreičio normatyvai. Teoriškai šie rezultatai gali būti taikomi vidutiniam Lietuvos automobiliui. Todėl skaičiuojant analiziniu būdu lengvojo automobilio stabdymo kelią rekomenduotina naudoti, priklausomai nuo kelio dangos ir jos būklės, lentelėje pateiktas stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės.

4 lentelė

Vidutinės lengvųjų automobilių stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės [2]

Eil. nr.	Kelio danga	Nuostovusis stabdymo lėtėjimo pagreitis m/s²
1.	Betonas: Sausas Drėgnas Šlapias	8,5 6,8 5,5
2	Asfaltas: Sausas Drėgnas Šlapias	7,5 6,0 5,5
3	Šlifuočių akmenų grindinys: Sausas Drėgnas Šlapias	7,0 5,8 5,0
4	Geros būklės nuvažinėtas žvyrkelis	5,5
5	Sausas suspaustas sniegas: Žieminėms padangomis Vasarinėms padangomis	3,5 2,5
6	Sausas ledas: Žieminėms padangomis Vasarinėms padangomis	1,75 1,25

4 lentelėje pateiktos reikšmės realiai atspindi eksploatuojamų lengvųjų automobilių stabdymo savybes. Atitinkančios tikrovę stabdymo lėtėjimo pagreičio normatyvai leidžia sumažinti stabdymo kelio skaičiuotės paklaidą.

Pagrindiniai kelio dangą veikiantys veiksniai:

- kelias: kelio dangos konstrukcija;
- kelio dangos eksploatacinės savybės;
- kelio geometriniai parametrai;
- kelyje atlikti darbai;
- automobilių eismas;
- automobilių srautas;
- aplinka;
- klimatas;

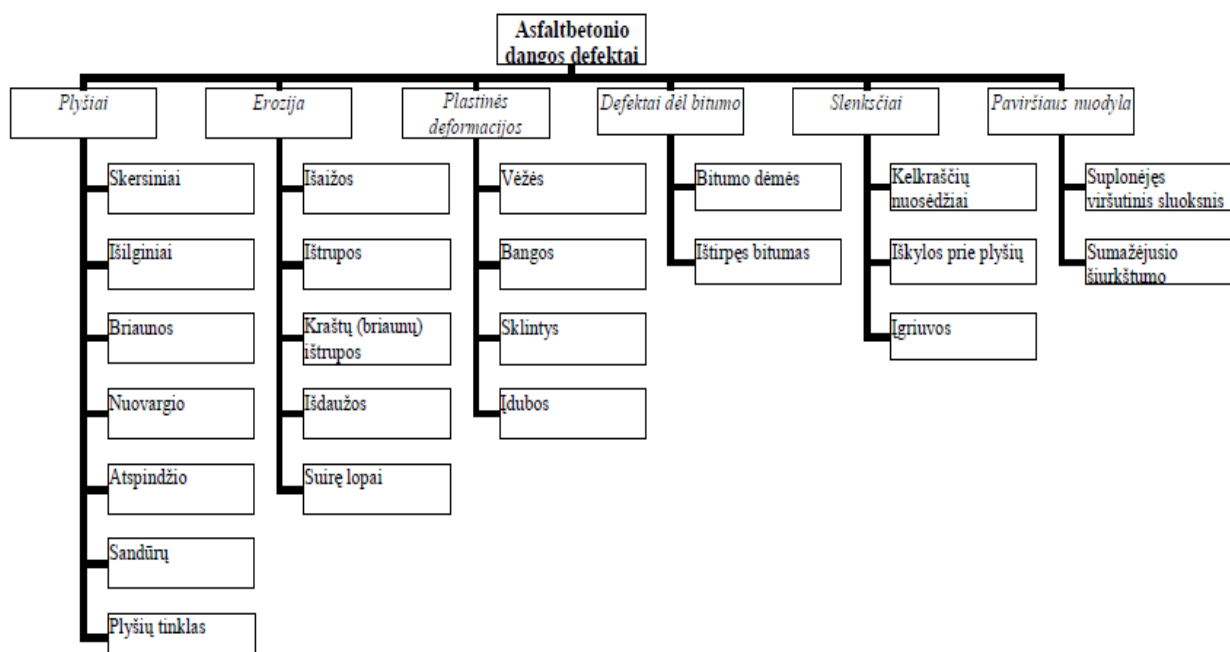
1.4.2. Dangos defektų skirstymas

Dangos irimas atsiranda kai yra nepakankama dangos mišinio kokybė, blogo sukibimo tarp bitumo ir mineralinių medžiagų, taip pat kai yra blogas sukibimas tarp vieno ar kelių dangos sluoksnių ir blogo vandens nubėgimo nuo kelio dangos.

Kai asfaltbetonio mišinio konstrukcinės savybės neatitinka iškeltų eksploatacinių sąlygų reikalavimų atsiranda šlyties liekamosios deformacijos. Šlyties deformacijos taip pat atsiranda dėl asfaltbetonio dangos kelių sluoksnių nepakankamos sankabos. Kai tarpusavio sluoksniai blogai sukibę, vietoj šlyties deformacijų dangoje gali atsirasti ir plyšių.

Esant skirtingoms klimato sąlygoms, kai yra dideli temperatūrų svyravimai ir kelio danga neatitinka mechaninių ir fizinių konstrukcijos reikalavimų atsiranda temperatūriniai plyšiai dangoje. Svarbi ir kelio dangos konstrukcijos pagrindo įtaka. Kai pagrindas standus, temperatūriniai plyšiai dangoje atsiranda dažniau negu tada, kai pagrindas yra nestandus.

Struktūriniai arba vadinami nuovargio plyšiai dažniausiai atsiranda tada, kai dangos konstrukcijos stiprumas neatitinka transporto srauto ir apkrovų. Plyšiai primenantys išaižėjimą, atsiranda kai nepakankamas stiprumas tarp žemės sankasos ir pagrindo. Šie plyšiai atsiranda neiškarto, o palaiptams, tai yra dėl medžiagų susidėvėjimo ir nuovargio, tačiau, esant nepalankioms sąlygoms (pvz. dideliems temperatūrų svyravimams) atsiradę kritiniai įtempiai gali turėti didelę įtaką ir staigų struktūrinių plyšių susidarymą (Dėl automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklių KPT SDK 07 patvirtinimo, 2014).



6 pav. Asfaltbetonio dangos defektai (Petkevičius 2005)

Transporto priemonių kelių važiuojamoji danga turi būti lygi, tačiau šiurkštinta, o Kelio dangos konstrukcija - stipri. Šias savybes keliai turi išsaugoti visą numatytą laikotarpį esant dideliems srautams ir apkrovoms. Kai kelio danga pasiekia kritinį konstrukcinį lygumą, o jos konstrukcija – kritinį stiprį, sumažėja automobilių važiavimo greitis, atsiranda duobių, eismas tampa nesaugus. Dažniausiai keliai yra padaryti iš Asfaltbetonio dangos, kuri pasižymi ilgaamžiškumu geru sukibimo koeficientu ir tarnavimo laikotarpiu. Kelių asfaltbetonio dangos defektai dažniausiai klasifikuojami pagal jos paviršiuje matomą konstrukcijos pobūdį (formą, matmenis). Kelio dangos konstrukcijos stiprumas yra pakankamai atsparus lengvųjų automobilių klasės svoriui ir srautui.

1.5. Automobilio padangos

Padangos yra vienintelis automobilio elementas, kuris liečiasi su keliu. Nuo padangų rūšies, kokybės ir būklės priklauso automobilio važiavimo saugumas, patogumas ir ekonomiškumas.

Transporto priemonės padangos turi užtikrinti reikiamą sukibimą su kelio danga, priimti visas jėgas, kurios veikia ją, susilpninti jas ir perduoti tas jėgas kitiems pakabos elementams jau sumažintas. Nesikeičiantis arba pastovus automobilio rato padangos sukibimas su kelio danga įmanomas tik idealiais atvejais, kai kelio danga yra nesusidėvėjusi ir pakankamai šiurkšti. Transporto priemonių sukibimas (trintis) tarp padangų ir kelio dangos tiesiogiai priklauso nuo kelio dangos ir jos kokybės). Didelę įtaką padangos sukibimui su kelio danga turi padangos linijinis ir skersinis standumas, kurie leidžia nustatyti kaip padanga elgiasi atraminio paviršiaus atžvilgiu esant skirtingiems automobilio judėjimo režimams (Levulytė, 2014).

Automobilio stabdymo procesas yra neatsiejama važiavimo dalis. Norint išvengti susidariusios pavojingos arba avarinės situacijos vienas iš transporto priemonės pagrindinių valdymo būdų yra stabdymas. Stabdymo efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo važiavimo greičio, tačiau net ir esant tam pačiam greičiui, bet skirtingoms padangomis, kelio sąlygoms, stabdymo proceso charakteristikos skiriasi.

Automobilį stabdant yra labai svarbu yra išlaikyti kuo didesni padangos kontaktą su kelio danga, nes nuo to labiausiai priklauso stabdymo efektyvumas ir stabdymo kelias. Stabdymo proceso metu kai atsiranda kelio nelygumai ir sumažėja lietimosi kontaktas ir padangos sumažėja sukibimas su keliu. Žemiau pateikti padangoms pateikti reikalavimai (Ružinskas, 2018):

- Mažas riedėjimo pasipriešinimas tarp rato ir kelio dangos;
- Padanga turi būti tinkamai tvirtinama prie ratlankio;

- Gebėjimas išlaikyti stabilią formą važiuojant tiesiai ir posūkyje, kad būtų užtikrinamas transporto priemonės stabilumas;
- Geras atsparumas dideliems greičiams;
- Ilgaamžiškumas;
- Nedidelis keliamas triukšmas.

1.5.1. Pneumatinių padangų klasifikacija

Pneumatinės padangos klasifikuojamos pagal kelis kriterijus – paskirtį, hermetizavimo būdą, oro slėgį, protektoriaus raštą, kordo rūšį ir išsidėstymą (Giedra, Kirka, 2006).

Pagal paskirtį padangos būna:

- Keleivinės, naudojamos lengvosioms transporto priemonėms. Jų skersmuo nėra didelis, žemos, yra elastingos ir turi smulkų protektoriaus raštą. Šios padangos skirtos naudoti geros kokybės lygiuose keliuose atitinkamai dideliu greičiu.
- Krovinių padangos skirtos sunkvežimiams ir autobusams. Tokios padangos išlaiko didelę apkrovą, jų karkasas stiprus, didelis skersmuo ir stambus protektoriaus raštas.
- Mažiau naudojamos visureigės, kurios yra vidutinių charakteristikų tarp keleivinių ir krovinių padangų, taip pat Specialiosios padangos, kurios skirtos vienam atvejui, pavyzdžiui, lenktynėms.

Pagal hermetizavimo būdą padangos skirstomos į:

- Kamerinės, kurios yra sudarytos iš padangos, ratlankio ir kameros, ventilis įmontuotas kameroje;
- Bekamerės, kur jų vidinis paviršius ir šonai su borteliu padengti hermetizuojančiu gumos sluoksniu. Ventilis įmontuotas į patį ratlankį. Bekamerės padangos yra lengvesnės taip pat jos geriau aušinasi. Todėl dabar plačiausiai ir dažniausiai naudojamos tarp transporto priemonių. Pradūrus tokią padangą, oras iš jos išeina lėtai, dėl to kad padangos vidus padengtas hermetizuojančiomis medžiagomis, kurios atsiradus skylutei kiek galima geriau užspaudžia ją ir sumažina išeinamo oro srautą (Giedra, Kirka, 2006).

Pagal oro slėgį padangos būna:

- Didelio slėgio – daugiau negu 4,5 baro;
- Mažo slėgio – 1,5-4,5 baro;
- Ypatingai mažo slėgio – mažiau nei 1,5 baro.

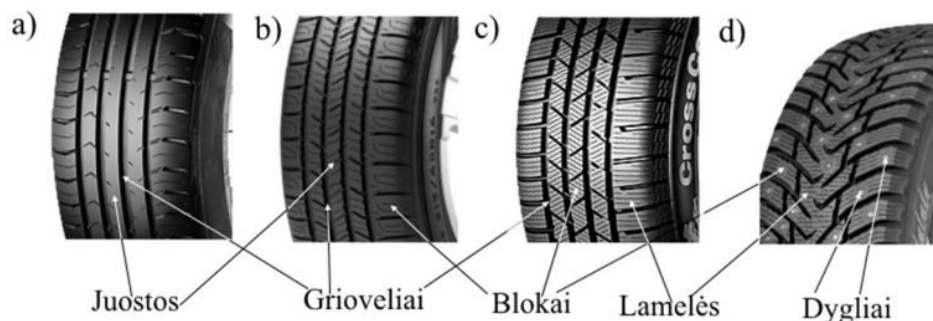
Pagal protektoriaus raštą padangos skirstomos į kelių, universalias, geresnio pravažumo, žieminės bei dygliuotas padangas. Kelių – skirtos naudoti keliuose, kur dažniausiai asfaltbetonio danga. Protektoriaus piešinys yra smulkus, padangos nekelia didelio triukšmo, turi gerą sukibimą su keliu. Universalios – arba kitaip vadinamos visu sezonų padangos yra skirtos važiuoti tiek kieta danga tiek gruntiniais keliais. Jų protektoriaus raštas yra stambesnis, jos neturi geriausių specializuotų padangų savybių, tačiau tinka naudoti visais sezonais, dažniausiai renkamos kur žiemos yra švelnios. Tuo tarpu geresnio pravažumo padangos skirtos važiuoti bekelės keliais. Protektoriaus raštas sudarytas iš plačių kanalų, kurie būna išdėstyti eglutės pavidalu ir stambios briaunos. Tokio tipo protektorius neleidžia užsilikti purvui ir turi didelį sukibimą klampiuose vietose (A. Ružinskas 2017). Žieminės padangos skirtos važiuoti apsnigusiais taip pat apledėjusiais keliais, geriausios padangos savybės pasireiškia kai laiko temperatūra yra žemesnė nei 7 laipsniai šilumos. Priešingai nei lyginant su vasarinėmis padangomis šios padangos esant žemai temperatūrai išlieka lanksčios, kadangi žieminių padangų protektorius yra su didesniu kanalų skaičiumi, kurie palengvina stabdymą ir padidina sukibimą šalant. Važiuojant sausu kelio jos kelia didelį triukšmą. Taip pat jas naudojant kai temperatūra yra aukštesnė, pavyzdžiui vasaros laiku, atsiranda didelis pasipriešinimas ir prarandamas sukibimas su keliu. Žieminės padangos turi gilesnius griovelius, kurie užtikrina greitesnį sniego pasišalinimą. Dygliuotos padangos yra taip pat žieminės arba vadinamos šiaurės šalių, kur temperatūra yra žemesnė nei -10 laipsnių ir išlieka ilgai. Jos turi metalinius dyglius, kurie turi geresnį sukibimą esant apledėjusiems arba apsnigtiems keliams (Schon, 2014). Dygliuotas padangas naudoti leidžiama ne visose šalyse, pavyzdžiui Lenkijoje yra draudžiama naudoti šias padangas.

Pagal kordo rūšį padangos skirstomos į:

- Paprastos – Karkase siūlai yra išdėstomi įstrižai;
- Su metaliniu kordu – šio kordo siūlai yra pagaminti iš susuktos plonos vielos. Šiose padangose dažniausiai yra didelis slėgis taip pat jų atsparus karkasas, kurios yra skirtos naudoti esant didelei apkrovai ir darbui geruose keliuose;
- Radialinės ir diagonalinės. Diagonalinė padanga nuo radialinės skiriasi savo karkaso konstrukcija, taip pat kordo krypties išdėstymu. Radialinės padangos, kai lyginama su diagonalinėmis yra pranašesnės, kadangi jos tvirtesnės, lėčiau dėvisi, taip pat turi mažesni pasipriešinimą siūbavimui. Radialinės padangos stabiliau laiko automobilį esant tiesiam kelyje. Jos greičiau reaguoja į vairo sūkius, turi geresnes savybes kurios leidžia didesnes apkrovas. Radialinės skirtos važiuoti dideliais greičiais, tačiau jos yra sunkesnės. Dabar beveik visiems automobiliams naudojamos radialinės padangos. Išimtinai radialinės padangos nenaudojamos lenktynėms ir važiuoti bekele. Taip pat, kadangi padangos

sienelės plonos, atsitrenkus į gatvės bortą gali būti lengvai pažeidžiamos (Angelo, Machado, Schön, 2014)

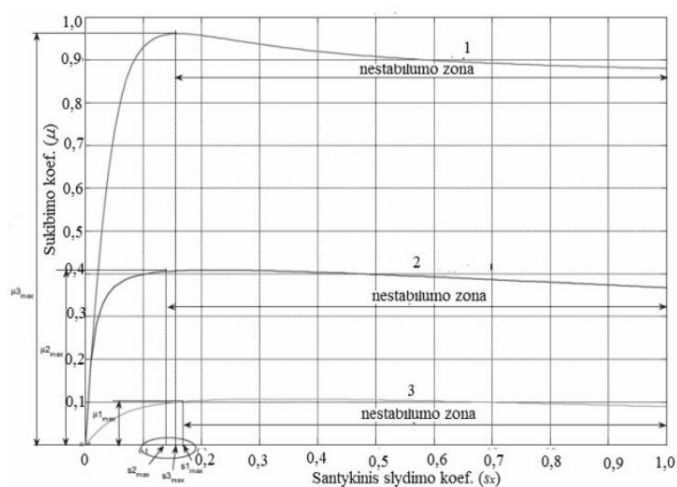
Žemiau 7 pav. pateikti pavyzdžiai kaip atrodo skirtingos padangos pagal skirtingą protektoriaus raštą



7 pav. Padangos pagal protektorių ir jo elementus: a) vasarinė; b) universalioji; c) žieminė; d) dygliuotoji (Ružinskas, 2017)

1.5.2. Padangos sukibimas, kontaktas ir deformacijos

Pagal A. Ružinsko ruošta daktaro disertacija galima pamatyti kaip keičiasi esant skirtingomis dangomis rato su kelio danga koeficientas. Maksimalios koeficiento reikšmės galima nustatyti iš slydimo kreivių kai automobilis greitėja ar lėtėja. Remiantis šiomis kreivėmis galima nustatyti ne tik aukščiausias reikšmes, tačiau galima ir nustatyti geriausia padangos sukibimo sritį, kurioje automobilio ratas su padanga geriausiai sukimba su keliu taip pat ir sritį, kurioje automobilis prarandą sukibimą ir padanga pradeda slysti kelio danga. Šias sritis galima taip pat įvardinti kaip stabilumo ir nestabilumo zona. 8 pav. pateiktas ratų su kelio paviršiumi sukibimo koeficiento priklausomybė nuo slydimo koeficiento.



8 pav. Ratų su kelio paviršiumi sukibimo koeficiento μ priklausomybė nuo santykinio slydimo koeficiento (Levulytė, 2014)

Iš aukščiau pateikto 8 paveikslėlio matyti, kad kai stabdymo metu padanga ima slysti didesniu kaip 0,2 santykinu slydimu padangos sukibimas su kelio danga mažėja (Levulytė, 2014).

Remiantis Levulyte (2014) „Automobilio padangos ir kelio dangos sąveikos įtaka automobilio lėtėjimo parametrams“ moksliniu straipsniu, padangos ir kelio sąveika esanti stabdymo režime, kai automobilio padangų pėdsakų žymės yra labai svarbus aspektas. Padangų pėdsakai, dažniausiai susiformuoja ant kelio dangos kai vyksta intensyvus stabdymas. Sukibimo jėga būna sukurta kuomet padangos guma slysta per kelio dangos paviršių ir jo nelygumus. Intensyviai stabdant išnyksta tarpelis tarp padangos ir kelio ir įvyksta difuzija. Kai vyksta slydimas ir padanga kaip labiau deformuojamasis paviršius palieka savo pėdsaką ant kelio dangos. Padangos kontaktas su kelio dangos plotu priklauso nuo padangos būklės, kelio nelygumo ir stabdymo intensyvumu. Optimalus padangos su keliu kontakto plotas priklauso nuo ilgio, lietimosi ploto ir slydimo kampo

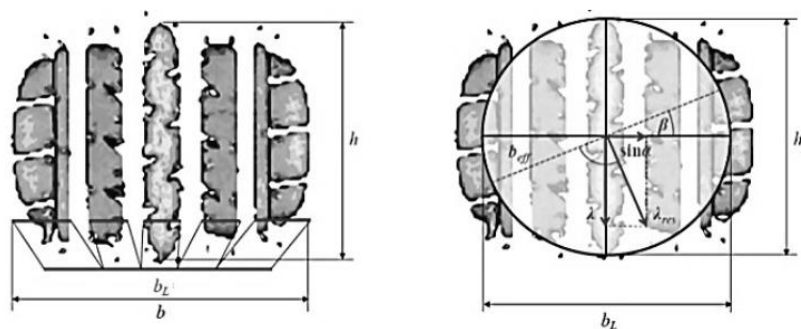
$$b_{eff} = \sqrt{(b_L \cdot \cos\beta)^2 + (h_L \cdot \sin\beta)^2} \quad (4)$$

čia b_L – kontakto su kelio plotis, m;

h_L – kontakto su keliu ilgis, m;

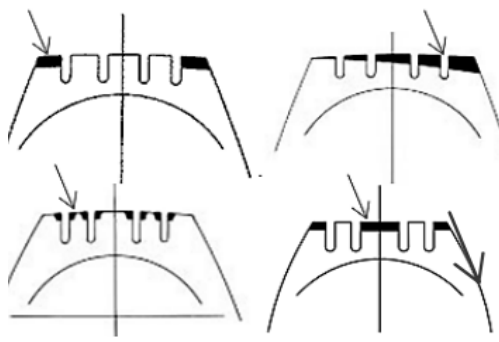
β – pėdsako krypties (slydimo) kampas.

Žemiau 9 pav. pateiktas kaip atrodo optimalus padangos ir kelio kontakto plotas.



9 pav. Optimalus padangos ir kelio kontakto ploto modelis (Levulytė 2014)

Padangos protektorius briaunos labiausiai dėvisi, nes kai yra kontaktas su keliu atsiranda didžiausios temperatūros koncentracija toje vietoje, ypačingai tai pasireiškia kai yra intensyviai stabdoma. Apkrova esanti nuo automobilio padidina kontakto plotą tarp padangos ir kelio dangos, jam padidėjant taip pat padidėja ir šlyties įtempimai krašte. Žemiau 10 pav. pateikti protektorius deformacijų atvejai.



10 pav. Padangų protektoriaus deformavimo atvejai

Apibendrinant išnagrinėtą analitinę dalį, yra įvardijama, kas daro įtaką automobilio stabdymo keliui, bei aprašomi stabdžių sistemai keliami reikalavimai. Taip pat analitinėje dalyje yra lyginami stabdymo procesai stabdant su ABS sistema bei be jos. Teoriniu aspektu stabdant su ABS lėtėjimo pagreičio reikšmė didėja pradiniam greičiui taip pat didėjant, o stabdant be ABS, atvirkščiai – didėjant automobilio pradiniam greičiui lėtėjimo pagreičio reikšmė mažėja. Taip yra dėl to, kad ABS sistema neleidžia stabdant užsiblokuoti ratams ir taip neprarandamas sukibimas su kelio danga. Šiame darbe yra aprašomi ABS sistemos privalumai ir joms keliami reikalavimai, pateikiami kelio dangos konstrukcijos elementai ir skirstomi dažniausiai atsirandantys jų defektai. Taip pat analitinėje dalyje yra aprašomi sukibimo koeficientai esantys skirtingomis kelio dangomis, pateikiamos skirtingų dangų lėtėjimo pagreičio reikšmės. Kadangi padanga yra vienintelis automobilio elementas, kuris liečiasi su žeme, tai taip pat turi labai didelę įtaką stabdymo keliui. Išanalizuotoje literatūroje aprašomas padangų skirstymas pagal paskirtį, oro slėgį, pateikiami padangoms keliami reikalavimai. Taip pat yra aprašoma, kokią įtaką turi padangos lietimosi kontaktas, nurodomi dažniausi padangos deformavimosi protektoriaus atvejai. Nagrinėtoje literatūroje buvo atliekami įvairūs stabdymo procesui darančių įtaką tyrimai. ABS įtakos nustatymui buvo naudojami skirtingos markės ir klasės automobiliai, tačiau nebuvo pastebėta jokio tyrimo, kuris palygintų lengvųjų mikroautobusų, stabdymo kelio ilgio tyrimą, taip pat nebuvo tirta tų pačių automobilių stabdymo kelio ilgiai įvertinant stabdymą su ABS sistema ir be jos. Tai parodo pasirinkto tyrimo aktualumą.

2. TIRIAMOJI DALIS

Išanalizavus ankstesnius mokslinius tyrimus buvo pasigesta tyrimų apie lengvųjų mikroautobusų stabdymo kelią bei tų pačių transporto priemonių stabdymo kelio lyginimo su ABS sistema bei be jos. Todėl siekiant susieti išanalizuotą mokslinę literatūrą buvo pasirinkta atlikti tyrimą apie mikroautobusų stabdymo kelią, įvertinant jų stabdymo metu esantį lėtėjimo pagreitį ir stabdymo laiką.

2.1. Tyrimo metodika

Tyrimui naudojami trys panašios masės lengvieji mikroautobusai turintys devynias vietas įskaitant ir vairuotoją. Automobiliai yra eksploatuojami su techninėmis apžiūromis ir draudimais. Visų trijų automobilių stabdžių sistemos yra tvarkingos. Tyrimas buvo atliekamas trimis skirtingais pradiniais greičiais 40, 60 ir 80 km/h greičiu. Stabdymo kelio ilgio tyrimas buvo atliktas ant skirtingų kelio dangų:

- a) Apsnigta kelio danga;
- b) Sausas asfaltas;
- c) Drėgnas asfaltas.

Tyrimo metu taip pat buvo naudojamos skirtingos padangos (žieminės ir vasarines) ir taip pat įvertinant ABS įtaką ant sauso ir drėgno asfalto.

Tyrimui atlikti buvo naudojamas K2HH acceleration ST Akselerometras, turintis funkciją matuoti lėtėjimo pagreitį. Programa matuoja gravitacines jėgas ir greitėjimo sukeltas jėgas. Įrenginys nejudinamas, priklausomai nuo padėties, matuoja skirtingas vertes: 1 g - kai yra nukreiptas į apačią, (-1) g - kai nukreiptas į viršų, 0 - kai matuoklis įtaisytas horizontaliai žemės paviršiui [25].

Programos parametrai: Diapazonas -2 g iki 2 g, Matavimo intensyvumas nuo 10 iki 100 kartu per sekundę (tyrimui pasirinkta 50 kartų per sekundę, kas 0,02 s). Tikslumas 0,02 g arba 0,2 m/s, matavimo vienetai grafikuose m/s² [16]. Matavimų paklaida įvertinama iki 4 proc. Matavimo metu gauti duomenys yra išsaugomi programos atmintyje.

Visi tyrimai atliekami tik su vienu vairuotoju ir tuo pačiu vairuotoju. Pasiekiant ir išlaikant tyrimui nustatytą pasirinktą greitį, stabdžio pedalas nuspaudžiamas iki galo ir atleidžiamas kai automobilis visiškai sustoja. Išviso atlikta 159 bandymai skirtingais greičiais po 3 kartus kiekvienam atvejui, skirtingomis padangomis, kelio dangomis ir su ABS ir išjungtu ABS, daromos išvados kaip keičiasi, nuo ko priklauso ir kas didžiausią įtaką turi stabdymo keliui. Stabdymo kelias apskaičiuojamas iš gautų lėtėjimo pagreičio reikšmių kiekvienam atvejui atskirai.

Pirmasis tyrimo automobilis – VW Transporter, 2007-07-30 pagaminimo metų. Automobilio pagrindiniai duomenys:

- 1.9 l Dyzelinis variklis 75 kw;
- Svoris nepakrauto 2092 kg;
- Automobilio matmenys ilgis 4890 mm, plotis 1904 mm, aukštis 1970 mm;
- Diskinė stabdžių sistema, priekiniai diskai ventiliuojami.



11 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas automobilis VW Transporter T5

Pirmajam automobiliui naudojamos žieminės padangos Roadstone EUROWIN-650. Pagrindinė padangų informacija:

- Padangos išmatavimai - 205/65R16;
- Padangų pagaminimo laikas - 25 savaitės 2013 metų;
- Protektoriaus dydis - 7,7 mm;



12 pav. VW Transporter T5 žieminės padangos

Pirmajam automobiliui naudojamos vasarinės padangos Bridgestone. Pagrindinė padangų informacija:

- Padangos išmatavimai - 205/55R16;
- Padangų pagaminimo laikas - 17 savaitės 2015 metų;
- Protektoriaus dydis - 4,7 mm.



13 pav. VW Transporter T5 vasarinės padangos

Antrasis tyrimo automobilis – VW T5 Caravelle 2014-06-19 metų. Automobilio pagrindiniai duomenys:

- 2,0 l Dizelinis variklis 103 kw;
- Svoris nepakrauto 2075 kg;
- Automobilio matmenys ilgis 5290 mm, plotis 1904 mm, aukštis 2176 mm;
- Diskinė stabdžių sistema, priekiniai diskai ventiliuojami.



14 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas automobilis VW T5 Caravelle

Antrajam automobiliui naudojamos žieminės padangos Wintech VAN. Pagrindinė padangų informacija:

- Padangų dydis - 215/65R16;

- Pagaminimo data - 32 savaitės 2017 metų;
- Protektoriaus dydis - 8,7 mm.



15 pav. VW T5 Caravelle JZS 475 žieminės padangos

Antrajam automobiliui naudojamos vasarinės padangos KUMHO. Pagrindinė padangų informacija:

- Padangų dydis - 225/50R17
- Pagaminimo data - 35 savaitės 2010 metų;
- Protektoriaus dydis – 4 mm.



16 pav. VW Caravelle JZS 475 vasarinės padangos

Trečiasis tyrimo automobilis – VW Transporter T6 2017-12-15 pagaminimo metų. Automobilio pagrindiniai duomenys:

- 2,0 l Dyzelinis variklis 110 kw;
- Svoris nepakrauto 1970 kg;
- Automobilio matmenys ilgis 4904 mm, plotis 1904 mm, aukštis 1970 mm;
- Diskinė stabdžių sistema, priekiniai diskai ventiliuojami.



17 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas automobilis VW TRANSPORTER T6

Trečiajam automobiliui naudojamos žieminės padangos Debica. Pagrindinė padangų informacija:

- Padangų išmatavimai - 215/65R16;
- Pagaminimo laikas - 38 savaitės 2017 metų;
- Protektoriaus dydis - 9 mm.



18 pav. VW TRANSPORTER T6 žieminės padangos

Trečiajam automobiliui naudojamos vasarinės padangos Hankook. Pagrindinė padangų informacija:

- Padangų išmatavimai - 215/65R16;
- Pagaminimo laikas - 18 savaitės 2016 metų;
- Protektoriaus dydis - 8,4 mm.



19 pav. VW TRANSPORTER T6 vasarinės padangos

2.2. Teorinis stabdymo kelias

Pateikiamas metodas apskaičiuoti teoriniam stabdymo keliui suskaičiuoti, kuris bus palygintas su gautais tyrimo rezultatais. Šis metodas yra naudojamas kaip reikalavimas transporto priemonių stabdyme daugelyje šalių (Greibe, 2007). Kadangi tyrimui naudotų lengvųjų mikroautobusų masė ir labai panaši, ji prilyginama 2000 kg.

$$S = \frac{mv^2}{2F_{tr}} \quad (5)$$

čia S - automobilio stabdymo kelias

m – masė kg,

v – greitis m/s²

F_{tr} – trinties jėga

$$F_{tr} = \mu mg \quad (6)$$

čia μ – trinties koeficientas,

g – laisvojo kritimo pagreitis

Kiekvienam atvejui yra lyginamas teorinis ir eksperimentiškai gautas stabdymo kelio ilgio rezultatas. Rezultatai pateikti grafikuose ir lentelėse su reikšmėmis.

2.3. Eksperimentinis stabdymo kelias

Eksperimentinis stabdymo kelias apskaičiuojamas kiekvienam atliktam bandymui atskirai, kai žinomas visas laikas kuris buvo reikalingas sustoti, pradinis greitis ir lėtėjimo pagreičio reikšmės viso stabdymo metu. Kai žinomas pradinis greitis ir pirmojo matavimo metu buvęs lėtėjimo pagreitis, sužinomas nuvažiuotas kelias per tą matavimo laiką.

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \quad (7)$$

$$S_1 = (V_0 - a_{x1})t_x \quad (8)$$

$$V_1 = V_0 - (a_{x1} \cdot t_x) \quad (9)$$

$$S_2 = (V_1 - a_{x2})t_x \quad (10)$$

$$V_2 = V_1 - (a_{x2} \cdot t_x) \quad (11)$$

$$V_n = V_{n-1} - (a_{xn} \cdot t_x) \quad (12)$$

$$S_n = (V_{n-1} - a_{xn})t_x \quad (13)$$

čia

S – visas stabdymo kelias m

t_x - matavimo intensyvumo laikas = 0.02 s

V_0 – pradinis greitis m/s

S_1 – nuvažiuotas kelias per pirmąjį matavimo laiką m

a_{x1} – lėtėjimo pagreitis per pirmąjį matavimo laiką m/s²

V_1 – pradinis greitis po pirmojo matavimo reikšmės m/s

S_n – nuvažiuotas kelias per paskutinį matavimo laiką m

V_n – pradinis greitis prieš paskutinę matavimo reikšmę m/s

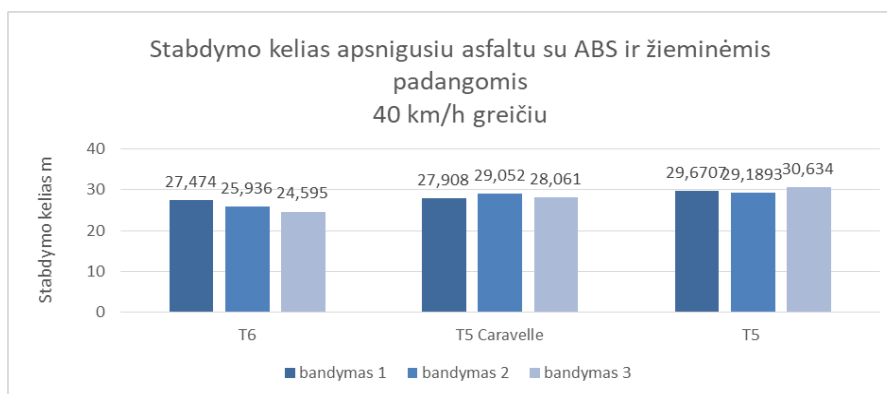
Naudojant aukščiau pateiktas formules suskaičiuojama visų atliktų bandymų stabdymo kelias, vidutinis lėtėjimo pagreitis ir laikas kuris buvo reikalingas sustoti.

2.4. Tyrimo duomenys ir rezultatai

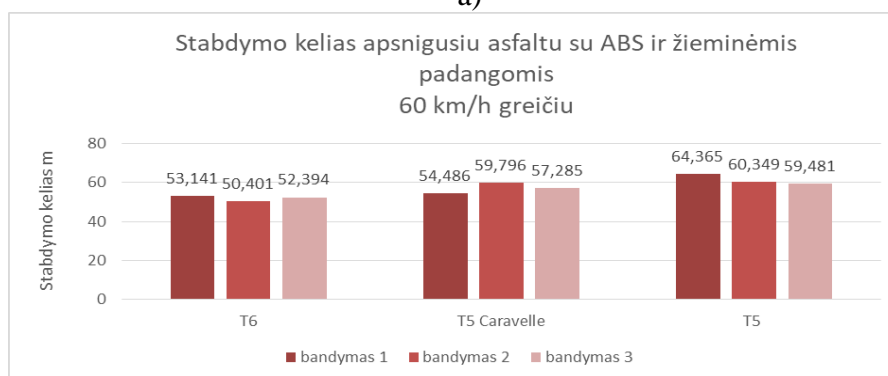
Toliau šiame darbe yra pateikiami eksperimentiškai bei teoriškai apskaičiuoti stabdymo kelio ilgio rezultatai. Tyrimui atlikti buvo naudojami trys lengvieji mikroautobusai, kurių stabdymo kelio ilgis buvo vertinamas esant apsnigtai kelio dangai, esant sausam asfaltui bei drėgnam asfaltui. Taip pat buvo atsižvelgta į skirtingus pradinius greičius bei įvertinamas stabdymo kelias su ABS sistema bei be jos. Tyrimo metu dėl techninių galimybių nebuvo galima atjungti T6 automobiliui ABS sistemos, todėl šie rezultatai nebus pateikiami. Taip pat stabdant su vasarinėmis padangomis T5 automobiliu ant sauso asfalto yra trys nepavykę bandymai, kurie rezultatuose taip pat nebus aptariami.

2.4.1. Stabdymo duomenys esant apsnigtai dangai ir žieminėmis padangomis

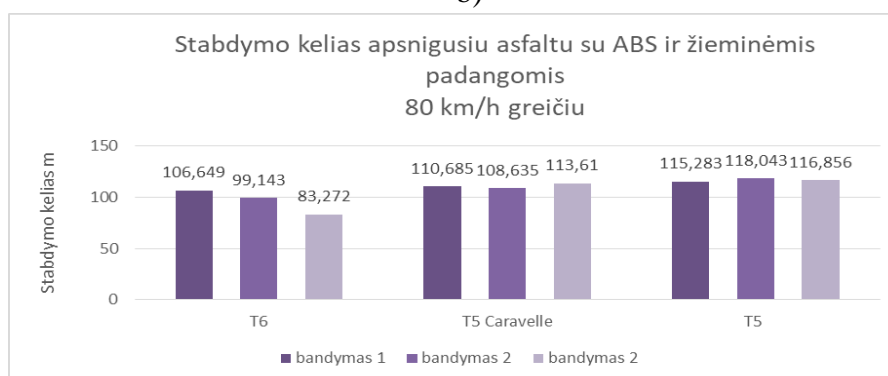
Žemiau grafiškai pateikti eksperimento metu gauti stabdymo kelio rezultatai esant apsnigtai dangai. 20 pav. pateikti bandymų esant apsnigusiai kelio dangai naudojant žieminės padangas, su ABS sistema



a)



b)

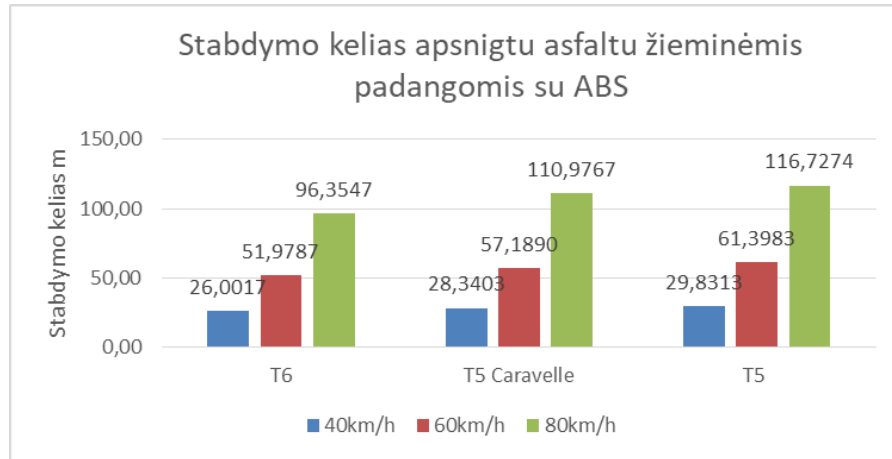


c)

20 pav. Stabdymo kelias apsnigtu asfaltu su ABS ir žieminėmis padangomis kai pradinis greitis: a) 40 km/h; b) 60 km/h; c) 80 km/h.

Iš 20 paveikslėlio matoma, kaip skiriasi stabdymo kelias esant tam pačiam greičiui. Kai kelio danga yra apsnigta to pačio automobilio bandymų rezultatai yra panašūs, išskyrus matome didžiausią skirtumą automobilio T6, kai pradinis greitis buvo 80 km/h skirtumas tarp ilgiausio ir

trumpiausio stabdymo kelio yra apie 28 proc. Toks skirtumas galėjo nutikti, dėl nelygaus sniego kiekio ant kelio. Toliau 21 pav. parodytas stabdymo kelio vidurkiai ir teorinis stabdymo kelio rezultatai, esant panašioms kelio sąlygoms.



21 pav. Bendras automobilių stabdymo kelias esant apsnigta kelio dangai su ABS ir žieminėmis padangomis

5 lentelėje pateikti teorinio stabdymo kelio rezultatai esant panašioms kelio dangos sukibimo sąlygoms.

5 lentelė

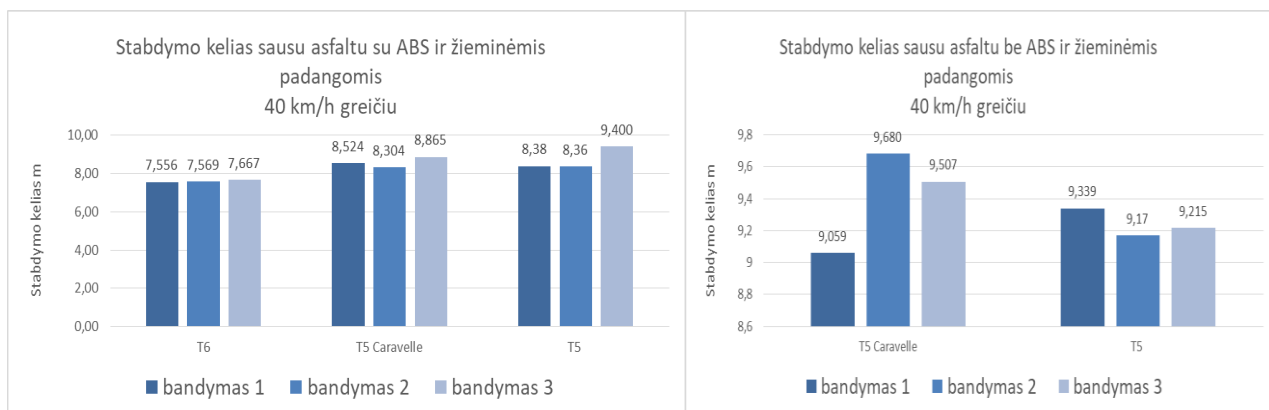
Teorinis stabdymo kelias apsnigusia danga

Kai pradinis greitis	40 km/h	60 km/h	80 km/h
Teorinis stabdymo kelias	31,466 m	66,574 m	125,86 m

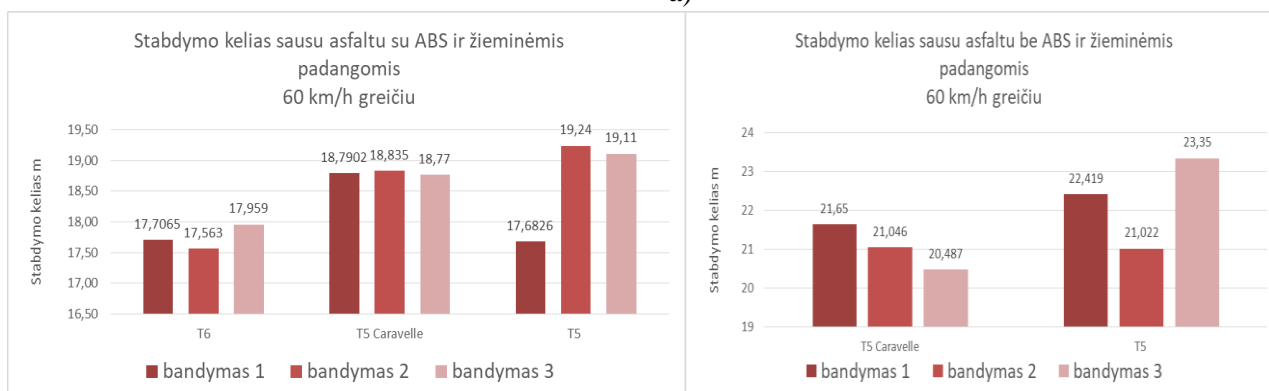
Eksperimento metu gautus rezultatus lyginant su teoriškai gautais pastebima, jog visais atvejais stabdymo kelias yra mažesnis. Matome kai pradinis greitis 40 km/h stabdymo kelias automobilio T6 mažesnis 21 proc., kai 60 km/h - proc., kai 80 km/h - 30,6 proc, automobilio T5 Caravelle kai 40 km/h – 11 proc., kai 60 km/h - 16,4 proc., kai 80 km/h - 8,4 proc., automobilio T5 kai 40 km/h - 5,4 proc., kai 60 km/h – 11 proc., kai 80 km/h - 7.8 proc. Lyginant automobilius tarpusavyje matoma, jog automobilis T6 ypatingai skiriasi nuo kitų dvejų, automobilis T6 yra naujausias ir padangos bandymui atlikti buvo naudojamos visiškai naujos.

2.4.2. Stabdymo duomenys esant sausai kelio dangai ir žieminėmis padangomis

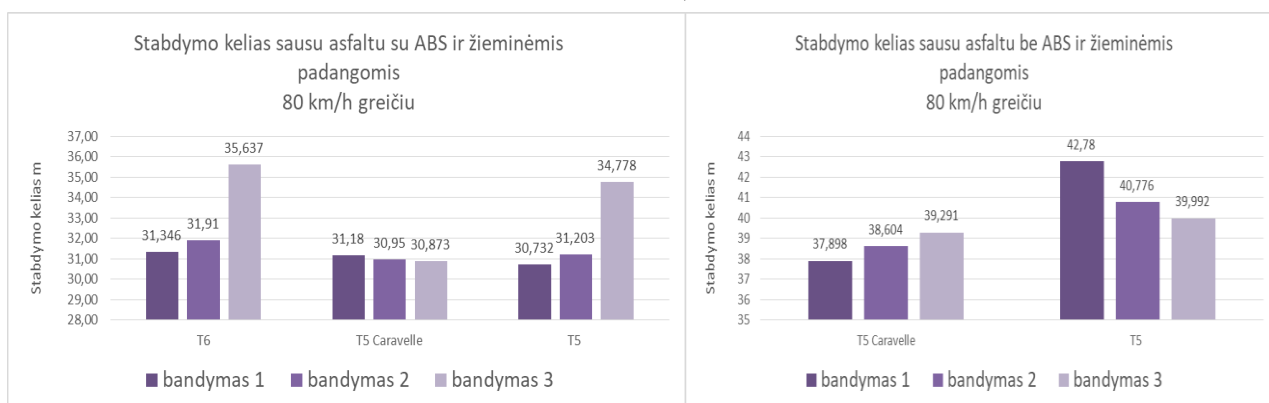
Žemiau grafiškai pateikti eksperimento metu gauti stabdymo kelio rezultatai esant sausai kelio dangai naudojant žieminės padangas, bandymai atlikti su ir be ratų antiblokavimo sistema. 22 pav. pateikti kairėje pusėje stabdymo bandymai su ABS, o dešinėje be ABS.



a)



b)

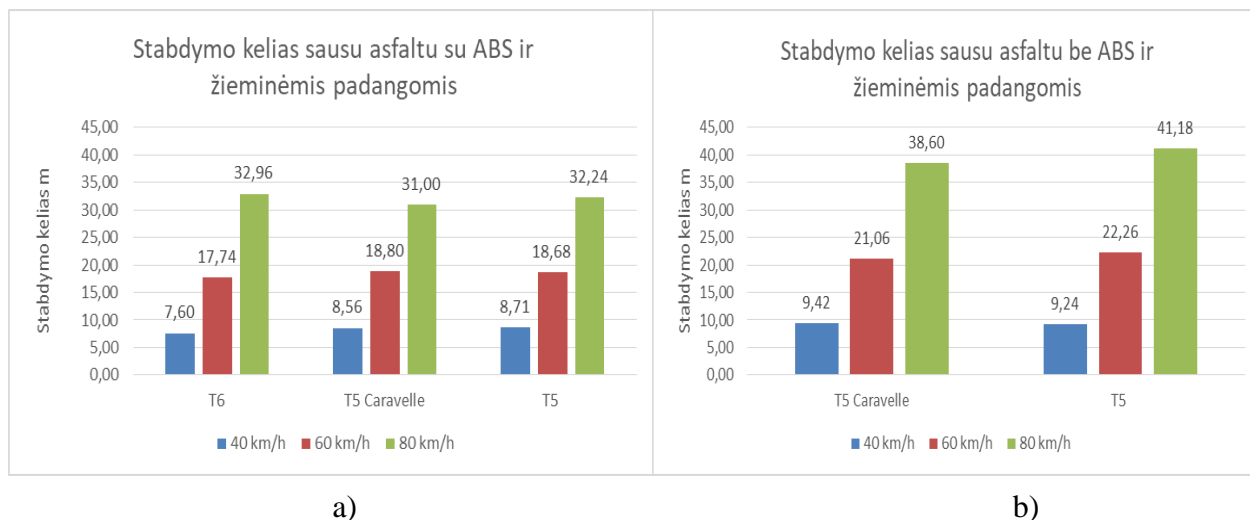


c)

22 pav. Stabdymo kelias sausiu asfaltu (kairėje su ABS), (dešinėje be ABS) ir žieminėmis padangomis kai pradinis greitis a) 40 km/h, b) 60 km/h, c) 80 km/h

22 paveikslėlyje grafiškai parodyta, kokie buvo stabdymo eksperimentų rezultatai, esant skirtingiems greičiais. Beveik visais atvejais matome, jog rezultatai tarp bandymų yra panašūs,

didžiausius skirtumus tarp bandymu matome esant 80 km/h greičiui automobiliui T6 ir T5, Visais nurodytais atvejais stabdymas su ABS buvo efektyvesnis. Toliau 23 pav. parodytas bendras automobilių stabdymo kelias skirtingais greičiais ant sauso kelio dangos su ABS bei be ABS sistemos.



23 pav. Bendras automobilių stabdymo kelias esant sausai kelio dangai žieminėmis padangomis a) su ABS ir b) be ABS

Iš 23 paveikslėlyje grafiškai pateiktų pavyzdžių matome, kaip skiriasi stabdymo kelias naudojant ABS sistemą ir be jos. Naudojant ABS sistemą šiais atvejais automobiliui T5 Caravelle stabdymo kelias yra trumpesnis kai pradinis greitis 40 km/h 10 proc., kai 60 km/h – 12 proc., kai 80 km/h – 24 proc., o automobilio T5 kai pradinis greitis 40 km/h – 6 proc., kai 60 km/h - 19 proc., kai 80 km/h – 27 proc. T5 automobilio padangos naudojamos tyrimo metu buvo labiausiai nudėvėtos. Žemiau 6 lentelėje pateiktas Teorinis automobilių stabdymo kelias esant panašioms sukibimo tarp dangos ir rato koeficiento sąlygoms.

6 lentelė

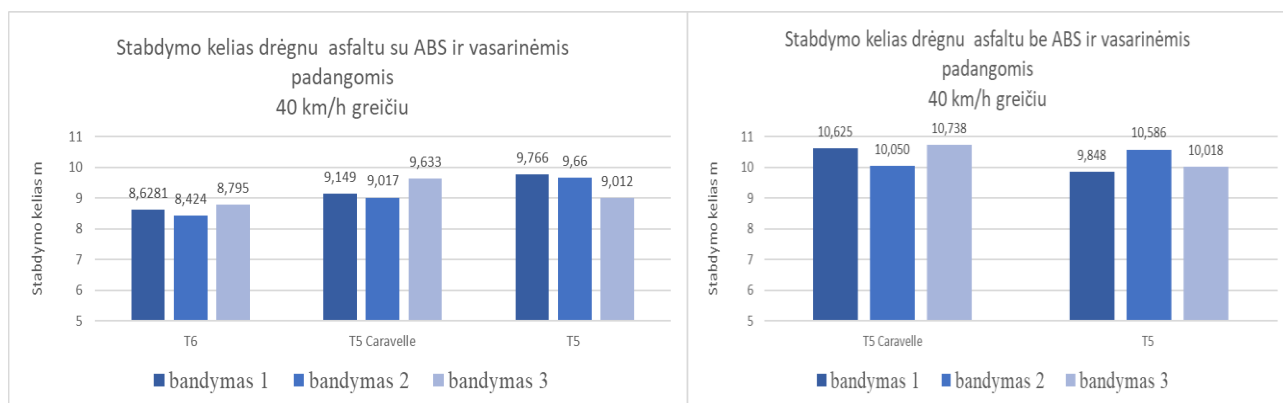
Teorinis stabdymo kelias esant sausai kelio dangai

Kai pradinis greitis	40 km/h	60 km/h	80 km/h
Teorinis stabdymo kelias	8,391 m	17,753 m	33,564 m

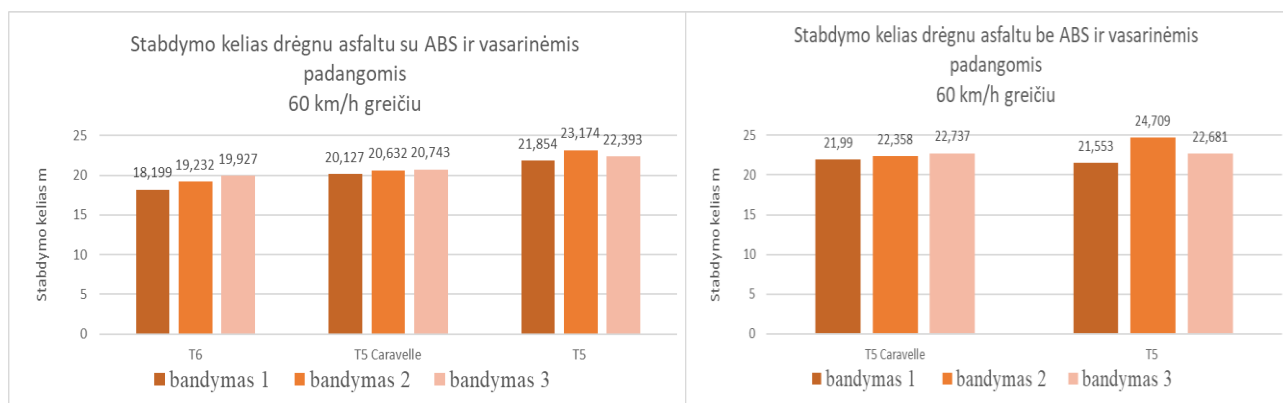
Lyginant eksperimento metu gautus rezultatus su ABS ir teoriškai gautus, matome, kad visais atvejais yra sąlyginai lygus, arba mažesni. Tačiau lyginant eksperimento metu gautus rezultatus nenaudojant ABS sistemos ir teorinius, matome, jog teoriniai rezultatai yra mažesni. Vidutiniškai esant 40 km/h pradiniam greičiui stabdymo kelias ilgesnis apie 10 proc., kai 60 km/h pradinis greitis - apie 15 proc. ir kai 80 km/h – 25 proc.

2.4.3. Stabdymo duomenys esant drėgnai kelio dangai ir vasarinėmis padangomis

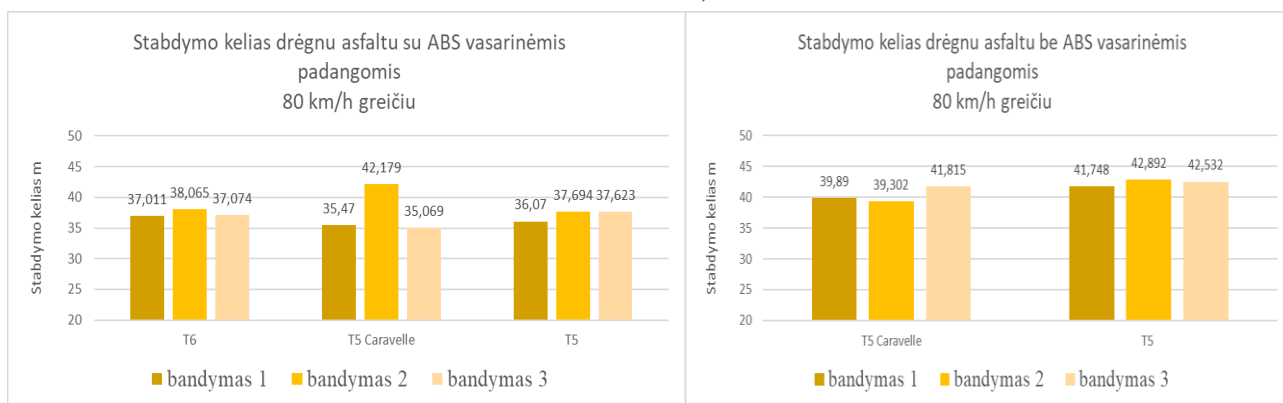
Žemiau grafiškai pateikti eksperimento metu gauti stabdymo kelio rezultatai esant drėgnai kelio dangai naudojant vasarines padangas, bandymai atlikti su ir be ratų antiblokavimo sistema. 24 pav. pateikti kairėje pusėje stabdymo bandymai su ABS, o dešinėje be ABS.



a)



b)

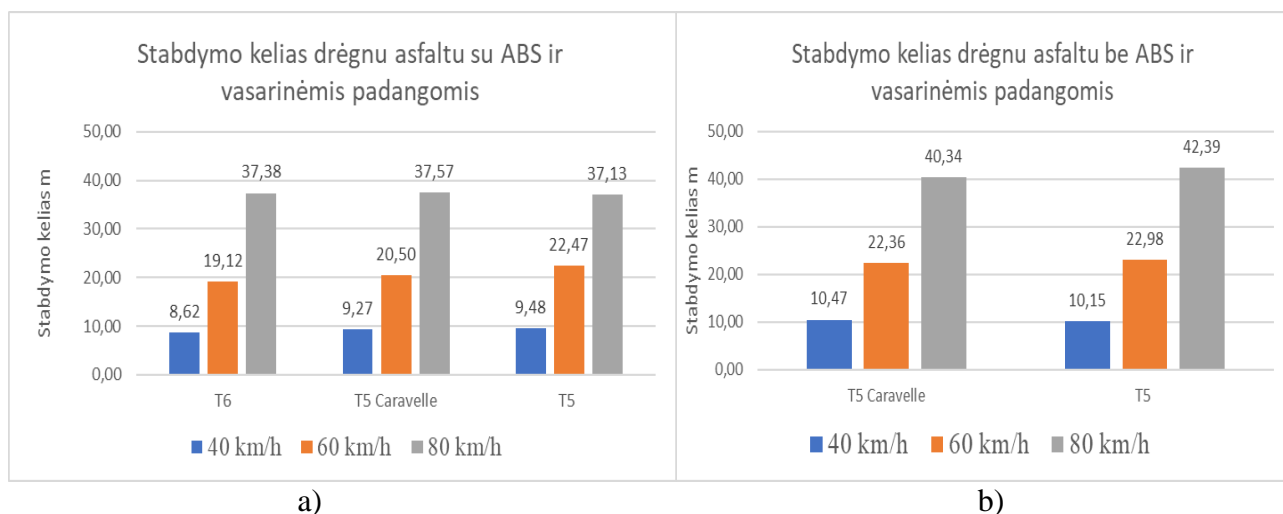


c)

24 pav. Stabdymo kelias drėgnu asfaltu (kairėje su ABS), (dešinėje be ABS) ir vasarinėmis padangomis kai pradinis greitis: a) 40 km/h; b) 60 km/h; c) 80 km/h.

24 paveikslėlyje pateikti, kokie buvo stabdymo eksperimentų rezultatai, esant skirtingiems greičiais. Beveik visais atvejais matome, jog skirtumai tarp rezultatų bandymų yra nežymus,

išskyrus 2 bandyme matome esant 80 km/h greičiui automobiliui T5 Caravelle visais nurodytais atvejais stabdymas su ABS buvo efektyvesnis. Toliau 25 pav. parodytas bendras automobilių stabdymo kelias skirtingais greičiais ant sauso kelio dangos su ABS bei be ABS sistemos.



25 pav. Bendras automobilių stabdymo kelias esant sausai kelio dangai žieminėmis padangomis a) su ABS ir b) be ABS

Iš 25 paveikslėlyje grafiškai pateiktų pavyzdžių matome, kaip skiriasi stabdymo kelias naudojant ABS ir ABS sistemos. Naudojant ABS sistemą šiais atvejais automobiliui T5 Caravelle stabdymo kelias yra trumpesnis kai pradinis greitis 40 km/h 12,9 proc., kai 60 km/h - 9,1 proc., kai 80 km/h - 7,3 proc., o automobilio T5 kai pradinis greitis 40 km/h 21,4 proc., kai 60 km/h - 3 proc., kai 80 km/h - 14,1 proc.. Matome, jog visais atvejais stabdymas naudojant ABS sistemą yra pranašesnis kai yra ekstremalus stabdymas. Žemiau 7 lentelėje pateiktas Teorinis automobilių stabdymo kelias esant panašioms sukibimo tarp dangos ir rato koeficiento sąlygoms.

7 lentelė

Teorinis stabdymo kelias esant drėgnai kelio dangai

Kai pradinis greitis	40 km/h	60 km/h	80 km/h
Teorinis stabdymo kelias	11,442 m	24,209 m	45,796 m

Lyginant eksperimento metu, kai buvo naudojamos vasarinės padangos gautus rezultatus su ABS ir teoriškai gautus, matome, kad visais atvejais yra mažesni apie 20 proc. O lyginant eksperimento metu gautus rezultatus nenaudojant ABS sistemos ir teorinius, matome, jog skirtumas sumažėja, tačiau teoriniai rezultatai išlieka didesni vidutiniškai apie 10 proc.

2.4.4. Stabdymo duomenys esant sausai kelio dangai ir vasarinėmis padangomis

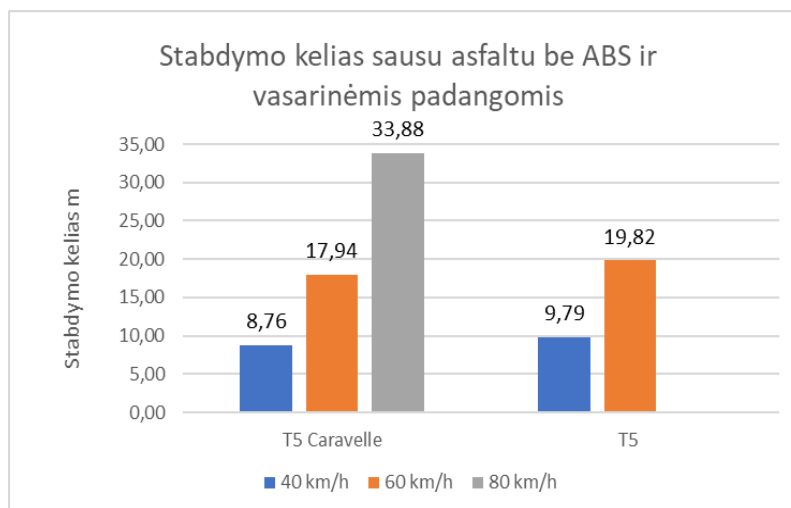
Žemiau 8 lentelėje pateikti eksperimento metu gauti stabdymo kelio rezultatai esant sausai kelio dangai naudojant vasarines padangas ir ABS.

8 lentelė

Stabdymo bandymai ant sausos dangos naudojant vasarines padangas ir ABS

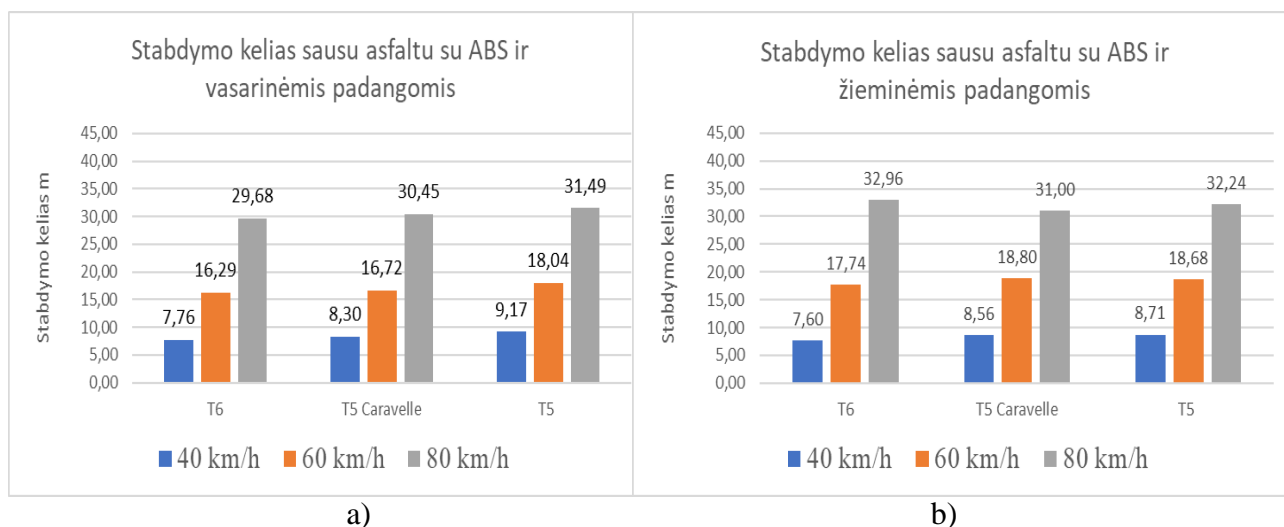
Automobilis	Pradinis greitis 40 km/h			
	1 bandymas	2 bandymas	3 bandymas	vidurkis m
T6	7,709	7,798	7,774	7,76
T5 Caravelle	8,694	7,907	8,292	8,30
T5	9,2312	8,902	9,381	9,17
Automobilis	Pradinis greitis 60 km/h			
	1 bandymas	2 bandymas	3 bandymas	vidurkis m
T6	16,721	16,230	15,93	16,29
T5 Caravelle	16,695	16,681	16,77	16,72
T5	17,227	18,312	18,58	18,04
Automobilis	Pradinis greitis 80 km/h			
	1 bandymas	2 bandymas	3 bandymas	vidurkis m
T6	29,281	29,991	29,77	29,68
T5 Caravelle	30,801	30,154	30,383	30,45
T5	32,163	30,709	31,592	31,49

26 pav. pateikti stabdymo bandymai ant sausos dangos naudojant vasarines padangas ir be ABS.



26 pav. Stabdymo bandymai sausų asfaltu be ABS ir vasarinėmis padangomis

Lyginant stabdymus ant sausos kelio dangos su ir be ABS taip pat matomas ryškus skirtumas tarp rezultatų. Stabdymas naudojant ratų antiblokavimo sistemą yra pranašesnis, kai pradinis greitis 40 km/h vidutiniškai apie 5 proc., kai 60 km/h - apie 10 proc. ir kai 80 km/h - virš 10 proc. Lyginant stabdymo bandymus ant sausos kelio dangos naudojant žieminės ir vasarines padangas žemiau 27 pav. pateikta grafiškai kaip skiriasi stabdymo kelias.

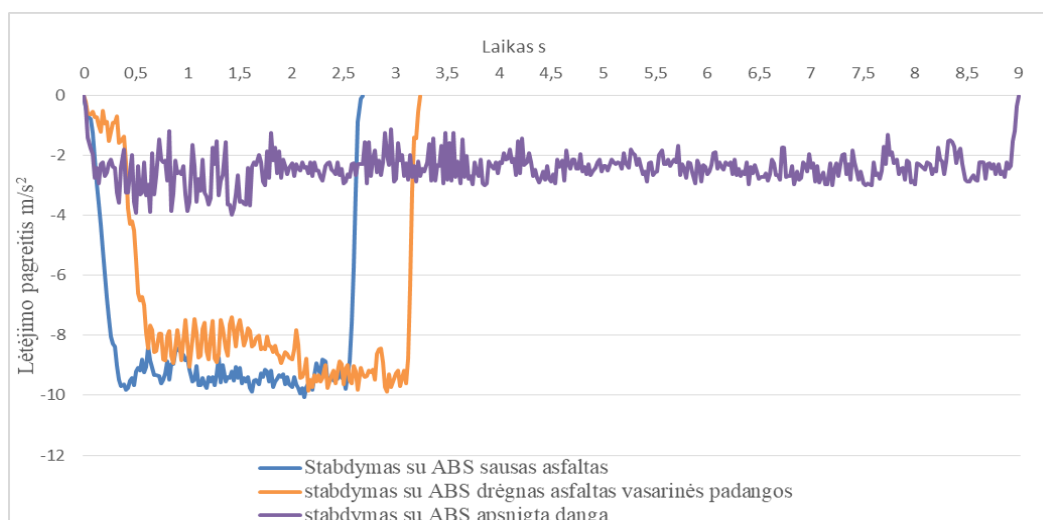


27 pav. Bandymai esant sausų asfaltu su ABS a) vasarinėmis padangomis, b) žieminėmis padangomis

Lyginant vasarinių ir žieminių padangų atliktus bandymus matosi, jog vasarinės padangos turi geresnes stabdymo savybes stabdant ant sausos kelio dangos. Stabdymo kelias trumpesnis su vasarinėmis padangomis trumpesnis 5 – 10 proc. nei stabdant su žieminėmis. Lyginant su teoriškais gautais rezultatais skirtumas toks, kad eksperimentiškai gauti rezultatai su vasarinėmis padangomis yra trumpesni.

2.5. Lėtėjimo pagreičio rezultatai

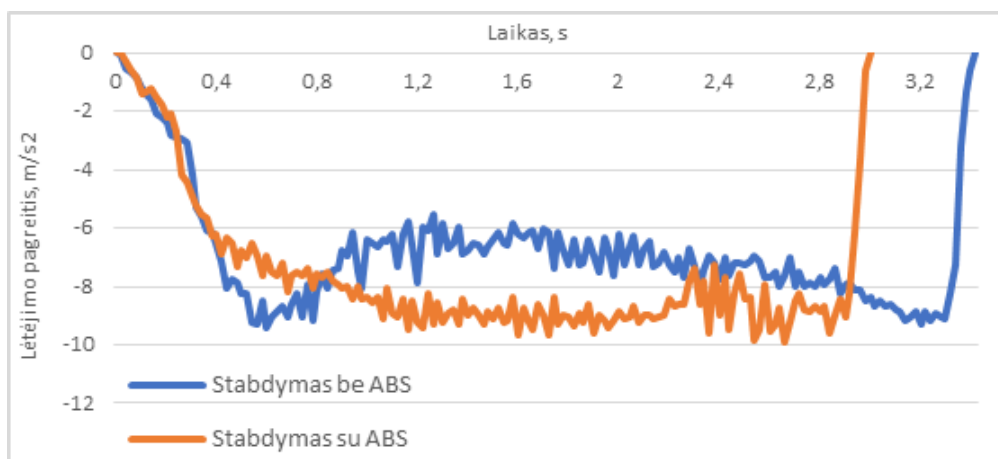
Žemiau pateikti lėtėjimo pagreičio grafikai, parodomi kaip skiriasi pagreitis esant skirtingam trinties (sukibimo) koeficientui bei nurodomi laiko skirtumai. Remiantis A. Kudarausko straipsniu pagrindiniai lėtėjimo pagreičio skirtumai yra tokie, jog be antiblokavimo sistemos maksimalią jėgą ir lėtėjimo pagreitį įgauna prieš ratams užsiblokuojant, o stabdant su ABS išlaiko iki pat sustojimo. 28 pav. pateiktas automobilio T6 su žieminėmis padangomis stabdymo pagreitis ir laikas, kuris buvo reikalingas visiškai sustoti kai pradinis greitis yra 80 km/h.



28 pav. T6 stabdymo pagreitis ir laikas, esant 80 km/h pradiniam greičiui, apsnigta danga, sausas asfaltas, drėgnas asfaltas

Esant tam pačiam pradiniam greičiui matoma, kaip skiriasi lėtėjimo pagreitis ir laikas reikalingas sustoti, Kai kelio danga apsnigta lėtėjimo pagreitis nesiekia net 3 m/s^2 , taip pat laikas reikalingas sustoti kelis kartus ilgesnis nei yra reikalingas sausu ar drėgnu asfaltu. Lyginant stabdymo laiką ir pagreitį drėgno ir sauso asfalto, matoma jog sausu asfaltu buvo sustota daugiau nei pusė sekundės greičiau nei drėgnu, kas sudaro apie 15 proc. Lyginant lėtėjimo pagreitį matoma, jog sausu asfaltu pasiekia didesnę reikšmę nei drėgnu.

Toliau 29 pav. parodyta automobilio T5 Caravelle su vasarinėmis padangomis stabdymo pagreitis ir laikas, kuris buvo reikalingas sustoti, kai pradinis greitis 80 km/h, drėgna kelio danga su ABS ir drėgna kelio danga be ABS.

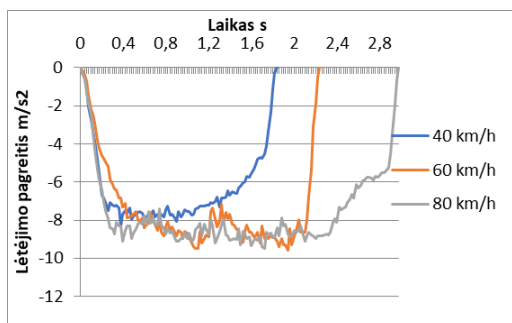


29 pav. Automobilio T5 Caravelle stabdymo pagreitis ir laikas, drėgna kelio danga su ABS, drėgna kelio danga be ABS

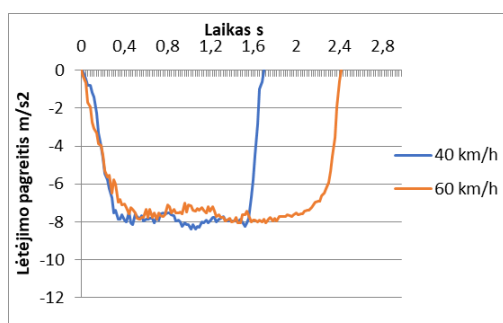
Lyginant abu atvejus matoma, jog tokiomis pačiomis kelio sukibimo sąlygomis, matoma, jog stabdymas naudojant antiblokavimo sistemą yra efektyvesnis lėtėjimo pagreitis pasiekia didesnę

reikšmę ir laikas, kuris buvo reikalingas sustoti yra trumpesnis 14 proc. lyginant stabdymo bandymą be ABS.

Žemiau pavyzdžiuose pateikti skirtingų greičių ir bandymų lėtėjimo pagreičio reikšmės ir rezultatai automobilio T5 bandymai vasarinėmis padangomis sausu asfaltu su ABS kairėje bei be ABS dešinėje pusėje.

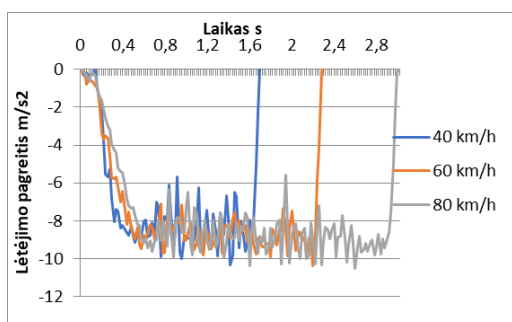


a)

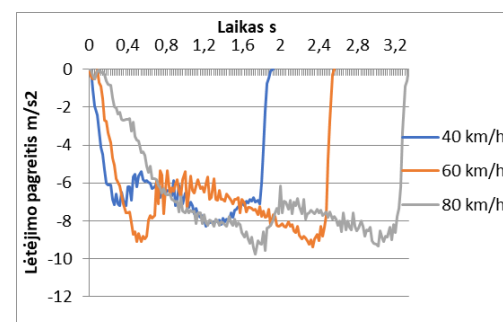


b)

30 pav. Automobilio T5 lėtėjimo pagreičio duomenys su vasarinėmis padangomis ant sauso asfalto a) su ABS, b) be ABS

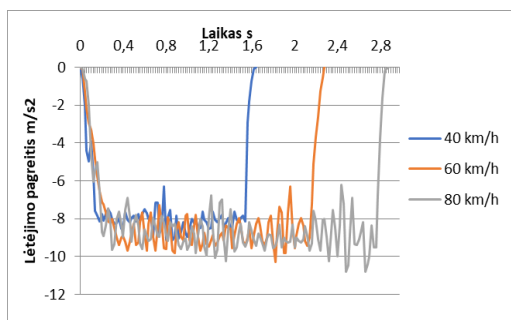


a)

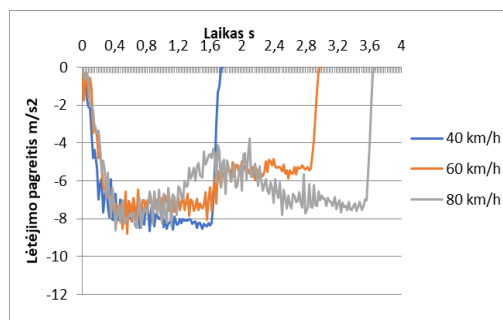


b)

31 pav. Automobilio T5 Caravelle lėtėjimo pagreičio duomenys su vasarinėmis padangomis ant drėgno asfalto a) su ABS, b) be ABS



a)



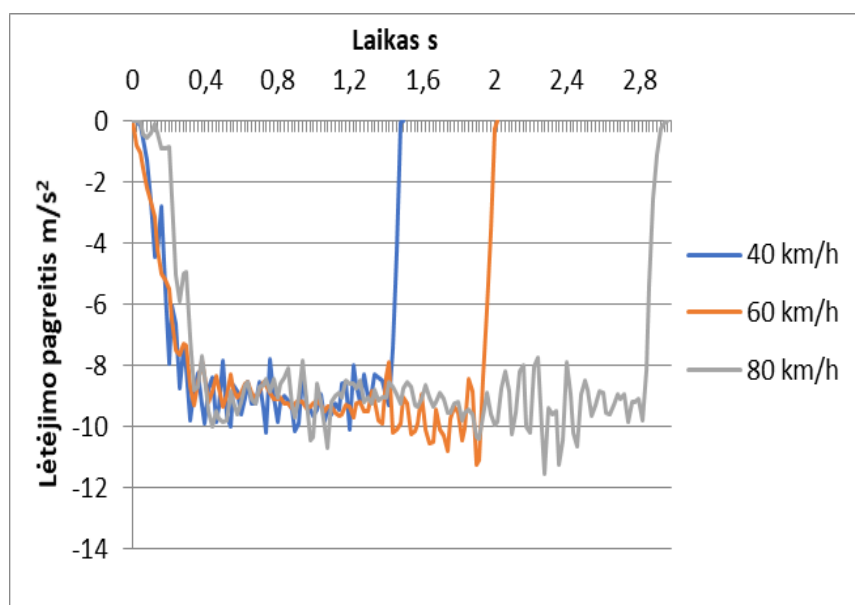
b)

32 pav. Automobilio T5 lėtėjimo pagreičio duomenys su žieminėmis padangomis ant sauso asfalto a) su ABS, b) be ABS

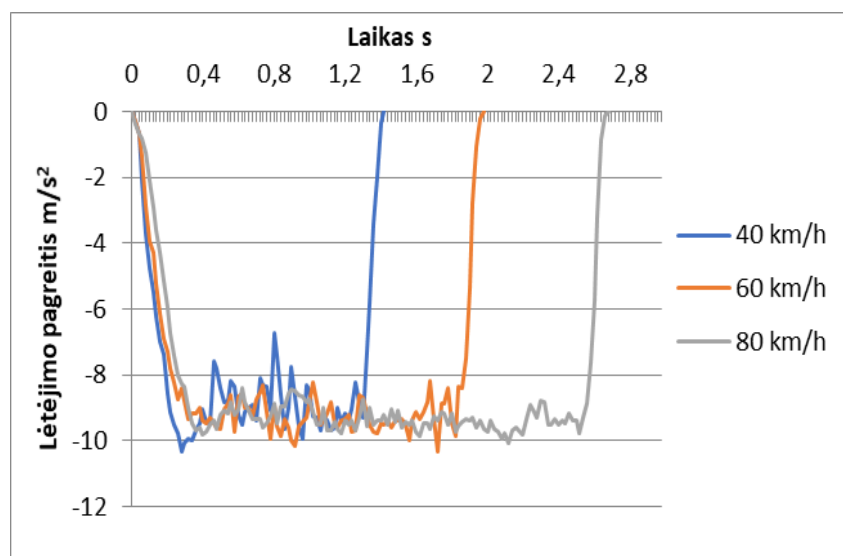
Iš aukščiau pateiktų pavyzdžių galima matyti, kaip keičiasi lėtėjimo pagreitis ir laikas, kuris buvo reikalingas sustoti, esant skirtingiems greičiams, kelio dangoms. Taip pat matoma kaip skiriasi

stabdymas su ir be ABS. Visais atvejais matome, jog stabdymo pagreičio aukščiausia reikšmė pasiekama beveik vienodu laiku esant skirtingiems bandymų pradiniais greičiais. Tai reiškia, kad stabdymo pagreičio reikšmė nepriklauso tiesiogiai nuo greičio. Iš pavyzdžių matoma, kaip skiriasi stabdymas su ir be ABS ypatingai 31 pav. automobilio T5 Caravelle stabdymo ant drėgno asfalto su vasarinėmis padangomis. Lėtėjimo pagreitis stabdant su ABS pasiekia aukščiausia reikšmę ir galima teigti, jog ją išlaiko iki pat stabdymo pabaigos. Tuo tarpu stabdant be ABS matomas skirtumas, kai pasiekama stabdymo pagreičio maksimali reikšmė lėtėjimo pagreitis pradeda mažėti ir sukibimas tarp kelio dangos ir ratų taip pat mažėja. Vertinant laiką, kuris buvo reikalingas sustoti visais atvejais gauti rezultatai parodo, jog stabdant su ABS laikas reikalingas sustoti yra trumpesnis. Didžiausi skirtumai matomi, kai bandymai buvo atliekami ant drėgnos asfalto dangos. Taip pat kai skiriasi stabdymo kelio ilgis, analogiškai ir skiriasi stabdymo laikas. Matoma, kad automobilius stabdant naudojant ABS sistemą šie sustoja 15 - 25 proc. greičiau.

Žemiau pavaizduoti 33 pav. ir 34 pav. automobilio T6 bandymai, kuriuose matoma kaip skiriasi lėtėjimo pagreitis esant tai pačiai kelio dangai, tačiau naudojant žieminės ir vasarines padangas.

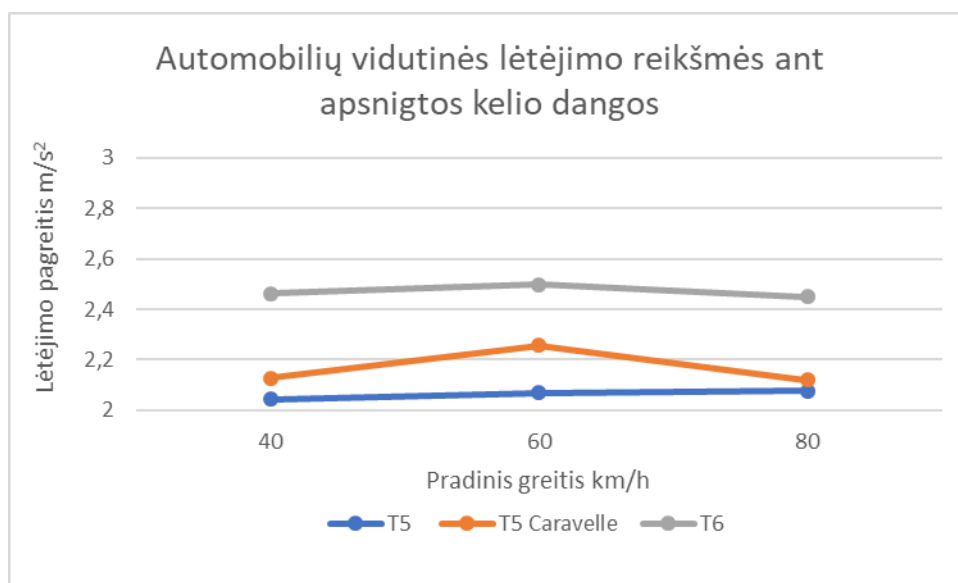


33 pav. Automobilio T6 lėtėjimo pagreičio duomenys su žieminėmis padangomis ant sauso asfalto



34 pav. Automobilio T6 lėtėjimo pagreičio duomenys su vasarinėmis padangomis ant sauso asfalto

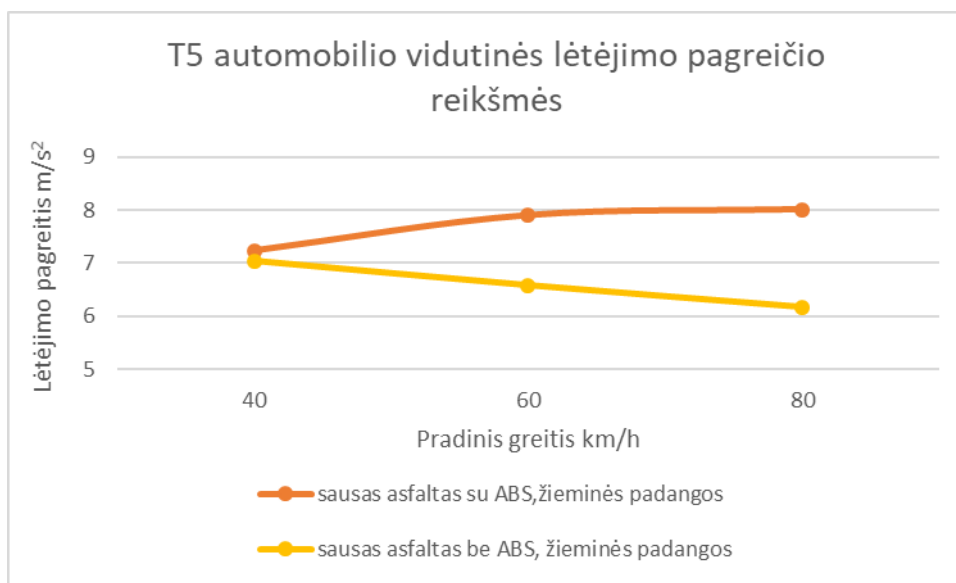
Kadangi bandymo metu vasarinės ir žieminės automobilio T6 padangos buvo naujos, galima padaryti išvadas, kad esant tomis pačiomis sąlygomis, vasarinės padangos geriau sukimba su kelio dangai nei žieminės. Stabdymo pagreitis yra didesnis, taip pat sumažėja stabdymo laikas. Bandymai atliekami su vasarinėmis padangomis turėjo iki 10 proc. geresnius rezultatus. Žemiau pavyzdžiuose pateikta lėtėjimo pagreičio vidutinė vertė automobiliams esant apsnigčiai kelio dangai naudojant žieminės padangas ir ABS sistemą (35 pav.).



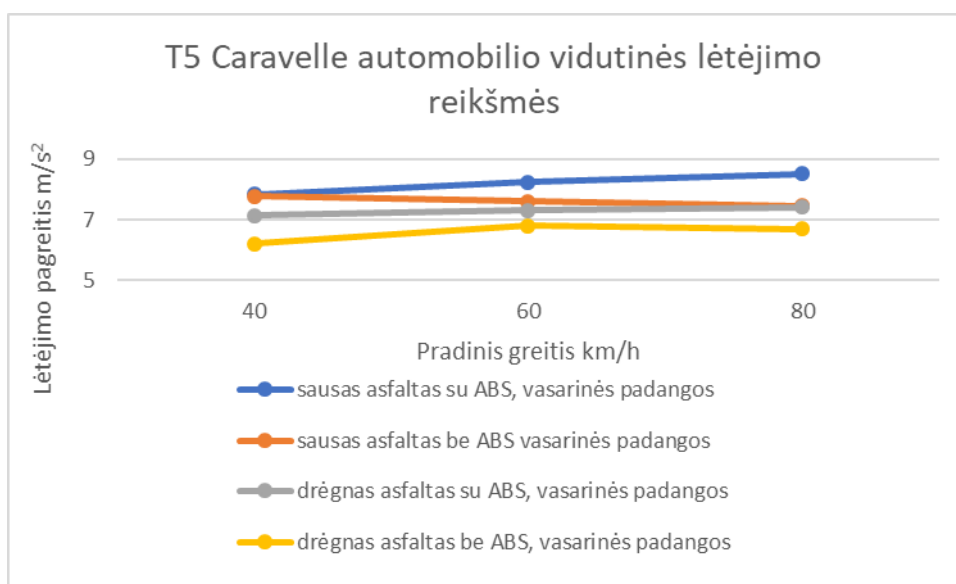
35 pav. Automobilų lėtėjimo pagreičių skirtumai esant apsnigčiai kelio dangai

Iš pavyzdžio matoma, jog naujausias automobilis T6 turėjo geriausią sukibimą tarp kelio ir rato bandymų metu. Lėtėjimo pagreitis esant tokiai kelio dangai mažai skiriasi tarp pradinių greičių ir nesiekia 3 m/s^2 , tačiau lyginant tarp automobilių matomas iki 25 proc. skirtumas taip pat

atitinkamai ir skiriasi stabdymo kelias. Žemiau paveikslėliuose yra parodyti, kokie yra lėtėjimo pagreičio skirtumai esant skirtingiems pradiniais greičiams ir kelio dangoms su ABS ir be ABS sistemos.



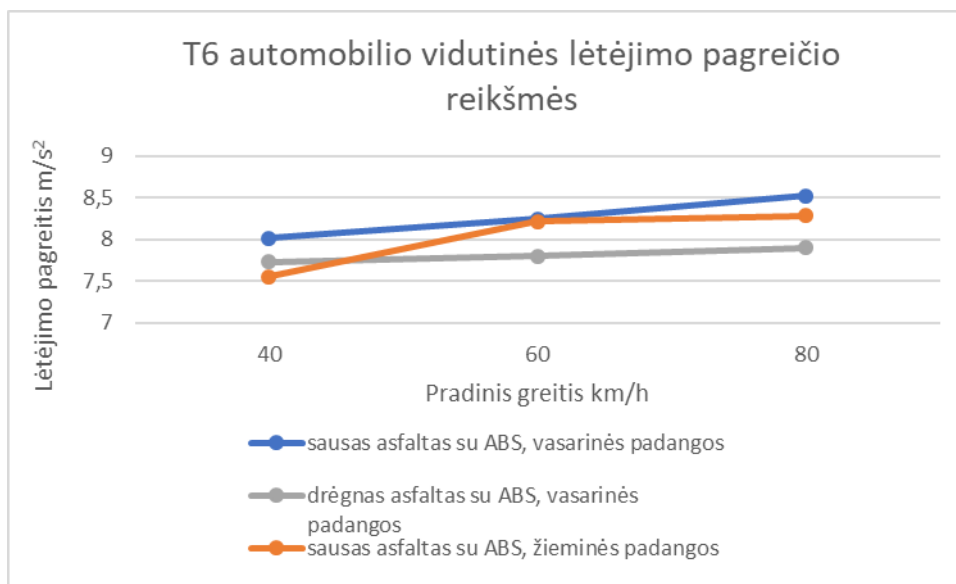
36 pav. Automobilio T5 lėtėjimo pagreičio skirtumai su ABS sistema ir be jos esant sausai kelio dangai ir žieminėmis padangomis



37 pav. Automobilio T5 Caravelle lėtėjimo pagreičiai skirtingomis dangomis ir greičiais

Aukščiau pateiktuose pavyzdžiuose nurodyti atliktų bandymų lėtėjimo pagreičio skirtumai esant skirtingiems greičiams, dangoms, su ir be ABS sistema. Galima sakyti, jog visais atvejais stabdant su ABS lėtėjimo pagreitis didėja kartu didėjant ir greičiui, o kai bandymai buvo atliekami nenaudojant ABS sistemos, lėtėjimo reikšmės yra atvirkščios ir greičiui didėjant jos mažėja. Taip

yra dėl to, kad stabdant su ABS sistema lėtėjimo pagreitis pasiekia ir išlaiko maksimalią stabdymo pagreičio reikšmę iki bandymo pabaigos, o stabdant nenaudojant ABS sistemos maksimalią stabdymo pagreičio reikšmę pasiekia greičiau, tačiau kai ratai praranda sukibimą su kelio danga ir ima slysti, lėtėjimo pagreitis mažėja. Žemiau 38 pav. pateiktas automobilio T6 bandymų su ABS lėtėjimo pagreitis, esant tomis pačiomis sukibimo tarp kelio dangos ir rato sąlygoms, naudojant žieminės ir vasarines padangas, taip pat parodytas stabdymo pagreitis drėgna kelio danga



38 pav. Automobilio T6 lėtėjimo pagreičiai skirtingomis dangomis ir greičiais

Atlikus bandymus, kurie yra pateikti 38 pav. nustatyta, jog esant sausai kelio dangai, tačiau naudojant skirtingų sezonų padangas skiriasi stabdymo pagreitis, kuris pasiekė aukštesnę reikšmę, kai buvo naudojamos vasarines padangos bei sutrumpėjo stabdymo kelio ilgis ir stabdymo laikas. Taip pat stabdant drėgna kelio danga stabdymo pagreitis yra žymiai mažesnis, nei stabdant sausa kelio danga.

2.6. Tyrimo apibendrinimas

Apibendrinant visą tyrimą, padaroma išvada, jog stabdymo kelio ilgis stabdant ekstremaliai labiausiai priklauso greičio ir trinties (sukibimo) koeficiento tarp kelio dangos ir rato. Matoma, jog stabdant ant skirtingų kelio dangų kaip, pavyzdžiui, apsnigto asfalto ir sauso asfalto, stabdymo kelias skiriasi kelis kartus. Taip pat atvirkščiai skiriasi stabdymo pagreitis ir stabdymo laikas - kuo didesnis lėtėjimo pagreitis, tuo mažesnis stabdymo kelias ir laikas. Taip pat stabdymo rezultatai ant drėgnos kelio dangos yra prastesni nei ant sausos. Tyrimo metu atliktiems bandymams ABS įtaka labai didelė. Naudojant šią sistemą rezultatai yra žymiai geresni, didžiausiais pradiniais greičiais net iki 25 proc. Didžiausia ABS įtaka buvo matoma atliekant tyrimus ant drėgnos kelio dangos. Taip

pat matoma, kaip skiriasi bandymai naudojant skirtingų sezonų padangas ant tos pačios kelio dangos, kurių rezultatai beveik visais atvejais yra geresni nei naudojant žieminės padangas. Didžiausi skirtumai matomi T6 automobilio stabdymuose, kurie skiriasi iki 10 proc. Kadangi automobiliai yra labai panašios masės, vis tiek matosi skirtumas, jog naujausio automobilio T6 beveik visais atvejais stabdymo rezultatai buvo geriausi, ypatingai tai pasireiškia kai bandymai buvo atliekami ant apsnigtos kelio dangos. Lyginant automobilius T5 ir T5 Caravelle buvo gauti rezultatai, jog daugelį stabdymo bandymų atvejų geresnius rezultatus parodo T5 Caravelle. Esant realiomis sąlygomis stabdant be ABS sistemos reikėtų bandyti neleisti ratams užsiblokuoti, o pajaučiant, kad ratai užsiblokavo ir automobilis pradėjo slysti, geriausiai būtų atleisti šiek tiek stabdžio pedalą, taip automobilis greičiau sustos ir išliks valdomas.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Apibendrinus visų autorių tyrimo rezultatus galima teigti, jog buvo atlikta daug transporto priemonių stabdymo kelio ilgiui nustatyti tyrimų, ir stabdymo kelio ilgis gali būti nustatytas ne vienu metodu. Analizuojant literatūrą nebuvo pastebėta jokio tyrimo, kuris palygintų lengvųjų mikroautobusų, kurie yra panašios masės, taip pat nebuvo tirta tų pačių automobilių stabdymo kelio ilgio įvertinant stabdymą su ABS sistema bei be jos.
2. Vertinant stabdžių sistemas lengviesiems automobiliams nagrinėjami diskinių ir būgninių stabdžių sistemų privalumai ir trūkumai. Įvertinius tiek būgninius, tiek diskinius stabdžius yra pastebimi skirtumai. Dėl paprastesnės konstrukcijos ir eksploatavimo savybių, dažniausiai lengviesiems automobiliams renkamosi diskines stabdžių sistemas. Tiriant automobilius su ABS sistema bei be jos matoma, jog automobiliuose be stabdžių antiblokavimo sistemos stabdymo pagreitis mažėja esant didesniai pradiniam greičiui, o stabdant automobilį su ABS sistema stabdymo pagreitis didėja esant didesniai pradiniam greičiui. Tai vyksta dėl to, kad aukščiausia stabdymo pagreičio reikšmė pasiekama prieš pat ratams užsiblokuojant. Kai ratai užsiblokuoja sukibimas tarp kelio ir ratų mažėja, dėl to mažėja ir stabdymo pagreitis. Atliekant tyrimus kai automobilis buvo stabdomas ekstremaliai, visais atvejais tyrimas parodė, jog stabdymas naudojant ABS sistemą yra efektyvesnis, o daugiausiai įtakos turėjo kai stabdymų bandymai buvo atliekami ant drėgnos kelio dangos - rezultatai buvo geresni 15 – 25 procentų.
3. Vienas iš daugiausiai stabdymo kelio ilgiui įtakos turintis faktorius yra kelio danga ir sukibimo koeficientas tarp jos ir rato. Lyginant eksperimentiškai gautus rezultatus pastebėta, jog stabdymus atliekant ant skirtingų kelio dangų rezultatai skiriasi net iki trijų kartų. Pavyzdžiui, automobilio T6 stabdymo kelias esant 80 km/h pradiniu greičiu su žieminėmis padangomis ant apsnigtos ir sausos kelio dangos pagal atliktus bandymus skiriasi beveik trimis šimtais procentų. Lyginant sausą asfalto dangą ir drėgną asfalto dangą matomi rezultatai, jog sausa danga turi geresnį sukibimą ir stabdymo kelio rezultatai skiriasi apie dvidešimt procentų.
4. Kadangi automobilio padanga yra vienintelis automobilio elementas, kuris liečiasi su kelio danga ir atlikus tyrimą, parodė, jog automobilio padangos turi didelę įtaką automobilio lėtėjimui ir prieitą išvados, jog per daug nudėvėtos padangos ar netinkamai pagal sezoną naudojamos padangos, ilgina stabdymo kelią. Remiantis tyrimo duomenimis matoma, jog stabdymas automobiliais sausa kelio danga naudojant vasarines padangas parodo iki dešimt procentų geresnius rezultatus nei stabdymas naudojant žieminės padangas.
5. Atliktus eksperimentinę tyrimų analizę matoma, jog daugiausiai stabdymo keliui įtaką daro greitis, lyginant rezultatus tarp 40 km/h ir 80 km/h pradinių greičių, stabdymo kelias skiriasi apie keturis kartus. Lyginant teoriškai gautus ir eksperimentiškai gautus rezultatus, matoma,

jog rezultatai visais atvejais yra labai panašūs, kai lyginami stabdymo kelio ilgio rezultatai nenaudojant ABS sistemas, tačiau galima sakyti visais atvejais teoriniai rezultatai yra didesni nei lyginant stabdymo kelio bandymus naudojant ABS sistemą, kur rezultatai skiriasi iki 25 procentų. Ypatingai didžiausi skirtumai matomi, kai yra lyginami teoriškai gauti rezultatai su eksperimentiniais ant drėgnos kelio dangos. Kadangi automobiliai yra beveik identiškos masės, lyginant juos tarpusavyje matoma, kad geriausius rezultatus parodė 2017 metų gamybos T6 automobilis, jam naudojamos tiek žieminės tiek vasarinės padangos tyrimo metu buvo visiškai naujos. Lyginant 2008 gamybos metų automobilį T5 ir 2014 gamybos metų T5 Caravelle automobilį, tyrimas parodė, jog geresni stabdymo kelio ilgio rezultatai yra T5 Caravelle automobilio.

6. Apibendrinant visą tyrimą ir padarytas išvadas rekomenduojama visada naudoti automobilio padangas pagal paskirtį, taip pat atsižvelgti į važiuojamą kelio dangą, ypač svarbu pasirinkti saugų greitį. Rekomenduojama automobilius eksploatuoti tik su tvarkingomis stabdžių sistemomis. Eksploatuojant automobilius, kurie neturi ABS sistemos, reikėtų neleisti stabdymo metu užsiblokuoti ratams, o siūloma stabdyti lengvais stabdžių pedalo paspaudimo impulsais. Taip bus neprarandamas sukibimas tarp rato ir kelio dangos ir automobilis išliks valdomas. Atsižvelgus į tai bus išvengta daugiau eismo ir nelaimingų įvykių.
7. Siekiant išsamesnės temos analizės, yra rekomenduojama, ištirti kaip keičiasi automobilio stabdymo kelio ilgis, vertinant automobilio pakrovimo lygį, imituojuojant vežamus keleivius. Taip pat siūloma atlikti tyrimą, taikant eksperimentinius automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimų bandymus nuokalne ir įkalne. Tuo pačiu, rekomenduojama atliekant eksperimentinius tyrimus stebėti kaip keičiasi automobilių lėtėjimo pagreitis, nustatant skirtingus pradinis kriterijus.

LITERATŪRA

1. Angelo C. M., Machado F.A.C., Schön C. G. (2014). *The role of tire size over the fatigue damage accumulation in vehicle bodies*. Procedia Materials Science 3, 331 – 336.
2. Bogdevičius M., Prentkovskis O. (1999). *Transporto priemonės sąveika su kelio dangos paviršiumi*. Tarptautinės konferencijos TRANSBALTICA-99 mokslinių pranešimų rinkinys. Vilnius: Technika, 209 - 214.
3. Bokare P. S., Maurya A. K. (2016). *Acceleration-Deceleration behaviour of Various Vehicle types*. Transportation Research Procedia, volume 25, 4733 – 4749.
4. Bruhn D., Gerigk P. (2006). *Automobiliai*. Jotema.
5. Buteliauskas S. (2008). *Automobilių sandara ir priežiūra: Mokomoji knyga*. Vilnius: Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija.
6. Choa J. R., Choia J. H., Yooa W. S., Kimb G. J., Woob J. S. (2006). *Estimation of dry road braking distance considering frictional energy of patterned tires*. Finite Elements in Analysis and Design 42, 1248 – 1257.
7. Du H., Li B., Li W. (2014). *Comparative study of vehicle tyre-road friction coefficient estimation with a novel cost-effective method*. Vehicle System Dynamics: international journal of vehicle mechanics and mobility, vol. 52, (8), 1066 - 1098.
8. Europos sąjungos padangų ženklavimas ir padangų slėgis. [žiūrėta 2018-03-24].
Prieiga per internetą
<https://padangos123.lt/naudinga-informacija/apie-padangas/viskas-apie-slegi-padangoje/>
9. Giedra K., Kirka A., Slavinskas S. (2006). *Automobiliai*. Kaunas: Technologija.
10. Greibe P. (2007). *Determination of braking distance and driver behaviour based on braking trials*. Trafitec, 1 – 16.
11. Jurkauskas A. (1998). *Automobilio eksploatacinės savybės*. Kaunas.
12. Kekys R. (2014). *Mechanika. Mechaninis apdirbimas: nesudėtingų transporto priemonių konstrukcija ir techninė priežiūra*. Kaunas.
13. Kudarauskas A. (2007). *Analysis of emergency braking of a vehicle*. Transport, 22:3, 154-159.
14. Kudarauskas N. (2009). *Influence of the construction of car brakes on its stability during braking Transbaltica*. Proceedings of the 6th International Scientific Conference TRANSBALTICA 2009, 1 – 5.
15. Levulytė L. (2014). *Automobilio padangos ir kelio dangos sąveikos įtaka automobilio lėtėjimo parametrų*. 17 – osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos „Transporto inžinerija ir vadyba“ straipsnių rinkinys, 118 – 124.

16. Lėtėjimo pagreičio matuoklio programa. [žiūrėta 2018 01 05].
Prieiga per internetą
<http://keuwl.com/Accelerometer/>
17. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. (2014). *Dėl automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklių KPT SDK 07 patvirtinimo*. (2008 sausio 21 d. Nr. V-7).
18. Ma F., Zheng T., Wang L. (2011). *Research on road identification method in Anti-lock Braking System*. Procedia Engineering 15 (2011), 194 – 198.
19. Padangų išmatavimai ir žymėjimas. [žiūrėta 2018-03-07].
Prieiga per internetą
<https://padangos123.lt/naudinga-informacija/apie-padangas/padangu-ismatavimai-ir-zymejimas/>
20. Pagrindiniai ABS veikimo principai. [žiūrėta 2018-01-04].
Prieiga per internetą
<https://www.scienceabc.com/innovation/abs-sensors-anti-lock-breaking-system-technology-cars-work.html>
21. Petkevičius. K. (2005). *Automobilių kelių sisteminė analizė*. Mokomoji knyga. Rankraštis.
22. Ružinskas A. (2017). *Padangos protektoriaus elementų sąveikos su ledu modeliavimas ir tyrimas*. Mokslas – Lietuvos ateitis, 9(5): 565 – 570.
23. Ružinskas A. (2018). *Automobilio rato sąveikos su sniegu ir ledu padengta kelio danga modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai: daktaro disertacija*. VGTU leidykla „Technika“.
24. Sokolovskij E. (2005). *Experimental investigation of the braking process of automobiles*. Transport, 20:3, 91-95.
25. ST Microelectronics. (2013). *Ultra-compact high-performance eCompass module: 3D accelerometer* [žiūrėta 2018 01 05].
Prieiga per internetą
<http://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm303d.pdf>
26. Trinties ir slydimo koeficientai. [žiūrėta 2017-04-03].
Prieiga per internetą
<http://www.de2.lt/naudinga-informacija/lentel%C4%97s/685-slydimo,-trinties-koeficientai>
27. Valstybinė kelių transporto inspekcija prie Susisiekimo ministerijos. (2018). *Dėl techninių motorinių transporto priemonių ir jų priekabų reikalavimų įsakymas* (2008 m. liepos 29 d. Nr. 2B-290).
28. Vladimirov O.(2005). *Lengvojo automobilio su hidrauline stabdžių sistema stabdymo proceso parametru tyrimas: daktaro disertacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius

29. Wu D., Li J., Shu X., Zha X., Xu B. (2011). *Test Analysis and Theoretical Calculation on Braking Distance of Automobile with ABS*. Computer and Computing Technologies in Agriculture IV, Selected Papers, Part IV, 521 – 527.

PRIEDAI

1 Priedas

Lėtėjimo pagreičio vidutinės reikšmės

		40 km/h	60 km/h	80 km/h			40 km/h	60 km/h	80 km/h
Ant sauso asfalto su žieminėmis padangomis, su ABS m/s²					Ant sauso asfalto su žieminėmis padangomis, be ABS m/s²				
T5	1 bandymas	7,35	7,95	8,20	T5	1 bandymas	6,90	5,93	5,85
	2 bandymas	7,23	7,89	8,24		2 bandymas	7,11	7,04	6,23
	3 bandymas	7,12	7,86	7,59		3 bandymas	7,13	6,77	6,42
T5 Caravelle	1 bandymas	7,14	7,43	7,85	T5 Caravelle	1 bandymas	7,49	7,05	6,82
	2 bandymas	7,23	7,53	7,74		2 bandymas	7,30	6,78	6,37
	3 bandymas	7,27	7,47	7,81		3 bandymas	7,14	7,28	6,73
T6	1 bandymas	6,55	8,06	8,55	T6	1 bandymas	-	-	-
	2 bandymas	8,14	8,42	8,18		2 bandymas	-	-	-
	3 bandymas	7,98	8,17	8,13		3 bandymas	-	-	-
Ant sauso asfalto su vasarinėmis padangomis, su ABS m/s²					Ant sauso asfalto su vasarinėmis padangomis, be ABS m/s²				
T5	1 bandymas	6,89	7,53	7,84	T5	1 bandymas	6,86	6,33	-
	2 bandymas	7,18	7,40	7,99		2 bandymas	6,78	6,83	-
	3 bandymas	6,36	7,49	7,68		3 bandymas	6,78	6,65	-
T5 Caravelle	1 bandymas	7,67	8,27	8,47	T5 Caravelle	1 bandymas	7,66	7,58	7,24
	2 bandymas	8,06	8,10	8,57		2 bandymas	7,85	7,63	7,39
	3 bandymas	7,82	8,34	8,53		3 bandymas	7,80	7,65	7,25
T6	1 bandymas	8,06	8,14	8,56	T6	1 bandymas	-	-	-
	2 bandymas	7,99	8,26	8,44		2 bandymas	-	-	-
	3 bandymas	8,01	8,35	8,56		3 bandymas	-	-	-
Ant drėgno asfalto su vasarinėmis padangomis, su ABS m/s²					Ant drėgno asfalto su vasarinėmis padangomis, be ABS m/s²				
T5	1 bandymas	7,00	6,88	7,71	T5	1 bandymas	6,72	6,78	6,20
	2 bandymas	6,73	6,78	7,36		2 bandymas	6,40	6,18	5,82
	3 bandymas	6,77	6,69	7,54		3 bandymas	6,78	6,48	5,70
T5 Caravelle	1 bandymas	7,17	7,58	7,62	T5 Caravelle	1 bandymas	6,89	6,58	6,20
	2 bandymas	7,20	7,05	6,89		2 bandymas	6,84	6,74	6,44
	3 bandymas	7,06	7,32	7,73		3 bandymas	6,77	6,81	6,68
T6	1 bandymas	7,50	7,63	7,57	T6	1 bandymas	-	-	-
	2 bandymas	7,80	7,90	7,93		2 bandymas	-	-	-
	3 bandymas	7,90	7,86	8,20		3 bandymas	-	-	-

1 priedo tęsinys kitame puslapyje

Ant apsnigtos kelio dangos su žieminėmis padangomis, su ABS m/s^2				
T5	1 bandymas	1,97	1,97	2,14
	2 bandymas	2,12	2,09	1,99
	3 bandymas	2,04	2,15	2,10
T5 Caravelle	1 bandymas	2,15	2,32	1,99
	2 bandymas	2,06	2,11	2,20
	3 bandymas	2,17	2,34	2,17
T6	1 bandymas	2,17	2,46	2,15
	2 bandymas	2,63	2,51	2,43
	3 bandymas	2,59	2,53	2,77

2 Priedas

Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodas

(a – lėtėjimo pagreičio matuoklis; b, c – automobilio greičio nustatymo įrenginiai)



Eksperimentinių tyrimų atlikimo vieta