VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Šarūnas Kairaitis

PADANGŲ GEOMETRIJOS PARAMETRŲ ĮTAKOS AUTOMOBILIO STABILUMUI IR KOMFORTIŠKUMUI TYRIMAS
RESEARCH OF TIRE GEOMETRY PARAMETERS INFLUENCE ON VEHICLE STABILITY AND RIDE COMFORT

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058
Automobilių transporto inžinerijos specializacija
Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
Saugirdas Pukalskas
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Šarūnas Kairaitis

PADANGŲ GEOMETRIJOS PARAMETRŲ ĮTAKOS AUTOMOBILIO STABILUMUI IR KOMFORTIŠKUMUI TYRIMAS
RESEARCH OF TIRE GEOMETRY PARAMETERS INFLUENCE ON VEHICLE STABILITY AND RIDE COMFORT

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058
Automobilių transporto inžinerijos specializacija
Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Vidas Žuraulis _____ _____
(Pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantė lekt. Angelika Petrėtienė _____ _____
(Pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(Parašas)
Saugirdas Pukalskas
(Vardas, pavardė)
2020-01-08
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS
2019-11-04. Nr. 03
Vilnius

Studentui Šarūnui Kairaičiui

Baigiamojo darbo tema: Padangų geometrijos parametrų įtakos automobilio stabilumui ir komfortiškumui tyrimas

patvirtinta 2019 m. spalio mėn. 14 d. dekano potvarkiu Nr. 401ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2021 m. gegužės mėn. 14 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Išanalizuoti padangų geometrijos parametrų (pločio, aukščio) įtaką jų generuojamoms teorinėms sukibimo charakteristikoms. Išanalizuoti automobilių gamintojų tendencijas tam pačiam modeliui numatyti skirtingų išmatavimų ratus, įvertinti automobilio saugumo (stabilumo, valdomumo) ir komfortiškumo aspektus. Atlikti teorinių padangų matematinių modelių bei eksperimentinių tyrimų darbo tema mokslinės literatūros šaltinių apžvalgą. Apibrėžti magistrinio darbo tyrimo tikslą.

2. Atlikti eksperimentinius automobilio dinamikos tyrimus tuo pačiu automobiliu su gamintojų numatytomis skirtingų išmatavimų to paties tipo padangomis. Matuoti automobilio stabilumo ir važiavimo komfortiškumo vertinimo parametrus. Pagal galimybes eksperimentinį tyrimą atlikti laboratorinėmis sąlygomis naudojant automobilio ketvirčio tyrimo stendą.

3. MSC Adams ar kita pasirinkta automobilių dinamikos modeliavimo programa atlikti palyginamąsias automobilio su skirtingų išmatavimų padangomis judėjimo simuliacijas vertinant išilginio ir skersinio stabilumo bei komfortiškumo dinaminius parametrus.

4. Apibendrinti eksperimentinių ir teorinių tyrimų rezultatus, suformuluoti darbo išvadas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:
.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas ..... doc. dr. Vidas Žuraulis
(Parašas) (Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau
.....
(Parašas)
Šarūnas Kairaitis
(Vardas, pavardė)
2020-01-13
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių inžinerijos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas
Pavadinimas **Padangų geometrijos parametrų įtakos automobilio stabilumui ir komfortiškumui tyrimas**
Autorius **Šarūnas Kairaitis**
Vadovas **Vidas Žuraulis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas skirtingos geometrijos padangų poveikis automobilio saugumo ir komfortiškumo charakteristikoms.

Nagrinėjama padangos sandara, kokios jėgos veikia padangą, kokie reiškiniai pasireiškia jėgos veikiamoje padangoje, kokie tyrimai ir eksperimentai buvo atliekami parenkant skirtingus padangos geometrijos parametrus, kodėl gamintojai siūlo skirtingos geometrijos parametrų ratlankius ir jiems pritaikytas padangas, pagal kokius veiksnius pirkėjas gali rinktis padangas ir kas yra reglamentuota pardavėjams.

Atliktos kompiuterinės simuliacijos naudojantis MSC Adams Car programa, parenkant tuo pačiu matematiniu modeliu aprašytas skirtingos geometrijos padangas, atliekant tiesaus stabdymo, posūkio įveikimo, stabdymo posūkio metu, dvigubo juostos keitimo ir posūkio manevru, kuomet posūkio spindulys yra pastovus.

Atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu naudojantis XL Meter prietaisu buvo matuojami automobilio pagreičiai stabdant nuo 100 iki 0 km/h, užmontavus skirtingos geometrijos padangas. Atlikti sukeliamo triukšmo ir vertikalių automobilio svyravimų tyrimai skirtingos geometrijos padangomis važiuojant keturiomis skirtingomis kelio dangomis.

Darbo pabaigoje suformuluotos išvados, atsakančios į iškeltą hipotezę ir darbo uždavinius.

Darbą sudaro 7 dalys: įvadas, mokslinės literatūros ir eksperimentinių tyrimų apžvalga, kompiuterinės simuliacijos, eksperimentiniai tyrimai, išvados, literatūros sąrašas, iliustracijų ir lentelių sąrašas. Darbo apimtis – 58 p. teksto be priedų, 53 iliustr., 10 lent., 21 bibliografinis ir 11 interaktyviųjų šaltinių.

Prasminiai žodžiai: Padangos geometrija, skirtingos padangos, padangą veikiančios jėgos, padangos kontakto plotas, padangos plotis, padangos aukštis, padangos geometrijos palyginimas, sukibimas tarp padangos ir kelio, adhezija, histerezė, padangos stabdymas.

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

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

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

Title **Research of tire geometry parameters influence on vehicle stability and ride comfort**

Author **Šarūnas Kairaitis**

Academic supervisor **Vidas Žuraulis**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In the Master's degree graduation thesis tire geometry parameters influence on vehicle stability and ride comfort is researched: tire structure, tire acting forces, occurring phenomenona in tires affected by force, researches and experiments performed while using different tire geometry parameters, reasons why manufacturers' offer different rim and tire combinations, factors from which customer can choose tires and commodity regulations for the sellers.

During the research computer simulations were performed using MSC Adams Car program, choosing different geometry tires written by the same mathematical model. The comparison was achieved after calculation of straight braking, turn-in, turn during brake, double lane changing and turn at the constant radius simulations.

During experimental study was used XL Meter device for braking from 100 to 0 km/h while using the same manufacturers' tires with different geometry. In thesis was performed noise and vertical vehicle fluctuation experiments for different geometry tires driving on four different road surfaces.

In the end of research conclusions were made which answer to raised hypothesis and problems.

The research consists of 7 parts: introduction, scientific literature and experimental research review, simulations, experimental studies, conclusions, list of literature, list of pictures and tables. Thesis volume – 58 pages without accessories, 53 pictures, 10 tables, 21 bibliographic and 11 interactive sources.

Keywords: tire geometry, different tires, acting forces in the tire, tire contact patch, tire width, tire height, tire geometry comparison, tire and road grip, adhesion, hysteresis, braking of the tire.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 7
LENTELIŲ SĄRAŠAS 9
SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS 10
ĮVADAS 11
1. MOKSLINĖS LITERATŪROS IR EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA 12
1.1. Bendra informacija apie padangas, charakteristikos ir žymėjimas 12
1.2. Bendra informacija apie ratlankius ir rato sąvoka 14
1.3. Padangos ir kelio sukibimas 14
1.4. Padangos pločio parinkimas pagal įvairius parametrus 16
1.5. Pagrindinės padangą veikiančios jėgos 17
1.6. Automobilio važiavimo savybių gerinimas vadovaujantis *plus sizing* principu 23
1.7. Padangos sukeliamo triukšmo tyrimas 26
1.8. Padangų ženklinimas 27
1.9. Padangų testavimų apžvalga 30
2. AUTOMOBILIO JUDĖJIMO KOMPIUTERINĖS SIMULIACIJOS *ADAMS CAR* PROGRAMA 33
2.1. Tiesaus stabdymo manevras 33
2.2. Posūkio įveikimo manevras 36
2.3. Stabdymo posūkio metu manevras 38
2.4. Dvigubas juostos keitimo manevras 40
2.5. Posūkio manevras, kada posūkio spindulys yra pastovus 42
3. EKSPERIMENTINIAI AUTOMOBILIO DINAMIKOS TYRIMAI 45
3.1. Tiesaus stabdymo nuo 100 iki 0 km/h išilginio pagreičio eksperimentinis tyrimas 46
3.2. Padangų sukeliamo triukšmo matavimas važiuojant skirtingomis dangomis eksperimentinis tyrimas 50
3.3. Vertikalių svyravimų matavimas važiuojant skirtingomis dangomis eksperimentinis tyrimas 52
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS 55
LITERATŪROS SĄRAŠAS 57
PRIEDAI 59
1 priedas. Padangų gamintojų deklaruojamų savybių klasifikavimas pagal reglamentą 60
2 priedas. *Auto Bild* specialistų atliktų tyrimų rezultatai 61
3 priedas. Kompiuterinėse simuliacijose naudoto automobilio duomenys 62
4 priedas. Kompiuterinėse simuliacijose naudotų padangų modelių specifikacijos 63
5 priedas. Išilginiai automobilio stabdymo pagreičiai eksperimentinio tyrimo metu pagal padangos geometrinius matmenis 66
6 priedas. Padangų sukeliamo triukšmo duomenys 67
7 priedas. Vertikalūs svyravimai/poslinkiai pagal važiavimo greitį ir skirtingas kelio dangas 68

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Padangos sudedamosios dalys 12
2 pav. Rato matmenys 12
3 pav. Skirtingi padangų matmenys išlaikant tą patį išorinį skersmenį 13
4 pav. Padangos kontakto plotas su kelio paviršiumi 15
5 pav. S klasės *Mercedes-Benz* gamintojo rekomenduojamų padangų pločiai pagal modelį 17
6 pav. Jėgos ir momentai veikiantys ratą 18
7 pav. Padangos deformacijos skirtingomis kryptimis 19
8 pav. Padangos antspaudas, kada padangą veikia šoninė jėga stovint ir riedant 19
9 pav. Riedėjimo varžos koeficiento priklausomybė procentais nuo vasarinių padangos matmenų 20
10 pav. Adhezijos ir histerezės jėgų veikiamos padangos deformacijos 21
11 pav. Padangos riedėjimo pasipriešinimo priklausomybė nuo slėgio padangose 22
12 pav. Statinio stabilumo faktoriaus tyrimas, atliekant tyrimą su skirtingo dydžio ratlankiais ir padangomis 24
13 pav. Ratų pasukimo kampas per laiką. Tyrimas atliekamas stovinčiam automobiliui 25
14 pav. Padangų etiketės ženklinimas pagal naujausią (ES) 2020/740 reglamentą 28
15 pav. Stabdymo ant šlapios dangos indeksai pagal padangų matmenis 29
16 pav. Padangų sukeliamos triukšmas pagal padangų matmenis 30
17 pav. Stabdymo ir šoninio stabilumo testavimas sausos ir šlapios kelio dangos sąlygomis 31
18 pav. Auto Bild ekspertų atliktų testų rezultatai stabdant 100-0 km/h ant sausos dangos 31
19 pav. Auto Bild ekspertų atliktų testų rezultatai stabdant 80-0 km/h ant šlapios dangos. 32
20 pav. Kompiuterinėse simuliacijose naudoto automobilio modelis 33
21 pav. Padangos santykinis išilginis slydimas, tenkantis priekiniam kairiam ratui stabdymo metu 34
22 pav. Padangos santykinis slydimas, tenkantis priekiniam kairiajam ratui stabdymo metu neužblokuotiems ratams 34
23 pav. Išilginės sukibimo jėgos tenkančios priekiniams ratams stabdymo metu 35
24 pav. Padangos slydimas, tenkantis galiniam kairiam ratui stabdymo metu 35
25 pav. Padangos stabdymo greitis stabdymo metu 36
26 pav. Automobilio lėtėjimo pagreitis 36
27 pav. Padangoms tenkantis šoninis pagreitis posūkio įveikimo metu 37
28 pav. Padangoms tenkantis kampinis greitis posūkio įveikimo metu 37
29 pav. Padangoms tenkantis slydimo kampas posūkio įveikimo metu 38
30 pav. Priekinei kairei padangai tenkanti šoninė sukibimo jėga 38
31 pav. Šoninis pagreitis stabdymo posūkyje metu 39
32 pav. Kampinis greitis stabdymo posūkyje metu 39

33 pav. Padangoms tenkantis slydimo kampas stabdymo posūkyje metu 39
34 pav. Priekinei kairei padangai tenkanti skersinė sukibimo jėga stabdymo posūkyje metu 40
35 pav. Važiuoklės poslinkiai dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu..... 41
36 pav. Padangoms tenkantis šoninis pagreitis dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu 41
37 pav. Padangos nuokrypio (pasisukimo) kampas dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu.... 41
38 pav. Padangos tenkančios skersridės kampas dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu..... 42
39 pav. Priekinę kairiąją padangą veikiančios šoninės jėgos dydis dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu 42
40 pav. Skersridės kampas posūkio esant pastoviai spinduliui metu..... 43
41 pav. Skersinio sukibimo jėga, tenkanti priekinei kairiajai padangai posūkio metu, esant pastoviam spinduliui 43
42 pav. Automobilis 2001 m. MINI ONE ir prietaiso XL Meter montavimo vieta automobilyje ... 45
43 pav. Gamintojo siūlomi ratlankiai ir tyrimo padangos..... 46
44 pav. Stabdymo eksperimentinio tyrimo kelio dangos nuotrauka 46
45 pav. *XL Meter* ekrane atvaizduoti stabdymo kelio ilgiai ir automobilio greičiai..... 48
46 pav. Išilginio pagreičio pagal laiką grafikas stabdymo eksperimentinių tyrimo metu, kai skirtumas tarp stabdymo kelio yra mažiausias..... 49
47 pav. Išilginio pagreičio pagal laiką grafikas stabdymo eksperimentinių tyrimo metu, kai skirtumas tarp pradinio greičio yra antras pagal mažumą..... 49
48 pav. Išilginio pagreičio pagal laiką grafikas stabdymo eksperimentinių tyrimo metu, kai skirtumas tarp stabdymo laiko yra antras pagal mažumą..... 50
49 pav. Mobiliosios programėlės *Sound Meter* darbinis langas ir telefono vieta matavimo metu ... 51
50 pav. Kelio dangų nuotraukos, kuriomis važiuojant buvo tirtas padangų sukeliamas triukšmas.. 51
51 pav. Padangų sukeliamas triukšmas dB, pagal skirtingas kelio dangas..... 52
52 pav. Mobiliosios programėlės *Vibrometer* darbinis langas..... 53
53 pav. Vertikalūs kėbulo poslinkiai pagal skirtingas kelio dangas 53

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Ratlankio pagrindiniai duomenys su pavyzdžiu 14
2 lentelė. Priekiniais ratais varomos TP galios suderinimas su padangų pločiu 17
3 lentelė. Visais ratais varomos TP galios suderinimas su padangų pločiu 17
4 lentelė. Padangų parinkimas pagal gamintojo pateikiamą informaciją 23
5 lentelė. Padangų ir ratlankių kombinacijos, naudotos dinamiškumo tyrime 24
6 lentelė. Automobiliui *Ford F-150* 2013 m. rekomenduojami ratlankiai ir padangos 25
7 lentelė. Padangų sukeliamo triukšmo ribinės vertės pagal kategoriją 27
8 lentelė. Rodiklių lentelė, pagal kurią parenkama padangos sukibimo su šlapia danga klasė 29
9 lentelė. Eksperimentiniam tyrimui pasirinkto automobilio ir naudotų ratų parametrai 45
10 lentelė. Prietaiso ekrane rodomi pradiniai bandymų rezultatai 47

SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS

MFDD (angl. *Mean Fully Developed Deceleration*) – tai yra standartinis matavimo vienetas, skirtas judėjimo pagreičiams matuoti ir apskaičiuojamas pagal UNECE reguliacijos 13 straipsnį;

SSF – statinis stabilumo faktorius;

TP – transporto priemonė.

ĮVADAS

Automobilio sukibimui su kelio danga didžiausią įtaką turi padanga, kadangi tai yra vienintelis elementas, turintis kontaktą tarp kelio dangos ir automobilio. Norint pagerinti sukibimą, padangos yra gaminamos iš įvairių medžiagų mišinių, su skirtingu protektoriaus raštu, skirtingo minkštumo ar skirtingo tipo padangos. Tačiau kokią įtaką automobilio saugumui ir komfortiškumui daro skirtingos padangos geometrija? Kaip kinta automobilio dinamiškumas padidinus padangos plotį ir sumažinus aukštį, tuo pačiu pritaikant šiek tiek modifikuotą ratlankį?

Yra atlikta daug tyrimų, tiriant padangos sudėtį, automobilių saugumo sistemų veikimą ir panašiai, tačiau pasigendama praktinių tyrimų, kurie atsakytų, kokią įtaką daro padangos geometrijos koregavimas.

Šio baigiamojo darbo tikslas yra atsakyti, ar platesnio profilio padangos suteikia automobiliui didesnį stabilumą posūkiuose ir geresnių stabdymo savybių, lyginant su siauresnėmis padangomis, ir koks skirtumas yra jaučiamas vairuotojo bei keleivių komfortiškumui.

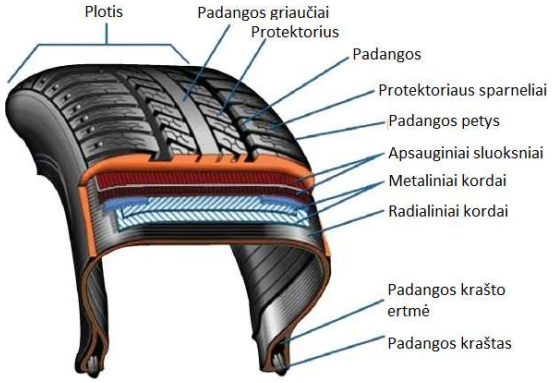
Šio darbo uždaviniai yra:

1. Išanalizuoti padangų geometrijos parametrų įtaką jų generuojamoms teorinėms charakteristikoms.
2. Išanalizuoti automobilių gamintojų tendencijas tam pačiam modeliui numatyti skirtingų matmenų ratus ir šių tendencijų poveikį važiavimo stabilumui bei komfortui.
3. Atlikti teorinių padangų matematinių modelių tyrimus ir kompiuterines automobilio judėjimo numatytais manevrais simuliacijas.
4. Atlikti automobilio stabdymo efektyvumo su skirtingų matmenų padangomis eksperimentinius tyrimus.
5. Suformuluoti darbo išvadas ir įvertinti skirtingų matmenų padangų nulemiamą važiavimo automobiliu komforto lygį.

1. MOKSLINĖS LITERATŪROS IR EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA

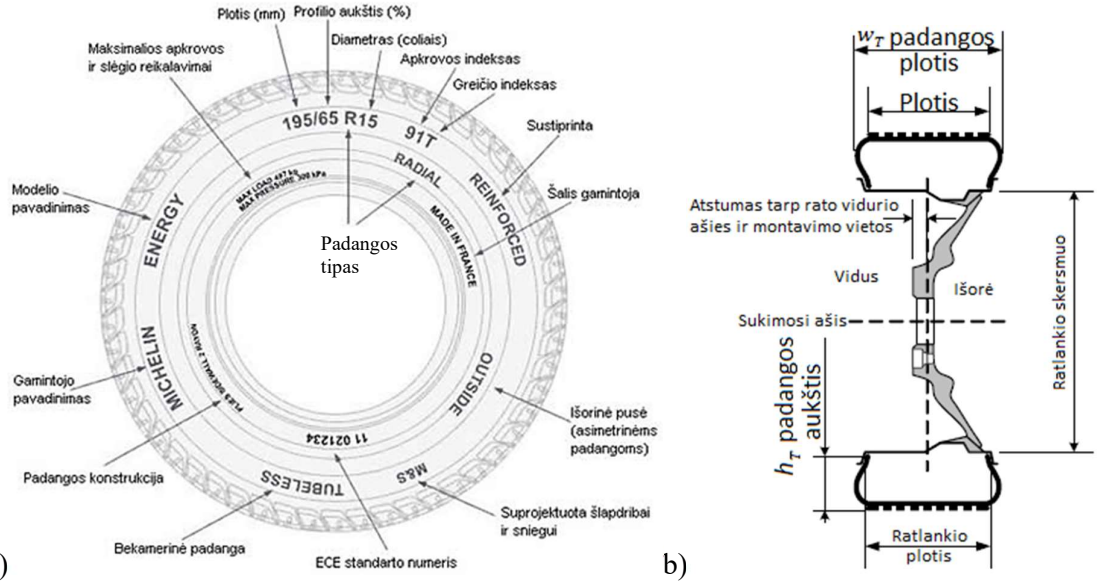
1.1. Bendra informacija apie padangas, charakteristikos ir žymėjimas

Pneumatinės padangos pagrindinis darbas yra jėgų perdavimas tarp kelio ir transporto priemonės (toliau TP). Padangos yra reikalingos sukurti būtinas jėgas, kurios valdo TP, todėl tai yra vienas iš svarbiausių TP komponentų. 1 pav. yra pavaizduotos padangos sudedamosios dalys.



1 pav. Padangos sudedamosios dalys (*www.azom.com/article.aspx...*)

Padangoms yra privalomas žymėjimas ant šono. Tai yra pagrindines padangos charakteristikas vaizduojanti informacija (2a pav.). Svarbiausia informacija, pateikiama ant padangos šono yra padangos matmenys (šiuo atveju 195/65R15). Vidutinė padangos masė lengviesiems automobiliams yra 10–12 kg. 2b pav. yra pavaizduotas pjūvis padangos, užmontuotos ant ratlankio su pagrindiniais parametrais. Padangos aukštis h_T yra skaičius, kuris yra pridedamas prie ratlankio skersmens ir gaunamas rato skersmuo. Padangos plotis w_T yra plačiausia rato vieta, kada nėra apkrovos ratui (Jazar 2009).



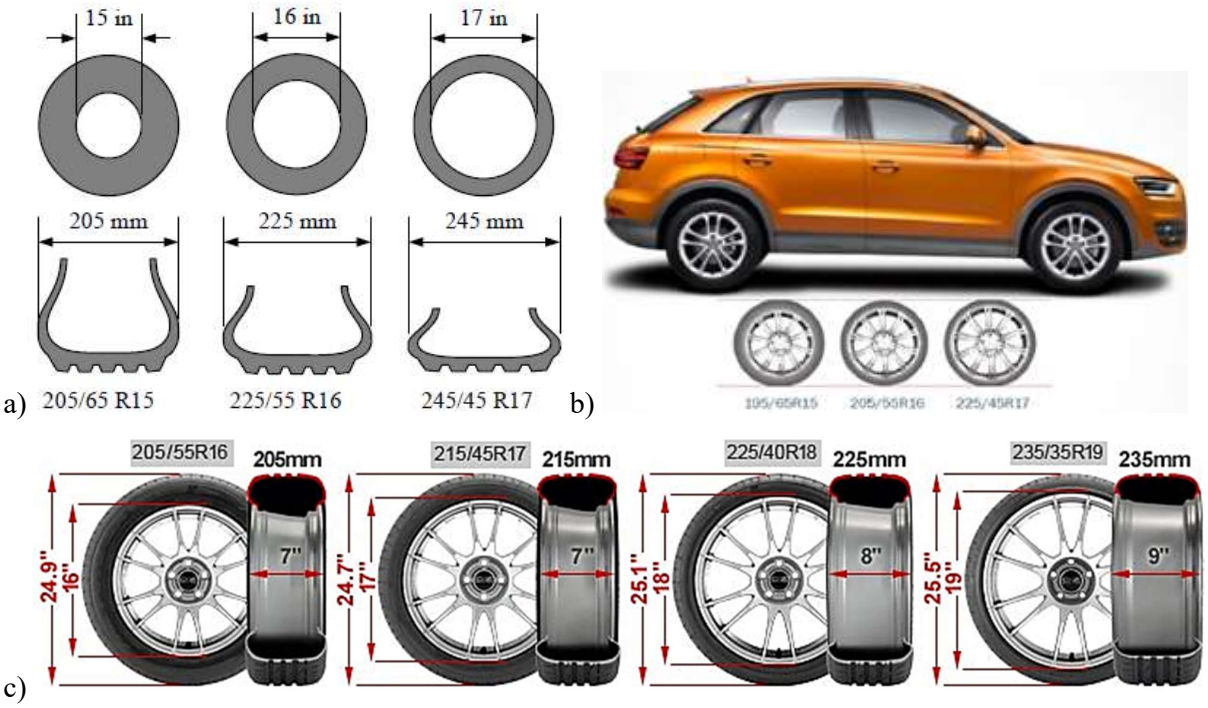
2 pav. Rato matmenys: a) Padangos charakteristikas vaizduojanti informacija ant padangos šono (*automanas.autobilis.lt*); b) ratlankio skerspjūvis su pagrindiniais matmenimis (Jazar 2009)

Padangos plotis yra matuojamas milimetrais, o padangos aukščio žymėjimas yra pločio santykis su aukščiu. 2 pav. padangos aukštis yra žymimas santykiu 0,65, vadinasi, padangos aukštis yra (Leister 2018):

$$h_T = w_T \cdot 0{,}55 = 195 \cdot 0{,}55 = 107{,}25 \text{ mm}; \quad (1.1)$$

Padangos matmenys priklauso nuo ratlankio, ant kurio yra montuojama padanga. Padangos, kurių kraštinių santykis yra 50 ir daugiau, ratlankio plotis vidutiniškai yra 70 % padangos pločio ir apvalinamas per 0,5 col. Kaip pavyzdys, P255/50R16 padangoms yra parenkamas 7×16 ratlankis.

Padangų ir ratlankių gamyboje vyrauja ,,Plus 1“ (+1) projektavimo būdas, kuomet yra priimta, kad padidinus ratlankio skersmenį 1 col, padangos plotis turi būti padidinamas 20 mm, tuo pačiu atitinkamai sumažinamas padangos aukštis (3 pav.). Naudojant žemesnio profilio padangą, yra gaunamas geresnis įsibėgėjimas, stabdymas, greitesnis ratų pasisukimas ir didesnis šoninis stabilumas, tačiau TP tampa ,,kietesnė“ ir išauga degalų sąnaudos. Tačiau labai svarbu neužmiršti padangų ir ratlankių suderinimo, kadangi tai gali sumažinti stabilumą, nes įveikiant posūkius dalis padangos gali prarasti apkrovos jėgą ir sukibimą su kelio danga (Toma 2016).



3 pav. Skirtingi padangų matmenys išlaikant tą patį išorinį skersmenį: a) ,,Plus 1“ koncepcija pritaikyta skirtingų matmenų padangoms (Jazar 2009); b) skirtingų ratų matmenų siūlymas konkrečiam automobiliui (*carwale.com/fetures/how_tyre_size*...); c) skirtingų ratų matmenų pavyzdžiai (*autoevolution.com/news/bigger-wheels*-...)

Padanga – tai ilgainiui ištobulintas inžinerinis produktas, pagamintas iš kaučiuko ir serijos sintetinių medžiagų, išlydytų kartu. Tekstilės siūlės ir plieniniai kordai yra komponentai, kurie išlaiko padangos formą ir neleidžia padangos dalims atsiskirti eksploatacijos metu.

1.2. Bendra informacija apie ratlankius ir rato sąvoka

Kada padanga yra užmontuota ant ratlankio ir yra pripučiama, šis surinkimo vienetas vadinamas ratu. Ratlankis yra metalinė cilindro formos detalė, ant kurios padanga yra montuojama. Dauguma keleivinių automobilių turi plieninius ratlankius, kurie pagaminti suvirinant diską ir karkasą, tačiau vis labiau populiarėja lengvo lydinio aliuminio ir magnio ratlankiai (Jazar 2009). Pagrindiniai ratlankio duomenys yra pavaizduoti 1 lentelėje.

1 lentelė. Ratlankio pagrindiniai duomenys su pavyzdžiu (Jazar 2009)

	Ratlankio plotis	Flanšo formos kodas	Ratlankio skersmuo	Atstumas tarp rato vidurio ašies ir montavimo vietos (išnešimas)	Varžtų skaičius	Montavimo skylių išsidėstymo skersmuo
Ratlankio pavyzdys	$7\frac{1}{2}$ -	JJ ×	15	55	5 -	114,3

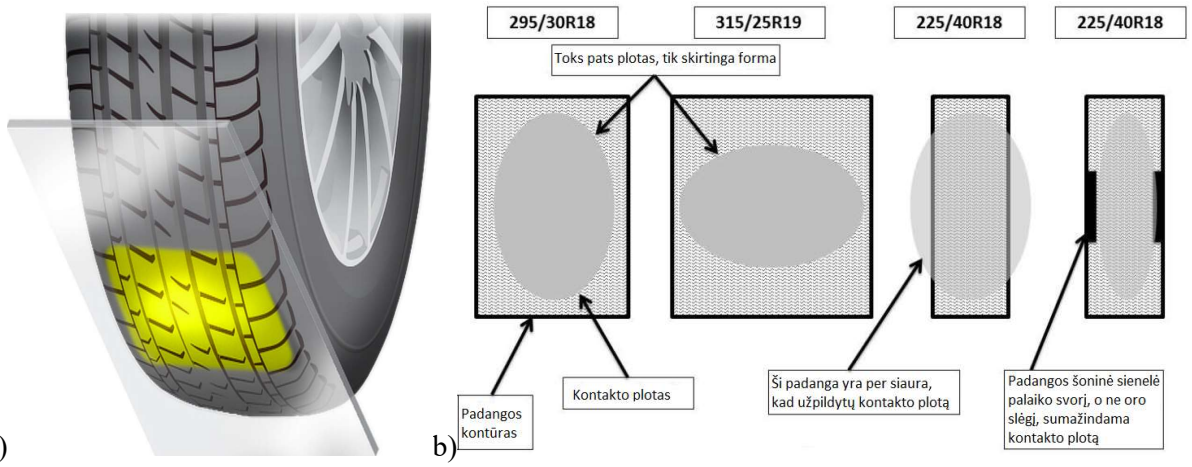
Po padangos sumontavimo ant ratlankio, ratlankio plotis ir atstumas tarp rato vidurio ašies ir montavimo vietos (toliau išnešimas) tampa labai svarbūs. Išnešimas parodo tarpą tarp rato vidurio ir montavimo vietos. Išnešimas pakeičia tarpvėžės plotį visai TP, tačiau nepakeičia padangos savybių. Ratlankio plotis daro įtaką padangos formai (ratlankio storį padidinus 12,7 mm, padanga yra praplatinama vidutiniškai 5 mm. Todėl derinant ratlankių ir padangų matmenis galima reguliuoti komfortiškumą ir valdomumą. Todėl ETRTO (European Tyre and Rim Technical Organisation) standartizavo tolerancijas parenkant padangų ir ratlankių junginius. Šios tolerancijos yra labai didelės lyginant su variklio skyriuje priimtomis tolerancijomis, tačiau ETRTO pažymėjo, kad tolerancijų laikymasis užtikrina saugumą, oro slėgio padangose pastovumą ir montavimo kokybę (Leister 2018).

1.3. Padangos ir kelio sukibimas

Padangos kontakto plotas – tai toks plotas, kuriame liečiasi padanga su kelio paviršiumi. Kontakto ploto dydis priklauso nuo padangos geometrijos ir dizaino, oro slėgio ir rato apkrovos (4a pav.) (Meywerk 2015). Tai yra protektoriaus, tarpelių ir kitų padangos sudedamųjų dalių mišinys, nuo kurių priklauso sukibimas su kelio danga. Šis plotas priklausomai nuo kelio paviršiaus, vairavimo stiliaus ir aukščiau paminėtų padangos savybių deformuojasi ir stengiasi užtikrinti saugų ir komfortišką važiavimą (17to40.co.uk).

Sukibimo jėga ar sukibimas padangos su keliu gali būti pagerintas padidinant kontakto plotą (Daws 2005). Padidintas kontakto plotas veikia didesnį paviršių, dėl to žymiai padidėja sukibimo jėga. Teoriškai, didinant padangos dydį turėtų didėti ir kontakto plotas ir sukibimo jėga. Realybėje, pakeitus padangos matmenis, kai pastovus oro slėgis ir automobilio masė, kontakto plotas nepakis. Keičiant iš aukšto profilio siaurą padangą į žemo profilio plačią padangą paprasčiausiai pakinta kontaktinio ploto forma (4b pav.) ir kontakto ploto dydis lieka konstanta (Mattson 2013).

a)



4 pav. a) Padangos kontakto plotas su kelio paviršiu (*17to40.co.uk/the-tire...*); b) padangos kontakto priklausomybė nuo padangos geometrijos (*6speedonline.com/forums/996-turbo...*);

Tačiau kodėl atrodo, kad platesnės padangos turi geresnį sukibimą — šį klausimą gali atsakyti Daryl Garner. Geresnis sukibimas jaučiamas ne dėl kontaktinio ploto, bet dėl kitokios padangos sudėties naudojimo. Platesnėms padangoms yra reikalinga mažesnio standumo struktūros dėl padangos šoninės sienelės deformacijų. Be to minkštesnės padangos turi geresnį sukibimo koeficientą. Jeigu būtų gaminamos siauros aukšto profilio padangos minkštos sudėties, jos nebūtų pakankamai stiprios ir kur kas greičiau susidėvėtų, todėl siauros padangos gaminamos kietesnės sudėties. Kadangi jos yra kietesnės, jų sukibimo koeficientas yra mažesnis ir sukibimo jėga mažesnė. Bendrai siaurų ar plačių padangų kontakto plotas nesiskiria, skiriasi tik mišinys, bei dėl žemesnio profilio, plačių padangų išilginis automobilio virtimas yra žymiai mažesnis ir tai pagerina posūkių įveikimo savybes (Secunda).

Plati padanga turi trumpesnį kontakto ploto ilgį negu siaura. Daroma prielaida, kad esant tai pačiai TP ir tam pačiam oro slėgiui padangose, kontakto plotas turi būti vienodas abejose padangose. Taigi platesnis kontakto plotas sukelia didesnę šoninę jėgą, negu siauras kontakto plotas esant tai pačiai apkrovai ir slydimui. Todėl galima teigti, kad padangos charakteristikos ir sukibimo jėga mažėja didėjant greičiai po lygiai tiek siauroms tiek plačioms padangoms (Jazar 2009).

Mažesnio standumo priekinės padangos demonstruoja didesnį valdomumą, mažesnį stabilumą ir didesnį susidėvėjimą. Mažesnio standumo galinės padangos sumažina galinės ašies traukos jėgą, tačiau TP tampa valdomesne ir stabilesne.

I. J. M. Besselink ir kiti nagrinėdami patobulintą Magiškąją formulę/Greitos padangos modelį (*ang. Magic Formula/Swift tyre model*), kuris apibrėžtų padangų slėgio skirtumą išskyrė, norint apskaičiuoti padangos – kelio modelio padangos apgaubimą ir atpalaidavimą yra reikalingi būtent kontakto ploto matmenys. Jie gali būti apskaičiuojami pagal formules, kur *a* yra kontakto ilgis, o *b* yra kontakto plotis (Besselink 2010):

$$a = R_0(q_{ra2}\frac{F_z}{c_z R_0} + q_{ra1}\sqrt{\frac{F_z}{c_z R_0}} \approx R_0\left(q_{ra}\ \frac{\rho}{R_0} + q_{ra}\ \sqrt{\frac{\rho}{R_0}}\right) \quad (1.2)$$

$$b = \omega(q_{rb2}\frac{F_z}{c_z R_0} + q_{rb1}\left(\frac{F_z}{c_z R_0}\right)^{\frac{1}{3}} \approx \omega\left(q_{rb2}\frac{\rho}{R_0} + q_{rb}\ \left(\frac{\rho}{R_0}\right)^{\frac{1}{3}}\right) \quad (1.3)$$

čia: ω – nominalus padangos plotis (m); ρ – padangos subliuškimas pagal slėgį; R_0 – laisvasis padangos spindulys (m); F_z – padangą veikianti vertikali jėga (N); c_z – vertikalus padangos tvirtumas (N/m); $q_{ra2}; q_{ra1}; q_{rb2}; q_{rb}$ – taško and konkrečios padangos kraštinės greitis atitinkiamai išilgine ir skersine kryptimis (m/s);

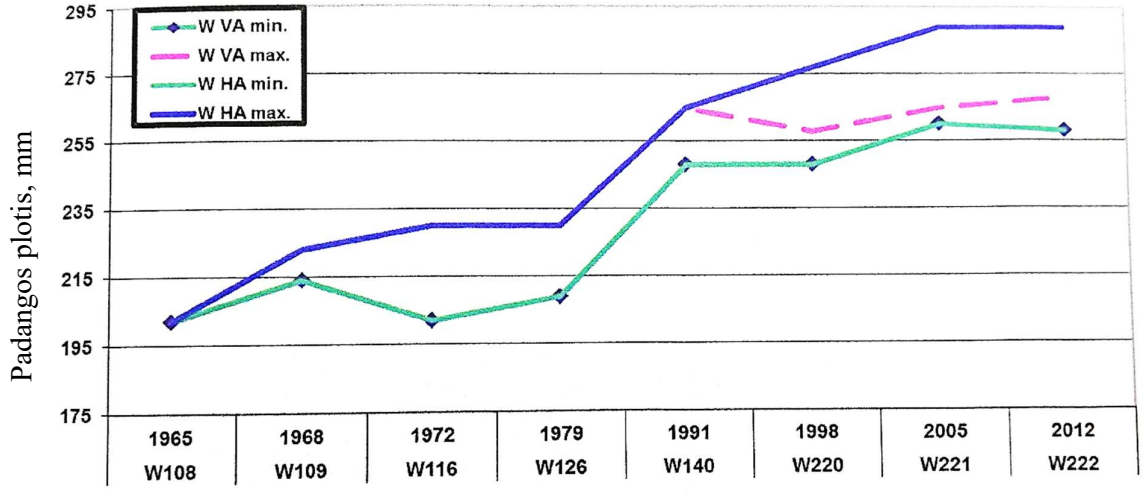
1.4. Padangos pločio parinkimas pagal įvairius parametrus

Kadangi padangos skersmuo netiesiogiai yra apskaičiuojamas pagal padangos plotį ir aukštį, tai apsunkina koncepcinių padangų gamybą, kadangi skirtingas padangų plotis gali būti pasiekiamas koreguojant ratlankio išnešimą. O TP gamintojai pasiūlo dažniausiai trijų skirtingų skersmenų ratlankius, kuriems pritaikomas padangos plotis. Tačiau pagal paskutinių dešimtmečių tendenciją yra matoma, kad gamintojai norėdami pritraukti naujus klientus ir išlaikyti esamus, atlieka padangų patobulinimus, tokius kaip didinamas padangų plotis, didinamas ratlankių skersmuo ir didinamos arkos, tam kad tilptų didesni ratai (Leister 2018). Kad išvengti spidometro perkalibravimo ar arkų praplatinimo, automobilio ratlankis gali būti didinamas sumažinant padangos aukštį ir taip išlaikant panašų bendrą rato skersmenį (Quiroga 2010).

Statistiškai dažniausiai parenkama apkrova padangoms yra 65 % nuo maksimalios apkrovos. Svarbu neužmiršti, kad papildoma masė didina slėgį padangose ir prarandamas komfortiškumas. Todėl jau pagamintoms ir naudojamoms TP, oro slėgis gali būti sumažinamas naudojant platesnes padangas, didesnį rato skersmenį ar mažesnius ratlankius.

Naudojant sustiprintas padangas važiavimo komfortiškumas ir vairavimo sąlygos negali būti optimizuojamos, kadangi sustiprintos padangos yra naudojamos ekstremaliame sporte ir nėra reikalaujama didesnio slėgio padangose, nors TP būna kur kas sunkesnės.

Akį traukiantys automobiliai dažnai turi didelius ratlankius ant kurių užmontuojamos minimalaus aukščio padangos. Patogiam važiavimui padangos aukštis privalo būti bent 130 mm, o sportiškiems automobiliams minimalus aukštis yra 95 mm. Su papildomu vairuotojo sutikimu gali būti sumontuotos padangos, kurių aukštis 85 mm.



5 pav. S klasės *Mercedes-Benz* gamintojo rekomenduojamų padangų pločiai pagal modelį ir metus (Leister 2018)

Padangos išorinis skersmuo yra tiesiogiai susijęs su automobilio patogumu. Kuo didesnis rato skersmuo, tuo patogiau yra sėdintiems automobilyje, tačiau didėja ir riedėjimo pasipriešinimas, padangų triukšmas ir pasikeičia eksploatacinės savybės, todėl rato skersmuo turi būti suderintas su variklio galingumu. 2 lentelėje pateikiama informacija, kaip reikia suderinti padangų plotį su variklio išvystoma galia priekiniais ratais varančiai TP ir 3 lentelėje – visais varančiaisiais ratais varomai TP.

2 lentelė. Priekiniais ratais varomos TP galios suderinimas su padangų pločiu (Leister 2018)

TP galia, kW	40	50	65	80	100	130	155
Padangų plotis, mm	145	155	165	175	185	195	205

3 lentelė. Visais ratais varomos TP galios suderinimas su padangų pločiu (Leister 2018)

TP galia, kW	130	150	165	185	200	220	240	260
Padangų plotis, mm	185	195	205	215	225	235	245	255

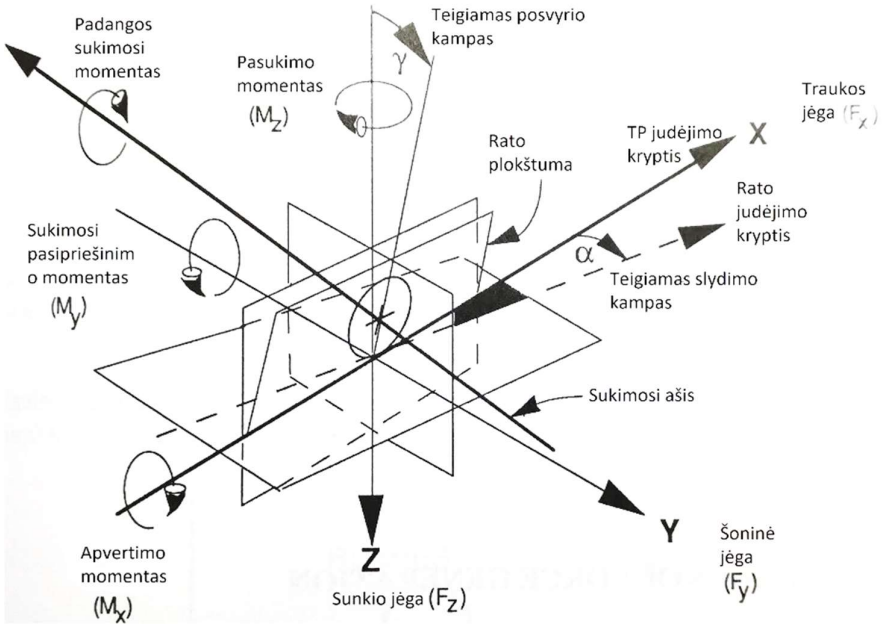
Pagal gamintojo nustatytas apkrovas, didesnės ar platesnės padangos demonstruoja didesnį stabilumą posūkiuose. Šis efektas priskiriamas prie karkaso standumo prisidėjimo stabilumui posūkiuose. Paprastai didesnės padangos turi didesnę keliamąją jėgą. Lyginant su mažesne padanga, didesnėje padangoje bus mažesnė procentinė apkrova nuo maksimalios. Padangose, kurių dydis yra vienodas, tačiau plotis skiriasi, platesnės padangos karkasas bus standesnis, dėl to ir standumas posūkyje bus didesnis (Gillespie 1992).

1.5. Pagrindinės padangą veikiančios jėgos

Pagrindiniai rato rodikliai ir veikiančios jėgos bei momentai (6 pav.):

- Rato plokštuma – rato sukimosi plokštuma, kurios centre yra rato sukimosi ašis.
- Rato centras – rato plokštumos ir sukimosi ašies sankirta.

- Padangos kontakto centras – rato plokštumos ir sukimosi ašies projekcijos sankirta ant kelio plokštumos.
- Statinis spindulys – atstumas tarp padangos kontakto centro ir sukimosi ašies.
- Išilginė jėga F_x – tai jėga, kuri veika TP judėjimo (x) kryptimi.
- Šoninė jėga F_y – tai jėga, kuri veikia padangą skersine (y) kryptimi.
- Vertikalios apkrovos (normalinės) jėga F_z – tai jėga, kuri veikia padangą vertikalia kryptimi dėl padangos ir TP masės bei vertikalių dinaminių apkrovų.
- Atstatymo momentas M_x – tai jėgos momentas, kuris stengiasi atstatyti padangos padėtį kelio atžvilgiu, t. y. priešinasi rato išvirtimui.
- Riedėjimo pasipriešinimo momentas M_y – tai jėgos momentas, kuris priešinasi rato riedėjimui.
- Tiesinimo momentas M_z – tai jėgos momentas, kuris stengiasi pasukti padangą išilgine kryptimi, t. y. apie vertikalią (z) ašį.
- Skersridės (įstrižojo riedėjimo) kampas α – tai kampas tarp rato išilginės plokštumos ir jo judėjimo vektoriaus krypties.
- Išvirtimo kampas γ – tai ratų posvyrio kampas tarp rato plokštumos ir z ašies (Gillespie 1992).

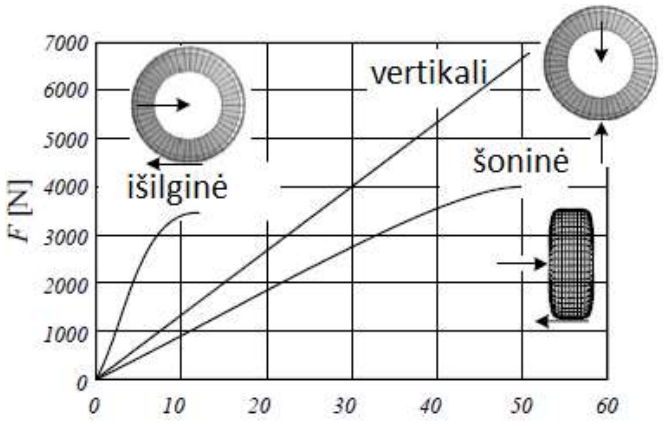


6 pav. Jėgos ir momentai veikiantys ratą (Gillespie 1992)

Vertikali padangą veikianti jėga F_z gali būti apskaičiuojama kaip tiesinė funkcija pagal padangos deformaciją Δz ir padangos kietumo koeficientą k_z. Kuo didesnė jėga veikia padangą, tuo labiau ji deformuojasi ir sukimosi ašis mažėja (Jazar 2009):

$$F_z = k_z \Delta z; \tag{1.4}$$

Padangą veikiančios išilginės ir šoninės jėgos yra apribotos slydimo jėgos, kai padanga yra apkrauta vertikalia kryptimi. 7 pav. yra pavaizduota, kokia jėga veikiant padangą, tokio dydžio deformacijos yra gaunamos.



7 pav. Padangos deformacijos skirtingomis kryptimis (Jazar 2009)

Išilginės jėgos atitinkamai apskaičiuojamos pagal 1.2 formulę:

$$F_x = k_x \Delta x; \tag{1.5}$$

$$F_y = k_y \Delta y; \tag{1.6}$$

Kuomet didėja išilginės ir šoninės jėgos, jų paviršiaus plotas pasikreipia jėgos veikimo kryptimi tol kol padanga nepradeda slysti. Tai pat lyginant su 7 pav. galime pastebėti tokią priklausomybę, kad padanga standžiausia išilgine kryptimi ir minkščiausia šonine kryptimi:

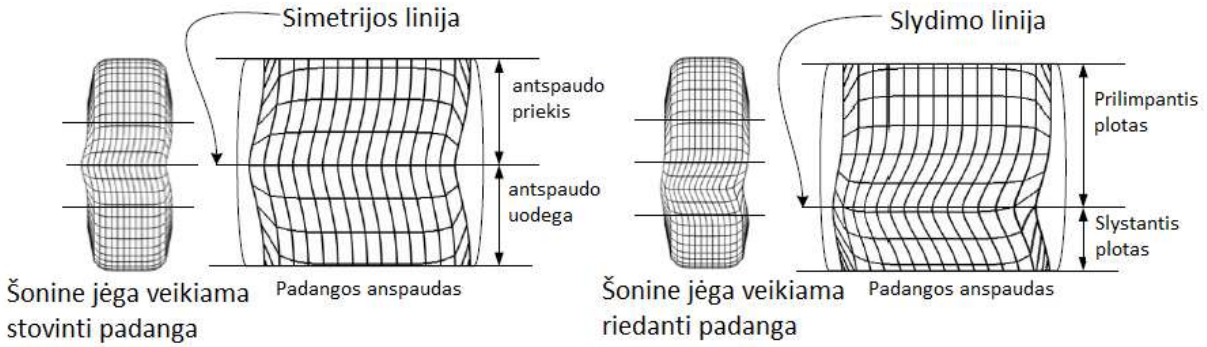
$$k_x > k_z > k_y; \tag{1.7}$$

Padangą veikiant šoninėms jėgoms, ji deformuojasi (8 pav.), todėl yra svarbus padangos pasukamumo standumas C_α, kuris apskaičiuojamas:

$$C_\alpha = \lim_{\alpha \to 0} \frac{\partial(-F_y)}{\partial \alpha}; \tag{1.8}$$

Dėl šoninių jėgų veikimo atsiranda pasukimo momentas M_z, priklausantis nuo šoninės jėgos F_y ir atstumo a_x:

$$M_z = F_y a_x; \tag{1.9}$$



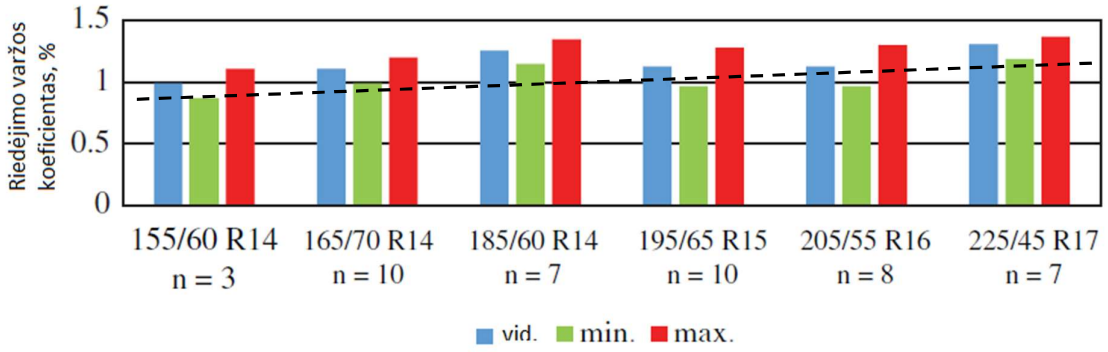
8 pav. Padangos antspaudas, kuomet padangą veikia šoninė jėga stovint ir riedant (Jazar 2009)

Be šių jėgų, padangą veikia ir riedėjimo pasipriešinimas. Ši jėga yra priešinga judėjimo krypčiai ir apskaičiuojama:

$$F_r = \mu_r F_z; \tag{1.10}$$

μ_r yra riedėjimo pasipriešinimo koeficientas, kuris priklauso nuo padangos riedėjimo greičio, oro slėgio padangose, slydimo ir posvyrio kampo. Be to priklauso nuo kelio mechaninių savybių, greičio, kokybės, temperatūros, apkrovos, važiavimo ir stabdymo jėgų.

Padangos medžiaga ir padangos rašto išdėstymas turi didelę įtaką riedėjimo pasipriešinimo koeficientui. Svarbiausi parametrai yra padangos spindulys ir santykis tarp padangos aukščio ir pločio (toliau h_T/w_T). Padangos su didesniu spinduliu ir mažesniu h_T/w_T turi mažesnį riedėjimo pasipriešinimo koeficientą. Riedėjimo pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo padangos matmenų pavaizduota 9 pav. Matome, kad lyginant to paties skersmens ratlankių dydžiui, riedėjimo pasipriešinimo koeficientas auga didinant padangos plotį.



9 pav. Riedėjimo varžos koeficiento priklausomybė procentais nuo vasarinių padangos matmenų (Mauwerk 2015)

Jeigu automobilio padangos yra itin siauros, TP turi trūkčiojančią mažą trauką ir žemą didžiausią greitį. Kai TP yra sumontuotos itin plačios padangos, atsiranda lėtas reagavimas į vairo pasukimą ir dideli padangos išsikraipymai posūkiuose, kurie sumažina stabilumą.

Kai padanga yra pasukama šoniniu slydimo kampu α, žymiai padidėja riedėjimo pasipriešinimas. Riedėjimo pasipriešinimo jėga F_r pagal skirtingų krypčių slydimo dedamąsias apskaičiuojama:

$$F_r = F_x \cos\alpha + F_y \cos\alpha; \tag{1.11}$$

Šiuolaikinės pneumatinės padangos generuojama trintis susideda iš trijų dedamųjų: sukibimo, deformacijos ir nusidėvėjimo:

$$F_x = F_{ad} + F_{de} + F_{we}; \tag{1.12}$$

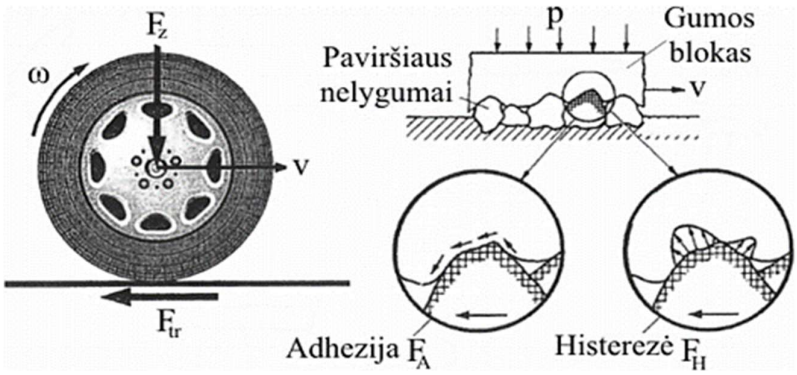
Sukibimas yra ekvivalentas sulipimui su kelio danga. Guma sugeba neslysti, nes sukibimas sukuria prilipimą prie kelio dangos. Šis sulipimas atsiranda dėl molekulinių ryšių tarp padangos ir kelio paviršiaus. Sukibimo trintis – tai jėga reikalinga nutraukti šiuos molekulinius ryšius ir atskirti

paviršius. Padangą apkrovus didesne jėga didėja kontaktas, todėl didėja ir ryšių skaičius, todėl išauga trinties jėga. Trinties jėga mažėja, kuomet kelio danga pasidengia vandeniu, ledu, dulkėmis ar lubrikantu.

Adhezijos jėga atsiranda dėl gumos ir kelio paviršiaus tarp molekulinio ryšio. Gumos elementas priešinasi slydimui, nes adhezijos jėga jį priverčia sukibti su kelio paviršiumi. Adhezijos jėga gali būti įvardijama ir kaip energija, kurios reikia nutraukti molekulinį ryšį tarp gumos ir kelio paviršiaus. Adhezijos jėga dominuoja sausame ir lygiame kelio paviršiuje (Ružinskas 2018).

Deformacijos trintis – tai jėga, kuri deformuoja padangos geometriją dėl įvairių kelio nelygumų. Padangai deformuojantis, sumažėja rato riedėjimo spindulys, dėl to padidėja riedėjimo pasipriešinimo koeficientas μ_r. Didesnė pasipriešinimo dalis atsiranda dėl padangos deformacijos histerezės, todėl padangos slėgis į pagrindą rato priekinėje dalyje yra daug didesnis negu jos užpakalinėje dalyje. Padangos judėjimas ant šiurkštaus paviršiaus padidina jėgą, kurią turi įveikti besideformuojanti padanga per nelygų paviršių (Trinkūnas 2013).

Histerezės jėga veikia, kuomet gumos elementas slysta nelygiu kelio paviršiumi ir kelio paviršiaus nelygumai priverčia gumą deformuotis. Dėl to išsiskyrusi vidinė energija virsta šiluma. Histerezė priklauso nuo medžiagos savybių, paviršiaus šiurkštumo, slydimo greičio, vertikaliosios apkrovos ir temperatūros (Ružinskas 2018). Skirtumas tarp adhezijos ir histerezės jėgų pateiktas 10 pav.



10 pav. Adhezijos ir histerezės jėgų veikiamos padangos deformacijos (Ružinskas 2018)

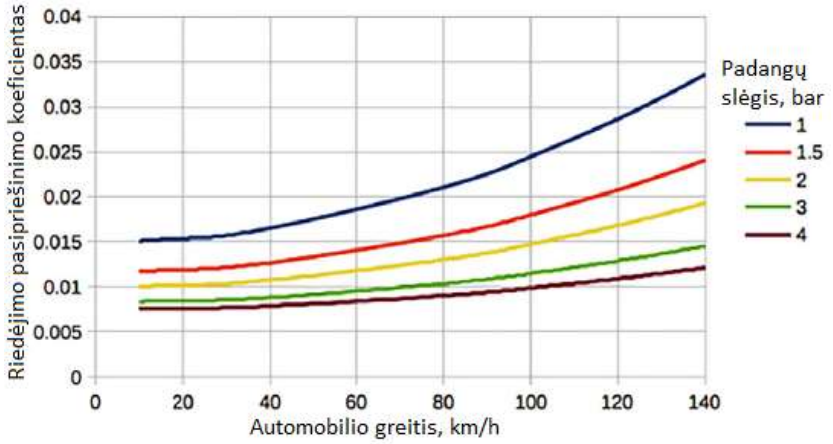
Dėvėjimosi trintis (kohezija) dėl vidinio gumos nuovargio viršijančio vidinius įtempimus. Šie įtempimai suformuoja elastingą padangos paviršių. Kuomet polimeriniai ryšiai yra nutraukiami, matomas mikroskopinis padangos dėvėjimasis. Didesnės apkrovos pagreitina padangos dėvėjimosi procesą, todėl dėvėjimosi varža didėja.

B. S. Mohanta ir kt. (2021) straipsnyje išskyrė šiuos pagrindinius veiksnius:

- Padangos judėjimo kryptis.
- Riedėjimo trintis ir riedėjimo pasipriešinimas – tai jėga, kuri slopina padangos riedėjimą. Labiausiai padangos riedėjimas priklauso nuo slėgo padangose. Kuo mažesnis slėgis, tuo

daugiau jėgos sunaudoja padanga riedėdama. Taip pat atitinkamai riedėjimo trintis didėja ir nuo greičio (11 pav.).

- Padangos sukibimo su kelio danga koeficientas – kuo geresnė danga ir kuo ji geriau sąveikauja su padanga, tuo sukibimo koeficientas yra didesnis.
- Padangos temperatūra – didesnėje temperatūroje guma, iš kurios sudaryta padanga, keičia savo savybes ir didėja kohezijos padariniai (greičiau dyla padanga).
- Padangos pripūtimo slėgis ir apkrova – esant žemesniam slėgiui ar mažesnei apkrovai, padanga yra minkštesnė ir pagerėja elastingumo savybės, tačiau didėja dilimas ir transporto priemonė tampa ne tokia stabili.
- Transporto priemonės greitis – didėjant transporto priemonės greičiui, dažnėja padangos apsisukimų skaičius. Tai didina slėgį, temperatūrą ir padangos deformacijas.
- Padangos dizainas – padangos savybės priklauso nuo padangos pločio, aukščio, kordų išdėstymo.
- Padangos slydimo kampas – šis dydis apibrėžia, kaip padanga elgsis, kuomet ją veiks stabdymo jėgos ir kaip kis riedėjimo pasipriešinimas.
- Padangos dėvėjimasis.
- Kelio paviršius ir vairavimo stilius.
- Sezoniškumo ar metų laikų įtaka.
- Transporto priemonės masė.
- Padangos standumas.



11 pav. Padangos riedėjimo pasipriešinimo priklausomybė nuo slėgio padangose ir važiavimo greičio (Mohanta, 2021)

1.6. Automobilio važiavimo savybių gerinimas vadovaujantis *plus sizing* principu

2010 m. *Volkswagen Golf* automobiliui gamintojas siūlo net 5 skirtingų ratų pasirinkimą nuo 15 iki 19 colių. *Car And Driver* ekspertai atliko tyrimą, kuomet visiems 5 ratlankiams buvo parinktos tos pačios *Goodyear Eagle GT* labai aukštų charakteristikų padangas. Pirmiausia ekspertai pastebėjo, kad 15–17 colių padangos turi 240 km/h greičio indeksą, o 18–19 – 270 km/h indeksą. Atliekant tyrimą buvo iškart pastebėta, kad didinant ratlankių dydį, iškart augo bendra automobilio masė ir nukentėjo įsibėgėjimas ir degalų sąnaudos (Quiroga 2010).

Ekspertų subjektyvia nuomone, geriausią įspūdį sukibimui, stabdymui, komfortui ir vairavimui paliko 17 ir 18 colių ratlankiai su atitinkamomis padangomis, tačiau pilna komplekto kaina skiriasi apie 92 EUR.

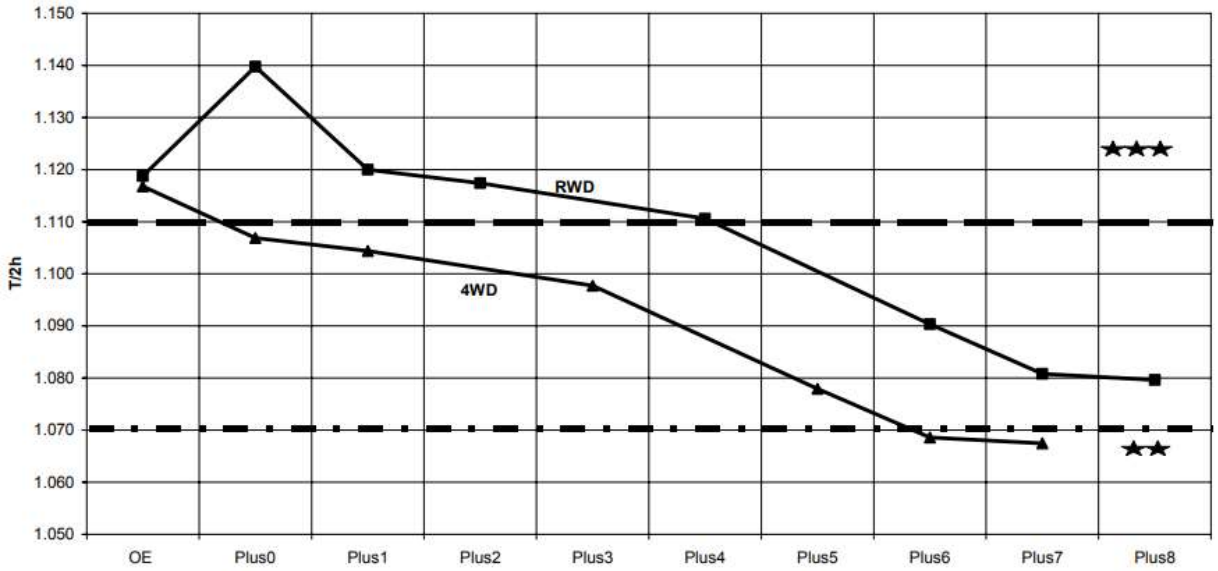
Tarp amerikiečių yra populiaru vairuoti visureigius automobilius dėl jų praktiškumo, tačiau daugėja vairuotojų, kurie perka visureigius važinėjimui mieste ir jiems sumontuoja kur kas didesnius ratlankius (angl. *plus-sizing*). Pavyzdžiui, automobilių gamintojai sumontuoja 16 colių ratlankius, o vairuotojai sumontuoja kur kas didesnius 18 colių ratlankius. Didžioji dauguma didesnių ratlankių yra žymiai platesni bei atstumas nuo vertikalios ašies yra didesnis, nei gamintojo rekomenduojamų (Daws 2005)

J. W. Daws ir kt. (2005) atliko tyrimą, kurio metu tyrė 2002 metų *Chevrolet Avalamche RWD* automobiliui tinkančius ratlankius ir jiems parinkinėjo padangas (4 lentelė). Didinant padangos skersmenį, ratlankio išnešimas didėja, pvz*., Ford F150* automobiliui gamintojas atstumą tarp ašies ir stebulės nurodo 14 mm, tačiau rinkoje siūlomų ratlankių šis atstumas gali nutolti per ± 25 mm. Taip pat didėja ratlankio masė ir išauga inertiškumas, kas daro įtaką pakabos sistemai, ABS veikimui ir t. t. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad didinant automobilio ratlankį, valdomumas ir sukibimas padidėja, tačiau automobilio stabilumas mažėja bei didėja triukšmas, jautrumas įvairioms duobėms ir tikimybė susidaryti akvaplanavimui.

4 lentelė. Padangų parinkimas pagal gamintojo pateikiamą informaciją (Daws 2005)

Padangos dydis	Padangos matmenys	Padangos skersmuo, mm	Leidžiama apkrova, kg
Originali	265/70R16	778	1120
Plus 1	285/65R17	762	1120
Plus 2	285/60R18	799	1250
Plus 4	285/50R20	794	1120

Pagal NHTSA (National Highway Transportation Safety Administration) buvo atliktas statinis stabilumo tyrimas ir jo metu pastebėta, kad tiek galiniais, tiek visais ratais varomo automobilio statinio stabilumo faktorius (toliau SSF) mažėja, kuomet didėja sumontuotas ratas 12 pav. Kuo mažesnis SSF, tuo didesnė tikimybė, kad TP sukels eismo įvykį.



12 pav. Statinio stabilumo faktoriaus tyrimas, atliekant tyrimą su skirtingo dydžio ratlankiais ir padangomis (Daws 2005)

Daws ir kt. (2005) tyrė maksimalų ratų pasisukimo kampą statiniu būdu 13 pav. ir pastebėjo, kad su originaliu ratlankiu ir gamintojo rekomenduojamomis padangomis pasukimas yra lėtesnis, tačiau pasukimo kampas yra maksimalus.

Be to buvo tirti automobilio dinaminiai parametrai, kuomet ratai yra pasukami tam tikru laipsniu ir tyrimas pakartojamas sumontavus 5 lentelėje nurodytas padangas. Ant automobilio priekinių ir galinių ratų buvo sumontuoti jutikliai, kurie matavo automobilio posvyrius ir iš jų buvo apskaičiuotas TP masės ir inertiškumo pokyčiai. Ratų pasukimas buvo didinamas specialiu valdikliu, kad būtų sumažintos žmogaus sukuriamos paklaidos. TP važiuojant 80 km/h greičiu buvo sukama tol, kol šoninės jėgos sukuriamas pagreitis pasiekė 0,3G. Bandymo rezultatai pateikti 5 lentelėje.

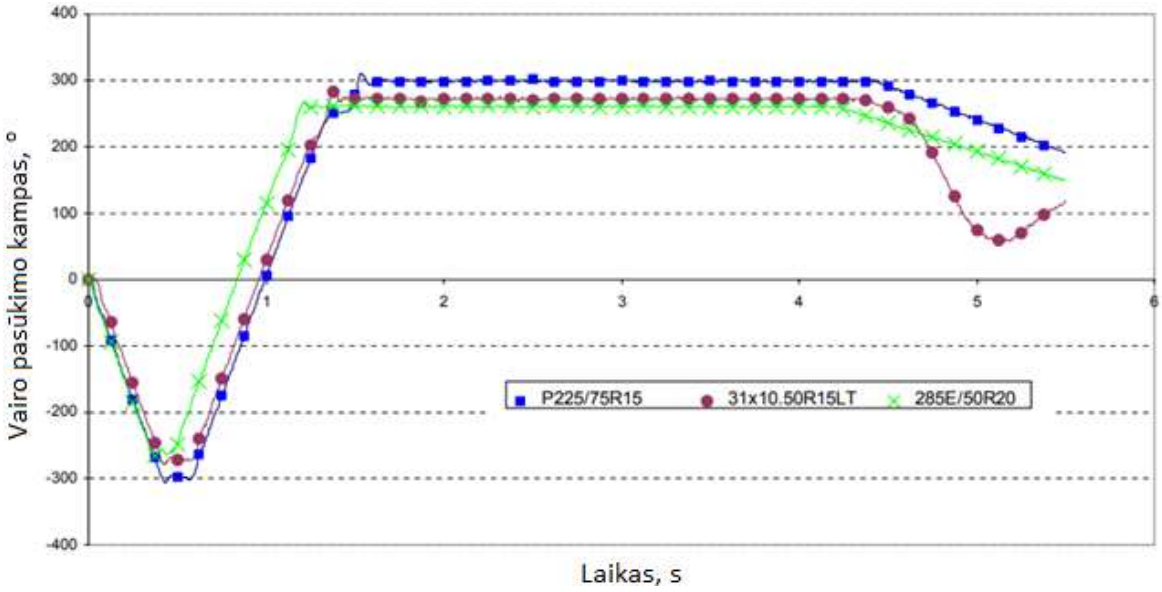
5 lentelė. Padangų ir ratlankių kombinacijos naudotos dinamiškumo tyrime (Daws 2005)

Padangų dydis	Greičio žymuo	Padangos skersmuo, mm	Ratlankio dydis	Ratlankio išnešimas, mm	Pasukimo kampas, º
P225/75R15 102S	S	719	15x6,0	0	292,5
31x10,50R15LT 109Q	Q	775	15x7,0	0	271,1
285/50R20 116H	H	794	20x8,5	-2	260
285/50R20 116H	H	794	20x8,5	18	260

Toliau buvo tikrinamas ekstremalus pasukimas, kuomet vairas yra staigiai susukamas į vieną pusę, vėliau į kitą ir taip ratai pasisuka 720º. Gauti rezultatai pavaizduoti 13 pav. Šio tyrimo metu buvo pastebėta, kad kuo didesnis ratlankio išnešimas, tuo greičiau ratai pasisuka.

Daws ir kt. (2005) pateikė išvadas, kad kuo didesnis ratas yra sumontuotas ant TP, tuo labiau sumažėja statinis stabilumo faktorius. Be to, montuojant ratlankius su didesniu išnešimu, būtina perreguliuoti vairo kolonėlę, kadangi pasukimas greitėja, tačiau maksimali pasukimo reikšmė

mažesnė. Tačiau didesnių ratų montavimas leidžia pasiekti didesnį efektyvumą provėžos pločiui, kuris kompensuoja minimalų atstumą iki svorio centro padidėjimą.



13 pav. Ratų pasukimo kampas per laiką. Tyrimas atliekamas stovinčiam automobiliui (Daws 2005)

X. Zhou ir Dr. P. Venhovens (2014) tyrime tyrė automobilį *Ford F-150* 2013 m. 6 lentelėje pateikti gamintojo siūlomi ratlankiai ir padangos. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad lyginant 17-18 skersmens padangas, P275/65R18 padanga turi mažiausią pasukamumo gradientą $K_{Tires} = 1{,}87\ °/\mathrm{G}$, mažiausią slydimo koeficientą, TP vertimo lygį išilgai automobilio, trumpiausią įsibėgėjimo laiką, mažiausią nuslydimą dėl šoninės jėgos stabdant, didžiausią TP traukos jėgos išvystymą, tačiau patiria didžiausią riedėjimo pasipriešinimą ir vertikalų pagreitį.

6 lentelė. Automobiliui. *Ford F-150* 2013 m. rekomenduojami ratlankiai ir padangos (Zhou 2014)

Gamintojo siūlomi ratlankiai	**17 col.**	**18 col.**	**20 col.**	**22 col.**
Ratlankio matmenys	7,5J × 17	7,5J × 18	8,5J × 20	9J × 22
Išnešimas, mm	44	44	44	44
Gamintojo rekomenduojamos padangos	P235/75R17 P255/65R17 P265/70R17 LT245/75R17	P265/60R18 P275/65R18 LT275/65R18C	P275/55R20 P275/55R20	P275/45R22
Antrinės rinkos siūlomos padangos	255/70R17	275/65R18	275/55R20	275/45R22

Padangos geometrijos įtaką stabilumui ir komfortabilumui aprašė mokslininkas P. P. Pattanaik ir kt. (2021). Mokslininkai pastebėjo, kuomet padangos šono aukštis mažėja, pagerėja posūkių įveikimas ir valdymas. Siauros padangos yra minkštesnės ir jų mažesnis sukeliamas triukšmas, trintis ir kietumas, tačiau didesnės padangos padidina automobilio stabilumą važiuojant per duobes ar šiurkštesnio paviršiaus kelią.

Kuo didesnis yra pasipriešinimas, tuo daugiau jėgos reikia judėjimui, todėl didesnės ir sunkesnės padangos didina degalų sąnaudas. Kuomet didėja rato svoris, didėja ir rato inertiškumas. Šį reiškinį galima pamatyti vairuojant automobilį, kuomet yra kur kas paprasčiau manevruoti ar tiesiog įveikti posūkius.

P. P. Pattanaik ir V. Balu (2021) pastebėta plius dydžio nauda:

- dailesnė automobilio išvaizda;
- geresnis valdomumas;
- greitesnė ratų reakcija į manevrus;
- didesnis komfortiškumas;
- aštresnis posūkių įveikimas;
- geresnis sukibimas.

Taip pat mokslininkai pastebėjo ir keletą trūkumų dėl padidėjusios automobilio masės:

- didėja degalų sąnaudos;
- didėja stabdymo atstumas;
- didėja akvaplaniravimo tikimybė.

Tačiau mokslininkai išvadose pabrėžia, kad šios išvardintos naudos ir trūkumai nedaro didelės įtakos valdomumui, važiuojant sausa kelio danga, be to mokslininkai pateikia prieštaringą išvadą kitų tyrėjų teigimu, kad platesnės padangos suteikia daugiau komfortiškumo. Kur kas didesnę įtaką daro padangos nusidėvėjimas ir protektoriaus gylis. Padidinus TP ratlankio ir padangos dydį, naujai padangai stabdymas suprastėjo 8 %, o nudilusiai (4 mm) padangai – 22 %.

1.7. Padangos sukeliamo triukšmo tyrimas

Padangos sukeliamo triukšmo tyrimas yra vienas iš svarbiausių faktorių važiavimo komfortui. Didžiausią įtaką garso izoliacijai sudaro automobilio garso izoliacijos kiekis ir kokybė, tačiau padangų sukeliamas garso lygis yra nemažiau svarbus.

Pagal JT EEK Nr. 117 3 priedą yra reglamentuotas padangų sukeliamo triukšmo matavimas. Transporto priemonė rieda turi kirsti dvi lygiagrečias linijas, o tarp jų yra pastatomi 2 mikrofonai 15 m atstumu (po 7,5 m ir nuo automobilio judėjimo vidurio trajektorijos). Bent keturis kartus matuojama, kai padanga rieda mažesniu nei etaloninis greitis (C1 ir C2 yra 80 km/h, o C3 – 70 km/h) t. y. riedama 70–80 km/h greičiu ir bent keturis kartus riedama didesniu nei etaloninis greitis (80-90 km/h). Galutiniam rezultatui gauti yra paimamas išmatuoto triukšmo vidurkis.

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos reglamentą (EB) Nr. 661/2009 maksimalūs triukšmo lygiai yra ribojami pagal padangos nominalųjį skerspjūvio plotį (7 lentelė).

7 lentelė. Padangų sukeliamo triukšmo ribinės vertės pagal kategoriją ((EB) Nr. 661/2009)

Padangų klasė	Nominalusis skerspjūvio plotis (mm)	Ribinės vertės, dB (A)
C1 A	≤ 185	70
C1 B	> 185 ≤ 215	71
C1 C	> 215 ≤ 245	71
C1 D	> 245 ≤ 275	72
C1 E	> 275	74

T. Li (2018) tyrime aprašė, kokie veiksniai (padangos geometrija, oro slėgis padangoje, kelio paviršius ir t.t.) turi įtakos padangos sukeliamam triukšmui, tarp jų yra ir padangos plotis. Toliau pateiktos formulės ir dydžiai, kuriems apskaičiuoti yra labai svarbi padangos geometrija.

Sukuriamas garso slėgis:

$$p_1(t) = \frac{l_1 d_1 w_1}{l_0 d_0 w_0} p_0(t); \tag{1.13}$$

čia: $p_i$yra garso slėgis protektoriui, kurio ilgis l_i, gylis d_i ir plotis w_i.

Taip pat padangos plotis svarbus apskaičiuojant garso tuštumų dažnį:

$$f_{mnl} = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{l\pi}{W}\right)^2 + \left(\frac{2n\pi}{D_0 - D_1}\right)^2 + \left(\frac{4m}{D_0 + D_1}\right)^2}; \tag{1.14}$$

čia: f_{mnl} – tuštumų natūralus dažnis, *m, n, l* – indeksai ašine, radialine ir statmena kryptimi, *c* – garso greitis, *W* – padangos plotis, D_0 – išorinis padangos skersmuo, D_1 – vidinis padangos skersmuo.

Padangos sukeliamų padangos sienelių virpesių formulė:

$$p_{vibr}^2 = aF_c^2 \Gamma^{a_1} \mathrm{B}^{a_2} S^{a_3}; \tag{1.15}$$

čia: a – progresijos koeficientas, F_c – jėga, veikianti kontakte, Γ – oro pasipriešinimas, *B* – padangos plotis, *S* – padangos protektoriaus standumas.

1.8. Padangų ženklinimas

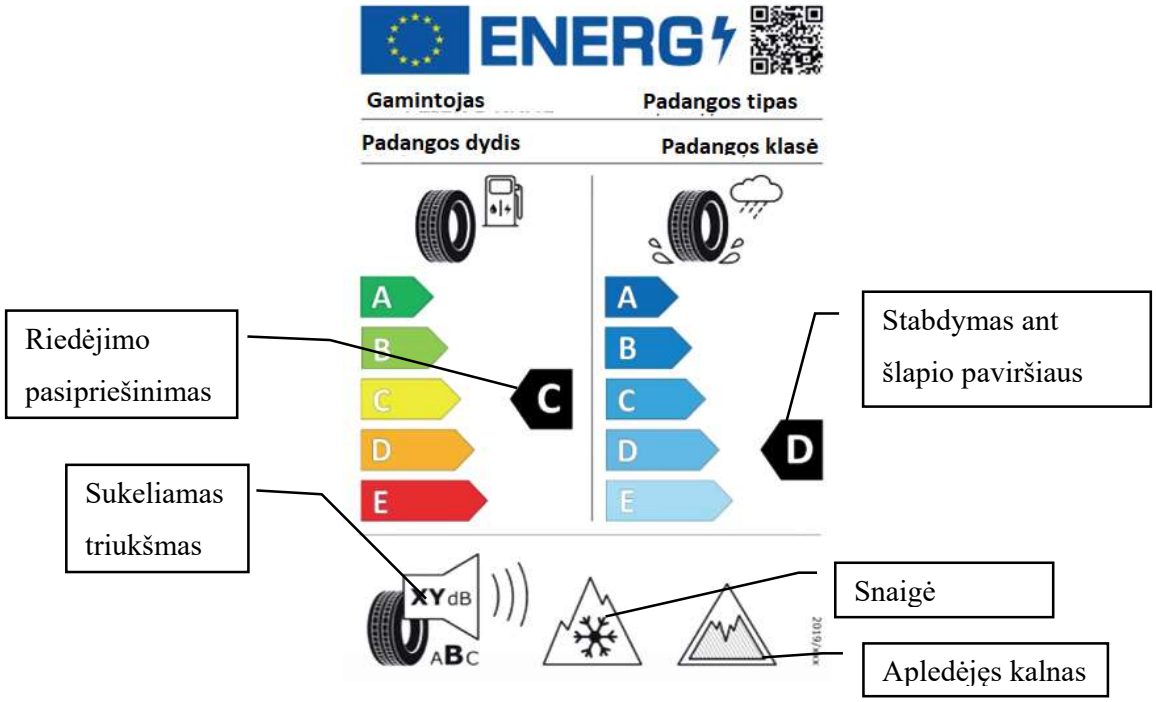
Kad vartotojams būtų paprasčiau išsirinkti padangas iš labai plačios gamos gamintojų ir modelių, Europos Sąjunga yra išleidusi reglamentą, kuris įpareigoja padangų gamintojus ženklinti padangas pagal privalomą ženklinimą. Nuo 2021 m. gegužės 1 d. įsigaliojo naujausias (ES) 2020/740 reglamentas (14 pav.), pagal kurį gamintojas privalomo pagal standartizuotą ženklinimą nurodyti: 1) riedėjimo pasipriešinimą, 2) stabdymą ant šlapio kelio paviršiaus, 3) padangų sukeliamą triukšmą (ec.europa.eu).

1) Riedėjimo pasipriešinimas tiesiogiai daro įtaką degalų sąnaudoms. Žymima raidėmis nuo A iki E.

2) Stabdymas ant šlapio kelio paviršiaus yra esminis saugumo kriterijus. A raide žymima trumpiausią nuotolį nuvažiuojančios stabdant padangos, o E – ilgiausią. Ribos tarp klasifikavimo raidžių yra 3–6 m.

Pagal naujausią reglamentą, papildomai etiketėje turi būti nurodomi dar 2 parametrai žieminėms padangoms:

4) Snaigė – žymuo, kuris reiškia, kad padangos buvo testuojamos pagal žieminių padangų testavimo kriterijus.
5) Apledėjęs kalnas – žymuo, kuris reiškia, kad padangos yra pritaikytos itin atšiaurioms ir ekstremalioms sąlygoms. Dažniausiai padangos su šia žyma turi prastą stabdymą ant šlapios kelio dangos, tačiau yra puikiai pritaikytos stabdymui ant ledo.



14 pav. Padangų etiketės ženklinimas pagal naujausią (ES) 2020/740 reglamentą

Atliekamame tyrime svarbiausias rodiklis yra padangos sukibimas su šlapia danga klasė. Ši klasė yra nustatoma pagal rodiklį *G* (EB) Nr. 1222/2009), kuris apskaičiuojamas pagal 1.15 formulę ir pagal gautą rodiklį yra parenkama klasė. Sukibimo su šlapia danga klasės pateiktos 8 lentelėje.

$$G = G(T) - 0{,}03; \qquad (1.15)$$

čia: *G* – sukibimo su šlapia danga rodiklis,

G(T) – tvirtinti pateiktos padangos sukibimo su šlapia danga rodiklis, išmatuotas per vieną bandymų ciklą.

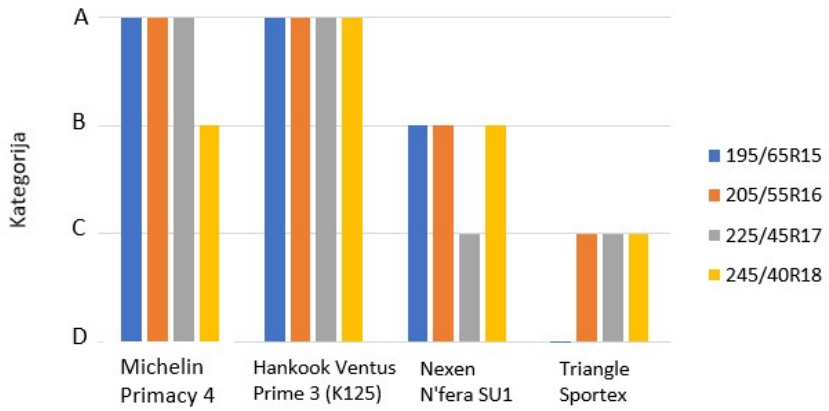
8 lentelė. Rodiklių lentelė, pagal kurią parenkama padangos sukibimo su šlapia danga klasė ((EB) Nr. 1222/2009)

	C1 klasės padangos	C2 klasės padangos	C3 klasės padangos
Sukibimo su šlapia danga klasė	G	G	G
A	1,55 ≤ G	1,40 ≤ G	1,25 ≤ G
B	1,40 ≤ G ≤ 1,54	1,25 ≤ G ≤ 1,39	1,10 ≤ G ≤ 1,24
C	1,25 ≤ G ≤ 1,39	1,10 ≤ G ≤ 1,24	0,95 ≤ G ≤ 1,09
D	1,10 ≤ G ≤ 1,24	0,95 ≤ G ≤ 1,09	0,80 ≤ G ≤ 0,94
E	G ≤ 1,09	G ≤ 0,94	G ≤ 0,79

Norint apskaičiuoti tvirtinti pateiktos padangos sukibimo su šlapia danga rodiklį (G), tvirtinti pateiktos padangos stabdymo sukimbant su šlapia danga rezultatai palyginami su etaloninės padangos, sumontuotos transporto priemonėje, važiuojančioje tiesiai šlapiu asfaltuotu paviršiumi, stabdymo sukimbant su šlapia danga rezultatais. Šie rezultatai išmatuojami vienu iš toliau nurodytų metodų:

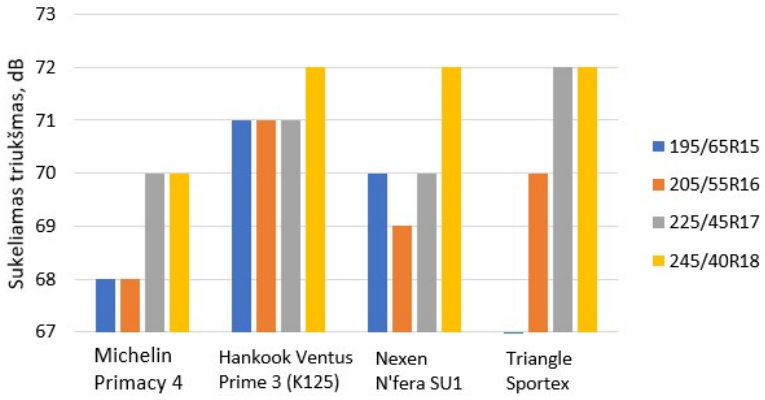
- Transporto priemonės metodu, apimančiu prietaisus turinčiame lengvajame automobilyje sumontuotų padangų komplekto bandymą.
- Bandymo metodu, kai naudojama transporto priemonės traukiama priekaba arba padangų bandymo transporto priemonė, kurioje sumontuotos bandomosios padangos. ((EB) Nr. 1222/2009)

Pagal internetinės parduotuvės katalogą (*www.padangos123.lt*) buvo parinkti 4 skirtingų klasių padangų gamintojai ir palygintas padangų ženklinimas. Duomenys pateikti 1 priede. Pagal 15 pav. matoma, kad didėjant padangos pločiui, tik *Michelin* gamintojo plačiausioms padangoms suprastėjo stabdymas ant šlapios dangos, o kitų gamintojų gaminamų stabdymo savybės nepasikeitė, nors platėjant padangai, stabdymo efektyvumas turi prastėti.



15 pav. Stabdymo ant šlapios dangos indeksai pagal padangų matmenis

Taip pat pagal 16 pav. matoma, kad didėjant padangos pločiui, didėja ir padangos sukeliamas triukšmas.



16 pav. Padangų sukeliamos triukšmas pagal padangų matmenis

Pagal pateiktus grafikus matoma, kad gamintojai nepakankamai detaliai informuoja vartotojus žymėdami padangų stabdymo ant šlapios dangos savybes, nors Europos Sąjunga tai yra reglamentavusi ir prižiūri. Išsamiai analizei tokio pobūdžio duomenų nepakanka. O gamintojų pateikiama informacija apie padangų sukeliamą triukšmą yra korektiška ir vartotojų neklaidina.

1.9. Padangų testavimų apžvalga

Padangų apžvalgos yra pagrindinis nepriklausomas šaltinis ekspertams, pardavėjams bei pirkėjams, suteikiantis informacijos apie padangų savybes visame pasaulyje. Kiekvienais metais yra tiriamos vasarinės, universalios ir žieminės padangos (17 pav.) Iš viso testuojant padangas buvo nuvažiuota daugiau nei 4 mlrd. mylių (~6,44 mlrd. km), iki šiol ištirta daugiau kaip 3000 skirtingų padangų modelių ir atlikta per 400 testų visame pasaulyje (pagal www.tyrereviews.com duomenų bazę).

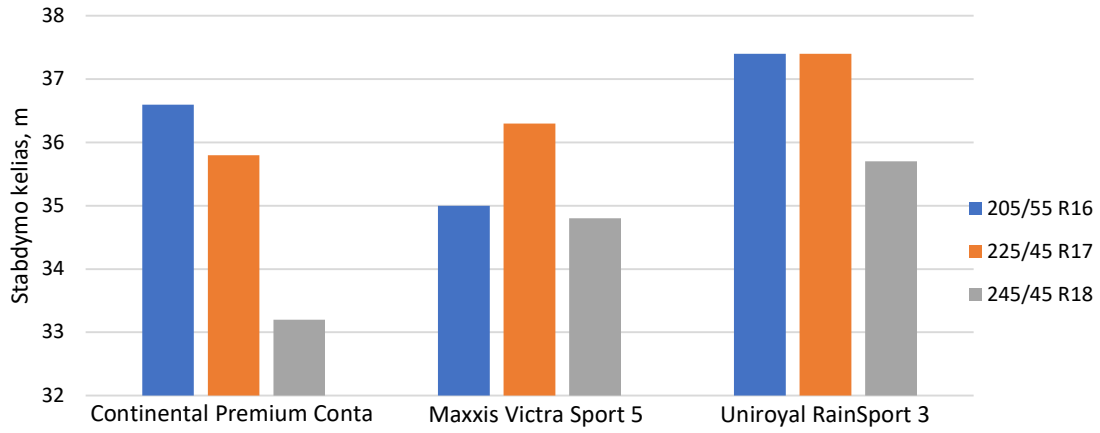
Remiantis *Auto Bild* ekspertų kasmet atliekamais padangų lyginamaisiais testais, buvo atliktas eksperimentinis tyrimas kaip kinta vasarinių padangų stabdymo charakteristikos ant sausos ir šlapios kelio dangos, kuomet buvo testuojami dideli kiekiai skirtingų gamintojų padangų, naudojant *VW Golf VII*, ir palyginti duomenys iš 2021, 2020 ir 2019 m. testų, kurių padangų modeliai sutampa:

1) 2021 m. 53 vasarinių padangų testas. Padangos matmenys 205/55 R16 (https://www.tyrereviews.com/Article/2021-53-Summer-Tyre-Braking-Test.htm).
2) 2020 m. prekyboje esančių padangų stabdymo testas. Padangos matmenys 245/45 R18. (https://www.tyrereviews.com/Article/2020-Tyre-Market-Overview-Braking-Test.htm).
3) 2019 m. 53 vasarinių padangų stabdymo bandymai. Padangos matmenys 225/45 R17 (https://www.tyrereviews.com/Article/2019-Summer-53-Tyre-Braking-Shootout.htm).



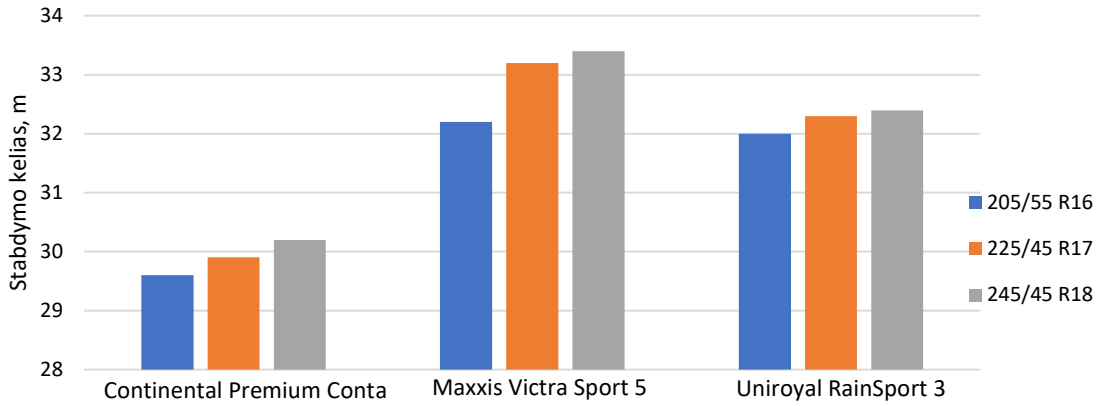
17 pav. Stabdymo ir šoninio stabilumo testavimas sausos ir šlapios kelio dangos sąlygomis (www.thetirelab.com/autobild...)

Testai su visomis padangomis buvo kartojami po 20 kartų ir buvo paimti vidurkiai. Šiame skyriuje yra atrinkta tų pačių gamintojų ir modelių padangos su skirtingai matmenis testų rezultatų analizė. Visi analizuoti testų duomenys yra pateikti 2 priede. Pagal stabdymo testą ant sausos kelio dangos 18 pav. matome, kad atliekant stabdymo testą stabdant nuo 100 iki 0 km/h, padangos stabdymo efektyvumas didėja didėjant padangos pločiui.



18 pav. *Auto Bild* ekspertų atliktų testų rezultatai stabdant 100–0 km/h ant sausos dangos

Papildomai buvo surinkti duomenys, kada buvo atliekamas bandymas ant šlapios kelio dangos, tik šiuo atveju buvo atliekamas stabdymas nuo 80 iki 0 km/h. Gauti rezultatai pateikti 19 pav. Pagal rezultatus matoma, kad padangai platėjant, jos stabdymo savybės prastėja.



19 pav. *Auto Bild* ekspertų atliktų testų rezultatai stabdant 80–0 km/h ant šlapios dangos.

Pagal gautus rezultatus matoma, kad platesnio profilio padangų stabdymo kelias ant sausos kelio dangos yra trumpesnis, kadangi didėja padangos kontaktas ir dominuoja adhezija paremtas sukibimas su kelio danga. Ant šlapios kelio dangos dominuoja histereze paremtas sukibimas, todėl platesnės padangos pradeda labiau akvaplaniruoti, todėl trumpesnį stabdymo kelią demonstruoja siauresnio profilio padangos.

Be stabdymo kelio, labai svarbu kokią įtaką padangos geometrija daro valdomumui, tačiau vadovautis šiais padangų testavimais negalima, kadangi valdomumas yra vertinamas pagal lenktynių trasos įveikimo laiką ar važiavimo vidutinį greitį, bet čia eksperimento rezultatai labai priklauso nuo vairuotojo žmogiško faktoriaus ir privalo būti ta pati lenktynių trasa ar tos pačios oro sąlygos.

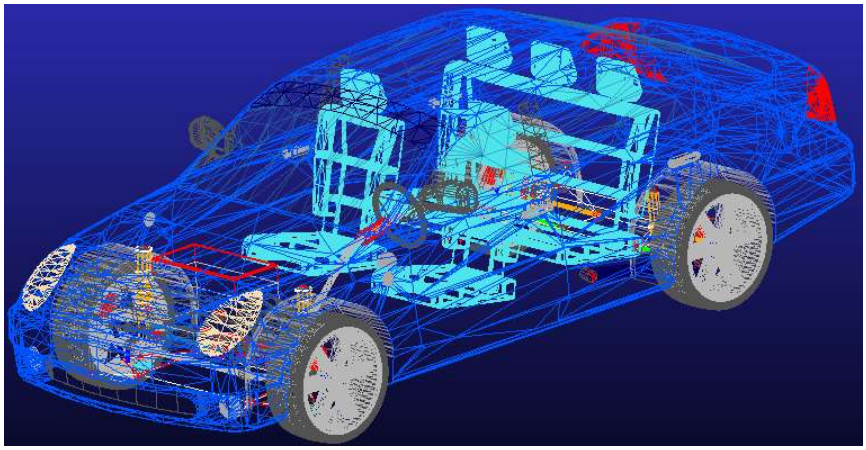
2. AUTOMOBILIO JUDĖJIMO KOMPIUTERINĖS SIMULIACIJOS *ADAMS CAR* PROGRAMA

Automobilio judėjimo teorinei analizei naudojama kompiuterinė programa *MSC Adams Car*. (https://www.mscsoftware.com/product/adams-car). Šioje programoje buvo modeliuojamos simuliacijos priekiniais ratais varomam sedano tipo lengvuoju automobiliu (20 pav.). Automobilio parametrai pateikti 3 priede. Taip pat buvo parinkti 4 vasarinių padangų tipai pagal Paceikos Magiškosios formulės (angl. *Magic Formula*) padangos modelį: 175/70 R13, 195/65 R15, 205/55 R16, 235/40 R18. Padangų duomenys pateikti 4 priede.

Magiškosios formulės padangų modelis – tai prof. Hans B. Pacejka sugalvotas padangos modelis, kurio išilginės jėgos yra aprašytos pagal matematinę išraišką išilginiam slydimui (Essentials of Vehicle Dynamics 2015):

$$F_y = D \cdot \sin\left[C \cdot arctan\{B \cdot k - E \cdot (B \cdot k - \arctan(B_k))\}\right] \quad (1.16)$$

čia: B – standumo koeficientas; C – funkcijos formos koeficientas; D – didžiausia funkcijos reikšmė; E – kreivės koeficientas; k – išilginio slydimo kampas; F_y – išilginė jėga, N.



20 pav. Kompiuterinėse simuliacijose naudoto automobilio modelis (*MSC Adams Car*)

2.1. Tiesaus stabdymo manevras

Tiesaus stabdymo manevras yra skirtas atskleisti svarbiausią padangų reikalavimą – gebėjimą sustabdyti TP esant poreikiui. Pagal šią simuliaciją yra pakartojamas ir eksperimentinis bandymas.

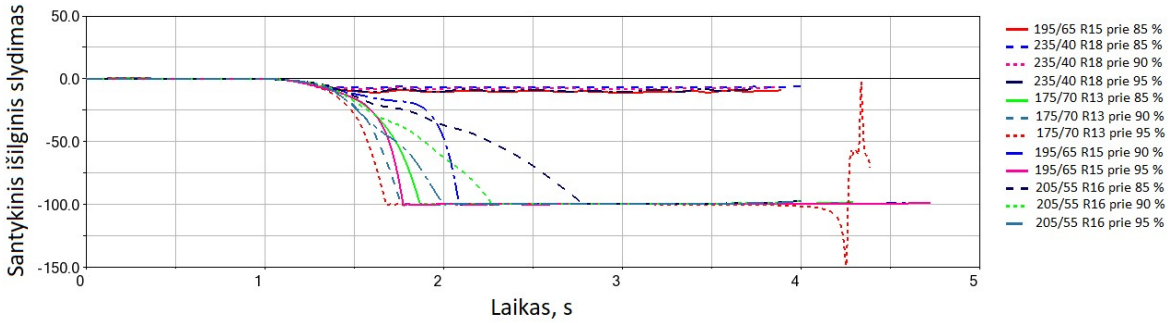
Simuliacijos pradiniai duomenys:

- Simuliacijos laikas – 5 s.
- Manevro tipas – atvirojo tipo pagal numatytas valdymo komandas (*Open loop*).
- Simuliacijos žingsnių skaičius – 1000.
- Kelio paviršius – sausas ir lygus.
- Pradinis automobilio greitis – 100 km/h.
- Pradinė transmisijos pavara – 4.

- Stabdymo pradžia – 1 s.
- Vairo padėtis stabdant – fiksuota tiesiai.
- Stabdymo jėgos augimo laikas – 0,5 s.
- Stabdymo intensyvumo lygis – 85–95 %.

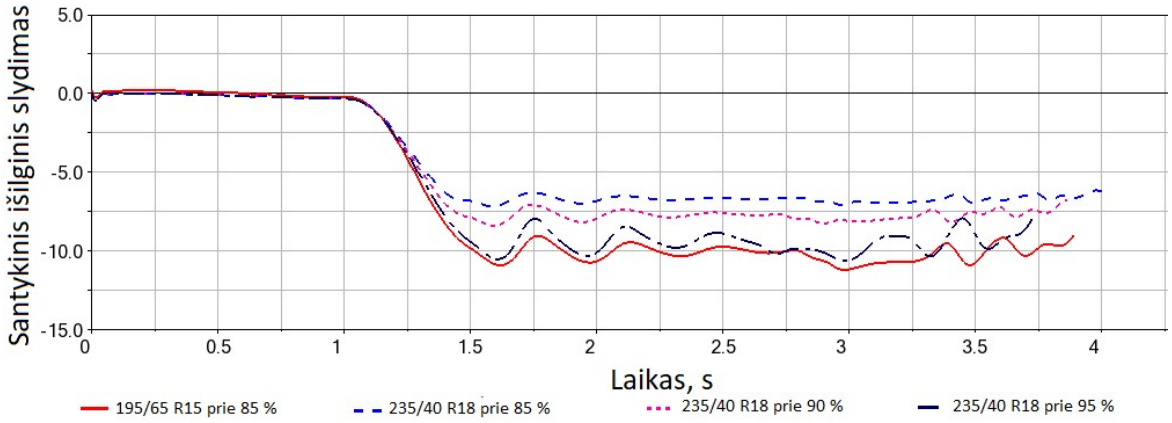
Atliekamos simuliacijos su keturiais padangų dydžiais (21 pav.) ir atrenkami stabdymo intensyvumo lygiai, kurių metu nepatiriamas visiškas ratų užblokavimas (slydimas) (22 pav.):

- 195/65 R15 padangos esant 85 % stabdymo intensyvumui.
- 235/40 R18 padangos esant 85 % stabdymo intensyvumui.
- 235/40 R18 padangos esant 90 % stabdymo intensyvumui.
- 235/40 R18 padangos esant 95 % stabdymo intensyvumui.



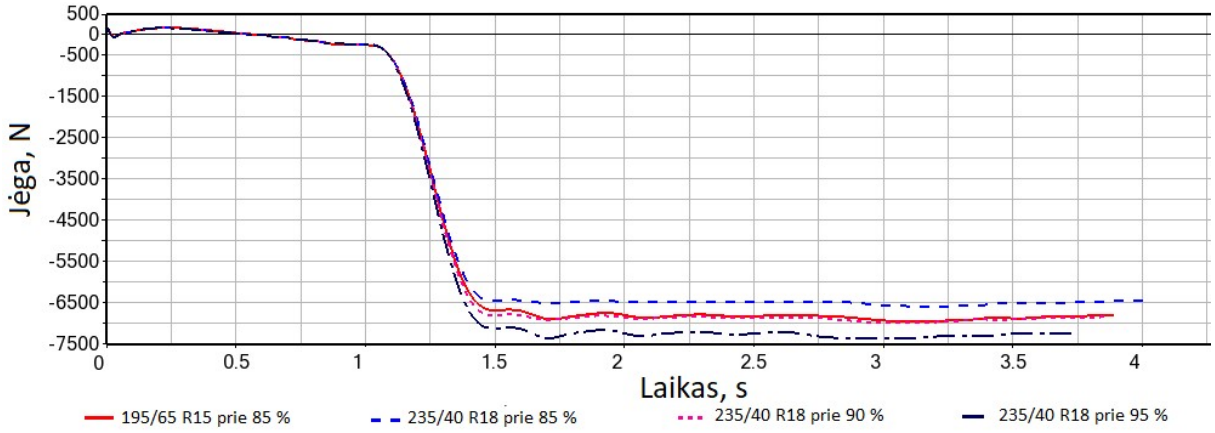
21 pav. Padangos santykinis išilginis slydimas, tenkantis priekiniam kairiajam ratui stabdymo metu

Pagal 22 pav. grafiką matoma, kad kompiuterinės simuliacijos metu optimalų slydimo-stabdymo santykį rodo 195/65 R15 padangos esant 85 % stabdymo intensyvumui ir 235/40 R18 padangos esant 95 % stabdymo intensyvumui. Iš šio grafiko matome, kad mažėjant stabdymo intensyvumui prastėja 235/40 R18 sukibimo-stabdymo santykis ir visais variantais jis yra mažesnis už siauresnių 195/65 R15 padangų.



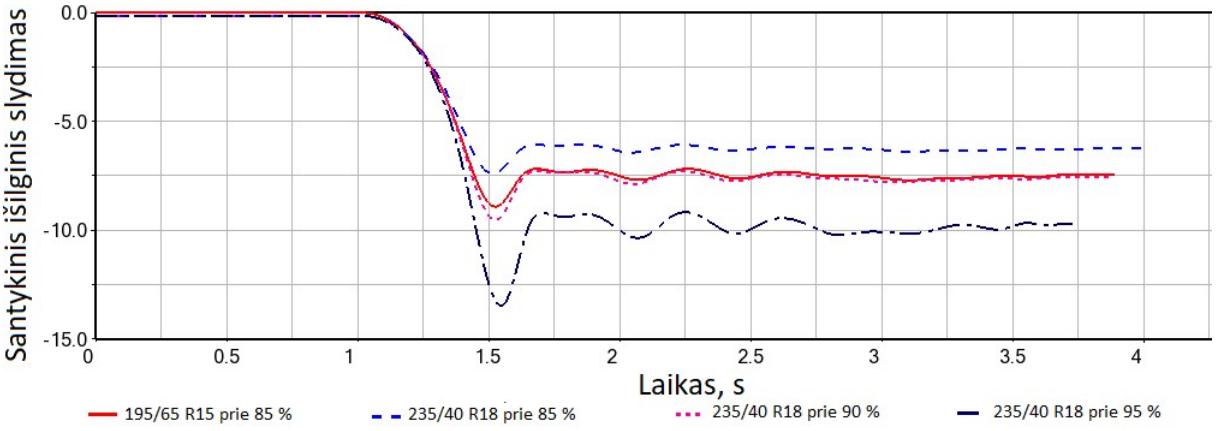
22 pav. Padangos santykinis slydimas, tenkantis priekiniam kairiajam ratui stabdymo metu neužblokuotiems ratams

Pagal išilginės sukibimo jėgos, tenkančios priekiniams ratams, stabdymo grafiką (23 pav.) matoma, kad mažiausią išilginę stabdymo jėgą išvysto 235 mm pločio padangos esant 85 % stabdymo intensyvumui iki 6600 N, o didžiausią išilginę stabdymo jėgą išvysto 235 mm padangos esant 95 % stabdymo intensyvumui iki 7400 N.



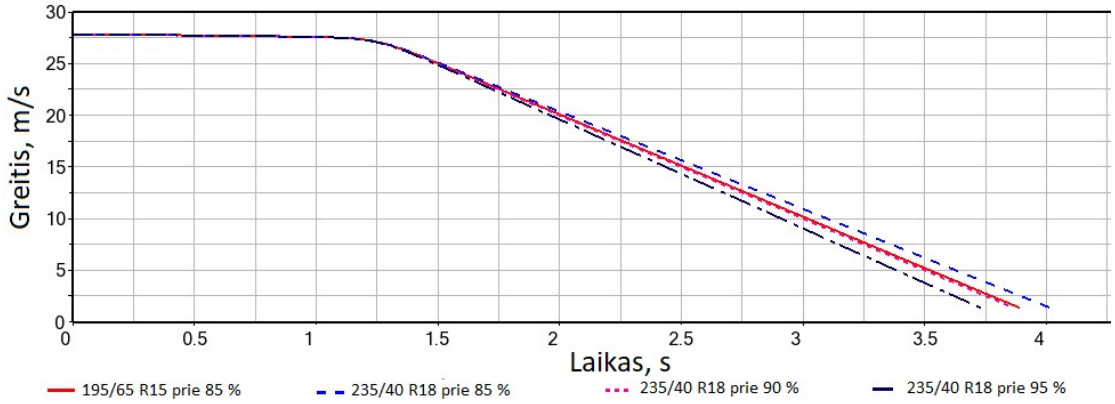
23 pav. Išilginės sukibimo jėgos, tenkančios priekiniams ratams stabdymo metu

Tikrinant kairės galinės padangos santykinį slydimą buvo nustatyta, kad visais variantais automobilio modelio galinė padanga stabdymo pradžioje staiga pradeda slysti ir vėliau slydimas sumažėja, bei nusistovi po 0,1 s nuo stabdymo pradžios. Didžiausią slydimą patiria 235 mm padanga esant 95 % stabdymo intensyvumui (iki -13,5 %), o mažiausią 235 mm padanga esant 85 % stabdymo intensyvumui (iki -7,4 %) (24 pav.).



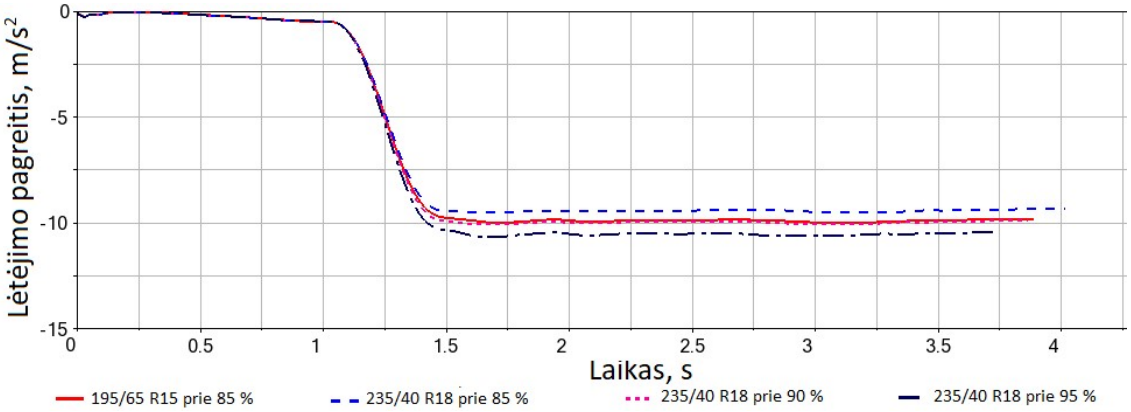
24 pav. Padangos slydimas, tenkantis galiniam kairiajam ratui stabdymo metu

Atlikus stabdymo kompiuterines simuliacijas buvo išmatuotas automobilio greičio mažėjimas stabdymo metu. Kadangi kelio danga yra sausa ir lygi, todėl geriausią stabdymą parodo plačiausios padangos esant didžiausiam 95 % stabdymo intensyvumui (25 pav.).



25 pav. Padangos stabdymo greitis stabdymo metu

Pagal stabdymo pagreičio grafiką (26 pav.) matoma, kad didžiausią stabdymo pagreitį išvysto 235 mm padanga esant 95 % stabdymo intensyvumui (iki 10,6 m/s^2), o mažiausią 235 mm padanga esant 85 % stabdymo intensyvumui (iki 9,5 m/s^2)



26 pav. Automobilio lėtėjimo pagreitis

Pagal tiesaus stabdymo simuliaciją matoma, kad geriausias stabdymo savybes demonstruoja plačios 235/40 R18 padangos esant 95 % stabdymo intensyvumui (automobilio modelis sustoja per 0,15–0,3 s greičiau ir nuvažiuotas atstumas yra 1,9–4 m trumpesnis už kitų bandymų simuliacijų rezultatus), kadangi atliekant šią simuliaciją dominuoja adhezija paremtas sukibimas. Tačiau esamose simuliacijose parenkant vienodus stabdymo intensyvumus, siauresnė 195/65 R15 padanga stabdo geriau negu platesnė 235/40 R18 padanga (modelis sustoja 0,125 s greičiau ir nuvažiuoja 1,723 m trumpesnį atstumą).

2.2. Posūkio įveikimo manevras

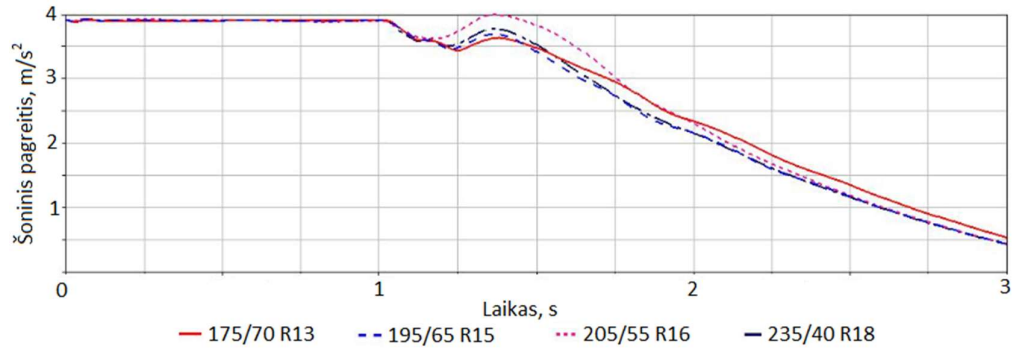
Posūkio įveikimo manevras – tai manevras, kurio metu automobilis juda pastoviu greičiu ir modeliui yra duodamas nurodymas pasukti vairą tam tikru kampu, kad įveiktų menamą posūkį. Šis

manevras parodo kokio standumo yra padangos, kuomet posūkio metu TP svoris pasiskirsto netolygiai per keturis automobilio ratus.

Simuliacijos pradiniai duomenys:

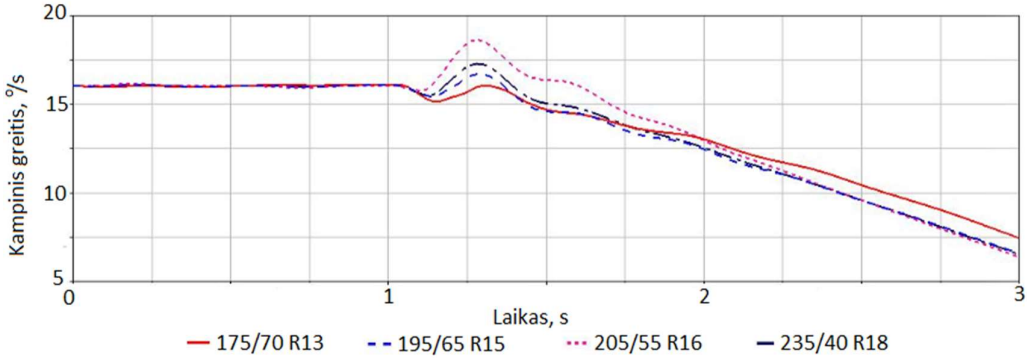
- Simuliacijos laikas – 5 s.
- Manevro tipas – atvirojo tipo pagal numatytas valdymo komandas (*Open loop*).
- Simuliacijos žingsnių skaičius – 1000.
- Kelio paviršius – sausas ir lygus.
- Pradinis automobilio greitis – 100 km/h.
- Pradinė transmisijos pavara – 5.
- Vairo pasukimo kampas – 90º.

Atlikus simuliaciją buvo pastebėta, kad didžiausias šoninis pagreitis veikia automobilį su 205 mm pločio padangomis, kadangi pagreitis krenta nuo maždaug 1 s, tačiau pakyla iki 4 m/s^2 ir tolygiai pradeda kristi (27 pav.).



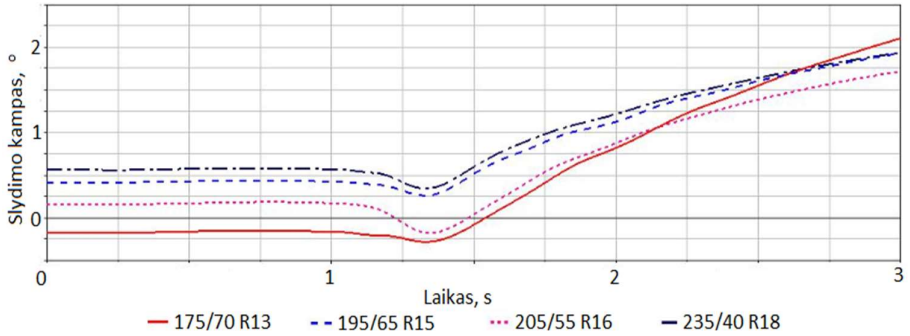
27 pav. Padangoms tenkantis šoninis pagreitis posūkio įveikimo metu

Buvo pastebėta, kad labiausiai veikiamas automobilis apie savo vertikalią ašį, kuomet „sumontuotos“ 175 mm padangos (28 pav.).



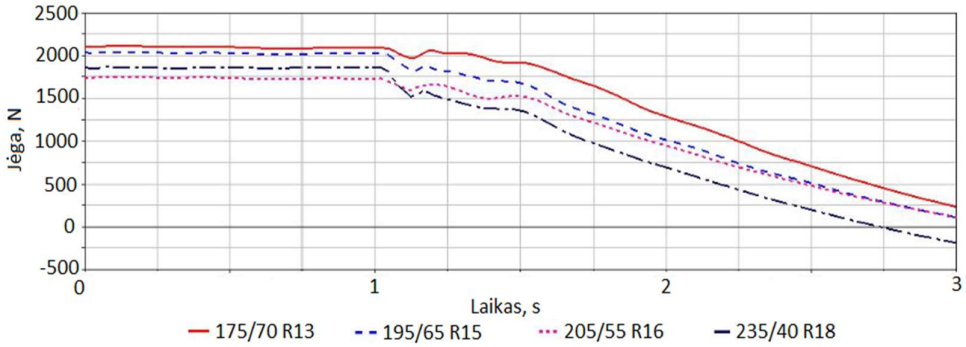
28 pav. Padangoms tenkantis kampinis greitis posūkio įveikimo metu

Buvo pastebėta, kad posūkio įveikimo metu didžiausią slydimo kampą (skersridę) patiria plačiausia padanga, o mažiausią – siauriausia (29 pav.).



29 pav. Padangoms tenkantis slydimo kampas posūkio įveikimo metu

Galiausiai buvo pastebėta, kad 175 mm padangos generuoja didžiausią skersinio sukibimo jėgą, o 235 mm – mažiausią (30 pav.).



30 pav. Priekinei kairei padangai tenkanti šoninė sukibimo jėga

Pagal posūkio įveikimo simuliaciją matome, kad prasčiausiai posūkio įveikimą demonstruoja siauriausios 175 mm padangos, kadangi jos aukščiausios iš jų kontakto plotas mažiausias, o platesnių padangų grafikai yra panašūs.

2.3. Stabdymo posūkio metu manevras

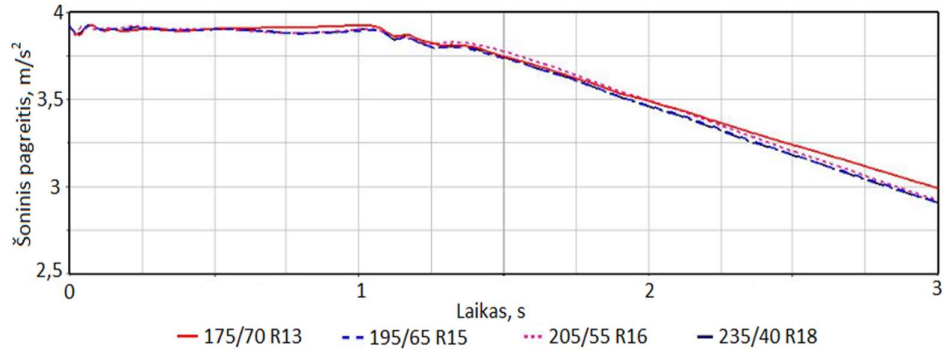
Stabdymo posūkio metu manevras – tai manevras, kuriuo metu automobilis juda pastovaus kampo menamu keliu ir modeliui yra duodamas nurodymas stabdyti TP nurodytu stabdymo pagreičiu. Šis manevras parodo kokias skersines jėgas patiria padangos ir kaip padangos standumas gali atlaikyti netolygiai pasiskirsčiusį TP svorį per keturis ratus.

Simuliacijos pradiniai duomenys:

- Simuliacijos laikas – 5 s.
- Manevro tipas – atvirojo tipo pagal numatytas valdymo komandas (*Open loop*).
- Simuliacijos žingsnių skaičius – 1000.
- Kelio paviršius – sausas ir lygus.
- Pradinis automobilio greitis – 100 km/h.
- Pradinė transmisijos pavara – 5.

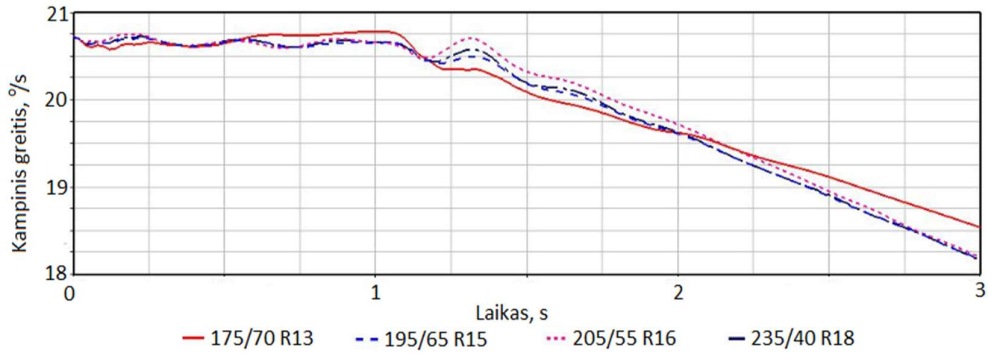
- Šoninis pagreitis – 0,4 G.
- Posūkio kampas – 50º.
- Stabdymo išilginis pagreitis – 0,5 G.

Stabdymo posūkio simuliacijos metu buvo pastebėta, kad nesimato didelio skirtumo šoniniam pagreičiui, tačiau didžiausią šoninį pagreitį manevro pradžioje patiria automobilis su 205 mm pločio padangomis (31 pav.).



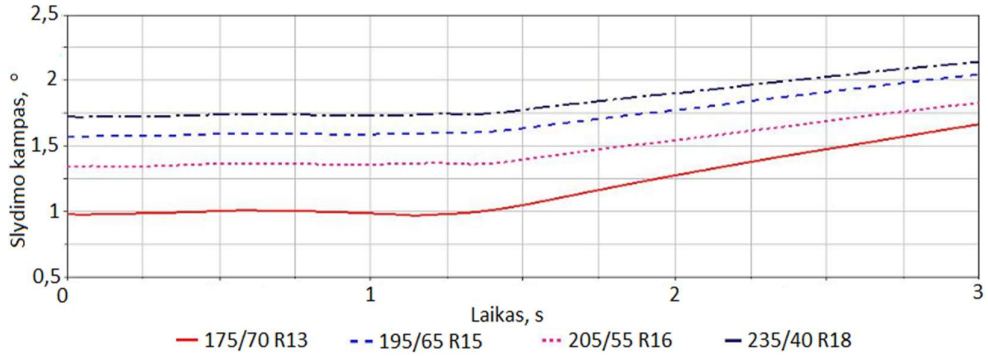
31 pav. Šoninis pagreitis stabdymo posūkyje metu

Šios simuliacijos metu buvo pastebėta, kad automobilis pasisuka labai netolygiai, bet greičiausiai pasisuka su 205 mm pločio padangomis (31 pav.).



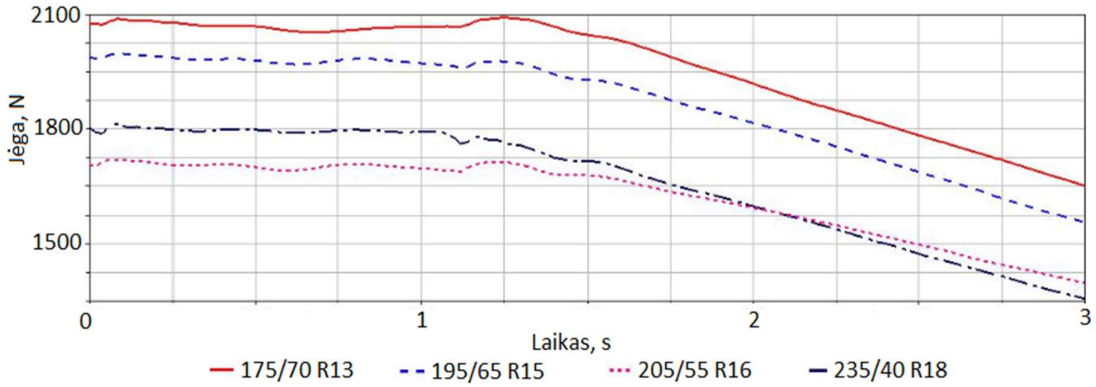
32 pav. Kampinis greitis stabdymo posūkyje metu

Buvo pastebėta, kad stabdymo posūkyje didžiausią slydimo kampą (skersridę) patiria plačiausia padanga, o mažiausią – siauriausia (33 pav.).



33 pav. Padangoms tenkantis slydimo kampas stabdymo posūkyje metu

Galiausiai buvo pastebėta, kad plačiausias priekines kaires padangas veikia mažiausios skersinės sukibimo jėgos, nes duotomis sąlygomis padangos skersridė nepasiekia jėgų, prie kurių padangos generuotų didesnes skersines sukibimo jėgas (34 pav.).



34 pav. Priekinei kairei padangai tenkanti skersinė sukibimo jėga stabdymo posūkyje metu

Pagal stabdymo posūkio metu simuliaciją matome, kad duotomis sąlygomis geriausią stabdymą posūkyje demonstruoja siauriausios 175 mm padangos, kadangi jos išvysto didžiausias skersinio sukibimo jėgas, tačiau automobilis pasisuka mažiausiu kampu. Todėl galima spręsti, kad nustatytomis sąlygomis platesnės padangos neturėjo galimybės išvystyti didesnės skersinės sukibimo jėgos dėl mažų skersridės jėgų.

2.4. Dvigubas juostos keitimo manevras

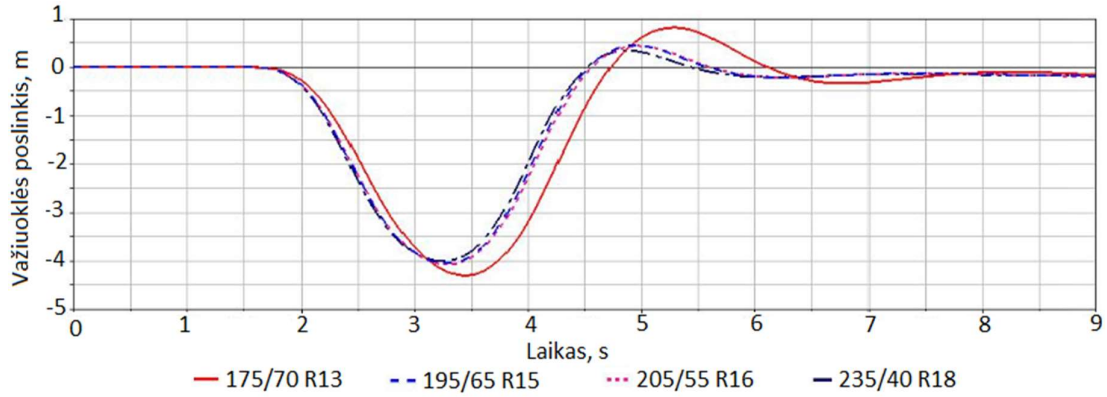
Dvigubas juostos keitimo manevras – tai manevras dar vadinamas „Briedžio testu“, kuriuo metu automobilis juda pastoviu greičiu ir vairuotojas privalo išvengti staiga kelyje atsiradusios kliūties. Šis manevras yra labai svarbus praktikoje, kadangi TP su prastų charakteristikų ar būklės padangomis praranda sukibimą ir TP nuslysta nuo kelio dangos.

Simuliacijos pradiniai duomenys:

- Simuliacijos laikas – 5 s.
- Manevro tipas – uždaro tipo pagal numatytas valdymo komandas (*Losed loop*).
- Simuliacijos žingsnių skaičius – 1000.
- Kelio paviršius – sausas ir lygus.
- Pradinis automobilio greitis – 100 km/h.
- Pradinė transmisijos pavara – 5.
- Posūkio kampas – 50°.

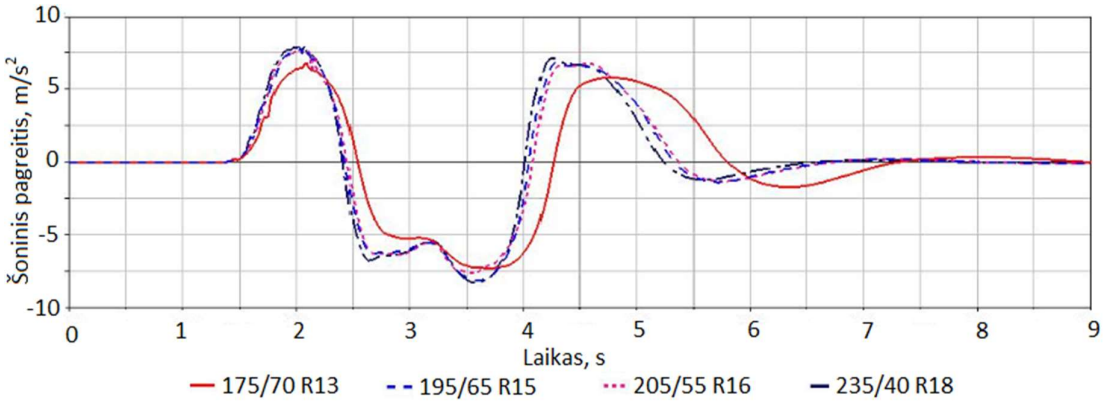
Dvigubo juostos keitimo simuliacijos metu buvo pastebėta, kad 195, 205 ir 235 mm padangos sukelia mažiausią važiuoklės poslinkį, tačiau 175 mm pločio padangos akivaizdžiai demonstruoja

siauros ir aukštos padangos savybes, kuomet padanga gali stipriai deformuotis manevrų įveikimo metu (35 pav.).



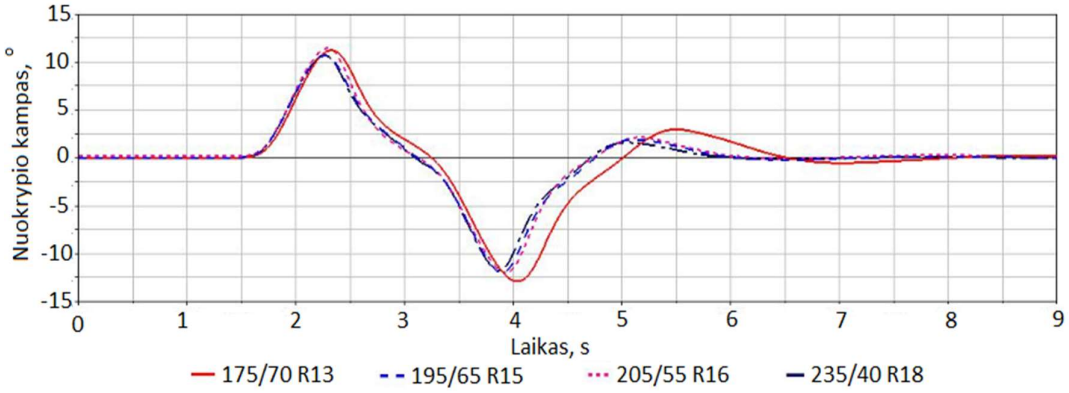
35 pav. Važiuoklės poslinkiai dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu

Dvigubo juostos keitimo simuliacijos metu matoma, kad mažiausią šoninio pagreičio kitimą demonstruoja siauriausios 175 mm padangos, vadinasi, jos demonstruoja mažiausią stabilumą keičiant judėjimo juostas (36 pav.).



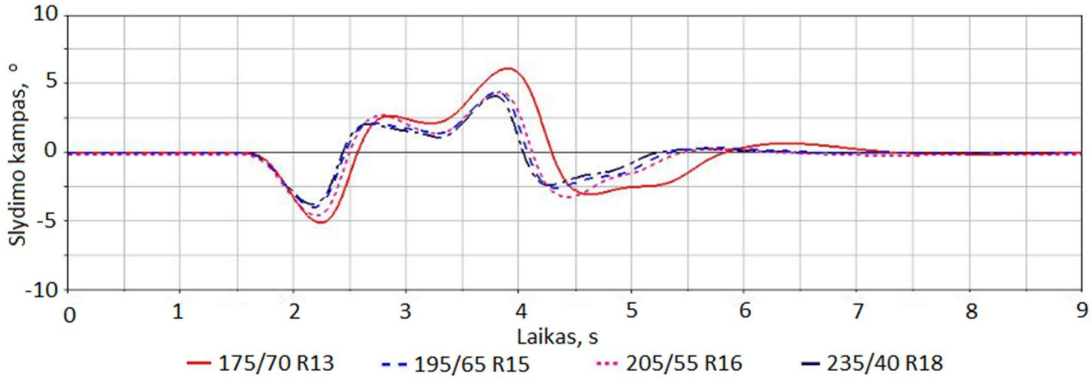
36 pav. Padangoms tenkantis šoninis pagreitis dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu

Simuliacijos metu matoma, kad atliekant dvigubą juostos keitimą, siauriausia 175 mm padanga atsilieka atlikdama juostos keitimo manevrus lyginant su kitomis padangomis (37 pav.).



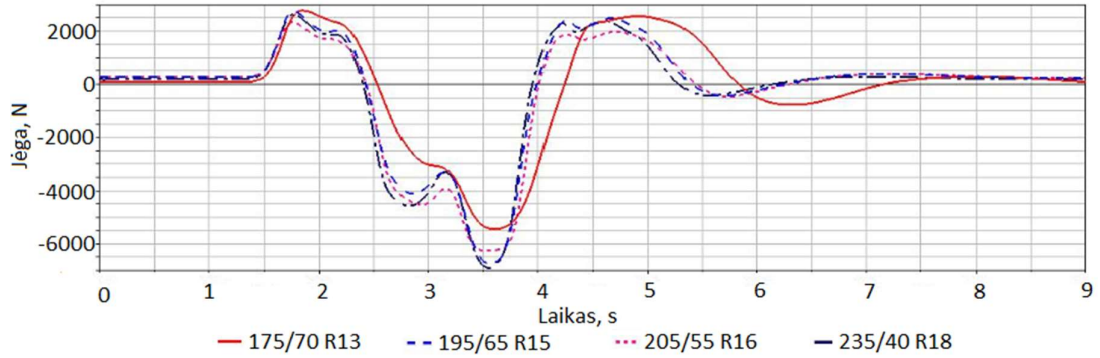
37 pav. Padangos nuokrypio (pasisukimo) kampas dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu

Dvigubos juostos keitimo metu daug didesnį slydimo kampą (skersridę) patiria siauriausia 175 mm padanga (38 pav.).



38 pav. Padangoms tenkančios skersridės kampas dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu

Dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu matoma, kad mažiausią šoninių jėgų apkrovą gauna siauriausia 175 mm padanga, tačiau lyginant su kitomis padangomis, ši padanga lėčiausiai atsako į automobilio posūkio manevrus (39 pav.).



39 pav. Priekinę kairiąją padangą veikiančios šoninės jėgos dydis dvigubos juostos keitimo simuliacijos metu

Pagal dvigubos juostos keitimo simuliaciją akivaizdžiai matyti, kad siauriausios 175 mm padangos rodo prasčiausius rezultatus — labiausiai nestabilios padangos simuliacijos veiksmui. Platesnės padangos demonstruoja panašius rezultatus, tačiau didžiausią stabilumą demonstruoja plačiausios 235 mm padangos.

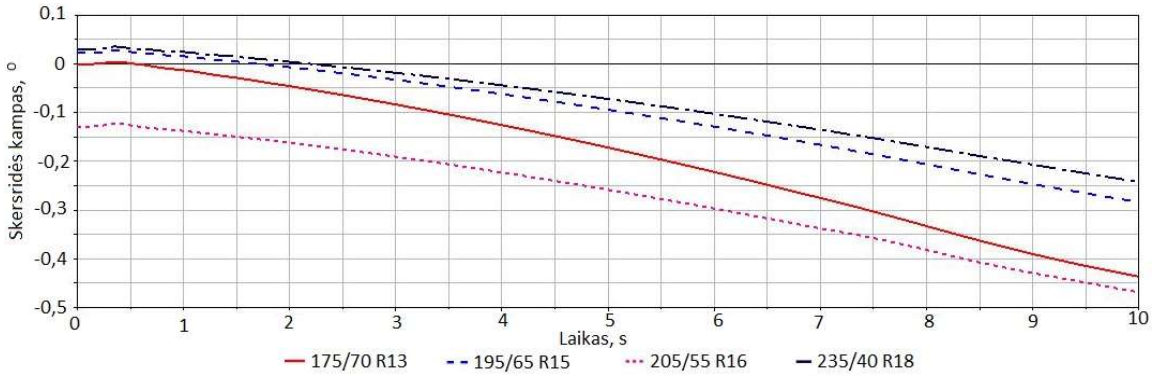
2.5. Posūkio manevras, kada posūkio spindulys yra pastovus

Posūkio manevras, kada posūkio spindulys yra pastovus – tai manevras pagal ISO 4138 standartą, kuriuo metu automobilis juda pastoviu greičiu ir tuo pačiu metu turi įveikti menamą žiedo formos trasą. Šis manevras parodo kokio standumo yra padangos, kuomet posūkio metu TP svoris pasiskirsto netolygiai per keturis automobilio ratus ir automobilį, bei ratus veikia didesnės nei įprasto posūkio metu išcentrinės jėgos.

Simuliacijos pradiniai duomenys:

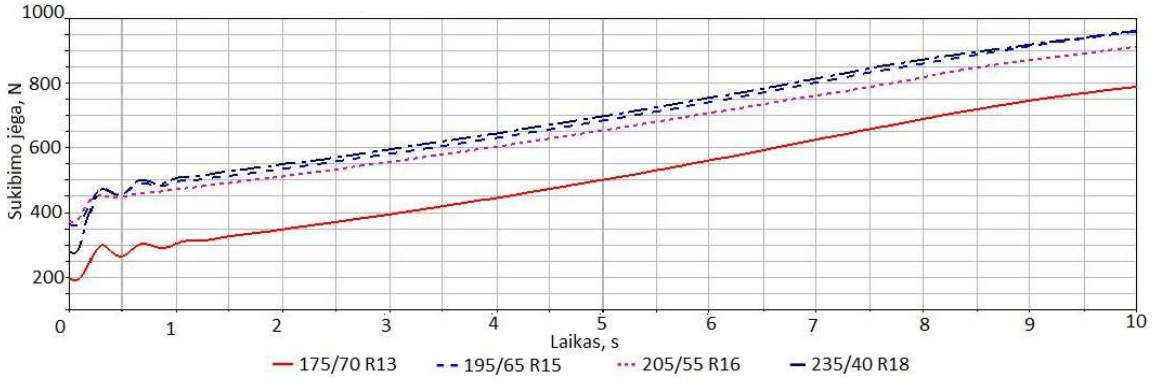
- Manevro tipas – atvirojo tipo pagal numatytas valdymo komandas (*Open loop*).
- Simuliacijos žingsnių skaičius – 1000.
- Kelio paviršius – sausas ir lygus.
- Pradinė transmisijos pavara – 3.
- Posūkio kampas – 100°.
- Simuliacijos laikas – 10 s.
- Pradinis automobilio greitis – 50 km/h.
- Galutinis automobilio greitis – 130 km/h.

Posūkio su pastoviu spindulio simuliacijos metu buvo pastebėta, kad mažiausią skersridės kampą demonstruoja 235 mm padangos, o didžiausią 205 mm padangos (40 pav.).



40 pav. Skersridės kampas posūkio metu, kada posūkio spindulys yra pastovus

Buvo pastebėta, kad posūkio su pastoviu spinduliu metu didžiausias skersinio sukibimo jėgas demonstruoja 195 ir 235 mm pločio padangos, o ryškiai prastesnę skersinio sukibimo jėgą rodo siauriausios 175 mm padangos (41 pav.).



41 pav. Skersinio sukibimo jėga, tenkanti priekinei kairiajai padangai posūkio metu, esant pastoviam spinduliui

Pagal posūkio su pastoviu spinduliu įveikimo simuliaciją matyti, kad didžiausią sukibimą ir didžiausią skersridės kampą demonstruoja plačiausia 235 mm pločio padanga, o 175 mm padanga rodo mažiausią sukibimo jėgą, tačiau mažiausią skersridės kampą demonstruoja 205 mm padanga.

3. EKSPERIMENTINIAI AUTOMOBILIO DINAMIKOS TYRIMAI

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami 2001 m. automobiliu MINI ONE (42 pav.), kuriam buvo parinkti originalūs 15 ir 17 colių skersmens gamintojo numatyti ratlankiai su GOODRIDE SW608 padangomis (43 pav.) (9 lentelė).



42 pav. Automobilis 2001 m. MINI ONE (R50 kėbulas) ir prietaiso *XL Meter* montavimo vieta automobilyje (autoriaus nuotraukos)

9 lentelė. Eksperimentiniam tyrimui pasirinkto automobilio ir naudotų ratų parametrai

Tiriamasis automobilis	2001 m. MINI ONE (*R50* kėbulas)	
Automobilio masė su vairuotoju	1115 kg (deklaruojama gamintojo)	
Stabdžių sistemos tipas priekyje	Diskinių oru aušinamų stabdžių sistema	
Stabdžių sistemos tipas gale	Diskinių stabdžių sistema	
Stabdžių antiblokavimo sistema (ABS)	BMW 34.51-6765282	
Stabilumo sistema (ASC)	BMW 6765284	
Varantieji ratai	Priekiniai varantieji ratai	
Ratų bazė	2467 mm	
Variklio vieta	Automobilio priekyje	
Variklio padėtis	Skersinė	
Pavarų dėžė	5 pavarų mechaninė	
Ratlankių skersmuo	15 colių	17 colių
Ratlankių tipas	Lengvojo lydinio	Lengvojo lydinio
Ratlankių modelis	*MINI R82*	*MINI R110*
Ratlankio svoris	6,9 kg	10,3 kg
Padangų modelis	*Goodride SW608*	*Goodride SW608*
Padangų matmenys	185/65R15	205/45R17
Padangų tipas	Žieminės	Žieminės
Protektoriaus rašto tipas	Kryptinis	Kryptinis
Apkrovos ir greičio indeksai	86V (530 kg ir 240 km/h)	88H(560 kg ir 210 km/h)
Riedėjimo pasipriešinimas	D	E
Stabdymas ant šlapios kelio dangos	C	C
Padangų sukeliamas triukšmas	71 dB	72 dB

a)  b)  c) 

43 pav. Gamintojo siūlomi a) 15 colių (R82) ir b) 17 colių (R110) ratlankiai (*minicooper.fandom.com*)
c) GOODRIDE SW608 padangos raštas (*padangos123.lt*)

3.1. Tiesaus stabdymo nuo 100 iki 0 km/h išilginio pagreičio eksperimentinis tyrimas

Eksperimentiniam skirtingų padangų matmenų poveikiui įvertinti buvo pasirinkta atlikti automobilio tiesaus stabdymo bandymus. Bendru atveju šio tipo bandymą galima atlikti be sudėtingos matavimo ar automobilio valdymo įrangos. Bandymas buvo atliekamas ant sausos asfalto dangos.

Pirmiausia buvo sumontuotas prietaisas *XL Meter* (42 pav.), skirtas išilginiams ir šoniniams pagreičiams matuoti stabdymo ar įsibėgėjimo stadijose. Prieš bandymą prietaisas buvo sukalibruotas dviem matavimo kryptimis (išilgine ir skersine) ir tvirtai sumontuojamas ant automobilio priekinio stiklo taip, kad netrukdytų vairuotojo matomumui.

Sumontavus prietaisą, buvo pasirenkama stabdymo pagreičių skaičiavimo funkcija ir atliekamas bandymas. Įjungus prietaisą, buvo įsibėgėjama iki 100 km/h, nuspaudžiamas *XL Meter* matavimo prietaiso skaičiavimų pradžiai skirtas mygtukas ir staiga stabdant automobilį nuspaudus stabdžių pedalą (neperjungiant 4-os pavaros). Stabdymo metu vairuotojas tvirtai laiko vairą, kad nepasisuktų ir nepasikeistų judėjimo trajektorija.

Bandymams buvo pasirinktas tiesus, labai mažo intensyvumo kelio ruožas šalia Vilniaus. Stabdymai buvo atliekami tik įsitikinus, kad visoje atkarpoje nėra TP, dviratininkų ar kitų eismo dalyvių.

Kelio danga – sausas šiurkštus asfaltas su vietiniais dangos atnaujinimais (44 pav.)



44 pav. Stabdymo eksperimentinio tyrimo kelio dangos nuotrauka (autoriaus nuotrauka)

Oro temperatūra – 2–3 ºC.

Oro drėgnumas – 0–1 %.

XL Meter prietaiso paklaida – 0,0021 m/s^2.

Rezultatams įvertinti pasirinkta rezultatų palyginimo metodika. Toliau yra pateikiami tyrimo rezultatai (10 lentelė ir 45–48 pav.):

10 lentelė. Prietaiso ekrane rodomi pradiniai bandymų rezultatai

	Bandymo Nr.	*So,* m	*Vo,* km/h	*Tbr,* s	*MFDD,* m/s^2	
205/45 R17 padangos	1	96,39	106,8	5,52	6,64	**6,80**
	2	95,2	111,1	5,55	7,06	
	3	84,54	105,15	5,15	6,59	
	4	89,91	109,57	5,26	6,9	
185/65 R15 padangos	1	69,16	101,46	4,79	6,43	**6,69**
	2	76,13	103,28	5,11	6,48	
	3	76,82	103,79	4,87	6,8	
	4	63,08	97,5	4,54	7,06	

čia: S_0 – nuvažiuotas atstumas stabdymo metu (m); V_0 – pradinis automobilio važiavimo greitis, pradedant stabdyti (km/h); *Tbr* – laikas nuo stabdymo pradžios iki pabaigos (s); MFDD (angl. *Mea Fully Developed Deceleration*) – tai standartizuotas automobilio lėtėjimo dinamikos efektyvumo įvertinimo vienetas, atitinkantis maksimalų nusistovėjusį lėtėjimo pagreitį ir apskaičiuojamas pagal UNECE reguliacijos 13 straipsnį (PVGTR 2005-2a 2005).:

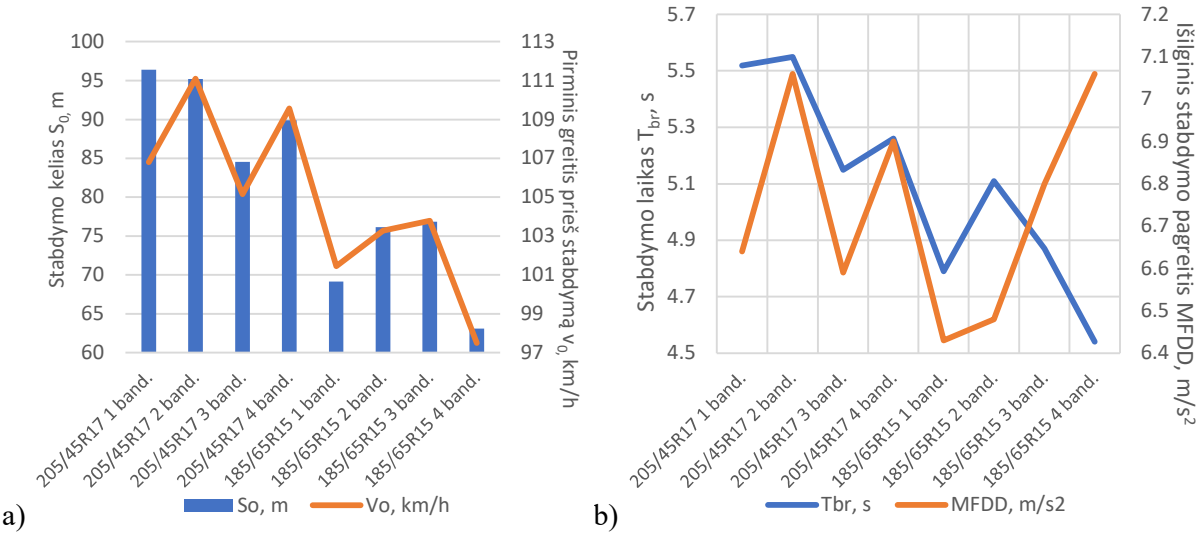
$$\text{MFDD} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{25{,}92 \cdot (S_1 - S_2)}, \text{m/s}^2; \quad (1.16)$$

čia: v_o – pradinis TP greitis (km/h); v_2 – greitis, atitinkantis 0,8 pradinio greičio (km/h); v_1 – greitis, atitinkantis 0,1 pradinio greičio (km/h); S_1 – nuvažiuotas atstumas tarp v_0 ir v_2 (m); S_2 – nuvažiuotas atstumas tarp v_0 ir v_1 (m);

Pagal pirminius prietaiso ekrane rodomus rezultatus matome, kad svyruoja stabdymo kelio ilgiai ir automobilio greičiai prieš stabdymą (atitinkamai iki 33 m ir 14 km/h) (44 pav. a). Taip pat matoma tendencija, kad kuo didesnis yra automobilio greitis prieš stabdymą, tuo ilgesnis yra stabdymo kelias ir stabdymo laikas. Šios paklaidos yra susiformavusios dėl žmogiškojo faktoriaus.

Didžiausius maksimalius nusistovėjusios lėtėjimo pagreičius (MFDD) gauname 2-ojo bandymo metu su 205/45R17 padangomis (prie 111,1 km/h greičio) ir 4-ojo bandymų metu su 185/65R15 padangomis (esant 97,5 km/h greičiui) (44 pav. b). Tarp šių bandymų pradinių greičių skirtumai yra didžiausi pagal bandymus su skirtingomis padangomis. Stabdymo keliai ir stabdymo laikai yra taipogi skirtingi (atitinkamai 95,2 m ir 63,08, bei 5,55 s ir 4,54 s). Kadangi su 185/65R15 atlikto

eksperimento metu važiavimo greitis buvo mažiausias, todėl stabdymo kelias ir stabdymo laikas yra mažiausias, tačiau išilginis lėtėjimo pagreitis yra lygus lyginant su 205/45R17 padangomis. Taip pat palyginus MFDD vidurkius matyti, kad geresnį didžiausią maksimalų nusistovėjusį lėtėjimo pagreitį demonstruoja platesnės padangos, todėl daroma išvada, kad šiuo atveju geresnes stabdymo charakteristikas demonstruoja platesnės padangos.



a) b)

45 pav. a) *XL Meter* ekrane atvaizduoti stabdymo kelio ilgiai ir automobilio greičiai prieš stabdymus; b) *XL Meter* ekrane atvaizduoti stabdymo laikai ir išilginiai stabdymo pagreičiai.

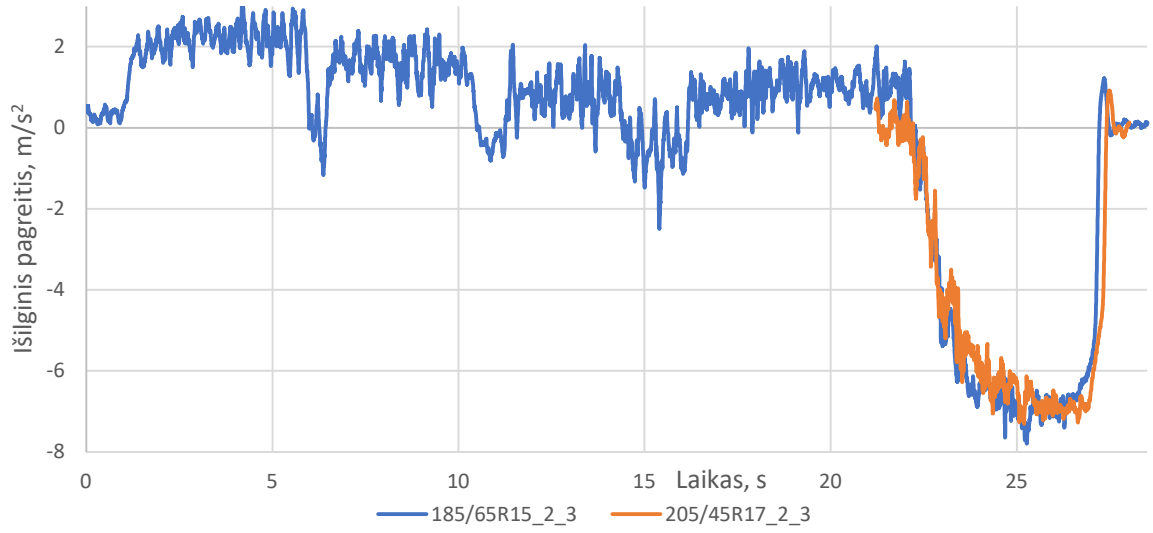
Išanalizavus gautus rezultatus, kurie yra išsaugoti prietaiso atmintyje buvo atrinkti 3 grafikai, kuriuos galima analizuoti. Visi gauti eksperimentinio tyrimo metu duomenys pateikti 5 priede.

1. Gautas mažiausias S_0 skirtumas yra tarp bandymų 185/65 R15 3-ojo ir 205/45 R17 3-iojo (45 pav.).
2. Gautas antras mažiausias V_0 skirtumas yra tarp bandymų 185/65 R15 2-ojo ir 205/45 R17 3-iojo (46 pav.).
3. Gautas antras mažiausias T_{br} skirtumas yra tarp bandymų 185/65 R15 2-ojo ir 205/45 R17 4-ojo (47 pav.).

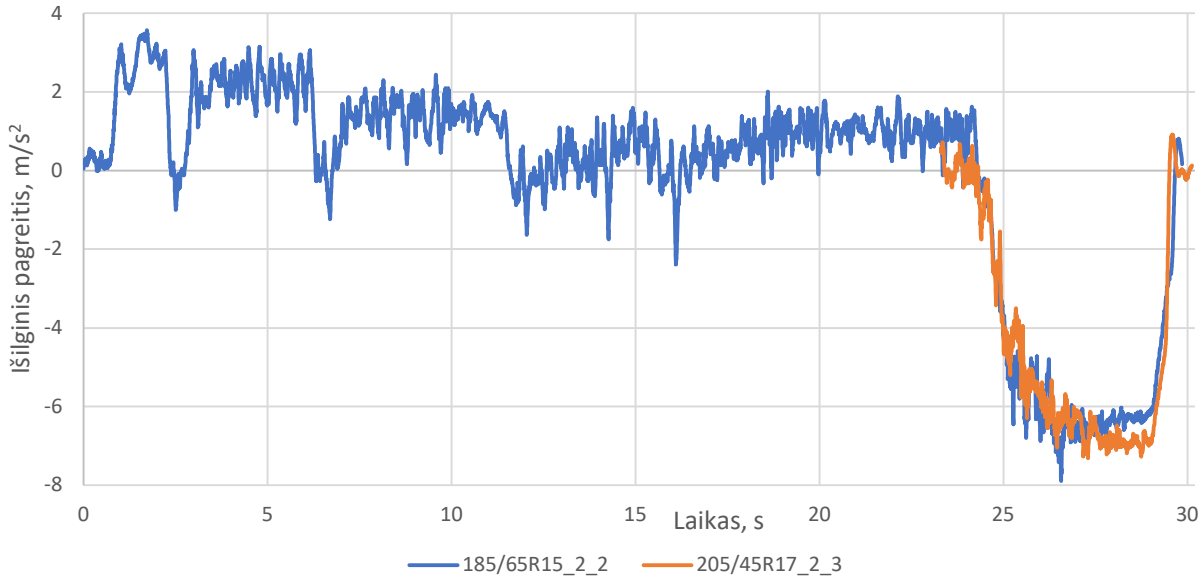
1-ojo grafiko atveju (46 pav.) skirtumas tarp plačių ir siaurų padangų stabdymo kelias yra mažiausias, todėl sulyginus laiko atžvilgiu grafikus juos palyginame. Pagal grafiką matome, kad aiškaus skirtumo tarp skirtingos geometrijos padangų stabdymo metu ant sausos dangos nėra ir pagal eksperimento metu buvusias sąlygas šiek tiek geresnį stabdymą demonstruoja siauresnės 185/65 R15 padangos.

2-ojo grafiko atveju (47 pav.) skirtumas tarp plačių ir siaurų padangų pradinių važiavimo greičių yra antras pagal mažumą, todėl sulyginus laiko atžvilgiu grafikus juos palyginame. Pagal grafiką matome, kad aiškaus skirtumo tarp skirtingos geometrijos padangų stabdymo metu ant sausos dangos nėra ir pagal eksperimento metu buvusias sąlygas bandymo 1 pusėje šiek tiek geresnį

stabdymą demonstruoja siauresnės 185/65 R15 padangos, o bandymo 2 pusėje – 205/45 R17 padangos.

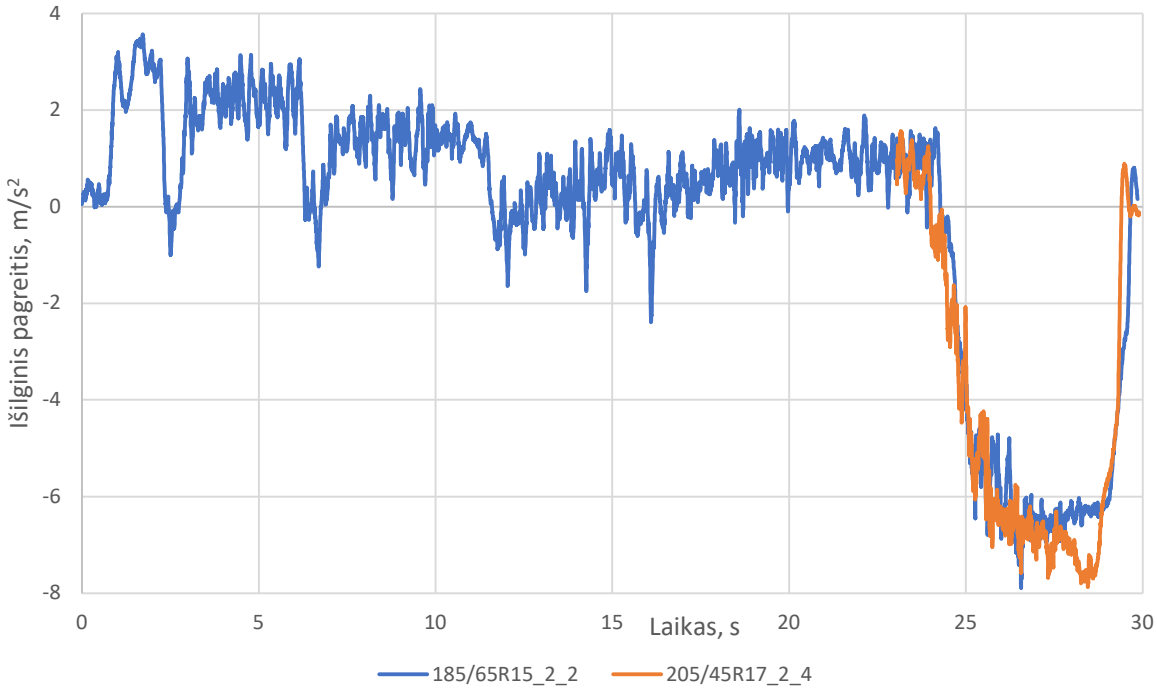


46 pav. Išilginio pagreičio pagal laiką grafikas stabdymo eksperimentinių tyrimo metu, kai skirtumas tarp stabdymo kelio yra mažiausias



47 pav. Išilginio pagreičio pagal laiką grafikas stabdymo eksperimentinių tyrimo metu, kai skirtumas tarp pradinio greičio yra antras pagal mažumą

3-ojo grafiko atveju (48 pav.) skirtumas tarp plačių ir siaurų padangų stabdymo laiko yra antras pagal mažumą, todėl sulyginus laiko atžvilgiu grafikus juos palyginame. Pagal grafiką matoma, kad aiškaus skirtumo tarp skirtingos geometrijos padangų stabdymo metu ant sausos dangos nėra ir pagal eksperimento metu buvusias sąlygas šiek tiek geresnį stabdymą demonstruoja platesnės 205/45 R17 padangos.



48 pav. Išilginio pagreičio pagal laiką grafikas stabdymo eksperimentinių tyrimo metu, kai skirtumas tarp stabdymo laiko yra antras pagal mažumą

Išanalizavus visus 3 grafikus galima teigti, kad atliekant eksperimentą ant nieko neišsiskiriančios vidutinės kokybės kelio dangos (asfaltas su vietiniais dangos atnaujinimais) Lietuvos keliuose, skirtumo tarp skirtingos geometrijos padangų stabdymo metu ant sausos dangos nėra. Eksperimento metu pagal buvusias sąlygas ženklaus skirtumo stabdant 17 colių ar 15 colių ratais nebuvo nustatyta.

3.2. Padangų sukeliamo triukšmo matavimas važiuojant skirtingomis dangomis eksperimentinis tyrimas

Eksperimentiniam skirtingų padangų matmenų sukeliamam triukšmui palyginti buvo pasirinktos 4 skirtingos dangos (sausas asfaltas, smulkus grindinys (trinkelės), stambus grindinys (plytos) bei žvyrkelis) ir tyrimai buvo kartojami važiuojant 30 ir 50 km/h greičiu. Atliekant tyrimus radijas buvo išjungtas ir visų bandymų metu oro vėdinimo sistema buvo nustatyta ties minimalia padėtimi (I), pūtimo ant langų funkcijos.

Padangų sukeliamas triukšmas buvo matuojamas mobilia programėle telefone *Sound Meter*, kuri matuoja triukšmo lygį realiu laiku ir pagal matavimo laikotarpį atrenka minimalias, maksimalias ir vidutines reikšmes (49 pav.). Matavimo metu telefonas buvo padėtas ant minkštos medžiaginės keleivio sėdynės.



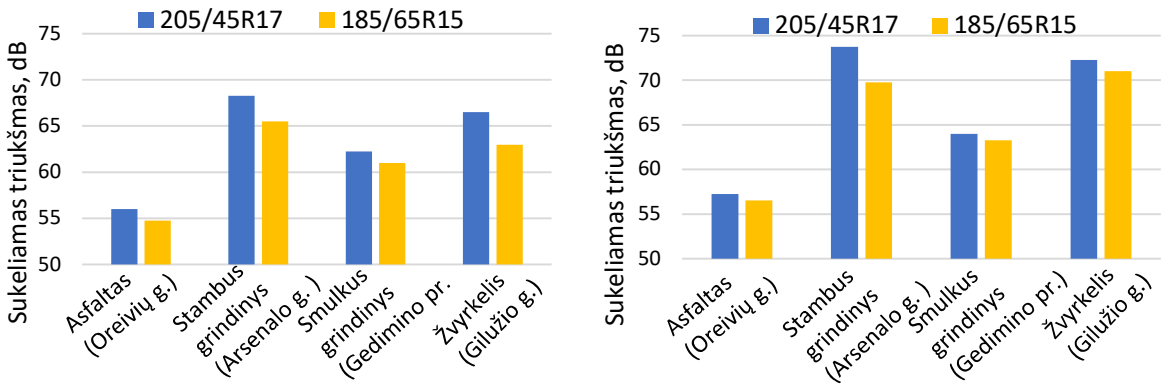
49 pav. Mobiliosios programėlės *Sound Meter* darbinis langas ir telefono vieta matavimo metu (autoriaus nuotraukos)

Padangų sukeliamo triukšmo matavimai buvo atliekami ant keturių skirtingų dangų. Šių kelių nuotraukos pateiktos 50 pav.



50 pav. Kelio dangų nuotraukos, kuriomis važiuojant buvo tirtas padangų sukeliamas triukšmas (autoriaus nuotraukos)

Padangų sukeliamo triukšmo matavimai buvo kartojami po 4 kartus ant kiekvienos dangos važiuojant skirtingais 30 ir 50 km/h greičiais, išlaikant tokius pačius variklio sūkius ir pavarą. Gauti duomenys pateikti 6 priede, o triukšmas pagal kelio dangas yra pateikti 51 pav.



a) b)

51 pav. Padangų sukeliamas triukšmas dB, pagal skirtingas kelio dangas: a) prie 30 km/h greičio, b) prie 50 km/h greičio

Pagal gautus rezultatus matome, kad važiuojant tiek 30, tiek 50 km/h greičiu, didesnį padangų skleidžiamą triukšmą sukelia platesnės 205/45R17 padangos. Taip pat, abejų matmenų padangos sukelia didesnį triukšmą prie didesnio važiavimo greičio.

Šiuos rezultatus palyginus su gamintojo deklaruojamais (71 dB 15-os colių padangoms ir 72 dB 17-os colių padangoms) matoma, kad esant 30 km/h šios reikšmės nėra pasiekiamos, o pasiekiamos tik važiuojant stambiu grindiniu ir žvyrkeliu esant 50 km/h. Taip yra todėl, kad padangų ženklinime esantis padangų sukeliamas triukšmas yra atliekamas, kai automobilis juda 80 km/h greičiu sausu asfaltu.

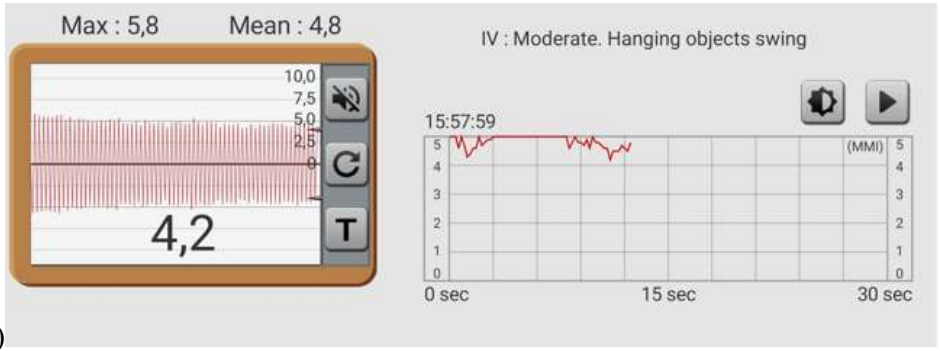
3.3. Vertikalių svyravimų matavimas važiuojant skirtingomis dangomis eksperimentinis tyrimas

Eksperimentiniam skirtingų padangų matmenų vertikalių svyravimų tyrimui palyginti buvo pasirinktos 4 skirtingos dangos (sausas asfaltas, smulkus grindinys (trinkelės), stambus grindinys (plytos) bei žvyrkelis) ir tyrimai buvo kartojami važiuojant 30 ir 50 km/h greičiu. Atliekant tyrimus radijas buvo išjungtas ir visų bandymų metu oro vėdinimo sistema buvo nustatyta ties minimalia padėtimi (I), pūtimo ant langų funkcijos.

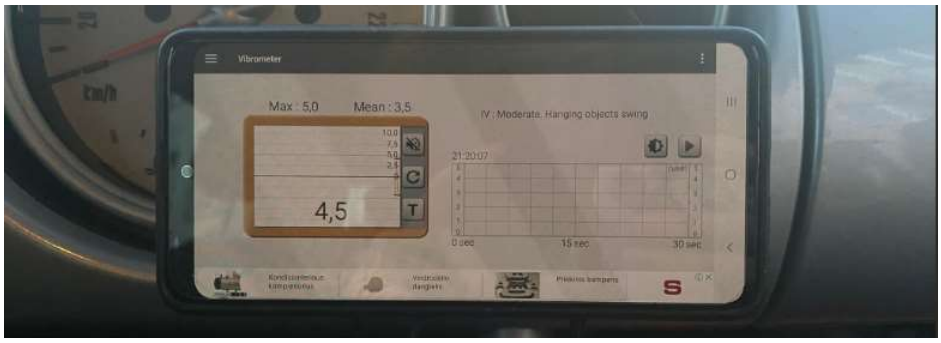
Vertikalūs svyravimai buvo matuojami mobilia programėle telefone *Vibrometer*, kuri matuoja telefono vertikalius svyravimus (poslinkius) realiu laiku 30 Hz fiksavimo dažniu ir pagal matavimo laikotarpį atrenka maksimalias ir vidutines reikšmes (52 pav. a). Matavimo metu telefonas buvo sumontuotas ant standaus telefono laikiklio ant priekinės konsolės (52 pav. b).

Vertikalių svyravimų matavimai buvo atliekami ant keturių skirtingų dangų. Šių kelių nuotraukos pateiktos 50 pav.

a)



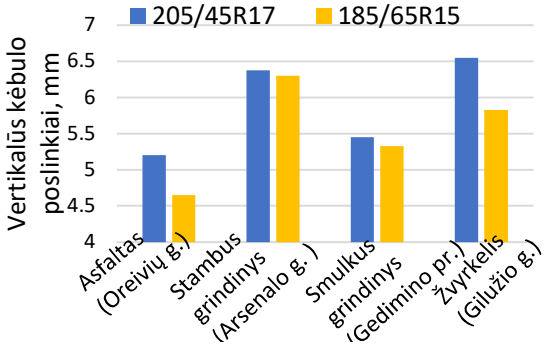
b)



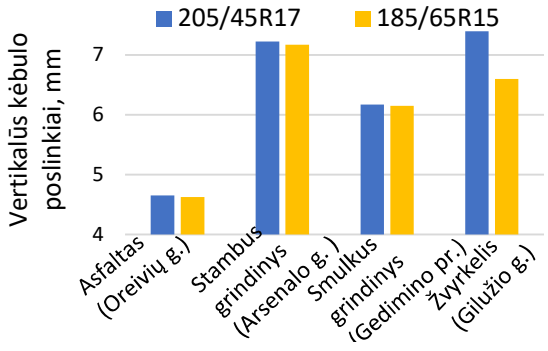
52 pav. a) Mobiliosios programėlės *Vibrometer* darbinis langas;
b) Telefono montavimo vieta automobilyje (darbo autoriaus nuotraukos)

Vertikalių svyravimų matavimai buvo kartojami po 4 kartus ant kiekvienos dangos važiuojant skirtingais 30 ir 50 km/h greičiais, išlaikant tokius pačius variklio sūkius ir pavarą. Svyravimų vidurkiai pagal kelio dangas ir greičius pateikti 7 priede, o svyravimai pagal kelio dangas yra pateikti 53 pav.

a)



b)



53 pav. Vertikalūs kėbulo poslinkiai pagal skirtingas kelio dangas:
a) prie 30 km/h greičio, b) prie 50 km/h greičio

Pagal gautus rezultatus matome, kad važiuojant tiek 30, tiek 50 km/h greičiu, didesni vertikalūs svyravimai (poslinkiai) vyksta važiuojant su 205/45R17 padangomis. 30 km/h greičiu, svyravimų skirtumas yra 0,55 mm važiuojant asfaltu, 0,075 mm važiuojant stambiu grindiniu ir 0,725 važiuojant žvyrkeliu, o 50 km/h greičiu, svyravimų skirtumo nėra važiuojant asfaltu, 0,05 mm skirtumas

važiuojant stambiu grindiniu, 0,025 skirtumas važiuojant smulkiu grindiniu ir 0,8 mm skirtumas važiuojant žvyrkeliu.

Todėl po šio tyrimo galima teigti, kad vairuotojams, ieškantiems komfortiškesnio važiavimo jausmo, derėtų rinktis siauresnes aukštesnio profilio padangas, kurios geriau amortizuoja važiuojant nelygiomis kelio dangomis.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Pagal išnagrinėtus mokslinės literatūros šaltinius galima teigti, jog automobilis su platesnio profilio padangomis stabdo geriau esant sausai ir laibai geros kokybės bei būklės kelio dangai, nes tarp padangų ir kelio dangos dominuoja adhezijos reiškinio sukibimo jėga, tačiau važiuojant prasta, drėgna, ledu ar sniegu padengta danga siauresnės padangos stabdo geriau, nes dominuoja histerezės reiškinio sukibimo jėga.

2. Pagal išnagrinėtus mokslinės literatūros šaltinius, aukštesnio profilio padangos geriau amortizuoja vertikalia kryptimi, tačiau atliekant posūkius yra linkusios labiau deformuotis skersine kryptimi ir taip mažinti automobilio valdymo tikslumą, lyginant su žemesnio profilio padangomis.

3. Pagal reglamentuotą gamintojų padangų ženklinimą platesnių padangų stabdymo ant šlapios dangos indeksas blogėja ir didėja padangų sukeliamas triukšmas, tačiau šie duomenys yra bendro pobūdžio ir skirti eiliniams vartotojams, todėl šių duomenų yra per maža norint objektyviai įvertinti padangų charakteristikas.

4. Pagal *Auto Bild* ekspertus to paties gamintojo 20–40 mm platesnės padangos 4,5–10 % geriau stabdo ant sausos kelio dangos stabdant (nuo 100 iki 0 km/h), bet blogiau 2–3,5 % stabdo ant šlapios kelio dangos stabdant (nuo 80 iki 0 km/h).

5. Pagal *Adams Car* programa atliktas kompiuterines simuliacijas buvo nustatyta, kad:

- tiesaus stabdymo manevro metu, geriausias stabdymo savybes demonstruoja 235/40 R18 padangos esant 95 % stabdymo intensyvumui, lyginant su tomis pačiomis padangomis esant 85–90 % stabdymo intensyvumui ir 195/65 R15 padangomis esant 85 % stabdymo intensyvumui.
- posūkio įveikimo manevro metu, 205/55R16 dydžio padanga sąlygoja didžiausią šoninį pagreitį, o automobilis su siauriausio profilio (175 mm) padangomis yra intensyviausiai užsukamas apie vertikalią ašį.
- stabdymo posūkyje manevro metu, didžiausią skersridės kampą demonstruoja plačiausia 235/40R18 matmens padanga ir atitinkamai pagal tai didžiausią skersinę sukibimo jėgą.
- dvigubo juostos keitimo manevro metu, su siauriausiomis 175 mm padangomis automobilio važiuoklė patiria didžiausią skersinį poslinkį, lėčiausią šoninio pagreičio kitimą, didelį skersridės kampą ir automobilis lėčiausiai atsako į vairuotojo manevrus.
- posūkio su pastoviu spinduliu manevro metu, plačiausia 235 mm padanga patiria mažiausią skersridės kampą ir demonstruoja didžiausią sukibimo jėgą.

6. Pagal atliktą eksperimentinį automobilio stabdymo manevrą su skirtingos geometrijos padangomis gauta, kad automobilis greičiau sustoja su siauresnėmis 185/65R15 padangomis (apie 11 %), o MFDD minimaliai (apie 1,5 %) yra didesnis platesnių 205/45 R17 padangų. Tai paneigia hipotezę, kad platesnės padangos stabdo geriau ant sausos dangos, nes Lietuvos keliuose

danga yra prastesnės nei labai geros kokybės (lygumo ir švarumo) kelio danga, ir dominuoja tiek adhezijos, tiek histerizės reiškinių paremtas sukibimas su kelio danga.

7. Pagal atliktus eksperimentinius padangų sukeliamo triukšmo tyrimus gauta, kad važiuojant 50 km/h greičiu, platesnės 205/45R17 padangos sukelia 1,31 % daugiau triukšmo važiuojant sausu asfaltu, 5,42 % didelio grubumo grindiniu, 1,17 % mažo grubumo grindiniu, 1,73 % žvyrkeliu, o važiuojant 30 km/h greičiu – 2,23 % sausu asfaltu, 4,03 % stambiu grindiniu, 2,01 % smulkiu grindiniu, 5,26 % žvyrkeliu, lyginant su 185/65 R15 geometrijos to paties gamintojo ir modelio padanga.

8. Pagal atliktus eksperimentinius kėbulo svyravimo tyrimus buvo gauta, kad važiuojant su siauresnėmis 185/65R15 padangomis 50 km/h greičiu, kėbulas 0,53 % mažiau svyravo važiuojant sausu asfaltu, 0,69 % stambiu grindiniu, 0,40 % smulkiu grindiniu, 10,81 % žvyrkeliu, o važiuojant 30 km/h greičiu – 10,6 % sausu asfaltu, 1,18 % stambiu grindiniu, 12,4 % smulkiu grindiniu ir 11,1 % žvyrkeliu.

9. Reziumuojant išvadose pateiktus punktus galima teigti, jog idealiomis labai geros kokybės kelio dangos sąlygomis (dominuojant adhezijai) platesnės žemesnio profilio padangos stabdo geriau ant sausos kelio dangos, tačiau esant drėgnai, šlapiai ar prastesnės kokybės kelio dangai (dominuojant histerizei) geresnes stabdymo savybes demonstruoja siauresnės aukštesnio profilio padangos. Taip pat išnagrinėjus mokslinės literatūros straipsnius, apžvalgas, kompiuterines simuliacijas ir eksperimentinius bandymus, galima teigti, kad siauresnės aukštesnio profilio padangos yra komfortiškesnės už platesnes žemo profilio padangas. Vartotojai turėtų būti informuojami apie tai, kad didesnio dydžio padangos įprastinėmis važiavimo sąlygomis bendro naudojimo keliais nesuteikia pastebimai geresnių valdymo ir dinamikos savybių, o tai daugiau yra geresnės išvaizdos elementas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

ABS/ASC Hydraulic unit. https://www.tav-autoverwertung.de/shop/ABS-ASC-Hydraulic-unit-34-51-6-765-282-6-765-284-Ate-10020600984-10096008713-BMW-Mini

Braking tests and the required performance of braking systems. https://unece.org/DAM/trans/doc/2005/wp29grrf/PVGTR2005-2a.pdf

Benson J. (2021). 2021 53 Summer Tyre Braking Test. *Auto Bild.* https://www.tyrereviews.com/Article/2021-53-Summer-Tyre-Braking-Test.htm

Benson J. (2020). 2020 Tyre Market Overwiew Braking Test. *Auto Bild.* https://www.tyrereviews.com/Article/2020-Tyre-Market-Overview-Braking-Test.htm

Benson J. (2019). 2019 Summer 53 Tyre Braking Shootout. *Auto Bild.* https://www.tyrereviews.com/Article/2019-Summer-53-Tyre-Braking-Shootout.htm

Besselink I. J. M., Schmeitz A. J. C., Pacejka H. B. (2010). An improved Magic Formula/Swift tyre model that can handle inflation pressure changes *Vehicle Systems Dynamics.* https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00423111003748088?needAccess=true

Blundell M., Harty D. (2015). *The multibody systems approach to vehicle dynamics*. Second edition. Oxford: Elsevier Ltd. 741 p.

CarWale Team (2021). How tyre size affects performance. *Carwale.* https://www.carwale.com/features/how-tyre-size-affects-performance-30433/

Daws J.W., Larson R.E., Brown J.C. (2005). The Impact of Plus-Sized Wheel/Tire Fitment on Vehicle Stability. *Tire Science and Technology* *https://pdfs.semanticscholar.org/d439/850a85e23041eb17c5a388c44fe007a8477b.pdf*

Essentials of Vehicle Dynamics (2015). https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/magic-formula

Europos Parlamento ir Tarybos nutarimas (2021). https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/tyres_en

Europos Sąjungos reglamentas (ES) 2020/74 (2020). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0740&from=EN

Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (EB) 1222/2009 (2009). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1222-20120530&from=EN

Gillerspie T.D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers. 495 p.

Jazar R.N. (2009). *Vehicle dynamics*. Melbourne: Springer. 1015 p.

Jugtinių Tautų Europos ekonomikos komisijos keleivinių TP stabdymo direktyva PVGTR2005-2a (2005). https://unece.org/DAM/trans/doc/2005/wp29grrf/PVGTR2005-2a.pdf

Leister G. (2018). *Passenger car tires and wheels*. Wiesbadem: Springer. 273 p.

Li T. 2018. Literature review of models on tire-pavement interaction noise. *Journal of Sound and Vibration.* 89 p. *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X18300348*

Mattson C. (2013). The Physics of Tire Width. *Physics 211* *http://ffden-2.phys.uaf.edu/211_fall2013.web.dir/connor_mattson/physics.html*

Meywerk M. (2015). *Vehicle dynamics*. Chennai: Wiley. 235 p.

OEM Wheels and Tires. https://minicooper.fandom.com/wiki/OEM_Wheels_and_Tires#15.22_Wheels

Pattanaik P. P., Balu V. (2021). Plus size tire: Effect on the performance of the vehicle. *Materials Today: Proceeding.* 4 p. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321024834

Ružinskas A. (2018). *Automobilio rato sąveikos su sniegu ir ledu padengta kelio danga modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai.* Daktaro disertacija.

Secunda M. As an engineer, I know that friction does not depend upon surface area. As a car nut, I know that wider tires have better traction. How do you explain this contradiction?. *Physlink.* *https://www.physlink.com/Education/askexperts/ae200.cfm*

Tire Materials Testing for Harsh Environments (2018). *AZO Materials* https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16607

Tyre Reviews. https://www.tyrereviews.com/

Toma S. (2016). Bigger Wheels and Tires – Where Performance Begins And Ends. *Autoevolution.* https://www.autoevolution.com/news/bigger-wheels-and-tires-where-performance-begins-and-ends-113542.html

Trinkūnas A. (2013). *Padangų riedėjimo pasipriešinimo lauko sąlygomis tyrimas*. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas.

Zhou X., Venhovens P. (2014). Wheel and tire customization influence on vehicle dynamics performance. *Cuicar Tomorrow's Engineer Today.* 31 p.

Quiroga T. (2010). Effects of Upsized Wheels and Tires Tested. *Car and Driver.* https://www.caranddriver.com/features/a15130598/upsized-wheels-tires/

https://17to40.co.uk/the-tire-contact-patch/

XL Meter User's Manual. https://manualzz.com/doc/6694857/xl-meter%E2%84%A2-pro

PRIEDAI

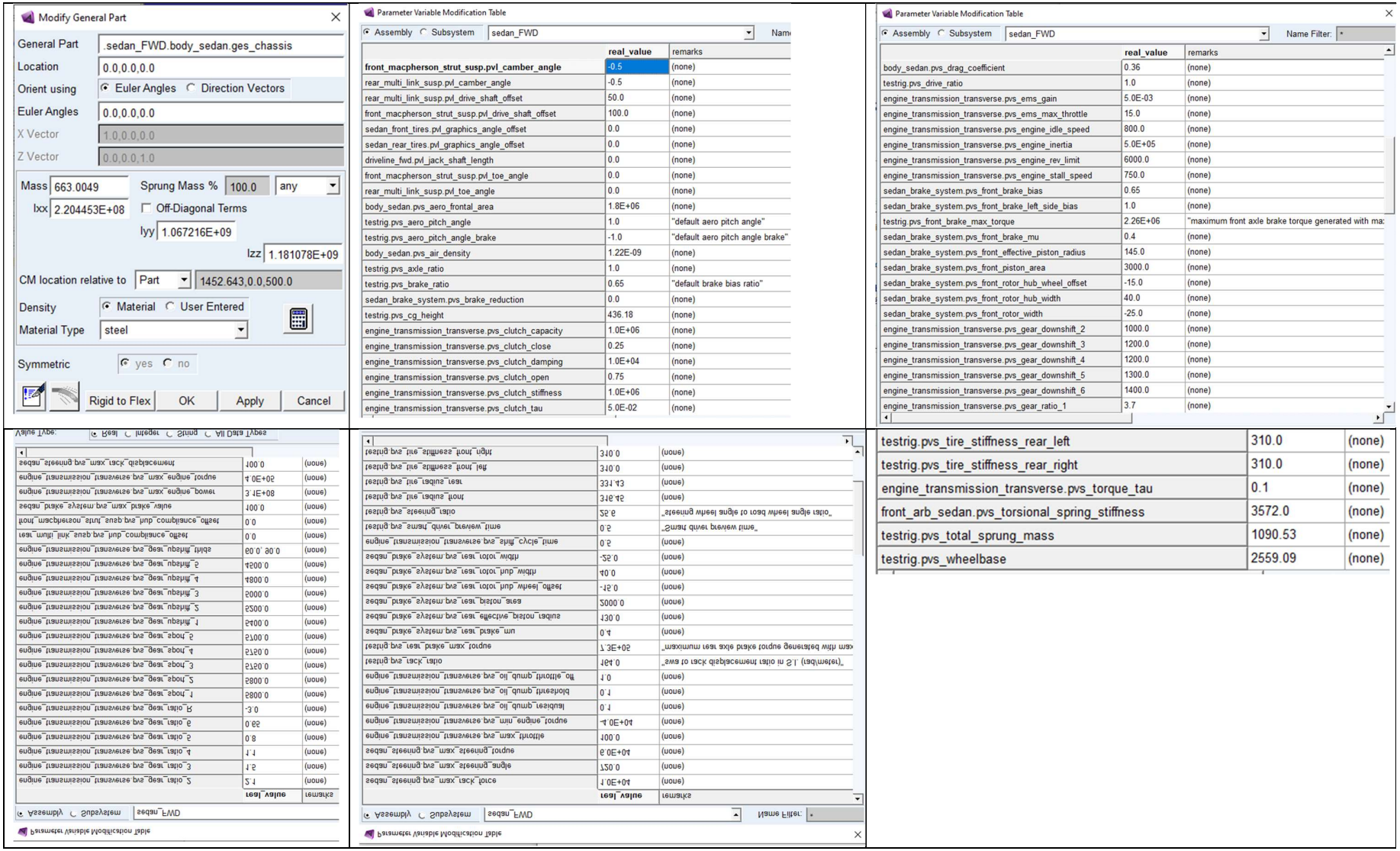
1 priedas. Padangų gamintojų deklaruojamų savybių klasifikavimas pagal ES 2020/740 reglamentą

	Gamintojas ir modelis	Klasė	Riedėjimo pasipriešinimas	Stabdymas ant šlapios dangos	Sukeliamas triukšmas, dB
195/65R15	*Michelin Primacy 4*	Premium	C	A	68 (A)
	Hankook Ventus Prime 3 (K125)	Vidutinė	C	A	71 (B)
	Nexen N'fera SU1	Ekonominė+	C	B	70 (B)
	Triangle Sportex TH201	Ekonominė	-	-	-
205/55R16	*Michelin Primacy 4*	Premium	C	A	68 (A)
	Hankook Ventus Prime 3 (K125)	Vidutinė	C	A	71 (B)
	Nexen N'fera SU1	Ekonominė+	E	B	69 (B)
	Triangle Sportex TH201	Ekonominė	C	C	70 (B)
225/45R17	*Michelin Primacy 4*	Premium	D	A	70 (B)
	Hankook Ventus Prime 3 (K125)	Vidutinė	C	A	71 (B)
	Nexen N'fera SU1	Ekonominė+	E	C	70 (B)
	Triangle Sportex TH201	Ekonominė	C	C	72 (B)
245/40R18	*Michelin Primacy 4*	Premium	A	B	70 (B)
	Hankook Ventus Prime 3 (K125)	Vidutinė	C	A	72 (B)
	Nexen N'fera SU1	Ekonominė+	C	B	72 (B)
	Triangle Sportex TH201	Ekonominė	C	C	72 (B)

2 priedas. *Auto Bild* specialistų atliktų tyrimų rezultatai

		Stabdymas, m	
		Sausas (100-0 km/h)	Šlapias (80-0 km/h)
205/55 R16	*Continental Premium Conta*	36,6	29,6
	Maxxis Premitra HP5	35	32,2
	Uniroyal RainSport 3	37,4	32
	Vidurkis	36,33	31,27
225/45 R17	*Continental Premium Conta*	35,8	29,9
	Maxxis Premitra HP5	36,3	33,2
	Uniroyal RainSport 3	37,4	32,3
	Vidurkis	36,50	31,80
245/45 R18	*Continental Premium Conta*	33,2	30,2
	Maxxis Premitra HP5	34,8	33,4
	Uniroyal RainSport 3	35,7	32,4
	Vidurkis	34,57	32,00

3 priedas. Kompiuterinėse simuliacijose naudoto automobilio duomenys



4 priedas. Kompiuterinėse simuliacijose naudotų padangų modelių specifikacijos

Pac2002_175_70R13.tir

```
[MDI_HEADER]
FILE_TYPE               ='tir'
FILE_VERSION            =3.0
FILE_FORMAT             ='ASCII'
! : TIRE_VERSION :      PAC2002
! : COMMENT :           Tire                    175/70 R13
! : COMMENT :           Manufacturer
! : COMMENT :           Nom. section with  (m)  0.175
! : COMMENT :           Nom. aspect ratio  (-)  80
! : COMMENT :           Infl. pressure    (Pa)  190000
! : COMMENT :           Rim radius         (m)  0.165
! : COMMENT :           Measurement ID
! : COMMENT :           Test speed       (m/s)  16.7
! : COMMENT :           Road surface
! : COMMENT :           Road condition          Dry
! : FILE_FORMAT :       ASCII
! : Copyright (C) 2004-2011 MSC Software Corporation
!
! USE_MODE specifies the type of calculation performed:
!      0: Fz only, no Magic Formula evaluation
!      1: Fx,My only
!      2: Fy,Mx,Mz only
!      3: Fx,Fy,Mx,My,Mz uncombined force/moment calculation
!      4: Fx,Fy,Mx,My,Mz combined force/moment calculation
!    +10: including relaxation behaviour
!    *-1: mirroring of tyre characteristics
!
!    example: USE_MODE = -12 implies:
!       -calculation of Fy,Mx,Mz only
!       -including relaxation effects
!       -mirrored tyre characteristics
!
```

```
[MODEL]
PROPERTY_FILE_FORMAT    ='PAC2002'
USE_MODE                = 14                $Tyre use switch (IUSED)
VXLOW                   = 1
LONGVL                  = 16.6              $Measurement speed
TYRESIDE                = 'LEFT'            $Mounted side of tyre at
bench
$----------------------------------------------------------dimensions
[DIMENSION]
UNLOADED_RADIUS         = 0.312             $Free tyre radius
WIDTH                   = 0.195             $Nominal section width o

ASPECT_RATIO            = 0.65              $Nominal aspect ratio
RIM_RADIUS              = 0.19              $Nominal rim radius
RIM_WIDTH               = 0.1524            $Rim width
$------------------------------------------------------------shape
[SHAPE]
{radial width}
 1.0    0.0
 1.0    0.4
 1.0    0.9
 0.9    1.0
$---------------------------------------------------------parameter
```

pac2002_195_65R15

```
[MDI_HEADER]
FILE_TYPE               ='tir'
FILE_VERSION            =3.0
FILE_FORMAT             ='ASCII'
! : TIRE_VERSION :      PAC2002
! : COMMENT :           Tire                    195/65 R15
! : COMMENT :           Manufacturer
! : COMMENT :           Nom. section width  (m)  0.195
! : COMMENT :           Nom. aspect ratio  (-)  65
! : COMMENT :           Infl. pressure    (Pa)  220000
! : COMMENT :           Rim radius         (m)  0.19
! : COMMENT :           Measurement ID
! : COMMENT :           Test speed       (m/s)  16.6
! : COMMENT :           Road surface
! : COMMENT :           Road condition          Dry
! : FILE_FORMAT :       ASCII
! : Copyright (C) 2004-2011 MSC Software Corporation
!
! USE_MODE specifies the type of calculation performed:
!      0: Fz only, no Magic Formula evaluation
!      1: Fx,My only
!      2: Fy,Mx,Mz only
!      3: Fx,Fy,Mx,My,Mz uncombined force/moment calculation
!      4: Fx,Fy,Mx,My,Mz combined force/moment calculation
!    +10: including relaxation behaviour
!    *-1: mirroring of tyre characteristics
!
!    example: USE_MODE = -12 implies:
!       -calculation of Fy,Mx,Mz only
!       -including relaxation effects
!       -mirrored tyre characteristics
!
```

```
[MODEL]
PROPERTY_FILE_FORMAT    ='PAC2002'
USE_MODE                = 14                $Tyre use switch (IUSED)
VXLOW                   = 1
LONGVL                  = 16.6              $Measurement speed
TYRESIDE                = 'LEFT'            $Mounted side of tyre at vehicle/t
$----------------------------------------------------------dimensions
[DIMENSION]
UNLOADED_RADIUS         = 0.312             $Free tyre radius
WIDTH                   = 0.195             $Nominal section width of the tyre
ASPECT_RATIO            = 0.65              $Nominal aspect ratio
RIM_RADIUS              = 0.19              $Nominal rim radius
RIM_WIDTH               = 0.1524            $Rim width
$------------------------------------------------------------shape
[SHAPE]
{radial width}
 1.0    0.0
 1.0    0.4
 1.0    0.9
 0.9    1.0
```

pac2002_205_55R16

```
[MDI_HEADER]
FILE_TYPE               ='tir'
FILE_VERSION            =3.0
FILE_FORMAT             ='ASCII'
! : TIRE_VERSION :      PAC2002
! : COMMENT :           Tire                    205/55 R16 90H
! : COMMENT :           Manufacturer            Continental
! : COMMENT :           Nom. section width  (m)  0.205
! : COMMENT :           Nom. aspect ratio  (-)  55
! : COMMENT :           Infl. pressure    (Pa)  250000
! : COMMENT :           Rim radius         (m)  0.203
! : COMMENT :           Measurement ID
! : COMMENT :           Test speed       (m/s)  30
! : COMMENT :           Road surface
! : COMMENT :           Road condition
! : FILE_FORMAT :       ASCII
! : Copyright (C) 2004-2011 MSC Software Corporation
!
! USE_MODE specifies the type of calculation performed:
!      0: Fz only, no Magic Formula evaluation
!      1: Fx,My only
!      2: Fy,Mx,Mz only
!      3: Fx,Fy,Mx,My,Mz uncombined force/moment calculation
!      4: Fx,Fy,Mx,My,Mz combined force/moment calculation
!    +10: including relaxation behaviour
!    +20: including advanced transient (contact mass approach)
!     15: Fx,Fy,Mx,My,Mz combined force/moment calculation, relaxation behaviou
!     25: Fx,Fy,Mx,My,Mz combined force/moment calculation, advanced transient
!    *-1: mirroring of tyre characteristics
!
!    example: USE_MODE = -12 implies:
!       -calculation of Fy,Mx,Mz only
!       -including relaxation effects
!       -mirrored tyre characteristics
!
```

```
[MODEL]
PROPERTY_FILE_FORMAT    ='PAC2002'
USE_MODE                = 25                $Tyre use switch (IUSE
VXLOW                   = 2
LONGVL                  = 30                $Measurement speed
$----------------------------------------------------------dimensions
[DIMENSION]
UNLOADED_RADIUS         = 0.3169            $Free tyre radius
WIDTH                   = 0.205             $Nominal section width
ASPECT_RATIO            = 0.55              $Nominal aspect ratio
RIM_RADIUS              = 0.203             $Nominal rim radius
RIM_WIDTH               = 0.165             $Rim width
$------------------------------------------------------------shape
[SHAPE]
{radial width}
 1.0    0.0
 1.0    0.4
 1.0    0.9
 0.9    1.0
```

pac2002_235_40R18

```
[MDI_HEADER]
FILE_TYPE               ='tir'
FILE_VERSION            =3.0
FILE_FORMAT             ='ASCII'
! : TIRE_VERSION :      PAC2002
! : COMMENT :           Tire                    235/40R18
! : COMMENT :           Manufacturer
! : COMMENT :           Nom. section with  (m)  0.265
! : COMMENT :           Nom. aspect ratio  (-)  0.70
! : COMMENT :           Infl. pressure    (Pa)  200000
! : COMMENT :           Rim diameter    (inch)  17
! : COMMENT :           Measurement ID
! : COMMENT :           Test speed       (m/s)  16.6
! : COMMENT :           Road surface
! : COMMENT :           Road condition          Dry
! : FILE_FORMAT :       ASCII
! : Copyright (C) 2004-2011 MSC Software Corporation
!
! USE_MODE specifies the type of calculation performed:
!       0: Fz only, no Magic Formula evaluation
!       1: Fx,My only
!       2: Fy,Mx,Mz only
!       3: Fx,Fy,Mx,My,Mz uncombined force/moment calculatic
!       4: Fx,Fy,Mx,My,Mz combined force/moment calculation
!     +10: including relaxation behaviour
!     *-1: mirroring of tyre characteristics
!
!    example: USE_MODE = -12 implies:
!       -calculation of Fy,Mx,Mz only
!       -including relaxation effects
!       -mirrored tyre characteristics
!
```

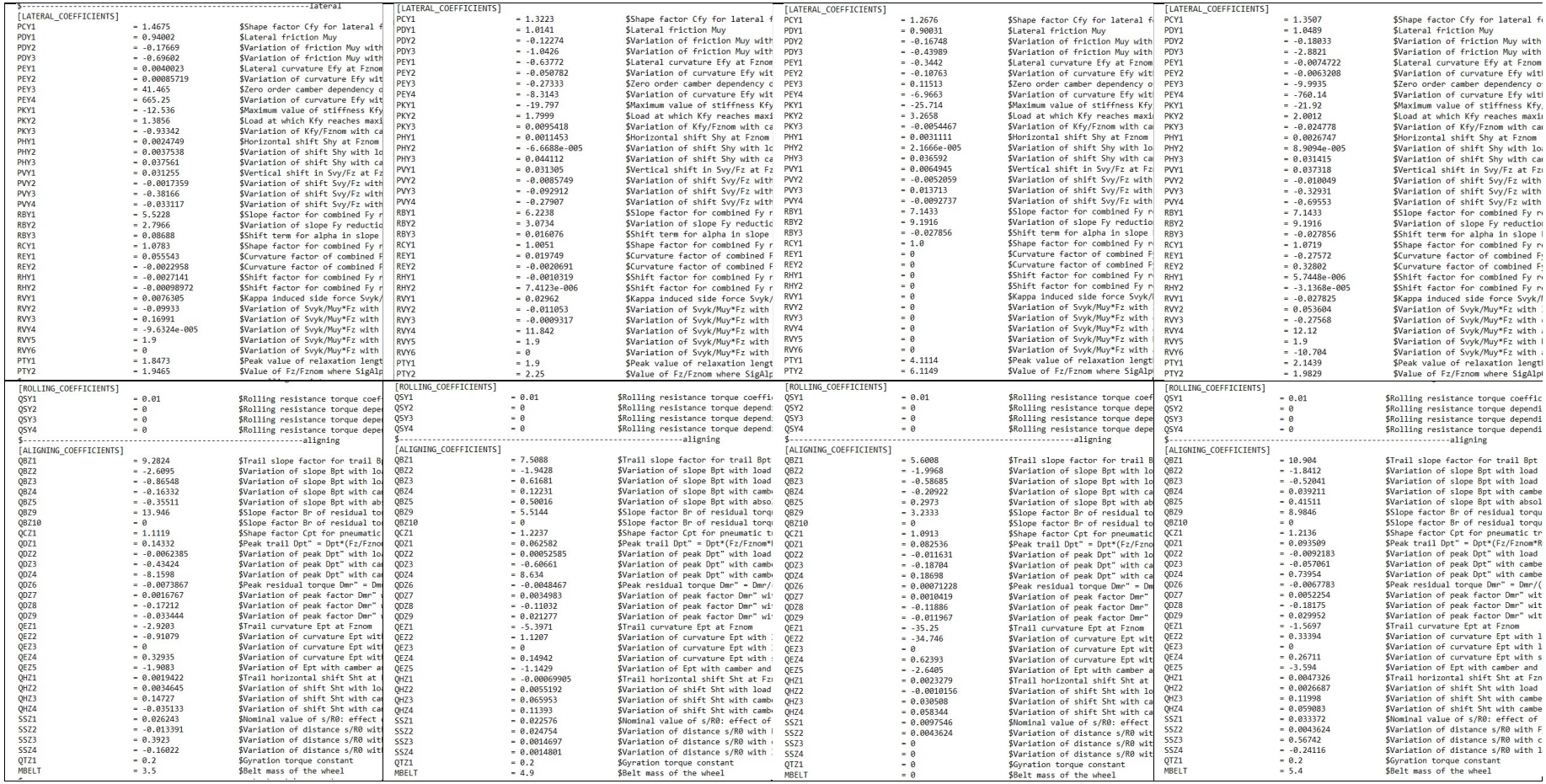
```
[MODEL]
PROPERTY_FILE_FORMAT    ='PAC2002'
USE_MODE                = 14                $Tyre use switch (IUSED)
VXLOW                   = 1
LONGVL                  = 16.6              $Measurement speed
TYRESIDE                = 'LEFT'            $Mounted side of tyre at vehicle/
$----------------------------------------------external_graphics
[EXTERNAL_GRAPHICS]
 WHEEL_GRAPHICS       =  'mdids://acar_concept/shell_graphics.tbl/wheel_graphics.
 TIRE_GRAPHICS        =  'mdids://acar_concept/shell_graphics.tbl/tire_graphics.s
$----------------------------------------------------------dimensions
[DIMENSION]
UNLOADED_RADIUS         = 0.326             $Free tyre radius
WIDTH                   = 0.235             $Nominal section width of the ty
ASPECT_RATIO            = 0.40              $Nominal aspect ratio
RIM_RADIUS              = 0.2286            $Nominal rim radius
RIM_WIDTH               = 0.2159            $Rim width
$------------------------------------------------------------shape
[SHAPE]
{radial width}
 1.0    0.0
 1.0    0.4
 1.0    0.9
 0.9    1.0
```

```
[VERTICAL]
VERTICAL_STIFFNESS      = 1.75e+005          $Tyre vertical stiffness
VERTICAL_DAMPING        = 50                 $Tyre vertical damping
BREFF                   = 7                  $Low load stiffness e.r.r.
DREFF                   = 0.25               $Peak value of e.r.r.
FREFF                   = 0.01               $High load stiffness e.r.r
FNOMIN                  = 3800               $Nominal wheel load
$-----------------------------------------long_slip_range
[LONG_SLIP_RANGE]
KPUMIN                  = -1.5               $Minimum valid wheel slip
KPUMAX                  = 1.5                $Maximum valid wheel slip
$-----------------------------------------slip_angle_range
[SLIP_ANGLE_RANGE]
ALPMIN                  = -1.5708            $Minimum valid slip angle
ALPMAX                  = 1.5708             $Maximum valid slip angle
$-----------------------------------------inclination_slip_range
[INCLINATION_ANGLE_RANGE]
CAMMIN                  = -0.26181           $Minimum valid camber angl
CAMMAX                  = 0.26181            $Maximum valid camber angl
$-----------------------------------------vertical_force_range
[VERTICAL_FORCE_RANGE]
FZMIN                   = 190                $Minimum allowed wheel loa
FZMAX                   = 8550               $Maximum allowed wheel loa
$-----------------------------------------
[SCALING_COEFFICIENTS]
LFZO                    = 1                  $Scale factor of nominal (rated)
LCX                     = 1                  $Scale factor of Fx shape factor
LMUX                    = 1                  $Scale factor of Fx peak frictic
LEX                     = 1                  $Scale factor of Fx curvature fa
LKX                     = 1                  $Scale factor of Fx slip stiffne
LHX                     = 1                  $Scale factor of Fx horizontal s
LVX                     = 1                  $Scale factor of Fx vertical shi
LGAX                    = 1                  $Scale factor of camber for Fx
LCY                     = 1                  $Scale factor of Fy shape factor
LMUY                    = 1                  $Scale factor of Fy peak frictic
LEY                     = 1                  $Scale factor of Fy curvature fa
LKY                     = 1                  $Scale factor of Fy cornering st
LHY                     = 1                  $Scale factor of Fy horizontal s
LVY                     = 1                  $Scale factor of Fy vertical shi
LGAY                    = 1                  $Scale factor of camber for Fy
LTR                     = 1                  $Scale factor of Peak of pneumat
LRES                    = 1                  $Scale factor for offset of resi
LGAZ                    = 1                  $Scale factor of camber for Mz
LXAL                    = 1                  $Scale factor of alpha influence
LYKA                    = 1                  $Scale factor of alpha influence
LVYKA                   = 1                  $Scale factor of kappa induced F
LS                      = 1                  $Scale factor of Moment arm of F
LSGKP                   = 1                  $Scale factor of Relaxation leng
LSGAL                   = 1                  $Scale factor of Relaxation leng
LGYR                    = 1                  $Scale factor of gyroscopic torc
LMX                     = 1                  $Scale factor of overturning cou
LVMX                    = 1                  $Scale factor of Mx vertical shi
LMY                     = 1                  $Scale factor of rolling resista
[LONGITUDINAL_COEFFICIENTS]
PCX1                    = 1.5587             $Shape factor Cfx for longitudir
PDX1                    = 1.09               $Longitudinal friction Mux at Fz
PDX2                    = -0.079328          $Variation of friction Mux with
PDX3                    = 9.9376e-006        $Variation of friction Mux with
PEX1                    = 0.27403            $Longitudinal curvature Efx at F
PEX2                    = 0.10232            $Variation of curvature Efx with
PEX3                    = 0.074903           $Variation of curvature Efx with
PEX4                    = -0.00826944        $Factor in curvature Efx while c
PKX1                    = 19.733             $Longitudinal slip stiffness Kfx
PKX2                    = 0.093405           $Variation of slip stiffness Kfx
PKX3                    = 0.12433            $Exponent in slip stiffness Kfx/
PHX1                    = -0.001779          $Horizontal shift Shx at Fznom
PHX2                    = 0.00021808         $Variation of shift Shx with loa
PVX1                    = -9.9052e-006       $Vertical shift Svx/Fz at Fznom
PVX2                    = -2.8568e-005       $Variation of shift Svx/Fz with
RBX1                    = 14.927             $Slope factor for combined slip
RBX2                    = -10.534            $Variation of slope Fx reduction
RCX1                    = 1.1288             $Shape factor for combined slip
REX1                    = 0.62334            $Curvature factor of combined Fx
REX2                    = -0.0039079         $Curvature factor of combined Fx
RHX1                    = 0.001683           $Shift factor for combined slip
PTX1                    = 1.9021             $Relaxation length SigKap0/Fz at
PTX2                    = -0.0014739         $Variation of SigKap0/Fz with lo
PTX3                    = 0.03631            $Variation of SigKap0/Fz with ex
$-----------------------------------------overturning
[OVERTURNING_COEFFICIENTS]
QSX1                    = 0                  $Lateral force induced overturni
QSX2                    = 0                  $Camber induced overturning coup
QSX3                    = 0                  $Fy induced overturning couple
```

```
[VERTICAL]
VERTICAL_STIFFNESS      = 2e+005             $Tyre vertical stiffness
VERTICAL_DAMPING        = 50                 $Tyre vertical damping
BREFF                   = 6.1                $Low load stiffness e.r.r.
DREFF                   = 0.45               $Peak value of e.r.r.
FREFF                   = 0.01               $High load stiffness e.r.r.
FNOMIN                  = 4000               $Nominal wheel load
$-----------------------------------------long_slip_range
[LONG_SLIP_RANGE]
KPUMIN                  = -1.5               $Minimum valid wheel slip
KPUMAX                  = 1.5                $Maximum valid wheel slip
$-----------------------------------------slip_angle_range
[SLIP_ANGLE_RANGE]
ALPMIN                  = -1.5708            $Minimum valid slip angle
ALPMAX                  = 1.5708             $Maximum valid slip angle
$-----------------------------------------inclination_slip_range
[INCLINATION_ANGLE_RANGE]
CAMMIN                  = -0.26181           $Minimum valid camber angle
CAMMAX                  = 0.26181            $Maximum valid camber angle
$-----------------------------------------vertical_force_range
[VERTICAL_FORCE_RANGE]
FZMIN                   = 200                $Minimum allowed wheel load
FZMAX                   = 9000               $Maximum allowed wheel load
$-----------------------------------------
[SCALING_COEFFICIENTS]
LFZO                    = 1                  $Scale factor of nominal (rated) l
LCX                     = 1                  $Scale factor of Fx shape factor
LMUX                    = 1                  $Scale factor of Fx peak friction
LEX                     = 1                  $Scale factor of Fx curvature fact
LKX                     = 1                  $Scale factor of Fx slip stiffness
LHX                     = 1                  $Scale factor of Fx horizontal shi
LVX                     = 1                  $Scale factor of Fx vertical shift
LGAX                    = 1                  $Scale factor of camber for Fx
LCY                     = 1                  $Scale factor of Fy shape factor
LMUY                    = 1                  $Scale factor of Fy peak friction
LEY                     = 1                  $Scale factor of Fy curvature fact
LKY                     = 1                  $Scale factor of Fy cornering stif
LHY                     = 1                  $Scale factor of Fy horizontal shi
LVY                     = 1                  $Scale factor of Fy vertical shift
LGAY                    = 1                  $Scale factor of camber for Fy
LTR                     = 1                  $Scale factor of Peak of pneumatic
LRES                    = 1                  $Scale factor for offset of residu
LGAZ                    = 1                  $Scale factor of camber for Mz
LXAL                    = 1                  $Scale factor of alpha influence o
LYKA                    = 1                  $Scale factor of alpha influence o
LVYKA                   = 1                  $Scale factor of kappa induced Fy
LS                      = 1                  $Scale factor of Moment arm of Fx
LSGKP                   = 1                  $Scale factor of Relaxation length
LSGAL                   = 1                  $Scale factor of Relaxation length
LGYR                    = 1                  $Scale factor of gyroscopic torque
LMX                     = 1                  $Scale factor of overturning coupl
LVMX                    = 1                  $Scale factor of Mx vertical shift
LMY                     = 1                  $Scale factor of rolling resistanc
[LONGITUDINAL_COEFFICIENTS]
PCX1                    = 1.839              $Shape factor Cfx for longitudinal
PDX1                    = 1.1387             $Longitudinal friction Mux at Fznc
PDX2                    = -0.11999           $Variation of friction Mux with lc
PDX3                    = -2.2142e-005       $Variation of friction Mux with ca
PEX1                    = 0.62727            $Longitudinal curvature Efx at Fzr
PEX2                    = -0.12336           $Variation of curvature Efx with l
PEX3                    = -0.03448           $Variation of curvature Efx with l
PEX4                    = -1.5066e-005       $Factor in curvature Efx while dri
PKX1                    = 18.886             $Longitudinal slip stiffness Kfx/F
PKX2                    = -3.988             $Variation of slip stiffness Kfx/F
PKX3                    = 0.21542            $Exponent in slip stiffness Kfx/Fz
PHX1                    = -0.00033912        $Horizontal shift Shx at Fznom
PHX2                    = -8.5877e-006       $Variation of shift Shx with load
PVX1                    = -4.638e-006        $Vertical shift Svx/Fz at Fznom
PVX2                    = 1.9874e-005        $Variation of shift Svx/Fz with lc
RBX1                    = 5.9945             $Slope factor for combined slip Fx
RBX2                    = -8.2609            $Variation of slope Fx reduction w
RCX1                    = 1.07816            $Shape factor for combined slip F
REX1                    = 1.644              $Curvature factor of combined Fx
REX2                    = -0.0064359         $Curvature factor of combined Fx w
RHX1                    = 0.008847           $Shift factor for combined slip Fx
PTX1                    = 1.85               $Relaxation length SigKap0/Fz at F
PTX2                    = 0.000109           $Variation of SigKap0/Fz with load
PTX3                    = 0.101              $Variation of SigKap0/Fz with expo
$-----------------------------------------overturning
[OVERTURNING_COEFFICIENTS]
QSX1                    = 0                  $Lateral force induced overturning
QSX2                    = 0                  $Camber induced overturning couple
QSX3                    = 0                  $Fy induced overturning couple
```

```
[VERTICAL]
VERTICAL_STIFFNESS      = 2.648e+005          $Tyre vertical stiffness
VERTICAL_DAMPING        = 500                 $Tyre vertical damping
BREFF                   = 4.90               $Low load stiffness e.r.r
DREFF                   = 0.41               $Peak value of e.r.r.
FREFF                   = 0.09               $High load stiffness e.r.
FNOMIN                  = 4700               $Nominal wheel load
$-----------------------------------------long_slip_range
[LONG_SLIP_RANGE]
KPUMIN                  = -1.5               $Minimum valid wheel slip
KPUMAX                  = 1.5                $Maximum valid wheel slip
$-----------------------------------------slip_angle_range
[SLIP_ANGLE_RANGE]
ALPMIN                  = -1.5708            $Minimum valid slip angle
ALPMAX                  = 1.5708             $Maximum valid slip angle
$-----------------------------------------inclination_slip_range
[INCLINATION_ANGLE_RANGE]
CAMMIN                  = -0.26181           $Minimum valid camber ang
CAMMAX                  = 0.26181            $Maximum valid camber ang
$-----------------------------------------vertical_force_range
[VERTICAL_FORCE_RANGE]
FZMIN                   = 140                $Minimum allowed wheel lo
FZMAX                   = 10800              $Maximum allowed wheel lo
$-----------------------------------------
[SCALING_COEFFICIENTS]
LFZO                    = 1                  $Scale factor of nominal (rated)
LCX                     = 1                  $Scale factor of Fx shape factor
LMUX                    = 1                  $Scale factor of Fx peak friction
LEX                     = 1                  $Scale factor of Fx curvature fac
LKX                     = 1                  $Scale factor of Fx slip stiffnes
LHX                     = 1                  $Scale factor of Fx horizontal sh
LVX                     = 1                  $Scale factor of Fx vertical shi
LGAX                    = 1                  $Scale factor of camber for Fx
LCY                     = 1                  $Scale factor of Fy shape factor
LMUY                    = 1                  $Scale factor of Fy peak friction
LEY                     = 1                  $Scale factor of Fy curvature fac
LKY                     = 1                  $Scale factor of Fy cornering sti
LHY                     = 1                  $Scale factor of Fy horizontal sh
LVY                     = 1                  $Scale factor of Fy vertical shi
LGAY                    = 1                  $Scale factor of camber for Fy
LTR                     = 1                  $Scale factor of Peak of pneumati
LRES                    = 1                  $Scale factor for offset of resid
LGAZ                    = 1                  $Scale factor of camber for Mz
LXAL                    = 1                  $Scale factor of alpha influence
LYKA                    = 1                  $Scale factor of alpha influence
LVYKA                   = 1                  $Scale factor of kappa induced Fy
LS                      = 1                  $Scale factor of Moment arm of Fx
LSGKP                   = 1                  $Scale factor of Relaxation lengt
LSGAL                   = 1                  $Scale factor of Relaxation lengt
LGYR                    = 1                  $Scale factor of gyroscopic torqu
LMX                     = 1                  $Scale factor of overturning coup
LVMX                    = 1                  $Scale factor of Mx vertical shif
LMY                     = 1                  $Scale factor of rolling resistan
[LONGITUDINAL_COEFFICIENTS]
PCX1                    = 1.3178             $Shape factor Cfx for longitudinal
PDX1                    = 1.0455             $Longitudinal friction Mux at Fznom
PDX2                    = 0.063954           $Variation of friction Mux with lo
PDX3                    = 0                  $Variation of friction Mux with ca
PEX1                    = 0.15798            $Longitudinal curvature Efx at Fzno
PEX2                    = 0.41141            $Variation of curvature Efx with lo
PEX3                    = 0.1487             $Variation of curvature Efx with lo
PEX4                    = 3.0004             $Factor in curvature Efx while dri
PKX1                    = 23.181             $Longitudinal slip stiffness Kfx/Fz
PKX2                    = -0.037391          $Variation of slip stiffness Kfx/Fz
PKX3                    = 0.80348            $Exponent in slip stiffness Kfx/Fz
PHX1                    = -0.00058264        $Horizontal shift Shx at Fznom
PHX2                    = -0.0037992         $Variation of shift Shx with load
PVX1                    = 0.045118           $Vertical shift Svx/Fz at Fznom
PVX2                    = 0.058244           $Variation of shift Svx/Fz with loa
RBX1                    = 13.276             $Slope factor for combined slip Fx
RBX2                    = -13.778            $Variation of slope Fx reduction w
RCX1                    = 1.0                $Shape factor for combined slip Fx
REX1                    = 0                  $Curvature factor of combined Fx
REX2                    = 0                  $Curvature factor of combined Fx w
RHX1                    = 0                  $Shift factor for combined slip Fx
PTX1                    = 0.85683            $Relaxation length SigKap0/Fz at F
PTX2                    = 0.00011176         $Variation of SigKap0/Fz with load
PTX3                    = -1.3131            $Variation of SigKap0/Fz with expo
PTX4                    = 0.1
$-----------------------------------------overturning
[OVERTURNING_COEFFICIENTS]
QSX1                    = 0                  $Lateral force induced overturning
QSX2                    = 0                  $Camber induced overturning couple
QSX3                    = 0                  $Fy induced overturning couple
```

```
[VERTICAL]
VERTICAL_STIFFNESS      = 2.1e+005           $Tyre vertical stiffness
VERTICAL_DAMPING        = 50                 $Tyre vertical damping
BREFF                   = 8.4                $Low load stiffness e.r.r.
DREFF                   = 0.27               $Peak value of e.r.r.
FREFF                   = 0.07               $High load stiffness e.r.r.
FNOMIN                  = 4850               $Nominal wheel load
$-----------------------------------------long_slip_range
[LONG_SLIP_RANGE]
KPUMIN                  = -1.5               $Minimum valid wheel slip
KPUMAX                  = 1.5                $Maximum valid wheel slip
$-----------------------------------------slip_angle_range
[SLIP_ANGLE_RANGE]
ALPMIN                  = -1.5708            $Minimum valid slip angle
ALPMAX                  = 1.5708             $Maximum valid slip angle
$-----------------------------------------inclination_slip_range
[INCLINATION_ANGLE_RANGE]
CAMMIN                  = -0.26181           $Minimum valid camber angle
CAMMAX                  = 0.26181            $Maximum valid camber angle
$-----------------------------------------vertical_force_range
[VERTICAL_FORCE_RANGE]
FZMIN                   = 225                $Minimum allowed wheel load
FZMAX                   = 10125              $Maximum allowed wheel load
$-----------------------------------------
[SCALING_COEFFICIENTS]
LFZO                    = 1                  $Scale factor of nominal (rated
LCX                     = 1                  $Scale factor of Fx shape facto
LMUX                    = 1                  $Scale factor of Fx peak fricti
LEX                     = 1                  $Scale factor of Fx curvature f
LKX                     = 1                  $Scale factor of Fx slip stiffn
LHX                     = 1                  $Scale factor of Fx horizontal
LVX                     = 1                  $Scale factor of Fx vertical sh
LGAX                    = 1                  $Scale factor of camber for Fx
LCY                     = 1                  $Scale factor of Fy shape facto
LMUY                    = 1                  $Scale factor of Fy peak fricti
LEY                     = 1                  $Scale factor of Fy curvature f
LKY                     = 1                  $Scale factor of Fy cornering s
LHY                     = 1                  $Scale factor of Fy horizontal
LVY                     = 1                  $Scale factor of Fy vertical sh
LGAY                    = 1                  $Scale factor of camber for Fy
LTR                     = 1                  $Scale factor of Peak of pneuma
LRES                    = 1                  $Scale factor for offset of res
LGAZ                    = 1                  $Scale factor of camber for Mz
LXAL                    = 1                  $Scale factor of alpha influenc
LYKA                    = 1                  $Scale factor of alpha influenc
LVYKA                   = 1                  $Scale factor of kappa induced
LS                      = 1                  $Scale factor of Moment arm of
LSGKP                   = 1                  $Scale factor of Relaxation len
LSGAL                   = 1                  $Scale factor of Relaxation len
LGYR                    = 1                  $Scale factor of gyroscopic tor
LMX                     = 1                  $Scale factor of overturning co
LVMX                    = 1                  $Scale factor of Mx vertical sh
LMY                     = 1                  $Scale factor of rolling resist
[LONGITUDINAL_COEFFICIENTS]
PCX1                    = 1.6411             $Shape factor Cfx for longitudina
PDX1                    = 1.1739             $Longitudinal friction Mux at Fzn
PDX2                    = -0.16395           $Variation of friction Mux with l
PDX3                    = 0                  $Variation of friction Mux with c
PEX1                    = 0.46403            $Longitudinal curvature Efx at Fz
PEX2                    = 0.25022            $Variation of curvature Efx with
PEX3                    = 0.067842           $Variation of curvature Efx with
PEX4                    = -3.7604e-005       $Factor in curvature Efx while dr
PKX1                    = 22.303             $Longitudinal slip stiffness Kfx/
PKX2                    = 0.48896            $Variation of slip stiffness Kfx/
PKX3                    = 0.21253            $Exponent in slip stiffness Kfx/F
PHX1                    = 0.0012297          $Horizontal shift Shx at Fznom
PHX2                    = 0.0004318          $Variation of shift Shx with load
PVX1                    = -8.8098e-006       $Vertical shift Svx/Fz at Fznom
PVX2                    = 1.862e-005         $Variation of shift Svx/Fz with l
RBX1                    = 13.276             $Slope factor for combined slip F
RBX2                    = -13.778            $Variation of slope Fx reduction
RCX1                    = 1.2568             $Shape factor for combined slip F
REX1                    = 0.65225            $Curvature factor of combined Fx
REX2                    = -0.24948           $Curvature factor of combined Fx
RHX1                    = 0.0050722          $Shift factor for combined slip F
PTX1                    = 2.3657             $Relaxation length SigKap0/Fz at
PTX2                    = 1.4112             $Variation of SigKap0/Fz with loa
PTX3                    = 0.56626            $Variation of SigKap0/Fz with exp
$-----------------------------------------overturning
[OVERTURNING_COEFFICIENTS]
QSX1                    = 0                  $Lateral force induced overturnin
QSX2                    = 0                  $Camber induced overturning coupl
QSX3                    = 0                  $Fy induced overturning couple
```



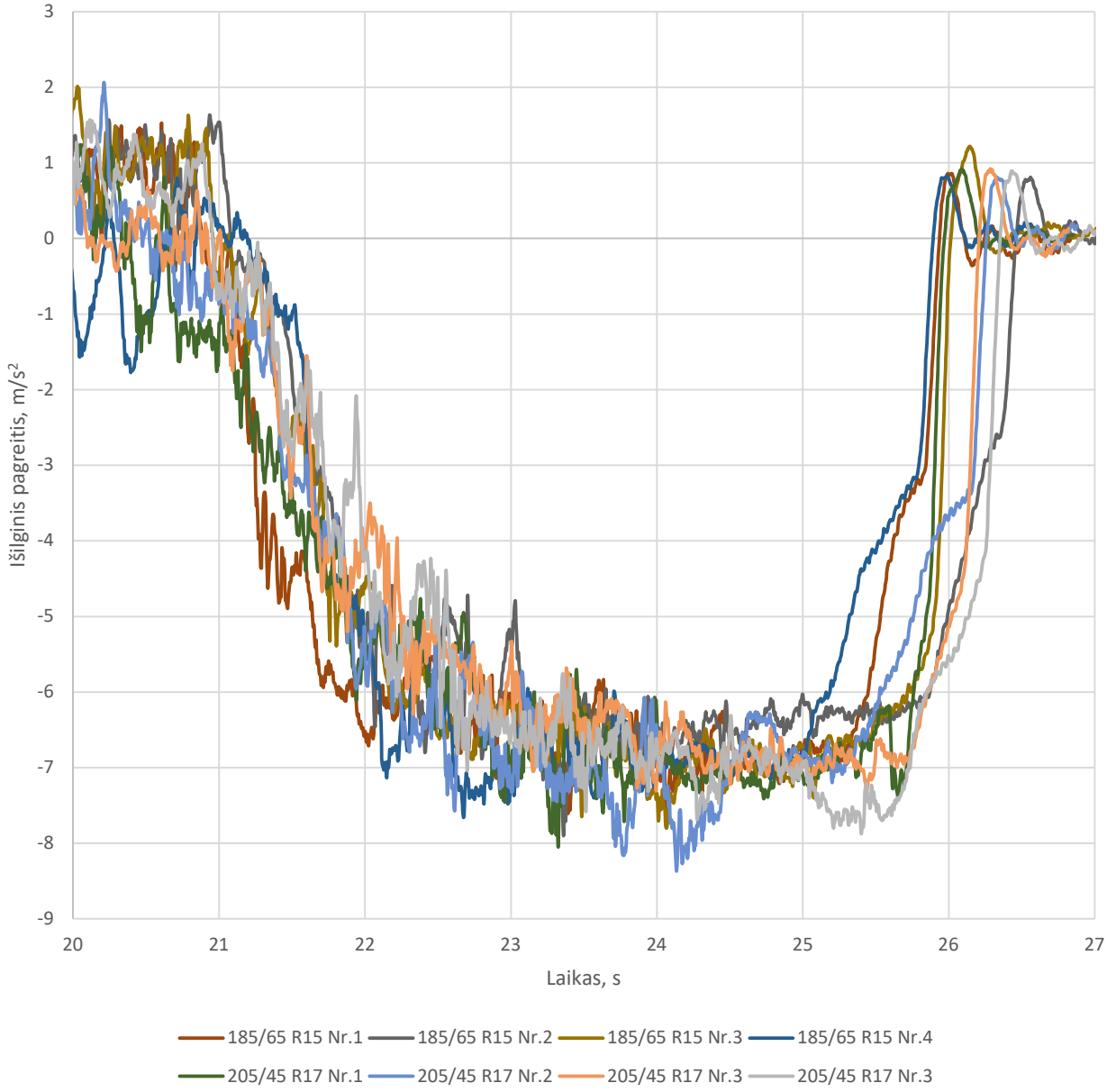
```
$-----------------------------------------------lateral
[LATERAL_COEFFICIENTS]
PCY1                = 1.4675          $Shape factor Cfy for lateral f
PDY1                = 0.94002         $Lateral friction Muy
PDY2                = -0.17669        $Variation of friction Muy with
PDY3                = -0.69602        $Variation of friction Muy with
PEY1                = 0.0040023       $Lateral curvature Efy at Fznom
PEY2                = 0.00085719      $Variation of curvature Efy wit
PEY3                = 41.465          $Zero order camber dependency c
PEY4                = 665.25          $Variation of curvature Efy wit
PKY1                = -12.536         $Maximum value of stiffness Kfy
PKY2                = 1.3856          $Load at which Kfy reaches maxi
PKY3                = -0.93342        $Variation of Kfy/Fznom with ca
PHY1                = 0.0024749       $Horizontal shift Shy at Fznom
PHY2                = 0.0037538       $Variation of shift Shy with lo
PHY3                = 0.037561        $Variation of shift Shy with ca
PVY1                = 0.031255        $Vertical shift in Svy/Fz at Fz
PVY2                = -0.0017359      $Variation of shift Svy/Fz with
PVY3                = -0.38166        $Variation of shift Svy/Fz with
PVY4                = -0.033117       $Variation of shift Svy/Fz with
RBY1                = 5.5228          $Slope factor for combined Fy r
RBY2                = 2.7966          $Variation of slope Fy reductio
RBY3                = 0.08688         $Shift term for alpha in slope
RCY1                = 1.0783          $Shape factor for combined Fy r
REY1                = 0.055543        $Curvature factor of combined F
REY2                = -0.0022958      $Curvature factor of combined F
RHY1                = -0.0027141      $Shift factor for combined Fy r
RHY2                = -0.00098972     $Shift factor for combined Fy r
RVY1                = 0.0076305       $Kappa induced side force Svyk/
RVY2                = -0.09933        $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY3                = 0.16991         $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY4                = -9.6324e-005    $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY5                = 1.9             $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY6                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
PTY1                = 1.8473          $Peak value of relaxation lengt
PTY2                = 1.9465          $Value of Fz/Fznom where SigAlp
[ROLLING_COEFFICIENTS]
QSY1                = 0.01            $Rolling resistance torque coef
QSY2                = 0               $Rolling resistance torque depe
QSY3                = 0               $Rolling resistance torque depe
QSY4                = 0               $Rolling resistance torque depe
$-----------------------------------------------aligning
[ALIGNING_COEFFICIENTS]
QBZ1                = 9.2824          $Trail slope factor for trail B
QBZ2                = -2.6095         $Variation of slope Bpt with lo
QBZ3                = -0.86548        $Variation of slope Bpt with lo
QBZ4                = -0.16332        $Variation of slope Bpt with ca
QBZ5                = -0.35511        $Variation of slope Bpt with ab
QBZ9                = 13.946          $Slope factor Br of residual to
QBZ10               = 0               $Slope factor Br of residual to
QCZ1                = 1.1119          $Shape factor Cpt for pneumatic
QDZ1                = 0.14332         $Peak trail Dpt" = Dpt*(Fz/Fzno
QDZ2                = -0.0062385      $Variation of peak Dpt" with lo
QDZ3                = -0.43424        $Variation of peak Dpt" with ca
QDZ4                = -8.1598         $Variation of peak Dpt" with ca
QDZ6                = -0.0073867      $Peak residual torque Dmr" = Dm
QDZ7                = 0.0016767       $Variation of peak factor Dmr" w
QDZ8                = -0.17212        $Variation of peak factor Dmr" w
QDZ9                = -0.033444       $Variation of peak factor Dmr" w
QEZ1                = -2.9203         $Trail curvature Ept at Fznom
QEZ2                = -0.91079        $Variation of curvature Ept wit
QEZ3                = 0               $Variation of curvature Ept wit
QEZ4                = 0.32935         $Variation of curvature Ept wit
QEZ5                = -1.9083         $Variation of Ept with camber a
QHZ1                = 0.0019422       $Trail horizontal shift Sht at
QHZ2                = 0.0034645       $Variation of shift Sht with lo
QHZ3                = 0.14727         $Variation of shift Sht with ca
QHZ4                = -0.035133       $Variation of shift Sht with ca
SSZ1                = 0.026243        $Nominal value of s/R0: effect
SSZ2                = -0.013391       $Variation of distance s/R0 wit
SSZ3                = 0.3923          $Variation of distance s/R0 wit
SSZ4                = -0.16022        $Variation of distance s/R0 wit
QTZ1                = 0.2             $Gyration torque constant
MBELT               = 3.5             $Belt mass of the wheel
```

```
[LATERAL_COEFFICIENTS]
PCY1                = 1.3223          $Shape factor Cfy for lateral f
PDY1                = 1.0141          $Lateral friction Muy
PDY2                = -0.12274        $Variation of friction Muy with
PDY3                = -1.0426         $Variation of friction Muy with
PEY1                = -0.63772        $Lateral curvature Efy at Fznom
PEY2                = -0.050782       $Variation of curvature Efy wit
PEY3                = -0.27333        $Zero order camber dependency c
PEY4                = -8.3143         $Variation of curvature Efy wit
PKY1                = -19.797         $Maximum value of stiffness Kfy
PKY2                = 1.7999          $Load at which Kfy reaches maxi
PKY3                = 0.0095418       $Variation of Kfy/Fznom with ca
PHY1                = 0.0011453       $Horizontal shift Shy at Fznom
PHY2                = -6.6688e-005    $Variation of shift Shy with lo
PHY3                = 0.044112        $Variation of shift Shy with ca
PVY1                = 0.031305        $Vertical shift in Svy/Fz at Fz
PVY2                = -0.0085749      $Variation of shift Svy/Fz with
PVY3                = -0.092912       $Variation of shift Svy/Fz with
PVY4                = -0.27987        $Variation of shift Svy/Fz with
RBY1                = 6.2238          $Slope factor for combined Fy r
RBY2                = 3.0734          $Variation of slope Fy reductio
RBY3                = 0.016076        $Shift term for alpha in slope
RCY1                = 1.0051          $Shape factor for combined Fy r
REY1                = 0.019749        $Curvature factor of combined F
REY2                = -0.0020691      $Curvature factor of combined F
RHY1                = -0.0010319      $Shift factor for combined Fy r
RHY2                = 7.4123e-006     $Shift factor for combined Fy r
RVY1                = 0.02962         $Kappa induced side force Svyk/
RVY2                = -0.011053       $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY3                = -0.0009317      $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY4                = 11.842          $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY5                = 1.9             $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY6                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
PTY1                = 1.9             $Peak value of relaxation lengt
PTY2                = 2.25            $Value of Fz/Fznom where SigAlp
[ROLLING_COEFFICIENTS]
QSY1                = 0.01            $Rolling resistance torque coeffi
QSY2                = 0               $Rolling resistance torque depend
QSY3                = 0               $Rolling resistance torque depend
QSY4                = 0               $Rolling resistance torque depend
$-----------------------------------------------aligning
[ALIGNING_COEFFICIENTS]
QBZ1                = 7.5088          $Trail slope factor for trail Bp
QBZ2                = -1.9428         $Variation of slope Bpt with load
QBZ3                = 0.61681         $Variation of slope Bpt with load
QBZ4                = 0.12231         $Variation of slope Bpt with camb
QBZ5                = 0.50016         $Variation of slope Bpt with abso
QBZ9                = 5.5144          $Slope factor Br of residual torqu
QBZ10               = 0               $Slope factor Br of residual torqu
QCZ1                = 1.2237          $Shape factor Cpt for pneumatic tr
QDZ1                = 0.062582        $Peak trail Dpt" = Dpt*(Fz/Fznom*
QDZ2                = 0.00052585      $Variation of peak Dpt" with load
QDZ3                = -0.60661        $Variation of peak Dpt" with camb
QDZ4                = 8.634           $Variation of peak Dpt" with camb
QDZ6                = -0.0048467      $Peak residual torque Dmr" = Dmr/
QDZ7                = 0.0034983       $Variation of peak factor Dmr" wi
QDZ8                = -0.11032        $Variation of peak factor Dmr" wi
QDZ9                = 0.021277        $Variation of peak factor Dmr" wi
QEZ1                = -5.3971         $Trail curvature Ept at Fznom
QEZ2                = 1.1207          $Variation of curvature Ept with
QEZ3                = 0               $Variation of curvature Ept with
QEZ4                = 0.14942         $Variation of curvature Ept with
QEZ5                = -1.1429         $Variation of Ept with camber and
QHZ1                = -0.00069905     $Trail horizontal shift Sht at Fz
QHZ2                = 0.0055192       $Variation of shift Sht with load
QHZ3                = 0.065953        $Variation of shift Sht with camb
QHZ4                = 0.11393         $Variation of shift Sht with camb
SSZ1                = 0.022576        $Nominal value of s/R0: effect of
SSZ2                = 0.024754        $Variation of distance s/R0 with
SSZ3                = 0.0014697       $Variation of distance s/R0 with
SSZ4                = 0.0014801       $Variation of distance s/R0 with
QTZ1                = 0.2             $Gyration torque constant
MBELT               = 4.9             $Belt mass of the wheel
```

```
[LATERAL_COEFFICIENTS]
PCY1                = 1.2676          $Shape factor Cfy for lateral f
PDY1                = 0.90031         $Lateral friction Muy
PDY2                = -0.16748        $Variation of friction Muy with
PDY3                = -0.43989        $Variation of friction Muy with
PEY1                = -0.3442         $Lateral curvature Efy at Fznom
PEY2                = -0.10763        $Variation of curvature Efy wit
PEY3                = 0.11513         $Zero order camber dependency o
PEY4                = -6.9663         $Variation of curvature Efy wit
PKY1                = -25.714         $Maximum value of stiffness Kfy
PKY2                = 3.2658          $Load at which Kfy reaches maxi
PKY3                = -0.0054467      $Variation of Kfy/Fznom with ca
PHY1                = 0.0031111       $Horizontal shift Shy at Fznom
PHY2                = 2.1666e-005     $Variation of shift Shy with lo
PHY3                = 0.036592        $Variation of shift Shy with ca
PVY1                = 0.0064945       $Vertical shift in Svy/Fz at Fz
PVY2                = -0.0052059      $Variation of shift Svy/Fz with
PVY3                = 0.013713        $Variation of shift Svy/Fz with
PVY4                = -0.0092737      $Variation of shift Svy/Fz with
RBY1                = 7.1433          $Slope factor for combined Fy r
RBY2                = 9.1916          $Variation of slope Fy reductio
RBY3                = -0.027856       $Shift term for alpha in slope
RCY1                = 1.0             $Shape factor for combined Fy r
REY1                = 0               $Curvature factor of combined F
REY2                = 0               $Curvature factor of combined F
RHY1                = 0               $Shift factor for combined Fy r
RHY2                = 0               $Shift factor for combined Fy r
RVY1                = 0               $Kappa induced side force Svyk/
RVY2                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY3                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY4                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY5                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY6                = 0               $Variation of Svyk/Muy*Fz with
PTY1                = 4.1114          $Peak value of relaxation lengt
PTY2                = 6.1149          $Value of Fz/Fznom where SigAlp
[ROLLING_COEFFICIENTS]
QSY1                = 0.01            $Rolling resistance torque coef
QSY2                = 0               $Rolling resistance torque depe
QSY3                = 0               $Rolling resistance torque depe
QSY4                = 0               $Rolling resistance torque depe
$-----------------------------------------------aligning
[ALIGNING_COEFFICIENTS]
QBZ1                = 5.6008          $Trail slope factor for trail B
QBZ2                = -1.9968         $Variation of slope Bpt with lo
QBZ3                = -0.58685        $Variation of slope Bpt with lo
QBZ4                = -0.20922        $Variation of slope Bpt with ca
QBZ5                = 0.2973          $Variation of slope Bpt with ab
QBZ9                = 3.2333          $Slope factor Br of residual to
QBZ10               = 0               $Slope factor Br of residual to
QCZ1                = 1.0913          $Shape factor Cpt for pneumatic
QDZ1                = 0.082536        $Peak trail Dpt" = Dpt*(Fz/Fzno
QDZ2                = -0.011631       $Variation of peak Dpt" with lo
QDZ3                = -0.18704        $Variation of peak Dpt" with ca
QDZ4                = 0.18698         $Variation of peak Dpt" with ca
QDZ6                = 0.00071228      $Peak residual torque Dmr" = Dm
QDZ7                = 0.0010419       $Variation of peak factor Dmr"
QDZ8                = -0.11886        $Variation of peak factor Dmr"
QDZ9                = -0.011967       $Variation of peak factor Dmr"
QEZ1                = -35.25          $Trail curvature Ept at Fznom
QEZ2                = -34.746         $Variation of curvature Ept wit
QEZ3                = 0               $Variation of curvature Ept wit
QEZ4                = 0.62393         $Variation of curvature Ept wit
QEZ5                = -2.6405         $Variation of Ept with camber a
QHZ1                = 0.0023279       $Trail horizontal shift Sht at
QHZ2                = -0.0010156      $Variation of shift Sht with lo
QHZ3                = 0.030508        $Variation of shift Sht with ca
QHZ4                = 0.058344        $Variation of shift Sht with ca
SSZ1                = 0.0097546       $Nominal value of s/R0: effect
SSZ2                = 0.0043624       $Variation of distance s/R0 wit
SSZ3                = 0               $Variation of distance s/R0 wit
SSZ4                = 0               $Variation of distance s/R0 wit
QTZ1                = 0               $Gyration torque constant
MBELT               = 0               $Belt mass of the wheel
```

```
[LATERAL_COEFFICIENTS]
PCY1                = 1.3507          $Shape factor Cfy for lateral fo
PDY1                = 1.0489          $Lateral friction Muy
PDY2                = -0.18033        $Variation of friction Muy with
PDY3                = -2.8821         $Variation of friction Muy with
PEY1                = -0.0074722      $Lateral curvature Efy at Fznom
PEY2                = -0.0063208      $Variation of curvature Efy with
PEY3                = -9.9935         $Zero order camber dependency o
PEY4                = -760.14         $Variation of curvature Efy with
PKY1                = -21.92          $Maximum value of stiffness Kfy,
PKY2                = 2.0012          $Load at which Kfy reaches maxim
PKY3                = -0.024778       $Variation of Kfy/Fznom with ca
PHY1                = 0.0026747       $Horizontal shift Shy at Fznom
PHY2                = 8.9094e-005     $Variation of shift Shy with loa
PHY3                = 0.031415        $Variation of shift Shy with ca
PVY1                = 0.037318        $Vertical shift in Svy/Fz at Fz
PVY2                = -0.010049       $Variation of shift Svy/Fz with
PVY3                = -0.32931        $Variation of shift Svy/Fz with
PVY4                = -0.69553        $Variation of shift Svy/Fz with
RBY1                = 7.1433          $Slope factor for combined Fy re
RBY2                = 9.1916          $Variation of slope Fy reductio
RBY3                = -0.027856       $Shift term for alpha in slope
RCY1                = 1.0719          $Shape factor for combined Fy re
REY1                = -0.27572        $Curvature factor of combined Fy
REY2                = 0.32802         $Curvature factor of combined Fy
RHY1                = 5.7448e-006     $Shift factor for combined Fy re
RHY2                = -3.1368e-005    $Shift factor for combined Fy re
RVY1                = -0.027825       $Kappa induced side force Svyk/M
RVY2                = 0.053604        $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY3                = -0.27568        $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY4                = 12.12           $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY5                = 1.9             $Variation of Svyk/Muy*Fz with
RVY6                = -10.704         $Variation of Svyk/Muy*Fz with
PTY1                = 2.1439          $Peak value of relaxation lengt
PTY2                = 1.9829          $Value of Fz/Fznom where SigAlp
[ROLLING_COEFFICIENTS]
QSY1                = 0.01            $Rolling resistance torque coeffic
QSY2                = 0               $Rolling resistance torque dependi
QSY3                = 0               $Rolling resistance torque dependi
QSY4                = 0               $Rolling resistance torque dependi
$-----------------------------------------------aligning
[ALIGNING_COEFFICIENTS]
QBZ1                = 10.904          $Trail slope factor for trail Bpt
QBZ2                = -1.8412         $Variation of slope Bpt with load
QBZ3                = -0.52041        $Variation of slope Bpt with load
QBZ4                = 0.039211        $Variation of slope Bpt with cambe
QBZ5                = 0.41511         $Variation of slope Bpt with absol
QBZ9                = 8.9846          $Slope factor Br of residual torqu
QBZ10               = 0               $Slope factor Br of residual torqu
QCZ1                = 1.2136          $Shape factor Cpt for pneumatic tr
QDZ1                = 0.093509        $Peak trail Dpt" = Dpt*(Fz/Fznom*R
QDZ2                = -0.0092183      $Variation of peak Dpt" with load
QDZ3                = -0.057061       $Variation of peak Dpt" with cambe
QDZ4                = 0.73954         $Variation of peak Dpt" with cambe
QDZ6                = -0.0067783      $Peak residual torque Dmr" = Dmr/(
QDZ7                = 0.0052254       $Variation of peak factor Dmr" wit
QDZ8                = -0.18175        $Variation of peak factor Dmr" wit
QDZ9                = 0.029952        $Variation of peak factor Dmr" wit
QEZ1                = -1.5697         $Trail curvature Ept at Fznom
QEZ2                = 0.33394         $Variation of curvature Ept with l
QEZ3                = 0               $Variation of curvature Ept with l
QEZ4                = 0.26711         $Variation of curvature Ept with s
QEZ5                = -3.594          $Variation of Ept with camber and
QHZ1                = 0.0047326       $Trail horizontal shift Sht at Fzn
QHZ2                = 0.0026687       $Variation of shift Sht with load
QHZ3                = 0.11998         $Variation of shift Sht with cambe
QHZ4                = 0.059083        $Variation of shift Sht with cambe
SSZ1                = 0.033372        $Nominal value of s/R0: effect of
SSZ2                = 0.0043624       $Variation of distance s/R0 with F
SSZ3                = 0.56742         $Variation of distance s/R0 with c
SSZ4                = -0.24116        $Variation of distance s/R0 with l
QTZ1                = 0.2             $Gyration torque constant
MBELT               = 5.4             $Belt mass of the wheel
```

5 priedas. Išilginiai automobilio stabdymo pagreičiai eksperimentinio tyrimo metu pagal padangos geometrinius matmenis



6 priedas. Padangų sukeliamo triukšmo duomenys

				205/45R17			185/65R15			
				Triūkšmas, dB			Triūkšmas, dB			
Gatvė	Greitis	Danga		Min	Avg	Max		Min	Avg	Max
Oreivių g.	50 km/h	Asfaltas	1 band	50	57	67	1 band	52	58	78
			2 band	52	57	82	2 band	50	55	72
			3 band	53	58	68	3 band	50	56	68
			4 band	49	57	64	4 band	51	57	76
			Vid.	**57,25**			**Vid.**	**56,5**		
	30 km/h	Asfaltas	1 band	52	57	65	1 band	50	55	65
			2 band	51	55	64	2 band	49	54	62
			3 band	50	56	65	3 band	50	55	64
			4 band	51	56	67	4 band	49	55	63
			Vid.	**56**			**Vid.**	**54,75**		
Arsenalo g.	50 km/h	Grindinys (plytos)	1 band	68	74	80	1 band	63	71	80
			2 band	68	74	81	2 band	62	69	79
			3 band	64	73	82	3 band	62	69	79
			4 band	67	74	80	4 band	64	70	80
			Vid.	**73,75**			**Vid.**	**69,75**		
	30 km/h	Grindinys (plytos)	1 band	57	67	84	1 band	57	65	77
			2 band	58	68	78	2 band	56	66	79
			3 band	58	67	75	3 band	56	65	76
			4 band	61	71	80	4 band	55	66	77
			Vid.	**68,25**			**Vid.**	**65,5**		
Gedimino pr.	50 km/h	Grindinys (trinkelės)	1 band	56	64	78	1 band	54	63	73
			2 band	57	65	79	2 band	54	63	72
			3 band	55	63	75	3 band	55	64	73
			4 band	55	64	79	4 band	52	63	70
			Vid.	**64**			**Vid.**	**63,25**		
	30 km/h	Grindinys (trinkelės)	1 band	51	63	79	1 band	52	61	74
			2 band	52	62	79	2 band	54	61	79
			3 band	54	62	77	3 band	51	61	79
			4 band	55	62	76	4 band	53	61	75
			Vid.	**62,25**			**Vid.**	**61**		
Gilužio g.	50 km/h	Žvyrkelis	1 band	61	72	83	1 band	56	71	84
			2 band	59	73	81	2 band	57	72	83
			3 band	63	72	85	3 band	55	70	85
			4 band	60	72	80	4 band	57	71	85
			Vid.	**72,25**			**Vid.**	**71**		
	30 km/h	Žvyrkelis	1 band	51	68	83	1 band	47	59	78
			2 band	52	67	82	2 band	49	66	82
			3 band	53	67	81	3 band	47	64	83
			4 band	49	64	80	4 band	48	63	81
			Vid.	**66,5**			**Vid.**	**63**		

7 priedas. Vertikalūs svyravimai/poslinkiai pagal važiavimo greitį ir skirtingas kelio dangas

			205/45R17			185/65R15		
			Poslinkiai, mm			Poslinkiai, mm		
Gatvė	Greitis	Danga		Max	Avg		Max	Avg
Oreivių g.	50 km/h	Asfaltas	1 band	5,5	4,7	1 band	6,6	5
			2 band	6	4,4	2 band	5,7	4,5
			3 band	5,5	4,7	3 band	5,8	4,6
			4 band	6	4,8	4 band	6,2	4,4
			Vid.	**4,65**		**Vid.**	**4,625**	
	30 km/h	Asfaltas	1 band	6,9	5,5	1 band	5,8	4,8
			2 band	6,4	4,8	2 band	6,2	4,5
			3 band	6,7	5,8	3 band	5,4	4,6
			4 band	6	4,7	4 band	5,9	4,7
			Vid.	**5.2**		**Vid.**	**4,65**	
Arsenalo g.	50 km/h	Grindinys (plytos)	1 band	8,1	7	1 band	8,3	7,3
			2 band	8,3	7,3	2 band	8,4	7,2
			3 band	8,6	7,2	3 band	8,3	7,1
			4 band	8,6	7,4	4 band	8,1	7,1
			Vid.	**7,225**		**Vid.**	**7.175**	
	30 km/h	Grindinys (plytos)	1 band	7,2	6,2	1 band	7,6	6,7
			2 band	7,2	6,2	2 band	7,2	6,4
			3 band	7,6	6,5	3 band	7	6
			4 band	7,9	6,6	4 band	7,4	6,1
			Vid.	**6,375**		**Vid.**	**6,3**	
Gedimino pr.	50 km/h	Grindinys (trinkelės)	1 band	7,5	6,2	1 band	7,1	6,1
			2 band	7,2	6,3	2 band	7	6,2
			3 band	7,6	6,1	3 band	7,1	6,2
			4 band	7,6	6,1	4 band	7	6,1
			Vid.	**6,175**		**Vid.**	**6,15**	
	30 km/h	Grindinys (trinkelės)	1 band	6,5	5,3	1 band	6,5	5,4
			2 band	7,6	5,4	2 band	6,8	5,4
			3 band	6,8	5,4	3 band	6	5,3
			4 band	7	5,7	4 band	6,2	5,2
			Vid.	**5,45**		**Vid.**	**5,325**	
Gilužio g.	50 km/h	Žvyrkelis	1 band	9,2	7,4	1 band	8,7	6,6
			2 band	8,5	7,1	2 band	9	6,8
			3 band	9	7,5	3 band	8,4	6,4
			4 band	10,1	7,6	4 band	8,8	6,6
			Vid.	**7,4**		**Vid.**	**6,6**	
	30 km/h	Žvyrkelis	1 band	8,2	6,4	1 band	7,6	5,7
			2 band	8,2	6,6	2 band	7,8	5,9
			3 band	8,4	6,6	3 band	7,7	5,9
			4 band	8	6,6	4 band	7,7	5,8
			Vid.	**6,55**		**Vid.**	**5,825**	