



20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2017 m. gegužės 12 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 12 May 2017, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 20-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 12 мая 2017 г., Вильнюс, Литва

KROVINIO MASĖS IR TVIRTINIMO PADĖTIES ĮTAKA AUTOMOBILIO STOVUMUI

Stasys Girkontas, Giedrius Garbinčius, Vidas Žuraulis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Automobilių transporto katedra
El. paštas: stasys.girkontas@stud.vgtu.lt; giedrius.garbincius@vgtu.lt; vidas.zuraulis@vgtu.lt

Santrauka. Šiame straipsnyje pateikiamas lengvojo krovininio automobilio *Renault Master* stovumo tyrimas. Nagrinėjama kaip keičiasi bendras automobilio svorio centras, kai krovinys tvirtinamas skirtingose padėtyse išilgine automobilio kryptimi. Tiriama kaip keičiasi automobilio dinaminiai parametrai pakitus svorio centro padėčiai, ar tai turi įtakos automobilio pasukamumo savybėms. Gauti duomenys lyginami su kompiuterinės modeliavimo programos *CarSim* sukurtu automobilio modelio duomenimis. Pagal gautus abiejų tyrimų duomenis formuluojamos išvados, kokią įtaką automobilio stovumui turi skirtingos krovinio tvirtinimo padėties.

Reikšminiai žodžiai: svorio centras, krovinio masė, krovinio padėtis, stovumas, automobilis, dinamika, virtimas.

Įvadas

Automobilių skaičius keliuose nuolat didėja, jie naudojami ne tik asmeniniams poreikiams tenkinti, bet darbo funkcijoms atlikti, kur dažnai prireikia krovininių automobilių. Lengvieji kroviniai arba lengvieji komerciniai, kaip ir visi kiti automobiliai, yra nuolat tobulinami, diegiamos įvairios sistemos gerinančios važiavimo komfortą. Saugumo sistemos yra vienos iš sparčiausiai tobulėjančių. Tačiau vien saugumo sistemų nepakanka, norint saugiai ir užtikrintai jaustis kelyje. Taip pat svarbu yra automobilio eksploataavimo sąlygos, kurios priklauso nuo vairuotojo. Eksploataavimo sąlygoms priskiriamas automobilio pakrovimas. Net jeigu krovinio masė neviršija leidžiamos, tai neįrodo, kad automobilis yra saugiai pakrautas ir nekelia pavojaus eismui, pavyzdžiui, kai visa krovinio masė sukoncentruota ant galinės ašies. Atlikta nemažai bandymų, kuriuose iširta, kaip keičiasi automobilio stovumo savybės, kai keičiamas automobilio svorio centro aukštis. Tačiau palyginti atlikta mažai tyrimų, kuriuose nustatyta, kaip keičiasi stovumo savybės, kintant svorio centro padėčiai išilgine automobilio ašimi.

Šio tyrimo tikslas: iširti lengvojo krovininio automobilio stovumo parametrus esant skirtingoms krovinio tvirtinimo padėtimis išilginės automobilio ašies kryptimi.

Literatūros apžvalga

Norint sužinoti daugiau apie automobilio svorio centrą bei jo įtaką automobilio stovumui buvo pasitelkti

automobilių dinamikos vadovėliai, moksliniai straipsniai ir kiti literatūros šaltiniai, kuriuose nagrinėjama panaši tema. Visa rasta literatūra buvo išnagrinėta ir apibendrintai pateikta šiame skyriuje.

Krovininio tipo automobiliuose krovinys gali sudaryti didelę arba didesnę masės dalį lyginant su automobilio mase. Tokiuose automobiliuose svarbu yra tinkamas krovinio išdėstymas. Vežant skirtingos masės bei gabaritų krovinis dažnai skiriasi krovinio tvirtinimo padėtis. Tokiais atvejais keičiasi ir automobilio svorio centro padėtis, kartais ji gali pakisti ženkliai (Momiyama *et al.* 1999).

Svorio centro nagrinėjimas yra artimai susijęs su automobilio virtimu. Virtimus galima suskirstyti į dvi kategorijas: kai automobilis slysta ir kai neslysta. Su slydimu susiję virtimai yra dažniausi. Jie įvyksta, kai automobilis slysta iš kelio į kelkraštį, o jo ratai įstringa į kelkraščio dangą arba atsiremia į pakelės objektą. Virtimai be slydimo paprastai įvyksta, kai perkrautais automobiliais bando atlikti sudėtingus manevrus, kurie fiziškai yra neįmanomi (Lambert 2007).

Kad būtų lengviau palyginti automobilių virtimo galimybes tarpusavyje, *NHTSA* (angl. *National Highway Traffic Safety Administration*) apibrėžė statinio stabilumo rodiklį, kuris apskaičiuojamas (Walz 2005):

$$SSF = \frac{TV}{2 \cdot H_{CG}}, \quad (1)$$

čia: *SSF* – statinis stabilumo rodiklis; *TV* – automobilio tarpvėžės plotis, m; *H_{CG}* – automobilio svorio centro aukštis, m.

Automobiliai, kurių svorio centro aukštis didesnis ir tarpvėžė siauresnė, turi mažesnę *SSF* reikšmę (padidinto pravažumo automobiliai, furgonai) ir didesnę šansą apvirsti negu turintys didesnę *SSF* reikšmę.

Automobilio stovumą iširti galima testų metu. Testai skirstomi į pusiau stacionarius ir dinaminis (Forkenbrock *et al.* 2004). Pusiau stacionariuose testuose sukuriama sąlyga, kurių metu išvengiama žymių kėbulo svyravimų. Tokie testai gali būti pastovaus spindulio bei didėjančio posūkio kampo. Šiuose testuose nėra žybaus pakabos dinaminio poveikio. Dinaminių testų metu bandoma atkurti galimas automobilio virtimo sąlygas. *NHTSA* automobilių tyrimams taiko 3 dinaminis testus: J formos posūkio, „žuvies kabliuko“ bei dvigubo juostos keitimo (ISO 3888 Part 2). Šiame darbe automobilis bus tiriamas dvejais testais. Pirmasis testas bus dvigubos juostos keitimo manevras, antrasis – pastovaus spindulio testas.

Dvigubos juostos keitimo manevras atliekamas trimis vairo ratų pasukimais: dvejais didesnio kampo skirtais pakeisti važiavimo juostas ir vienu mažesniu automobilio išlyginimui, kai grįžtama į pradinę eismo juostą. Šis testas laikomas vienu iš labiausiai atitinkančių realias sąlygas ir tinka tiriant automobilio valdymo savybes (Forkenbrock *et al.* 2003).

Pastovaus spindulio testo metu automobilis važiuoja žiedu, kurio dydis nesikeičia. Automobilis pradeda važiuoti žiedu ir jo greitis palaipsniui yra didinamas. Šio testo metu automobilio neveikia žymūs pakabos dinaminiai veiksniai iki to momento, kol jis nepradeda slysti, arba posūkio viduje esantys ratai atsiplėšia nuo žemės. Testo metu galima nustatyti automobilio pasukamumo savybes (Abe 2009).

Tyrimo metodai

Atliktame tyrime naudotas lengvasis krovininis automobilis – 2006 metų gamybos *Renault Master* (eksploatacijai paruošto automobilio masė – 2085 kg, didžiausia techniškai leidžiama pakrautos transporto priemonės masė – 3300 kg). Pasirinktas N1 kategorijos furgono tipas, nes toks automobilis turi galimybę gabenti didelės masės krovinį išdėstytą skirtingose padėtyse išilgine automobilio kryptimi. Pasirinktas automobilis buvo be elektroninės stabilumo sistemos, todėl tai įtakos testo rezultatams neturėjo.

Testo metu krovinį sudarė įtvirtintoje dėžėje esantis smėlis. Viso krovinio masė – 980 kg. Tyrimo metu automobilyje buvo 2 ekipažo nariai ir bandymams reikalinga įranga, kurių masė sudarė – 155 kg. Bendra automobilio masė su krovinio ir ekipažu siekė 3220 kg. Taip buvo pasiekta beveik didžiausia techniškai leidžiama pakrautos transporto priemonės masė.

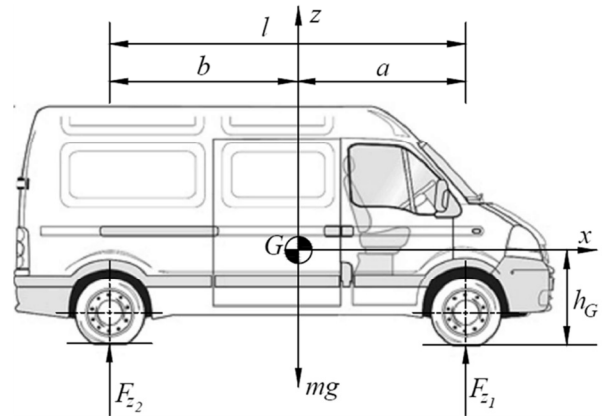
Pirmaisia tyrimo metu buvo nustatyta tuščio automobilio svorio centro išilginė padėtis bei aukštis.

Išilginė svorio centro padėtis nustatoma pagal formulę (Genta, Morello 2009):

$$\begin{cases} a = l \frac{F_{z2}}{F_{z1} + F_{z2}} \\ b = l \frac{F_{z1}}{F_{z1} + F_{z2}} \end{cases}, \quad (2)$$

čia: a – atstumas, nuo automobilio priekinės ašies iki svorio centro, mm; b – atstumas, nuo automobilio galinės ašies iki svorio centro, mm; l – automobilio bazė, mm; F_{z1} – atraminė reakcijos jėga į automobilio priekinę ašį, N; F_{z2} – atraminė reakcijos jėga į automobilio galinę ašį, N.

Išilginės svorio centro padėties nustatymo schema pateikta 1 pav.

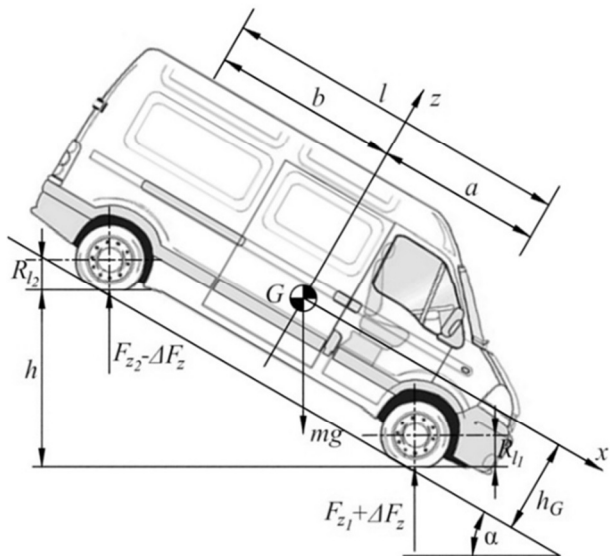


1 pav. Svorio centro išilginės padėties nustatymo schema

Svorio centro aukščiui nustatyti naudojama formulė (Genta, Morello 2009):

$$h_G = R_l + \frac{\Delta F_z}{m_a g} \frac{l \sqrt{l^2 - h^2}}{h}, \quad (3)$$

čia: h_G – automobilio svorio centro aukštis, mm; R_l – rato spindulys, kai automobilis stovi ant kelio paviršiaus, mm; ΔF_z – atraminės reakcijos į automobilio ašį pokytis, N; m_a – nustatyta automobilio masė; g – laisvojo kritimo pagreitis, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; h – automobilio pakėlimo aukštis. Svorio centro aukščio nustatymo schema pateikta 2 pav.



2 pav. Svorio centro aukščio nustatymo schema

Automobilio masė su skirtingomis krovinio tvirtinimo padėtimis atskirai nenustatinėta. Žinant visų objektų

masės bei jų centrų padėtis, bendro svorio centro koordinatės nustatytos pagal formules (Bogdevičius *et al.* 2012):

$$x_C = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (4)$$

$$z_C = \frac{\sum_{i=1}^n z_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (5)$$

čia: x_C, z_C – koordinatės iki suminio svorio centro; x_i, z_i – i -osios masės koordinatės, nuo koordinačių ašies xz .

Bandymai su automobiliu buvo atlikti kariniame Gaižiūnų poligone, Jonavos rajone, ant nebenaudojamo lėktuvų pakilimo-tūpimo tako. Danga bandymų metu – sausas betonas.

Eksperimentinio tyrimo metu automobilio judėjimo parametrams matuoti buvo naudojama vokiečių kompanijai *Kistler Group* priklausančio gamintojo *Corrsys-Datron* sertifikuota matavimo įranga (3 pav.). Tai mobili įranga, kurią galima sumontuoti įvairaus tipo automobiliuose. Bandymų metu įrangai elektros energiją tiekė automobilyje atskirai sumontuota 12 V akumulatoriaus baterija.



3 pav. Matavimo jutiklių išdėstymo schema: 1 – akselerometras ir giroskopas; 2 – optinis greičio jutiklis; 3 – lazerinis posvyrio jutiklis; 4 – rato padėties jutikliai

Automobilio pagreičiai ir sukimosi greičiai apie visas tris ašis buvo matuojami automobilio simetrijos plokštumoje ant priekinio stiklo pritaisytu jutikliu *TANS 3-Axis* (3 pav. 1 pozicija). Ant automobilio kėbulo šono montuojamas bekontaktis optinis judėjimo greičio išilgine ir skersine ašimi bei sukimosi kampo matavimo jutiklis *Correvit S-350 Aqua* (3 pav. 2 pozicija). Sukimuisi apie išilginę bei skersinę ašis įvertinti buvo matuojami amortizuotos masės sukimosi apie išilginę ir skersinę ašį kampai. Šie parametrai buvo gauti naudojant du lazerinius *HF-500C* atstumo iki kelio dangos jutiklius (3 pav. 3 pozicija). Automobilio vairuojamo rato posūkio kampo padėtis buvo matuojama *Kistler RV-4* sistema (3 pav. 4 pozicija). Ši jutiklių sistema montuojama tarp neamortizuotos ir amortizuotos masės, todėl lankstuose esančių jutiklių signalai perskaičiuojami atskiru procesoriumi, o duomenų išvesčiai pateikiami reikiamo rato padėties parametrai (Žuraulis 2015). Prieš atliekant tyrimą, būtina sukalibruoti sistemą į signalų apdorojimo programą suve-

dant rato skersmens ir skersinio išnešimo parametrus.

Visų jutiklių duomenys buvo sinchronizuotai surinkti naudojant gamintojo *Corrsys-Datron* įrenginį *DAS-3* (4 a pav.). Įrenginys tvirtinamas automobilio salone. Tyrimo metu duomenys buvo įrašomi į atminties kortelę. Įrašyti duomenys tolesniam apdorojimui buvo filtruojami ir konvertuojami kompiuterine programa *TurboLab 6.0*. Matavimo įrangos kalibravimo nustatymai, įrašymo paleidimas ir sustabdymas vykdomi automobilio salone tvirtinamu valdymo pultu.

Tyrimams buvo naudojamas Vilniaus Gedimino technikos universiteto pagamintas vairavimo robotas (4b pav.). Robotą sudaro elektrinis 24 V gamintojo *Oriental motor* variklis. Energija tiekiamą iš mobilios automobilyje įtaisytos atskiros 12 V akumulatoriaus baterijos. Tam, kad gauti reikiamą 24 V įtampą, naudojamas įtampos keitiklis. Variklis sukimo momentą perduoda per žiedinius krumpliaračius. Visas įrenginys tvirtinamas ant vairo 4 plokštelėmis bei 1 ar 2 vakuuminiais laikikliais. Vairavimo roboto valdymo blokas programuojamas kompiuterio pagalba per *Arduino* kontrolerį. Komandos roboto valdikliui suvedamos kompiuteriu. Vairavimo robotas pasirinktas todėl, kad buvo norima kuo tiksliau atkartoti važiavimo trajektoriją visų bandymų metu.



4 pav. Tyrimo naudota įranga: a) matavimo duomenų surinkimo įrenginys *DAS-3*; b) vairavimo robotas

Kaip jau minėta bandymams buvo pasirinkti du manevrai: dvigubos juostos keitimo ir pastovaus spindulio.

Atliekant pirmąjį manevrą buvo renkami šie parametrai: kėbulo skersinis pagreitis, sukimosi apie vertikalią ašį kampas bei kėbulo svyravimo apie išilginę ašį kampas. Visi šie parametrai yra tarpusavyje susiję ir kinta dėsningai. Jie yra charakteringi norint nustatyti automobilio valdomumo parametrus (Uys *et al.* 2006).

Pastovaus spindulio manevro metu fiksuoti šie parametrai: vairuojamųjų ratų pasukimo kampas, automobilio greitis bei sukimosi apie vertikalią ašį greitis. Pagal šių parametru reikšmių grafikus galima nustatyti automobilio pasukamumą. Taip pat testo metu stebėta, kuri iš automobilio ašių pradeda slysti ar automobilis pradeda virsti.

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

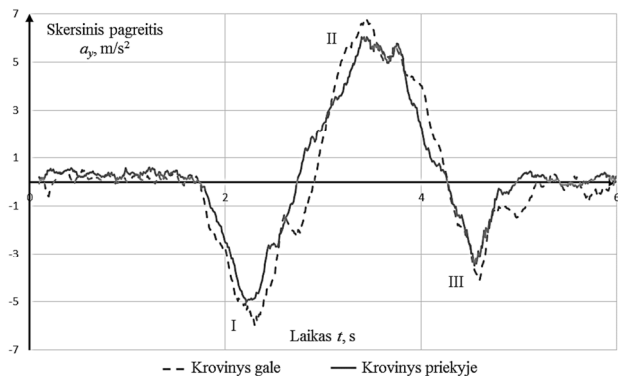
Svorio centro nustatymas. Nustatytos svorio centro koordinatės, esant skirtingoms krovinio tvirtinimo padėtimis, pateiktos 1 lentelėje. Joje galima matyti kaip kinta

bendras automobilio svorio centras. Esant nepakrautam automobiliui, svorio centras nuo galinės ašies yra nutolęs 2328 mm. Kai krovinys tvirtinamas priekinėje automobilio dalyje, svorio centras nuo galinės ašies nutolęs – 2154 mm., kai tvirtinamas galinėje dalyje – 1595 mm. Kai krovinys priekyje, svorio centras nuo įprastos padėties nutolsta 174 mm link automobilio galinės dalies ir tai sudaro tik 5 % visos automobilio bazės. Kai krovinys gale, svorio centras nutolsta – 733 mm. Tai sudaro 20 % automobilio bazės. Tuščio automobilio svorio centro aukštis yra 787 mm, pakrauto automobilio – 803 mm. Skirtumas tik 16 mm, todėl galima sakyti, kad pakrovimas didelės įtakos automobilio svorio centro aukščiui neturėjo.

1 lentelė. Nustatytos svorio centro padėtys

Krovinio tvirtinimo padėtis	Krovinys priekyje	Krovinys gale	Be krovinio
Atstumas nuo priekinės ašies, mm	1424	1983	1250
Atstumas nuo galinės ašies, mm	2154	1595	2328
Aukštis, mm	803	803	787

Stovumo tyrimas. Iš bandymų metu gautų duomenų sudarytas automobilio skersinio pagreičio grafikas (5 pav.). Grafike aiškiai matyti, kad skersinis pagreitis išauga tose vietose, kur pasikeičia automobilio važiuojimo kryptis. Būtent šiose vietose ir išryškėja skirtumas tarp krovinio tvirtinimo padėčių. Iš grafiko matyti, kad kai krovinys tvirtinamas automobilio gale, gaunami pagreičiai yra didesni.



5 pav. Skersinio pagreičio grafikas

Lyginant pasiektus maksimalius skersinius pagreičius tarp dviejų skirtingų krovinio tvirtinimo pozicijų (1 lentelė), matoma, kad pasukus vairą I pozicija (išvažiuojant į kitą eismo juostą), skersinio pagreičio skirtumas yra 0,4 m/s². Automobilio vairą sukant II pozicija (sukant automobilį grįžimui į pradinę eismo juostą), skersinis pagreitis skiriasi apie 1 m/s². Kai vyksta automobilio išlyginimas (III pozicija), pagreičių skirtumas siekia 0,8 m/s².

Antrasis bandymas automobiliu buvo atliktas važiuojant apskritimu. Šio bandymo tikslas nustatyti, ar krovinio padėtis turi įtaką automobilio pasukamumui bei

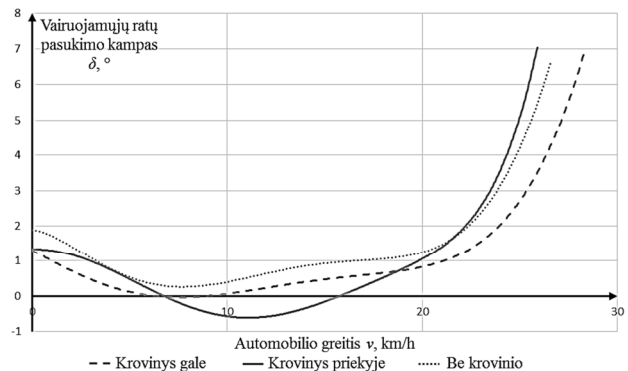
kokiam greičiui esant automobilis praranda sukibimą su kelio danga.

2 lentelė. Maksimalios skersinių pagreičių reikšmės

Bandymo Nr.	Skersinis pagreitis, kai krovinys gale, m/s ²			Skersinis pagreitis, kai krovinys priekyje, m/s ²		
	I	II	III	I	II	III
1	-5,4	6,8	-4,2	-5,2	5,7	-3,2
2	-5,5	7,2	-4,2	-5,2	6	-3,2
3	-5,4	6,8	-4,3	-5,3	5,7	-3,6
4	-6	6,8	-4,1	-5	6	-3,5
Vidurkis	-5,58	6,9	-4,2	-5,18	5,85	-3,38

Pagal bandymų sąlygas buvo pasirinktas maksimalus apskritimo spindulys – 20 m. Automobiliui važiuojant apskritimu buvo nuolat didinamas greitis iki to momento, kai automobilis praranda pusiausvyrą.

6 pav. pateiktas grafikas, kuriame parodyta kaip kinta vairuojamųjų ratų pasukimas priklausomai nuo greičio važiuojant apskritimu. Kadangi vairuojamųjų ratų pasukimo kampas nuolat didėja, didėjant ir automobilio greičiui, tai reiškia, kad bandyto automobilio *Renault Master* pasukamumas yra nepakankamas (Abe 2009). Taip pat iš grafiko galima spręsti, kad bandymo sąlygomis krovinio tvirtinimo padėtis ar svoris neturi ženklios reikšmės automobilio pasukamumui. Kreivės savo forma yra panašios.



6 pav. Vairuojamųjų ratų pasukimo kampo grafikas

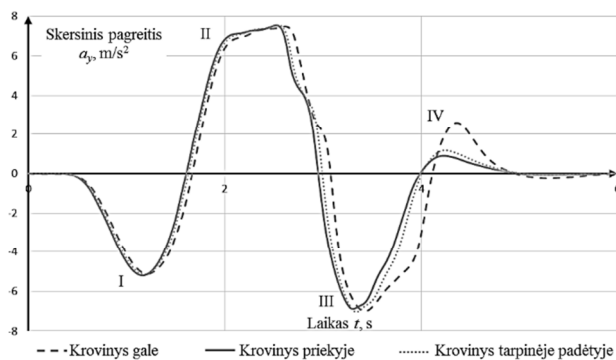
Automobiliui važiuojant apskritimu nustatyta, kad didinant greitį automobilis linkęs prarasti stovumą ne slysdamas, o virsdamas. Tai patvirtina bandymo metu nuo žemės atitrūkęs posūkio viduje esantis galinis ratas.

Stovumo tyrimas kompiuterine programa *CarSim*

Siekiant ištirti plačiau automobilio stovumą, tyrimams buvo pasirinkta kompiuterinė modeliavimo programa *CarSim*. Programos pagalba buvo sukurtas virtualus automobilio modelis bei atkurta važiuojimo trajektorija.

CarSim programa buvo nustatyti skersiniai pagreičiai važiuojant 60 km/h greičiu, kai krovinys priekyje, gale bei tarpinėje padėtyje. Buvo tiriama kaip kinta automobilio skersiniai pagreičiai, kai automobilis važiuoja ta pačia trajektorija didesniu greičiu.

Atliekant bandymą 60 km/h greičiu (7 pav.), toks skirtumas tarp pagreičių, kaip bandymų metu poligone, nebuvo gautas, tačiau pastebėta, kad padidėja skersinis pagreitis automobilio išlyginimo metu, kai grįžta į pradinę juostą (III pozicija). Tiek kroviniai esant priekyje, tiek gale, automobiliui grįžus į pradinę juostą, įvyksta galinės ašies slydimas ir atsiranda dar viena skersinio pagreičio maksimali reikšmė (IV pozicija). Šioje vietoje skersinių pagreičių skirtumas $1,5 \text{ m/s}^2$ didesnis, kai krovinys tvirtinamas gale. Krovinio svorio centrą perkėlus į tarpinę padėtį, skersinis pagreitis manevro pabaigoje gaunamas $0,3 \text{ m/s}^2$ didesnis už pagreitį, kai krovinys tvirtinamas priekyje.

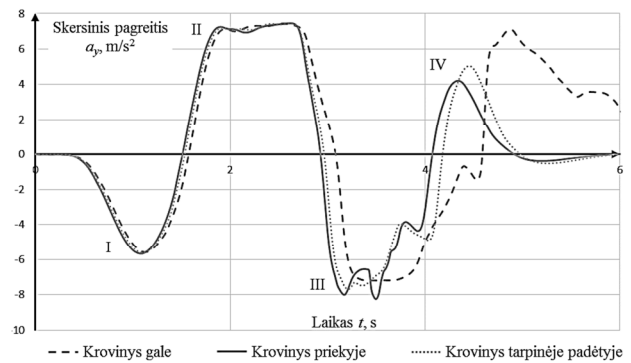


7 pav. CarSim skersinio pagreičio grafikas, kai automobilio važiavimo greitis 60 km/h

8 pav. grafike pateikti skersiniai pagreičiai automobiliui važiuojant 65 km/h greičiu ir atliekant tokį patį manevrą. Kai krovinys tvirtinamas priekyje bei tarpinėje padėtyje, tai skersinis pagreitis manevro pabaigoje gaunamas $1,5 \text{ m/s}^2$ didesnis nei važiuojant 60 km/h greičiu. Tuo metu automobilio galinė ašis slysta didesniu kampu, tačiau automobilis gražinamas į trajektoriją. Kai krovinys gale, skersinio pagreičio skirtumas siekia 4 m/s^2 ir automobilis į trajektoriją negrįžta.

Iš atlikto kompiuterinio modeliavimo rezultatų galima teigti, kad didėjant automobilio greičiui manevro metu, skersiniai pagreičiai taip pat didėja. Kuo krovinys

tvirtinamas arčiau galinės dalies, tuo automobilis linkęs greičiau prarasti stovumą.



8 pav. CarSim skersinio pagreičio grafikas, kai automobilio važiavimo greitis 65 km/h

Išvados

Tyrimo metu nustatyta, kad krovinį tvirtinant automobilio krovinų skyriaus priekyje, svorio centras pasislenka 174 mm, o kai krovinys tvirtinamas galinėje dalyje – 733 mm.

Važiuojant realiu automobiliu dvigubos juostos keitimo manevro metu skersinio pagreičio reikšmės padidėja iki 1 m/s^2 , kai krovinys tvirtinamas automobilio galinėje dalyje. Atlikus tyrimą kompiuterine modeliavimo programa CarSim nustatyta, kad atliekant manevrą didesniu greičiu skersiniai pagreičiai padidėja: kai krovinys priekyje – $1,5 \text{ m/s}^2$, kai krovinys gale – 4 m/s^2 . Abiem atvejais automobilis praranda sukibimą su keliu ir pradeda slysti galinė ašis. Palyginus realiu automobiliu ir CarSim gautus rezultatus galima daryti išvadą, kad vežant krovinį furgono tipo automobilyje, jis lengviau išlaikys stovumą, kai krovinys tvirtinamas arčiau priekinės dalies.

Važiuojant apskritimo trajektorija ir didinant greitį pastebėta, kad bandytas automobilis linkęs prarasti stovumą virsdamas.

Literatūra

- Bogdevičius, M.; Junevičius, R.; Vansauskas, V. 2012. *Transporto priemonių dinamika*. Vilnius: Technika. 90 p. Prieiga per internetą: <http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1436/1/1381-S_Bogdevicius_Transporto_WEB.pdf>.
- Forkenbrock, G. J.; Garrott, W; Boyd, P. 2003. An overview of NHTSA's recent light vehicle dynamic rollover propensity research and consumer information program, NHTSA, USA, Paper number 488: 1–14. Prieiga per internetą: <<https://www.nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/Esv/esv18/CD/Files/18ESV-000488.pdf>>.
- Forkenbrock, G. J.; O'Harra, B. C.; Elsasser, D. 2004. *A Demonstration of the Dynamic Tests Developed for NHTSA's NCAP Rollover Rating System*. NHTSA. Final Report. DOT HS 809 705. 104 p.
- Genta, G.; Morello, L. 2009. *The Automotive chassis*. Volume 2: System Design. Springer. 831 p.
- Lambert, K. 2007. *A study of vehicle properties that influence rollover and their effect on electronic stability controllers*. Auburn, Alabama. 132 p. Prieiga per internetą: <https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/112/Lambert_Kenneth_57.pdf?sequence=1&ts=1455302516061>.
- Momiyama, F.; Kitazawa, K.; Miyazaki, K.; Soma, H.; Takahashi, T. 1999. Gravity center height estimation for the rollover compensation system of commercial vehicles, *JSAE Review* 20 (1999): 493–497. Prieiga per internetą: <http://users.isy.liu.se/fs/frisk/tmp/iQDrive_Articles/Gravity%20center%20height%20estimation%20for%20the%20rollover%20compensation%20system%20of%20commercial%20vehicles.pdf>.

- Uys, P.; Els, P.; Thoresson, M. 2006. Criteria for handling measurement, *Journal of Terramechanics* 43 (2006): 43–67. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489804000916>>.
- Walz, M. C. 2005 *Trends in the Static Stability Factor of Passenger Cars, Light Trucks, and Vans*. NHTSA Technical report. DOT HS 809 868. 39 p. Prieiga per internetą: <<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/809868>>.
- Žuraulis, V. 2015. *Posūkio trajektorija slydimo režimu judančio automobilio dinaminių parametru tyrimas*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 140 p.