

1 priedas

SLYDIMĄ IMITUOJANČIOS SISTEMOS ĮTAKOS LENGVOJO AUTOMOBILIO DINAMINĖMS CHARAKTERISTIKOMS TYRIMAS

Tautvydas Jakas¹, Vidas Žuraulis², Saulius Nagurnas³, Paulius Skačkauskas⁴
^{1,2,3,4} Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹ tautvydas.jakas@stud.vgtu.lt; ² vidas.zuraulis@vgtu.lt;
³ saulius.nagurnas@vgtu.lt; ⁴ paulius.skackauskas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje pateikti lengvojo automobilio slydimą imituojančios sistemos įtakos automobilio dinaminėms charakteristikoms tyrimai, – nagrinėjamos automobilio kėbulo svyravimų, dinaminių rato išvirthimo kampų priklausomybės nuo automobilio skersinio pagreičio bei automobilio kritiniai ir charakteringi greičiai. Pirmiausia, nustatomos automobilio dinaminės charakteristikos su slydimą imituojančia sistema. Atliekami eksperimentai, važiuojant nekintamo spindulio apskritimo trajektorija, didinant automobilio judėjimo greitį, kol automobilis praranda sukibimą su kelio danga. Remiantis ta pačia bandymų metodika, atliekami eksperimentiniai tyrimai be automobilio slydimą imituojančios sistemos. Pagal gautus rezultatus daromos išvados, kurioms automobilio dinaminėms charakteristikoms didžiausią įtaką turi slydimą imituojanti sistema.

Reikšminiai žodžiai: dinaminės charakteristikos, automobilio svyravimai, išvirthimo kampas, skersinis pagreitis, kritinis greitis, charakteringas greitis.

Įvadas

Šiuo metu daug dėmesio skiriama automobilių techninių charakteristikų bei priemonių, padedančių užtikrinti automobilių saugumą, tobulinimui. Siekiant visokeriopo automobilio saugumo yra diegiamos vis naujesnės ir modernesnės aktyviosios ir pasyviosios saugos priemonės. Automobilių gamintojai nuolat ieško sprendimų gerinant automobilių dinamines savybes. Siekiant ištirti lengvųjų automobilių dinamines charakteristikas atliekami įvairūs eksperimentiniai ir analitiniai tyrimai (Boot 2005; Imsland *et al.* 2008). Automobilio stovumas, skersinis pagreitis, ratų geometrija, gebėjimas stabiliai įveikti posūkius ir kitos dinaminės charakteristikos yra svarbiausios automobilių saugiam eismui užtikrinti. Nepakankamas automobilio sukibimas su kelio danga dažnai tampa skaudžių nelaimių priežastimi. Būtent dėl to šio darbo tema yra aktuali, nes saugumo klausimai negali būti ignoruojami.

Mokslininkų D. Katzourakis, J.C.F. de Winter, S. de Groot, R. Happee (Katzourakis *et al.* 2012) pateiktame straipsnyje aprašomas penkių lengvųjų automobilių parametrų tyrimas atliekant staigaus persirikiavimo manevrą tarp dviejų eismo juostų. Bandymo metu matuojamas automobilių greitis, vairo pasukimo kampas, skersinis pagreitis, vairo sukimo momentas. Vertinama automobilių reakcija į vairo sukimo momentą, esant skirtingiems judėjimo greičiams. Mokslininkai parodo automobilių vairo mechanizmo jautrumo, vairo sukimo momento gradiento, skersinio pagreičio priklausomybę nuo automobilių judėjimo greičio.

Jason S.Stine pateiktame straipsnyje (Stine *et al.* 2010) pabrėžia, kad aukų, žūstančių automobilių eismo įvykiuose, skaičius gali būti ženkliai sumažintas tobulinant automobilių dinamines charakteristikas. Tiriant automobilių dinamines charakteristikas daugiausia dėmesio autorius skiria virthimo kampo nustatymui bei slydimo kampo nustatymui.

Lghani Memhour (Memhour *et al.* 2014) straipsnyje aprašo lengvojo automobilio bandymus, įdiegus vairavimo kontrolės sistemą. Ši sistema kontroliuoja du parametrus: slydimo kampą bei šoninį automobilio nuokrypį nuo trajektorijos. Atliekami dinaminiai patobulinto automobilio bandymai. Pirmiausia, buvo aiškinamasi automobilio galimybės įveikiant posūkius, stebint, kada automobilis praras sukibimą su kelio danga ir taps nevaldomas. Po to, eksperimentinis automobilis buvo bandomas esant visiško sukibimo su kelio danga sąlygoms. Atliekant bandymus nustatomas skersinis, išilginis automobilio pagreitis, slydimo kampas, vairo ir ratų pasukimo kampai, šoninio slydimo kampai.

Vido Žuraulio straipsnyje (Žuraulis *et al.* 2013) aprašomas lengvojo automobilio dinaminis tyrimas. Atkreipiamas dėmesys į automobilį veikiančias skersines jėgas, automobilio slydimą bei nustatomas automobilio kritinis greitis iki slydimo pradžios.

Moksliniuose straipsniuose aprašomi įvairūs dinaminiai tyrimai, kuriuose dažnai naudojamas judėjimo nekintamo spindulio trajektorija tyrimo metodas (Fittanto, Senalik 2004). Šis metodas atliekamas pagal standarto ISO 4138 reikalavimus.

Apibendrinant apžvelgtą mokslinę literatūrą galima teigti, kad šiame darbe iškelta problema nagrinėjama ne

viename straipsnyje. Tai atliekama tiek bandant įdiegtas sistemas, tiek lyginant teorinius skaičiavimus su realiais parametrais. Tačiau dinaminiai lengvojo automobilio tyrimai, naudojant slydimą imituojančią sistemą, nėra plačiai paplitę. Todėl svarbu įvertinti tokios sistemos specifines savybes, lemiančias automobilio dinamiką, kuomet atliekami automobilių aktyviosios saugos eksperimentiniai tyrimai. Atsižvelgiant į šiame darbe iškeliamą problematiką, šio darbo tikslas – ištirti slydimą imituojančios sistemos įtaką lengvojo automobilio dinaminėms charakteristikoms.

Eksperimentinis tyrimas

Eksperimento tikslas – išmatuoti ir įvertinti automobilio „Mazda 626“ (1998 m.) kartu su slydimą imituojančia įranga (1 pav.) dinامينius parametrus. Eksperimento metu atliekami dinaminio stovumo bandymai, kurių metu nustatomi automobilio kėbulo su slydimą imituojančia sistema svyravimai, ratų pasukimo kampo reikšmės, ratų dinaminio išvrtimo kampo kitimas. Gauti rezultatai bus lyginami su rezultatais, gautais atliekant eksperimentus su tuo pačiu automobiliu, bet be slydimą imituojančios įrangos.

Eksperimentai atliekami sausoje asfaltbetonio dangos aikštelėje. Slydimo sistema buvo standžiai pritvirtinta prie automobilio kėbulo (Vidas Žuraulis *et al.* 2014).

Automobilio dinaminės savybės nustatyti buvo fiksuojamas automobilio judėjimo greitis, sukimosi greitis apie vertikalią ašį, automobilio kėbulo padėtis bandymų aikštelės dangos atžvilgiu, automobilio priekinių ratų eiga visomis kryptimis, automobilio judėjimo greitis pagal automobilio ratų sukimąsi bei nuvažiuotas kelias, automobilio rato dinaminio išvrtimo kampas, slydimą imituojančios sistemos pakėlimo aukščiai.



1 pav. Automobilis „Mazda 626“ ant slydimą imituojančios sistemos su sumontuota matavimo įranga

Minėtų charakteristikų nustatymui montuojama specializuota automobilių dinaminės charakteristikų tyrimams naudojama įranga (1 pav.):

- Duomenų surinkimo – apdorojimo įrenginys Corrsys – Datron DAS – 3 (16 bit. rezoliucija, 1-1000 Hz įrašymo dažnis kiekvienam kanalui);
- Trijų ašių navigacinis modulis su pagreičio (± 3 g, 10 Hz) ir sukimosi greičio ($\pm 150^\circ/\text{s}$) jutikliais Corrsys-Datron TANS-3215003M5;
- Ratų padėties jutiklių sistema KISTLER RV – 4 vnt.;

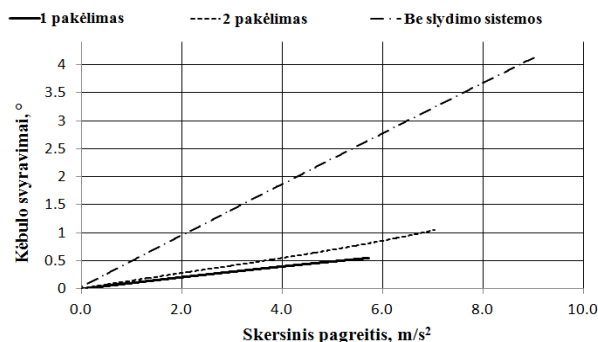
- Bekontaktis greičio bei slydimo kampo jutiklis CORREVIT S – 350 (0,5 – 350 km/h, $\pm 0,2$ %);
- Lazeriniai kėbulo padėties jutikliai CORREVIT HF – 500C (125 – 325 mm, $\pm 0,2$ %);
- Slydimą imituojanti sistema (keturių ratų specialus vežimėlis su hidrauline pakėlimo aukščio reguliavimo įranga).

Buvo pasirinktos dvi bandymų trajektorijos, t.y. judėjimas nekintamo 15 ir 20 metrų spindulio žiedais. Eksperimentai kiekviena trajektorija buvo atliekami dviem etapais. Pirmajame etape slydimą imituojanti sistema automobilį pakeldavo į aukščiausią pasirinktą padėtį ($\Delta z = 50$ mm, Δz – hidraulinio cilindro koto padėtis cilindro atžvilgiu). Taip nustatoma 1 padėtis. Antrame etape automobilis buvo žemiausioje padėtyje – $\Delta z = 160$ mm (2 padėtis). Kiekvienas bandymas buvo vykdomas judant apskritimu, nuolat didinant automobilio judėjimo greitį pagal standartą ISO 4138 reikalavimus. Automobilio judėjimas vyksta nustatytu vairo pasukimo kampu, kol pasiekama kritinė automobilio stovumo riba, – didėjant automobilio greičiui mažėja padangų generuojama kontaktinė jėga ir automobilis ima slysti.

Tyrimo rezultatai

Atlikus bandymus gaunamos automobilio judėjimo pagrindinių dinaminės charakteristikų priklausomybės nuo automobilio judėjimo greičio ir pagreičio.

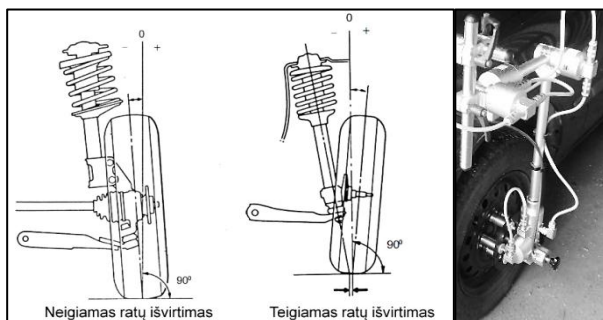
2 paveiksle pateikta automobilio kėbulo svyravimų priklausomybė nuo automobilio skersinio pagreičio. Pateikiamos trys kreivės, viena kurių rodo automobilio aukščiausią pakėlimo padėtį (1 pakėlimas), antra – žemiausią (2 pakėlimas), trečia – svyravimus be slydimo sistemos. 2 paveiksle matyti, kad automobiliui esant žemiausioje padėtyje, didėjant automobilio skersiniam pagreičiui, automobilio kėbulas dėl inercijos jėgų linkęs pasvirti $\approx 0,4^\circ$ didesniu kampu nei automobiliui esant aukščiausioje padėtyje. Automobilis be slydimo sistemos pasvyra labiau (iki beveik $4,5^\circ$, esant $\approx 9 \text{ m/s}^2$ pagreičiui). Tai galima aiškinti tuo, kad nenaudojant slydimą imituojančios sistemos, gauname daug didesnę automobilio kėbulo masių persiskirstymą, važiuojant ratu.



2 pav. Automobilio kėbulo skersinio svyravimo priklausomybė nuo automobilį veikiančio skersinio pagreičio

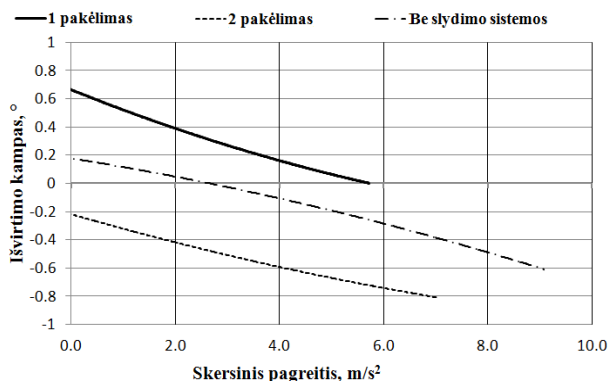
Kitas svarbus dinaminis parametras – tai rato išvrtimo kampas (3 pav.). Ratų išvrtimu vadinamas

kampas tarp tiesės, esančios rato sukimosi plokštumoje ir statmens rato riedėjimo plokštumai, ratams esant vidurinėje padėtyje (važiuojant tiesiai). Jeigu rato viršutinė dalis pakrypusi į išorę, išvirtimas vadinamas teigiamu, o jeigu pakrypusi į vidų – neigiamu. Neigiamas ratų išvirtimas didina šonines jėgas. Teigiamas ratų išvirtimas didina ašinę jėgą, kuri spaudžia rato stebulę prie vidinio guolio, sumažina išorinio guolio bei šerdies apkrovą. Teigiamas išvirtimas sumažina ratų pasukimo momentą, o taip pat palengvina automobilio vairavimą, padidina automobilio stabilumą. Neigiamas ratų išvirtimas padidina automobilio stabilumą posūkyje (Baf-fet *et al.* 2009).



3 pav. Rato išvirtimo kampas ir jo matavimas

Tyrimų metu naudojama matavimų įranga (3 pav.) įvertinama automobilio rato dinaminio išvirtimo kampo priklausomybė nuo automobilio skersinio pagreičio (4 pav.). 4 paveiksle matyti, kad automobiliui esant žemiausioje padėtyje, didėjant skersiniam pagreičiui, automobilio priekinio rato išvirtimo kampas pasikeičia $\approx 0,1^\circ$ mažesniu kampu nei automobiliui esant aukščiausioje padėtyje, didėjant automobilio skersiniam pagreičiui. Matome, kad kaip ir tuo atveju kai automobilis buvo su slydimą imituojančia sistema, automobilio be šios sistemos rato išvirtimo kampas mažėja, tačiau šiuo atveju išvirtimo kampo kitimo amplitudė didesnė (pastebimas $\approx 0,8^\circ$ kampo pokytis). Taip yra dėl pasiekiamo didesnio skersinio pagreičio ($\approx 9 \text{ m/s}^2$), t.y. veikia didesnė skersinė jėga, lėmusi didesnį kėbulo pasvirimą ir pakabos eigą.



4 pav. Vidinio vairuojamojo rato išvirtimo kampo priklausomybė nuo automobilio skersinio pagreičio

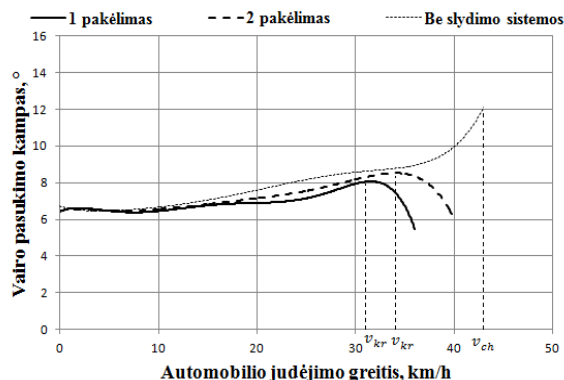
Automobiliui judant nekintamo spindulio apskritimo trajektorija, automobilio slydimą apibūdina pasukamumo gradientas K . Jis nusako koks yra automobilio slydimas. Perteklinio pasukamumo atveju $K < 0$. Atliekant važiavimus perteklinio pasukamumo sąlygomis pasiekiamas kritinis greitis v_{kr} . Kritinis greitis įgyja priklausomybę (Abe 2009):

$$v_{kr} = \sqrt{\frac{-1}{K}}, \quad (1)$$

Nepakankamo pasukamumo atveju $K > 0$. Atliekant manevrą nepakankamo pasukamumo sąlygomis pasiekiamas charakteringas greitis v_{ch} :

$$v_{ch} = \sqrt{\frac{1}{K}}, \quad (2)$$

Ekspperimentinio tyrimo metu buvo fiksuojamas automobilio judėjimo greitis bei vairuojamųjų ratų pasukimo kampas tam, kad būtų nustatytas kritinis bei charakteringas automobilio judėjimo greitis (5 pav.).



5 pav. Automobilio vairo pasukimo kampo priklausomybė nuo automobilio judėjimo greičio

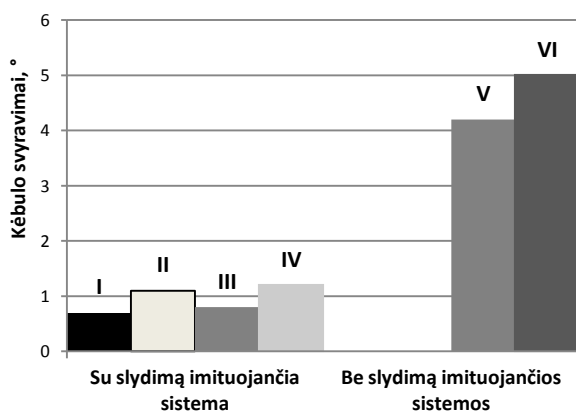
Matome, kad automobiliui judant su slydimo sistema vyksta judėjimas su pertekliniu pasukamumu. Automobiliui pradėjus slysti vairas sukamas išorine posūkio kryptimi (atsukinėjamas), siekiant stabilizuoti automobilį. Atliekant manevrą be slydimo sistemos, automobilis juda nepakankamo pasukamumo sąlygomis. Šiuo atveju, siekiama išlaikyti judėjimo trajektoriją didinant vairo pasukimą. Esant aukščiausiai automobilio pakėlimo padėčiai pasiekiamas $\approx 4 \text{ km/h}$ mažesnis kritinis greitis nei judant 2 pakėlimo padėtyje ir $\approx 12 \text{ km/h}$ mažesnis kritinis greitis, lyginant su charakteringu automobilio judėjimo greičiu be slydimo sistemos.

Ekspperimentinių tyrimų rezultatų analizė

Atlikta ekspperimentinių tyrimų rezultatų analizė, vertinant lengvojo automobilio „MAZDA 626“ pagrindines dinamines charakteristikas: kėbulo svyravimus, ratų dinaminio išvirtimo kampą, automobilio kritinį bei charakteringą judėjimo greitį.

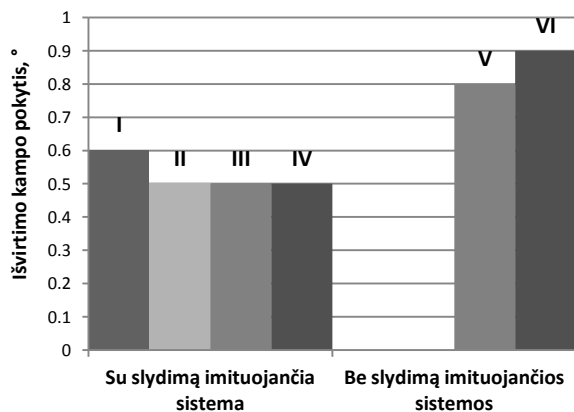
Didžiausios bandomo automobilio kėbulo vertikalų svyravimų reikšmės kinta nuo maždaug 1° iki 5° (6 pav.). Pastebima, kad automobiliui važiuojant mažesnio

spindulio apskritimo trajektorija bei esant žemesnei pakėlimo padėčiai pasiekiamos didesnės kėbulo pasvirimo kampo reikšmės. Ryškiausias skirtumas pastebimas lyginant kėbulo svyravimus su slydimą imituojančia sistema ir be jos. Atliekant dinaminis automobilio be slydimą imituojančios sistemos tyrimus pasiekiamos apie 4° didesnės kėbulo svyravimų kampo reikšmės, lyginant su reikšmėmis, gautomis tyrimų su slydimą imituojančia sistema metu. Tai paaiškinama slydimą imituojančios sistemos savybe automobiliui suteikti papildomą kėbulo stabilumą vertikaliųjų posvyrių atžvilgiu.



6 pav. Didžiausios bandyto automobilio kėbulo pasvirimo reikšmės: I – judėjimas 20 m. spindulio apskritimu, esant aukščiausiai automobilio padėčiai, II – judėjimas 20 m. spindulio apskritimu, esant žemiausiai automobilio padėčiai, III – judėjimas 15 m. spindulio apskritimu, esant aukščiausiai automobilio padėčiai, IV – judėjimas 15 m. spindulio apskritimu, esant žemiausiai automobilio padėčiai, V – judėjimas 20 m. spindulio apskritimu, VI – judėjimas 15 m. spindulio apskritimu

Ištyrus lengvojo automobilio su ir be slydimą imituojančios sistemos dinaminio išvrtimo kampo priklausomybę nuo automobilio skersinio pagreičio pastebime, kad didžiausios rato išvrtimo kampo kitimo amplitudės reikšmės svyruoja nuo $\approx 0,5^\circ$ iki $\approx 1^\circ$ (7 pav.).

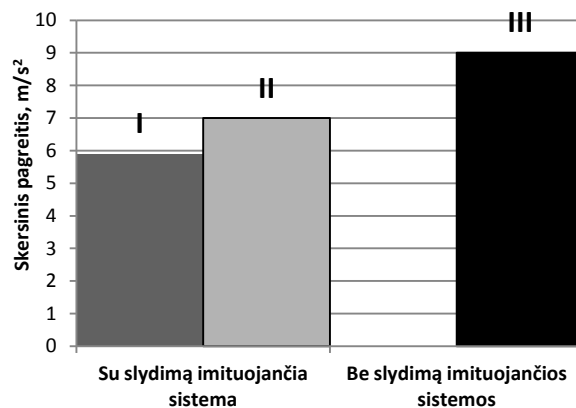


7 pav. Didžiausios bandyto automobilio rato išvrtimo reikšmės

Automobiliui judant apskritimo formos trajektorija su slydimą imituojančia sistema, išvrtimo kampo pokytis

yra pastovus (pastebimas $\approx 0,5^\circ$ kampo pokytis). Šiuo atveju slydimo sistemos pakėlimo aukštis bei judėjimo spindulio dydis įtakos neturi. Judant skirtingų spindulių apskritimais be slydimą imituojančios sistemos išvrtimo kampo pokyčio reikšmės išauga iki $\approx 1^\circ$. Toks dinaminio ratų išvrtimo kampo pokytis labiau pagerina automobilio stabilumą atliekant posūkius nei važiuojant automobiliu su slydimą imituojančia sistema.

Atliekant eksperimentus su slydimą imituojančia sistema automobilis pradeda slysti pasiekęs vidutiniškai 3 m/s^2 mažesnį skersinį pagreitį, lyginant su automobiliu be slydimą imituojančios sistemos (2, 4, 8 pav.). Kaip matome, didelę įtaką automobilio skersinio pagreičiui daro slydimo sistemos pakėlimo aukštis. Automobilis, būdamas aukščiausioje slydimo sistemos padėtyje pradeda slysti pasiekęs maždaug 1 m/s^2 mažesnį skersinį pagreitį, nei esant žemiausiam pakėlimo aukščiui (2, 4, 8 pav.).



8 pav. Didžiausios bandyto automobilio skersinio pagreičio reikšmės. I – aukščiausias automobilio pakėlimas, II – žemiausias automobilio pakėlimas, III – be slydimo sistemos

Automobilio kritinis greitis, pasiekiamas automobiliu su slydimą imituojančia sistema važiuojant žiedu, gali būti palyginamas su tam kelio paviršiui būdingu teoriniu greičiu (Brach 1997). Teorinio kritinio greičio reikšmė, kuriai esant žiedu judantis automobilis praranda sukibimą su kelio danga randama pagal formulę:

$$v = \sqrt{v_y' \cdot R} = \sqrt{\mu_y g R}, \quad (3)$$

kur: v_y' – skersinis pagreitis; μ_y – kelio dangos trinties koeficientas; g – laisvojo kritimo pagreitis.

Lyginant automobilio kritinį greitį gautą eksperimentų metu ir kritinį greitį apskaičiuotą naudojant formulę (3), pastebime kritinių greičių skirtumus. Automobilis, eksperimento metu, važiuodamas nekintamo 20 metrų spindulio trajektorija, praranda sukibimą su kelio danga ir pradeda slysti pasiekęs 43 km/h kritinį greitį. Automobilis su slydimo sistema pasiekia 31 km/h greitį, esant aukščiausiai automobilio pakėlimui ir 35 km/h greitį, esant žemiausiai automobilio padėčiai (1 lentelė).

1 lentelė. Eksperimentinio ir teorinio kritinio greičio reikšmės

	I pakėlimas		II pakėlimas		Be slydimo sistemos	
Judėjimo trajektorijos apskritimo spindulys R , m	15	20	15	20	15	20
Kritinis greitis, nustatytas eksperimentų metu v'_{cr} , km/h	30	31	34	35	38	43
Kritinis greitis, nustatytas teoriniais skaičiavimais v_{cr} , km/h	36	42	36	42	36	42
Teorinio ir realaus kritinio greičio skirtumas, %	-16	-26	-6	-17	5	2

Teoriniu būdu nustatytas kritinis automobilio greitis, važiuojant 20 metrų žiedu yra 42 km/h, kuris yra labai artimas eksperimentiniu būdu gautam charakteringam greičiui be slydimo sistemos. Eksperimentiniai bei teoriniai kritiniai greičiai, važiuojant 15 ir 20 metrų spindulio žiedais, jų skirtumai pateikti 1 lentelėje.

Išvados

Atlikus eksperimentinius tyrimus, skirtus įvertinti slydimą imituojančios sistemos įtaką lengvojo automobilio dinaminėms charakteristikoms, formuluojamos šios išvados:

1. Automobiliiui važiuojant apskritimine trajektorija bei esant žemiausiai ($\Delta z = 160$ mm) slydimo sistemos pakėlimo padėčiai pasiekiamos maždaug $0,4^\circ$ (t.y. 40 %) didesnės kėbulo svyravimo kampo reikšmės, nei esant aukščiausiam pakėlimui ($\Delta z = 50$ mm). Atliekant dinaminius automobilio be slydimą imituojančios sistemos tyrimus pasiekiamos apie 3° (t.y. 75 %) didesnės kėbulo svyravimų amplitudžių reikšmės, lyginant su reikšmėmis, gautomis tyrimo su slydimą imituojančia sistema metu. Tai paaiškinama slydimą imituojančios sistemos savybe automobiliui suteikti papildomą kėbulo stabilumą vertikalųjų posvyrių atžvilgiu, t.y. apriboti pakabos eigą.
2. Veikiant skersinėms apkrovoms, automobilio rato dinaminio išvirmimo kampo reikšmės kinta maždaug $0,5^\circ$. Automobiliiui judant be slydimą imituojančios sistemos, dinaminio rato išvirmimo kampo reikšmės kinta iki 1° . Tai patvirtina, jog slydimo sistema riboja kėbulo svyravimus ir pakabos eigas, kas lemia mažesnę rato išvirmimo kampo kitimą ir riboja gamintojo numatytą automobilio konstrukcijos kinematiką.
3. Atliekant eksperimentus su slydimą imituojančia sistema automobilis pradeda slysti pasiekęs vidutiniškai 3 m/s^2 (30%) mažesnę skersinį pagreitį, lyginant su automobiliu be slydimą imituojančios sistemos. Tą lemia

pagrindinė slydimą imituojančios sistemos savybė mažinti padangų skersines kontaktines jėgas.

4. Automobilio kritinis greitis iki slydimo pradžios, naudojant slydimo sistemą yra iki 26 % mažesnis už teorinį kritinį greitį. Tai paaiškinama slydimo sistemos savybe aukščiau pakeliant automobilį sumažinti automobilio valdomumą posūkyje, kritinį greitį bei ratų trinties koeficientą skersine kryptimi.

5. Iš tyrimo metu gautų vairo pasukimo priklausomybių nuo automobilio greičio nustatyta, kad automobilio su slydimo sistema pasiektas kritinis greitis yra maždaug 27 % mažesnis už be slydimo sistemos pasiektą charakteringą greitį. Be to, automobilis su slydimo sistema apskritimu juda su pertekliniu pasukamumu, kai automobilis be slydimo sistemos tomis pačiomis sąlygomis juda su nepakankamu pasukamumu. Tai atskleidžia slydimo sistemos galimybes besitreniruojančiam vairuotojui išbandyti skirtingas automobilio valdymo technikas.

Literatūra

- Abe, M. 2009. *Vehicle Handling Dynamics*. Theory and application. Oxford. 287 p.
- Baffet, G.; Charara, A.; Lechner, D. 2009. Estimation of vehicle sideslip, tire force and wheel cornering stiffness. *Control Engineering Practice*. Vol.17: p. 1255–1264.
- Boot, J. 2005. ATV Control regulating a 4WD/4WS autonomous guided vehicle. *Master's Thesis*. Hoofddorp. 128 p.
- Brach, R. M. 1997. An Analytical Assessment of the Critical Speed Formula, *SAE Paper No.* 970957.
- Fittanto, D.A.; Senalik, A. 2004. Passenger Vehicle Steady-State Directional Stability Analysis Utilizing EDVSM and SIMON, *Engineering Dynamics Corporation*. 9 p.
- Imsland, L.; Johansen, T.A.; Fossena, T.I. 2008. Nonlinear vehicle side-slip estimation with friction adaptation, *Automatica* 44: 611 – 622.
- ISO 4138:2004(E). Passenger Cars – Steady-state Circular driving behavior – Open-loop Test Methods. International Organization for Standardization. Geneva.
- Katzourakis, D.; de Winter, J.C.F.; de Groot S.; Happee R. 2012. Driving simulator parameterization using double-lane change steering metrics as recorded on five modern cars, *Simulation Modelling Practice and Theory* 26: 96–112.
- Menhour, L.; Charara, A.; Lechner, D. 2014. Switched LQR/H steering vehicle control to detect critical driving situations, *Control Engineering Practice* 24: 1–14.
- Stine, J.S.; Hamblin, B.C.; Brennan, S.N.; Donnell, E.T. 2010. Analyzing the influence of median cross-section design on highway safety using vehicle dynamics simulations, *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010): 1769–1777.
- Žuraulis, V.; Sokolovskij, E.; Matijošius, J. 2013. The opportunities for establishing the critical speed of the vehicle on research in its lateral dynamics. *Eksplotacija i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability* 2013; 15 (4): 312–318.
- Žuraulis, V.; Kemzūraitė, K.; Więckowski, D. Investigation of dynamic properties of vehicle in various friction condition simulated with use of skidcar system. The archives of automotive engineering – *Archiwum motoryzacji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN. ISSN 1234-754X. Vol. 63, no.1 (2014), p. 89-99, 195-205.