



## MAŽŲ (B1 KLASĖS) AUTOMOBILIŲ SKERSINIO DINAMINIO STABILUMO ANALIZĖ

Eglė DŪDĖNAITĖ<sup>1</sup>, Robertas PEČELIŪNAS<sup>2</sup>, Vidas ŽURĀULIS<sup>3</sup>, Dalius MATUZEVIČIUS<sup>4</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>egle.dudenaite@stud.vgtu.lt; <sup>2</sup>robertas.peceliunas@vgtu.lt;*

*<sup>3</sup>vidas.zuraulis@vgtu.lt; <sup>4</sup>dalius.matuzevicius@vgtu.lt*

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamos lengvųjų automobilių dinaminės charakteristikos dvipusio judėjimo juostos keitimo manevro metu (ISO 3888-2). Tyrimo tikslas – pagal eksperimentinio bandymo metu jutiklių užfiksuotas išilginio ir skersinio greičio projekcijas ir sukimosi greičius apie vertikalią automobilio ašį, pritaikius skaičiavimo metodiką, apskaičiuoti slydimo (skersridės) kampus. Pagal gautus rezultatus įvertinti automobilių stovumą ir valdomumą važiuojant skirtingais greičiais. Tyrimams pasirinkti maži (B1 klasės) automobiliai, nes staigaus manevro metu šios klasės automobiliai gali tapti nestabilūs.

**Reikšminiai žodžiai:** automobilio stovumas, slydimo (skersridės) kampas, dvigubo judėjimo juostos keitimo manevras.

### Įvadas

Automobilių transportas turi daug privalumų lyginant su kitų rūšių transportu, tačiau didėjantis automobilių skaičius kelia nemažai grėsmės. Automobiliai išskiria daug gamtai kenksmingų teršalų, tačiau didžiausių ir skaudžiausių nuostolių patiriama dėl kasdien įvykstančių eismo įvykių, kurių metu sužalojami ar žūsta žmonės. Todėl saugus kelių eismas tampa prioritetine valstybės sritimi. Automobilio saugumas yra vertinamas pagal įvairius parametrus – stabdymo efektyvumą, stovumą, valdymo savybes, pasyviosios saugos priemonės ir kt.

Pastaruoju metu labai daug dėmesio skiriama saugiam eismui ir prevencijai: automobilių gamintojai nuolat tobulina automobilių patikimumą, valdomumą, saugumą, t. y. kuria tokį automobilį, kuris būtų labiau prognozuojamas kelyje, taip siekiama kiek įmanoma išvengti avarinių situacijų (IKA 2013; Kiencke, Nielsen 2005). Tačiau praktika rodo, kad eismo įvykiai – vis dar didžiulė problema, todėl labai svarbu įvertinti sąveiką tarp vairuotojo ir automobilio. Šie du komponentai turi didžiausią įtaką eismo įvykio priežastims atsirasti. Šiame tyrime eksperimentiškai vertinamas lengvųjų automobilių stovumas ir valdomumas.

Transporto priemonių (TP) dinamika nagrinėja TP pagreitėjimą, stabdymą, svyravimus, veikiant išoriniams ir vidiniams veiksniams (jėgoms ir jėgų momentams), keleivių komfortą, TP atskirų mazgų dinaminis ir hidrodinaminis procesas, važiuoklės sąveiką su kelio paviršiumi, TP stabilumą (Bogdevičius, Volotkevič 2012; Bakker *et al.* 1987).

Kuriant ir tobulinant automobilių stabilumo sistemas yra sudaromi kompiuteriniai modeliai, kurie tikrinami atliekant realius bandymus: dvipusio judėjimo juostos keitimo ir kitus manevrus (Pytká *et al.* 2011). Vertinant automobilio valdymo savybes tinkamiausiu nustatytas dvipusio judėjimo juostos keitimo manevras (Uys *et al.* 2006). Šio manevro metu yra atliekami ir analizuojami keturi vairavimo judesiai: pasukimo, išlyginimo, grąžinimo ir stabilizavimo.

Automobilio sukimosi greičio apie vertikalią automobilio ašį (angl. *yaw rate*) įvertinimo metodika, naudojant virtualius jutiklius, aprašoma Emirler *et al.* (2012). Aktyvaus saugumo sistemos, tokios kaip elektroninė stabilumo programa (ESP), yra svarbios ir naudojamos transporto priemonių šoniniam stabilumui palaikyti. Sukimosi greitis apie vertikalią automobilio ašį yra pagrindinis parametras, įvertinantis pokrypio stabilumo kontrolę.

Minghui *et al.* (2012) sudaro slydimo (skersridės) kampo skaičiavimo algoritmą. Šis kampas yra labai svarbus automobilio stabilumui. Autoriai teigia, kad norint tiesiogiai išmatuoti automobilio slydimo (skersridės) kampą yra reikalinga brangi įranga, bet tai galima gana paprastai ir pigiai atlikti naudojant modeliavimo programas.

Tyrime siekiant tiksliai nustatyti slydimo (skersridės) kampą manevro simuliacijoje Wang *et al.* (2010) atsisakoma vairuotojo valdomų veiksmų. Naudojant modifikuotą, grįžtamuojų ryšiu skaičiuojamą Dugoff padangos modelį

dvipusio judėjimo juostos keitimo manevras važiuojant 26 m/s greičiu atliktas nesėkmingai.

Slydimo (skersridės) kampų, tarp padangų ir kelio dangos veikiančių jėgų įvertinimo procesą nagrinėja Baffet *et al.* (2009). Šių jėgų įvertinimo procesas grindžiamas dviejų blokų serija: pirmojo bloko užduotis yra įvertinti padangas ir kelį veikiančias jėgas, o antrasis blokas – Kalmano filtras – leidžia atrinkti jutikliais išmatuotas slydimo kampo reikšmes.

Nagrinėjant lengvųjų automobilių skersinę dinamiką, paminėtini Slaski (2011) tyrimai. Darbe aprašyti dvipusio persirikiavimo manevro bandymai taikant kelis slopinimo lygius pagal ribines amortizatorių charakteristikas ir keli bandymai naudojant reguliuojamą valdiklį, intensyviai keičiant slopinimo lygį pagal kai kuriuos pasirinktus signalus, apibrėžiančius automobilio dinamines savybes.

Šiuolaikinių matavimo technologijų, taikomų transporto priemonių dinaminuose tyrimuose, apžvalga pateikiama Huber ir Drews (2009) darbe. Mokslininkai analizuoja *Driveability Testing Alliance (Corrsys–Datron, Dewetron, GeneSys, Kistler, TÜV SÜD Automotive)* partnerių sukurtus įvairius jutiklius ir jų sistemas automobilio dinaminė charakteristikų matavimo parametrus gauti.

Whitehead *et al.* (2004) darbe tiriama transporto priemonių polinkis virsti, naudojant kompiuterinį modeliavimą. Kompiuterinio modelio tikslumas patikrintas lyginant su eksperimentiniais duomenimis. Atliktas testas leidžia nustatyti automobilio galimybę tam tikru greičiu apvažiuoti kelyje atsiradusią kliūtį ir nustatyti šonines jėgas. Tyrimais įrodyta, kad dinaminis modeliavimas yra veiksmingas ir tikslus metodas, kuris leidžia analizuoti transporto priemonės ir įvertinti jų dinamiką.

Automobilio komfortas ir važiavimo stabilumas priklauso nuo pakabos standumo ir slopinimo elementų charakteristikų. Mokslininkų Cronje ir Els (2010) straipsnyje dvipusio važiavimo juostos keitimo manevrais buvo tiriama stabilizatoriaus įtaka automobilio valdymo savybėms, važiuojant skirtingos kokybės kelio paviršiumi. Visureigiui pritaikius aktyvius stabilizavimo elementus, svyravimo kampas manevro metu sumažėjo 40–70 %, o tai pagerino tiek valdymą, tiek komfortą.

Slydimo (skersridės) kampo įvertinimas yra labai svarbus automobilio stabilumui. Šio tyrimo tikslas – pagal eksperimentinio bandymo metu jutiklių užfiksuotas išilginio ir skersinio greičio projekcijas ir sukimosi greičius apie vertikalią automobilio ašį bei pritaikius skaičiavimo metodiką apskaičiuoti automobilių slydimo (skersridės) kampus.

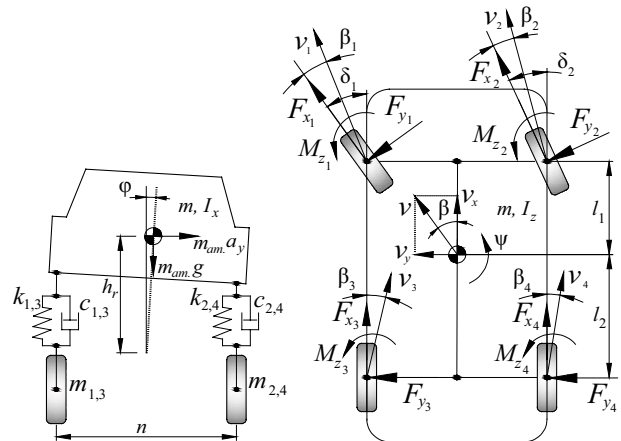
## Teorinis automobilio modelis

Analizuojant bendrą automobilio stabilumą patogų taikyti modelį, sujungiantį automobilio vortimo ir horizontalią dinamiką (1 pav.). Šiame keturių laisvės laipsnių modelyje aprašomi skersiniai svyravimai, atsirandantys dėl veikiančios šoninės jėgos:

$$F_y = F_{y_1} + F_{y_2} + F_{y_3} + F_{y_4} = m_{am} \cdot a_y, \quad (1)$$

čia:  $F_{y_i}$  – rato kontakte atsirandanti skersinio sukibimo jėga;  $m_{am}$  – automobilio amortizuota masė;  $a_y$  – veikiantis skersinis pagreitis.

Horizontaliame automobilio modelyje, veikiant skersinėms jėgoms, atsiranda slydimo (skersridės) kampai  $\beta_i$ . Šie kampai rodo atitinkamo rato išilginės plokštumos nesutapimą su realia judėjimo kryptimi, kurią žymi greičio vektorius  $\vec{v}_i$ . Bendras automobilio slydimo kampas svorio centre žymimas  $\beta$ .



1 pav. Keturių laisvės laipsnių automobilio modelis

Fig. 1. Four degrees of freedom vehicle model

Nevertinant ratų išilginio slydimo ir automobilio apkrovų dėl išibėgėjimo arba stabdymo šio modelio judėjimo lygtys pagal antrąjį Niutono dėsnį užrašomos taip:

$$m(\dot{v}_x - v_y \dot{\psi}) = F_{x_1} \cos \delta_1 - F_{y_1} \sin \delta_1 + F_{x_2} \cos \delta_2 - F_{y_2} \sin \delta_2 + F_{x_3} + F_{x_4}, \quad (2)$$

$$m(\dot{v}_y - v_x \dot{\psi}) = F_{x_1} \sin \delta_1 + F_{y_1} \cos \delta_1 + F_{x_2} \sin \delta_2 + F_{y_2} \cos \delta_2 + F_{y_3} + F_{y_4}, \quad (3)$$

$$I_z \ddot{\psi} = (F_{x_1} \sin \delta_1 + F_{y_1} \cos \delta_1 + F_{x_2} \sin \delta_2 + F_{y_2} \cos \delta_2) \cdot l_1 - (F_{y_3} + F_{y_4}) \cdot l_2 - (F_{x_1} \cos \delta_1 - F_{y_1} \sin \delta_1) \cdot \frac{n}{2} + (F_{x_2} \cos \delta_2 - F_{y_2} \sin \delta_2) \cdot \frac{n}{2} + \sum M_{z_i}, \quad (4)$$

$$I_x \ddot{\phi} - I_z \ddot{\psi} = m_{am} h_r (\dot{v}_x + v_y \dot{\psi}) + m_{am} h_r g \phi - (k_{pr.} + k_{gal.}) \phi - (c_{pr.} + c_{gal.}) \dot{\phi}, \quad (5)$$

čia:  $m$  – automobilio bendroji masė;  $v_x$  – išilginio greičio projekcija;  $v_y$  – skersinio greičio projekcija;  $\psi$  – amortizuotos masės pasisukimo kampas apie vertikalią ašį;  $F_{x_i}$  – rato kontakte atsirandanti išilginio sukibimo jėga;  $\delta_i$  – vairuojamųjų ratų pasukimo kampas;  $I_{x,z}$  – automobilio inercijos momentas atitinkamai apie išilginę ir vertikalią ašį;  $I_{1,2}$  – svorio centro padėtis atitinkamai iki priekinės ir galinės ašies;  $n$  – ratų tarpvėžė;  $M_{z_i}$  – atitinkamo rato padangos išilginės krypties tiesinimo momentas;  $\phi$  – amortizuotos masės pasisukimo kampas apie išilginę ašį;  $h_r$  – atstumas nuo skersinių svyravimų ašies iki svorio centro padėties;  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis;  $k_{pr.gal.}$  – atitinkamai priekinės ir galinės pakabos standumas skersiniams svyravimams;  $c_{pr.gal.}$  – atitinkamai priekinės ir galinės pakabos slopinimas esant skersiniams svyravimams.

Vairuojant pasukus vertikalia ir skersine jėgomis apkrautą padangą, su kelio paviršiumi kontaktuojanti jos zona išsitempia, o nesimetriškai išsidėsčiusios reakcijos sukuria padangos tiesinimo momentą  $M_{z_i}$ :

$$M_{z_i} = F_{y_i} \cdot t_{x_i}, \quad (6)$$

čia  $t_{x_i}$  – deformuotos padangos reakcijos persislinkimas.

Padangos tiesinimo momentas priešinasi skersiniam slydimui.

### Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika

Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti keturiais mažais (B1 klasės) automobiliais: *Volkswagen Polo*, *Seat Ibiza*, *Ford Fiesta* ir *Kia Rio* (2 pav.). Automobilių techninės charakteristikos pateiktos 1-oje lentelėje (Cars-Data 2013). B1 automobilių klasę apibrėžia automobilių ir su jais susijusių sferų verslui specializuotas informacinės konsultacinės paslaugas Baltijos šalyse teikianti bendrovė „AutoTyrimai“ (2013). Staigiai manevruojant šios klasės automobiliai tampa nestabilūs.



2 pav. Tyrimuose naudoti automobiliai

Fig. 2. Tested vehicles

Bandymai atlikti su konkrečiam automobilio modeliui rekomenduojamų matmenų padangomis. Bandymo metu *Volkswagen Polo*, *Seat Ibiza* ir *Kia Rio* automobiliai buvo su vasarinėmis padangomis, o *Ford Fiesta* – su žieminėmis padangomis. Testo rezultatus lėmė ne tik automobilio savybės, bet ir padangų tipas bei matmenys. Automobiliuose *Ford Fiesta* ir *Kia Rio* įmontuota elektroninė stabilumo kontrolės sistema (ESP). Kelio danga bandymų metu – sausas asfaltas.

1 lentelė. Techniniai tiriamų automobilių parametrai  
Table 1. Vehicles technical specifications

Markė, modelis	VW Polo	Seat Ibiza	Ford Fiesta	Kia Rio
Variškis	1,2 l, benzininis	1,2 l, benzininis, TSI	1,0 l, benzininis, EcoBoost	1,1 l, dyzelinis, CRDI
Galia, kW	51	77	92	55
Sukimo momentas, Nm	112	175	200	170
Masė, kg	967	1015	941	1041
Ilgis, mm	3970	4052	3950	4045
Plotis, mm	1682	1693	1722	1720
Aukštis, mm	1485	1445	1481	1455
Ratų bazė, mm	2470	2469	2489	2570
Priekinė/galinė tarpvėžė, mm	1463/1456	1465/1457	1493/1480	1521/1525
ESP	Ne	Ne	Taip	Taip
Padangų tipas, matmenys	vasarinės, 185/60/R15	vasarinės, 185/60/R15	žieminės, 185/55/R15	vasarinės, 185/65/R15

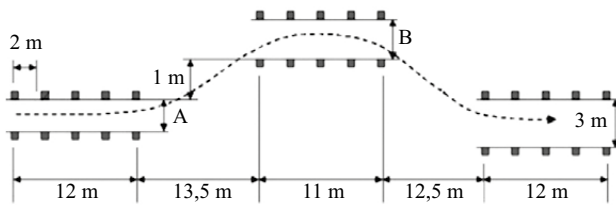
Bandymų metu automobiliai turėjo atlikti dvipusio judėjimo juostos keitimo manevrą, kitaip vadinamą „Briedžio testu“, pagal ISO 3888-2 standartą (3 pav.). Atstumai tarp gairelių metrais apskaičiuojami taip:

$$A = 1,1 \cdot k + 0,25; \quad (7)$$

$$B = k + 1,0, \quad (8)$$

čia  $k$  – automobilio su sumontuota įranga plotis metrais.

„Briedžio testas“ atliekamas imituojant staiga į kelią išbėgusią kliūtį. Eksperimentinio tyrimo pradžia yra ties pirmąja gairele (3 pav.), kai automobilis važiuoja pastoviu pradiniu greičiu. Šis greitis yra išlaikomas viso bandymo



3 pav. Gairelių išdėstymas bandymo metu (ISO 3888-2)  
Fig. 3. Layout of cones during the experiment (ISO 3888-2)

metu, išskyrus atvejus, kai ESP sistema automatiškai mažina greitį automobiliui slystant. Bandymo metu automobilio vairuotojas įveikia distanciją pastoviu 50 km/h greičiu ir 13,5 m atkarpoje turi nemažindamas greičio persirikiuoti į gretimą eismo juostą, ten važiuoti 11 m ir vėl grįžti į pirmąją. Trajektoriją sėkmingai įveikus 50 km/h greičiu, bandymas kartojamas 60 ir 70 km/h greičiais, kiekvienu atveju bandymą kartojant mažiausiai po du kartus. Eksperimento metu iš jutiklių gauta informacija yra registruojama *Corrsys–Datron* duomenų surinkimo įrenginiu DAS-3 ir vėliau bendroje laiko skalėje apdorojama kompiuterine programa *TurboLab 6.0*.

Siekiant objektyviai įvertinti automobilių stabilumą buvo matuojami automobilių veikiantys skersiniai pagreičiai, pasvirimo kampai ir jų kitimo intensyvumas. Nepriklausomai nuo automobilio spidometro rodmenų atskirai fiksuojami judėjimo greičiai automobilio išilgine ir skersine kryptimis. Šiems parametrams matuoti buvo naudojama automobilio dinaminė charakteristikų tyrimo įranga *Corrsys–Datron* (4 pav.). Lazerinės ir optinės technologijos leidžia pasiekti aukštą matavimo tikslumą (*Corrsys–Datron 2008*). Dinaminėms parametrams fiksuoti pasirinktas 100 Hz dažnis. Bandymų metu automobilyje sumontuotą įrangą sudaro:

- triašis akcelerometras, matavimo ribos  $\pm 3$  g,
- triašis giroskopas, matavimo ribos  $\pm 150$  °/s,



4 pav. Eksperimentinio tyrimo įranga *Corrsys–Datron*  
Fig. 4. „Corrsys-Datron“ equipment used in the experiment

- greičio matavimo jutiklis *Correvit S-350*, tikslumas  $< \pm 0,2$  %,
- du lazeriniai aukščio pokyčio matavimo jutikliai *HF-500C*, tikslumas  $< \pm 0,2$  %.

Bandomo automobilio ekipažą sudarė vairuotojas ir keleivis gale, prižiūrintis matavimo įrangą.

### Eksperimentinių tyrimų duomenų rezultatai ir jų analizė

Bandymų metu buvo matuotas automobilių veikiantis skersinis pagreitis ir pasvirimo kampas bei svirimo intensyvumas, kurie objektyviai įvertina komfortą ir amortizuotos masės judėjimo laisvę, tačiau stabilumą tiesiogiai apibūdina slydimo (skersridės) kampas. Įranga išmatavus išilginių ir skersinių greičių projekcijas bei pagal jas pritaikius skaičiavimo metodiką, galima apskaičiuoti kiekvieno automobilio slydimo (skersridės) kampus.

Greičio jutiklis buvo montuojamas automobilio dešinėje pusėje, o giroskopas – artimai svorio centro padėčiai (5 pav.).

Pagal automobilio judėjimo ir greičio matavimo schemą greitį vektorine forma galima užrašyti taip:

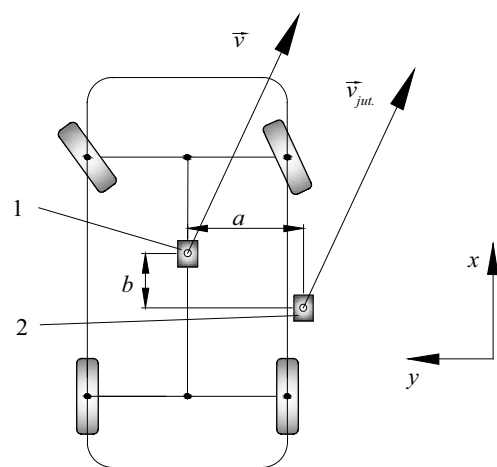
$$\vec{v} = (v_x, v_y, 0) = \vec{v}_{jut.} = (v_{jut,x}, v_{jut,y}, 0), \quad (9)$$

čia  $\vec{v}$  – apibendrintas greičio vektorius;  $\vec{v}_{jut.}$  – apibendrintas jutiklio matuojamo greičio vektorius.

Greičio matavimo jutiklis įvertina realų greičio vektorių  $\vec{v}$  ir greičio dalį, atsirandančią dėl sukimosi apie vertikalią automobilio ašį  $\vec{v}_{suk.}$ :

$$\vec{v}_{jut.} = \vec{v} + \vec{v}_{suk.}; \quad (10)$$

$$\vec{v}_{jut.} (v_{jut,x}, v_{jut,y}, 0) = (v_x - \dot{\psi} \cdot b, 0). \quad (11)$$



5 pav. Matavimo schema: 1 – giroskopas, 2 – greičio jutiklis  
Fig. 5. Measurement scheme: 1 – gyroscope, 2 – speed sensor

Įvertinus sukimosi apie vertikalią ašį intensyvumą ir jutiklių tarpusavio padėtį, greičio išilgine ir skersine automobilio ašimi komponentės bus:

$$v_x = v_{jut,x} + \dot{\psi} \cdot a ; \quad (12)$$

$$v_y = v_{jut,y} + \dot{\psi} \cdot b , \quad (13)$$

čia  $a, b$  – išilginis ir skersinis atstumai nuo automobilio svorio centro iki jutiklio;  $\dot{\psi}$  – sukimosi intensyvumas apie vertikalią automobilio ašį.

Tada slydimo (skersridės) kampą galima apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$\beta = \arctg \frac{v_y}{v_x} = \arctg \frac{v_{jut,y} - \dot{\psi} \cdot b}{v_{jut,x} + \dot{\psi} \cdot a} . \quad (14)$$

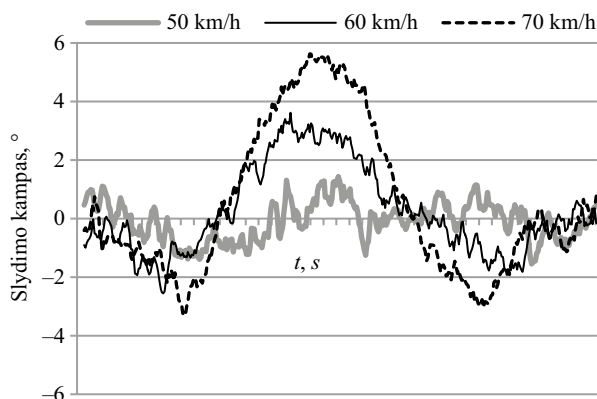
Skaičiavimams reikalingi išilginis ir skersinis atstumai ( $a$  ir  $b$ ) nuo automobilio svorio centro iki jutiklio pateikti 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Atstumai nuo svorio centro iki jutiklio  
Table 2. Distances from the center of gravity to sensor

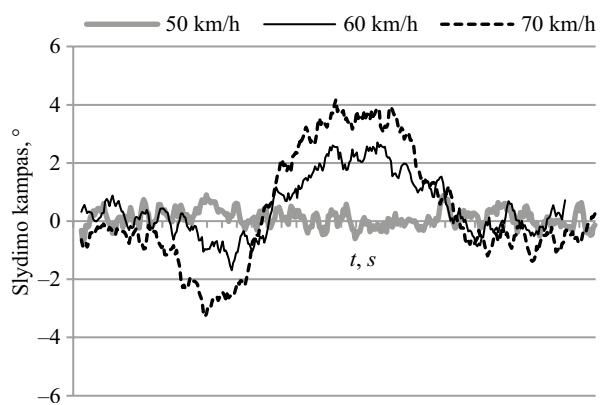
	VW Polo	Kia Rio	Seat Ibiza	Ford Fiesta
$a, \text{ mm}$	860	880	870	880
$b, \text{ mm}$	1000	1020	1020	995

Kiti skaičiavimams reikalingi parametrai – skersinio greičio projekcija  $v_{jut,y}$ , išilginio greičio projekcija  $v_{jut,x}$ , sukimosi greitis apie vertikalią automobilio ašį  $\dot{\psi}$  – bandymų metu yra gauti iš jutiklių.

Nustatytos *Ford Fiesta* ir *Seat Ibiza* automobilių slydimo (skersridės) kampų  $\beta_{max}$  reikšmės pateiktos grafiškai (6 ir 7 pav.). Šių automobilių slydimo charakteristikos labiausiai skiriasi. Kaip matyti iš grafikų, slydimas didėja manevrą atliekant vis didesniu greičiu. Daugiausia, jau esant netgi 50 km/h greičiui, slysta automobilis *Ford Fiesta*, tam turi įtakos žieminės padangos, o ESP slydimo nesumažino. Atliekant manevrą 70 km/h greičiu slydimas viršijo 5,5° ir buvo kliudyta gairelė.



6 pav. *Ford Fiesta* slydimo kampai skirtingais greičiais  
Fig. 6. Sideslip angles at various speeds of vehicle Ford Fiesta



7 pav. *Seat Ibiza* slydimo kampai skirtingais greičiais  
Fig. 7. Sideslip angles at various speeds of vehicle Seat Ibiza

3 lentelėje pateikiamos bandymų metu matuotų parametrų pasiektos didžiausios reikšmės.

Atliekant dvipusio judėjimo juostos keitimo manevrą, rezultatų patikimumui didelės reikšmės turi ir vairuotojas (gebėjimas išlaikyti pastovų greitį, reakcijos laikas, vairo pasukimo greitis).

3 lentelė. Dinaminių parametrų didžiausios reikšmės  
Table 3. Maximal values of dynamic characteristics

	$v, \text{ km/h}$	$a_y, \text{ m/s}^2$	$\dot{\phi}, \text{ }^\circ/\text{s}$	$\phi, \text{ }^\circ$	$\beta, \text{ }^\circ$
VW Polo	50	6,25	11,5	2,9	1,25
	60	7,25	15,0	3,5	1,75
	70	8,25	23,0	4,0	5,5
Kia Rio	50	5,5	12,5	2,5	0,5
	60	7,5	22,0	3,5	1,25
	70	8,25	27,0	3,75	4,25
Seat Ibiza	50	7,0	13,0	3,25	0,5
	60	7,75	21,0	3,75	2,5
	70	9,5	26,0	4,5	4,0
Ford Fiesta	50	5,5	11,5	2,5	1,5
	60	7,75	16,0	3,25	3,5
	70	8,25	21,0	3,5	5,75

Pagal bandymų metu fiksuotas automobilio judėjimo parametrų reikšmės per tam tikrą laiką galima spręsti apie vairuotojo gebėjimą atlikti manevrus tiksliai ir koordinuotai.

### Išvados

1. Su visais bandymuose naudotais automobiliais „Briedžio testas“ buvo atliktas sėkmingai, tačiau įvertinus slydimą ir padarytas klaidas kliudant gaireles galima teigti, kad tirtiems B1 klasės automobiliais 70 km/h greitis yra riba įveikti dvipusio judėjimo juostos keitimo manevrą.
2. Didžiausias sukimosi intensyvumas apie automobilio išilginę ašį pasiektas *Seat Ibiza* ir *Kia Rio* automobiliais. Šis parametras rodo pakabos slopinimo charakteristi-

kas – greitą reakciją į veikiančias apkrovas. Tai svarbu važiuojant nelygiu keliu ir staiga manevruojant, nes ratas bus greičiau prispaudžiamas prie kelio paviršiaus.

- Automobilio stabilumą įvertina skersinis pagreitis, kėbulo pasvirimo kampas ir intensyvumas apie išilginę automobilio ašį, sukimosi intensyvumas apie vertikalią automobilio ašį, tačiau, pakoregavus slydimo kampo β skaičiavimo metodiką, galima paprasčiau įvertinti automobilio judėjimo stabilumą.
- Didžiausias slydimo kampas nustatytas *Ford Fiesta* automobiliui dėl šiltuoju metų laiku naudojamų žieminių padangų. Šio automobilio slydimo nesumažino ir sumontuota ESP sistema. Todėl rekomenduojama drausti eksploatuoti žieminės padangas vasaros sezono laikotarpiu.

## Literatūra

- AutoTyrimai. 2013. *Rinkos klasifikacija* [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. vasario 22 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.autotyrimai.lt/klasifikacija/#klase\\_a](http://www.autotyrimai.lt/klasifikacija/#klase_a)
- Baffet, G.; Charara, A.; Lechner, D. 2009. Estimation of vehicle sideslip tire force and wheel cornering stiffness, *Control Engineering Practice* 17: 1255–1264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2009.05.005>
- Bakker, E.; Nyborg, L.; Pacejka, H. B. 1987. *Tyre modelling for use in vehicle dynamics studies*. SAE Technical Paper 870421 <http://dx.doi.org/10.4271/870421>
- Bogdevičius, M.; Volotkevič, V. 2007. Automobilio su priekaba dinaminė parametru tyrimas, in *TRANSPORTAS: 10-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*, įvykusios Vilniuje 2007 m. gegužės 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 110–115.
- Cars-Data. 2013. *Cars technical specifications database* [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.cars-data.com/>
- Corrsys–Datron. 2008. *Correvit S-350 non-contact 2-axis optical sensor: user manual*, vol. 1. Corrsys–Datron. 29 p.
- Cronje, P. H.; Els, P. S. 2010. Improving off-road vehicle handling using an active anti-roll bar, *Journal of Terramechanics* 47: 179–189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2009.09.003>
- Emirler, M. T.; Kahraman, K., et al. 2012. Vehicle yaw rate estimation using a virtual sensor, *International Journal of Vehicular Technology*. Turkey. 13 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/582691>
- Huber, B.; Drews, R. 2009. *How to use objective measurement data for Vehicle Dynamics Testing* [interaktyvus]. SAE International journal [žiūrėta 2012 m. gruodžio 8 d.]. Prieiga per internetą: <https://ccc.dewetron.com/dl/52af1137-ea94-419b-80ac-7770d9c49862>
- IKA. 2013. *A test procedure for vehicle dynamic controllers*. [interaktyvus], IKA Report 8329 [žiūrėta 2013 m. spalio 12 d.]. Prieiga internetą: [http://ec.europa.eu/transport/road-safety\\_library/publications/cita\\_study\\_4.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road-safety_library/publications/cita_study_4.pdf)
- ISO 3888-2:2004. *Passenger Cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 2: Obstacle avoidance*. Geneva, 2004.
- Jazar, R. N. 2008. *Vehicle dynamics: theory and application*. New York, USA: Springer Science & Business Media. 1015 p. ISBN: 978-0-387-74243-4.
- Kiencke, U.; Nielsen, L. 2005. *Automotive control systems: for engine, driveline and vehicle*. Germany: Springer Science & Business Media. 512 p. ISBN 978-3-540-26484-2. <http://dx.doi.org/10.1007/b137654>
- Minghui, L.; Yongsheng, Z.; Liang, C., et al. 2012. Design of body slip angle observer for vehicle stability control, in *International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology*, 7–9 September 2012, Shenyang, Liaoning, China. Paris: Technology, 2357–2361.
- Pytka, J. A.; Trakowski, P.; Fijałkowski, S.; Budzynski, P.; Dabrowski, J.; Kupicz, W.; Pytka, P. 2011. An instrumented vehicle for offroad dynamics testing, *Journal of Terramechanics* 48: 384–395. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2011.06.003>
- Slaski, G. 2011. Experimental test results of the influence of adaptive damping level on passenger car dynamics during double-lane-change maneuver, in *The International Conference of TRANSBALTICA*, 5–6 May 2011, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 200–205. ISBN 978-9955-28-840-4.
- Uys, P. E.; Els, P. S.; Thoreson, M. J. 2006. Criteria for handling measurement, *Journal of Terramechanics* 43: 43–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2004.08.005>
- Wang, W.; Yuan, L.; Tao, Sh.; Zhang, W.; Su, T. 2010. Estimation of vehicle side slip angle in nonlinear condition based on the state feedback observer, *International Conference on Automation and Logistics*, 16–20 August 2010, Honk-Kong, Macau, China.
- Whitehead, R.; Travis, W.; Bevly, D. M.; Flowers, G. 2004. *A study of the effect of various vehicle properties on rollover propensity* [interaktyvus]. Auburn University [žiūrėta 2012 m. gruodžio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.eng.auburn.edu/~dmbevly/gavlab/pub-pre/A%20Study%20of%20Rollover%20Propensity.pdf>

## ANALYSIS OF LATERAL DYNAMIC STABILITY OF SMALL (B1 CLASS) VEHICLES

E. Dūdėnaitė, R. Pečeliūnas, V. Žuraulis, D. Matuzevičius

### Abstract

The paper analyses the dynamic characteristics of light vehicles during double lane change manoeuvre (ISO 3888-2). The purpose of research is to determine the angle of vehicle sideslip using the adjusted calculation methodology according to the measured longitudinal and lateral velocity and yaw rate and to estimate vehicle stability and drivability based on the obtained results driving at various speeds. Small (B1 class) vehicles have been selected for this research because of stability problems during sudden manoeuvres.

**Keywords:** vehicle stability, sideslip angle, double lane change manoeuvre.