

AUTOMOBILIO JUDĖJIMO POSŪKYJE TYRIMAS ŽIEMOS SĄLYGOMIS

Kristina Kemzūraitė¹, Šarūnas Mikaliūnas², Edgar Sokolovskij³, Giedrius Garbinčius⁴*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹kristina.kemzuraite@vgtu.lt; ²sarunas.mikaliunas@vgtu.lt; ³edgar.sokolovskij@vgtu.lt;**⁴giedrius.garbincius@vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas automobilio judėjimas posūkyje esant slidžiai ir snieguotai su asfaltuotomis provėžomis kelio dangai. Apžvelgiama literatūra, susijusi su automobilių skersiniais ir išilginiais pagreičiais, automobilių judėjimo dinamika. Eksperimentinėje dalyje pateikiami automobilių skersinių pagreičių grafikai. Nagrinėjamas pagreičių dydis ir automobilio stabilumas priklausomai nuo judėjimo greičio tame kelio posūkyje. Remiantis gautais rezultatais pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: automobilis, automobilio dinamika, kelio danga, skersinis pagreitis.

Įvadas

Transporto priemonė gali tapti nevaldoma ne tik esant nepalankioms kelio sąlygoms, jei ji netvarkinga, bet ir tuomet, kai vairuotojas atlieka staigius manevrus (pavyzdžiui, kai siekiama išvengti kliūtis arba neįvertinamas posūkio staigumas). Tokiu atveju transporto priemonė į vairuotojo veiksmus reaguoja kitaip nei tais atvejais, kai vairavimas yra tolygus, ne staigiai ar mažai nukrypstantis nuo važiuojamos trajektorijos. Kai transporto priemonė tampa nestabili, ji gali nuslysti nuo kelio ar netgi apvirtti. Kol yra geras sukibimas su keliu, įgudęs vairuotojas gali suvaldyti pradėjusį slysti automobilį (kai slydimas dar kontroliuojamas). Tačiau kai transporto priemonei pradėjus slysti neįgudęs vairuotojas išsigąsta, mažai tikėtina, kad jis suvaldys automobilį ir bus išvengta nuslydimo ar virtimo. Transporto priemonei važiuojant tiesiu keliu ir / ar kelio posūkiuose gali veikti išilginis pagreitis, o judant posūkyje – abu (išilginis ir skersinis) pagreičiai. Kai transporto priemonė greitėja ar stabdo, juda posūkyje, keičiasi jos pokrypio kampai, kinta išilginio ir skersinio pagreičių amplitudės.

Literatūros šaltinių apžvalga

O. Prentkovskis ir M. Bogdevičius (2002) straipsnyje nagrinėja automobilio dinamiką, susijusią su ratų sąveika su keliu. Pagal sudarytą transporto priemonės modelį įvertinamas automobilio kėbulo judėjimas erdvėje, priekinių ir galinių ratų pakabos judėjimas, ratų sąveika su keliu, ratų blokavimas, veikiančių jėgų kitimas. Išnagrinėtas kelio paviršius imituojamas baigtiniais trikampio elementais. Tam tikras kelio paviršiaus šiurkštumo aukštis, taip pat transpor-

to priemonės sukibimo su keliu koeficientai ir automobilio ratų padėtys išilgine ir skersine kryptimis kiekviename baigtiniame elemente pažymėti kaip centriniai taškai.

N. Kudarauskas (2009) straipsnyje nagrinėja sukibimo koeficiento matavimo problemą. Pasak autoriaus, automobilio ratų padangų sukibimo su kelio paviršiumi koeficiento modeliavimo užduotis iškyla dėl automobilio stabilumo jį stabdant. Svarbu, kad būtų sudarytas kuo tikslesnis matematinis sukibimo koeficiento modelis ir būtų įvertinti visi veiksniai, lemiantys automobilio padangų sukibimą su kelio paviršiumi. Sukibimo koeficiento vertinimo modelį tikslinga sudaryti dviem etapais. Pirmajame etape būtina nustatyti sukibimo koeficiento priklausomybę nuo lemiamų veiksnių, esant būtinybei pasinaudoti eksperimento duomenimis. Antrajame etape vertėtų patikslinti veiksnių įtaką ir nustatyti minimalų matematinio modeliavimo reikšmių nesutapimą su eksperimento duomenimis.

Pasak straipsnio autoriaus, siekiant kuo tiksliau įvertinti automobilio stabilumą, nustatant sukibimo koeficiento priklausomybę nuo jį lemiančių veiksnių, derėtų pasinaudoti žinoma ekspertinių vertinimų metodika. Tačiau, norint įvertinti tiksliau, vėliau, esant galimybei, gautąją priklausomybę būtina papildyti matematiškai aprašytais sukibimo koeficiento reikšmę lemiančių veiksnių modeliais.

A. Žukas ir E. Sokolovskij (2009) straipsnyje „Įvairių automobilių manevravimo kelių ilgių palyginimas“ nagrinėja įvairias automobilių manevrų rūšis, jų pritaikymo įvairiose situacijose galimybes.

Automobilio manevravimas avarinėje situacijoje greitinamas su stabdymu, siekiant išvengti kelyje netikėtai atsiradusios kliūtis. Schemomis paaiškinami manevro ruožai,

vairuotojo veiksmai juose. Pateikiamos formulės įvairiems automobilio judėjimo parametrų manevro metu apskaičiuoti. Įvertinamas įvairių manevro rūšių efektyvumas įvairiais atvejais. Straipsnio pabaigoje pateikiamos išvados apie tinkamiausią ir saugiausią manevrą, esant ribotam važiuojamosios dalies pločiui.

V. Vansauskas, M. Bogdevičius (2009) straipsnyje apžvelgia automobilio stabilumą esant provėžoms. Eismo saugumas priklauso nuo daugybės veiksnių. Vienas iš jų yra kelio kokybė. Straipsnyje analizuojama provėžų geometrijos įtaka automobilio stabilumui. Sudarytas automobilio 3D modelis, ratų sąveikos su keliu ir kelio paviršiaus geometrijos modeliai.

D. Ragelis (2007) savo straipsnyje nagrinėja devynviečio automobilvežio stovumą. Autorius teigia, kad nuo manevrų priklausantys virtimai yra svarbiausias transporto priemonių skersinio stovumo dinamikos bruožas. Tokie virtimai gali įvykti stabdant, kai važiuojama dideliu greičiu, staigiai pasukant vairą. Vis dėlto pagrindinis dalykas, darantis įtaką skersiniam stovumui, yra skersinis apkrovos pasiskirstymo koeficientas, arba kitaip – dinaminis apkrovos pasiskirstymas. Šis dydis susijęs su ratų sankibos su keliu netekimu. Todėl ypač aktualu apžvelgti ir įvertinti automobilvežio su priekaba skersinį stovumą, išanalizuoti skaičiavimo metodiką, įvertinti skersinį jėgos pasiskirstymo koeficientą.

Tačiau autoriaus darbas orientuotas į devynvietį automobilvežį.

D. Petrovas ir V. Bartulis (2007) straipsnyje aprašo savivarčių automobilių statinio stovumo palyginimą. Skiriamas statinis ir dinaminis automobilio stovumas. Statinis automobilio stovumas apibūdinamas mašinos pusiausvyros būseną veikiant pastovaus dydžio ir krypties išorinėms apkrovoms. Skaičiuojant statinį stovumą, nustatoma sąlyga, kurią turi atitikti jėgų sistemos, apkraunančios mašiną. Statinės pusiausvyros būklė apibūdinama kaip automobilio ilgalaikė pusiausvyros būseną. Kai ši būklė sutrinkdoma, automobilis greitai apvirsta.

Automobilio galimybė atlaikyti maksimalias statines virtimo apkrovas lemia jo ribinį stovumą. Automobilis virsta pagal tam tikrą nejudamą ašį, vadinamą virtimo ašimi. Virtimo ašių padėtis statikoje priklauso nuo automobilių važiuoklės konstrukcijos.

Dažniausiai straipsniuose aprašoma stabdymo ir manevravimo dinamika bei efektyvumas. Daugelyje darbų nagrinėjamas sunkiasvorių automobilių stovumas arba manevravimas kelyje. Automobilių judėjimas įvairiais režimais tiriamas daugelio mokslininkų darbuose (Sokolovskij 2007; Sokolovskij, Pečeliūnas 2007; Sokolovskij *et al.* 2007; Sokolovskij *et al.* 2006; Prentkovskis *et al.* 2010). Todėl

šiam darbe nagrinėjamas lengvojo automobilio judėjimas posūkyje, jo skersinių jėgų persiskirstymas priklausomai nuo judėjimo greičio ir posūkio spindulio.

Teorinė analizė

Tarkime, kad l_w yra transporto priemonės atstumas tarp ratų, o δ_0 bei δ_i – atitinkamai išorinis ir vidinis ratų pasisukimo kampai (1 pav.). Sakykim, kad automobilio bazė $L = l_f + l_r$ (čia l_f – atstumas nuo automobilio masės centro iki automobilio priekinės ašies, m; l_r – atstumas nuo automobilio masės centro iki automobilio galinės ašies, m) ir jos reikšmė maža, palyginti su spinduliu R . Jei slydimo kampas mažas, tada:

$$\delta = \frac{L}{R}, \quad (1)$$

čia δ – vidutinis priekinių ratų pasisukimo kampas, laipsniais; L – automobilio bazė, m; R – kelio posūkio spindulys, m.

Kadangi vidinio ir išorinio ratų spinduliai skirtingi, tai:

$$\delta_0 = \frac{L}{R + \frac{l_w}{2}}; \quad (2)$$

$$\delta_i = \frac{L}{R - \frac{l_w}{2}}. \quad (3)$$

Vidutinis priekinių ratų pasisukimo kampas apytikriai lygus:

$$\delta = \frac{\delta_0 + \delta_i}{2} \cong \frac{L}{R}. \quad (4)$$

Skirtumas tarp δ_i ir δ_0 yra:

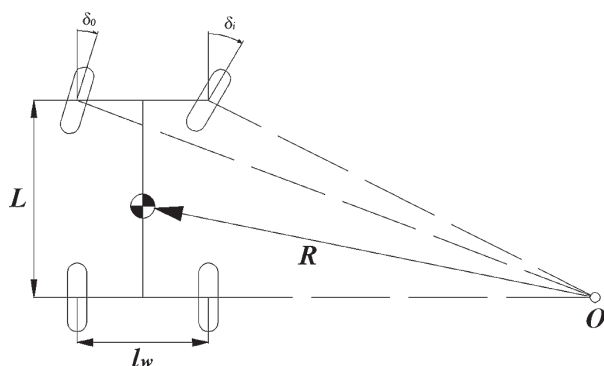
$$\delta_i - \delta_0 = \frac{L}{R^2} l_w = \delta^2 \frac{l_w}{L}. \quad (5)$$

Taigi skirtumas tarp priekinių ratų pasisukimo kampų yra tiesiogiai proporcingas vidutiniam pasisukimo kampo kvadratui.

Tyrimų metodika

Lengvojo automobilio skersinio pagreičio tyrimo pobūdis:

- buvo tiriami du automobiliai: TOYOTA PRIUS (pagaminimo metai 2005) ir VW GOLF (pagaminimo metai 2007);
- automobiliai buvo geros techninės būklės, jų stabdžių sistema įrengta gamykloje;
- bandymo metu automobilyje sėdėjo du žmonės, t. y. vairuotojas ir keleivis, kuris fiksavo matavimo prietaiso rodmenis;



1 pav. Posūkių geometrija
Fig. 1. Bend geometry

- automobiliai turėjo tinkamo dydžio padangas, kurios ir rekomenduojamos šioms automobilių modeliams. Padangų protektorius gylis buvo ne mažesnis nei 3 mm;
- kiekvieną automobilį vairavo tas pats vairuotojas;
- automobiliai buvo bandomi su žieminėmis (nedygliuotomis) padangomis ant snieguotos ir snieguotos su asfalto provėžomis kelio dangos (antruoju atveju manoma, kad buvo važiuojama sausu asfaltu, nes automobilis iš provėžų nebuvo išvažiuavęs);
- oro slėgis padangose buvo nominalus, koks turi būti nustatytas kiekvienam automobiliui su važiuojančiais keleiviais;
- bandymai atlikti horizontaliame asfaltuotame kelio ruože. Kelio posūkių spindulys, kuriame judėjo automobilis, buvo 120 m;
- posūkiuose buvo pasirinktas saugus judėjimo greitis, pradedant judėti mažesniu greičiu ir didinant jį kas 10 km/h.

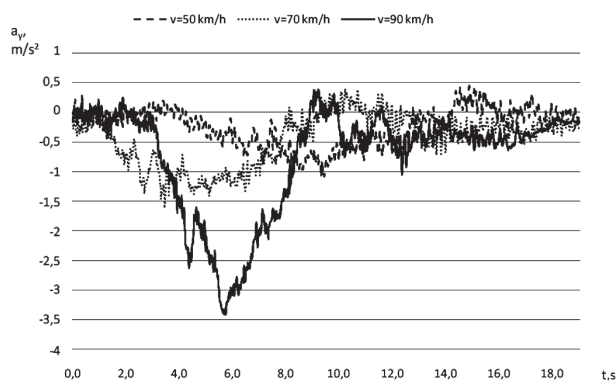
Matavimai atlikti elektroniniu prietaisu *XL Meter Pro Gamma* (2 pav.). Buvo pasirinkta, kad prietaisas fiksuotų išilginį ir skersinį pagreičius.

Eksperimentiniai tyrimai

Pirmiausia tirtas automobilio judėjimas posūkyje, kai dangą buvo snieguota su asfalto provėžomis. Šiuo atveju ratų sukibimas su kelio dangą nustatomas esant sausam asfaltui žiemos sąlygomis ($\varphi = 0,7$). Posūkyje buvo važiuojama nuo 50 km/h iki 90 km/h greičiu intervalais kas 10 km/h. Skersinis pagreitis kito taip: $a = 1,1 \div 3,4 \text{ m/s}^2$. Didžiausia skersinio pagreičio reikšmė nustatyta, kai automobilis VW GOLF 120 m spindulio posūkyje važiavo 90 km/h greičiu (3 pav.).



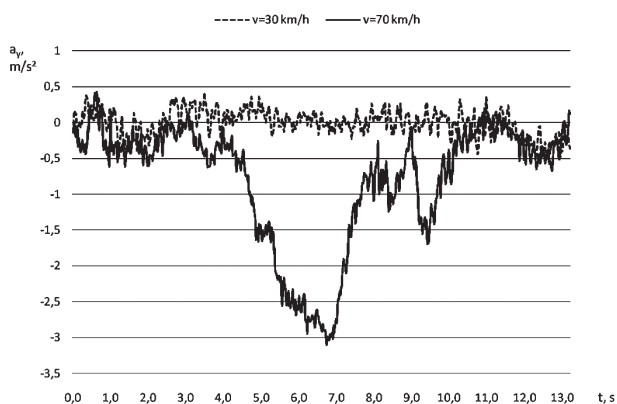
2 pav. Matavimo prietaisas *XL Meter Pro Gamma*
Fig. 2. Measurement device *XL Meter Pro Gamma*



3 pav. Skersiniai pagreičiai esant snieguotai kelio dangai su asfalto provėžomis

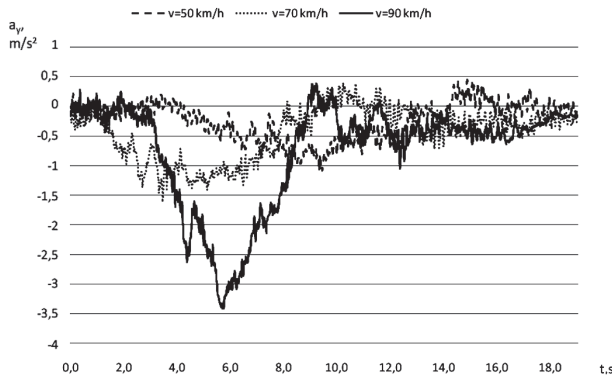
Fig. 3. Lateral accelerations on the snowy road surface with asphalted ruts

Važiuojant snieguotu asfaltu ratų sukibimo su kelio dangą koeficientas $\varphi = 0,2$. Šiuo atveju tame pačiame posūkyje ($R = 120 \text{ m}$) buvo važiuojama nuo 30 iki 70 km/h greičiu intervalais kas 10 km/h. Pačiame posūkyje važiuojant didesniu greičiu ($v = 70 \text{ km/h}$) prasideda kontroliuojamas slydimas. Jo metu skersinio pagreičio reikšmė apytiksliai padidėja iki $3,1 \text{ m/s}^2$ (4 pav.).



4 pav. Skersiniai pagreičiai esant snieguotai kelio dangai
Fig. 4. Lateral accelerations on the snowy road surface

Palyginus šiame kelio posūkyje skersinius automobilių pagreičius esant tam pačiam važiavimo greičiui ($v = 70$ km/h), bet skirtingai kelio dangai (kaip jau minėta anksčiau, vienu atveju važiuota snieguotu keliu, kitu atveju – snieguotu keliu su asfalto provėžomis), gautas rezultatas pavaizduotas 5 pav., t. y. automobiliui važiuojant snieguota kelio danga apie du kartus padidėja skersinis pagreitis. Taigi, sumažėja automobilio stabilumas ir dar padidėjus greičiui jis gali nuslysti nuo kelio.



5 pav. Skersiniai pagreičiai esant skirtingoms kelio dangoms ($v = 70$ km/h)

Fig. 5. Lateral accelerations on different road surfaces ($v = 70$ km/h)

Išvados

Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad važiavimas snieguota kelio danga, kai ratų sukibimo su keliu koeficientas mažas, yra gerokai pavojingesnis, nei esant snieguotai kelio dangai su sausomis asfalto provėžomis ir važiuojant tuo pačiu greičiu. Automobiliui važiuojant snieguota kelio danga 70 km/h greičiu pasiekiamas $3,1$ m/s² skersinis pagreitis, o važiuojant tokiu pat greičiu snieguota kelio danga su sausomis provėžomis skersinis pagreitis apytiksliai būna $1,6$ m/s².

Esant snieguotai kelio dangai su asfalto provėžomis tokį pat dydį kaip važiuojant snieguota kelio danga, t. y. $3,1$ m/s², skersinis pagreitis pasiekia važiuojant apie 27 % didesniu greičiu.

Literatūra

- Kudarauskas, N. 2009. Influence of the construction of car brakes on its stability during braking, in *Proceedings of the 6th International Scientific Conference TRANSBALTICA*, 114–118.
- Petrovas, D.; Bartulis, V. 2007. Savivarčių automobilių staciono stovumo palyginimas, in *Straipsnių rinkinys Mokslas – Lietuvos ateitis. Transportas. 1-oji sekcija: Transporto inžinerija*, 275–281.

- Prentkovskis, O.; Bogdevičius, M. 2002. Dynamics of a motor vehicle taking into consideration the interaction of wheels and road pavement surface, *Transport* 17(6): 244–253. doi:10.3846/transport.2010.14
- Prentkovskis, O.; Sokolovskij, E.; Bartulis, V. 2010. Investigating traffic accidents: a collision of two motor vehicles, *Transport* 25(2): 105–115. doi:10.3846/transport.2010.14
- Ragelis, D. 2007. Devynviečio autovežio stovumo tyrimas, in *Straipsnių rinkinys Mokslas – Lietuvos ateitis. Transportas. 1-oji sekcija: Transporto inžinerija*, 409–415.
- Sokolovskij, E. 2007. Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces, *Transport* 22(4): 275–278. doi:10.1080/16484142.2007.9638141
- Sokolovskij, E.; Pečeliūnas, R. 2007. The influence of road surface on an automobile's braking characteristics, *Strojniški Vestnik – Journal of Mechanical Engineering* 53(4): 216–223.
- Sokolovskij, E.; Prentkovskis, O.; Pečeliūnas, R.; Kinderytė-Poškienė, J. 2007. Investigation of automobile wheel impact on the road border, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(3): 119–123.
- Vansauskas, V.; Bogdevičius, M. 2009. Investigation into the stability of driving an automobile on the road pavement with ruts, *Transport* 24(2): 170–179. doi:10.3846/1648-4142.2009.24.170-179
- Žukas, A.; Sokolovskij, E. 2009. Įvairių automobilio manevravimo kelių ilgių palyginimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis [Science – Future of Lithuania]* 1(6): 10–13. doi:10.3846/mla.2009.6.02

RESEARCH INTO AUTOMOBILE MOVEMENT ON A CURVE UNDER WINTER CONDITIONS

K. Kemzūraitė, Š. Mikaliūnas, E. Sokolovskij, G. Garbinčius

Abstract

The article analyzes the movement of the car on the curve on the slippery and snowy road surface with asphalted ruts. The paper reviews literature related to lateral and longitudinal vehicle acceleration and dynamics of vehicle movement. The experimental facts of vehicle lateral acceleration are given in graphical charts. The article also describes the acceleration values and stability of the automobile depending on the speed in the curve. The findings are given based on the results.

Keywords: automobile, automobile dynamics, road surface, lateral acceleration.