



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

AUTOMOBILIO SKERSINĖS DINAMIKOS, STABDANT POSŪKYJE, SAVYBIŲ TYRIMAS

Povilas Dilys

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: povilas.dilys@stud.vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas automobilio stabdymas judant apskritimu, esant sauso asfalto ir drėgno, grublėto su plonu žvyro ir dulkių sluoksniu asfalto dangai. Apžvelgiama literatūra, susijusi su transporto priemonių skersine dinamika. Eksperimentinėje dalyje pateikiami automobilio skersinių pagreičių grafikai stabdymo metu, skersinio pagreičio priklausomybės nuo išilginio pagreičio stabdymo metu grafikas. Nagrinėjamas skersinių pagreičių dydis, stabdant automobilį posūkyje. Remiantis gautais rezultatais pateikiamos išvados.

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

Įvadas

Transporto priemonės valdomumas ir stovumas kartu su stabdymo savybėmis turi didelę reikšmę eismo saugumui keliuose. Šios svarbiausios automobilio skersinės dinamikos savybės tiriamos specialiai tam ruoštuose poligonuose, pagal tam tikras bandymo metodikas. Važiuojant automobilį veikia įvairios jėgos: automobilio svorio, trinties, oro pasipriešinimo, traukos ir inercijos. Automobilio stabilumas priklauso nuo svorio centro vietos. Kuo automobilio aukštis didesnis, tuo aukščiau yra jo svorio centras ir atvirkščiai: kuo žemesnis automobilis, tuo žemiau yra jo svorio centras. Eismo saugumas priklauso nuo važiavimo greičio, vairuotojo patirties, automobilio techninės būklės, kelio sąlygų ir kitų veiksnių. Automobilis gali tapti nevaldomas ne tik esant sudėtingoms kelio sąlygoms, bet ir tuomet, kai vairuotojas atlieka nenumatytus manevrus (pavyzdžiui, kai siekiama išvengti netikėtai atsiradusios kliūtis kelyje arba neįvertinamas posūkio sudėtingumas). Automobiliui stabdant posūkyje veikia skersiniai ir išilginiai pagreičiai. Jų reikšmė gali keistis nuo daugelio veiksnių: automobilio greičio, kelio dangos, stabdymo intensyvumo, automobilio techninės būklės.

Literatūros šaltinių apžvalga

Egon-Christian von Glasner (2010) straipsnyje teigia, kad norint nustatyti vairuotojo elgesį nepastovaus stabdymo posūkyje metu, privaloma išanalizuoti šias svarbias sąlygas: elastinis – kinematinis ašių procesas, veikiant kairės/dešinės spyruoklės suspaudimui; varančiosios ašies padangų elgsena su keliu, transporto priemonei stabdant posūkyje; trinties ribos; visos stabdžių sistemos reakcija, įskaitant ABS ir jei yra ESP.

Straipsnyje (Vansauskas *et al.* 2009) apžvelgia automobilio stabilumą esant provėžoms. Autoriai teigia, kad pagrindinis eismo saugumo veiksnys yra kelio kokybė. Straipsnyje nagrinėjama provėžų geometrijos poveikis automobilio judėjimui.

Straipsnyje (Pranskus *et al.* 2012) nagrinėja kelio parametrus, darančius įtaką automobilio judėjimui. Autoriai teigia, kad didžiausia 10 kN šoninė jėga pasiekta važiuojant sausu asfaltu. Didžiausia 9 kN šoninė jėga, pasiekta modeliuojant Briedžio testą, esant sausam asfaltui. Autorių manymu, geresnių rezultatų galima pasiekti sumažinus automobilio svorio centro aukštį, parenkant optimalius posūkio kampus ir priekinių bei galinių ratų perduodamus sukimo momentus.

Straipsnyje (Prentkovskis *et al.* 2002) apžvelgia automobilio dinaminę ratų sąveiką su keliu. Įvertinamas automobilio kėbulo judėjimas erdvėje, priekinių ir galinių ratų pakabos judėjimas, ratų sąveika su keliu, ratų bloka-
vimas, veikiančių jėgų kitimas.

Straipsnyje (Kemzūraitė *et al.* 2011) apžvelgia lengvojo automobilio važiavimą posūkyje žiemos sąlygomis. Atliekamas lengvojo automobilio skersinio pagreičio tyrimas. Bandyto metu nustatyta, kad važiavimas snieguota kelio danga, kai ratų sukibimo su keliu koeficientas mažas, yra gerokai pavojingesnis, nei važiavimas sausa snieguota kelio danga su sausomis asfalto provėžomis, važiuojant tuo pačiu greičiu.

Straipsnyje (Žukas *et al.* 2010) nagrinėja automobilio vairuotojo, patekusio į avarinę situaciją, galimybę išvengti eismo įvykio, pasirenkant vieną iš manevrų: staigų stabdymą, manevrą – nusukimą, nusukimą su transporto priemonės ištiesinimu arba važiavimo trajektorijos pakeitimą, priklausomai nuo kelio dangos (sausas asfaltas, šlapias asfaltas ir apsnigtas asfaltas). Pateikiamos formulės skirtos apskaičiuoti keliui, kurį automobilis nuvažiuoja iki visiško automobilio sustojimo. Pateikiamos išvados, kuriose rekomenduojami būdai, eismo įvykiui išvengti priklausomai nuo kelio dangos tipo ir automobilio greičio.

Straipsnyje (Hedrick *et al.* 2002) autoriai nagrinėja kelio ir rato sąveikos modelius. Šie modeliai palyginami su kitais ir aprašomas dar vienas modelis, kuris, kaip teigiama, gali būti panaudotas automobilių, turinčių visų ratų pavara, tyrimui. Autorių teigimu, šie automobiliai turi būti be papildomų, jų valdomumą gerinančių sistemų. Skaičiavimai gali būti pritaikyti ir automobiliams, turintiems vieną varančiąją ašį. Taip pat pateikiami testų rezultatai.

Kitame straipsnyje (Jingang *et al.* 2003) analizuojama ekstremalaus automobilio stabdymo sistema, kuri veikia remdamasi kelio ir rato sąveikos stebėjimu ir rato kampinio greičio matavimu. Autoriai teigia, kad siūloma sistema pranašesnė už stabdžių antiblokavimo sistema ABS, nes ji fiksuoja svarbią informaciją apie atstumą tarp automobilių. Ši sistema gali pagerinti eismo saugumą greitkeluose. Sistema reguliuoja slėgį pagrindiniame stabdžių sistemos cilindre, ir unikaliomis technologijomis pasiekia beveik optimalų stabdymo rezultatą. Kuriant šią sistemą, atliekami išsamūs kelio parametrų įtakos automobilio judėjimui tyrimai bei pateikiami sudėtingi skaičiavimai.

Teorinė analizė

Automobilio posūkio kampinis greitis pagrindinis rodiklis nustatant stabilumą arba nestabilumą stabdymo metu. 1 pav. pavaizduota važiavimo trajektorijos praradimo priklausomybė nuo išilginio stabdymo pagreičio, po 1 sekundės nuo stabdymo pradžios. Automobilio stabilumas suprantamas kaip jo savybė tam tikru laikotarpiu arba tam tikroje kelio atkarpoje išlaikyti reglamentuotą judėjimo kryptį bei pokrypio ir posvyrio kriterijus, kai automobilį veikia išorinės ar inercijos apkrovos. Yra skiriamas trajektorijos ar kurso stovumas. Pirmasis apibūdina automobilio savybę pakankamai tiksliai atkartoti kreivą judėjimo trajektoriją, antrasis – automobilio savybę išlaikyti pirminę važiavimo kryptį (judėjimo tiesiąją). Greitai važiuojant ir intensyviai stabdant slidžiam, vingiuotame kelyje, kai išsireguliuavę stabdžiai, o ypač kai kairieji ir dešinieji ratai stabdo nevienodai intensyviai, automobilis gali netekti skersinio stovumo ir slysti į šoną, pasisukti (Ragelis 2007).

Skersinės ir statmenos kelio reakcijos į ratą santykis vadinamas santykine skersine jėga:

$$\mu_{YW} = \frac{F_{YW}}{F_{ZW}}, \quad (1)$$

čia: F_{YW} – skersinė kelio reakcija į ratą, N; F_{ZW} – statmena kelio reakcija į ratą, N.

Didžiausios rato perduodamos skersinės reakcijos su statmena apkrova santykis, nustatytas riedančiam ratui tam tikromis sąlygomis (esant nustatytai statmenai rato apkrovai, oro slėgiui padangoje ir kt.), vadinamas maksimaliu sukibimo koeficientu skersine kryptimi:

$$\mu_{YWmax} = \frac{F_{YWmax}}{F_{ZW}}, \quad (2)$$

čia: F_{YW} – maksimali skersinė kelio reakcija į ratą, N; F_{ZW} – statmena kelio reakcija į ratą, N.

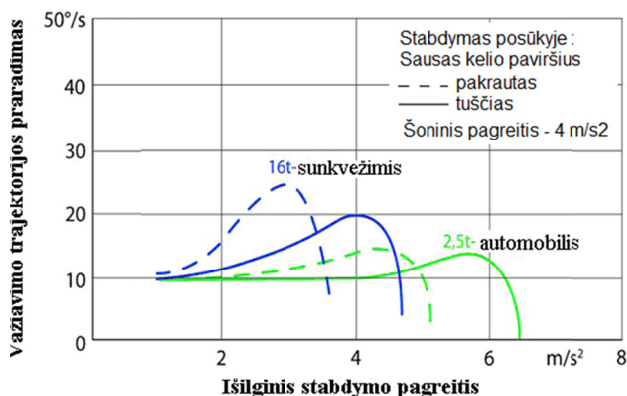
Užblokuoto rato sukibimo koeficientu skersine kryptimi – vadinamas skersinės kelio reakcijos ir vertikaliosios apkrovos santykis, nustatytas nesisukančiam išilgine kryptimi ratui:

$$\mu_{YWlock} = \frac{F_{YWlock}}{F_{ZW}}, \quad (3)$$

čia: F_{YW} – skersinė kelio reakcija į ratą, nesisukančiam išilgine kryptimi ratui, N; F_{ZW} – statmena kelio reakcija į ratą, nesisukančiam išilgine kryptimi ratui, N.

Didžiausią santykinę skersinės jėgos reikšmę turi laisvasis ratas. Šiuo atveju išilginė kelio reakcija į riedantį ratą lygi nuliui. Paprastai mažiausia santykinė skersinės jėgos reikšmė yra 4–5 kartus mažesnė nei maksimalus sukibimo koeficientas skersine kryptimi. Todėl užblokuoti arba buksuojantys ratai negali atsverti šoninių apkrovų. Šiuo atveju automobilis iš esmės yra nevaldomas. Papras-

tai maksimalus sukibimo koeficientas skersine kryptimi yra didesnis nei atitinkamas išilginio sukibimo koeficientas (Mitunevičius *et al.* 2004).



1 pav. Vaziavimo trajektorijos praradimo priklausomybė nuo išilginio stabdymo pagreičio, po 1 sekundės nuo stabdymo pradžios

Tyrimų metodika

Eksperimentinio tyrimo pobūdis:

- Tyrimas atliktas lengvuju automobiliu *Audi A4 Avant*, gamybos metai – 1998 (2 pav.);

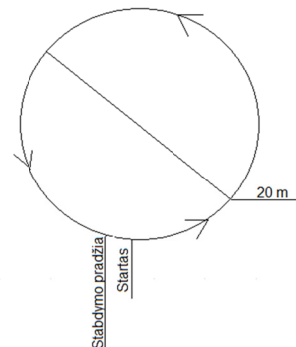


2 pav. Automobilis *Audi A4 Avant* 1998

- Bandymo metu ekipažą sudarė du asmenys: vairuotojas ir asmuo, prižiūrintis matavimo įrangą;
- Tyrimas atliktas techniškai tvarkingu automobiliu;
- Bandomo automobilio padangos – vasarinės (215/45 R17), kurių protektorius gylis ~ 5 mm;
- Slėgis padangose 2,2 bar;
- Bandymai atlikti horizontalioje asfaltuotoje aikštelėje (danga – sausas asfaltas ir drėgnas, grublėtas asfaltas, padengtas plonu žvyro ir dulkių sluoksniu);
- Visus bandymus atliko tas pats vairuotojas;
- Apskritimo skersmuo, kuriame judėjo automobilis – 20 m (3 pav.);
- Tyrimo metu, važiuojant apskritimu pasiekiamas iš anksto numatytas greitis ir nustatytoje vietoje pradeda stabdyti. Bandymas buvo pakartotas

16 kartų, skirtingais greičiais ant skirtingos dangos;

- Matavimo prietaisas nustatytas, kad fiksuotų išilginius ir šoninius pagreičius.



3 pav. Eksperimentinio tyrimo atlikimo schema

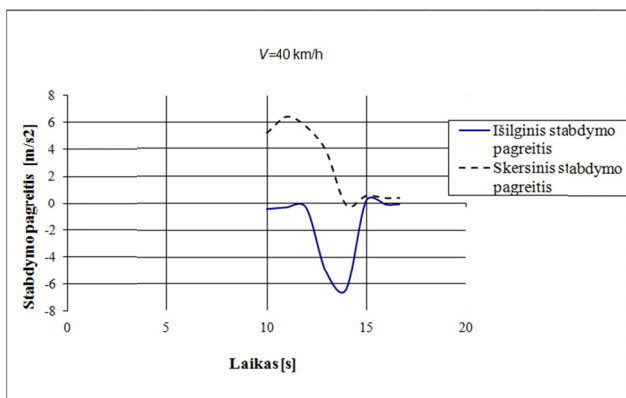
Eksperimentiniai tyrimai

Bandymų metu eksperimentinis tyrimas buvo atliktas esant sausai asfaltuotai kelio dangai ir drėgnai asfaltuotai kelio dangai su grublėtu ir plonai padengtu žvyro ir dulkių paviršiumi. Eksperimentinio tyrimo metu nagrinėjama *Audi A4 Avant* automobilio elgsena judant 20 m skersmens apskritimu. Pagrindinis dėmesys skirtas automobilio stabdymui, važiuojant apskritimu ir tuo metu atsirandančiai skersinei dinamikai. Pirmuoju atveju, ratų sukibimas su kelio danga nustatomas esant sausam asfaltui ($\varphi = 0,7$). Apskritime atskirais bandymais buvo važiuojama nuo 20 km/h iki 50 km/h ir stabdoma numatytoje vietoje. Skersinis stabdymo pagreitis kito taip: $a = 4,83-6,44$ m/s². Maksimalus skersinis stabdymo pagreitis 6,44 m/s², nustatytas stabdant, esant 50 km/h važiavimo greičiui (4 pav.).

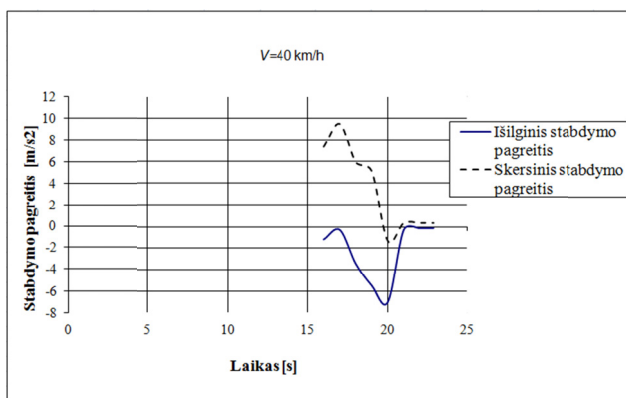
Važiuojant drėgna asfaltuota kelio danga su grublėtu ir plonai padengtu žvyro ir dulkių paviršiumi, ratų sukibimas su kelio danga nustatomas $\varphi = 0,4$. Šio bandymo metu buvo važiuojama nuo 20 km/h iki 50 km/h ir stabdoma numatytoje vietoje. Pasiekus didesnę greitį nei 50 km/h, automobilis praranda sukibimą su danga ir pradeda slysti iš nustatytos trajektorijos. Skersinis stabdymo pagreitis kito taip: $a = 8,08-9,52$ m/s². Maksimalus skersinis stabdymo pagreitis 9,52 m/s², nustatytas stabdant, esant 50 km/h važiavimo greičiui (5 pav.).

Palyginus skersinius stabdymo pagreičius važiuojant apskritimu, skirtingomis kelio dangomis, išaiškėja, kad važiuojant drėgna asfaltuota kelio danga su grublėtu ir plonai padengtu žvyro ir dulkių paviršiumi, skersinis stabdymo pagreitis 1,5 karto yra didesnis nei važiuojant

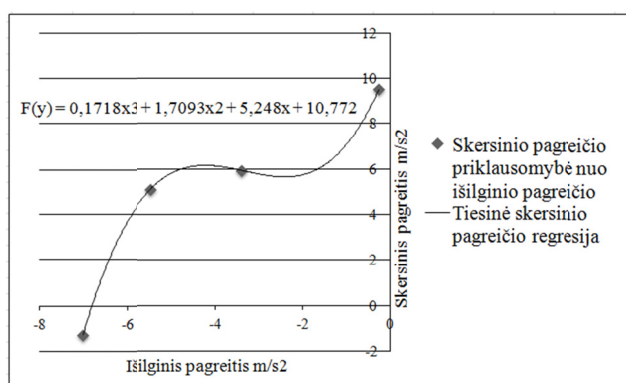
sausa asfalto danga. Tai rodo, kad stabdymas posūkyje yra daug pavojingesnis ant drėgnos asfaltuotos kelio dangos su grublėtu ir plonai padengtu žvyro ir dulkių paviršiumi, nei ant sausos asfaltuotos dangos.



4 pav. Automobilio pagreičiai stabdymo metu, važiuojant sauso asfalto danga



5 pav. Automobilio pagreičiai stabdymo metu, važiuojant drėgna, grublėta, asfalto danga, padengta plonu dulkių ir žvyro sluoksniu



6 pav. Skersinio pagreičio priklausomybė nuo išilginio pagreičio posūkyje, stabdymo metu

Nagrinėjant skersinių stabdymo pagreičių priklausomybę nuo išilginių stabdymo pagreičių matyti, kad prasidėjus stabdymui skersinis pagreitis pradeda mažėti, o išilginis pagreitis įgyja vis didesnę neigiamą reikšmę. Įvertinus pagreičių reikšmes stabdymo metu,

gaunama skersinio pagreičio priklausomybė nuo išilginio pagreičio (6 pav.):

$$F(y) = 0,1718x^3 + 1,7093x^2 + 5,248x + 10,772, \quad (4)$$

čia: x – išilginio pagreičio reikšmė, m/s^2 .

Išvados

Pagal gautus duomenis galima teigti, kad stabdymas posūkyje ant drėgno, grublėto asfalto, padengto plonu dulkių ir žvyro sluoksniu, kai ratų sukibimo su keliu koeficientas mažas, yra daug pavojingesnis, nei stabdymas posūkyje ant sausos asfalto dangos. Automobiliumi stabdant ant sauso asfalto dangos, esant 50 km/h greičiui, maksimali skersinio pagreičio reikšmė 6,44 m/s^2 . Automobiliumi stabdant ant drėgno asfalto dangos, esant 50 km/h greičiui, maksimali skersinio pagreičio reikšmė 9,52 m/s^2 .

Esant sausai asfalto dangai tokį pat dydį kaip stabdant ant drėgno asfalto dangos, t. y. 9,52 m/s^2 , skersinis pagreitis pasiekiamas stabdant nuo 47 % didesnio greičio.

Literatūra

- Egon-Christian, von Glasner 2010. Braking in a Turn, in *IbB-Publication 2010*, 1-8.
- Hedrick, K., J.; Xiao-yun, L. Real – time Estimation and Compensation of Road Slip for Longitudinal Control. *Swetz&Zeitlinger, 2002*. 50–66 p.
- Jingang, Y.; Luis, A. Emergency Braking Control with an Observer-based Dynamic Tire/Road Friction Model and Wheel Angular Velocity Measurement. *Swetz&Zeitlinger, Vol. 39, No 2, 2003*. 81–97 p.
- Kemzūraitė, K.; Mikaliūnas, Š.; Sokolovskij, E.; Garbinčius, G. 2011. Automobilio judėjimo posūkyje tyrimas žiemos sąlygomis, *Straipsnių rinkinys Mokslas – Lietuvos ateitis. Transportas*: 25-28.
- Mitunevičius, Valentinas. Automobilų dinamikos pagrindai: sąvokos, apibrėžimai ir bendrieji taikymo principai. Vilnius: Technika, 1999. 75 p.
- Pranskus, E.; Pečeliūnas, R.; Junevičius, R. 2012. Kelio parametrų įtaka automobilio judėjimui, *Straipsnių rinkinys Mokslas – Lietuvos ateitis. Transportas*: 373 – 378.
- 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.
- Ragelis, D. Devynviečio autovežio stovumo tyrimas: Baigiamasis magistro darbas. Vilnius, 2007. 62 p.
- Vansauskas, V.; Bogdevičius, M. 2009. Investigation into the stability of driving an automobile on the road pavement with ruts, *Transport* 24(2): 170–179.
- Žukas, A.; Zaranka, J.; Kemzūraitė, K. 2010. Automobilio manevravimo ir stabdymo palyginimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis, 2 tomas, Nr. 6*: 90–93 p.