



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

## **AUTOMOBILIO PADANGOS IR KELIO DANGOS SĄVEIKOS ĮTAKA AUTOMOBILIO LĖTĖJIMO PARAMETRAMS**

**Loreta Levulytė**

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, J. Basanavičiaus g. 28, LT-03224 Vilnius, Lietuva*

*E-mail: loreta.levulyte@dok.vgtu.lt*

**Santrauka.** Straipsnyje pateikiama su nagrinėjama tematika susijusių mokslinių straipsnių apžvalga. Atliekama padangos ir kelio sąveikos lėtėjimo režime analizė, taip pat atliekama stabdymo pėdsako formavimosi teorinė analizė ir jos susidarymo charakteristikos. Pateikiami automobilio judėjimo dinamikos pagal stabdymo pėdsakų charakteristikas teoriniai nustatymo požymiai. Taip pat analizuojamas automobilio lėtėjimo procesas ir lėtėjimo pagreičio kaitos įtaka automobilio stabdymo kelio ir važiavimo greičio prieš eismo įvykį nustatymui. Nagrinėjama automobilio padangų pėdsako kelio dangoje formavimosi priklausomybė nuo automobilio padangos ir kelio sąveikos lėtėjimo parametrų intensyvaus lėtėjimo režime. Atliekama automobilio važiavimo greičio ir stabdymo kelio nustatymo priklausomybė pagal automobilio ratų paliktų, stabdymo pėdsakų ilgį.

**Reikšminiai žodžiai:** ratas, kelio nelygumai, greitis, pagreitis, lėtėjimo pagreitis, kontaktas, stabdymas, stabdymo pėdsakas.

### **Įvadas**

Techniniu požiūriu vienas iš labiausiai naudojamų transporto priemonės valdymo būdų vengiant pavojingos arba avarinės situacijos yra stabdymas. Stabdymo metu svarbus automobilio lėtėjimo pagreitis, kurio reikšmė priklauso nuo kelio dangos, jos lygumo ir būklės. Stabdymo metu transporto priemonės padangos kelio dangoje palieka stabdymo pėdsakus. Stabdymo pėdsakų analizė reikalinga norint nustatyti ne tik pačiam pėdsakui būdinguosius požymius, bet ir remiantis jais nustatyti eismo įvykio kilimo mechanizmą, transporto priemonės judėjimo dinamikos, prieš eismo įvykį ir jo metu, parametrus.

### **Mokslo publikacijų apžvalga**

Transporto sistemos (TS) sėkmingas veikimas priklauso nuo jos elementų tarpusavio sąveikos (Sivilevičius 2011). Analizuojant automobilio dinamikos uždavinius, vienas sudėtingiausių uždavinių yra padangos ir kelio sąveikos analizė. Eismo saugumas, esant įvairioms aplinkos sąlygoms, priklauso nuo sąlyginai nedidelio padangos ir kelio sąlyčio ploto – padangos pėdsako kontakto su kelio danga sąlyčio ploto (Seipel *et al.* 2013).

Automobilio padanga turi užtikrinti pakankamą sukibimą (adheziją) su kelio danga, priimti visas ją veikiančias jėgas ir kuo mažiau jas perduoti kitiems pakabos

elementams. Pastovus automobilio padangos sukibimas su kelio danga galimas tik idealiais atvejais, kai kelio danga yra lygi ir pakankamo šurkštumo. Transporto priemonių ratų sukibimo su kelio danga charakteristikos priklauso nuo kelio dangos ir jos kokybės (Čygas *et al.* 2011; Sivilevičius 2011). Didelę įtaką padangos sukibimui su kelio danga turi padangos linijinis ir skersinis standumas, kurie leidžia nustatyti kaip padanga elgiasi atraminio paviršiaus atžvilgiu esant skirtingiems automobilio judėjimo režimams (Li *et al.* 2012).

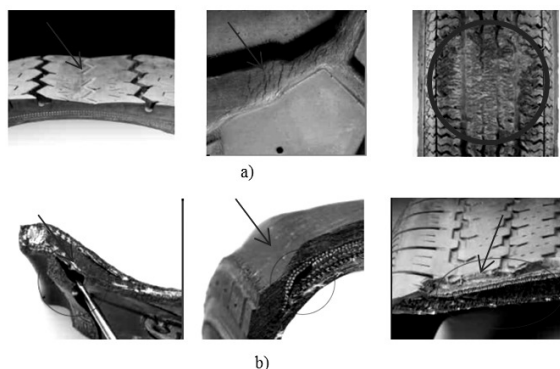
Automobilio stabdymo režimas yra neatsiejama važiavimo ciklo dalis. Vengiant susidariusios pavojingos arba avarinės situacijos vienas iš automobilio valdymo būdų yra stabdymas. Stabdymo efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo važiavimo greičio, tačiau net ir esant tam pačiam greičiui, bet skirtingoms kelio sąlygoms, stabdymo charakteristikos gali labai skirtis (Sokolovskij 2007). Automobilui judant stabdymo režimu labai svarbus padangos kontakto su kelio danga išlaikymas, nes nuo to priklauso lėtėjimo efektyvumas ir stabdymo kelio ilgis. Judant stabdymo režime kelio nelygumai sukelia stochastinius padangos atotrūkius, kurie sukelia sukibimo sumažėjimą toje kontakto vietoje.

Moksliniuose darbuose (Schmeitz 2004, Schram 2011) akcentuojant kelio dangos paviršiaus dėvėjimosi problemą, dėl kurios ženkliai sumažėja padangos ir kelio paviršiaus sukibimas ir lėtėjimo parametrai. (Rezaei *et al.* 2011).

Padangos ir kelio sąveikos sritis yra sąveikos plotas–kontakto pėdsakas. Padangos sukimosi kryptimi kontakto pradžioje padangos protektorius spaudžiamas, o kontakto pabaigoje – ištempiamas. Kontakto plote vyksta praslydimas, t. y. padangos sluoksnių šlytis ir tuomet tangentiniai įtempimai didesni už sukibimo jėgų įtempimus (Bogdevičius 2012, Dilda *et al.* 2012).

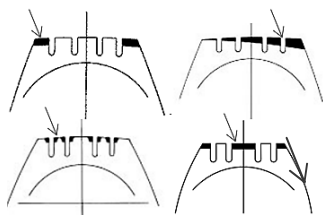
Automobilio lėtėjimas intensyvaus stabdymo režime priklauso ne tik nuo kelio dangos, jos lygumo ir būklės, bet ir nuo padangos techninių parametrų ir savybių. Kontakto zonoje vertinamos ir padangos deformacinės savybės. Padangos deformacijos sąvoka gali būti suprantama, kaip mechaninė padangos gumos deformacija atsiradusi dėl padangą veikiančių vertikalųjų arba horizontaliųjų jėgų, pvz., važiuojant nelygiu keliu padanga kontaktas su nelygumais vietoje deformuojasi, kitas atvejis – tai padangos medžiagos deformacija, t. y. tam tikro gumos kiekio atsiskyrimas arba persiskirstymas į kitą vietą (padangos dėvėjimasis) (Brancati *et al.* 2011) (1 pav. a ir b).

Stabdymo pėdsako pobūdis, nusidėvėjimo laipsnis ir protektoriaus rašto piešinio intensyvumas kelio dangoje priklauso oro slėgio padangoje, automobilio pakrovimo, kelio dangos tipo, jos lygumo, meteorologinių sąlygų, temperatūros. Stabdymo metu padangai slystant (riedant) sausa asfaltbetonio danga protektorius briaunos deformuojasi apie  $\pm 0,1$  mm (Brandt *et al.* 1998).



1 pav. Padangų defektai: a – išoriniai, b – vidiniai

Padangos ir kelio kontakto vietoje didžiausia temperatūros koncentracija yra protektoriaus briaunoje, todėl priklausomai nuo šilumos laidumo, labiausiai dėvėsi protektoriaus briaunos. Taip atsitinka dėl gumos, kordo ir kitų padangos dalių sluoksnių, kuris yra blogas šilumos laidininkas (Poška 2012). Vertikali automobilio apkrova padidina kontaktinį kelio dangos ir padangos plotą, jam padidėjus padidėja ir šlyties įtempimai protektoriaus kraštuose (Wang *et al.* 2012). 2 pav. pavaizduoti padangos protektoriui būdingos deformacijos.



2 pav. Padangos protektoriaus deformacijų atveju schematinis vaizdas

Wang *et al.* 2011 nustatė, kad apkrautos padangos vertikalusis slėgis į kelio dangą yra nevienodas ir priklauso nuo padangos tipo (radialinė, diagonalinė), jos struktūros, geometrijos, protektoriaus rašto, gumos savybių, kelio dangos nelygumų ir padangos darbinės fazės (pvz., stabdymas, riedėjimas), o tangentiniai įtempimai kelio dangoje atsiranda dėl padangos sąveikos su keliu.

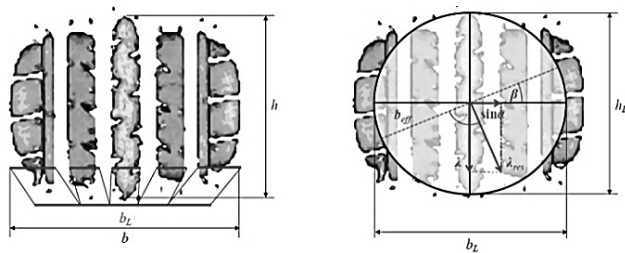
### Padangos ir kelio sąveika stabdymo režime

Automobilio padangų pėdsakų žymės yra svarbus duomuo nustatant transporto priemonės judėjimo sąlygas: greitį, kryptį (trajektoriją), padėtį prieš eismo įvykį ir jo metu. Taip pat iš padangos pėdsako galima spręsti apie padangos būklę. 1 pav. pateikta keletas padangos defektnių atvejų.

Padangų pėdsakai, įprastai, susiformuoja automobiliui judant intensyvaus stabdymo režime, kai stabdomo automobilio padangos kontakto su kelio danga vietoje vyksta padangos gumos ir kelio dangos paviršių slystamo kontakto sukibimas, kuris priklauso nuo stabdymo jėgos dydžio (intensyvumo) ir padangos gumos savybių. Vykstant intensyvaus stabdymo fazei automobilio padangos gumos ir kelio dangos (asfalto) kontakto vietoje vyksta difuzija, t. y. labai sustiprėja dviejų kontaktuojančių kūnų sukibimas ir išnyksta kūnų skiriamasis paviršius. Sukibimo jėgos sukuriama, kai padangos guma slysta per kelio dangos paviršiaus nelygumus ir mineralinės kelio dangos dalelės įsikverbia į gumą. Histerezės trinties dedamoji įgyja reikšmę, kai padangos guma deformuojasi dėl kelio dangos nelygumų (makrotekstūros) (Villani *et al.* 2011) ir padangos medžiaga – guma, kaip labiau besideformuojantis elementas, palieka pėdsaką ant sausos (drėgnos) kelio dangos. Važiuojant šlapią asfaltbetonio danga dėl dangos atsparumo slydimui sumažėjimo blogėja padangos sukibimas su danga, mažėja tiesioginio kontakto plotas ir daugėja eismo įvykių (Sokolovskij ir Prentkovskis 2013). Nuo padangos techninės būklės, kelio dangos lygumo ir stabdymo intensyvumo priklauso padangos kontakto su kelio danga plotas. Optimalus kontakto plotas priklauso nuo kontakto ilgio, sąlyčio ploto ir slydimo kampo Seipel *et al.* 2013) (3 pav.):

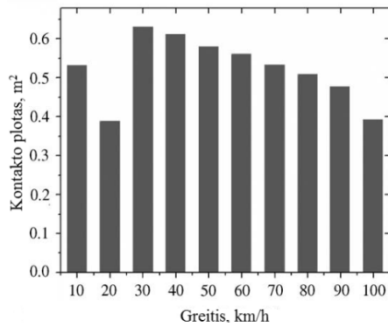
$$b_{eff} = \sqrt{(b_L \cdot \cos \beta)^2 + (h_L \cdot \sin \beta)^2}, \quad (1)$$

čia:  $b_L$  – kontakto plotis, m;  $h_L$  – kontakto ilgis, m;  $\beta$  – pėdsako krypties (slydimo) kampas.



3 pav. Optimalus padangos kontakto ploto modelis (Seipel *et al.* 2013)

Choa *et al.* 2006 nustatė, kad padangos kontakto su kelio paviršiumi plotas stabdymo metu proporcingai mažėja didėjant važiavimo greičiui ir slydimo koeficientui (4 pav.), o bendras padangos dinaminis standumas kinta dėl minėtų parametrų ir dėl jų įtakos padidėja pasipriešinimas riedėjimo varžai.



4 pav. Greičio ir padangos kontakto ploto priklausomybė

Bianchini *et al.* (2011) nustatė, kad pirminis asfalto dangos nusidėvėjimas dėl sąveikos su automobilio padanga padidina dangos atsparumą slydimui.

Vertikali padangos apkrova protektoriaus sąveikoje su kelio danga sukelia dinamines jėgas, kurios deformuoja protektorių. Rato sukibimo su kelio danga koeficientas apibūdinamas kaip dviejų jėgų santykis (Bogdevičius 2012):

$$\mu = \frac{F_x}{F_z}, \quad (2)$$

čia:  $F_x$  – išilginė rato sukibimo su kelio danga jėga stabdymo metu, N;  $F_z$  – vertikali padangos prispaudimo jėga, N.

Padangai slystant kelio nelygumais atsiranda trinties jėgos ir sąveikos (kontakto) vietoje pasireiškia gumos adhezinės savybės, t. y. ji prilimpa prie kelio dangos. Padangos slydimo metu adhezijos ir trinties metu papildomai dar atsiranda sąveikaujančių kūnų dėvėjimosi ir atplėštis trintis (Gua *et al.* 2006). Stabdymo metu padangos sukibimo su kelio danga priklausomybė nuo greičio išreiškia (Jahromi *et al.* 2011) formule:

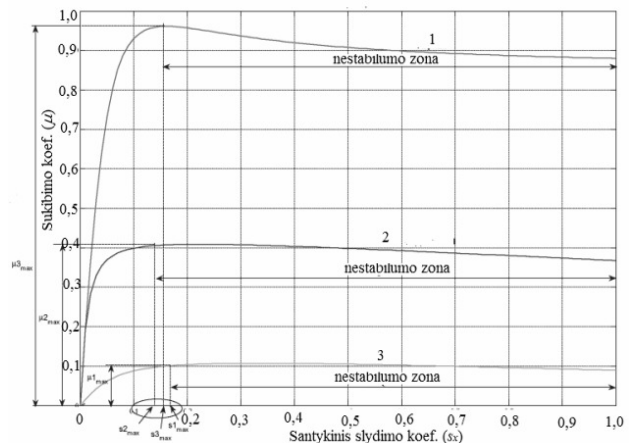
$$\mu = \mu_{\max} \cdot e^{\left(\frac{\ln(v/v_{\max})}{C}\right)^2}, \quad (3)$$

čia:  $\mu_{\max}$  – maksimali sukibimo koeficiento reikšmė,  $v$  – slydimo greitis,  $v_{\max}$  – slydimo greitis, kai pasiekiamas  $\mu_{\max}$ ,  $C$  – koeficientas, priklausantis nuo kelio dangos lygumo.

Pagal Dugofa modelį (1969) santykinio slydimo koeficientas gali būti išreiškiamas formule:

$$s_x = \begin{cases} \frac{\omega \cdot r - v}{v}, & \text{kai vyksta lėtėjimas (stabdymas),} \\ \frac{\omega \cdot r - v}{r \cdot \omega}, & \text{kai vyksta pagreitėjimas,} \end{cases} \quad (4)$$

čia:  $r$  – rato riedėjimo spindulys,  $r = v/\omega_0$ ,  $\omega$  – rato kampinis sukimosi greitis,  $v$  – išilginis padangos linijinis greitis.



5 pav. Rato su kelio paviršiumi sukibimo koeficiento  $\mu$  priklausomybė nuo santykinio slydimo  $s_x$ : 1 – sausas asfaltas, 2 – šlapias asfaltas, 3 – sniegas, 4 – ledas (Li *et al.* 2012)

Iš 5 pav. esančios diagramos matyti, kad kai stabdymo metu padanga ima slysti didesniu kaip 0,2 santykinu slydimu padangos sukibimas su kelio danga mažėja.

### Automobilio judėjimas lėtėjimo režimu

Automobilio stabdymo efektyvumas vertinamas automobilio važiavimo greičio mažėjimo kitimo sparta – lėtėjimo pagreičio didėjimu. Stabdymo efektyvumu įvertinama padangų sukibimo su kelio paviršiumi išnaudojimo laipsnis. Jeigu transporto priemonė stabdoma neužblokuojant ratų, tai nustatyti transporto priemonės stabdymo efektyvumą be eksperimentinių tyrimų negalima, nes stabdymo jėga ribojama stabdžių konstrukcijos ir jų techninės būklės. Nusistovėjęs transporto priemonės lėtėjimas išilgine kryptimi, kai visiškai išnaudojamas visų ratų padangų sukibimas su kelio danga, teoriškai gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f = \mu \cdot g, \quad (5)$$

čia:  $\mu$  – padangų sukibimo su kelio danga koeficientas (išilgine kryptimi);  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  – kūnų laisvojo kritimo pagreitis.

Automobilio važiavimo greitį prieš eismo įvykį nustatyti galima remiantis Lukoševičienė 2001; Beauchamp *et al.* 2009 siūlomais fundamentiniais nustatymo būdais:

- greičio nustatymas pagal stabdymo pėdsakų ilgį, kai automobilio ratai blokuojami;
- greičio nustatymas pagal stabdymo pėdsakų ilgį, kai stabdymas vyksta kertant įvairius kelio paviršius;
- transporto priemonės greičio nustatymas, kai ji buvo atstabdyta.

Automobilio lėtėjimas stabdant lemia vidutinį automobilio greičio mažėjimo pokytį ir jo intensyvumą bei stabdymo kelio ilgį ir stabdymo metu kelio dangoje besiformuojančio stabdymo pėdsako ilgį, iš kurio reikšmės galima nustatyti transporto priemonės judėjimo greitį prieš intensyvų stabdymą:

$$v_a = 1,8 \cdot t_3 \cdot j + \sqrt{25,92 \cdot S_{st} \cdot j}, \quad (6)$$

čia:  $t_3$  – lėtėjimo pagreičio didėjimo iki maksimalios reikšmės laikas;  $j$  – intensyvaus stabdymo metu nusistovėjusio lėtėjimo maksimali reikšmė;  $S_{st}$  – ratų paliktų stabdymo pėdsakų ilgis.

Realiomis važiavimo sąlygomis užstabdytas automobilis palikdamas stabdymo pėdsaką gali judėti kelio ruožais, kurių paviršiaus dangos sukibimo su padangomis koeficientas yra skirtingas, tokiu atveju automobilio važiavimo greitis pagal padangų paliktus stabdymo pėdsakus apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v_a = 1,8 \cdot t_3 \cdot j_1 + \sqrt{25,92 \cdot \sum S_{sti} \cdot j_i}, \quad (7)$$

čia:  $S_{sti}$  – atstumas, kurį persislinko intensyviai stabdomo automobilio svorio centras, atitinkamai kirsdamas  $i$ -osios atkarpos ribas;  $j_i$  – automobilio intensyvaus stabdymo metu nusistovėjusio lėtėjimo maksimalios reikšmė,  $i$ -oje atkarpoje.

Šoninis slydimas pasireiškia, kai padanga juda įstrižu kampu rato plokštumai. Važiavimo greitis pagal šoninio slydimo metu paliktus automobilio šoninio slydimo pėdsakus nustatomas pagal formulę (Lukoševičienė 2001):

$$v_a = \sqrt{25,92 \cdot \sum S_{sl} \cdot j'}, \quad (8)$$

čia:  $S_{sl}$  – šoninio slydimo metu padangų paliktų šoninio slydimo pėdsakų ilgis;  $j'$  – šoninio slydimo metu nusistovėjusio lėtėjimo maksimali reikšmė.

Jeigu yra žinomas atstumas, kurį judėjo automobilis paikdamas stabdymo pėdsakus, tuomet sprendžiant vairuotojo techninę galimybę išvengti eismo įvykių buvusioje kelio eismo situacijoje, automobilio sustabdymui reikalingas atstumas gali būti skaičiuojamas pagal formulę (Pečeliūnas 2004):

$$S_{sust} = (t_1 + t_2 + t_3) \cdot \frac{v_a}{3,6} + S_{st}. \quad (9)$$

Pažymėtina, kad pagal formules (6)–(9) gauti skaičiavimų rezultatai yra orientacinio pobūdžio, nes jie neįvertina transporto priemonės susidūrimo su kliūtimi metu prarasto važiavimo greičio (prarastos kinetinės energijos).

### Automobilio judėjimo režimo ir krypties nustatymas pagal kelio dangoje išlikusius padangų pėdsakus

Stabdymo pėdsakas kelio dangoje susiformuoja ir išlieka ant sausos arba drėgnos (šlapios) kelio dangos, kai dėl stabdymo atsiradusi išilginė jėga viršija padangos sukibimo (trinties) su kelio danga jėgą:

$$F_x > \mu \cdot F_z, \quad (10)$$

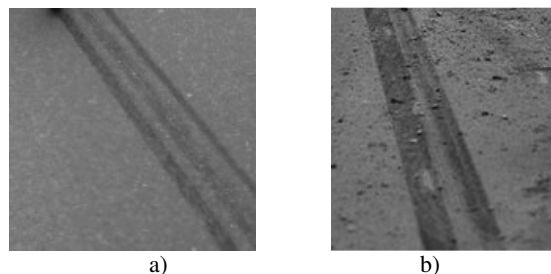
čia:  $\mu$  – padangų sukibimo su kelio danga koeficientas;  $F_z$  – vertikali padangos prispaudimo jėga, N.

Pagal formą ir susidarymo mechanizmą automobilių padangų palikti pėdsakai būna įspausiniai, paviršiniai,

statiniai ir dinaminiai. Statiniai pėdsakai susiformuoja, kai automobilio padanga nustoja judėti ir kiekvienas jos taškas palieka atitinkamą pėdsaką kelio dangoje su kuria ji kontaktuoja. Dinaminiai pėdsakai susidaro slystant pėdsaką paliekančiam objektui (padangai), šiuo atveju, kelio dangos atžvilgiu (Wang 2003).

Neintensyvus lengvojo automobilio stabdymas skirstomas į intensyvų ir neintensyvų. Eismo saugumo požiūriu svarbesnis yra ekstremalus stabdymas, kadangi taip stabdoma pavojingose situacijose, kad būtų išvengta kliūtis ar susidūrimo (Lukoševičienė 2001). Intensyviai stabdant automobilį su ABS sistema ant sausos asfalto dangos stabdymo pėdsako žymės būna trumpesnės ir tam tikru dėsningumu padangų paliktos stabdymo žymės spalvos intensyvumas būna nepastovus (8 pav.). Tam tikru dėsningumu ji būna, tai tamsesnė, tai šviesesnė. Šis požymis susijęs su stabdymo jėgos paskirstymo intervalais, kuriuos lemia ABS valdymo blokas. ABS sistema esant visiškam slydimui stabdymo metu ratus išlaiko ratus (padangas) 20–30 % praslydimo intervale ir kartu didžiausios jėgų sukibimo zonos ribose. Šis sukibimas, palyginti su blokuotomis padangomis, esant sausai kelio danga yra didesnis 10–20 %, o kai kelio danga šlapia net iki 30 % (Pečeliūnas ir Sokolovskij 2012). Intensyviai stabdant automobilį be stabdžių antiblokavimo sistemos (ABS), standartiškai pirmiausia blokuojami priekiniai automobilio ratai, kurie kelio dangoje palikdami padangų pėdsakus čiuožia tiesia pagal liestinę kryptimi, kuria automobilis važiavo prieš pat intensyvaus stabdymo režimą (8 pav.).

Stabdymo metu kelio dangos ir automobilio kontakto vietoje protektorius, priklausomai nuo jo rašto, atplėsties trinties metu palieka dalį savo protektoriaus taškų kelio dangoje, kurie iš atskirų juostų (protektoriaus rašto) formuoja pėdsaką. Padanga su kelio dangos paviršiumi liečiasi daugiataškiniu paviršiumi (tam tikru plotu) ir todėl stabdoma padanga suformuoja sąlyginai ilgą, ištiesinę be trūkių linijas. Atliekant stabdymo pėdsakų analizę pastebėta, kad priekinių ratų padangų pėdsakas pasižymi plona išorinio krašto linija (6 pav. b). Galinių padangų paliktas pėdsakas pasižymi tamsesne vidurine dalimi, šis reiškinys paaiškinamas tuo, kad galinė automobilio ašis nukraunama (stabdymo jėgų reguliatorius) (6 pav. a).

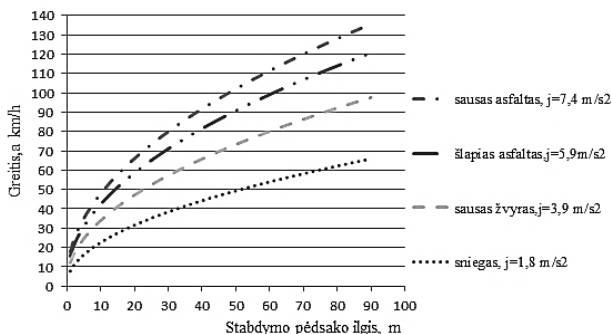


6 pav. Stabdymo pėdsakas: a – galinių ratų padangų, b – priekinių ratų padangų

Intensyviai stabdant automobilį su ABS sistema ant sausos asfalto dangos stabdymo pėdsako žymės būna trumpesnės ir tam tikru dėsningumu padangų palikta stabdymo žymės spalvos intensyvumas būna nepastovus (8 pav.).

### Važiavimo greičio ir stabdymo kelio nustatymas pagal kelio dangoje išlikusius padangų pėdsakus

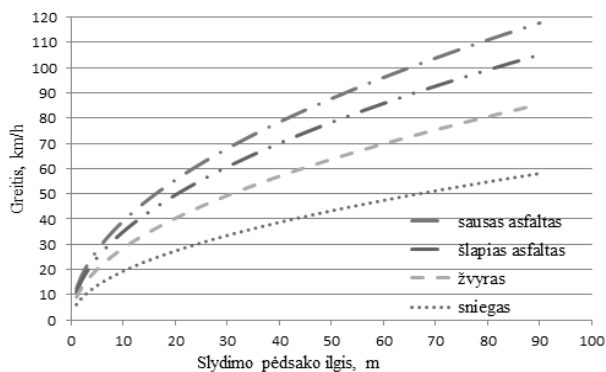
Pagal formulę (6) buvo atlikti skaičiavimai vertinant teorinį stabdymo pėdsako ilgį 1–135 m ribose, atitinkamai esant sausai ir šlapiai asfalto dangai, žvyro dangai bei sniegu padengtai kelio dangai. Kaip matyti iš 7 pav. pateikto grafiko, lengvajam automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu intensyvaus stabdymo metu ratų paliktų pėdsakų ilgis ant sausos asfalto dangos yra apie 11 m, o ant šlapios asfalto dangos – 14 m ilgio.



7 pav. Lengvojo automobilio važiuavimo greičio priklausomybė nuo stabdymo pėdsako ilgio

Tuo pačiu greičiu važiuojančio lengvojo automobilio ant žvyro dangos stabdymo pėdsako ilgis – 23 m, o važiuojančio sniegu padengtu keliu net apie 50 m ilgio. Šie tyrimo rezultatai leidžia patikrinti (nustatyti) eismo dalyvių nurodomas aplinkybes dėl važiuavimo greičio ir eismo sąlygų eismo įvykio metu neatlikus viso (atskiro) eismo įvykio tyrimo.

Pagal formulę (8) buvo atlikti skaičiavimai vertinant teorinį šoninio slydimo pėdsako ilgį 1–120 m ribose, atitinkamai esant sausai, šlapiai, žvyro bei sniegu padengtai kelio dangai. Gauti rezultatai  $v_a = f(S_{sl})$  pateikti 9 pav. Automobilio, važiuojančio 50 km/h greičiu ratų šoninio slydimo pėdsakas ant sauso asfalto – 16 m, ant šlapio – 21 m. Automobilio važiuojančio 50 km/h greičiu slydimo pėdsako ilgis ant žvyruotos kelio dangos – 31 m, sniegu padengto kelio – 66 m.



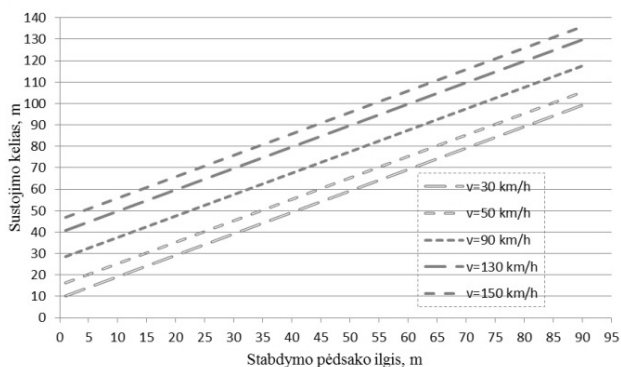
8 pav. Automobilio važiuavimo greičio priklausomybė nuo šoninio slydimo pėdsako ilgio

Žinant stabdymo arba šoninio slydimo pėdsakų ilgį, naudojant 7 pav., 8 pav. pateiktus grafikus galima nusta-

tyti orientacinį automobilio važiuavimo greitį prieš pat stabdymo/slydimo pėdsako susidarymo pradžią. Naudojant teoriškai nustatytas stabdymo ar slydimo pėdsakų ilgio reikšmių priklausomybės nuo automobilio važiuavimo greičio galima preliminariai patikrinti eismo įvykio dalyvių nurodomas eismo įvykio kilimo aplinkybes, taip pat sutrumpėja procesinės eismo įvykio nagrinėjimo laiko sąnaudos, pagerinami ekonominiai eismo įvykio nagrinėjimo rodikliai.

Pažymėtina, kad pagal formules (6)–(8) atlikti skaičiavimai yra orientacinio pobūdžio, nes jie neįvertina transporto priemonės susidūrimo su kliūtimi metu prarasto važiuavimo greičio (prarastos kinetinės energijos).

Primanant, kad vairuotojo reakcijos laikas buvusioje kelio eismo situacijoje – 0,6 s pagal formulę (9) buvo atlikti skaičiavimai vertinant teorinio stabdymo kelio ilgį priklausimui nuo stabdymo pėdsako ilgio. Rezultatai grafiškai pavaizduoti 9 pav. Žinant stabdymo pėdsakų ilgio reikšmes, galima orientaciniai nustatyti automobilio važiuavimo greitį ir sustojimo kelio atstumą ir spręsti apie eismo dalyvio techninę galimybę, buvusioje kelio eismo situacijoje, išvengti eismo įvykio. Tačiau pažymėtina, kad pagal formulę (5) gautos reikšmės yra minimalios galimos, nes visais kitais atvejais, ilgėjant vairuotojo reakcijos laikui ilgėja ir stabdymo kelias, atitinkamai važiuavimo greičiui.



9 pav. Automobilio sustojimo kelio priklausomybė nuo stabdymo pėdsako ilgio važiuojant skirtingais greičiais

Eismo dalyvio techninė galimybė išvengti eismo įvykio nusakoma lyginant atstumą, kuriuo transporto priemonė ar eismo dalyvis buvo nuo eismo įvykio vietos pradiniu kliūtis ir grėsmės eismo saugumui kilimo momentu ir atstumą, reikalingą automobilio (eismo dalyviui) sustabdymui. Jeigu sustabdymo kelias yra mažesnis už atstumą, kuriame buvo automobilis (eismo dalyvis) grėsmės eismo saugumui kilimo momentu formuluojama išvada, kad laiku imdamasis tam tikrų eismo saugumui užtikrinti būtinų veiksmų, eismo dalyvis turėjo techninę galimybę išvengti eismo įvykio, priešingu atveju – neturėjo techninės galimybės (Lukoševičienė 2001).

### Išvados

Atliktos analizės duomenys gali būti panaudojami transporto priemonės judėjimo krypties ir režimo nustatymui pagal eismo įvykio vietoje išlikusius padangų pėdsakus ir eismo įvykio eigos kilimo mechanizmui nustatyti.

Pagal pateiktus padangos stabdymo (slydimo) pėdsakų formavimosi kelio dangoje bruožus galima objektyviai nustatyti automobilio judėjimo režimą, judėjimo trajektoriją prieš eismo įvykį ir eismo įvykio metu, taip pat spręsti apie padangos techninę būklę.

Nustatyta, lengvajam automobiliui važiuojant 50 km/h greičiu intensyvaus stabdymo metu ratų paliktų pėdsakų ilgis ant sausos asfalto dangos yra apie 11 m ilgio, ant šlapios asfalto dangos – 14 m, ant žvyro dangos – 23 m, sniegu padengto kelio – 50 m.

Nustatyta, kad automobilio, važiuojančio 50 km/h greičiu ratų šoninio slydimo pėdsakas ant sauso asfalto – 16 m, ant šlapio – 21 m, ant žvyruotos kelio dangos – 31 m, sniegu padengto kelio – 66 m.

Pagal stabdymo pėdsako ilgį galima nustatyti automobilio sustojimo kelio ir važiavimo greičio reikšmes ir remiantis jomis spręsti apie eismo dalyvio techninę galiybę, buvusioje kelio eismo situacijoje, išvengti eismo įvykio.

## Literatūra

- Beauchamp, G.; Hessel, D.; Rose, N. A.; Fenton, S. J. 2012. Determining Vehicle Steering and Braking from Yaw Mark Striations, *SAE International*. 2012-01-0620. ISSN 0148-7191. doi:10.4271/2012-01-0620.
- Bianchini, A.; Heitzman, M.; Maghsoodloo, S. 2011. Evaluation of Temperature Influence on Friction Measurements, *Journal of Transportation Engineering* 137(9): 640–646.
- Brancati, R.; Strano, S.; Timpone, F. 2011. An analytical model of dissipated viscous and hysteretic energy due to interaction forces in a pneumatic tire: Theory and experiments, *Mechanical Systems and Signal Processing* 25(7): 2785–2795. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2011.04.007>>.
- Brandt, M.; Bachmann, V.; Vogt, A.; Fach, M.; Mayer, K.; Breuer, B. and Hartnagel, H. L. 1998. Highly sensitive AlGaAs/GaAs position sensors for measurement of tyre tread deformation, *Electronics letters* 34: 8.
- Cesbrona, J.; Anfosso-Le´de´eb, F.; Duhamelc, D.; Yinc, H. P.; LeHoue´decd, D. 2009. Experimental study of tyre/road contact forces in rolling conditions for noise prediction, *Journal of Sound and Vibration* 320: 125–144.
- Choa, J. R.; Choa, J. H.; Yooa, W. S.; Kimb, G. J.; Woob, J. S. 2006. Estimation of dry road braking distance considering frictional energy of patterned tires, *Finite Elements in Analysis and Design* 42: 1248–1257.
- Čygas, D.; Mučinis, D.; Sivilevičius, H.; Abukauskas, N. 2011. Dependence of the recycled asphalt mixture psychical and mechanical properties on the grade and amount of rejuvenating bitumen, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(2): 124–134.
- Dilda, K.; Bogdevičius, M.; Vansauskas, V.; Tadžijevas, A. 2012. Lengvojo automobilio padangos mechaninių charakteristikų tyrimas, *15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas–Lietuvos ateities“ straipsnių rinkinys*, gegužės 4 d., 2012, Vilnius Lietuva, 14–17.
- Dugoff, H.; Fanchrer, P. S.; Segel, L. 1969f Tire Performance Characteristics Affecting Vehicle Response to Steering and Braking Control Inputs. *Highway Safety Research Institute, University of Michigan, Ann Arbor (1969) Final Report National Bureau of Standards Contact CST-460*.
- Guo, K.; Y. Zhuang, S. Chen, and L. Willlam. 2006. Experimental research on friction of vehicle tire rubber, *Frontiers of Mechanical Engineering in China* 1(1): 14–20. doi: 10.1007/s11465-005-0001-z
- Jahromi, S. G.; Mortazavi, S. M. R.; Voussough, S; Yingjian, L. 2011. Evaluation of Pavement Temperature on Skid Frictional of Asphalt Concrete Surface, *International Journal of Pavement Engineering* 12(1): 47–58.
- Li, Y.; Zuo, Sh.; Lei, L.; Yang, X.; Wu, X. 2012. Analysis of Impact Factors of Tire Wear, *Journal of Vibration and Control* 18: 833–840.
- Li, K.; Misener, J. A.; Hedrick, K. 2007. On-board road condition monitoring system using slip-based tyre–road friction estimation and wheel speed signal analysis, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K Journal of Multi-body Dynamics* 221(1): 129–146. doi:10.1243/1464419JMBD60
- Lukoševičienė, O. 2001. Autoįvykių analizė ir modeliavimas: monografija. Vilnius: Technika. 244 p.
- Pečeliūnas, R. 2004. Automobilio svyravimai ekstremalaus stabdymo metu. *Daktaro disertacija*. Technologijos mokslai, transporto inžinerija (03T). Vilnius.
- Pečeliūnas, R.; Sokolovskij, E. 2012. *Automobilių dinamika*. Vilnius: Technika. 141 p.
- Poška, A. 2012. Traktoriaus eksploatacinių rodiklių tyrimas arimo darbuose. ASU. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas.
- Rezai, A.; Masad, E.; Chowdhury, A. 2011. Developent of Model for Asphalt Pavement Skid Resistance Based on Aggregate Characteristics and Gradation, *Journal of Transportation Engineering* 37(12): 863–873.
- Schmeitz, A. J. C. 2004. A semi empirical three dimensional model of pneumatic tyre rolling over arbitrarily uneven road. Netherlands. 295. ISBN:90 9018380-9.
- Sivilevičius, H. 2011. Modelling the interaction of transport system elements, *Transport* 26(1): 20–34.
- Sokolovskij, E. 2007. Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces, *Transport* 22(4): 275–278.

- Sokolovskij, E.; Prentkovskis, O. 2013. Investigating traffic accidents: the interaction between a motor vehicle and a pedestrian, *Transport* 28(3): 302–312.
- Spiel, G.; Baumann, F.; Hermanutz, R.; Winner, H. 2013. Analysis of the Influence of Vehicle Dynamic Parameters on Tire Marks, *Journal Tire Science and Technology* 41(3): 196–213.
- Villani, M. M.; Artamendi, I.; Kane, M.; Scarpas, A. T. 2011. Contribution of Hysteresis Component of Tire Rubber Friction on Stone Surfaces, *Transportation Research Board* 11-1698: 153–162. <http://dx.doi.org/10.3141/2227-17>.
- Wang, G.; Rogue, R. 2011. Impact of Wide-Based Tires on Near Surface Pavement Stress State Based on Three Dimensional Tire–Pavement Interaction Model, *Road Materials and Pavement Design* 12(3): 639–662.
- Wang, H.; Al-Qadi, I. L.; Stanculescu, I. 2012. Simulation of tyre –pavement interaction for predicting contact stresses at static and various rolling conditions, *International Journal of Pavement Engineering* 13(4): 310–321.
- Wang, Ying-Wei. 2003. A Distance-base Matching Model for Classifying the Tire-marks at Accident Scene, *Journal of the Eastern Asia for Transportation Studies* 5: 2708–2721.