



MOTOCIKLO STABDYMO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Loreta LEVULYTĖ¹, Valdemaras VENCKUS², Robertas JERMOLAJAVAS³, Tomas LEVULIS⁴

^{1,4}*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

^{2,3}*Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Vilnius, Lietuva*

El. paštas: ¹loreta.levulyte@vgtu.lt; ²v.venckus@vtdko.lt; ³robertas.jerm@gmail.com; ⁴tomas.levulis@stud.vgtu.lt

Santrauka. Pavojingoje ar avarinėje situacijoje techniniu požiūriu labai svarbus yra optimalus transporto priemonės stabdymas laiku. Motociklo lėtėjimo parametrai priklauso ne tik nuo motociklo stabdžių sistemos, bet ir nuo vairuotojo patirties. Didelę įtaką motociklo lėtėjimui turi aerodinaminiai parametrai, kelio dangos tipas ir būklė, taip pat motociklo techninė būklė, amortizatorių, padangų tipas ir jų techninė būklė. Šiame straipsnyje pateikiama motociklo išilginio lėtėjimo analizė, stabdant motociklą ant sausos asfalto kelio dangos. Motociklo stabdymo – lėtėjimo – pagreičio efektyvumas nagrinėjamas, stabdant skirtingais režimais. Pirmiausia analizuojama motociklo lėtėjimo dinamika stabdant tik priekinį ratą, paskui priekinį ir galinį ratus bei stabdant kompleksiskai – priekinį ir galinį ratus. Eksperimentinio tyrimo tikslas – nustatyti, kokią įtaką turi stabdymo režimai intensyviai stabdomo motociklo lėtėjimui stabdant ant sausos kelio dangos, trimis skirtingais stabdymo režimais ir nustatyti stabdymo kelio pokytį. Motociklo lėtėjimo pagreitis išilgine kryptimi yra svarbus eismo įvykių analizei parametras atkuriant eismo įvykio eigą ir nagrinėjant motociklo vairuotojo techninę galimybę išvengti eismo įvykio.

Reikšminiai žodžiai: motociklas, kelio danga, greitis, lėtėjimo pagreitis, stabdymas, stabdymo pėdsakas.

Įvadas

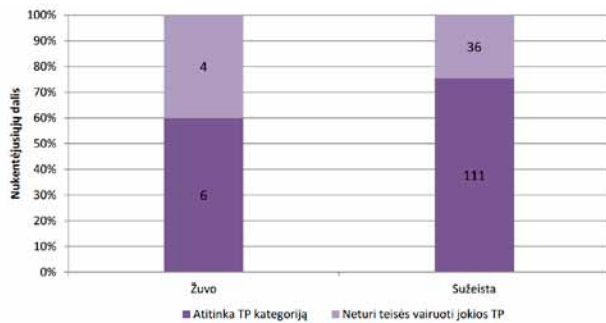
Eismo saugumo požiūriu svarbu, kad visi eismo dalyviai, susidarius avarinei ar pavojingai kelio eismo situacijai, adekvačiai ir laiku, nesukeldami grėsmės eismo saugumui kitų eismo dalyvių atžvilgiu, imtųsi transporto priemonės valdymo veiksmų, t. y. stabdymo arba manevravimo, kad išvengtų eismo įvykio. Pavojingoje eismo situacijoje motociklo vairuotojui labai svarbus yra efektyvus stabdymas laiku. Kiekvieno motociklo vairuotojo reakcija į kelyje atsiradusią kliūtį yra skirtinga – vieni, siekdami išvengti eismo įvykio, stabdo priekinį ratą, kiti – galinį ar abu iškart. Dar 1981 m. Hurt *et al.* nustatė, kad daugiau nei 83 % eismo įvykiuose dalyvavusių motociklininkų prieš eismo įvykį stabdymui nenaudojo priekinių stabdžių. Nuo stabdymo režimo priklausomo motociklo išilginio lėtėjimo intensyvumas ir techninė galimybė, važiuojant tam tikru greičiu, išvengti eismo įvykio. Pagrindinis šio darbo tikslas – išanalizuoti motociklo stabdymo režimus, pasirinktų režimų įtaką išilginiam motociklo lėtėjimo pagreičiui. Taip pat siekiama parodyti, kokią įtaką motociklo lėtėjimo pagreičio reikšmės turi ekspertinei praktikai.

Motociklo vairuotojai priskiriami prie pažeidžiamųjų eismo dalyvių grupės, nes eismo įvykio metu motociklininko

kūnas tiesiogiai kontaktuoja su kelio elementais, kitos transporto priemonės kėbulo dalimis. Atkuriant eismo įvykių eigą tenka nustatyti ne tik motociklo važiuojimo greitį prieš eismo įvykį, motociklo sugadinimų mastą ir pobūdį, bet ir kompleksiskai su teismo mediku nustatyti motociklo vairuotojo kūno sužalojimų mechanizmą.

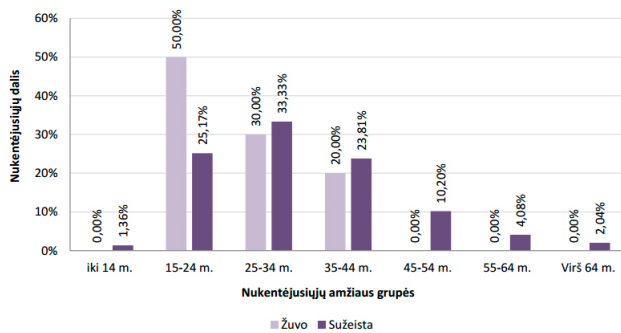
Daugelis mokslininkų (Brookhuisa, de Waard 2010; Fu *et al.* 2016; Lv *et al.* 2016), analizuodami motociklų eismo saugumo klausimus, teigia, kad motociklo judėjimo stabilumas ir vairuotojo elgsena pavojingoje ar avarinėje eismo situacijoje priklauso nuo vairuotojo pasirengimo lygio, išsilavinimo, patirties, tikrojo vairavimo stažo. Lietuvoje 2014 m. net 40 % visų žuvusių ir 32 % visų sužeistų motociklų vairuotojų neturėjo teisės vairuoti jokios transporto priemonės (žr. 1 pav.).

Eismo įvykio analizės metu parenkant motociklo lėtėjimo pagreičio reikšmę, atsižvelgiama į motociklo vairuotojo vairavimo patirtį. Motociklas yra mažiau saugi ir sunkiau suvaldoma transporto priemonė nei automobilis, todėl eismo įvykio pasekmės labai priklauso nuo vairuotojo vairavimo įgūdžių. Lietuvoje 2014 m. dažniausiai į eismo įvykius pateko ar juos sukėlė ir jų metu nukentėjo motociklų vairuotojai, turėję mažesnę nei dvejų metų



1 pav. Nukentėjusių eismo įvykiuose motociklo vairuotojų kvalifikacija 2014 m. (Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje 2011–2014 m. Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2015)

Fig. 1. Victims of traffic accidents motorcycle drivers in 2014 (Recorded traffic accidents Statistics Lithuania, 2011–2014)



2 pav. Eismo įvykiuose nukentėjusių motociklų vairuotojų pasiskirstymas pagal amžiaus grupes 2014 m. (Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje 2011–2014 m.)

Fig. 2. Accident victims motorcyclists distribution by age group in 2014 (Recorded traffic accidents Statistics Lithuania, 2011–2014)

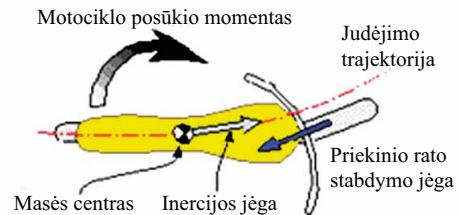
vairavimo stažą (Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje 2011–2014 m.). Lietuvoje eismo įvykiuose nukentėjusiųjų motociklų vairuotojų pasiskirstymas pagal amžiaus grupes ir eismo įvykiuose dalyvavusių motociklų vairuotojų vairavimo stažas 2014 m. pateiktas 2 pav. Daugiausia 2014 m. nukentėjo 15–24 metų amžiaus motociklų vairuotojų. Šios amžiaus grupės vairuotojai dažnai turi nedidelį vairavimo stažą, taip pat jie dažnai pervertina savo galimybes, stokoja atsakingumo, pagarbos kitiems eismo dalyviams.

Kadangi motociklo valdymas priklauso nuo vairuotojo patirties, vairuotojams svarbu būti susipažinusiems su motociklo judėjimo dinamika, motociklo technine sandara, stabdymo parametru sandais.

Motociklo judėjimo lėtėjimo režimu procesas

Staigiai stabdant (blokuojant) priekinį motociklo ratą ir per stipriai perspaudžiant stabdžių rankenėlę, galima sukelti pavojingą situaciją (anglų kalba vadinamą *lowside*), kai priekinis ratas nuslysta posūkyje (3 pav.). Kitaip tariant,

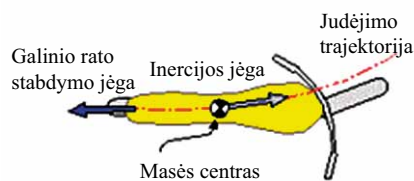
stabdant priekiniu ratu inercijos jėgos sukelia sukimo momentą, kuris išlygina motociklą ir išstumia jį iš posūkyje (Spiel *et al.* 2013).



3 pav. Motociklą veikiančios jėgos, stabdant priekinį ratą (sudaryta autorių)

Fig. 3. Operating force of motorcycles, while braking the front wheel (developed by the authors)

Motociklą stabdant vien galiniu ratu, atvirkščiai nei priekiniu, motociklas juda stabiliau posūkyje trajektorija, kaip parodyta 4 pav. Galinio rato blokavimas ir slydimas atsiranda tada, kai motociklo ir vairuotojo svoris yra perslinkęs nuo svorio centro kryptimi prie motociklo galinės ašies. Per didelę jėgą nuspaudus galinį stabdį taip pat kyla pavojus nuslysti galiniam ratui posūkyje (angl. *highside*).



4 pav. Motociklą veikiančios jėgos, stabdant galinį ratą (sudaryta autorių)

Fig. 4. Operating force of motorcycles, while braking the rear wheel (developed by the authors)

Kelio dangos būklė, nelygumai, kelio dangos užterštumas turi didelę įtaką motociklo judėjimo dinamikai ir vairuotojo elgsenai tam tikrose kelio eismo situacijose (Fu *et al.* 2016).

Hidraulinę stabdžių sistemą sudaro trys skirtingos dalys: stabdymo rankenėlė, hidraulinė stabdymo pavara ir stabdžių trinkelės su diskais. Nuspaudus stabdžių rankenėlę, skystis per pagrindinį cilindą teka į darbinį cilindą ir motociklo ratas stabdomas (Corno *et al.* 2008).

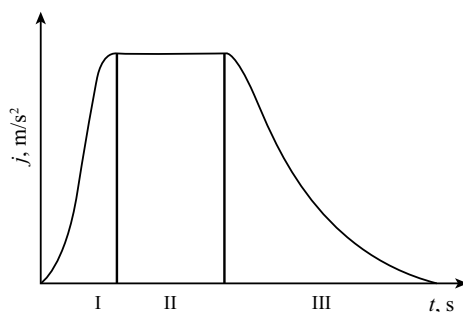
Motociklo stabdymo efektyvumas vertinamas motociklo važiavimo greičio mažėjimo kitimo sparta – lėtėjimo pagreičio didėjimu. Stabdant motociklą normalinės jėgos, veikiančios priekinius ir galinius motociklo ratus, gali būti nustatomos pagal formulę (Limpert 2008):

$$F_{zf} = (1 - \psi + \chi a)W, N, \quad (1)$$

$$F_{zr} = (\psi - \chi a)W, N, \quad (2)$$

čia W – motociklo svoris; ψ – statinė galinį motociklo ratą veikiančią jėgą, nurodoma motociklo gamintojo; $\chi = h/L$; h – motociklo svorio centro aukštis, L – motociklo ratų bazės ilgis.

Stabdymo efektyvumu įvertinamas 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. Stabdymo efektyvumo tyrimas atliekamas siekiant nustatyti transporto priemonės sustojimo atstumą esamomis kelio sąlygomis arba nustatyti transporto priemonės lėtėjimo pagreitį. Skirtumas tarp šių dydžių pagal MFDD (angl. *mean fully developed deceleration*) metodiką negali būti didesnis kaip 5 % (Li *et al.* 2013). Kombinuotos stabdžių sistemos, turinčios kelis kontūrus, užtikrina stabdymo efektyvumą tuo atveju, jeigu vienas iš kontūrų yra pažeidžiamas ir neveikia. Motocikluose įrengta stabdžių sistema su atskirais prievadais kiekvienam ratui. Pagal 2013 metų Europos Komisijos reikalavimus (ECE/TRANS/WP.29/GRRF/2013/8) motociklo užstabdyto priekinio rato lėtėjimas turi būti ne mažesnis kaip $4,4 \text{ m/s}^2$, o galinio – $2,9 \text{ m/s}^2$, esant kombinuotai stabdžių sistemai vidutinė lėtėjimo pagreičio vertė, stabdant priekiniu ratu, turi būti ne mažesnė kaip $5,1 \text{ m/s}^2$, o galinio – $2,5 \text{ m/s}^2$ (pagal MFDD metodiką). Techniniu požiūriu motociklo stabdymo procesas susideda iš vairuotojo reakcijos laiko, kuris ekspertinėje praktikoje, atsižvelgiant į kelio eismo situaciją, kelio infrastruktūrą, diferencijuojamas nuo 0,6 s iki 1,2 s (McGehee *et al.* 2000), paskui eina stabdžių sistemos suveikimas, t. y. nuo stabdžių paspaudimo iki darbinių stabdžių suveikimo. Fizinis motociklo stabdymo procesas prasideda I fazėje – augant lėtėjimo pagreičiui iki maksimalios nusistovėjusios reikšmės (5 pav.). I fazė trunka 0,2–0,4 s (Jurecki, Stańczyk 2014), toliau eina II fazė, motociklo judėjimas nusistovėjusiu režimu iki tol, kol sulėtėjama, ir



5 pav. Motociklo stabdymo proceso diagrama: I – pirmą fazę: motociklo lėtėjimo pagreičio augimo iki maksimalaus nusistovėjusio lėtėjimo pagreičio laikas; II – antrą fazę: motociklo judėjimo nusistovėjusiu lėtėjimu laikas; III – trečią fazę: atstabdymo laikas

Fig. 5. Motorcycle braking process diagram: I – first phase: a motorcycle deceleration of growth to the maximum steady deceleration time; II – second phase: the movement of the motorcycle steady deceleration time; III – third phase: braking end

III fazė – atstabdymas, t. y. kai atleidžiamas stabdžių pedalas, transporto priemonė sustoja, ši fazė trunka apie 0,3 s (Bartlett, Mayers 2014; Bianchini *et al.* 2011).

Motociklo lėtėjimo vertės ir stabdymo proceso efektyvumas priklauso nuo vairuotojo patirties, stabdžių rankenos paspaudimo jėgos, masės paskirstymas tarp priekinės ir galinės motociklo ašies turi įtakos jo išilginio lėtėjimo pagreičio vertėms. Remiantis direktyva CEE 2006 motociklo, kurio vairuotojo masė – 70 kg, stabdant priekiniais stabdžiais su išjungta sankaba lėtėjimo pagreitis turi būti $5\text{--}8 \text{ m/s}^2$. Ir tuo metu stabdymo jėga, susidaranti ties stabdžių diskais, yra apie 7009 N, esant maksimaliai leidžiamajai motociklo apkrovai apie 14 779 N. Motociklų vidutinio lėtėjimo pagreičio reikšmės stabdant ant sauso asfalto, priklausomai nuo vairuotojo patirties: kai vairuoja pradedantysis vairuotojas – $4,5\text{--}7,5 \text{ m/s}^2$, kai patyręs – $6,5\text{--}8,5 \text{ m/s}^2$, $8,0\text{--}10,0 \text{ m/s}^2$ (Burg, Moser 2013).

Padangų pėdsakai įprastai susiformuoja motociklui judant intensyvaus stabdymo režimu, kai stabdomo padangos kontakto su kelio danga vietoje vyksta padangos gumos ir kelio dangos paviršių slystamojo kontakto sukibimas (Villani *et al.* 2011), 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 skiriamasis kūnų paviršius (Cesbrona *et al.* 2009). Sukibimo jėgos sukuriama, kai padangos guma slysta per kelio dangos paviršiaus nelygumus ir mineralinės kelio dangos dalelės išsiskverbia 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 šlapia asfaltbetonio danga dėl dangos atsparumo slydimui sumažėjimo blogėja padangos sukibimas su danga, mažėja tiesioginio kontakto plotas ir daugėja eismo įvykių (Sokolovskij, Prentkovskis 2013; Jahromi *et al.* 2011). Automobilio važiavimo greitį prieš eismo įvykį nustatyti galima remiantis (Lukoševičienė 2001; Beauchamp *et al.* 2009; Guzek *et al.* 2012) siūlomais fundamentiniais nustatymo būdais:

- greičio nustatymas pagal stabdymo pėdsakų ilgį, kai transporto priemonės ratai blokuojami;
- greičio nustatymas pagal stabdymo pėdsakų ilgį, kai stabdoma kertant įvairius kelio paviršius;
- transporto priemonės greičio nustatymas, kai ji buvo atstabdyma.

Stabdymo pėdsakas ant kelio dangos susiformuoja ir išlieka ant sausos arba drėgnos (šlapios) kelio dangos,

kai dėl stabdymo atsiradusi išilginė jėga viršija padangos sukibimo (trinties) su kelio danga jėgą:

$$F_x > \mu \cdot F_z, \quad (3)$$

čia m – padangų sukibimo su kelio danga koeficientas; F_z – vertikali padangos prispaudimo jėga, N.

Stabdant turi būti kuo trumpesnis stabdymo kelias, motociklas turi neprarasti pusiausvyros ir turi būti valdomas. Automobilių stabdžiai stabdo visus ratus, o motociklų – atskirai priekinį ir galinį. Didžiausia stabdymo jėga $F_{st.max}$ priklauso nuo ratų sukibimo su keliu ir vertikalios kelio reakcijos jėgos, veikiančios ratą. Kuo didesnė ratų sukibimo su keliu koeficiento reikšmė, tuo didesnė gali būti stabdymo jėga. Geriausias ratų sukibimas su keliu, kartu ir didžiausia $F_{st.max}$ būna ratui neužsiblokavus. Ratui užsiblokavus (nustojus sukintis), sukibimo koeficiento ϕ reikšmė sumažėja apie 20–30 %, todėl stabdyti reikia taip, kad ratai nesiblokuotų ir neslystų. Didžiausia stabdymo jėga būna tada, kai stabdomi abu motociklo ratai, tada išnaudojama visų ratų apkrova ir jų sukibimo su keliu jėgos (Corno *et al.* 2008). Priekinių ir galinių ratų apkrova keičiasi pagal pervežamo krovinio svorį ir traukos jėgą. Be to, stabdant galinių ratų apkrova mažėja, o priekinių didėja (Brandt *et al.* 1998).

Todėl stabdymas yra efektyviausias, kai stabdymo jėga kinta pagal ratų sukibimo su keliu jėgos pokytį. Stabdymo metu kelio dangos ir padangos kontakto vietoje protektorius, priklausomai nuo jo rašto, atplėštis trinties metu palieka dalį savo protektoriaus taškų kelio dangoje, kurie iš atskirų juostų (protektoriaus rašto) formuoja pėdsaką. Atliekant stabdymo pėdsakų analizę pastebėta, kad priekinių ratų padangų pėdsakas pasižymi didesniu kontakto plotu, tiesesne trajektorija ir ryškesniu gumos pėdsaku (6 pav.). Galinių padangų paliktas pėdsakas pasižymi intensyvesne vidurine dalimi (7 pav.).

Jeigu yra žinomas atstumas, kurį motociklas judėjo palikdamas stabdymo pėdsakus, tuomet, sprendžiant vairuotojo techninę galimybę išvengti eismo įvykio buvusioje

kelio eismo situacijoje, motociklui sustabdyti reikalingas atstumas gali būti skaičiuojamas pagal formulę (Pečeliūnas, Sokolovskij 2012):

$$S_0 = (t_1 + t_2 + t_3) \cdot \frac{v_m}{3,6} + S_{st}, \text{ m}, \quad (4)$$

čia t_1 – vairuotojo reakcijos laikas buvusioje kelio eismo situacijoje; t_2 – motociklo stabdžių sistemos suveikimo laikas; t_3 – motociklo lėtėjimo pagreičio didėjimo laikas; v_m – motociklo važiavimo greitis; S_{st} – motociklo ratų paliktų stabdymo pėdsakų ilgis.

Vairuotojui nestabdant (arba stabdant neintensyviai), esant ne visam padangos ir kelio dangos sukibimui, stabdymo pėdsakas kelio dangoje neišlieka, tokiu atveju atstumas, kuriuo motociklas, važiuodamas tam tikru greičiu, sustoja, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{v_m}{3,6} + \frac{v_m^2}{25,92 \cdot j}, \text{ m}, \quad (5)$$

čia j – motociklo intensyvaus stabdymo metu nusistovėjusio lėtėjimo pagreičio maksimali vertė.

Motociklo lėtėjimas priklauso nuo daugelio veiksnių. Didelę įtaką lėtėjimo pagreičio efektyvumui turi motociklo techninė būklė, kelio danga, aplinka ir vairuotojo stažas.

Eksperimentinis tyrimas

Siekiant nustatyti motociklo stabdymo efektyvumą, buvo atliktas natūrinis motociklo lėtėjimo išilgine ašimi pagreičio eksperimentas motociklą stabdant skirtingais režimais. Motociklo lėtėjimo pagreičio matavimas buvo atliktas trimis galimais stabdymo režimais:

1. Stabdymas tik priekiniais stabdžiais.
2. Stabdymas priekiniais ir galiniais stabdžiais, išjungus pavarą.
3. Stabdymas priekiniais ir galiniais stabdžiais, neišjungiant pavaros.

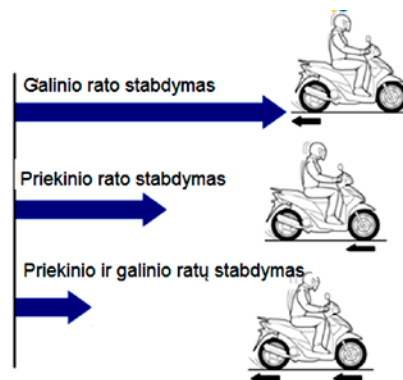
Motociklo lėtėjimo pagreitis taip pat buvo išmatuotas stabdant tik varikliu (su įjungta pavarą).



6 pav. Motociklo priekinio ir galinio rato paliktas pėdsakas
Fig. 6. Motorcycle front and rear wheel footprint



7 pav. Motociklo galinio rato paliktas pėdsakas
Fig. 7. Motorcycle rear wheel footprint



8 pav. Stabdymo režimų vaizdas bandymo metu
Fig. 8. Braking modes visual image test



9 pav. Priekinių stabdžių konstrukcijos sistema

Fig. 9. The front brake system design



10 pav. Galinių stabdžių konstrukcijos sistema

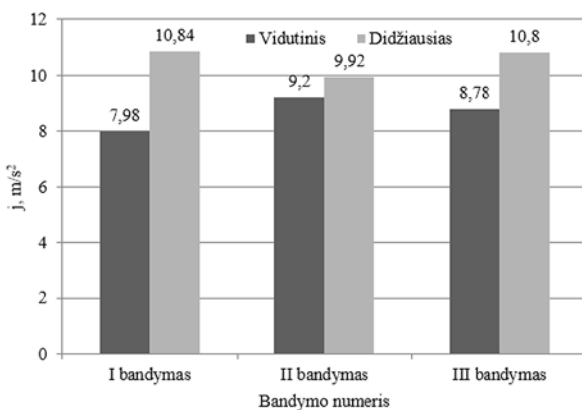
Fig. 10. Rear brake system design

Tyrimui naudojamas techniškai tvarkingas motociklas „Honda CBR1000RR“, pagaminimo metai – 2007 m., variklis – 998 cm³, galia – 169,5 AG (123,7 kW), toliau tyrimė – „Honda“ (8 pav.). Kiekvienu stabdymo režimu buvo atlikti trys pakartotiniai 50–60 km/h greičiu važiavimai.

Motociklo konstrukcijoje numatyta kombinuota stabdymo sistema. Techninę priekinių stabdžių sistemą (pavarą) sudaro dvipusis stabdžių diskas (stabdžių diskas rato ašiai sudarytas iš dviejų pusių), kurių skersmuo – 320 mm (9 pav.); galinę stabdžių pavarą sudaro vienas stabdžių diskas, kurio skersmuo – 220 mm. Priekinė motociklo padanga „Michelin Pilot Power 2CT“, priekinės padangos matmenys – 120/70R17, galinės padangos matmenys – 190/50 R17 (9 pav., 10 pav.). Motociklo bazės ilgis – 1,40 m.

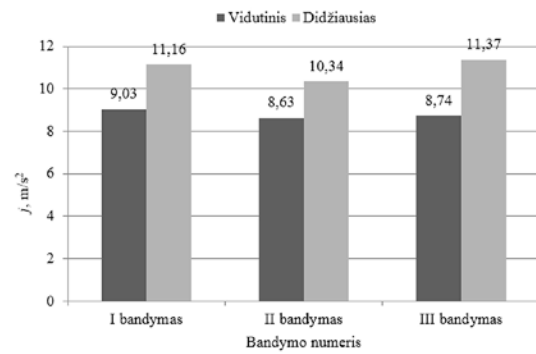
Lėtėjimo pagreitis šiame tyrime nebuvo matuotas motociklui stabdant tik galiniu ratu, nes eismo saugumo požiūriu tai nesaugus stabdymas. Pagal 2013 metų reikalavimus (ECE/TRANS/WP.29/GRRF/2013/8) motociklo lėtėjimas stabdant priekiniu ratu turi būti ne mažesnis kaip 4,4 m/s², o galinio – 2,9 m/s².

Lėtėjimo pagreičio reikšmės eksperimento metu buvo fiksuojamos decelerometru „VZM 300“, turinčiu metrologinę patikrą (kalibravimo liudijimą), prietaiso matavimo paklaidą iki 2 %. Decelerometras buvo primontuotas prie motociklo galinės sėdynės horizontaliai keliui (9 pav.).



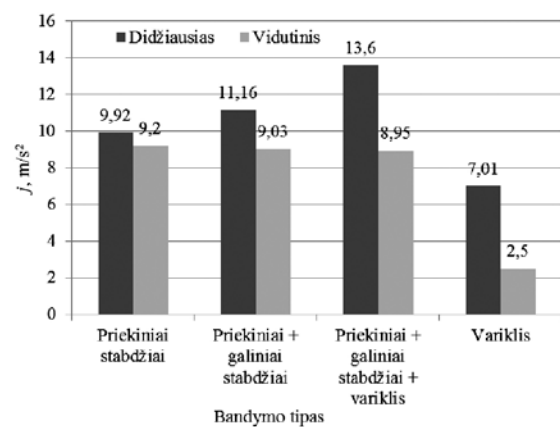
11 pav. Motociklo lėtėjimo pagreičio vertės stabdant priekinį ratą

Fig. 11. Motorcycle deceleration value of the front wheel braking



12 pav. Lėtėjimo pagreičio vertės stabdant kompleksiskai priekiniu ir galiniu ratu

Fig. 12. Deceleration value of braking integrated front and rear wheels



13 pav. Stabdymo režimų lėtėjimo rezultatų palyginimas

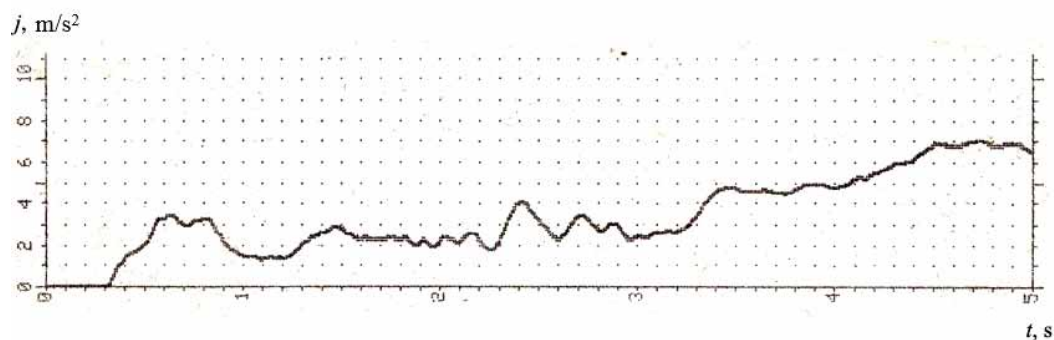
Fig. 13. Comparison of braking modes deceleration performance

Bandymų metu gautų rezultatų grafinė išraiška pateikta 11–14 pav.

Nustatyta, kad didžiausias (momentinis) motociklo lėtėjimas, važiuojant 50–60 km/h greičiu, intensyviai stabdant ant sausos asfalto dangos tik priekiniais motociklo stabdžiais, yra 10,8 m/s², vidutinis lėtėjimas kinta nuo 7,98 m/s² iki 9,2 m/s² (11 pav.).

Kitu atveju, nustatant motociklo lėtėjimą, jis buvo stabdomas kompleksiskai, priekiniais ir galiniais ratais, tuomet bandymų metu užfiksuotas maksimalus (momentinis) motociklo lėtėjimo pagreitis yra 11,37 m/s² ir tai yra 5 proc. didesnis, nei stabdant tik priekinį ratą, vidutinė lėtėjimo pagreičio vertė skiriasi nedaug ir yra apie 2,7 proc. didesnė (12 pav.). 13 pav. pateikiama grafinė lėtėjimo pagreičio reikšmių diagrama, kai lėtėjimo pagreičiai skirtingi (13 pav.).

Motociklą stabdant varikliu, buvo įsibėgėjama pirma pavarą ir paskui stabdoma varikliu, atleidžiama akceleratoriaus rankenėlė ir, įveikus tam tikrą atstumą, galutinai motociklas buvo stabdomas stabdžiais (rezultatai pateikti 1 lentelėje).



14 pav. Motociklo stabdymo variklio grafikas
Fig. 14. Motorcycle engine braking process graph

1 lentelė. Motociklo lėtėjimo reikšmės stabdant varikliu
Table 1. Motorcycle engine braking deceleration values

I bandymas, lėtėjimas, m/s ²		II bandymas, lėtėjimas, m/s ²		III bandymas, lėtėjimas, m/s ²	
Didžiausias	Vidutinis	Didžiausias	Vidutinis	Didžiausias	Vidutinis
7,01	2,5	5,36	2,37	6,14	2,02

14 pav. pateikta motociklo, stabdomo varikliu, kreivė. Lėtėjimo vertės yra nuo 3,7 m/s² iki 7 m/s².

Remiantis bandymo metu išmatuotomis motociklo lėtėjimo pagreičio rezultatų reikšmėmis, pagal (4) formulę skaičiuojamas motociklo, važiuojančio 50 km/h greičiu, sustojimo atstumas nagrinėtais stabdymo režimais:

– naudojant tik priekinius stabdžius:

$$S_0 = (1,0 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,2) \cdot \frac{50}{3,6} + \frac{50^2}{25,92 \cdot 9,2} \approx 28,4 \text{ m};$$

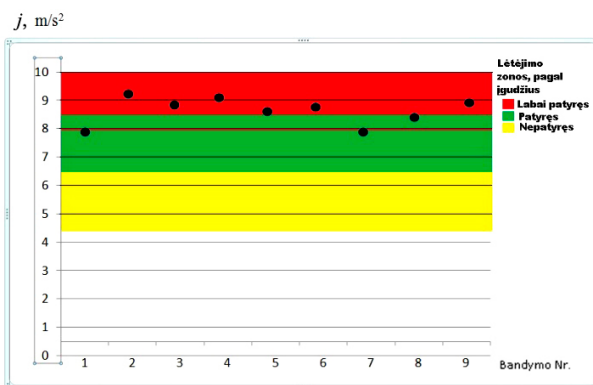
– naudojant priekinius ir galinius stabdžius:

$$S_0 = (1,0 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,2) \cdot \frac{50}{3,6} + \frac{50^2}{25,92 \cdot 9,2} \approx 28,4 \text{ m}.$$

Naudojant priekinius ir galinius stabdžius su įjungta pavarą:

$$S_0 = (1,0 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,2) \cdot \frac{50}{3,6} + \frac{50^2}{25,92 \cdot 8,95} \approx 28,7 \text{ m}.$$

Išanalizavus gautus rezultatus, nustatyta, jog motociklo stabdymas tik priekiniu stabdžiu yra pats efektyviausias ir optimalus (didžiausios lėtėjimo reikšmės). Bandymų metu buvo pastebėta, kad, stabdant kartu priekinį ir galinį ratą, yra labai sunku jį sukontroliuoti, kad jis nepradėtų slysti. Slystant galiniam ratui yra didelė tikimybė, kad motociklas pradės krypti į šoną ir taps nestabilus (grius), todėl ekstremalaus stabdymo tik galiniu stabdžiu šiuo atveju buvo atsisakyta. Net stabdant galinį ratą neintensyviai jaučiamas motociklo nestabilumas, o tai rodo, kad, intensyviai stabdant motociklą tik galiniu ratu, padidėja grėsmė eismo saugumui ir motociklas stabdomas neefektyviai. Taip pat pasitvirtino ir tai, kad, galiniam ratui suteikiant daugiau



15 pav. Gautų lėtėjimo verčių skirstymas pagal įgūdžių zonas
Fig. 15. Deceleration values distribution by driver skill areas

stabdymo jėgos, jis pradeda slysti ir kyla pavojus nukristi ant šono. Tai yra daugelio nepatyrusių vairuotojų pagrindinė griuvimo priežastis, nes nepatyrę vairuotojai per smarkiai spaudžia galinį stabdį, dėl ko užsiblokuoja galinis ratas ir motociklas griūna ant šono arba slysta.

Remiantis tyrimo rezultatais ir literatūros analize, 15 pav. pateikta sudaryta charakteringa diagrama, apibūdinanti vairuotojo įgūdžius pagal lėtėjimo pagreičio reikšmes.

Išvados

Remiantis atliktos analizės rezultatais galima teigti, kad motociklo stabdymo efektyvumui įtakos turi pasirinktas motociklo stabdymo režimas. Nustatyta, kad efektyviausia motociklo lėtėjimo pagreičio vertė gauta motociklui stabdant tik priekiniu stabdžiu ir vidutinė vertė yra nuo 7,98 m/s² iki 9,2 m/s². Ji yra apie 2,7 % didesnė už motociklo lėtėjimo pagreičio vertę, motociklą stabdant kompleksiskai (priekiniais ir galiniais ratais). Sustabdymo kelio vertės, stabdant priekiniu, priekiniu ir galiniu ratu, nesiskiria, o stabdant kompleksiskai stabdyti reikalingas atstumas pailgėja 0,3 m, palyginti su sustojimo atstumu stabdant tik priekiniu stabdžiu.

Atliktos analizės duomenys gali būti naudojami eismo įvykio analizei, eismo įvykio eigai atkurti, motociklo važiavimo greičiui nustatyti pagal paliktą stabdymo pėdsako ilgį eismo įvykio eigos kilimo mechanizmui nustatyti.

Literatūra

- Bartlett, W.; Meyers, D. 2014. *Time and distance required for a motorcycle to turn away from an obstacle*. SAE Technical Paper 2014-01-0478.
- Beauchamp, G.; Hessel, D.; Rose, N.; Fenton, S. *et al.* 2009. Determining vehicle steering and braking from Yaw Mark Striations, *SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems* 2(1): 291–307.
- Bianchini, A.; Heitzman, M.; Maghsoodloo, S. 2011. Evaluation of temperature influence on friction measurements, *Journal of Transportation Engineering* 137(9): 640–646. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000271](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000271)
- Brandt, M.; Bachmann, V.; Vogt, A.; Fach, M.; Mayer, K.; Breuer, B.; Hartnagel, H. L. 1998. Highly sensitive AlGaAs/GaAs position sensors for measurement of tyre tread deformation, *Electronics Letters* 34(8): 760. <http://dx.doi.org/10.1049/el:19980520>
- Brookhuisa, K. A.; de Waard, D. 2010. Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures, *Accident Analysis and Prevention* 42(3): 898–903. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.001>
- Burg, H.; Moser, A. 2013. *Handbook of accident reconstruction*. Amazon Digital Services LLC. 1215 p.
- Cesbrona, J.; Anfosso-Le'ed'eb, F.; Duhamelc,D.; Yinc, H. P.; LeHoue'de'cd, D. 2009. Experimental study of tyre/road contact forces in rolling conditions for noise prediction, *Journal of Sound and Vibration* 320: 125–144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsv.2008.07.018>
- Corno, M.; Savaresi, S.; Tanelli M.; Fabbri, L. 2008. On optimal motorcycle braking, *Control Engineering Practice* 16(6): 644–657. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2007.08.001>
- Fu, Ch.; Zhanga, Y.; Biea, Y.; Hub, L. 2016. Comparative analysis of driver's brake perception-reaction time at signalized intersections with and without countdown timer using parametric duration models, *Accident Analysis and Prevention* 95(Part B): 448–460. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.07.010>
- Guzek, M.; Jaškiewicz, M.; Jurecki, R. S.; Lozia, Z.; Zdanowicz, P. 2012. Driver reaction time under emergency breaking a car- research in the driving simulator, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 14(2): 295–301.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1080/10298436.2010.501864>
- Jurecki, R.; Stańczyk, T. L. 2014. Driver reaction time to lateral entering pedestrian in a simulated crash traffic situation, *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour* 27(Part A): 22–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2014.08.006>
- Li, W. L.; Zhou, W.; Gao, L. 2013. Vehicle braking efficiency on-line monitoring and evaluation with MFDD, *Advanced Materials Research* 605–607: 968–971.
- Limpert, R. 2008. *Motorcycle braking dynamics*. PC Brake, Inc.
- Lukoševičienė, O. 2001. *Autoįvykių analizė ir modeliavimas: monografija*. Vilnius: Technika. 244 p.
- Lv, C.; Zhang, J.; Lia, Y.; Yuana, Y. 2016. Directional-stability-aware brake blending control synthesis for over-actuated electric vehicles during straight-line deceleration, *Mechatronics* 38(September): 121–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2015.12.010>
- McGehee, D. V.; Mazzae, E. N.; Baldwin, G. H. S. 2000. Driver reaction time in crash avoidance research: validation of a driving simulator study on a test track, in *Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (IEA 2000)*, San Diego/ USA, 6: III-320–III-323.
- Pečeliūnas, R.; Sokolovskij, E. 2012. *Automobilių dinamika*. Vilnius: Technika. 141 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1307-S>
- Sokolovskij, E.; Prentkovskis, O. 2013. Investigating traffic accidents: the interaction between a motor vehicle and a pedestrian, *Transport* 28(3): 302–312. <http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2013.831771>
- 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.; 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>

RESEARCH OF MOTORCYCLE BRAKING PARAMETERS

L. Levulytė, V. Venckus, R. Jermolajavas, T. Levulis

Abstract

From a technical point of view, in dangerous or emergency situation is very important motorcycle driver reaction and vehicle braking time. Motorcycle deceleration parameters depend not only on the motorcycle brake system, but also on the driving experience. A significant influence on deceleration the motorcycle has aerodynamic parameters, pavement type and condition, as well as the technical condition of the motorcycle, shock absorbers, tire type and their technical condition. This article provides an analysis of the motorcycle longitudinal deceleration, braking modes of the motorcycle on a dry asphalt road surface. Motorcycle stopping – deceleration – acceleration efficiency issue, stopping in different modes. First analyzed the dynamics of a motorcycle deceleration braking only the front wheel, then braked front and rear wheels and complex – then braked the front and rear wheels at the same time. The goal of experimental study is to determine the influence of braking modes intense fir motorcycle braking deceleration when braking on dry road pavement, at three different braking modes, and set the braking path of change. Motorcycle deceleration in the longitudinal direction is an important parameter for analysis traffic accidents, for accident reconstruction process and the examination of motorcyclists technical possibility to avoid an accident.

Keywords: motorcycle, road pavement, deceleration, braking, traces.