

Pagrindinių veiksnių įtaka automobilio stabdymui

Lukas Velykis

Šiaulių valstybinė kolegija, studentas

Šiauliai State University of Applied Sciences, Lithuania; Student

Jonas Skiauteris

Šiaulių valstybinė kolegija, lektorius

Šiauliai State University of Applied Sciences, Lithuania; Lecturer

Anotacija

Straipsnyje analizuojama vairuotojo reakcijos laiko, automobilio judėjimo greičio, kelio dangos ir padangų įtaka automobilio stabdymo ir sustojimo kelio ilgiui. Pateikiamos formulės, skirtos apskaičiuoti kelio ilgiui, kurį automobilis nuvažiuoja nuo to momento, kai vairuotojas pastebi kliūtį iki visiško sustojimo. Lentelėse pateikiamos teoriškai apskaičiuotos reikšmės, iš kurių matoma sustojimo kelio priklausomybė nuo vairuotojo reakcijos laiko, automobilio judėjimo greičio, kelio dangos ir padangų būklės. Paveiksluose pavaizduojami sustojimo kelio kitimo grafikai. Straipsnio pabaigoje pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: sustojimo kelias, reakcijos laikas, automobilio greitis, lėtėjimo pagreitis, kelio danga.

Influence of key factors on vehicle braking

Summary

The article analyzes the influence of the driver's reaction time, the speed of the car's movement, the road surface and tires on the length of the car's stopping and stopping distance. Formulas are provided to calculate the distance the car travels from the moment the driver notices an obstacle to a long stop. In addition, the tables show theoretically calculated values showing the dependence of the stopping distance on the driver's reaction time, the speed of the vehicle, the road surface and tires. The figures show the graphs of the change in the stopping distance. Conclusions are presented at the end of the article.

Keywords: stopping distance, reaction time, vehicle speed, deceleration acceleration, road surface.

Įvadas

Temos aktualumas. Automobilio stabdymas – sudėtingas procesas, kurį lemia daug atsitiktinių veiksnių. Automobilio stabdymui įtaką daro tokie veiksniai kaip vairuotojo reakcija, automobilio greitis, automobilio stabdžių sistema, kelio danga, oro sąlygos, padangų tipas ir kokybė. Šie veiksniai skiriasi savo reikšme bei įtaka galutiniam stabdymo rezultatui (sustojimo kelio ilgiui), todėl svarbu apibrėžti pagrindinių veiksnių įtaką galutinėms stabdymo parametrų reikšmėms [6].

Pastebėjęs kliūtį kelyje, vairuotojas įvertina eismo situaciją, priima sprendimą stabdyti ir perkelia koją ant stabdžių pedalo. Tokiems veiksams atlikti reikalingas vairuotojo reakcijos laikas. Vairuotojo gebėjimas kuo anksčiau numatyti galimą pavojų ir į jį sureaguoti bei imtis automobilio stabdymo veiksmų dažnai nulemia tam tikros avarinės situacijos baigtį. Kiekvienas vairuotojas turėtų žinoti savo reakcijos laiką ir stengtis jį sumažinti, nes gera vairuotojo reakcija yra svarbiausia jo savybė. Vairuotojo reakcijos laikas nepastovus. Jis gali keistis dėl įvairių priežasčių: vairuotojo liguistos būklės arba nuovargio, jo amžiaus, susikaupimo, įtampos, kelio apšvietimo [2].

Stabdžių pavaros vėlavimo laikas iš esmės priklauso nuo automobilio stabdžių pavaros tipo ir jos techninės būklės. Darbiniai stabdžiai turi būti tvarkingi ir suteikti vairuotojui galimybę valdyti automobilio judėjimą saugiai, greitai bei efektyviai, leisti sustoti bet kokioje situacijoje, nevertinant, koks yra greitis, nepriklausomai ar automobilis pakrautas, ar ne. Bet kuriuo atveju automobilio stabdžių sistema turi būti techniškai tvarkinga ir atitikti gamyklos gamintojos reikalavimus [6, 10].

Automobilio greitis yra viena dažniausių eismo įvykio priežasčių. Kuo didesnis greitis stabdant, tuo sunkiau suvaldyti transporto priemonę ir prireiks didesnio atstumo jai sustoti. Dėl nepasirinkto saugaus greičio, esant avarinei situacijai, dažnai nepavyksta laiku sustabdyti transporto priemonės [7].

Kitas svarbus veiksnys, turintis daug įtakos stabdymui, yra kelio važiuojamoji danga, jos tipas ir būklė. Pagrindiniai kelio dangą veikiantys veiksniai yra: kelio dangos konstrukcija, kelio dangos eksploatacinės savybės, kelio geometriniai parametrai, kelyje atlikti darbai, automobilių eismas, automobilių srautas, aplinka, klimatas ir meteorologinės sąlygos [6, 10].

Padangos yra vienintelis automobilio elementas, kuris liečiasi su keliu. Nuo padangų rūšies, kokybės ir būklės priklauso automobilio važiavimo saugumas, patogumas ir ekonomiškumas. Automobilio padangos turi užtikrinti reikiamą sukibimą su kelio danga, priimti visas jėgas, kurios veikia ją, susilpninti jas ir perduoti tas jėgas kitiems pakabos elementams jau sumažintas. Pastovus automobilio rato padangos sukibimas su kelio danga įmanomas tik idealiais atvejais, kai kelio danga yra nesusidėvėjusi ir pakankamai šiurkšti [5].

Vienas pagrindinių padangos sukibimo su kelio paviršiumi rodiklių laikomas protektoriaus praslydimas. Nuo išilginio praslydimo priklauso sukibimo koeficiento reikšmės. Didėjant padangos praslydimui, jos protektoriaus sukibimo su kelio paviršiumi efektyvumas mažėja. Esant tam pačiam greičiui, bet skirtingoms padangoms ir skirtingam protektoriaus gyliui, stabdymo proceso charakteristikos skiriasi. Be to, padangos turi būti ne senesnės nei šešerių metų, nes dėl aplinkos poveikio guma sukieta, tampa porėta, pablogėja šoninis sukibimas ir pailgėja stabdymo kelias.

Išanalizavus mokslinius šaltinius [2, 3, 4, 6, 8, 9, 10], susijusius su automobilių stabdymu, pastebėta, kad autoriai panašiai vertina veiksnius, kurie lemia automobilio sustojimo ar stabdymo kelio ilgį. Autoriai tyrimo metu akcentuoja padangų poveikį stabdymo kelio ilgiui – vertina padangų protektoriaus įtaką, padangų stabdymą (slydimą), pačių padangų matmenų įtaką, užsiblokavusių ratų įtaką, vairuotojų veiksmų įtaką, kelio dangos įtaką ir pan. Autoriai yra nagrinėję automobilio stabdymo kelio ilgį, vertinant, ar transporto priemonėje yra stabdžių antiblokavimo sistema (ABS), bei įvertinant įvairius kriterijus, tokius kaip stabdymo pagreitis, efektyvumas, transporto priemonės stabilumas.

Šaltiniuose pateikti eksperimentiniai tyrimai parodo bei paaiškina skirtingus veiksnius, nulemiančius automobilio stabdymo kelią. Bandymuose nustatyta, kaip stabdymo kelio ilgį veikia stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) ir kaip naujos elektroninės stabdžių sistemos paskirsto stabdymo jėgas į automobilio ratus, atsižvelgus į automobilio padangas ir padangų sukibimą su kelio danga. Tyrimais nustatyti pagrindiniai stabdymo keliui įtakos turintys veiksniai: vairuotojo reakcija ir gebėjimai; automobilio judėjimo greitis; stabdžių ir pakabos konstrukcija; padangos tipas ir būklė; kelio danga; meteorologinės sąlygos.

Apibendrinus autorių tyrimų rezultatus galima teigti, jog transporto priemonių sustojimo ar stabdymo kelio ilgiui nustatyti gali būti taikomi įvairūs metodai ir nagrinėjama daug veiksnių.

Tyrimo problema. Techniniu požiūriu vienas iš labiausiai naudojamų transporto priemonės valdymo būdų vengiant pavojingos arba avarinės situacijos yra stabdymas, todėl nuspręsta įvertinti teorines automobilio sustojimo kelio ilgio reikšmes ir jų priklausomybę nuo vairuotojo psichomotorinės reakcijos laiko, automobilio judėjimo greičio, kelio dangos tipo ir sąlygų bei padangų protektoriaus gylio. Žinant aukščiau išvardintų veiksnių įtaką automobilio sustojimo kelio ilgiui ir pasirinkus saugų greitį, galima išvengti daugelio eismo įvykių.

Tyrimo objektas: automobilio stabdymas.

Tyrimo tikslas: nustatyti pagrindinių veiksnių įtaką automobilio stabdymui.

Tyrimo uždaviniai: 1. Nustatyti vairuotojo reakcijos laiko įtaką sustojimo kelio ilgiui; 2. Nustatyti automobilio judėjimo greičio įtaką sustojimo kelio ilgiui; 3. Nustatyti kelio dangos įtaką stabdymo kelio ilgiui; 4. Nustatyti padangų protektoriaus gylio įtaką stabdymo kelio ilgiui.

Tyrimo metodai: mokslo ir informacinių šaltinių analizė, įvairių veiksnių įtakos automobilio stabdymui analizė, matematinis sustojimo kelio modeliavimas, gautų skaičiavimų rezultatų palyginimas, analizavimas ir vertinimas.

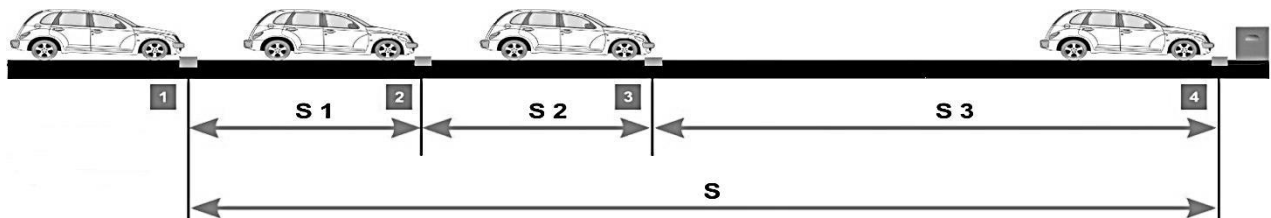
Automobilio stabdymo teorinė analizė

Stabdymo dinamika nusako automobilio gebėjimą staiga sumažinti judėjimo greitį ir jo galimybes staigiai stabdyti. Efektyvi stabdžių sistema vairuotojui suteikia galimybę patikimai valdyti dideliu greičiu važiuojantį automobilį ir, esant būtinybei, sustabdyti jį trumpame kelio ruože. Šiuolaikiniai automobiliai turi keturias stabdžių sistemas: darbinis, atsarginis, stovėjimo ir pagalbinis stabdžius. Dažniausiai eismo įvykio metu ar susidarius pavojingai situacijai (pasirodžius netikėtai kliūčiai) automobilis stabdomas darbiniais stabdžiais. Atskiri judėjimo režimai – tokie, kaip automobilio stabdymas varikliu arba judėjimas veikiant tik inercijos jėgai, eismo įvykiuose pasitaiko gana retai. Paprastai tokiu būdu stabdoma prieš ar po ekstremalaus stabdymo ir neilgai, greičio pokytis būna mažas. Todėl pagrindinis dėmesys skiriamas ekstremaliai stabdymui darbiniais stabdžiais [4].

Stabdymo kelias – tai atstumas, kurį transporto priemonė nuvažiuoja nuo to momento, kai vairuotojas paspaudžia stabdžių pedalą, iki visiško transporto priemonės sustojimo. Stabdant transporto priemonę turi būti užtikrinamas kuo trumpesnis stabdymo kelias arba didžiausias stabdymo lėtėjimas. Stabdymo metu automobilis turi neprarasti savo dinaminį savybių ir būti stabilus. Kuo intensyviau galima stabdyti, tuo didesnis saugus greitis, vadinasi, efektyvesnis automobilio panaudojimas.

Pagrindiniai stabdymo kelią lemiantys veiksniai: važiuojamosios kelio dangos kokybė ir padangų savybės; trintis tarp stabdžių trinkelėlių ir stabdžių diskų ar būgnų: jei trinties koeficientas sumažėja (pvz., nevienodai nudilus stabdžių trinkelėms), automatiškai galima perduoti tik žymiai mažesnes stabdymo jėgas ir stabdymo kelias pailgėja; stabdžių fedingas (stabdžių silpnėjimas) – stabdžių efektyvumas mažėja dėl stabdžių diskų ar būgnų šiluminio išsiplėtimo [6].

Sustojimo kelias (1 pav.) – tai atstumas (S), kurį nuvažiuoja transporto priemonė nuo to momento, kai vairuotojas pastebi kliūtį ir iki automobilis visiškai sustoja. Tai suma atstumų, kuriuos automobilis nuvažiuoja, kol sureaguoja vairuotojas ir paspaudžia stabdžio pedalą (S_1), kol suveikia stabdžių sistema (S_2) ir kol vyksta stabdymas iki visiško automobilio sustojimo (S_3).



1 pav. Automobilio sustojimo kelias

Sustojimo kelio ilgis priklauso nuo kelių dedamųjų: vairuotojo reakcijos laiko, automobilio judėjimo greičio, kelio dangos, kelio sąlygų, padangų tipo ir būklės ir kt. Svarbiausia šios sistemos dalis – vairuotojas, nes būtent nuo jo priklauso, koku greičiu automobilis juda ir kaip greitai pastebėjus kliūtį automobilis pradės lėtėti.

Sustojimo kelias apskaičiuojamas įvertinus vairuotojo reakcijos laiką, stabdžių sistemos suveikimo laiką, lėtėjimo pagreičio augimo laiką bei automobilio stabdymo sąlygas: pradinį automobilio greitį ir stabdymo lėtėjimo pagreitį [6, 12]:

$$S = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot a_x} \quad (1)$$

čia:

- t_1 – vairuotojo reakcijos laikas, s;
- t_2 – stabdžių sistemos vėlavimo laikas, s;
- t_3 – lėtėjimo pagreičio didėjimo (augimo) laikas, m/s^2 ;
- V_a – automobilio greitis, km/h ;
- a_x – nusistovėjęs stabdymo lėtėjimo pagreitis, m/s^2 .

Reakcijos laikas – tai laikas nuo kliūties pastebėjimo iki veiksmo pradžios. Reakcijos procesą galima suskirstyti į tris fazes: situacijos įvertinimas, sprendimo priėmimas ir atitinkamų veiksmų atlikimas. Vairuotojo reakcijos laikas vairuojant matuojamas per trumpą laiką nuo pavojaus suvokimo iki jo pašalinimo veiksmų pradžios. Reakcijos laikas priklauso nuo reakcijos tipo – sudėtingos, paprastos ir pavojingoje zonoje [2].

Vairuotojo veikloje vyrauja sudėtingos reakcijos. Sudėtinga sensomotorinė reakcija – tai atsakas tam tikru iš anksto žinomu veiksmu į keletą netikėtai atsiradusių, taip pat ir iš anksto žinomų signalų. Nustatyti konkrečią vairuotojo reakcijos laiko reikšmę pavojingoje situacijoje eismo įvykio metu praktiškai neįmanoma, todėl, atliekant ekspertizes ar matematinį modeliavimą, pasirenkama vidutinė statistinė reikšmė. Vairuotojo reakcijos laiko trukmės reikšmė gali skirtis, nes vienu metu gali pasireikšti daug jas didinančių vairuotojo psichofiziologinių, eismo aplinkos, eismo pobūdžio ir kt. veiksmų [2, 4].

Vairuotojo reakcijos laikas t_1 priklauso nuo jo lyties, amžiaus, kvalifikacijos (įgūdžių ir gebėjimų vairuoti automobilį), savijautos, sveikatos būklės ir pan. Kritinėse situacijose lemiamą įtaką turi greita vairuotojo reakcija. Kuo anksčiau pradedama stabdyti, tuo anksčiau sustojama, trumpesnis sustojimo kelias [7]. Tyrimais nustatyta, kad trumpiausias vairuotojo reakcijos laikas yra 0,3 s, o ilgiausias – 1,4 s. Atskirais atvejais vairuotojo reakcijos laikas būna netgi iki 2 s. Atkuriant eismo įvykius, skaičiavimams dažniausiai imama vidutinė statistinė vairuotojo reakcijos laiko reikšmė $t_1 = 0,8$ s. [8].

Stabdžių pavaros vėlavimo laikas t_2 daugiausiai priklauso nuo stabdžių pavaros tipo ir jos techninės būklės (1 lentelė). Per šį laiką panaikinami tarpai stabdžių sistemoje (pvz., tarpai tarp trinkelės antdėklo ir stabdžių būgno ar disko). Automobilių techninių ekspertizių skaičiuotėse laiko reikšmės pasirenkamos vienodos, priklausomai nuo automobilio tipo. Stabdžių pavaros vėlavimo laikas nepriklauso nuo kelio sąlygų, nepriklauso ir nuo automobilio pakrovos [4].

Lėtėjimo pagreičio augimo laikas t_3 priklauso ne tik nuo stabdžių sistemos tipo, bet ir nuo kelio dangos būklės bei nuo automobilio masės (žr. 1 lentelę). Esant hidraulinei stabdžių sistemai jis yra trumpesnis, lyginant su pneumatine sistema. Be to, didėja, didėjant sukibimo koeficientui ir automobilio masei. Naujausių automobilių lėtėjimo pagreičio augimo laiko reikšmės siekia apie 0,1–0,2 s [8].

1 lentelė

Stabdomų automobilių stabdžių pavarų vėlavimo ir lėtėjimo pagreičių augimo laikų reikšmės

Automobilio kategorija (stabdžių sistema – hidraulinė)	Stabdžių pavaros vėlavimo laikas t_2 , s.	Lėtėjimo pagreičio augimo laikas t_3 , s. (be apkrovos – tik vairuotojas)	
		Sausa kelio danga	Šlapia kelio danga
Lengvieji M1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,4	0,1 - 0,3
Autobusai M2	0,1 - 0,2	0,3 - 0,5	0,2 - 0,4
Krovininiai N1	0,2 - 0,3	0,2 - 0,4	0,1 - 0,3

Šaltinis: [8]

Atliekant matematinius modeliavimus, stabdžių pavaros vėlavimo laiko t_2 reikšmė imama 0,2 s. Tai priklauso nuo transporto priemonės tipo, nors kai kuriais atvejais šis laikas, esant šiuolaikinėms stabdžių sistemoms, būna net dukart mažesnis.

Lėtėjimo pagreičio augimo laiko t_3 reikšmė stabdžių sistemai su hidrauline pvara skaičiavimuose imama 0,3 s. Automobiliams su pneumatine stabdžių sistema lėtėjimo pagreičio augimo laiko t_3 reikšmė yra didesnė [6].

Nusistovėjęs lėtėjimo pagreitis a_x išilgine kryptimi, kai visiškai išnaudojamas visų ratų padangų sukibimas su kelio danga, teoriškai gali būti apskaičiuotas pagal formulę [8]:

$$a_x = \varphi \cdot g \quad (2)$$

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

Taip apskaičiuotos stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės atitinka fizikines rato ir kelio trinties savybes (tai yra idealus stabdymo metu pasiekiamas dydis). Kadangi automobilis techniniu požiūriu nėra idealiai tobulas, stabdymo efektyvumas yra šiek tiek mažesnis. Europos Sąjungos direktyva 71/320 numato, kad šis automobilio kriterijus turi atitikti sąlygą:

$$a_x \geq [0,1 + 0,85(\varphi_{\max} - 0,2)] \cdot g \quad (3)$$

Sukibimo koeficientas yra pagrindinis parametras, prognozuojant automobilio elgseną stabdymo ir kitų kritinių situacijų metu bei projektuojant aktyvaus saugumo sistemas. Kelio dangos ir padangų kontakto savybės nulemia ir vairuotojo elgseną kritinėje situacijoje bei jos pasekmes.

Vienas pagrindinių padangos sukibimo su kelio paviršiumi rodiklių laikomas protektoriaus praslydimas. Nuo išilginio praslydimo priklauso sukibimo koeficiento reikšmės. Didėjant padangos praslydimui, jos protektoriaus sukibimo su kelio paviršiumi efektyvumas mažėja [1].

Didelę įtaką padangų sukibimo su kelio danga koeficiento reikšmei turi meteorologinės sąlygos, transporto priemonės judėjimo greitis, padangų protektoriaus būklė, slėgis padangose, kelio nelygumai ir kiti atsitiktiniai veiksniai. Sukibimo koeficiento reikšmę svarbu priimti ne vidutinę, bet kaip galima labiau atsižvelgti į kelio dangą ir sąlygas. Jeigu būtina tiksliai nustatyti sukibimo koeficiento reikšmę, rekomenduojama atlikti eksperimentinį matavimą įvykio vietoje, nors tai yra problemiška (eismo, meteorologinės sąlygos ir kt.) ir dažniausiai netikslinga. Daug paprasčiau nustatyti transporto priemonės lėtėjimą, kuris tiksliau apibūdina automobilio stabdymo efektyvumą [8, 11].

Eismo įvykių techninės ekspertizės žinynuose ir mokslinėje literatūroje automobilių dinamikos tematika pateikiama padangų sukibimo su sausu asfaltu reikšmė $\varphi = 0,8$. Ši sukibimo koeficiento reikšmė gali būti taikoma tik senesnės kartos padangoms. Šiuolaikinių kokybiškų padangų maksimalus sukibimo su kelio danga koeficientas, stabdant ant sausos asfalto dangos, gali išaugti iki 1,0–1,2. Todėl senesnių automobilių su šiuolaikinėmis padangomis stabdymo lėtėjimo pagreitis, esant sausai asfalto dangai, gali siekti 7,35 – 9,3 m/s², o naujų automobilių 10–11 m/s² [4].

Sukibimo koeficiento φ reikšmės priimtose atsižvelgiant į kelio dangos tipą ir būklę. Lengvųjų automobilių ratų padangų sukibimo su kelio danga koeficientų ir stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės pateiktos 2 lentelėje [11].

2 lentelė

Sukibimo koeficiento ir stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės

Kelio danga	Padangų sukibimo su kelio danga koeficientai φ	Stabdymo lėtėjimo pagreitis a_x , m/s ²
Sausas betonas	0,815	8,0
Sausas asfaltas	0,76	7,5
Sausas akmenų grindinys	0,71	7,0
Sausas žvyras	0,65	6,4
Drėgnas asfaltas	0,61	6,0
Drėgnas akmenų grindinys	0,59	5,8
Šlapias asfaltas	0,56	5,5
Sausas gruntas	0,54	5,3
Šlapias akmenų grindinys	0,51	5,0
Šlapias žvyras	0,41	4,0
Smėlio danga	0,29	2,8
Sausas suspaustas sniegas	0,255	2,5
Sausas ledas	0,183	1,8
Šlapias ledas	0,10	1,0

Šaltinis: [11]

Šiuolaikiniai automobiliai turi įmontuotas stabdžių antiblokavimo sistemas (ABS) ir tikrasis jų stabdymo kelias labai panašus į apskaičiuotą teoriškai, kuomet priimamos maksimalios sukibimo koeficiento reikšmės [4,10]. ABS nebūtinai sumažina stabdymo kelią, bet, kadangi ratai neužsiblokuoja, galima ir toliau valdyti judėjimo kryptį [7].

Nagrinėjant mokslinę medžiagą [3, 4, 6, 8, 9, 10] pastebėta, kad tyrimų metu apskaičiuojant ar nustatant automobilio stabdymo parametrus, tenka priimti visą eilę prielaidų ir supaprastinimų, tiesiogiai veikiančių galutinio rezultato patikimumą.

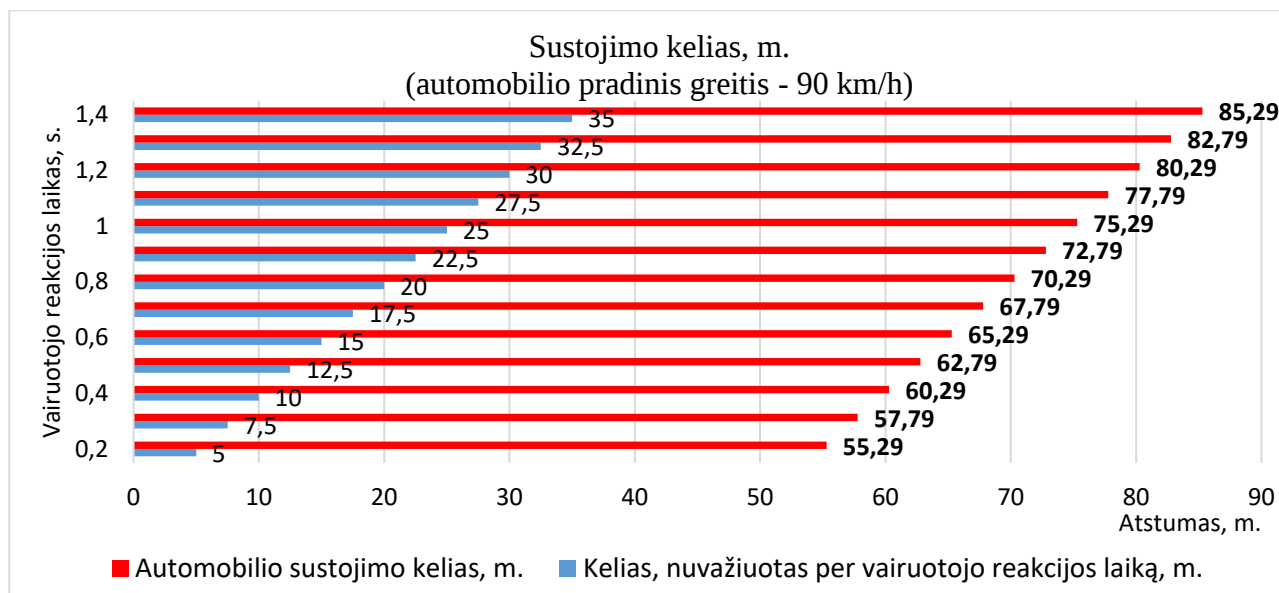
Apibendrinus aprašytą metodiką, tampa akivaizdu, kad visi lygties (1) nariai nėra pastovūs – kinta tam tikrose ribose, kurių reikšmės, esant konkrečiai eismo situacijai, reikia nustatyti. Be to, šioje lygtyje yra įvesti supaprastinimai (priimama, kad per laiką automobilis juda pastoviai lėtėdamas).

Parenkant matematinius metodus, labai svarbu paties metodo tikslumas, kurį nemaža dalimi lemia pradinės sąlygos – pradiniai duomenys, jų patikimumas bei paties metodo ypatumai.

Toliau, skaičiuojant automobilio sustojimo parametrus, panaudoti pradiniai duomenys: vairuotojo reakcijos laikas, pradinis automobilio greitis, kelio danga, automobilio padangos protektoriaus gylis. Automobilio sustojimo kelias intensyvaus stabdymo momentu skaičiuojamas apytiksliai, priimant, kad per stabdymo laiką automobilis juda lėtėdamas pastoviu pagreičiu.

Teorinis automobilio sustojimo kelio palyginimas priklausomai nuo vairuotojo reakcijos laiko

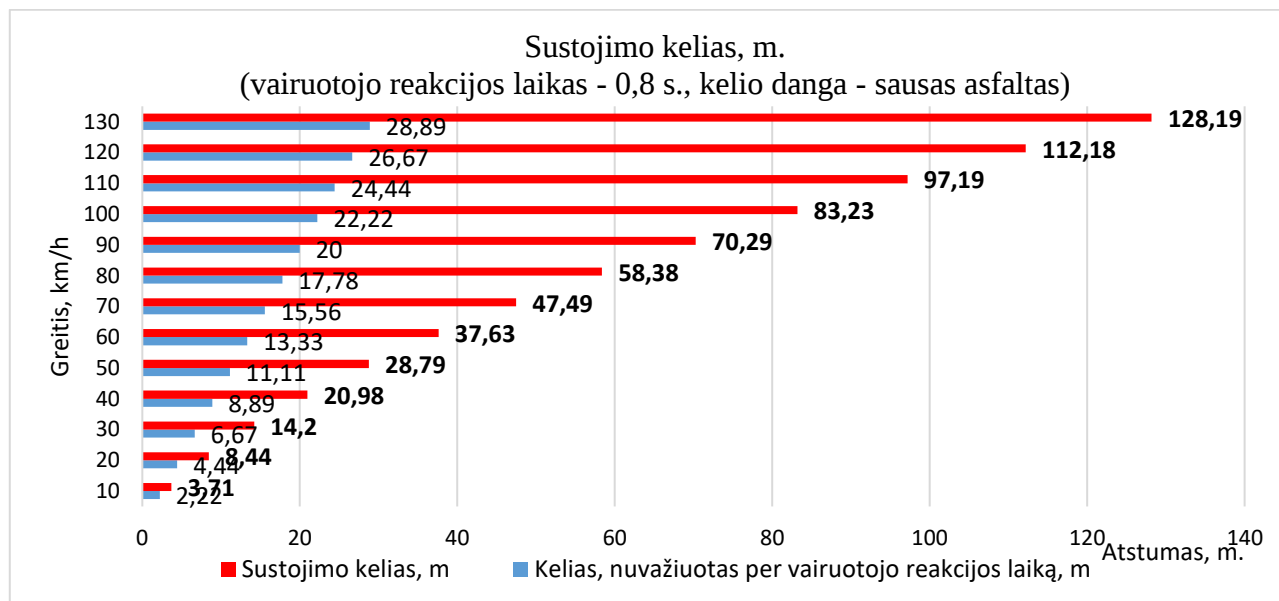
Automobilio pradinis greitis $V_a = 90 \text{ km/h}$, kelio danga – sausas asfaltas, sukibimo koeficientas $\varphi = 0,76$, lėtėjimo pagreičio augimo laikas $t_3 = 0,3 \text{ s}$, o stabdymo lėtėjimo pagreitis $a_x = 7,5 \text{ m/s}^2$. Pagal anksčiau minėtas formules atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 2 paveiksle.



2 pav. Grafinis sustojimo kelio ilgių palyginimas, esant skirtingam vairuotojo reakcijos laikui

Teorinis sustojimo kelio palyginimas priklausomai nuo automobilio judėjimo greičio

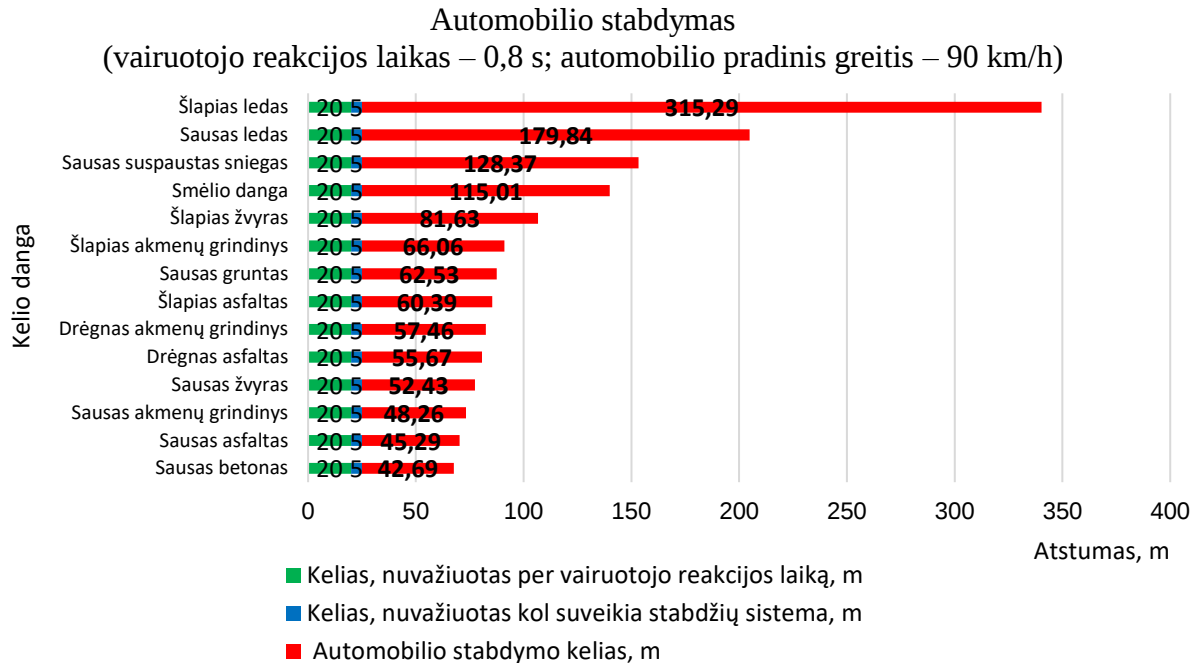
Priimta, kad vairuotojo reakcijos laikas $t_1 = 0,8 \text{ s}$, kelio danga – sausas asfaltas, sukibimo koeficientas $\varphi = 0,76$, o stabdymo lėtėjimo pagreitis $a_x = 7,5 \text{ m/s}^2$. Pagal anksčiau minėtas formules atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 3 paveiksle.



3 pav. Grafinis sustojimo kelio ilgių palyginimas, esant skirtingam automobilio judėjimo greičiui

Teorinis automobilio stabdymo kelio palyginimas priklausomai nuo kelio dangos

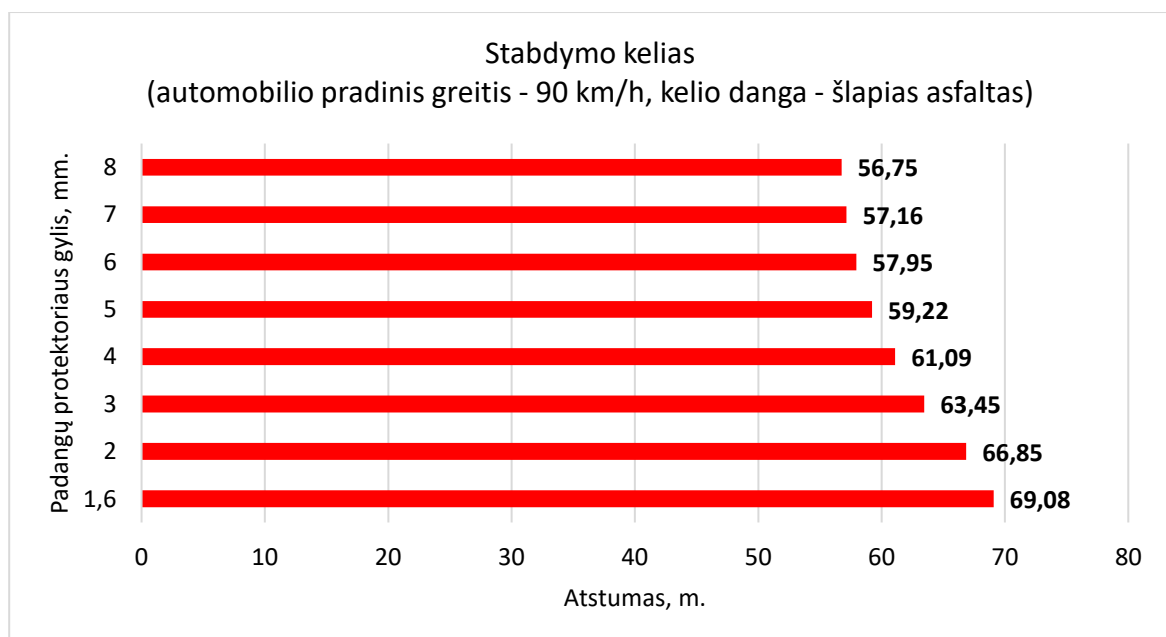
Priimta, kad automobilio pradinis greitis $V_a = 90 \text{ km/h}$; vairuotojo reakcijos laikas $t_l = 0,8 \text{ s}$. Skaičiuojant analiziniu būdu lengvojo automobilio stabdymo kelią, priklausomai nuo kelio dangos ir jos būklės, naudojamos 1 lentelėje pateiktos ratų padangų sukibimo su kelio danga koeficientų ir stabdymo lėtėjimo pagreičio reikšmės. Pagal anksčiau minėtas formules atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 4 paveiksle.



4 pav. Grafinis sustojimo kelio ilgių palyginimas, esant skirtingai kelio dangai

Teorinis stabdymo kelio palyginimas priklausomai nuo padangų protektoriaus gylis

Priimta, kad automobilio pradinis greitis $V_a = 90 \text{ km/h}$, kelio danga – šlapias asfaltas. Padangų ir kelio sukibimo koeficientas $\varphi = 0,56$ (dėvintis padangoms koeficientas φ atitinkamai mažėja). Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 5 paveiksle.



5 pav. Grafinis stabdymo kelio palyginimas, esant skirtingam padangų protektoriaus gyliui

Išvados

Vairuotojo reakcijos laikas turi daug įtakos automobilio sustojimo keliui. Kuo greitesnė vairuotojo reakcija, tuo trumpesnis automobilio sustojimo kelias. Vairuotojo patirtis taip pat turi įtakos saugiam ir greitam automobilio stabdymui.

Automobilio stabdymo kelias tiesiogiai priklauso nuo automobilio judėjimo greičio. Automobilio greitį padidinus du kartus, stabdymo kelias pailgėja keturis kartus.

Kelio danga ir meteorologinės sąlygos turi įtakos automobilio stabdymui. Žvyro ar smėlio kelio danga neturi tokio didelio sukibimo koeficiento kaip asfaltas. Šlapia, apsnigusi ar apledijusi kelio danga sumažina sukibimo koeficientą lyginant su sausu asfaltu ir proporcingai padidina stabdymo kelią.

Dėvintis padangoms, dėl protektoriaus gylio sumažėjimo ir išilginio praslydimo, prastėja sukibimas su kelio danga, atitinkamai pailgėja stabdymo kelias. Be to, automobilio stabdymui turi įtakos padangų tipas, protektoriaus raštas, padangų eksploatavimo trukmė, oro slėgis padangose.

Pateikti skaičiavimai tėra tik teoriniai, todėl vairuotojas turi vertinti situaciją ir pasirinkti saugų greitį, atsižvelgdamas į savo psichofiziologines savybes, kelio dangą, meteorologines sąlygas, padangų būklę ir kitus veiksnius, galinčius turėti įtakos eismo saugumui.

Literatūra

1. Astrauskas, D. Automobilio padangų įtaka stabdymo efektyvumui. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos = Engineering and educational technologies*. Kaunas: Kauno technikos kolegija. 2015, Nr. 2, 232-237 psl.
2. Bogdanovičius, Z., Pikūnas, A., Pečeliūnas, R. Eismo dalyvių psichofiziologija: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 2007.
3. Fach, M. Lokale Effekte der Reibung zwischen Phw-Reifen und Fahrbahn: Dissertation. TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte, VDI Reihe 23, NR. 411, 2012.
4. Kudarauskas, N. Atsitiktinių dydžių, sąlygojančių automobilio stabdymo parametrus, įvertinimas ir analizė. Magistro darbas. VGTU. 2005.
5. Levulytė, L. Automobilio padangos ir kelio dangos sąveikos įtaka automobilio lėtėjimo parametrui. *Konferencijos „Transporto inžinerija ir vadyba“ straipsnių rinkinys*, 2014. 118-124 psl.
6. Markauskas, D. Automobilio stabdymo kelio ilgio tyrimas. Magistro darbas. KTU. 2018.
7. Milius, V. Vairuotojo vadovas: eksperto patarimai naujokams ir profesionalams, kaip vairuoti patikimai ir saugiai. Vilnius: Sofoklis. 2013.
8. Nagurnas, S. Stabdomų lengvųjų automobilių judėjimo parametrų tyrimas. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“. 2005.
9. Ružinskas, A. Automobilio rato sąveikos su sniegu ir ledu padengta kelio danga modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“, 2018.
10. Sokolovskij, E. Experimental investigation of the braking process of automobiles. *Transport*, 20:3, 2005. 91-95 p.
11. Umaras, Vyt., Umaras, Val., Umaras, T. Saugaus automobilių eksploatavimo uždavinynas: mokomoji knyga. Vilnius: Litera. 2019.
12. Žukas, A., Zaranka J., Kemzuraite, K. Automobilio manevravimo ir stabdymo palyginimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis: Statyba, transportas, aviacinės technologijos = Science - Future of Lithuania: Civil and Transport Engineering, Aviation Technologies*. Vilnius: Technika. 2010, T. 2, Nr. 6, 90-13 psl.