



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Edvinas Juodka

EISMO ĮVYKIO – DVIRATININKO PARTRENKIMAS – TYRIMAS

**INVESTIGATION OF A TRAFFIC ACCIDENT – RUNNING ON
BICYCLIST**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Edvinas Juodka

EISMO ĮVYKIO – DVIRATININKO PARTRENKIMAS – TYRIMAS

**INVESTIGATION OF A TRAFFIC ACCIDENT – RUNNING ON
BICYCLIST**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

____prof. dr. Edgar Sokolovskij____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantė ____lek. Angelika Petrėtienė____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2020-12-16

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2020-12-09 Nr. ...07.....

Vilnius

Studentui (ei) Edvinui Juodkai.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Eismo įvykio – dviratininko partrenkimas – tyrimas.....

patvirtinta 2020 m. lapkričio mėn. 05 d. dekanu potvarkiu Nr. 320ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2022 m. gegužės mėn. 13 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Įvadas. 1. Literatūros šaltinių apžvalga. 2. Eismo įvykio – dviratininko partrenkimas – analizė. Dviratininko partrenkimo proceso ir jo judėjimo po partrenkimo analizė. Dviratininko modelis, modeliuojant jo partrenkimą. 3. Tyrimų/modeliavimo atlikimo metodika. 4. Tyrimų/modeliavimo rezultatai ir jų analizė. 5. Išvados. Literatūra.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

dr. prof. Edgar Sokolovskij

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Edvinas Juodka

(Vardas, pavardė)

2020-12-09

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Transporto inžinerijos fakultetas Automobilių inžinerijos katedra	ISBN ISSN Egz. sk. Data-.....-.....
Antrosios pakopos studijų Transporto inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Eismo įvykio - dviratininko partrenkimas - tyrimas Autorius Edvinas Juodka Vadovas Edgar Sokolovskij	
Kalba: lietuvių	
Anotacija Baigiamajame magistro darbe yra tiriamas eismo įvykis – dviratininko partrenkimas. Teorinėje dalyje yra apžvelgiami su dviratininkų partrenkimais susiję eismo įvykių tyrimai, taip pat išnagrinėti judančio ir partrenkiamo dviratininko matematiniai modeliai. Tiriomojoje dalyje yra aprašoma eksperimento atlikimo tvarka ir sudarytos automobilio greičio priklausomybės nuo dviratininko nubloškimo atstumo ir kampo. Išvadose ir pasiūlymuose aptariamas automobilio greičio tikslingumo vertinimas pagal dviratininko ir dviračio nubloškimo parametrus. Darbą sudaro 9 dalys: įvadas, literatūros šaltinių analizė, dviratininkų modeliai, dviratininko judėjimo (nubloškimo) po partrenkimo trajektorijos vertinimas, dviratininko partrenkimo parametrų priklausomybė nuo automobilio ir dviratininko kontakto vietų, eksperimentiniai tyrimai, išvados, literatūros sąrašas, priedai. Darbo apimtis – 62 p. teksto be priedų, 56 iliustracijos, 10 lentelių, 32 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.	
Prasminiai žodžiai: Dviratis, dviratininkas, nubloškimas, atstumas, kampas, automobilis, transporto priemonė, modelis, jėga, impulsas, smūgis, greitis, simuliacija, slydimas, atsimušimas, kontaktas, judėjimas, kryptis.	

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Transport Engineering Department of Automobile Engineering	ISBN _____ ISSN _____ Copies No. Date-.....-.....
Master Degree Studies Transport Engineering study programme Master Graduation Thesis	
Title	Investigation of a traffic accident - running on bicyclist
Author	Edvinas Juodka
Academic supervisor	Edgar Sokolovskij
Thesis language: Lithuanian	
Annotation In the final master's thesis, a traffic accident is investigated - a cyclist's collision. The theoretical part reviews the case studies related to cycling crashes, as well as the mathematical models of a moving and crashing cyclist. In the research part, the order of the experiment is described and the dependences of the car speed on the cycling distance and angle of the cyclist are formed. The conclusions and suggestions discuss the assessment of the expediency of speed according to the parameters of cycling and cycling. The work consists of 9 parts: introduction, analysis of literature sources, cyclists' models, evaluation of cyclist's movement (crashing) trajectory after impact, dependence of cyclist's impact parameters on car and cyclist's contact points, experimental research, conclusions, references, appendices. Thesis consists of: 62 p. text without appendixes, 56 pictures, 10 tables, 32 bibliographical entries. Work attachments are included separately.	
Keywords: Bicycle, cyclist, fall, distance, angle, car, vehicle, model, force, momentum, impact, speed, simulation, slip, bounce, contact, movement, direction.	

Turinys

Paveikslų sąrašas	7
Lentelių sąrašas.....	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros šaltinių analizė.....	11
1.1. Eismo įvykių statistika	11
1.2. Eismo įvykių priežastys ir rodikliai	11
1.3. Eismo įvykių scenarijai su dviratėmis transporto priemonėmis	12
1.4. Dviratininko – automobilio eismo įvykių rekonstrukcijos kinematiniai dėsningumai	13
1.5. Eismo dalyvių sužalojimai.....	14
1.6. Dviratininkų – automobilių eismo įvykiai Suomijoje.....	15
1.7. Dviratininkų – automobilių eismo įvykių statistika Švedijoje, remiantis draudimo bendrovių duomenimis.....	19
1.8. Eismo įvykių – dviratininko partrenkimas – rekonstrukcijos pavyzdys.....	22
2. Dviratininkų modeliai.....	25
2.1. Judančio dviratininko, prieš partrenkimą, modelis	25
2.2. Partrenkiamo dviratininko modelis.....	28
3. Dviratininko judėjimo (nubloškimo) po partrenkimo trajektorijos vertinimas	32
4. Dviratininko partrenkimo parametrų priklausomybė nuo automobilio ir dviratininko kontakto vietų	37
5. Eksperimentiniai tyrimai	41
5.1. Tyrimo atlikimo metodika	41
5.2. Tyrimų rezultatai.....	44
5.3. Tyrimų rezultatų apibendrinimas ir analizė	55
Išvados.....	58
Literatūros sąrašas	60
Priedai.....	63

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Transporto priemonės judėjimo krypties kirtimas	17
1.2 pav. Susidūrimas atliekant manevrą	18
1.3 pav. Tiesiai judančių transporto priemonių susidūrimas	18
1.4 pav. Tiesiai judančių transporto priemonių susidūrimas	18
1.5 pav. Eismo įvykių procentinis pasiskirstymas	20
1.6 pav. Kūno dalių sužeidimų rizika	20
1.7 pav. Dviratininko sužalojimų vietos	22
1.8 pav. Automobilio modelis	23
1.9 pav. Dviračio modelis	23
1.10 pav. Kūno sužalojimai	24
1.11 pav. Kūno padėtys prieš galvos kontaktą su automobiliu	24
1.12 pav. Galvos padėtis ir įtempiai	25
2.1 pav. Sistemos greičiai ir masės	26
2.2 pav. Kinematinė schema	27
2.3 pav. Tarp dviratininko, dviračio ir automobilio susidariusios jėgos	28
2.4 pav. Dviratininką veikiančios jėgos	28
2.5 pav. Antrinio smūgio schema	30
3.1 pav. Pėsčiojo partrenkimo trajektorijos schema	32
3.2 pav. Greičio priklausomybė nuo nubloškimo atstumo	34
3.3 pav. Automobilio greičio priklausomybė nuo dviratininko nubloškimo trajektorijos	35
3.4 pav. Transporto priemonės tipo priklausomybė nuo dviratininko nubloškimo atstumo	36
3.5 pav. Dviratininko greičio priklausomybė nuo jo nubloškimo atstumo	36
4.1 pav. Eismo įvykio parametrai	37
4.2 pav. WAD atstumai ant automobilio modelio	38
4.3 pav. Smūgio greičio priklausomybė nuo WAD parametro reikšmių	39
4.4 pav. WAD parametro reikšmių priklausomybė nuo pėsčiojo judėjimo ir smūgio greičio	40
5.1 pav. Automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 30°	42
5.2 pav. Automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 90°	42
5.3 pav. Automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 150°	43
5.4 pav. Dviračio nubloškimo atstumai ($\alpha = 0^\circ$)	44
5.5 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai ($\alpha = 0^\circ$)	44
5.6 pav. Dviratininkas velkamas automobilio	45
5.7 pav. Dviratis palindęs po automobiliu	45
5.8 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 0^\circ$)	46

5.9 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 0^\circ$).....	46
5.10 pav. Dviratininko sukimasis ore apie ašį, statmeną automobilio judėjimo kryptį.....	46
5.11 pav. Dviratininkas atsimuša į priekinį automobilio stiklą.....	47
5.12 pav. Dviračio nubloškimo atstumai ($\alpha = 30^\circ$).....	47
5.13 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai ($\alpha = 30^\circ$).....	47
5.14 pav. Dviratininkas kontaktuoja su frontoline automobilio dalimi ties grotelėmis ir variklio dangčiu.....	48
5.15 pav. Dviratininkas bloškiamas po atsimušimo į priekinį automobilio stiklą.....	48
5.16 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 30^\circ$).....	49
5.17 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 30^\circ$).....	49
5.18 pav. Automobilio kontaktas su dviračio galiniu ratu ir dviratininko kairiuoju šonu.....	50
5.19 pav. Automobilio kontaktas tik su dviračio galiniu ratu.....	50
5.20 pav. Dviračio nubloškimo atstumai ($\alpha = 60^\circ$).....	51
5.21 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai ($\alpha = 60^\circ$).....	51
5.22 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 60^\circ$).....	52
5.23 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 60^\circ$).....	52
5.24 pav. Automobilio kontaktas su dviračio kairiuoju šonu.....	52
5.25 pav. Dviračio nubloškimo atstumai ($\alpha = 90^\circ$).....	53
5.26 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai ($\alpha = 90^\circ$).....	53
5.27 pav. Dviratininkas slysta automobilio variklio dangčiu.....	54
5.28 pav. Dviratininkas beveik neslysdamas variklio dangčiu atsimuša į priekinį stiklą.....	54
5.29 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 90^\circ$).....	55
5.30 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 90^\circ$).....	55

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Eismo įvykių skaičiai.....	16
1.2 lentelė. Eismo įvykių tipai.....	17
1.3 lentelė. Eismo įvykių scenarijai.....	19
1.4 lentelė. Eismo įvykių pasiskirstymas atsižvelgiant į aplinkos sąlygas.....	21
4.1 lentelė. WAD parametro reikšmės.....	38
4.2 lentelė. WAD parametro reikšmės priklausomai nuo smūgio greičio ir lėtėjimo pagreičio.....	38
4.3 lentelė. WAD parametro reikšmės priklausomai smūgio greičio ir pėsčiojo greičio.....	39
5.1 lentelė. Automobilio ir dviratininko greičiai.....	41
5.2 lentelė. Kampai susidūrimo metu.....	42
5.3 lentelė. Automobilio ir dviratininko duomenys.....	43

Įvadas

Tokios transporto priemonės, kaip automobilis, motociklas, yra gana greitos ir patogios, norint nuvykti iš vieno taško į kitą, o dviračiai – pigios eksploatuoti ir aplinkos neteršiančios transporto priemonės. Kadangi žmonija pamėgo tokias transporto priemones, tam tikslui yra kuriama ir tobulinama kelių infrastruktūra, naudojami degalai. Tačiau yra ir kita transporto priemonių eksploatavimo pusė, tai eismo įvykiai.

Šiais laikais pasaulyje įvyksta gana daug eismo įvykių, nors jų skaičius ir mažesnis nei prieš kelis dešimtmečius. Eismo įvykių metu dažniausiai nukenčia ne tik transporto priemonės, bet ir žmonės. Traumų būna įvairių: nuo labai lengvų iki labai sunkių, o dažnas atvejis baigiasi mirtimi. Priklausomai kokios būna eismo įvykių pasekmės, atsiranda daugybė nesutarimų dėl įvykio atsitikimo priežasties, kaltininko nustatymo ir kitų detalių. Siekiant išsiaiškinti eismo įvykio detales yra atliekamos eismo įvykio ekspertizės, kurios įvertina tokius faktorius, kaip transporto priemonių greitis, judėjimo kryptys, eismo sąlygos ir kt. Įvairūs faktoriai ir parametrai yra paremti fizikos dėsniais ir jau atliktais tyrimais. Tokių eismo įvykių kaip dviratininko partrenkimai, metodikos yra tobulintinos ir nemažai jos aspektų reikalauja papildomų tyrimų, todėl būtina atlikti mokslinius tyrimus.

Šiame darbe nagrinėjama dviratininko partrenkimo metodika, naudojami pėsčiųjų ir dviratininkų modeliai, taip pat įvairių faktorių įtaka dviratininko nubloškimo trajektorijai.

Tikslas

Atlikus eismo įvykių – dviratininko partrenkimas – teorinę analizę ir kompiuterinį modeliavimą, pasiūlyti tyrimo metodiką, leidžiančią tiksliau ištirti dviratininkų partrenkimo aplinkybes atliekant eismo įvykių ekspertizes.

Uždaviniai

1. Atlikti literatūros šaltinių analizę.
2. Išanalizuoti ir įvertinti dviratininkų partrenkimo tyrimuose naudojamus modelius.
3. Įvertinti dviratininko ir dviračio judėjimo (nubloškimo) po partrenkimo atstumą ir jo priklausomybę nuo automobilio ir dviratininko greičių.
4. Įvertinti dviratininko ir dviračio judėjimo (nubloškimo) po partrenkimo kampą ir jo priklausomybę nuo automobilio ir dviratininko greičių.
5. Pateikti atlikto tyrimo pritaikomumą praktikoje ir rekomendacijas.

1. Literatūros šaltinių analizė

1.1. Eismo įvykių statistika

2020 metais Lietuvoje iš viso užregistruoti 3022 eismo įvykiai, iš kurių 246 įvyko dėl neblaivių vairuotojų kaltės (Oficialiosios statistikos portalas 2020). Nuo 2016 iki 2019 metų eismo įvykiuose žuvo iš viso 51 dviratininkas, o sužeisti – 1109 dviratininkai. Kaip eismo įvykio kaltininkai dviratininkai sudarė vidutiniškai 4,7 % visų kaltininkų. Remiantis Lietuvos statistika, eismo įvykiai atsitinka dėl tokių priežasčių, kaip leidžiamojo greičio viršijimas, nesaugus lenkimas, netinkamas eismo sąlygų įvertinimas, kelių eismo taisyklių nesilaikymas, eismo kultūros stoka. Taip pat neigiamą įtaką daro alkoholio, psichotropinių medžiagų vartojimas ir nuovargis (Lietuvos automobilių kelių direkcija 2020).

Lietuvoje atlikti tyrimai, susiję su dviratininkų partrenkimais, leido padaryti tokias išvadas (Lukoševičienė 2001):

1. Eismo įvykiai su dviratininkais sudaro 6 % visų šalies eismo įvykių.
2. Apie 35 % atvejų nutinka, kai dviratininkas yra partrenkiamas miesto teritorijoje.
3. Užmiesčiuose daugiausiai dviratininkai yra partrenkami tamsiuoju paros metu.

Globaliu mastu eismo įvykių, susijusių su dviratininkais daugiausiai nutinka Kinijoje. Ten dviratis – dažniausiai naudojama susisiekimo priemonė. Kaip pavyzdys, Tiandzino mieste apie 77 % transporto priemonių sudaro dviračiai, o Sidnėjuje (Australija) dviračiai sudaro tik 1 % visų transporto priemonių. Apytiksliai paskaičiuota, kad Kinijoje yra apie 300 milijonų dviračių, o tokią transporto priemonę turi kas 4 gyventojas. Nors 45 % visų mirčių eismo įvykių metu sudaro dviratininkai, ten šalmo naudojimas yra retas dalykas (World report on road traffic injury prevention 2004).

1.2. Eismo įvykių priežastys ir rodikliai

Eismo įvykiui įvykus, reikia išsiaiškinti priežastis, kodėl jis įvyko. Pagrindinės priežastys yra susijusios su vairuotoju, transporto priemone ir keliu. Eismo įvykių analizės yra skirtos tam, kad būtų nustatyta informacija apie (Lecture Notes in Transportation Systems Engineering 2020):

1. Vairuotoją ir pėsčiąjį. Nustatoma asmenų psichinė būklė. Tam reikalui gali būti atliekami psichologiniai testai.
2. Transporto priemonę. Nustatinėjamos transporto priemonės charakteristikos, pažeidimai.
3. Kelio sąlygos. Nagrinėjama, kaip kelio parametrai galėjo paveikti eismo įvykio atsiradimą.

Eismo įvykių analizėje taip pat svarbu apskaičiuoti santykinius dydžius, kuriais remiantis eismo įvykių statistiniai parametrai gali būti lyginami tarp įvairių vietovių. Santykiniai dydžiai yra šie:

1. Eismo įvykių skaičiaus nustatymas 1 kilometrui.
2. Mirtingumo nustatymas atsižvelgiant į populiaciją.
3. Mirtingumo nustatymas atsižvelgiant į užregistruotų transporto priemonių skaičių.
4. Eismo įvykių skaičiaus nustatymas, atsižvelgiant į nuvažiuojamą atstumą per metus.

Kai eismo įvykio situacija pavojinga, tikimybei sumažinti svarbiausi tie veiksniai, kurių parametru pokytis prilygsta pavojaus didėjimo tempui. Tai, pavyzdžiui, transporto priemonės, pėsčiojo, dviratininko judėjimo parametrai, vairuotojo veiksmai, lemiantys galimybę išvengti eismo įvykio pavojingoje situacijoje (Pečeliūnas, Sokolovskij 2012.).

Savo straipsnyje Ruikar (2013) tyrinėjo eismo įvykių statistiką Indijoje nuo 2002 iki 2011 metų. Nustatyta, kad nuo 2002 iki 2011 metų eismo įvykių skaičius apytiksliai išaugo nuo 400 000 iki 500 000. Didžioji dalis jų įvyko kaimo vietovėse (53,5 %). Dažniausiai eismo įvykiuose dalyvaudavo nuo 25 iki 65 metų amžiaus žmonės (51,9 %). Pagrindinės eismo įvykių priežastys:

1. Alkoholio vartojimas.
2. Per didelis atsipalaidavimas.
3. Vairavimo patirties trūkumas.
4. Agresyvumas.
5. Kelių eismo taisyklių nesilaikymas.

Somasundaraswaran (2006) tyrė eismo įvykių statistiką Šri Lankoje nuo 1989 iki 2005 metų. Per šį laikotarpį žmonių populiacija šalyje išaugo apytiksliai 4 000 000, o eismo įvykių skaičius padidėjo apie 16 000. Pagrindinės eismo įvykių priežastys:

1. Nuosavų transporto priemonių skaičiaus augimas.
2. Prasta kelių infrastruktūra.

Aga, Mochida (2011) straipsnyje yra analizuojama Vokietijos, JAV ir Japonijos eismo įvykių statistika. Nustatyta, kad Vokietijoje ir JAV dažniausiai eismo įvykiai nutinka tada, kai transporto priemonėje buvo 1 asmuo. Japonijoje dažniausias eismo įvykis – pėsčiojo partrenkimas.

1.3. Eismo įvykių scenarijai su dviratėmis transporto priemonėmis

Kuehn *et al.* (2017) straipsnyje yra tiriami eismo įvykių, įvykusių Vokietijoje, scenarijai ir pasekmės, susijusios su dviratininko partrenkimais. Iš duomenų bazės buvo paimtos 276 bylos, iš kurių buvo nustatyti tokie galimi eismo įvykių scenarijai:

1. Automobilis važiuoja tiesiai arba atlieka sukimo manevrą, kai tuo metu dviratininkas atvažiuoja iš dešinės.
2. Automobilis važiuoja tiesiai arba atlieka sukimo manevrą, kai tuo metu dviratininkas atvažiuoja iš kairės.
3. Automobilis važiuoja tiesiai arba atlieka sukimo manevrą, kai tuo metu dviratininkas atvažiuoja priešinga kryptimi nei automobilis.
4. Automobilis važiuoja tiesiai arba atlieka sukimo manevrą, kai tuo metu dviratininkas važiuoja automobilio kryptimi.

Rodarius *et al.* (2008) straipsnyje yra tiriami automobilių – dviratininkų eismo įvykiai ir šių įvykių prevencinės priemonės įvairiose pasaulio šalyse. Tyrėjai nustatė eismo įvykių scenarijus Nyderlanduose, Jungtinėje karalystėje, Švedijoje ir Vokietijoje.

Nyderlanduose nustatyti tokie scenarijai:

1. Automobilis ir dviratis juda tiesiai, lygiagrečiai vienas kitam.;
2. Vienas eismo dalyvis juda tiesiai, o kitas atlieka sukimo manevrą į dešinę ta pačia kryptimi.
3. Vienas eismo dalyvis juda tiesiai, o kitas kerta važiuojamąją dalį statmenai tiesiai judančiam automobiliui.
4. Vienas eismo dalyvis juda tiesiai, o kitas atlieka sukimo manevrą į dešinę priešinga kryptimi.

Jungtinėje karalystėje prieš eismo įvykį dviratininkas juda tiesia kryptimi, priešinga automobilio kryptiai. Švedijoje daugiausia eismo įvykių nutinka, kai dviratininkas juda tiesia kryptimi arba atlieka sukimo manevrą į kairę. Vokietijoje daugiausia susidūrimų su dviratininkais nutinka tada, kai pastarieji važiuojamąją dalį kerta statmenai automobilio judėjimo kryptiai.

1.4. Dviratininko – automobilio eismo įvykių rekonstrukcijos kinematiniai dėsningumai

Bet kokiam judančiam kūnui yra priskiriami tokie parametrai, kaip poslinkis, greitis, pagreitis ir laikas. Analizuojant eismo įvykį svarbu išstudijuoti judančių transporto priemonių kinematinis parametrus. Kaip pavyzdys, partrenkto dviratininko arba pėsčiojo sužeidimo tipai ir sunkumai padeda nustatyti transporto judėjimo parametrus prieš ir po eismo įvykio. Taip pat kinematinų parametrų žinojimas padeda nuspręsti ar partrenktasis dėvėjo apsaugos priemones, ar partrenktojo traumos buvo įgytos eismo įvykio metu (Van Kirk 2001).

Egzistuoja nemažai metodikų, pagal kurias yra atliekami transporto priemonių susidūrimo tyrimai. Kelios metodikos pateiktos toliau (Lukoševičienė 2001):

1. Transporto priemonių susidūrimų tyrimo, taikant korekcijos kriterijus, metodika.
2. Transporto priemonių susidūrimų tyrimo, taikant judesio kiekio ir tvermės dėsnius, metodika.

Eismo įvykiai yra vaizduojami diagramose, kuriomis remiantis yra nustatomas transporto priemonių greitis prieš susidūrimą. Siekiant nustatyti greičius prieš susidūrimą reikalingi tokie duomenys (Lecture Notes in Transportation Systems Engineering 2020):

1. Transporto priemonių masės.
2. Greičiai po susidūrimo.
3. Transporto priemonių judėjimo kelias prieš susidūrimą.

Katsuhara *et al.* (2014) straipsnyje yra nagrinėjami smūgio kinematiniai dėsningumai, kai vienu atveju į dviratininką trenkiasi visureigis, o kitu – sedano tipo automobilis. Eismo įvykio simuliacijos buvo sukurtos baigtinių elementų pagrindu. Kai dviratininkas kontaktavo su sedano tipo automobiliu, partrenktojo dubuo slydo variklio dangčiu, kol galva trenkėsi į priekinį automobilio stiklą. Visureigio atveju, dviratininko dubuo patyrė smūgį priekine variklio dangčio dalimi, o tai suvaržė kūno judėjimą. Dėl kūno judėjimo suvaržymo dviratininko galvos poslinkis tapo mažesnis.

Pang *et al.* (2008) tyrė 3 eismo įvykių variantus. MADYMO programa buvo sumodeliuoti 3 eismo įvykių scenarijai. Pirmuoju atveju dviratininkas prarado dviračio kontrolę važiuodamas 35 km/h greičiu ir trenkėsi į metalinį atitvarą. Kūnas buvo nublokštas į priešingą atitvaro pusę. Antruoju atveju dviratininką partrenkė automobilis važiuavęs 75 km/h greičiu iš dešinės pusės. Trečiuoju atveju įvyko dviejų dviratininkų susidūrimas, po kurio vienas dviratininkas trenkėsi į prie kelio esantį atitvarą. Antruoju atveju, kai dviratininkas judėjo 10 km/h greičiu, dešinė koja patyrė kontaktą, po kurio kūnas slydo variklio dangčiu kol galva trenkėsi į apatinę priekinio stiklo dalį. Kai dviratininko greitis buvo padidintas iki 20 km/h, galva su automobilio stiklu nekontaktavo.

1.5. Eismo dalyvių sužalojimai

Eismo įvykių metu labai dažnai eismo dalyviai patiria įvairių sužalojimų. 1968 metų spalį automobilių inžinierių sąjunga (SAE) priėmė sprendimą, kuriuo nurodoma visus eismo dalyvių sužalojimus vertinti pagal „Apibendrintą sužalojimų skalę (angl. *Abbreviated Injury Scale*) (Van Kirk 2001). Apibendrinta sužalojimų skalė – tai įrankis, kuriuo yra vertinami eismo dalyvių kūno dalių sužalojimai. Sistema suskirstyta į 6 lygius: nuo 1 nesunkaus iki 6 mirtino (The association for the advancement of automotive medicine 2020).

Veisten *et al.* (2007) nagrinėja dviratininkų sužalojimus eismo įvykių metu Norvegijoje nuo 1996 iki 2004 metų. Policijos duomenimis apytiksliai 77 % visų įvykių metu dviratininkai arba jų keleiviai patiria sužalojimus pagal apibendrintos sužalojimų skalės (AIS) 1–2 lygius – tai lengvi ir

vidutinio lygio sužalojimai. Likusi dalis patiria sunkesnius už vidutinius sužalojimus (pagal AIS nuo 3 iki 6 lygio).

Atskirų kūno dalių sužeidimus nustatė Raslavičius *et al.* (2017) Buvo sumodeliuoti 4 įvykių scenarijai, kuomet automobilis į dviratininką trenkiasi skirtingais kampais. Nustatyta, kad pagrindinę įtaką kūno sužalojimo mastui daro automobilio greitis ir transporto priemonių tarpusavio padėtis prieš susidūrimą. Pagal apibendrintą sužalojimų skalę dviratininkas patyrė nuo 3 iki 6 lygio sužalojimus.

Sikic *et al.* (2009) nagrinėja dviratininkų sužalojimus ir mirtinumą Teksaso valstijoje. Pagal sužeidimų regioną dažniausiai buvo sužalotos galūnės (73 %). Kritinių traumų metu dažniausiai yra sužalojamas liemuo ir galva. Mirtinų eismo įvykių metu dažniausiai sužalojama galva ir kelios kūno dalys vienu metu.

Cicchino *et al.* (2020) straipsnyje yra nagrinėjami eismo įvykiai susiję su elektriniais paspirtukais. 2019 metais buvo apklausti 105 paaugliai dalyvavę eismo įvykiuose. Iš apklausos nustatyta, kad visi apklausti paaugliai patyrė sunkesnius nei vidutinius sužalojimus ($> \text{AIS } 2$). Taip pat tikėtina, kad kuo didesnis elektrinio paspirtuko greitis, tuo patiriami rimtesni sužalojimai.

Yilmaz *et al.* (2010) tyrime yra lyginami paauglių dviratininkų sužalojimai Nyderlanduose ir Australijoje nuo 2001 iki 2009 metų. Iš 719 bylų nustatyta, kad Nyderlanduose sunkias galvos traumas ($> \text{AIS } 3$) patyrė daugiau paauglių nei Australijoje. Taip pat pastebėta, kad sunkūs sužalojimai buvo patiriami krūtinės ir pilvo srityse.

1.6. Dviratininkų – automobilių eismo įvykiai Suomijoje

Rasanen, Summala (1997) straipsnyje yra analizuojama eismo įvykių statistika susijusi su automobilių ir dviratininkų susidūrimais. Tyrimo metu Suomijoje nuo 1990 metų buvo fiksuojami eismo įvykiai susiję su dviratininkais, atsitinkantys ant dviračių takų ir perėjų. Tyrimas apėmė 4 Suomijos miestus: Helsinkį, Mikelį, Hamenliną, Ylivieską. Iš viso buvo užfiksuoti 234 eismo įvykiai, iš kurių 46 eismo įvykiai nesusiję su motorinėmis transporto priemonėmis. Tyrimo komandą sudarė 4 žmonės: policijos pareigūnas, transporto inžinierius, eismo inžinierius ir psichologas. Transporto inžinierius vertino transporto priemonių techninę būklę ir pažeidimo mastą. Eismo inžinierius vertino kelių būklę ir eismo ypatumus, o psichologas tyrė dviratininkų ir vairuotojų psichologinę būklę ir kaip tai gali turėti įtakos eismo įvykiams. Atlikus stebėjimus, visų dalyvių rezultatai buvo aptariami, lyginami ir sudaroma bendra ataskaita. Pagal sudarytą bendrą ataskaitą buvo nustatyta, kad iš 234 eismo įvykių:

1. 97 eismo įvykiai įvyko ant dviračių takų bei pėsčiųjų ir dviračių takų.
2. 30 eismo įvykių įvyko ant nepažymėtų takų.
3. 28 eismo įvykiai įvyko prie statinių įėjimo, įvažiavimo vietų.

4. 13 eismo įvykių, kurių metu žuvo eismo dalyvis.
5. 21 eismo įvykis, kurių metu eismo dalyviai nukentėjo sunkiai.

Toliau pateikiama 1.1 lentelė, kurioje fiksuojami eismo įvykių skaičiai tarp 1990 ir 1994 metų skirtinguose Suomijos miestuose.

1.1 lentelė. Eismo įvykių skaičiai (Rasanen, Summala 1997)

Miestas \ Metai	1990–1994
Helsinkis	67
Mikelis	77
Hamenlina	73
Ylivieska	17
Iš viso	234

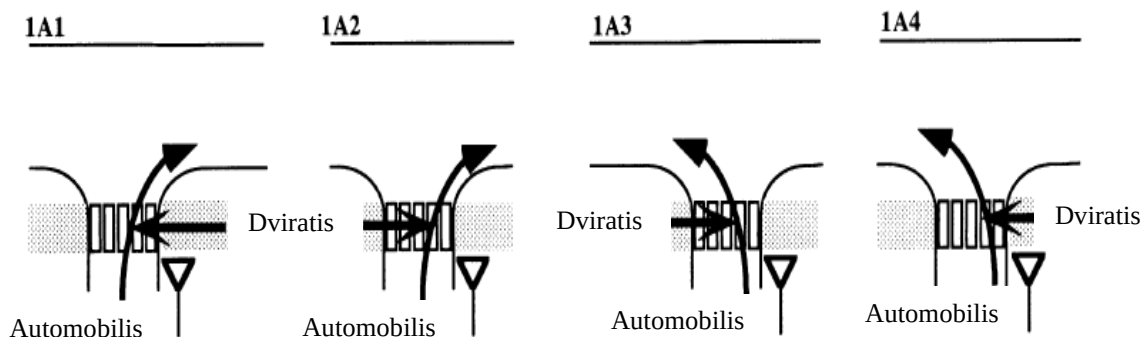
1.2 lentelėje pateikiama, kiek ir kokio tipo eismo įvykių įvyko.

1.2 lentelė. Eismo įvykių tipai (Rasanen, Summala 1997)

Eismo įvykio tipas	Studijos	Policijos statistika	Draudimo bendrovių statistika
Eismo įvykis, įvykęs vienai transporto priemonei kertant kitos transporto priemonės judėjimo kryptį	43	42	49
Eismo įvykis, įvykęs abiem transporto priemonėms judant priešingomis kryptimis posūkyje	15	10	13
Eismo įvykis, įvykęs abiem transporto priemonėms judant ta pačia kryptimi posūkyje	10	12	10
Eismo įvykis, įvykęs vienai transporto priemonei kertant kitos transporto priemonės judėjimo kryptį posūkyje	10	9	5

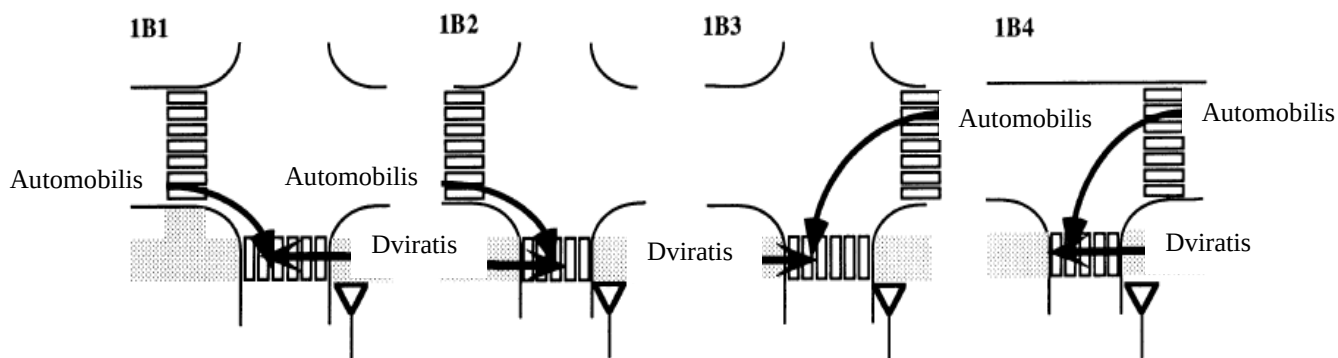
Toliau pateikiamos atsitikusių eismo įvykių schemas.

Dviratininkas kerta transporto priemonės, atliekančios sukimo manevrą, judėjimo kryptį (1.1 pav.).



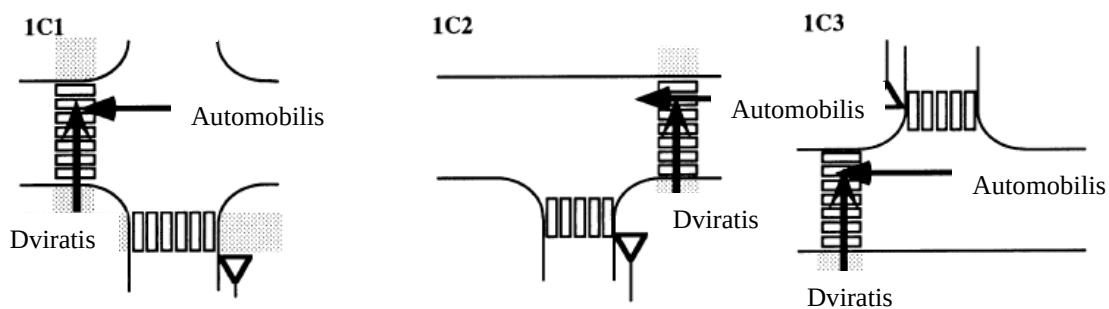
1.1 pav. Transporto priemonės judėjimo krypties kirtimas (Rasanen, Summala 1997)

Transporto priemonė atliekanti sukimo manevrą susiduria su dviratininku (1.2 pav.).



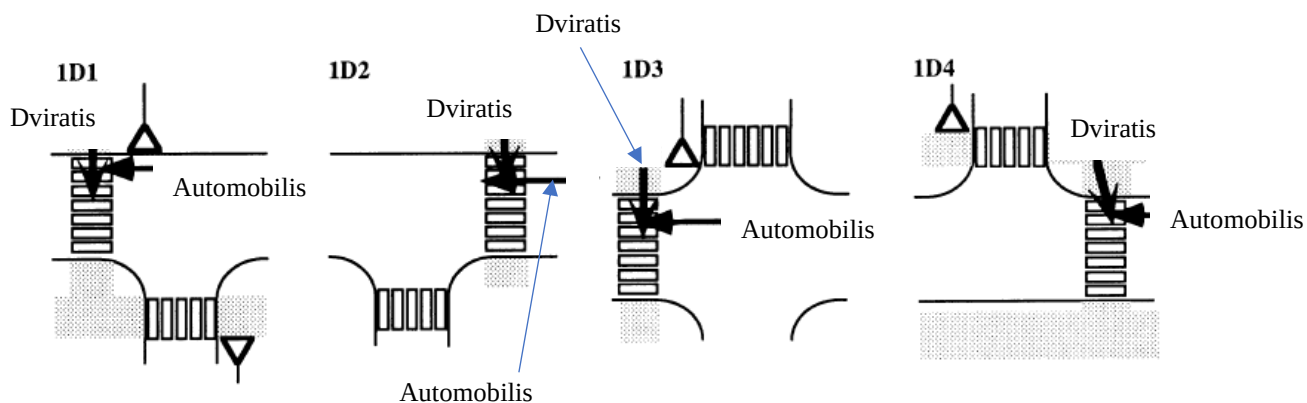
1.2 pav. Susidūrimas atliekant manevrą (Rasanen, Summala 1997)

Abi tiesiai judančios transporto priemonės susiduria (dviratininkas kerta judėjimo kryptį iš kairės) (1.3 pav.).



1.3 pav. Tiesiai judančių transporto priemonių susidūrimas (Rasanen, Summala 1997)

Abi tiesiai judančios transporto priemonės susiduria (dviratininkas kerta judėjimo kryptį iš dešinės) (1.4 pav.).



1.4 pav. Tiesiai judančių transporto priemonių susidūrimas (Rasanen, Summala 1997)

1.7. Dviratininkų – automobilių eismo įvykių statistika Švedijoje, remiantis draudimo bendrovių duomenimis

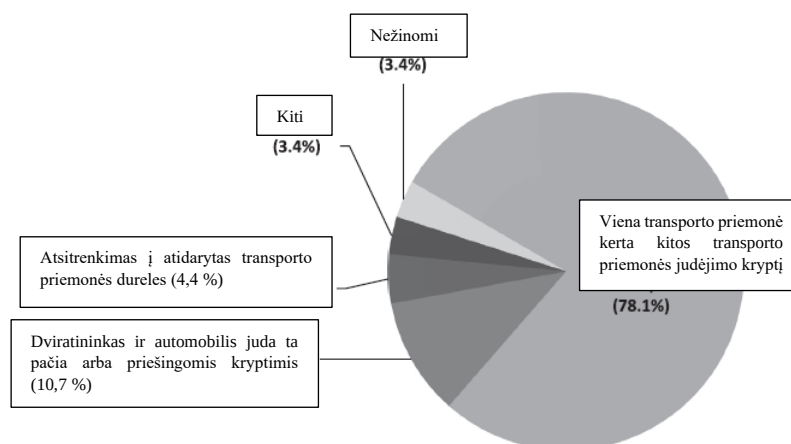
Isaksson–Hellman, Werneke (2017) straipsnyje yra aprašomi eismo įvykių scenarijai, dažniai. Detali informacija apie eismo įvykių, susijusių su automobilių ir dviratininkų susidūrimu Švedijoje suvestinė buvo gauta iš draudimo bendrovės „if“. Analizei buvo gautos 882 eismo įvykių ataskaitos. Ataskaitose yra akcentuojami veiksniai prieš eismo įvykį ir eismo įvykio metu. Veiksniai prieš eismo įvykį buvo aprašomi tokiais kintamaisiais, kaip vairuotojo ir dviratininko padėtis vienas kito atžvilgiu, motorinės transporto priemonės greitis prieš eismo įvykį ir matomumo lygis. Pats eismo įvykis aprašomas kuria vieta, kryptimi, transporto priemonės susiduria, taip pat fiksuojami stabdymo, ratų pasukimo parametrai, aplinkos sąlygos ir susidūrimo vieta.

Šiam tyrimui buvo detalčiai išanalizuoti 32 eismo įvykių scenarijai. Jie buvo suskirstyti į 5 kategorijas. Pirmosios 3 kategorijos susijusios su situacijomis, kuomet vienas eismo dalyvis kerta kito eismo dalyvio judėjimo kryptį. 4 kategorija – kai abu eismo dalyviai juda ta pačia arba priešingomis kryptimis. 5 kategorijoje – dviratininko atsitrenkimas į motorinės transporto priemonės dureles. Toliau pateikiama 1.3 lentelė, kurioje išskiriami galimi eismo įvykių scenarijai.

1.3 lentelė. Eismo įvykių scenarijai (Isaksson-Hellman, Werneke 2017)

Eismo įvykio kategorija	Scenarijus	Scenarijų skaičius
1. Viena transporto priemonė kerta kitos transporto priemonės judėjimo kryptį	Dviratininkas kirto važiuojamąją dalį ir judėjo išilgai dviračių tako	8
	Dviratininkas juda važiuojamąją dalimi, dviračių taku	5
	Dviratininkas kirto važiuojamąją dalį prie įvažiavimo į teritoriją ir judėjo išilgai dviračių tako	6
	Dviratininkas juda važiuojamąją dalimi prie įvažiavimo į teritoriją, dviračių taku	3
	Dviratininkas juda žiedine sankryža	1
Abi transporto priemonės juda ta pačia arba skirtingomis kryptimis	Abi transporto priemonės juda ta pačia arba skirtingomis kryptimis tuo pačiu keliu	6
Atidarytos transporto priemonės durys	Dviratininkas trenkiasi į atidarytas stovinčios motorinės transporto priemonės dureles	1
Kita	Eismo įvykiai stovėjimo aikštelėse	1
	Eismo įvykiai atsitikę važiuojant atbuline pvara	1
Nežinomi	Neįmanoma klasifikuoti	1

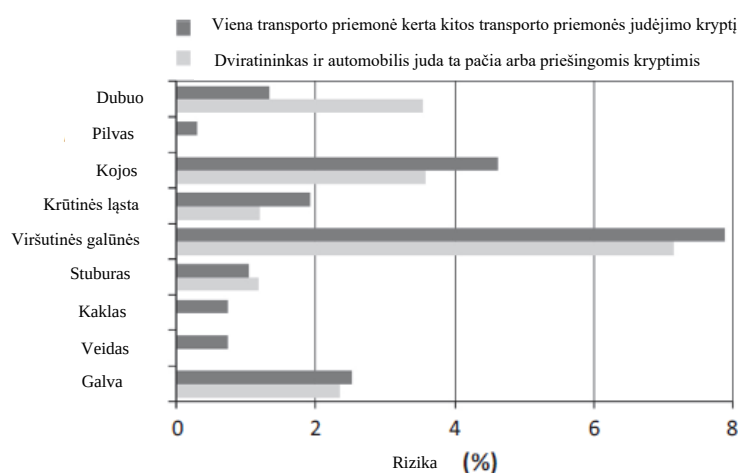
Kiekvienos kategorijos pasiskirstymas matomas skritulinėje diagramoje (1.5 pav.). Imtis – 882 įvykiai.



1.5 pav. Eismo įvykių procentinis pasiskirstymas (Isaksson-Hellman, Werneke 2017)

Dažniausiai įvykstantis scenarijus – viena transporto priemonė kerta kitos transporto priemonės judėjimo kryptį (78,1 %; $n = 689$). Antras scenarijus pagal dažnumą – abi transporto priemonės juda ta pačia arba priešingomis kryptimis (10,7 %; $n = 94$). 4,4 % ($n = 39$) eismo įvykių susiję su dviratininko atsitrenkimu į transporto priemonės dureles. 3,4 % užima kiti eismo įvykiai.

Eismo dalyvių sužeidimai buvo vertinami pagal apibendrintą sužeidimų skalę (AIS). AIS – anatomicinė kodavimo sistema, skirstanti sužeidimus pagal 6 lygius. Toliau pavaizduota stulpelinė diagrama (1.6 pav.), kurioje pateikiama sužeidimo rizika atitinkamoms žmogaus kūno dalims, kai viena transporto priemonė kerta kitos transporto priemonės judėjimo kryptį ir kai abi transporto priemonės juda ta pačia arba skirtingomis kryptimis.



1.6 pav. Kūno dalių sužeidimų rizika (Isaksson-Hellman, Werneke 2017)

1.4 lentelėje rodomas eismo įvykių pasiskirstymas atsižvelgiant į aplinkos sąlygas, kai:

1. Viena transporto priemonė kerta kitos transporto priemonės judėjimo trajektoriją (n = 689).
2. Kai abi transporto priemonės juda ta pačia arba skirtingomis kryptimis (n = 94).

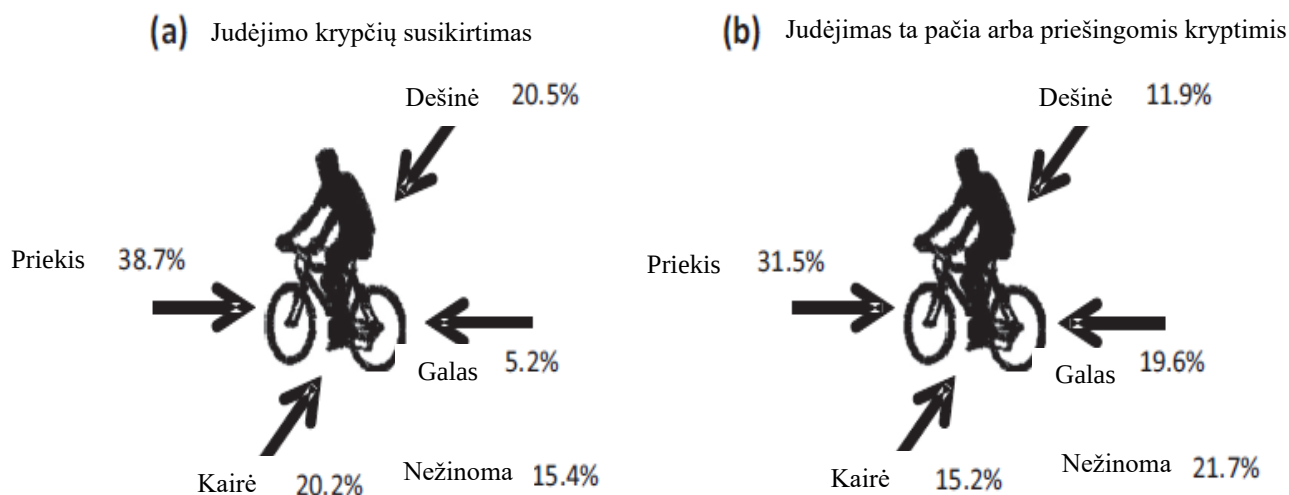
Aplinkos sąlygos skirstomos į 4 kategorijas:

1. Kelio dangos būseną.
2. Aplinkos apšvietimas.
3. Eismo aplinka.
4. Greičio ribojimai.

1.4 lentelė. Eismo įvykių pasiskirstymas atsižvelgiant į aplinkos sąlygas (Isaksson-Hellman, Werneke 2017)

		Viena transporto priemonė kerta kitos transporto priemonės judėjimo trajektoriją, %	Kai abi transporto priemonės juda ta pačia ir skirtingomis kryptimis, %
Kelio dangos būseną	Sausas	67,1	67,7
	Šlapias	13,6	6,4
	Aptrauktas ledu	1,3	6,5
	Snieguotas	0,6	0,0
	Nežinoma	17,4	19,4
Aplinkos apšvietimas	Dienos šviesa	81,4	86,0
	Tamsa	9,0	7,5
	Sutemos/aušra	6,2	1,1
	Nežinoma	3,3	5,4
Eismo aplinka	Miesto teritorija	91,1	76,3
	Užmiesčio teritorija	3,5	16,1
	Nežinoma	5,4	7,5
Greičio ribojimai	Mažiau nei 50 km/h	75,6	57,0
	Nuo 70 km/h iki 100 km/h	3,1	20,4
	Nežinoma	21,4	22,6

1.7 paveiksle pavaizduoti dviratininko sužeidimo vietų procentiniai pasiskirstymai (1.7 pav.). Atskirai rodomi pasiskirstymai kai viena transporto priemonė kerta kitos transporto priemonės trajektoriją ir kai abi transporto priemonės juda ta pačia arba skirtingomis kryptimis. Pirmuoju atveju, kai susikerta judėjimo kryptys, smūgiai iš kairės ir dešinės (40,7 %) yra dažnesni nei judant ta pačia arba skirtingomis kryptimis (27,7 %). Smūgiai iš galo (19,6 %) yra dažnesni, kai kertamos judėjimo kryptys, nei kai judama ta pačia ir skirtingomis kryptimis (5,2 %).



1.7 pav. Dviratininko sužalojimų vietos (Isaksson-Hellman, Werneke 2017)

Apibendrinant tyrimo rezultatus, galima teigti, kad motorinių transporto priemonių eismo atskyrimas nuo dviračių eismo pasiteisino, tačiau be to dar yra nemažai veiksnių ir sprendimų, kuriuos reikėtų tobulinti:

1. Įrengti dviračių takus taip, kad būtų kuo mažiau vietų, kertančių motorinių transporto priemonių eismo važiuojamąją dalį.
2. Įrengti vienos krypties dviračių eismą, kad sumažinti kaktamušos tikimybę.
3. Palaikyti dviračių takų gerą būklę.
4. Mažinti motorinių transporto priemonių greitį tose vietose, kur dviratininkai kerta važiuojamąją dalį.
5. Diegti perspėjimo sistemas, kurios perspėtų vairuotojus ir dviratininkus apie artėjančią galimą pavojų. Tai įgyvendinama naudojant elektrinius jutiklius.
6. Reikalinga komunikacija tarp visų eismo dalyvių, kuri gali būti įgyvendinama per išmaniuosius įrenginius.
7. Mokyti ir pranešti eismo dalyviams apie dažniausias ir pavojingiausias eismo situacijas.

1.8. Eismo įvykių – dviratininko partrenkimas – rekonstrukcijos pavyzdys

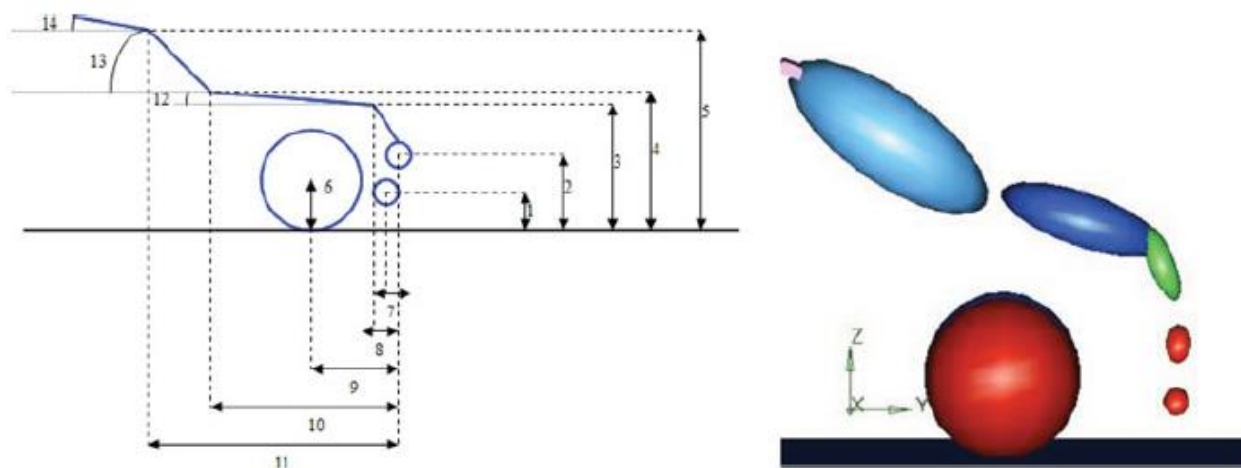
Straipsnyje N. Bourdet *et al.* (2013) yra analizuojamos eismo įvykių, susijusių su automobilių ir dviratininkų susidūrimais, rekonstrukcijos. Nagrinėjamas tyrimas susideda iš 3 dalių:

1. Informacijos apie eismo įvykius gavimas.
2. Dviratininko kinematinų parametrų atkūrimas, norint sužinoti galvos būklę prieš eismo įvykį.

3. Smūgio į galvą simuliacijos atlikimas, norint apskaičiuoti apkrovą galvai ir sužeidimo riziką.

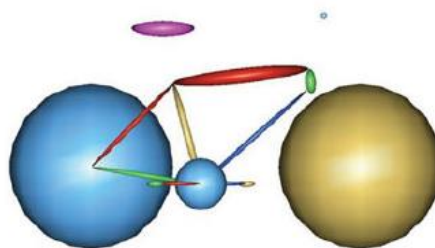
Iš duomenų bazių buvo paimti 24 dviratininkų eismo įvykiai. Kiekvieno įvykio rekonstrukcija buvo atliekama naudojant MADYMO programinę įrangą. 8 eismo įvykiai buvo rekonstruoti naudojantis Prancūzijos instituto sukurtu modeliu. Kiti 18 eismo įvykių buvo rekonstruoti naudojantis „Unistra TNO“ modeliu. Šio tyrimo tikslas – atlikus eismo įvykių rekonstrukcijas, nustatyti dviratininkų galvų būklę prieš pat smūgį. Kūnų simuliacijos tikslas – naudojant baigtinių elementų metodą, nustatyti dviratininko kinematinčius parametrus, o iš jų gauti galvos dinaminčius parametrus. Baigtinių elementų metodo simuliacija atlikta naudojantis RADIOSS programa.

Toliau pavaizduotas automobilio modelis (1.8 pav.), sukurtas Prancūzijos instituto (IFSTTAR). Modelis susideda iš skritulių ir elipsės formos kūnų.



1.8 pav. Automobilio modelis (Bourdet *et al.* 2013)

Kitame paveiksle pavaizduotas dviračio modelis (1.9 pav.).



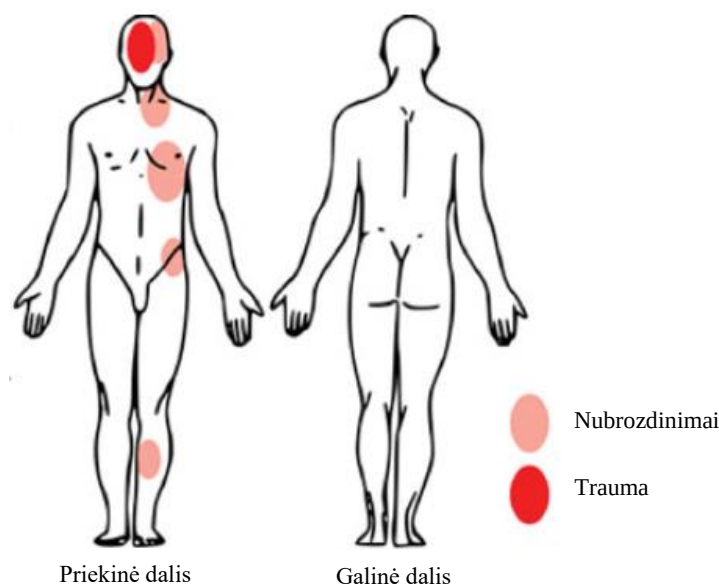
1.9 pav. Dviračio modelis (Bourdet *et al.* 2013)

Rekonstruojant eismo įvykį buvo nustatomi automobilio, dviratininko greičiai, padėtys prieš pat smūgį. Siekiant nustatyti paminėtus parametrus, galima pasinaudoti energijos perdavimu tarp

automobilio ir dviratininko arba stabdymo keliu. Pagrindiniai rekonstrukcijos metodikos etapai aprašyti toliau:

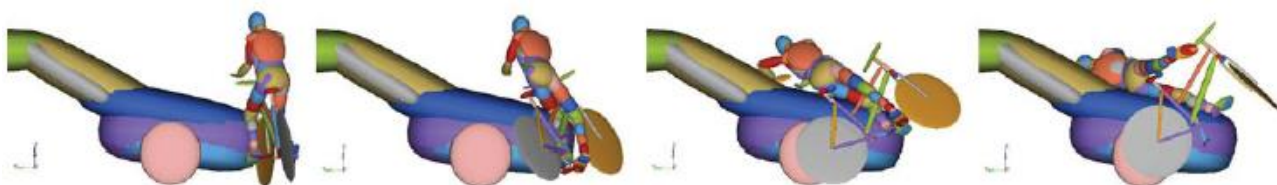
1. Tyrimo rezultatai priklauso nuo tokių nežinomų parametrų, kaip aukštis, svoris, automobilio greitis, stabdymo kelias.
2. Įvykio modeliavimo metu dviratininkas, dviratis ir automobilis yra susieti ryšiais.
3. Įvykio rekonstrukcijos patikslinimas atliekamas, palyginant pradinius žinomus parametrus su parametrais, gautais atlikus simuliaciją.

Eismo įvykis įvyko tarp dviratininkės, nedėvinčios šalmo ir lengvojo automobilio. Dviratininkė judėjo dviračių taku, kai į ją iš kairės pusės trenkėsi automobilis. Po eismo įvykio dviratininkė patyrė galvos traumą be sąmonės praradimo, taip pat nubrozdinimų keliose kūno vietose (1.10 pav.).



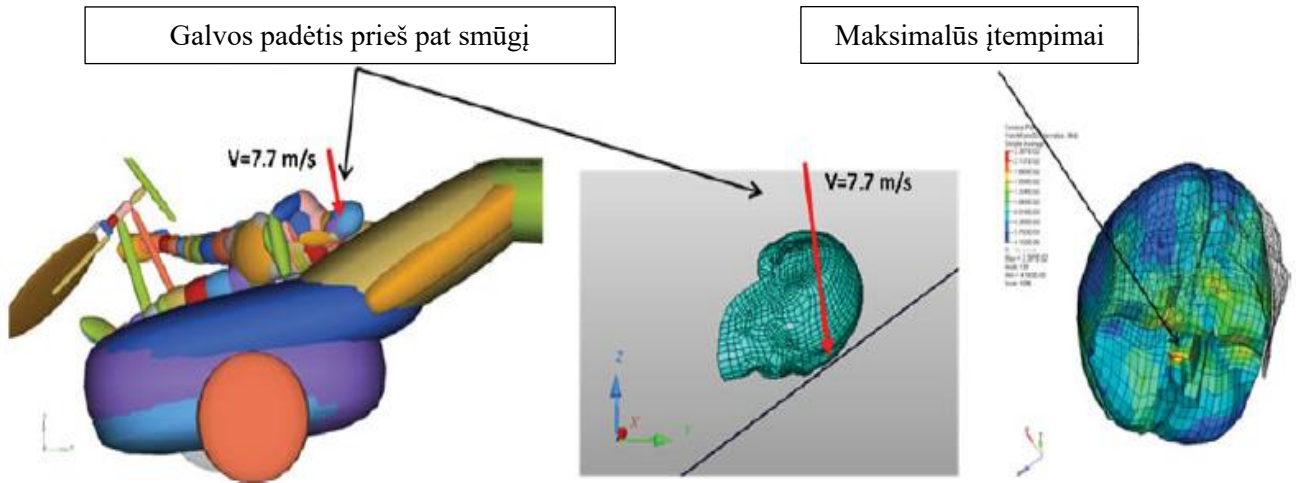
1.10 pav. Kūno sužalojimai (Bourdet *et al.* 2013)

Prieš pat žmogaus kontaktą su automobilio stiklu, galvos greitis buvo lygus 7,7 m/s (tangentinis greitis lygus 4 m/s; normalinis greitis lygus 6,6 m/s). Sumodeliuotų kūnų padėtys prieš pat galvos kontaktą pavaizduotos toliau esančiame paveiksle (1.11 pav.).



1.11 pav. Kūno padėtys prieš galvos kontaktą su automobiliu (Bourdet *et al.* 2013)

Žmogaus ir jo galvos padėtis prieš pat galvos kontaktą su automobiliu ir maksimalių galvos įtempimų taškas pavaizduoti toliau esančiame paveiksle (1.12 pav.).



1.12 pav. Galvos padėtis ir įtempiai (Bourdet *et al.* 2013)

2. Dviratininkų modeliai

2.1. Judančio dviratininko, prieš partrenkimą, modelis

Fitton, Symons (2018) straipsnyje nagrinėjamas velodromu judančio dviratininko modelis. Sistemos kinetinė energija aprašoma toliau esančia išraiška:

$$T = 2 \left(\frac{1}{2} m_w v_{cw}^2 \right) + \frac{1}{2} m_c v_c^2 + 2 \left(\frac{1}{2} I_w \omega_w^2 \right) + \frac{1}{2} I_c \omega_c^2; \quad (2.1)$$

čia: m_w – vieno dviračio rato masė;

I_w – vieno dviračio rato inercijos momentas;

v_{cw} – linijinis rato greitis;

ω_w – kampinis rato greitis;

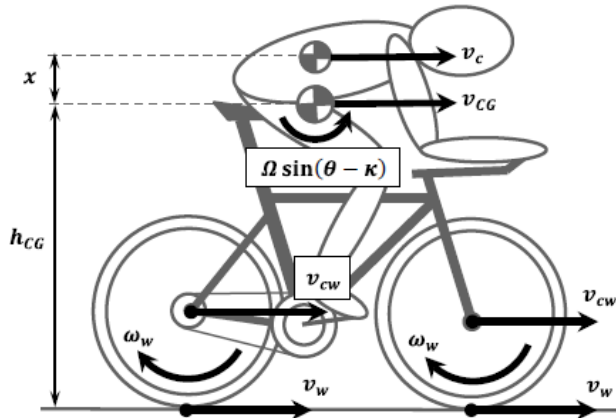
m_c – dviratininko/dviračio masė;

I_c – dviratininko/dviračio inercijos momentas;

v_c – dviratininko/dviračio linijinis greitis;

ω_c – dviratininko/dviračio kampinis greitis.

Toliau vaizduojami sistemos greičiai (2.1 pav.).



2.1 pav. Sistemos greičiai ir masės (Fitton, Symons 2018)

Priimama prielaida, kad tarp kelio dangos ir padangos nėra išilginio slydimo, todėl santykis tarp rato ir dviratininko kampinio greičio $\omega_{w/c}$ lygus:

$$\omega_{\frac{w}{c}} = \begin{bmatrix} -\frac{v_w}{r} & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad (2.2)$$

čia: r – padangos išorinis spindulys.

Dviratininko ir dviračio rėmo, kaip standaus kūno, kampinis greitis Ω (2.2 pav.) lygus:

$$\Omega = \frac{v_c}{R_c} = \frac{v_{CG}}{R_{CG}} = \frac{v_{cw}}{R_{cw}} = \frac{v_w}{R_w}; \quad (2.3)$$

čia: R_{CG} – spindulys, kurio kreivę juda dviratininko gravitacijos centras;

R_w – spindulys, kurio kreivę gaunama kontaktuojant padangai su kelio danga;

R_{cw} – spindulys, kurio kreivę juda dviračio ratų centrai;

R_c – spindulys, kurio kreivę juda dviratininkas;

v_{CG} – dviratininko gravitacijos centro linijinis greitis;

v_w – rato kontakto su keliu linijinis greitis.

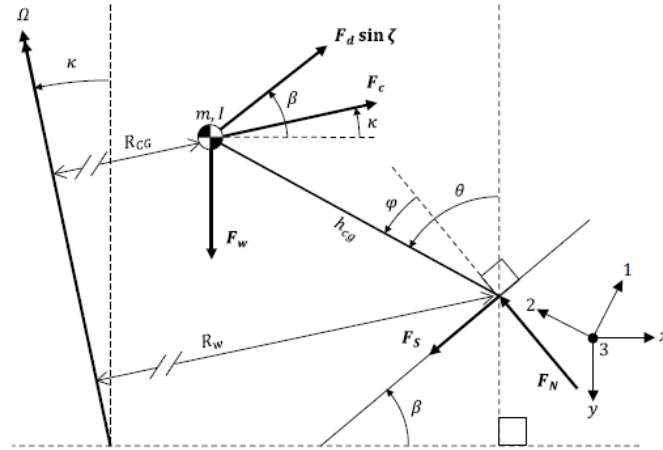
Ratų ir dviratininko kampinių greičių komponentės pirma, antra ir trečia kryptimis aprašomos tokiomis išraiškomis:

$$\omega_c = \Omega = [\Omega \sin(\theta - k) \quad \Omega \sin(\theta - k) \quad 0]; \quad (2.4)$$

$$\omega_w = \omega_w + \omega_c; \quad (2.5)$$

$$\omega_w = \left[\Omega \sin(\theta - k) - \frac{v_w}{r} \quad \Omega \cos(\theta - k) \quad 0 \right]. \quad (2.6)$$

čia: θ – dviratininko pasvirimo kampas nuo y ašies.



2.2 pav. Kinematinė schema (Fitton, Symons 2018)

Dėl sistemos pusiausvyros būsenos, priimama, kad kampinio greičio komponentė trečia kryptimi ($d\theta/dt$ – posvyrio kampo kitimo greitis) kiekvieną akimirką bus lygi 0.

Priimama, kad inercijos momentai apie gravitacijos centrą pirma, antra ir trečia kryptimis yra ratų ir dviratininko inercijos momentai, taigi:

$$I_w = \begin{bmatrix} I_{w1} & 0 & 0 \\ 0 & I_{w2} & 0 \\ 0 & 0 & I_{w3} \end{bmatrix}; \quad (2.7)$$

$$I_c = \begin{bmatrix} I_{c1} & 0 & 0 \\ 0 & I_{c2} & 0 \\ 0 & 0 & I_{c3} \end{bmatrix}. \quad (2.8)$$

Suminė kinetinė energija T lygi:

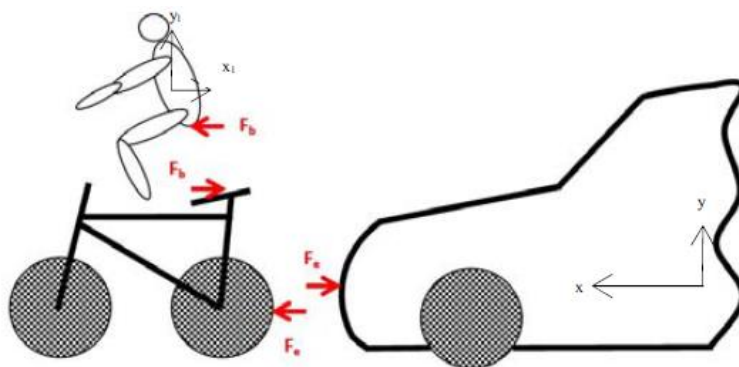
$$T = \left(m_w \left(\frac{R_{cw}}{R_{CG}} \right)^2 + \frac{1}{2} m_c \left(\frac{R_c}{R_{CG}} \right)^2 + I_{w1} \left(\frac{\sin(\psi)}{R_{CG}} - \frac{R_w}{R_{CG}r} \right)^2 + \frac{1}{2} I_{c1} \left(\frac{\sin(\psi)}{R_{CG}} \right)^2 + \left(I_{w2} + \frac{1}{2} I_{c2} \right) \left(\frac{\cos(\psi)}{R_{CG}} \right)^2 \right) v_{CG}^2.$$

čia: $\psi = \theta - k$.

Modelyje taip pat yra pateikiamos dinamiškumo išraiškos, įvertinamas oro pasipriešinimas, riedėjimo varža ir priekinio rato pasukimo, pasvirimo, slydimo kampai. Priklausomai nuo to, koks bus oro pasipriešinimas, riedėjimo varža, greitis, elementų masės, pagrečiai, modelis leidžia numatyti dviračio posvyrio, slydimo, ratų pasukimo kampus važiuojant tam tikra trajektorija.

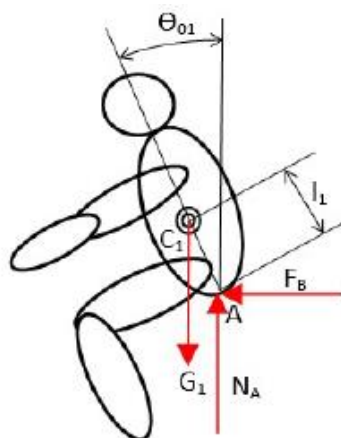
2.2. Partrenkiamo dviratininko modelis

Kitame straipsnyje (Condrea *et al.* 2017) nagrinėjamas partrenkiamo dviratininko modelis, kai automobilis trenkiasi į galinį dviračio ratą. Pirminio smūgio metu tarp dviračio rato ir automobilio bamperio atsiranda smūgio jėga F_e . Dėl smūgio jėgos, taip pat susidaro jėgos F_b , kurios veikia dviratininko ir dviračio sėdynės kontaktą (2.3 pav.).



2.3 pav. Tarp dviratininko, dviračio ir automobilio susidariusios jėgos (Condrea *et al.* 2017)

Dviratininko masės centre C_1 veikia svorio jėga G_1 , o taške A veikia normalinė jėga N_A (2.4 pav.).



2.4 pav. Dviratininką veikiančios jėgos (Condrea *et al.* 2017)

Primama, kad dviratininkas, dviratis ir automobilis yra standūs kūnai, todėl pritaikius antrą Niutono dėsnį gaunama tokia lygčių sistema, atitinkamai dviratininkui, dviračiui ir automobiliui:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -F_b; \quad (2.10)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 = -G_1 + N_A; \quad (2.11)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = F_b - F_e; \quad (2.12)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 = F_e. \quad (2.13)$$

čia: $\ddot{x}_1; \ddot{x}_2; \ddot{x}_3$ – masių centrų pagreičiai Ox ašimi;

$\ddot{y}_1$ – dviratininko masės centro pagreitis Oy ašimi;

$m_1; m_2; m_3$ – kūnų masės.

Iš prieš tai pateiktų pusiausvyros lygčių, apie masės centrą C_1 , gaunama tokia lygtis:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 = -F_b l_1 \cos \theta_{01} + N_A l_1 \sin \theta_1; \quad (2.14)$$

čia: θ_1 – dviratininko kampinis poslinkis;

$\ddot{\theta}_1$ – dviratininko kampinis pagreitis;

l_1 – atstumas tarp dviratininko masės centro ir dviratininko su sėdyne kontakto.

Dviračio plastiško smūgio metu kinematinės sąlygos:

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_2 + l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1; \quad (2.15)$$

$$\dot{y}_1 = -l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1; \quad (2.16)$$

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_2 + l_1 \ddot{\theta}_1 \cos \theta_1 - l_1 \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_1; \quad (2.17)$$

$$\ddot{y}_1 = -l_1 \ddot{\theta}_1 \sin \theta_1 - l_1 \dot{\theta}_1^2 \cos \theta_1. \quad (2.18)$$

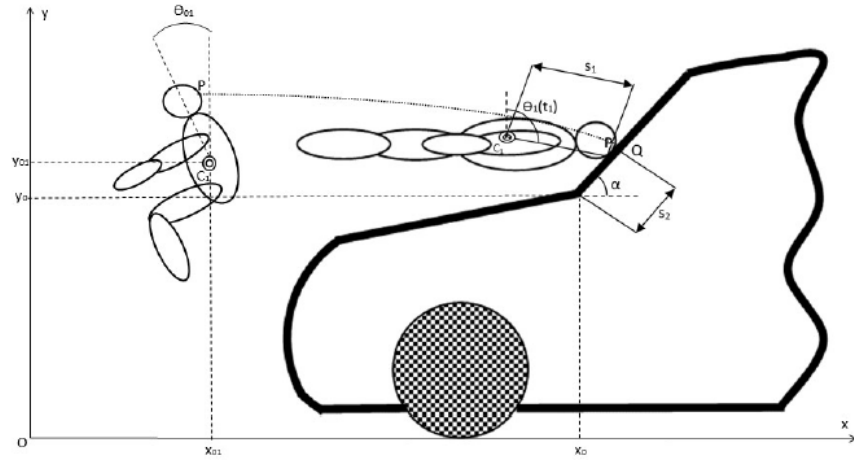
Pirminio smūgio metu dviratininkas ore juda link automobilio priekinės dalies parabolės trajektorija. Sudaromos tokios judėjimo lygtys masės centro C_1 atžvilgiu:

$$x_1 = x_{01} + \dot{x}_1 t_1; \quad (2.19)$$

$$y_1 = y_{01} - \frac{g t_1^2}{2}. \quad (2.20)$$

čia: t_1 – laikas iki galvos kontakto su automobilio stiklu.

Antrinio smūgio metu dviratininko galvos taškas P kontaktuoja su automobilio stiklo tašku Q (2.5 pav.).



2.5 pav. Antrinio smūgio schema (Condrea *et al.* 2017)

Antrinis smūgis gali būti aprašomas kaip P ir Q taškų trajektorijų susikirtimas. Taškui P užrašomos tokios lygtys:

$$x_P = x_1 + s_1 \cos \theta; \quad (2.21)$$

$$y_P = y_1 + s_1 \sin \theta; \quad (2.22)$$

$$\theta = \theta_{01} - \omega_0 t; \quad (2.23)$$

čia: s_1 – atstumas tarp masės centro C_1 ir taško P.

Priimama, kad automobilio priekinis stiklas yra kaip nuolydis kampu α , todėl taškui Q užrašomos tokios lygtys:

$$x_Q = x_0 + s_2 \cos \alpha; \quad (2.24)$$

$$y_Q = y_0 + s_2 \sin \alpha; \quad (2.25)$$

čia: s_2 – atstumas tarp automobilio masės centro C_3 ir taško Q.

Antrinio smūgio laikas gali būti skaičiuojamas įvedant tokias sąlygas:

$$x_P = x_Q; \quad (2.26)$$

$$y_P = y_Q. \quad (2.27)$$

Pritaikius sąlygas ir atlikus tam tikrus pertvarkymus užrašoma tokia transcendentinė lygtis:

$$(x_{01} + \dot{x}_1 t + s_1 \cos \theta_1 - x_0) = \left(y_{01} - \frac{gt^2}{2} + s_1 \sin \theta_1 - y_0 \right) \operatorname{ctg} \alpha; \quad (2.28)$$

čia: θ_1 – pradinis kampinis dviratininko poslinkis antrinio smūgio metu.

Atsitikus antriam smūgiui priimama, kad tokių smūgių greičiai yra vidutiniai arba dideli, todėl dviratininko kinematiniai parametrai po smūgio gali būti aprašomi pritaikant judesio kiekį:

$$m_1 \dot{x}'_1 = m_1 \dot{x}_1 + m_3 \dot{x}_3; \quad (2.29)$$

$$m_1 \dot{y}'_1 + m_3 \dot{y}'_3 = m_1 \dot{y}_1; \quad (2.30)$$

$$J_1 \dot{\theta}'_1 + m_3 s_1 \dot{x}'_1 \cos \theta'_1 - m_3 s_1 \dot{y}'_1 \sin \theta'_1 = J_1 \dot{\theta}_1 + m_3 s_1 \dot{x}_1 \cos \theta_1 - m_3 s_1 \dot{y}_1 \sin \theta_1; \quad (2.31)$$

čia: $\dot{x}_1; \dot{y}_1$ – dviratininko greičio dedamosios prieš smūgį laiko momentu t_1 ;

$\dot{x}_3; \dot{y}_3$ – automobilio greičio dedamosios prieš smūgį laiko momentu t_1 ;

$\dot{x}'_1; \dot{y}'_1$ – dviratininko greičio dedamosios po smūgio;

$\dot{\theta}_1$ – dviratininko kampinis greitis prieš smūgį laiko momentu t_1 ;

$\dot{\theta}'_1$ – dviratininko kampinis greitis po smūgio;

θ_1 – dviratininko kampinis poslinkis prieš smūgį laiko momentu t_1 ;

θ_1 – dviratininko kampinis greitis prieš smūgį.

Taip pat užrašomos dviratininko judėjimo lygtys automobilio atžvilgiu:

$$\dot{x}'_1 + \dot{\theta}'_1 s_1 \cos \theta'_1 - \dot{x}'_3 = 0; \quad (2.32)$$

$$\dot{y}'_1 + \dot{\theta}'_1 s_1 \sin \theta'_1 - \dot{y}'_3 = 0; \quad (2.33)$$

čia: $\dot{x}'_3; \dot{y}'_3$ – automobilio greičio dedamosios po smūgio.

Prieš tai išnagrinėtas partrenkiamo dviratininko matematinis modelis pasižymi tuo, kad visi modelio kūnai yra standūs, todėl atliekant skaičiavimus yra sumažinamos laiko sąnaudos, nereikalinga speciali programinė įranga. Eismo įvykių prasme, žinant atitinkamus įvesties parametrus, galima numatyti dviratininko ir dviračio judėjimo parametrus smūgio metu. O tai padėtų tiksliau išanalizuoti eismo įvykių aplinkybes.

3. Dviratininko judėjimo (nubloškimo) po partrenkimo trajektorijos vertinimas

Automobiliui partrenkus pėsčiąjį arba dviratininką pastebėta, kad 80 % tokių įvykių eigą galima suskirstyti į 3 etapus:

1. Automobilio – pėsčiojo susidūrimo metu smūgio impulsas iš automobilio persiduoda dviratininkui. Kai tarp automobilio ir dviratininko kontaktas nutrūksta, šis etapas yra baigtas.
2. Priklausomai nuo susidūrimo konfigūracijos, seka periodas, kurio metu dviratininkas yra bloškiamas, kol neatsiranda pirmas kontaktas tarp dviratininko ir žemės.
3. Atsiradus pirmam kontaktui tarp dviratininko ir žemės, nukentėjusysis slysta arba verčiasi kol galutinai sustoja (Simms, Wood 2009).

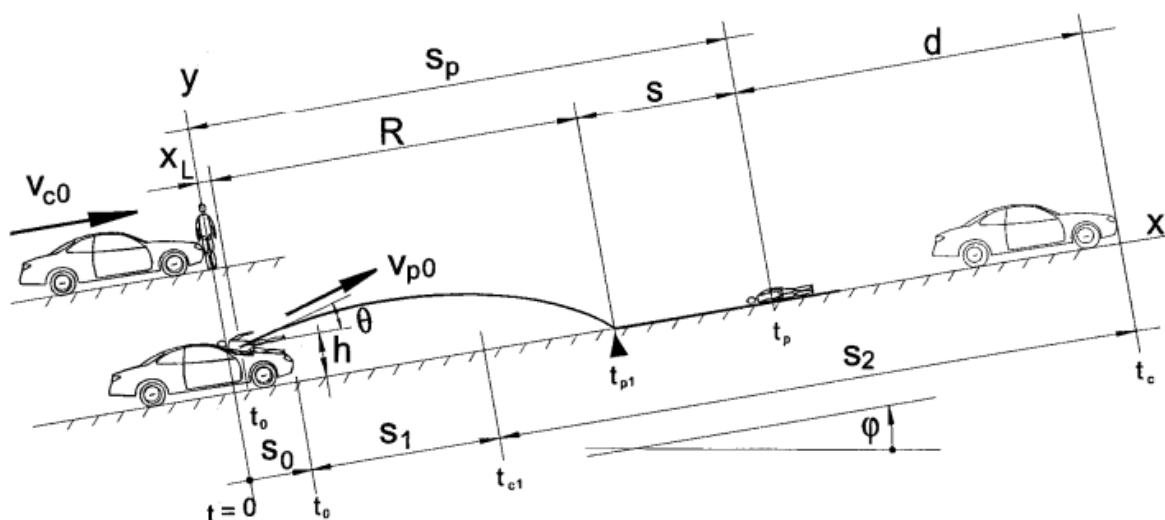
Toliau vaizduojama nubloškimo pėsčiojo schema (3.1 pav.). Šio proceso tikslas – gauti bendrą nubloškimo trajektorijos ilgį s_p , kaip automobilio pradinio greičio v_{c0} funkciją, įskaitant tokius parametrus, kaip nubloškimo kampą, aukštį h , kelio kategoriją ir kt. Šis principas taip pat taikomas ir dviratininko nubloškimo atveju. Nubloškimo trajektorija aprašoma tokia išraiška:

$$s_p = x_L + R + s; \quad (3.1)$$

čia: x_L – atstumas, kurį pėsčiasis įveikia patirdamas pirminį ir antrinį smūgius, įvertinant automobilio priekio formą, pėsčiojo/dviratininko svorio centro aukštį ir kt.;

R – atstumas, kurį pėsčiasis įveikia neturėdamas kontakto su žeme;

s – atstumas, kurį pėsčiasis įveikia nuo pirmo kontakto su žeme iki ramybės būsenos.



3.1 pav. Pėsčiojo partrenkimo trajektorijos schema (Han Brach, 2002)

Pradinis pėsčiojo greitis aprašomas tokia išraiška:

$$v_{p0} = \alpha v'_{c0}; \quad (3.2)$$

čia: α – pastovus dydis;

v'_{c0} – automobilio greitis tuo momentu, kai pėsčiasis praranda kontaktą su kelio danga.

Tarp automobilio – pėsčiojo pirmo kontakto ir pėsčiojo kontakto pradžią su žeme automobilis perduoda smūgio impulsą pėsčiajam ir pagal judesio kiekio momentą:

$$v'_{c0} = \frac{m_c}{m_c + m_p} v_{c0}; \quad (3.3)$$

čia: v_{c0} – automobilio greitis prieš smūgį;

m_c – automobilio masė;

m_p – pėsčiojo arba dviratininko su dviračiu masė.

Atstumas R aprašomas tokia išraiška:

$$R = v_{p0} \cos \theta t_R - g \sin \frac{\varphi t_R^2}{2}. \quad (3.4)$$

Laikas t_R , tai laikas per kurį pėsčiasis įveikia atstumą R neturėdamas kontakto su kelio danga (iki pirmo kontakto su kelio danga):

$$t_R = \frac{v_{p0} \sin \theta}{g \cos \varphi} + \frac{\sqrt{v_{p0}^2 \sin^2 \theta + 2gh \cos \varphi}}{g \cos \varphi}. \quad (3.5)$$

Pėsčiojo greičio dedamosios kontakto su keliu metu (atstumo R galinis taškas) lygios:

$$v_{pRx} = v_{p0} \cos \theta - g \sin \varphi t_R; \quad (3.6)$$

$$v_{pRy} = v_{p0} \sin \theta - g \cos \varphi t_R. \quad (3.7)$$

Smūgio į žemę metu atsiranda tikimybė, kad pėsčiasis atšoks arba šokinės. Horizontalus pėsčiojo atstumas po atsitrenkimo į žemę mažai priklauso nuo kūno ar jo dalių šokinėjimo, todėl

priimama kad kūnas yra neelastingas. Iš to išplaukia, kad pėsčiojo greitis po smūgio į žemę pagal y ašį:

$$v'_{pRy} = 0. \quad (3.8)$$

Pėsčiojo, atsitrenkusio į žemę, greičio dedamoji x ašimi aprašoma tokia išraiška:

$$v'_{pRx} = v_{pRx} + \mu v_{pRy}; \quad (3.9)$$

čia: μ – koeficientas apibūdinantis greičio impulsą.

Paprastai priimama, kad:

$$\mu = f_p; \quad (3.10)$$

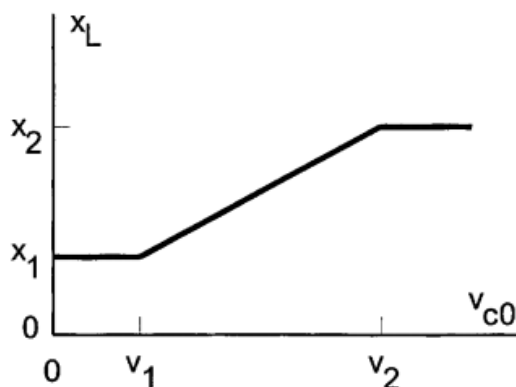
čia: f_p – pėsčiojo – kelio dangos pasipriešinimo koeficientas.

$$f_p = \frac{v_{p0}^2}{2gs}. \quad (3.11)$$

Galutinis nubloškimo žingsnis – slydimo kelias s , kuris apskaičiuojamas naudojant f_p :

$$s = \frac{(v'_{pRx})^2}{2g(f_p \cos \varphi + \cos \varphi)}. \quad (3.12)$$

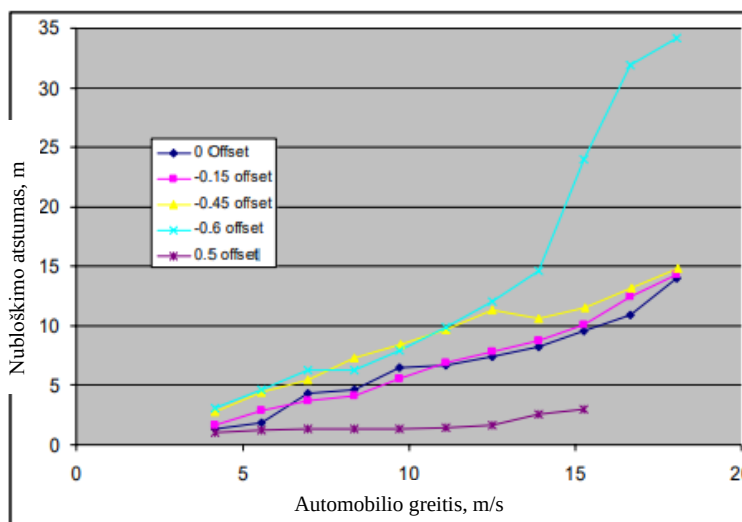
Toliau pateikiamas atkurto eismo įvykio funkcijos grafikas (3.2 pav.).



3.2 pav. Greičio priklausomybė nuo nubloškimo atstumo (Han Brach, 2002)

Grafike matoma, kad kai pradinis automobilio greitis $v_1 = 5$ m/s, nubloškimo atstumas $x_1 = 0,5$ m. Kai $v_2 = 20$ m/s, tai $x_2 = 1,5$ m. Iš to galima spręsti, kad nubloškimo atstumas ir automobilio greitis didėja proporcingai.

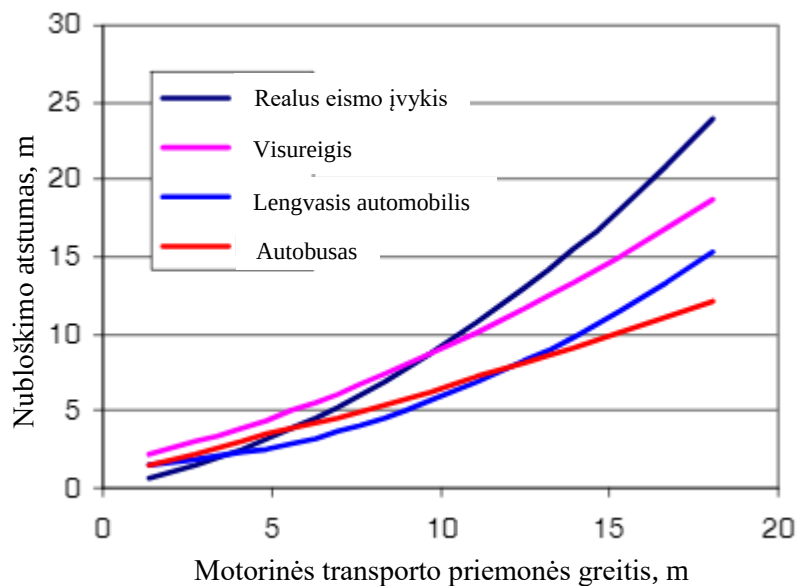
Kitame straipsnyje (Mukherjee *et al.* 2006) yra tiriamas dviratininko nubloškimo atstumas priklausomai nuo transporto priemonių greičių ir smūgio padėties. Simuliacijos metu dviratininkas judėjo 10 km/h greičiu, o automobilis – nuo 15 km/h iki 65 km/h greičiu. Smūgio metu automobilis trenkėsi į dviratininko šoną. Smūgio padėtis aprašoma dviračio sėdynės atstumu iki automobilio frontalinio ploto centro, lygiagrečiu frontaliniam automobilio plotui. Toliau vaizduojamas grafikas (3.3 pav.), kuriame parodytas nubloškimo atstumas, kai smūgio metu dviračio sėdynė nuo automobilio centro buvo tokiais atstumais: 0 m; 0,15 m; 0,45 m; 0,5 m ir 0,6 m.:



3.3 pav. Automobilio greičio priklausomybė nuo dviratininko nubloškimo trajektorijos (Mukherjee *et al.* 2006)

Iš grafiko matoma, kad kai automobilis važiuo didesniu nei 13 m/s greičiu, dviratininkas buvo nublokštas didesniu aukščiu ir atstumu. Tai rodo staigiau pakilusios kreivės. Bendra atveju, didėjant automobilio greičiui, didėja ir nubloškimo atstumas. Kai smūgio padėtis lygi 0,5 m iki automobilio centro vairuotojo pusėje, o dviratininkas dar tik pradeda kirsti automobilio judėjimo kryptį, nubloškimo atstumas yra mažiausias (iki 5 m). Kai smūgio padėtis yra 0,65 m iki automobilio centro keleivio pusėje, o dviratininkas beveik pravažiuoja automobilį, nubloškimo atstumas yra didžiausias (34 m).

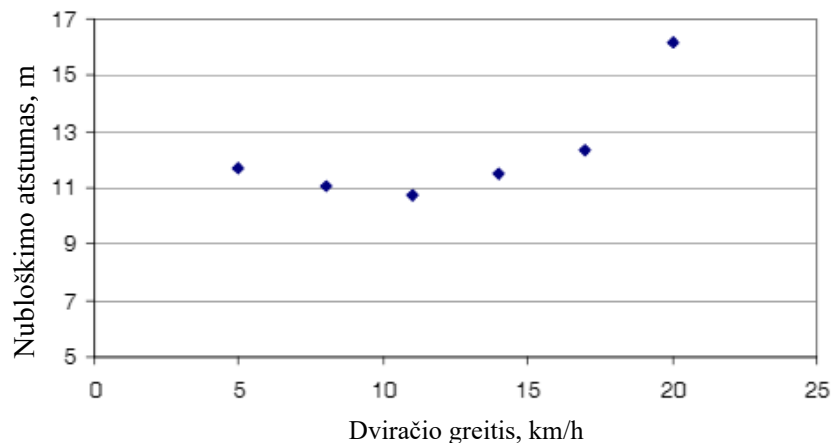
Kitame tyrime (Mukherjee *et al.* 2006) yra nagrinėjama automobilių kėbulo įtaka, dviratininko nubloškimo atstumui. Simuliacijoje buvo naudojamos tokios transporto priemonės: automobilis, visureigis ir autobusas. Transporto priemonės trenkėsi į dviratininko šoną. Toliau parodyta nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonių greičių (3.4 pav.).



3.4 pav. Transporto priemonės tipo priklausomybė nuo dviratininko nubloškimo atstumo (Mukherjee *et al.* 2006)

Grafike matoma, kad automobilio ir visureigio kreivės yra panašios į realaus eismo įvykio kreivę. Kreivė, atitinkanti autobusą, kyla nestabiliai ir labiau panaši į tiesinę priklausomybę. Tam turėjo įtakos priekinė autobuso dalies forma.

Taip pat buvo sudaryta ir dviratininko greičio priklausomybė nuo nubloškimo atstumo (3.5 pav.).



3.5 pav. Dviratininko greičio priklausomybė nuo jo nubloškimo atstumo (Mukherjee *et al.* 2006)

Grafike matoma, kad nubloškimo atstumas lygus nuo 11 m iki 16 m. O dviratininko greitis – nuo 5 m/s iki 25 m/s. Kai dviratininko greitis yra nuo 5 m/s iki 11 m/s, pastebima, kad nubloškimo atstumas mažėja. Tikėtina, tai yra dėl to, kad dviratininko judėjimo greitis sumažėja dėl judėjimo pasipriešinimo ir tuo metu būna nedidelis atstumas tarp dviračio ir transporto priemonės. Dėl mažo

atstumo automobilis perduoda mažesnę smūgio impulsą dviratininkui ir dėl to pastarasis yra nubloškiamas mažesniu atstumu.

Šiame skyriuje atlikta įvairių parametų priklausomybė nuo nubloškimo atstumo. Analizė parodė, kad didėjant motorinės transporto priemonės greičiui, didėja ir dviratininko nubloškimo atstumo ilgis. Taip pat iš tyrimų matoma, kad didžiausias nubloškimo atstumas būna tada, kai dviratininkas beveik baigia kirsti motorinės transporto priemonės važiavimo kryptį. Kas liečia kėbulo tipo įtaką, autobusas nubloškia dviratininką mažiausiu atstumu. O didžiausiu atstumu nubloškia visureigis.

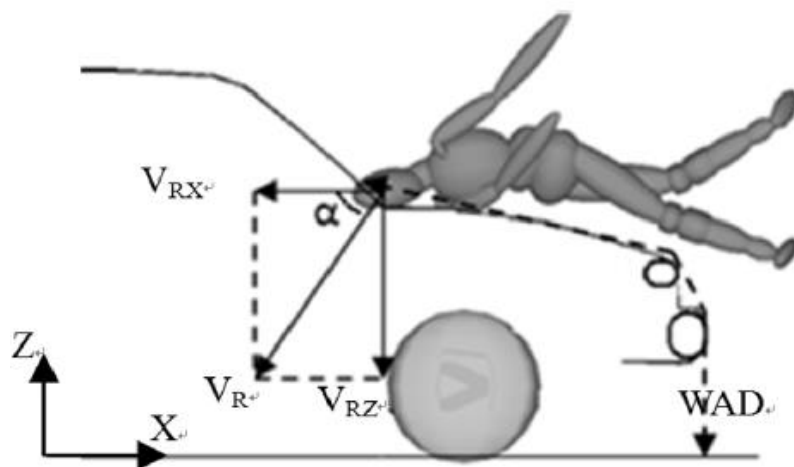
4. Dviratininko partrenkimo parametų priklausomybė nuo automobilio ir dviratininko kontakto vietų

Automobiliui partrenkus dviratininką, ant automobilio kėbulo atsiranda kontakto vietos, nuo kurių yra matuojamas atstumas iki žemės pagal automobilio formą. Išmatuotas atstumas yra vadinamas WAD parametru. Jis apibūdinamas kaip atstumas nuo žmogaus galvos kontakto su automobiliu iki kelio dangos ties automobilio priekiu. WAD paveiksle (4.1 pav.) vaizduojamas brūkšnine linija. Schema gali būti pritaikoma ir pėsčiajam ir dviratininkui. Galvos smūgio kampas α apibūdinamas galvos greičio vektoriais:

$$\alpha = \arctan \frac{V_{RZ}}{V_{RX}}; \quad (3.13)$$

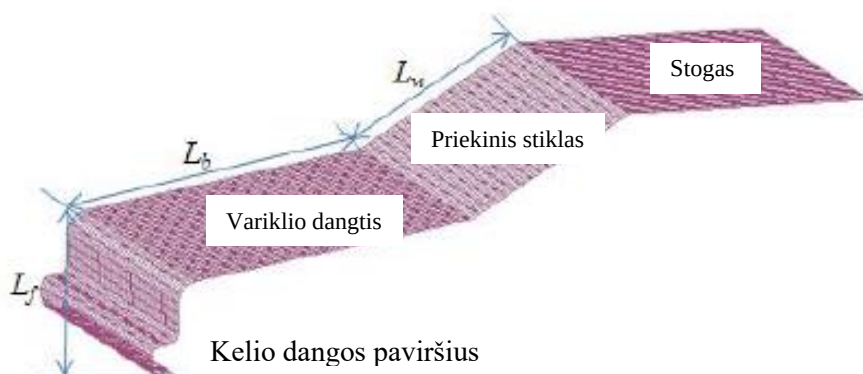
čia: V_{RZ} – galvos greičio vertikali dedamoji;

V_{RX} – galvos greičio horizontali dedamoji.



4.1 pav. Eismo įvykio parametrai (Nie, Yang 2014)

Yuan (2017) straipsnyje nagrinėjama įvairių parametų priklausomybė nuo WAD parametro, kai yra partrenkiamas pėsčiasis. WAD yra apibrėžiamas atstumais L_f , L_b , L_w (4.2 pav.).



4.2 pav. WAD atstumai ant automobilio modelio (Yuan 2017)

Atstumų reikšmės L_f , L_b , L_w pavaizduotos toliau (4.1 lentelė).

4.1 lentelė. WAD parametro reikšmės (Yuan 2017)

L_f	L_b	L_w	Iš viso
73,9 cm	99,3 cm	95,1 cm	268,3 cm

Vieni iš parametų – tai smūgio greitis ir lėtėjimo pagreitis (4.2 lentelė).

4.2 lentelė. WAD parametro reikšmės priklausomai nuo smūgio greičio ir lėtėjimo pagreičio (Yuan 2017)

Smūgio greitis, km/h	WAD, m							
	0 m/s ²	1 m/s ²	2 m/s ²	3 m/s ²	4 m/s ²	5 m/s ²	6 m/s ²	7 m/s ²
30	1.61	1.63	1.62	1.61	1.59	1.56	1.54	1.51
40	1.66	1.66	1.66	1.66	1.65	1.64	1.63	1.61
50	1.71	1.69	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
60	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
70	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78
80	1.82	1.81	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
90	1.89	1.89	1.90	1.89	1.89	1.89	1.88	1.87

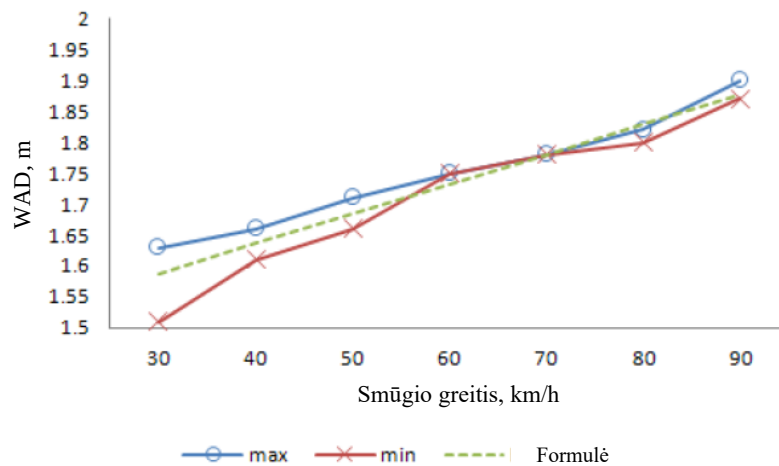
4.2 lentelėje matoma, kad kai smūgio greitis mažesnis nei 50 km/h, lėtėjimo pagreitis stabdymo metu daro įtaką WAD parametro reikšmei – didėjant lėtėjimo pagreičiui, WAD parametro reikšmė mažėja. Kai smūgio greitis didesnis nei 50 km/h, WAD parametro reikšmei lėtėjimo pagreitis įtakos beveik nedaro. Jei po eismo įvykio neįmanoma nustatyti smūgio greičio, galima pasinaudoti toliau pateikta išraiška:

$$L \approx 4,8 \cdot 10^{-3}v + 1,4443; \quad (3.14)$$

čia: L – WAD, m;

v – smūgio greitis, km/h.

Toliau pavaizduota WAD priklausomybė nuo smūgio greičio, nustatyta naudojant simuliaciją ir formulę (4.3 pav.).



4.3 pav. Smūgio greičio priklausomybė nuo WAD parametro reikšmių (Yuan 2017)

4.3 paveiksle matoma, kad pagal formulę vyrauja tiesinė priklausomybė. Šia tiesine priklausomybe galima pasinaudoti tiriant eismo įvykius.

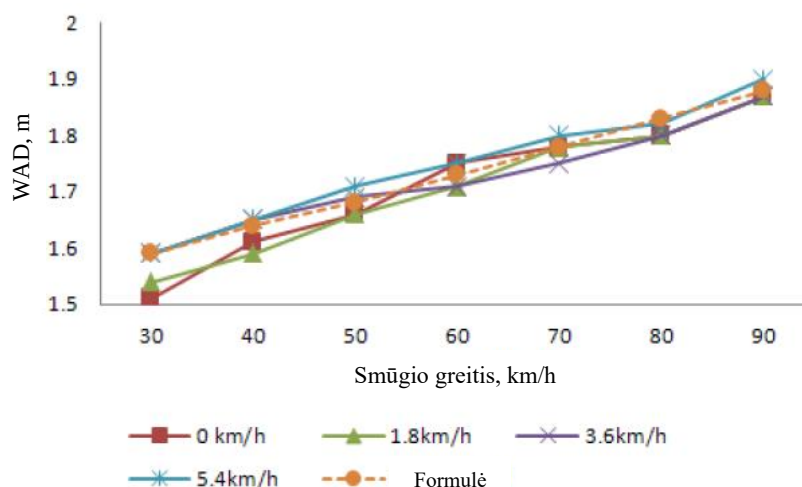
Kitas parametras, turintis įtakos WAD parametro reikšmei – pėsčiojo arba dviratininko greitis (4.3 lentelė).

4.3 lentelė. WAD parametro reikšmės priklausomai smūgio greičio ir pėsčiojo greičio (Yuan 2017)

Smūgio greitis, km/h	WAD pagal formulę, m	WAD, m			
		0 km/h	1.8 km/h	3.6 km/h	5.4 km/h
30	1.59	1.51	1.54	1.59	1.59
40	1.64	1.61	1.59	1.65	1.65
50	1.68	1.66	1.66	1.69	1.71
60	1.73	1.75	1.71	1.71	1.75
70	1.78	1.78	1.78	1.75	1.80
80	1.83	1.80	1.80	1.80	1.82
90	1.88	1.87	1.87	1.87	1.90

Iš 4.3 lentelės matoma, kad didėjant pėsčiojo greičiui, WAD parametro reikšmė bendru atveju didėja, tačiau skirtumai nėra dideli.

Toliau vaizduojama pėsčiojo greičio priklausomybė nuo WAD parametro reikšmės (4.4 pav.).



4.4 pav. WAD parametro reikšmių priklausomybė nuo pėsčiojo judėjimo ir smūgio greičio (Yuan 2017)

Matoma, kad 4.4 pav. grafike pagal formulę gautos tiesinės priklausomybės taškai yra arti simuliacijos metu gautų taškų. Kaip ir buvo minėta, didėjant susidūrimo greičiui, WAD parametro reikšmė didėja.

Šiame skyriuje išanalizuota įvairių parametrų įtaka WAD parametro reikšmei. Kuo WAD reikšmė didesnė, tuo dviratininkas arba pėsčiasis kontaktuoja arčiau galinės automobilio dalies. Motorinės transporto priemonės greitis daro didžiausią įtaką WAD parametro reikšmei. Kuo didesnis greitis, tuo dviratininkas kontaktuoja su automobiliu arčiau automobilio galinės dalies (variklio dangčio pabaigoje, priekiniu stiklu). Stabdant motorinę transporto priemonę didėja lėtėjimo pagreitis, mažėja greitis, todėl dviratininkas kontaktuoja arčiau priekinės automobilio dalies. Taip pat WAD reikšmė didėja, didėjant pėsčiojo ir dviratininko greičiui.

5. Eksperimentiniai tyrimai

5.1. Tyrimo atlikimo metodika

Modeliavimai atliekami naudojant kompiuterinę programą „PC-Crash“ ir joje naudojamus automobilio ir dviratininko modelius. Modeliavimas vyksta daugiamatėje erdvėje. Simuliacijos metu įvyksta susidūrimas tarp automobilio ir dviratininko skirtingais kampais. Kaip pavyzdys, toliau matomi automobilio ir dviratininko greičiai (5.1 lentelė), kai susidūrimo kampas tarp abiejų transporto priemonių lygus 0° (automobilis ir dviratis juda tomis pačiomis kryptimis).

5.1 lentelė. Automobilio ir dviratininko greičiai

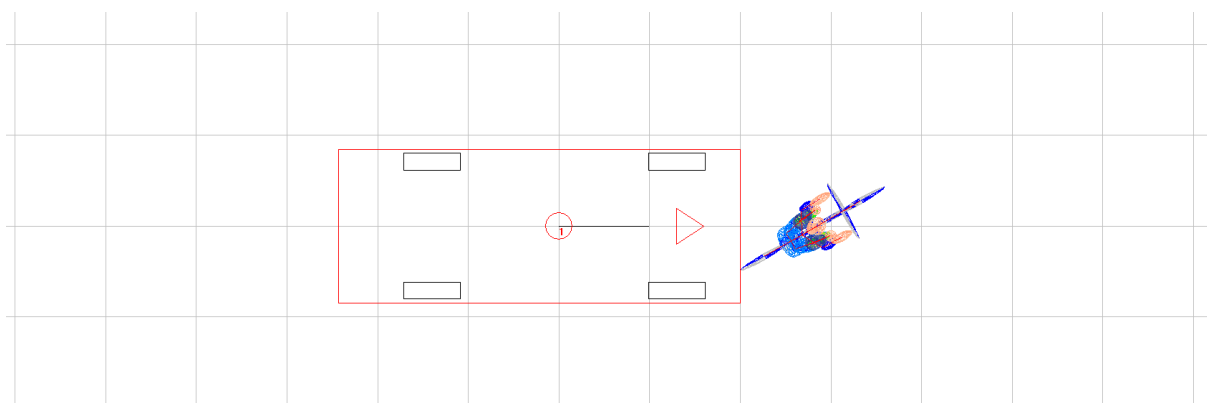
Kampas, $^\circ$	Automobilio greitis, km/h	Dviratininko greitis, km/h
0	30	10
		15
		20
	40	10
		15
		20
	50	10
		15
		20
	60	10
		15
		20
	70	10
		15
		20
	80	10
		15
		20
	90	10
		15
		20

Susidūrimo kampas tarp abiejų transporto priemonių buvo keičiamas nuo 0° iki 180° , kas 30° (5.2 lentelė). Kiekvienu kampu buvo atliekama 21 simuliacija, o iš viso 147 simuliacijų.

5.2 lentelė. Kampai susidūrimo metu

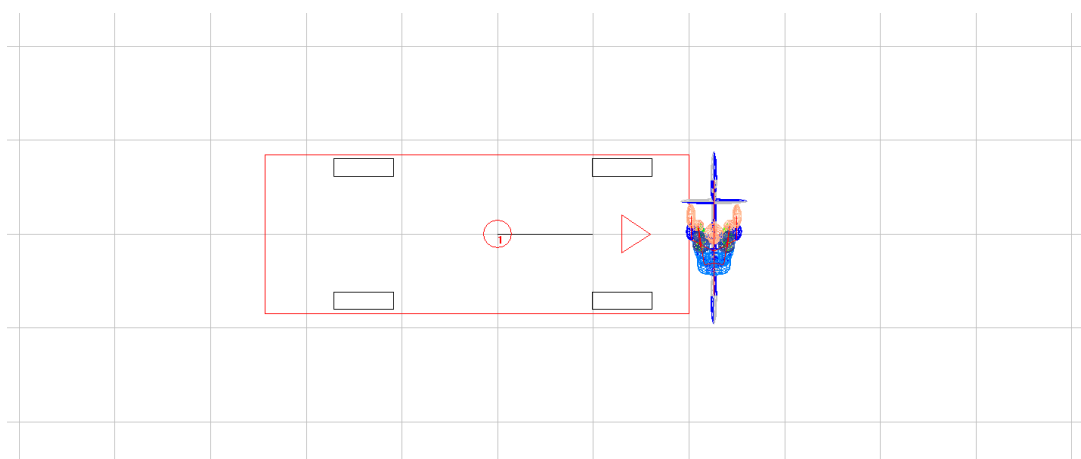
Kampas, $^\circ$	0	30	60	90	120	150	180
------------------	---	----	----	----	-----	-----	-----

Toliau vaizduojama automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 30° . Dviratininkas juda tolyn nuo automobilio (5.1 pav.).



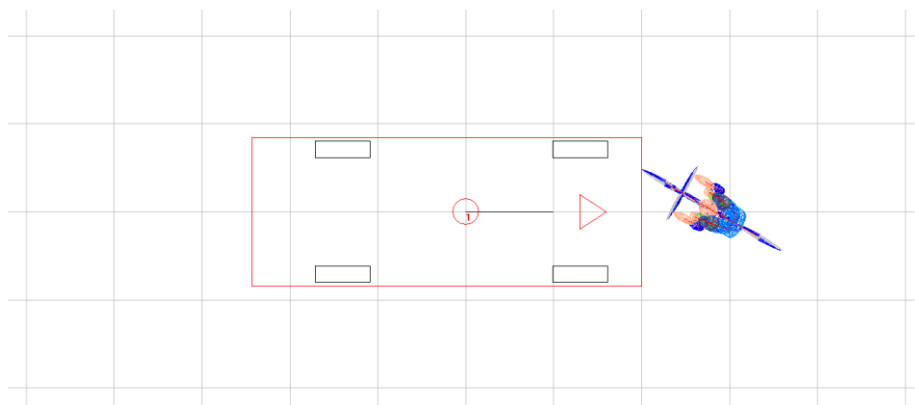
5.1 pav. Automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 30°

Kai susidūrimo kampas lygus 90° , dviratininkas juda nuo automobilio priekio dešinės pusės link kairės pusės (5.2 pav.).



5.2 pav. Automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 90°

Nuo susidūrimo kampo 120° dviratininkas keičia judėjimo kryptį (juda prieš automobilį). Kaip pavyzdys, kai susidūrimo kampas lygus 150° ir dviratininkas juda prieš automobilį (5.3 pav.).



5.3 pav. Automobilio ir dviratininko padėtis smūgio metu, kai kampas lygus 150°

Kai visos simuliacijos atliktos, nubloškimo atstumo ir nubloškimo kampo dydžiai yra surašomi į „Microsoft Excell“ programą. Atstumai ir kampai surašomi ir dviratininkui, ir dviračiui. Pagal surašytus duomenis sudaromos dviračio ir dviratininko nubloškimo atstumų ir kampų priklausomybės nuo automobilio grečio. Neigiamas kampas rodo, kad dviratininkas arba dviratis nubloškiami į dešinę pusę, o jei teigiamas – į kairę (žiūrint iš automobilio vairuotojo vietos). Kiekviename grafike yra po 3 kreives, atitinkančias 3 skirtingus dviračių greičius.

Transporto priemonių duomenys

Toliau pavaizduoti eksperimente dalyvaujančių transporto priemonių duomenys (5.3 lentelė.).

5.3 lentelė. Automobilio ir dviratininko duomenys

Automobilis	Markė, modelis	BMW 320
	Ilgis, m	4,429
	Plotis, m	1,689
	Aukštis, m	1,328
	Ratų bazė, m	2,7
	Priekinė ir galinė tarpvėžės, m	1,419
	Paruoštos eksploatuoti transporto priemonės masė, kg	1316
	Priekinės/galinės ašių standumo koeficientai, N/m	16735/15539
	Priekinės/galinės ašių slopinimo koeficientai, Ns/m	1673/1553
Dviratininkas	Svoris, kg	92
	Dviračio ilgis, m	1,83
	Plotis su dviračiu, m	0,7
	Aukštis su dviračiu, m	1,66
	Trinties koeficientas (dviratininkas – žemė)	0,8
	Trinties koeficientas (dviratininkas – automobilis)	0,69

Automobilio inercijos momentai x, y ir z ašimis yra apskaičiuojami automatiškai pasirenkant automobilį, tačiau esant reikalui, formulės gali būti keičiamos:

$$I_z = 0,1269 \cdot m \cdot r_{12} \cdot L; \quad (5.1)$$

$$I_y = I_z; \quad (5.2)$$

$$I_x = 0,3 \cdot I_z; \quad (5.3)$$

čia: I_z – automobilio inercijos momentas apie z ašį;

I_y – automobilio inercijos momentas apie y ašį;

I_x – automobilio inercijos momentas apie x ašį;

r_{12} – automobilio ratų bazė;

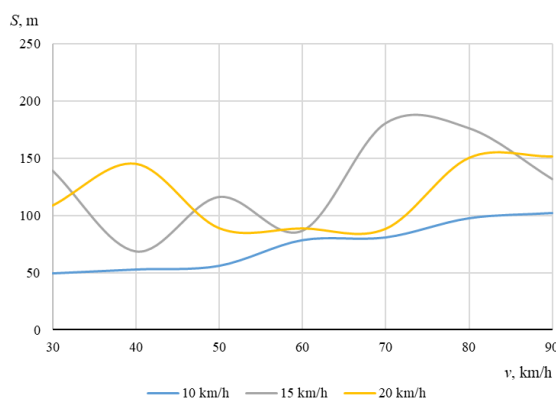
m – automobilio masė;

L – automobilio ilgis.

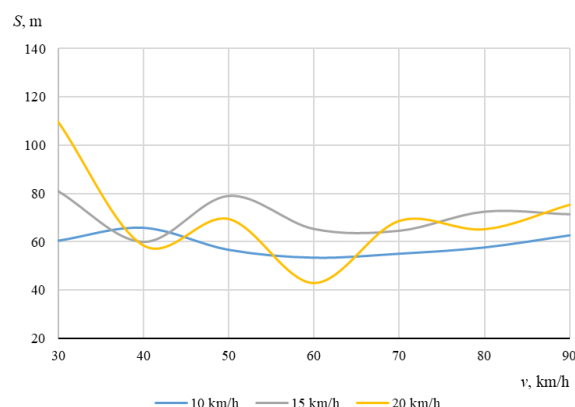
5.2. Tyrimų rezultatai

Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 0°

Automobilio ir dviratininko greičių vektoriai sutampa (kampas 0°). Toliau pavaizduotos dviračio (5.4 pav.) ir dviratininko (5.5 pav.) nubloškimo atstumų priklausomybės nuo automobilio greičių.



5.4 pav. Dviračio nubloškimo atstumai ($\alpha = 0^\circ$)



5.5 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai ($\alpha = 0^\circ$)

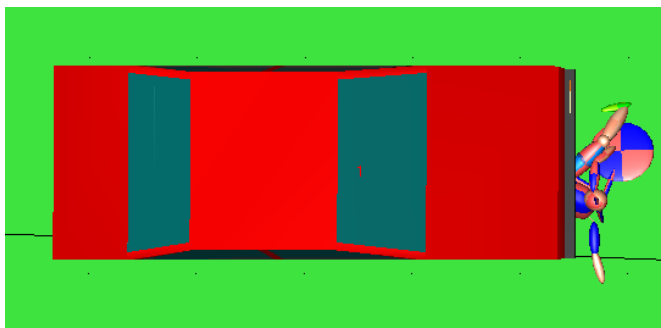
Dešinėje esančiame grafike (5.5 pav.) matoma, kad beveik visame automobilio greičių diapazone dviratininko nubloškimo atstumas išlieka mažiau daugiau pastovus. Pastoviausias nubloškimo atstumas visame automobilio greičių diapazone būna tada, kai dviratininko greitis lygus 10 km/h. Mažiausias dviratininko nubloškimo atstumas (42,97 m) pastebėtas, esant automobilio

greičiui lygiam 60 km/h, o dviratininko – 20 km/h. Maksimalios dviratininko nubloškimo reikšmės pastebėtos, esant minimaliam automobilio greičiui 30 km/h, o dviratininko greičiai lygūs 15 km/h ir 20 km/h. Maksimali dviratininko nubloškimo reikšmė lygi 109,72 m, o greičių skirtumas tarp automobilio ir dviračio minimalus (automobilio greitis 30 km/h, o dviratininko – 20 km/h). Simuliacijos metu, kai dviratininko nubloškimo atstumas buvo maksimalus, pastebėta, kad po smūgio dviratininkas visą laiką judėjo įstrigęs po automobiliu (5.6 pav.). Tikėtina, kad dėl to nubloškimo atstumas ir yra išaugęs (109,72 m).



5.6 pav. Dviratininkas, velkamas automobilio

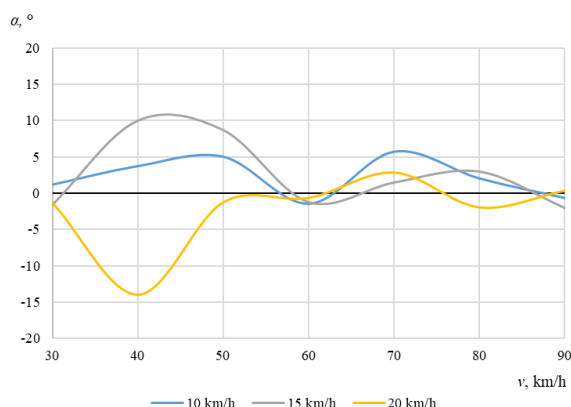
Kairėje esančiame grafike (5.4 pav.) pavaizduotas dviračio nubloškimo atstumas. Didžiausias dviračio nubloškimo atstumas (180,44 m) pastebėtas, kai dviratininko greitis lygus 15 km/h, o automobilio – 70 km/h. Kai dviračio greitis lygus 10 km/h, matoma, kad didėjant automobilio greičiui, nubloškimo atstumas turi tendenciją didėti (nuo 49,27 m iki 101,91 m). Tačiau bendruoju atveju, po smūgio dviratis juda chaotiškai. Tikėtina, kad esant mažam automobilio greičiui, dviratis palindo po automobiliu ir praėjus kažkuriam laikui dviratis bloškiamas iš po automobilio neprognozuojama jėga ir kampu (5.7 pav.).



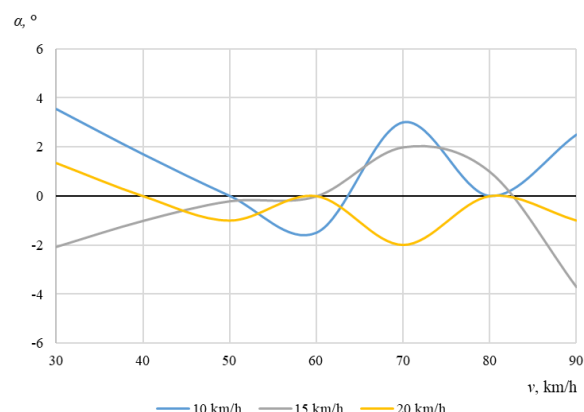
5.7 pav. Dviratis, palindęs po automobiliu

Kita tikėtina priežastis, galinti paveikti chaotišką dviračio judėjimą, esant didesniau automobilio greičiui (nuo 40 km/h), po smūgio judant dviračiui atsiranda papildomos jėgos, kurias sukelia besisukančios kampiniu greičiu dviračio detalės (vairas, pedalai).

Toliau vaizduojamos dviratininko (5.8 pav.) ir dviračio (5.9 pav.) nubloškimo kampų priklausomybės nuo automobilio greičių, kai kampas tarp dviratininko ir automobilio lygus 0° .

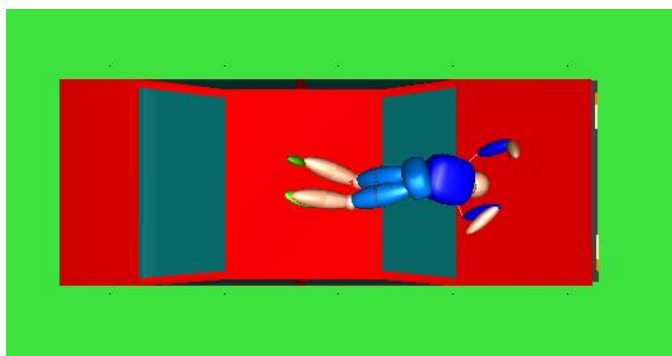


5.8 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 0^\circ$)



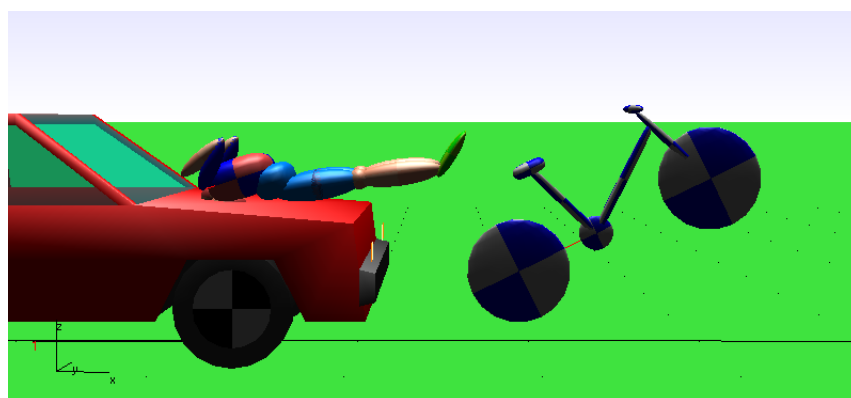
5.9 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 0^\circ$)

Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.9 pav.) matoma, kad maksimalus dviratininko nubloškimo kampas lygus $3,7^\circ$. Kai automobilio greičiai nedideli (30 km/h – 40 km/h), matomas nubloškimo kampų netolygumas esant skirtingiems dviratininko greičiams. Tikėtina, kad tai lėmė dviratininko palindimas po automobiliu, o po kurio laiko dviratininkas yra išstumiamas iš po automobilio ir bloškiamas kampu, nesutampančiu su automobilio važiavimo kryptimi. Taip pat didesni dviratininko nubloškimo kampai pastebėti, kai automobilis važiuo 70 km/h ir 90 km/h greičiais. Automobiliui važiuojant šiais greičiais dviratininkas smūgio metu atsimuša nuo automobilio priekinio stiklo ir sukdamasis apie įsivaizduojamas ašis ore nubloškiamas kampu nesutampančiu su automobilio judėjimo kryptimi. Kai nubloškimo kampas buvo mažiausias (0°) arba labai artimas mažiausiam, dviratininkas po smūgio sukasi ore kampiniu greičiu apie įsivaizduojamą ašį, maždaug statmeną automobilio judėjimo kryptį (5.10 pav.).



5.10 pav. Dviratininko sukimasis ore apie ašį, statmeną automobilio judėjimo kryptį

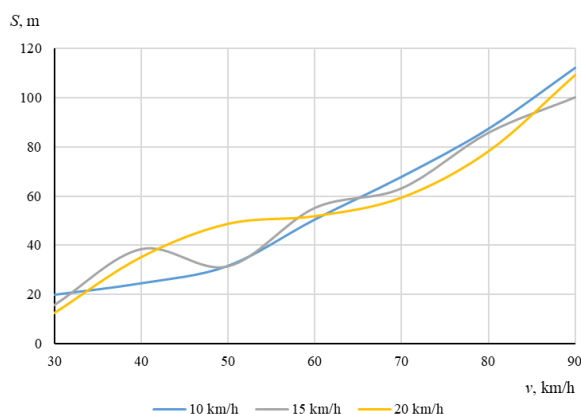
Kairėje pusėje esančiame grafike (5.8 pav.) matomas dviračio nubloškimo kampas. Kai automobilio greičiai lygūs 40 km/h ir 50 km/h, matomi ženklūs kampų pasikeitimai esant skirtingiems dviratininko greičiams. Maksimalus dviračio nubloškimo kampas lygus 14° , kai pastarojo greitis lygus 20 km/h. Tikėtina, kad tokius dviračio nubloškimo kampo pokyčius lėmė dviračio palindimas po automobiliu ir po kurio laiko dviratis buvo išstumtas neprognozuojamu kampu nesutampančiu su automobilio judėjimo kryptimi. Kai dviračio nubloškimo kampas yra labai artimas 0° , dviratis nepalenda po automobiliu ir smūgio metu atsimušęs į priekinį automobilio bamperį juda automobilio judėjimo kryptimi (5.11 pav.).



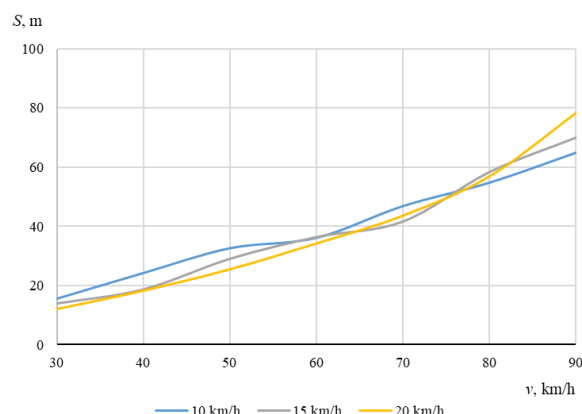
5.11 pav. Dviratininkas atsimuša į priekinį automobilio stiklą

Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 30°

Toliau vaizduojamos dviračio (5.12 pav.) ir dviratininko (5.13 pav.) nubloškimo atstumų priklausomybės nuo automobilio greičių, kai kampas smūgio metu lygus 30° .

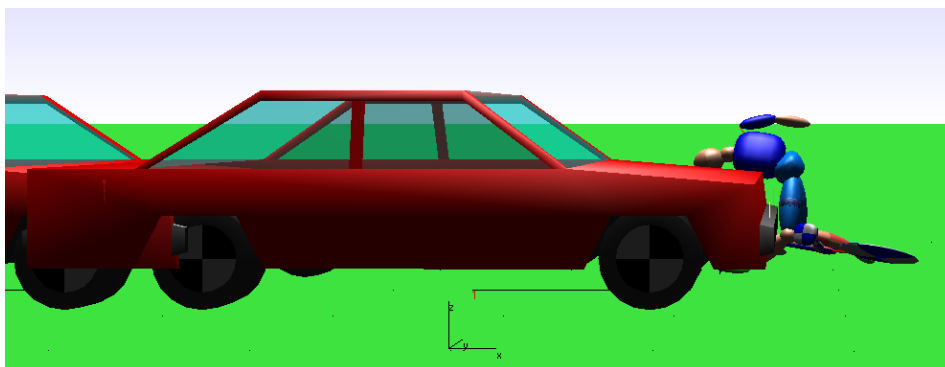


5.12 pav. Dviračio nubloškimo atstumai
($\alpha = 30^\circ$)



5.13 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai
($\alpha = 30^\circ$)

Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.13 pav.) pavaizduota dviratininko nubloškimo atstumų priklausomybė nuo automobilio greičių. Minimalus nubloškimo atstumas (12 m) užfiksuotas, kai dviratininkas važiavo 20 km/h greičiu, o automobilis – 30 km/h. Kai automobilio greitis buvo lygus nuo 30 km/h iki 60 km/h, didžiausi nubloškimo atstumai užfiksuoti dviratininkui važiuojant 10 km/h greičiu, taip pat pastebėta, kad esant mažiems automobilių greičiams dviratininkas nežymiai pasislenka z ašimi, kadangi dviratininkas kontaktavo tik su frontaline automobilio dalimi ties grotelėmis ir variklio dangčiu (5.14 pav.).



5.14 pav. Dviratininkas kontaktuoja su frontaline automobilio dalimi ties grotelėmis ir variklio dangčiu

Didžiausias dviratininko nubloškimo atstumas (78,38 m) fiksuotas, kai automobilis važiavo 90 km/h greičiu, o dviratininkas – 20 km/h greičiu. Tikėtina, kad tai lėmė susidaręs didelis greičių skirtumas tarp abiejų transporto priemonių, nors dviratininkas ir važiavo maksimaliu 20 km/h greičiu. Taip pat esant maksimaliems transporto priemonių greičiams pastebėta, kad po smūgio dviratininko poslinkis z ašimi yra žymiai didesnis nei esant mažiems greičiams. Tai lėmė dviratininko atsimušimas į variklio dangtį ir priekinį stiklą (5.15 pav.).

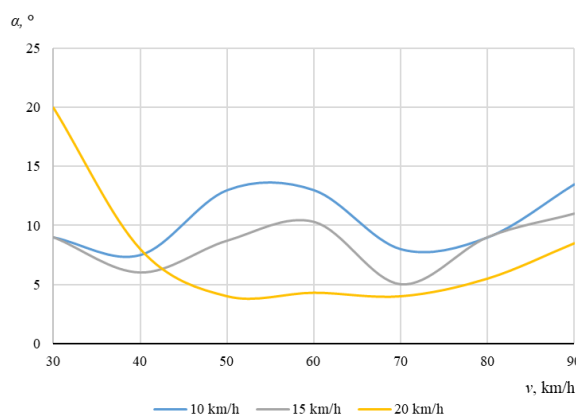


5.15 pav. Dviratininkas bloškiamas po atsimušimo į priekinį automobilio stiklą

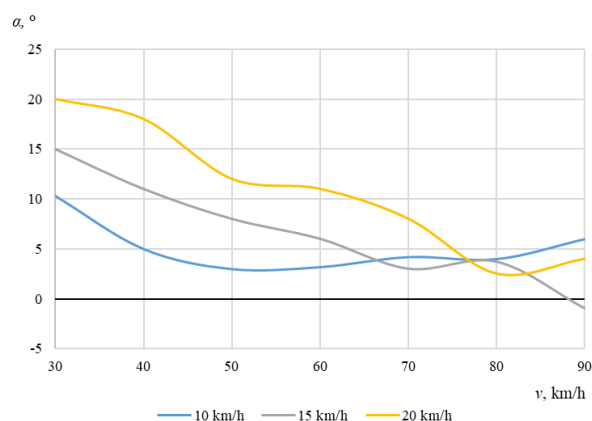
Bendruoju atveju matoma, kad didėjant automobilio greičiui, didėja ir dviratininko nubloškimo atstumas. Jei lyginant minimalų ir maksimalų nubloškimo atstumus, tai automobiliui važiuojant 90 km/h greičiu nubloškimo atstumas išaugo apie 6,5 karto (650 %).

Kairėje pusėje esančiame grafike (5.12 pav.) matoma dviračio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičių. Kai automobilis judėjo iki 60 km/h greičiu, o dviratininkas skirtingais greičiais, skirtumas tarp nubloškimo atstumų yra gana didelis, kadangi vienu atveju dviratis palenda po automobiliu ir po to yra staiga išstumamas iš automobilio neprognozuojamu kampu ir greičiu, o kitu atveju dviratis smūgio metu atsimuša į automobilį ir slenka x ašies kryptimi. Kai automobilis važiuo didesniu nei 60 km/h greičiu, o dviratis skirtingais greičiais, tai skirtumas tarp nubloškimo atstumų yra gana mažas ir ne toks chaotiškas kaip esant mažesniems automobilio greičiams. Bendruoju atveju matoma, kad didėjant automobilio greičiui, dviračio nubloškimo atstumas didėja. Minimalus dviračio nubloškimo atstumas (12,38 m) fiksuotas, kai automobilis važiuo 30 km/h, o dviratininkas – 20 km/h greičiu. Didžiausias dviračio nubloškimo atstumas (112 m) užfiksuotas automobiliui važiuojant 90 km/h greičiu, o dviratininkui – 10 km/h greičiu. Nuo minimalios iki maksimalios reikšmės dviračio nubloškimo atstumai išaugo apie 9 kartus (900 %).

Toliau vaizduojamos dviračio (5.16 pav.) ir dviratininko (5.17 pav.) nubloškimo kampų priklausomybės nuo automobilių greičių, kai kampas smūgio metu lygus 30° .



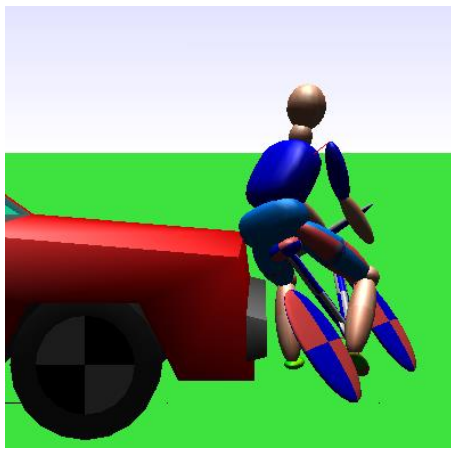
5.16 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 30^\circ$)



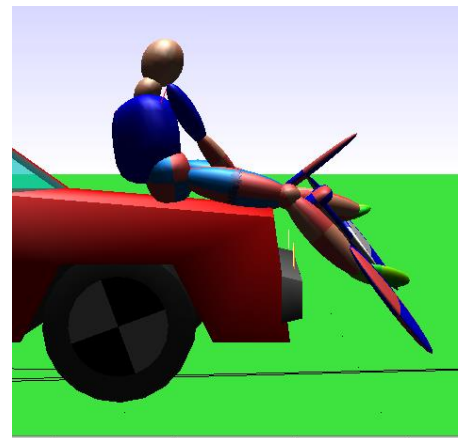
5.17 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 30^\circ$)

Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.17 pav.) matoma, kad maksimalus dviratininko nubloškimo kampas lygus 20° , kai automobilis judėjo minimaliu 30 km/h greičiu, o dviratininkas judėjo maksimaliu 20 km/h greičiu. Taip yra todėl, kad kuo dviratininkui važiuojant didesniu greičiu, tuo labiau po smūgio dviratininkas yra bloškiamas labiau savo judėjimo kryptimi. Kai automobilio greitis minimalus (30 km/h), o dviratininko taip pat minimalus (10 km/h), tai smūgio metu dviratininkas yra bloškiamas labiau automobilio judėjimo kryptimi, dėl ko ir matoma, kad šiuo atveju nubloškimo kampas yra lygus $10,3^\circ$. Prie didžiausio automobilio greičio (90 km/h) matomas

minimalus dviratininko nubloškimo kampas (-1°). Bendruoju atveju matoma, kad didėjant automobilio greičiui, dviratininko nubloškimo kampas mažėja. Toliau matoma, kad simuliacijos metu, kai automobilio greitis minimalus (30 km/h), smūgio metu automobilis iš pradžių kontaktuoja su dviračio galiniu ratu, o vėliau dar ir su dviratininko kairiuoju šonu (5.18 pav.). Taip pat dviratininkas smūgio metu būna įstrigęs dviračio rėme, dėl ko nubloškimo kampas ir išauga. Kitame paveiksle (5.19 pav.) matoma smūgio akimirka, kai automobilis važiavo maksimaliu 90 km/h greičiu. Tada dėl didesnio jėgos impulso automobilio priekinė dalis kontaktuoja tik su dviračio galiniu ratu, o dviratininkas išsilaisvinęs iš automobilio rėmo atsидuria ant variklio dangčio, dėl ko yra bloškiamas labiau automobilio judėjimo kryptimi (minimaliu kampu).



5.18 pav. Automobilio kontaktas su dviračio galiniu ratu ir dviratininko kairiuoju šonu

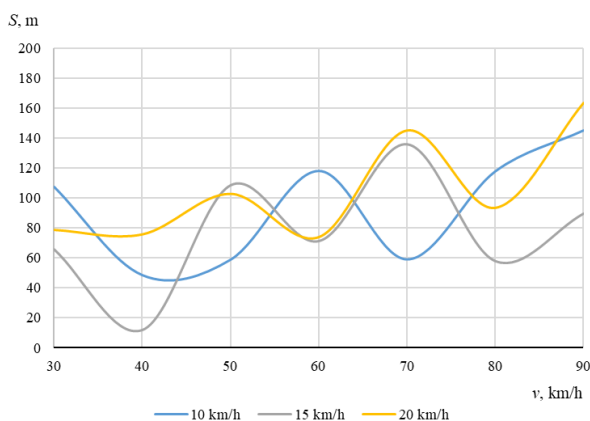


5.19 pav. Automobilio kontaktas tik su dviračio galiniu ratu

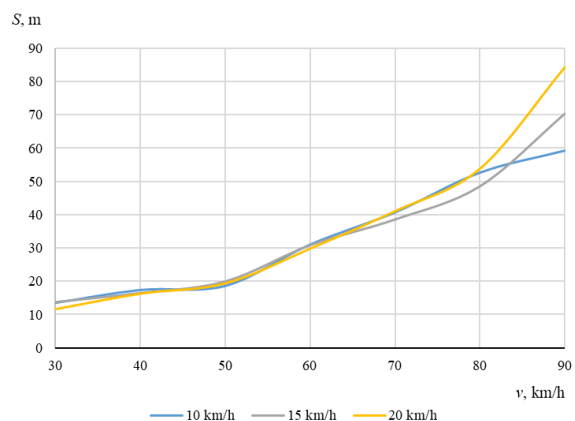
Kairėje pusėje esančiame grafike (5.16 pav.) matoma dviračio nubloškimo kampo priklausomybė nuo automobilio greičių. Maksimalus dviračio nubloškimo kampas (20°) fiksuotas automobiliui judant minimaliu 30 km/h greičiu, odviratininkui maksimaliu 20 km/h. Minimalūs dviračio nubloškimo kampai (4°) fiksuoti, kai automobilis važiavo nuo 50 km/h iki 70 km/h. Kai automobilio greitis didesnis nei 70 km/h, dviračio nubloškimo kampai vėl išauga. Bendruoju atveju negalima įžvelgti konkrečios tendencijos, kadangi dviratis kaip ir minėta anksčiau, juda chaotiškai, taip pat kai kuriais atvejais palenda ir po automobiliu.

Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 60°

Toliau vaizduojama dviratininko (5.21 pav.) ir dviračio (5.20 pav.) nubloškimo atstumų priklausomybė nuo automobilio greičių, kai kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu yra lygus 60° .



5.20 pav. Dviračio nubloškimo atstumai
($\alpha = 60^\circ$)

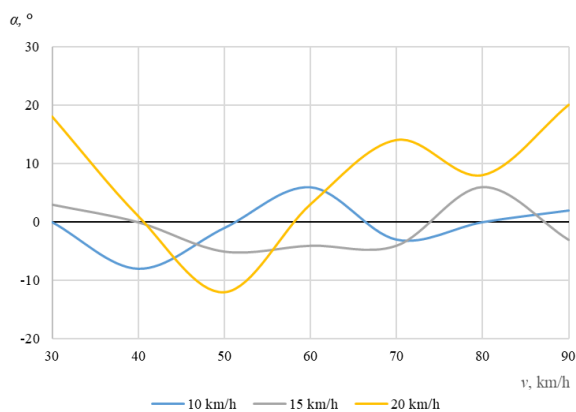


5.21 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai
($\alpha = 60^\circ$)

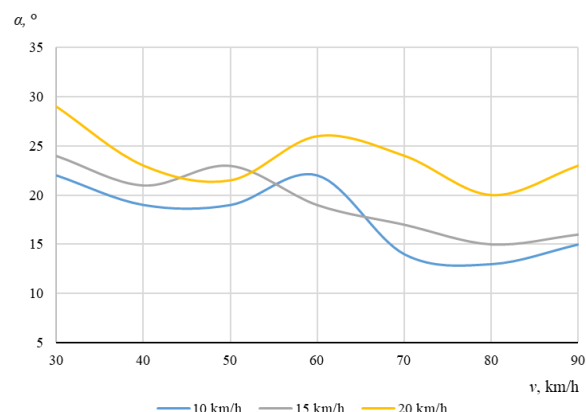
Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.21 pav.) matoma dviratininko nubloškimo atstumų priklausomybė nuo automobilio greičių. Maksimalus nubloškimo atstumas (84,4 m) užfiksuotas, kai automobilis važiuoja maksimaliu 90 km/h greičiu, o dviratininkas – 20 km/h greičiu. Prie to pačio automobilio greičio, kai dviratininkas judėjo 10 km/h greičiu, nubloškimo atstumas buvo lygus 59,4 m. Tikėtina priežastis – mažesnis jėgos impulsas smūgio metu dviratininkui judant maksimaliu 20 km/h greičiu. Mažesnis smūgio impulsas sukelio mažiau chaotišką dviračio judėjimą po smūgio, dėl ko ir dviratininkas yra nubloškiamas toliau. Minimalus dviratininko nubloškimo atstumas (12 m) fiksuotas automobiliui važiuojant minimaliu 30 km/h greičiu. Palyginus minimalų ir maksimalų nubloškimo atstumus matoma, kad atstumas išaugęs arba sumažėjęs 7 kartus. Kai automobilis važiuoja iki 80 km/h greičiais, grafike esančios kreivės beveik sutampa, vadinasi šiuo atveju dviratininko greitis nubloškimo atstumui nedaro žymios įtakos.

Kairėje pusėje esančiame grafike (5.20 pav.) matoma dviračio nubloškimo atstumų priklausomybė nuo automobilio važiavimo greičių. Ties kiekvienu automobilio greičiu matomi nemaži atstumų skirtumai esant skirtingiems dviratininko greičiams. Iš to galima daryti išvadą, kad prie to pačio automobilio greičio, bet skirtingo dviratininko greičio, dviratis nubloškiamas atstumais tarp kurių yra didelis skirtumas, taip pat įžvelgiamas kreivių bangavimas, kas patvirtina, kad dviratis po smūgio juda chaotiškai. Matoma tendencija, kad didėjant automobilio greičiui, didėja ir dviračio nubloškimo atstumai, kurie visame automobilio greičių depazone kinta nuo 11,8 m iki 163,6 m. Bendroju atveju, po smūgio dviratis juda chaotiškai visame automobilio greičių diapazone. Tikėtina, kaip ir buvo minėta, chaotišką dviračio judėjimą sukėlė kampiniais greičiais judančios dviračio detalės (vairas, pedalai).

Toliau vaizduojama dviratininko (5.23 pav.) ir dviračio (5.22 pav.) nubloškimo kampų priklausomybė nuo automobilio greičių, kai kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu yra lygus 60° .

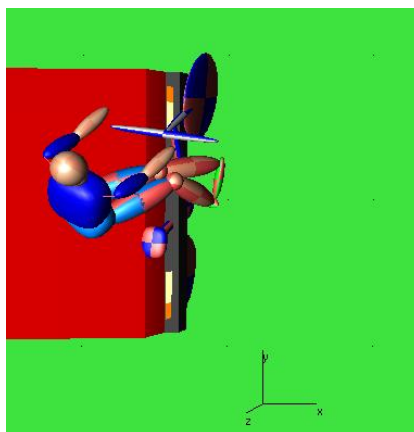


5.22 pav. Dviračio nubloškimo kampas
($\alpha = 60^\circ$)



5.23 pav. Dviratininko nubloškimo kampas
($\alpha = 60^\circ$)

Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.23 pav.) matoma dviratininko nubloškimo kampo priklausomybė nuo automobilio greičių. Maksimalus dviratininko kampas (29°) fiksuotas, kai automobilis važiavo minimaliu 30 km/h greičiu, o dviratininkas maksimaliu 20 km/h greičiu. Dėl mažo greičių skirtumo tarp abiejų transporto priemonių po smūgio dviratininkas juda labiau savo pirmine judėjimo kryptimi, dėl ko ir užfiksuotas kampas yra didžiausias. Minimalus dviratininko nubloškimo kampas lygus 15° , kai automobilis judėjo maksimaliu 90 km/h greičiu, o dviratininko greitis lygus 10 km/h. Visame automobilio greičių diapazone dviratininko nubloškimo kampas padidėjo beveik 2 kartus. Bendruoju atveju matoma tendencija, kad dviratininko nubloškimo kampas mažėja, didėjant automobilio greičiui, tačiau kampo mažėjimas nėra toks ženklaus. Tikėtina, kad tai lėmė dviračio kairiojo šono kontaktas su automobilio priekine dalimi, kai automobilis važiavo visais greičiais (5.24 pav.). Automobilis iš pradžių kontaktavo su dviračio galiniu ratu sukeldamas dviračio sukimąsi prieš laikrodžio rodyklę (žiūrima į xy plokštumą) iki kol atsirado dviračio šono kontaktas su automobilio priekine dalimi. Kadangi visais važiavimo greičiais įvykdavo automobilio kontaktas su šonine dviračio dalimi, tai ir dviratininko nubloškimo kampai yra panašūs.

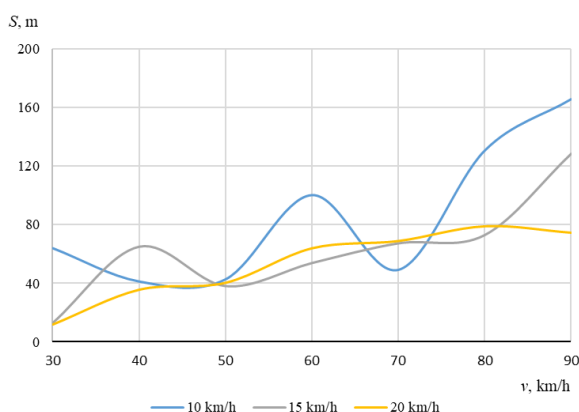


5.24 pav. Automobilio kontaktas su dviračio kairiuoju šonu

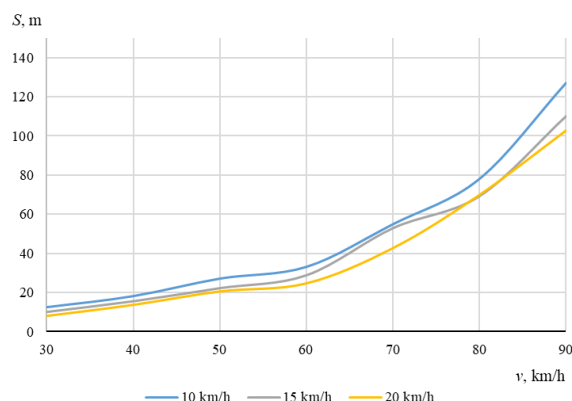
Kairėje pusėje esančiame grafike (5.22 pav.) matoma dviračio nubloškimo kampo priklausomybė nuo automobilio greičių. Didžiausi nubloškimo kampai (18° ir 20°) užfiksuoti, kai automobilis važiuoja minimaliu 30 km/h ir maksimaliu 90 km/h greičiais, mažiausi nubloškimo kampai lygūs 0° . Bendroju atveju nėra matomos tendencijos, kad dviračio nubloškimo kampas aiškiai mažėtų ar didėtų, tikėtina, kad dėl automobilio kontakto su dviračio šonu, kampas ženkliai nekito visame automobilio greičių diapazone. Galima įžvelgti tik banguotumą, kuris įrodo, kad po smūgio dviratis judėjo chaotiškai.

Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 90°

Toliau vaizduojama dviratininko (5.26 pav.) ir dviračio (5.25 pav.) nubloškimo atstumų priklausomybė nuo automobilio greičių, kai kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu yra lygus 90° .



5.25 pav. Dviračio nubloškimo atstumai
($\alpha = 90^\circ$)



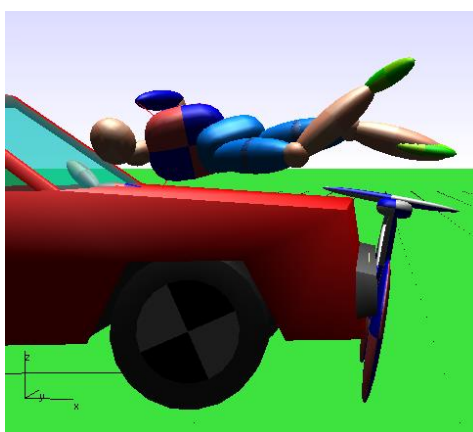
5.26 pav. Dviratininko nubloškimo atstumai
($\alpha = 90^\circ$)

Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.26 pav.) matoma dviratininko nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičių. Maksimalus nubloškimo atstumas (127 m) fiksuotas, kai automobilis važiuoja 90 km/h greičiu, o dviratininkas – 10 km/h greičiu. Taip pat matoma, kad visame automobilio greičių diapazone dviratininkas buvo nubloškiamas toliausiai, kai jis judėjo 10 km/h greičiu, tačiau skirtumas tarp kitų dviratininko greičių nėra didelis. Mažiausias nubloškimo atstumas (7,9 m) fiksuotas kai dviratininkas judėjo maksimaliu 20 km/h greičiu. Bendru atveju matoma, kad didėjant automobilio greičiui, didėjo ir dviratininko nubloškimo atstumas. Tikėtina, kad tai lėmė dviratininko padėties smūgio metu. Toliau matoma (5.27 pav.), kad kai automobilio greitis yra minimalus (30 km/h), dviratininkas smūgio metu slysta variklio dangčiu iki kol atsimuša į priekinę stiką, todėl tikėtina, kad tarp dviratininko ir automobilio variklio dangčio atsirado trinties jėga, dėl kurios dviratininkas nėra nubloškiamas toli (7,9 m).



5.27 pav. Dviratininkas slysta automobilio variklio dangčiu

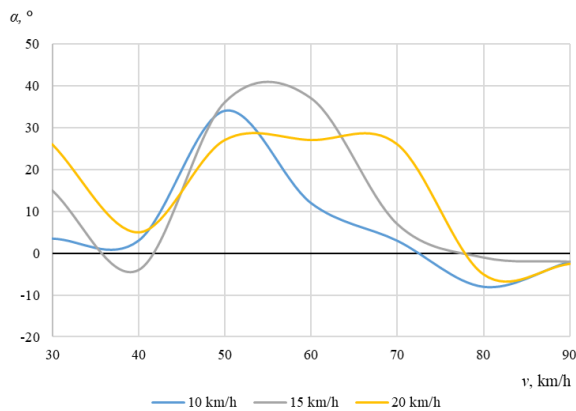
Kai automobilio greitis yra maksimalus (90 km/h), dviratininkas smūgio metu beveik neslysta variklio dangčiu, o galva trenkiasi į priekinį automobilio stiklą (5.28 pav.). Dėl mažo slydimo ir didelio jėgos impulso tarp automobilio ir dviratininko, pastarasis yra nubloškiamas dideliu atstumu (127 m).



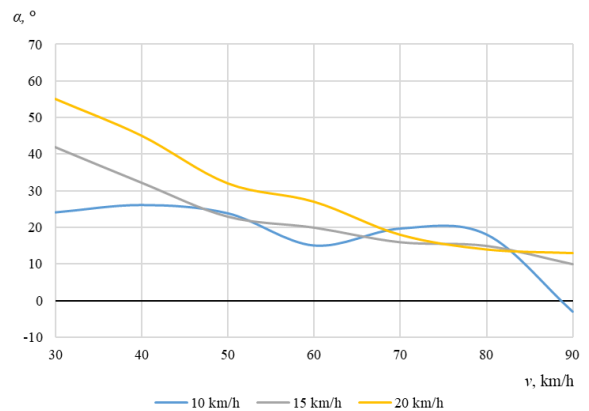
5.28 pav. Dviratininkas beveik neslysdamas variklio dangčiu atsimuša į priekinį stiklą

Kairėje pusėje esančiame grafike (5.25 pav.) pavaizduota dviračio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičių. Maksimalus dviračio nubloškimo atstumas (165,8 m) fiksuotas, kai automobilis važiavo 90 km/h greičiu, o dviratininkas – 10 km/h. Minimalus dviračio nubloškimo atstumas (11,7 m) fiksuotas, kai automobilis važiavo 30 km/h greičiu, o dviratininkas – maksimaliu 20 km/h greičiu. Bendru atveju galima įžvelgti tendenciją didėti dviračio nubloškimo atstumui, didėjant automobilio greičiu, tačiau kai dviratininko greitis lygus 10 km/h, dviratis yra bloškiamas chaotiškai. Automobilio priekinė dalis kontaktuoja su dviračio šonu, todėl kuo didesnis automobilio greitis, tuo dėl didesniu jėgos impulsu dviratis yra nubloškiamas toliau.

Toliau vaizduojama dviratininko (5.30 pav.) ir dviračio (5.29 pav.) nubloškimo kampų priklausomybė nuo automobilio greičių, kai kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu yra lygus 90°.



5.29 pav. Dviračio nubloškimo kampas ($\alpha = 90^\circ$)



5.30 pav. Dviratininko nubloškimo kampas ($\alpha = 90^\circ$)

Dešinėje pusėje esančiame grafike (5.30 pav.) matoma dviratininko nubloškimo kampo priklausomybė nuo automobilio greičių. Maksimalus dviratininko nubloškimo kampas (55°) fiksuotas, kai automobilis važiavo minimaliu 30 km/h greičiu, o dviratininkas judėjo maksimaliu 20 km/h greičiu. Kai automobilis važiavo maksimaliu 90 km/h greičiu, o dviratininkas – minimaliu 10 km/h greičiu, užfiksuotas minimalus nubloškimo kampas (-3°). Bendru atveju matoma, kad didėjant automobilio greičiui, nubloškimo kampas mažėjo, kadangi kuo mažesnis automobilio greitis, tuo dviratininkas po smūgio juda labiau savo pirmine judėjimo kryptimi. Kai dviratininko greitis buvo lygus 10 km/h, matoma, kad didėjant automobilio greičiui, matomi nubloškimo kampo padidėjimai. Tai parodo, kad dviratininkui judant 10 km/h greičiu nubloškimas yra chaotiškas.

Kairėje pusėje esančiame grafike (5.29 pav.) pavaizduota dviračio nubloškimo kampo priklausomybė nuo automobilio greičių. Iš grafiko matoma, kad didžiausias dviračio nubloškimo kampas yra 40° , kai automobilis važiavo 50 km/h ir 60 km/h greičiais, o dviratininkas – 15 km/h greičiu. Minimalus dviračio nubloškimo kampas (-2°) fiksuotas, kai automobilis judėjo maksimaliu 90 km/h greičiu. Dviratis po smūgio juda chaotiškai visame automobilio greičių diapazone, kadangi žymiai mažesnės nubloškimo kampo reikšmės ($1^\circ - 8^\circ$) fiksuotos automobiliui važiuojant 40 km/h, 80 km/h, 90 km/h greičiais, o didžiausios nubloškimo kampo reikšmės (nuo 3° iki 37°) užfiksuotos, kai automobilis važiavo 30 km/h, 50 km/h, 60 km/h ir 70 km/h greičiais.

Analogiškos simuliacijos atliktos, kai kampai tarp transporto priemonių judėjimo vektorių lygūs 120° ; 150° ; 180° . Prie šių kampų gautos nubloškimo atstumų ir kampų grafinės priklausomybės pateikiamos prieduose (1 priedas).

5.3. Tyrimų rezultatų apibendrinimas ir analizė

Kai automobilis ir dviratininkas judėjo tomis pačiomis kryptimis (kampas tarp abiejų transporto priemonių judėjimo krypties vektorių lygus 0°), iš grafinių priklausomybių matoma, kad

dviračio ir dviratininko nubloškimo kampai ir atstumai nėra informatyvūs, kad nustatyti pradinį automobilio greitį (5.4 pav.; 5.5 pav.; 5.8 pav.; 5.9 pav.), kadangi visais automobilio greičiais nubloškimo atstumų ir kampų vidutinės reikšmės išlieka tose pačiose ribose. Tikėtina, kad tai gal būti susiję su dviratininko palindimu po automobiliu ir chaotišku dviračio nubloškimu. Dviratininkas palindęs po automobiliu visą laiką buvo įstrigęs, todėl negalima teigti, kad tai buvo dviratininko nubloškimo atstumas (5.5 pav.). Šiuo atveju dviratininko greičių reikšmės nedaro įtakos automobilio pradinio greičio įvertinimui.

Tuo atveju, kai kampas tarp dviratininko ir automobilio smūgio metu lygus 30° , matomos aiškos dviračio (5.13 pav.) ir dviratininko (5.12 pav.) nubloškimo atstumo priklausomybės: didėjant automobilio greičiui, didėja nubloškimo atstumas. Tačiau 5.13 pav. yra išimtinių atvejų, pagal kuriuos yra netikslinga vertinti pradinį automobilio greitį: kai automobilis važiuoja 40 km/h ir 50 km/h greičiais, matomas chaotiškas dviračio nubloškimas, kuris tikėtina atsiranda dėl dviračio palindimo po automobiliu. Visais kitais atvejais (automobilio greičiais), galima įvertinti pradinį automobilio judėjimo greitį (5.12 pav.; 5.13 pav.). Dviračio greičių reikšmės nedaro didelės įtakos dviračio ir dviratininko nubloškimo atstumams. Kas liečia dviračio nubloškimo kampą (5.16 pav.), tai galima teigti, kad kampo reikšmės nėra informatyvios automobilio pradinio greičio nustatymui, kadangi dviratis yra nubloškiamas chaotiškai. Dviratininko nubloškimo reikšmės (5.17 pav.) yra informatyvios nustatant pradinį automobilio greitį, kai automobilis juda iki 70 km/h greičiu, kadangi važiuojant didesniu nei 70 km/h greičiu dviratininkas nubloškiamas chaotiškai. Tikėtina, kad chaotiškumą lėmė specifinis smūgio kontaktas. Bendruoju atveju, didėjant automobilio greičiui, dviratininko nubloškimo kampas mažėja. Taip pat dviračio greičiai daro akivaizdžią įtaką dviratininko nubloškimo kampui: didėjant dviračio greičiui, didėja dviratininko nubloškimo atstumas.

Kai kampas smūgio metu lygus 60° , matoma aiški dviratininko nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičių (5.21 pav.): didėjant automobilio greičiui, didėja ir dviratininko nubloškimo atstumas. Remiantis šia priklausomybe yra tikslinga vertinti pradinį automobilio greitį. Dviračio greičiai šiuo atveju dažniausiai neturėjo įtakos dviratininko nubloškimo atstumui (5.21 pav.). Vertinti pradinį automobilio greitį pagal dviračio nubloškimo atstumą (5.20 pav.) yra netikslinga, kadangi dviratis yra nubloškiamas chaotiškai, nors dviračio greičiai daro didelę įtaką nubloškimo atstumui. Dviračio nubloškimo kampo reikšmės (5.22 pav.) nėra tikslingos spręsti apie automobilio pradinio greičio reikšmes, kadangi dviratis yra nubloškiamas chaotiškai (tikėtina, dėl dviračio palindimo po automobiliu, besisukančių dviračio dalių ir konkretaus kontakto specifikos). Pagal dviratininko nubloškimo atstumo priklausomybę (5.23 pav.) nuo automobilių greičių yra tikslinga spręsti apie pradinius automobilio judėjimo greičius, kadangi matoma tendencija nubloškimo kampui mažėti, didėjant automobilio greičiui. Taip pat dviračio greičiai daro įtaką

nubloškimo kampui, todėl automobilį pradinį greitį galima įvertinti kompleksiskai: pagal nubloškimo atstumą ir dviratininko greitį.

Tuo atveju, kai kampas tarp transporto priemonių smūgio metu lygus 90° , matoma aiški dviratininko nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičių (5.26 pav.): didėjant automobilio greičiui, didėja ir dviratininko nubloškimo atstumas. Taip pat matoma aiški dviračio greičių įtaka nubloškimo atstumui: mažesniu greičiu judantis dviratininkas yra nubloškiamas toliau, nei kad važiuojant dviračiui didesniu greičiu (tikėtina, kad tai lėmė didesnis smūgio impulsas esant mažesniai dviračio greičiui). Tikėtina, kad remiantis šia grafine priklausomybe yra tikslinga spręsti apie pradinį automobilio judėjimo greitį. Išanalizavus dviračio nubloškimo atstumų reikšmes (5.25 pav.), galima teigti, kad spręsti apie pradinius automobilio judėjimo greičius yra tikslinga, kai dviratininkas judėjo 20 km/h greičiu, kadangi šiuo atveju dviratis nėra nubloškiamas chaotiškais atstumais. Pagal dviračio nubloškimo kampo priklausomybę nuo automobilių greičių (5.29 pav.) nėra tikslinga spręsti apie pradinį automobilio greitį, nes dviratis yra nubloškiamas chaotiškais atstumais esant skirtingiems dviračio greičiams. Pagal dviratininko nubloškimo kampą (5.30 pav.) tikėtina, kad tikslinga spręsti apie automobilio pradinį judėjimo greitį, kai dviratininkas juda 15 km/h ir 20 km/h greičiais, nes nėra didelio chaotiškumo. Šiuo atveju didėjant automobilio greičiui, dviračio nubloškimo kampas mažėja.

Išvados

Atlikus literatūros analizę, matoma, kad dviratininko nubloškimo parametrus turi įtakos tokie faktoriai, kaip motorinės transporto priemonės greitis, galvos smūgio kampas, įkalnės dydis. Ypač didelę įtaką daro motorinės transporto priemonės greitis, kadangi dėl šio kintamojo, labiausiai keičiasi dviratininko nubloškimo atstumas. Taip pat nubloškimo atstumas būna didžiausias tada, kad dviratininkas beveik baigia kirsti automobilio judėjimo kryptį.

Išnagrinėtuose judančio ir partrenkiamo dviratininko modeliuose galima įvesti tokius kintamuosius, kaip oro pasipriešinimas, riedėjimo varža, elementų masės, greičiai, pagrečiai. Įvesti minėtieji kintamieji leidžia nustatyti dviračio posvirį, ratų slydimą ir pasukimą, poslinkius, jėgas.

Atlikus simuliacijas „PC-Crash“ programa, buvo gautos dviratininko nubloškimo atstumo priklausomybės nuo automobilio ir dviratininko greičių. Visame automobilio greičių diapazone (nuo 30 km/h iki 90 km/h) dviratininko nubloškimo atstumas didėja, didėjant automobilio greičiui tais atvejais, kai kampai tarp transporto priemonių susidūrimo metu lygūs 30° , 60° , 90° , todėl vertinant šiuos atvejus, tikėtina, kad galima spręsti apie automobilio važiavimo greitį prieš dviratininko partrenkimą. Dviratininko nubloškimo atstumas nėra informatyvus, kai automobilis ir dviratininkas juda ta pačia kryptimi (kampas tarp transporto priemonių judėjimo krypties vektorių lygus 0°).

Dviračio nubloškimo atstumai visame automobilių greičio diapazone (nuo 30 km/h iki 90 km/h) didėja, didėjant automobilio greičiui kai kampai tarp transporto priemonių susidūrimo metu lygūs 0° , 30° , 60° , 90° . Nors ir dviračio nubloškimo atstumas didėja, grafikų kreivės frodo, kad dviratis yra nubloškiamas chaotiškai, todėl tikėtina, kad pagal tai būtų klaidinga vertinti automobilio važiavimo greitį prieš partrenkimą.

Atlikus simuliacijas „PC-Crash“ programa, buvo gautos dviratininko nubloškimo kampo priklausomybės nuo automobilio ir dviratininko greičių. Visame automobilio greičių diapazone (nuo 30 km/h iki 90 km/h) dviratininko nubloškimo kampas mažėja, didėjant automobilio greičiui, kai kampai tarp transporto priemonių smūgio metu lygūs 30° , 60° , 90° . Taip pat pastebima, kad kuo mažesnis dviratininko greitis, tuo nubloškimo kampas mažesnis. Šiuo atveju nubloškimo kampo mažėjimas ir dviratininko greitis yra informatyvūs, nustatinėjant automobilio greitį prieš partrenkimą. Dviratis yra nubloškiamas chaotiškais kampais visame automobilio greičių diapazone, kai kampai tarp transporto priemonių judėjimo krypties vektorių lygūs 0° , 30° , 60° , 90° , todėl vertinant automobilio greitį prieš partrenkimą, dviračio nubloškimo kampai nėra informatyvūs.

Praktikoje, po eismo įvykių, dažnai transporto priemonių greičių nustatyti neįmanoma nei skaičiavimo būdu, nei iš liudytojų ar eismo įvykių dalyvių parodymų. Tokiu atveju greitis gali būti nustatomas apytiksliai. Remiantis šio atlikto tyrimo metodika galima apytiksliai spręsti apie automobilio arba dviratininko judėjimo greičius. Transporto priemonių greičiai prieš susidūrimą gali

būti nustatomi iš gautų grafinių priklausomybių, kuriose pagal dviratininko nubloškimo atstumą arba kampą galima nustatyti transporto priemonių greičius. Kai kampas susidūrimo metu lygus 30° , transporto priemonių greičius galima nustatyti pagal grafines priklausomybes (5.12 pav.; 5.13 pav.; 5.17 pav.). Kai abi transporto priemonės susiduria 60° kampu, apie šių transporto priemonių greičius yra tikslinga spręsti pagal grafines priklausomybes (5.21 pav.; 5.23 pav.) Kai susidūrimo kampas lygus 90° , transporto priemonių greičius galima nustatyti pagal grafines priklausomybes (5.26 pav.; 5.30 pav.) Kadangi dviratis yra nubloškiamas chaotiškai ir taip pat pasitaiko atvejų kai dviratininkas palenda po automobiliu ir yra velkamas, tai dalis grafinių priklausomybių nėra informatyvios spręsti apie transporto priemonių greičius prieš susidūrimą.

Literatūros sąrašas

- Lukoševičienė, O. 2001. *Autoįvykių analizė ir modeliavimas*. Vilnius: Technika. 243 p. ISBN 9986 – 05 – 432 – X.
- Pečeliūnas, R.; Sokolovskij, E. 2012. *Automobilių dinamika*. Vilnius: Technika. 141 p. ISBN 978 – 609 – 457 – 184 – 8.
- Simms, C.; Wood, D. 2009. *Pedestrian and cyclist impact*. New York: Springer. 230 p. ISBN 978 – 90 – 481 – 2742 – 9.
- Van Kirk, D. 2001. *Vehicular accident investigation and reconstruction*. Florida: CRC Press LLC. 481 p. ISBN 0 – 8493 – 2020 – 8.
- World report on road traffic injury prevention*. 2004. World health organization. Šveicarija: Ženeva. 244 p. ISBN 92 – 4 – 156260 – 9.
- Aga, M.; Mochida, T. 2011. Comparison of the traffic circumstances based on the analysis of traffic accident statistics in Germany, in the United States and in Japan, *Toyota Motor Corporation*. Japan.
- Bourdet, C.; Deck, T.; Serre, C.; Perrin, M.; Willinger, R. 2013. In-depth real-world bicycle accident reconstructions, *International Journal of Crashworthiness*. Vol. 19: 222–232.
- Cicchino, B.; Kulie, E.; McCarthy, M. 2020. Severity of e-scooter rider injuries associated with trip characteristics, *Journal of Safety Research*. Virginia. Vol. 76: 256–261.
- Carter, L.; Neal – Sturgess, E. 2009. MADYMO reconstruction of a real-world collision between a vehicle and cyclist. International, *Journal of Crashworthiness*. Vol. 14. DOI: 10.1080/13588260902823999.
- Condrea, A.; Chiru, A.; Chiriac, L.; Vlase, S. 2017. Mathematical model for studying cyclist kinematics in vehicle – bicycle frontal collisions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. DOI: 10.1088/1757-899X/252/1/012003.
- Fitton, B.; Symons, D. 2018. A mathematical model for simulating cycling: applied to track cycling. *Sports engineering*. Vol. 21: 409–418. DOI: 10.1007/s1228301802830.
- Han, I.; Brach, M. 2002. Impact throw model for vehicle–pedestrian collision reconstruction. *Journal of automobile engineering*. Vol. 217. DOI:10.1243/095440703762702996.
- Isaksson-Hellman I.; Werneke J. 2017. Detailed description of bicycle and passenger car collisions based on insurance claims, *Safety Science*, Vol. 92: 330–337.
- Yilmaz, P.; Gabbe, B.; McDermott, M.; Van Lieshout, E.; Rood, P.; Mulligan, T.; Patka, P.; Cameron, P. 2010. Comparison of the serious injury pattern of adult bicyclists, between South-West Netherlands and the State of Victoria, Australia 2001–2009, *Department of Emergency Medicine Australia*, DOI: 10.1016/j.injury.2013.03.007.

- Yuan, Q. 2017. Connecting impact speed with wrap-around distance of pedestrian-vehicle accidents, *Advances in Automotive Engineering*. Vol. 1: 13–23. DOI: 10.12989/aae.2017.1.1.013.
- Katsuhara, T.; Miyazaki, H.; Kitagawa, Y.; Yasuki, T. 2014. Impact Kinematics of Cyclist and Head Injury Mechanism in Car-to-Bicycle Collision, *IRCOBI Conference 2014*. Germany.
- Kuehn, M.; Hummel, T.; Lang, A. 2017. Cyclist-car accidents – their consequences for cyclists and typical accident scenarios, *German Insurers Accident Research*. Germany.
- Mukherjee, S.; Chawla, A.; Mohan, D.; Chandrawat, S.; Agrawal, V. 2006. Throw distance variations in bicycle crashes, *IRCOBI Conference*. Spain.
- Mukherjee, S.; Chawla, A.; Mohan, D.; Singh, M.; Dey, R. 2006. Effect of vehicle design on head injury severity and throw distance variations in bicycle crashes.
- Nie, J.; Yang, J. 2014. A study of bicyclist kinematics and injuries based on reconstruction of passenger car–bicycle accident in China, *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 71: 50–59; DOI: 10.1016/j.aap.2014.04.021.
- Pang, T.; Rechnitzer, G.; McIntosh, A.; Thai, K. 2008. Numerical analysis of real-world cyclist crashes: impact speed, collision mechanism and movement trajectories, *Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference*, Adelaide, South Australia.
- Rasanen, M.; Summala, H. 1997. Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: an in-depth study, *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 30: 657–666; DOI: 10.1016/s0001 – 4575(98)00007 – 4.
- Raslavičius R.; Bazaras, L.; Keršys, A.; Lukoševičius, V.; Makaras, R.; Eidukynas, V. 2017. Assessment of bicycle – car accidents under four different types of collision, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*. Vol. 231: 222–234.
- Rodarius, C.; Mordaka, J.; Versmissen, T. 2008. Bicycle safety in bicycle to car accidents. *TNO Publications*. The Netherlands.
- Ruikar, M. 2013. National statistics of road traffic accidents in India, *Department of Community and Family Medicine*; DOI: 10.4103/0975-7341.118718.
- Sikic, M.; Gabbe, B.; McDermott, F.; Cameron, P. 2009. Bicycling injuries and mortality in Victoria, 2001–2006, *The medical journal of Australia*. 190 (7): 353–356. DOI: 10.5694/j.1326-5377.2009.tb02446.x.
- Somasundaraswaran, K. 2006. Accident statistics in Sri lanka, *IATSS Research*. Vol. 30: 115–117. DOI: 10.1016/S0386-1112(14)60162-X.

Veisten, K.; Salensminde, K.; Alvar, K.; Bjornskau, T.; Elvik, R.; Schistad, T.; Ytterstad, B. 2007. Total costs of bicycle injuries in Norway: Correcting injury figures and indicating data needs, *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 39: 1162–1169. DOI: 10.1016/j.aap.2007.03.002.

Lecture Notes in Transportation Systems Engineering [Interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020 spalio 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/nptel/582_Accident/web/web.html#x1-70003>.

Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2016–2019.

[Interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020 lapkričio 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://lakd.lrv.lt/uploads/lakd/documents/files/eismo_saugumas/statistika/2020/eismo_ivykiu_statistika_2016%E2%80%932019.pdf>.

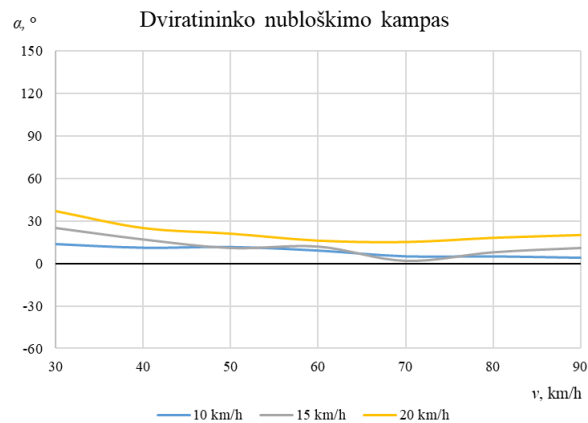
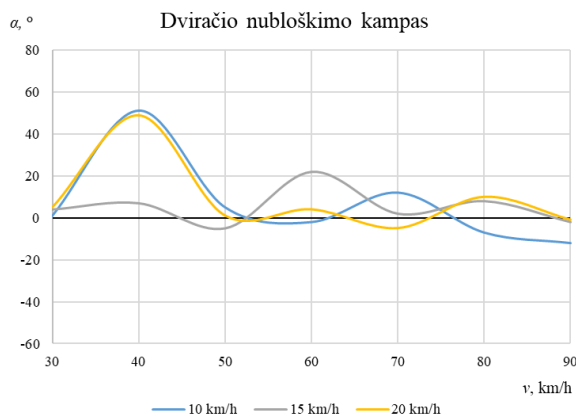
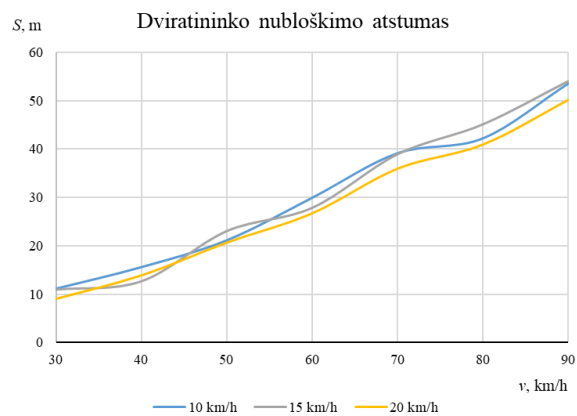
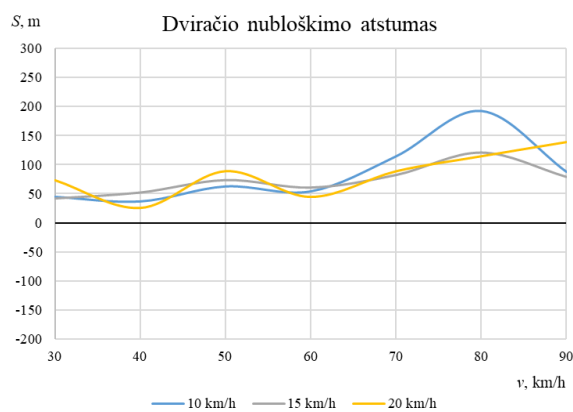
Oficialiosios statistikos portalas.

[Interaktyvus]. 2020. Rodiklių duomenų bazė [žiūrėta 2020 lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: <[https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R035#/>](https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R035#/).

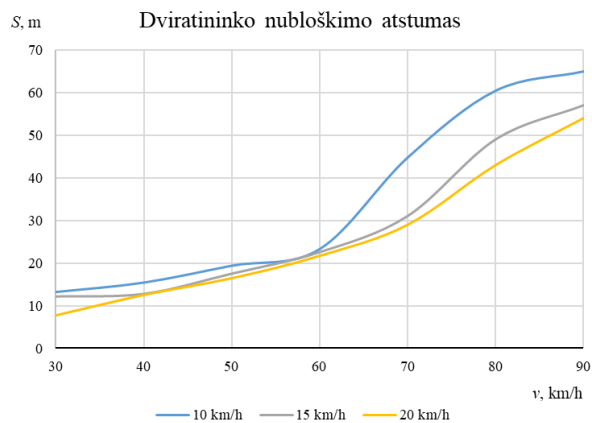
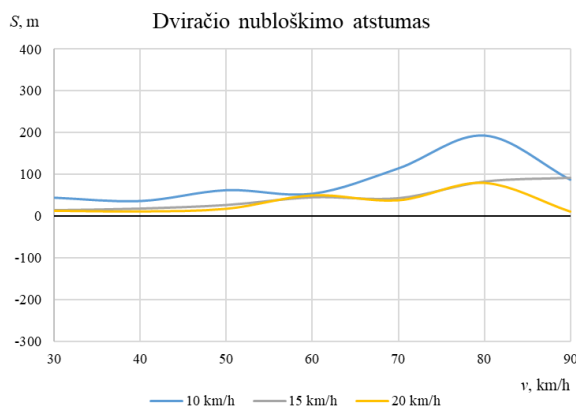
The Abbreviated Injury Scale. [Interaktyvus]. 2020. The association for the advancement of automotive medicine [žiūrėta 2020 gruodžio 2 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>>.

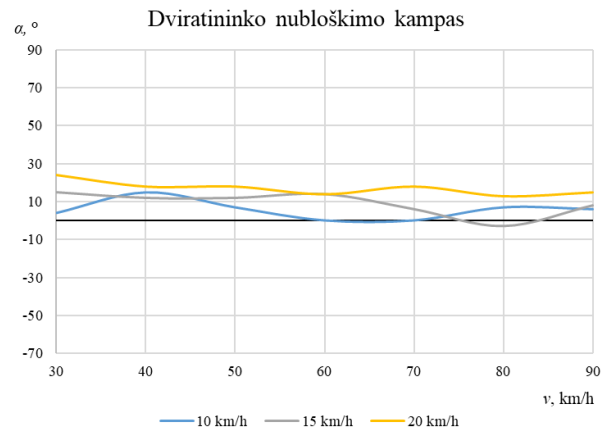
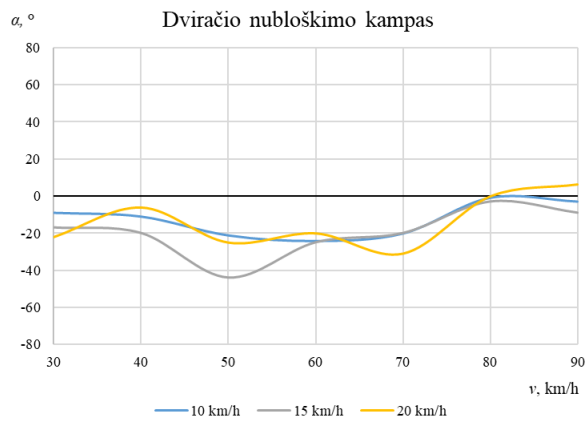
Priedai

1 priedas. Dviračio ir dviratininko nubloškimo atstumų ir kampų priklausomybės Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 120°



Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 150°





Kampas tarp automobilio ir dviračio smūgio metu lygus 180°

