



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Diana Grikšaitė

EISMO ĮVYKIO – PĖSČIOJO PARTRENKIMO TYRIMAS

**RESEARCH OF THE PEDERSTRIAN RUN DOWN AS A KIND OF ROAD
ACCIDENT**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2012-05-22

(Data)

Diana Grikšaitė

EISMO ĮVYKIO – PĖSČIOJO PARTRENKIMO TYRIMAS
RESEARCH OF THE PEDESTRIAN RUN DOWN AS A KIND OF ROAD
ACCIDENT

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Edgar Sokolovskij

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

(Parašas)

2012-05-08

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantė lekt. Angelika Petrėtienė

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

(Parašas)

2012-05-18

(Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2010 11 19 Nr. 03

Vilnius

Studentei

Dianai Grikštaitei

Baigiamojo darbo tema: „Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo tyrimas“

patvirtinta 2010 m. lapkričio 18 d. dekanato potvarkiu Nr. 386ti

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2012 m. gegužės 21 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

- Įvadas.*
1. Literatūros šaltinių apžvalga.
 2. Eismo įvykių Lietuvoje analizė.
 3. Eismo įvykio (pėsčiojo partrenkimo) tyrimo metodika.
 4. Transporto priemonių važdavimo greičio nustatymo metodai.
 5. Tyrimų dalis (kompiuterinis modeliavimas).
 6. Išvados

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

doc. dr. Angelika Petrėdienė

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

Vadovas

Edgar Sokolovskij

(Paraša)

doc. dr. Edgar Sokolovskij

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

Užduotį gavau

Diana Grikštaite

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

2010-11-26

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių transporto katedra

ISBN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos baigiamasis darbas
Pavadinimas **Eismo įvykio - pėsčiojo partrenkimo tyrimas**
Autorius **Diana Grikšaitė**
Vadovas **doc. dr. Edgar Sokolovskij**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe analizuojama pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio, pėsčiojo kūno svorio bei judėjimo tempo prieš pat eismo įvykį. Pateikiama aktualių literatūros šaltinių ir mokslinių publikacijų apžvalga. Atliktas eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo kompiuterinis modeliavimas programa „PC.Crash 8.0“. Išanalizavus kompiuterinio modeliavimo rezultatus pateikiamos baigiamojo darbo išvados. Darbą sudaro: įvadas, 5 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis 58 p. teksto be priedų, 27 iliustracijos, 2 lentelės, 17 bibliografinių šaltinių. Priedai pridedami atskirai.

Prasminiai žodžiai

Eismo įvykis, kompiuterinis modeliavimas, nubloškimo atstumas, pėsčiasis.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Transport

ISBN
Copies No.
Date-.....-..... ISSN

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master's Thesis

Title **Research of the pedestrian run down as a kind of road accident**

Author **Diana Grikšaitė**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Edgar Sokolovskij**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

In this master thesis there is analysed pedestrian throw distance dependance on vehicle velocity, pedestrian mass and pedestrian velocity before impact. Review of literary sources and scientific studies, based on examined theme, is presented. Computer simulation of pedestrian vehicle interaction is performed using PC.Crash 8.0. Conclusions are given after analysis of the computer simulation results. Paperwork consists of introduction, 5 chapters, findings, references. It consists of 58 p. without additives, 27 figures, 2 tables and 17 bibliographic sources.

Keywords

Crash accident, computer simulation, throw distance, pedestrian.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

DIANA GRIKŠTAITE, VGTU 1026859

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Transporto inžinerijos studijų programa, ATfm-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO
SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2012 m. gugusės 09 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema Eismo taisyklių - pėsčiųjų perėjimo tyrimas

patvirtintas 20 10 m. lapkučio 18 d. dekanų potvarkiu Nr. 386 ki, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai:

Mano darbo vadovas doc. dr. Edgar Sokolovskij

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs(-usi).

[Parašas]
(Parašas)

D. Griksaitė
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

IVADAS	10
1. EISMO ĮVYKIŲ SITUACIJOS LIETUVOJE APŽVALGA	11
2. MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ PĖSČIOJO PARTRENKIMO TEMA ANALIZĖ	13
3. EISMO ĮVYKIO – PĖSČIOJO PARTRENKIMO TYRIMO METODIKA	21
3.1. Eismo įvykių tyrimo metodika	21
3.2. Techninė galimybė išvengti eismo įvykio kilimo.....	24
3.3. Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo specifika	28
4. TRANSPORTO PRIEMONĖS JUDEJIMO GREIČUI NUSTATYTI PĖSČIOJO PARTRENKIMO METU TAIKOMI METODAI	33
5. TIRIAMOJI DALIS	46
5.1. Kompiuterinio modeliavimo (tyrimo) eiga	46
5.2. Kompiuterinio modeliavimo (tyrimo) rezultatai	50
IŠVADOS.....	56
LITERATŪRA	57
PRIEDAI	59

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Eismo įvykių, juose sužeistų ir žuvusių skaičius 2000–2011 m.	11
2 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal rūšis 2000–2011 m.	12
3 pav. Eismo įvykių kaltininkai 2000–2011 m.	12
4 pav. Pėsčiojo sužalojimų tikimybės priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio	15
5 pav. Transporto priemonės stabdymo priklausomybė nuo pėsčiojo nubloškimo atstumo.....	17
6 pav. Transporto priemonės greičiui nustatyti pagal pėsčiojo atsitrenkimą į priekinį stiklą modelis ...	18
7 pav. Pėsčiojo kelio sąnario sužalojimo mechanizmas, kai susiduria transporto priemonė ir pėsčiasis	19
8 pav. Pėsčiojo priekinis nubloškimas	29
9 pav. Pėsčiojo nustūmimas	29
10 pav. Pėsčiojo šoninis nubloškimas.....	29
11 pav. Pėsčiojo permetimas per stogą.....	30
12 pav. Nubloškimo schema, kai pėsčiasis apsiverčia.....	30
13 pav. Stabdymo diagrama.....	33
14 pav. Pėsčiojo išilginio nubloškimo schema (Han <i>et al.</i> 2001)	36
15 pav. Pėsčiojo nubloškimo schema koordinatių sistemoje (Stevenson, 2006)	38
16 pav. Pėsčiojo atsitrenkimo į transporto priemonę vieta, priklausomai nuo jos judėjimo greičio	44
17 pav. Pėsčiojo ir transporto priemonės judėjimo kryptis (Franck <i>et al.</i> 2009)	45
18 pav. Pėsčiojo ir lengvojo automobilio techniniai duomenys	46
19 pav. Pėsčiojo ir transporto priemonės susidūrimo konfigūracijos	47
20 pav. Pėsčiojo partrenkimo modeliavimas programa <i>PC.Crash 8.0</i>	48
21 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio.....	50
22 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybės nuo automobilio greičio, kai pėsčiojo masė 20 kg	51
23 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybės nuo automobilio greičio, kai pėsčiojo masė 44 kg	51
24 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičio, kai pėsčiojo masė 80 kg.....	52
25 pav. Skersinio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo pėsčiojo greičio, kai pėsčiojo masė 20kg..	53
26 pav. Skersinio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo pėsčiojo greičio, kai pėsčiojo masė 40kg..	54
27 pav. Skersinio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo pėsčiojo greičio, kai pėsčiojo masė 80kg..	55

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Transporto priemonės padangų sukibimo su kelio danga koeficientai	35
2 lentelė. Pėsčiojo trinties koeficientas į kelio dangą	40

IVADAS

Eismo įvykių tyrimas atkuria eismo įvykio eigą, eismo įvykio aplinkybes įvykio vietoje, tiria eismo įvykio dalyvių veiksmus, aplinkybes, kurios turėjo įtakos eismo įvykiui kilti.

Eismo įvykis – įvykis kelyje, viešose arba privačiose teritorijose, kurio metu, dalyvaujant judančiai transporto priemonei, žuvo ar buvo sužeista žmonių, sugadinta ar apgadinta bent viena transporto priemonė, kroviny, kelias, jo statiniai, ar bet koks kitas įvykio vietoje buvęs turtas.

Eismo įvykių, į kuriuos patenka pėsčiai, būna įvairių, t. y. pėsčiasis susiduria su judančia transporto priemone, dviratininkais, kitais pėsčiais. Skaudžiausios pasekmės ir daugiausia žalos padaroma kai susiduria transporto priemonė ir pėsčiasis. Eismo įvykį, kurio dalyvis pėsčiasis galima apibūdinti kaip pėsčiojo kūno kontaktą su judančia transporto priemone. Transporto priemonės ir pėsčiojo susidūrimų būna įvairių rūšių (kai pėsčiasis eina, bėga, lėtėja, transporto priemonė prieš susidūrimą išlaiko važiavimo greitį, stabdo ir pan.).

Eismo įvykį – pėsčiojo partrenkimą nagrinėja Lietuvos ir pasaulio mokslininkai. Taikydami įvairius metodus yra siekiama kuo tiksliau atkurti eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo mechanizmą (eigą). Dažniausiai analizuojant eismo įvykius tenka nustatyti, koku greičiu judėjo transporto priemonė eismo įvykio metu ir ar turėjo transporto priemonės vairuotojas techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo. Transporto priemonės judėjimo greičiui nustatyti yra taikomi įvairūs matematiniai modeliai, atliekami testai su manekonais, renkama realių eismo įvykių statistika arba naudojamos kompiuterinės modeliavimo programos eismo įvykiams atkurti.

Transporto priemonės judėjimo greitį prieš eismo įvykį galima nustatyti pagal pėsčiojo galvos atsitrenkimą į transporto priemonės priekinio stiklo vietą, apskaičiuoti pagal transporto priemonės stabdymo žymės ilgį, pėsčiojo nubloškimo atstumą ar atliekant kompiuterinį eismo įvykio modeliavimą.

Šiame darbe bus aptariama transporto priemonės judėjimo greičiui prieš eismo įvykį nustatyti taikoma įvairių autorių pateikiama metodika.

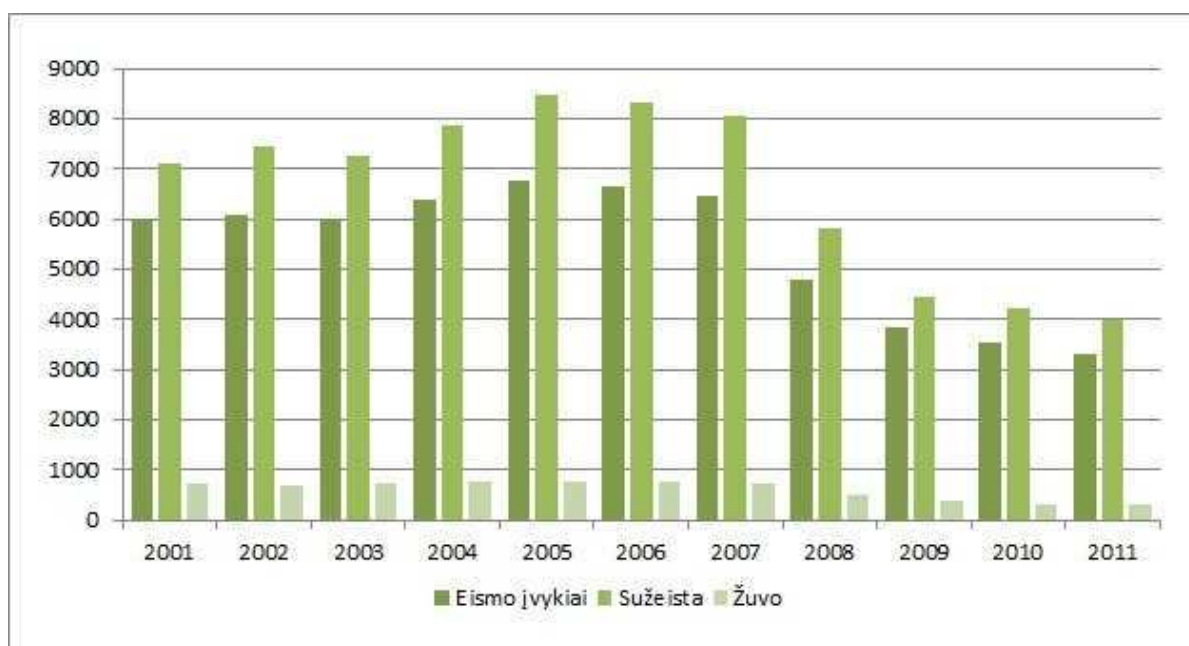
Tikslas. Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo tyrimo tikslas – išanalizuoti pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybę nuo transporto priemonės judėjimo greičio prieš pat eismo įvykį.

Uždaviniai. Sumodeliuoti pėsčiojo ir transporto priemonės susidūrimą naudojant programą *PC.Crash 8.0* ir pagal gautus modeliavimo rezultatus išvesti priklausomybę, pagal kurią apytiksliai būtų galima spręsti apie transporto priemonės judėjimo greitį eismo įvykio metu, žinant pėsčiojo nubloškimo atstumą (arba atvirkščiai).

1. EISMO ĮVYKIŲ SITUACIJOS LIETUVOJE APŽVALGA

Remiantis Lietuvos automobilių kelių direkcijos pateiktais duomenimis, matoma, jog įvykių skaičius Lietuvoje mažėja nuo 2007 metų. Daugiausia eismo įvykių įvyko 2005 m., kai eismo įvykių skaičius siekė 6771, sužeistųjų buvo 8466, žuvusiųjų – 773. 2010 m. eismo įvykių skaičius sumažėjo beveik dvigubai – iki 3625, sužeistųjų sumažėjo iki 4328, žuvusiųjų – iki 300 eismo dalyvių.

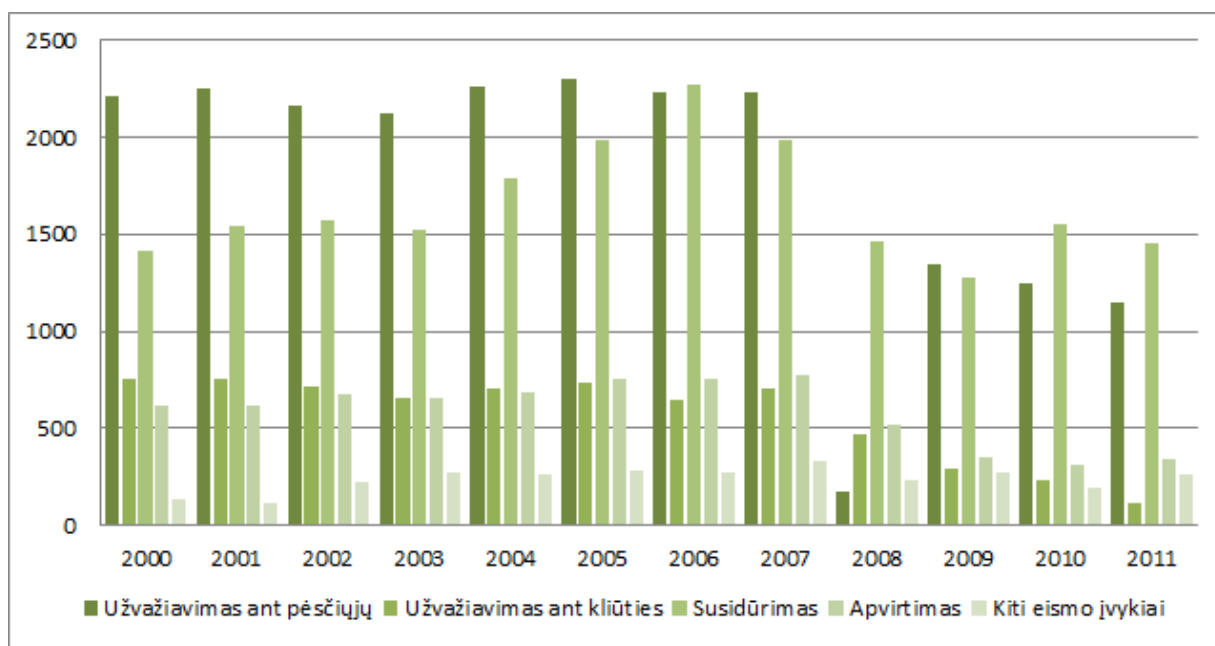
Eismo įvykių mažėja dėl pradėtų taikyti didesnių administracinių baudų už kelių eismo taisyklių pažeidimus, stacionarių ir mobilių greičio matuoklių įrengimo, taip pat policijos atliekamos eismo kontrolės keliuose ir išsamaus eismo dalyvių švietimo dėl galimų eismo įvykių pasekmių.



1 pav. Eismo įvykių, juose sužeistų ir žuvusių skaičius 2000–2011 m.

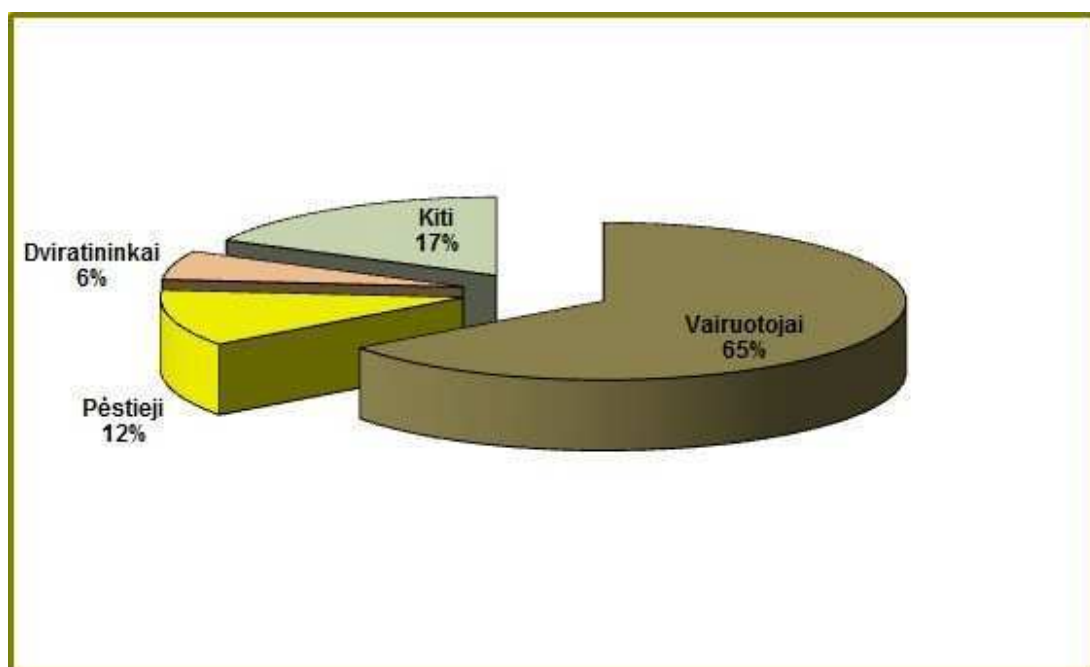
Eismo įvykių pasiskirstymo diagramoje pagal rūšis didžiausią procentą užima užvažiavimai ant pėsčiųjų, dviratininkų, kliūtis, toliau eina susidūrimai, transporto priemonės apvirtimas ir kiti eismo įvykiai.

Pėstieji ir dviratininkai yra pažeidžiamiausi kelių eismo dalyviai, todėl būtina kuo išsamiau išanalizuoti visas galimas priežastis, sukeliančias šį reiškinį, ir ieškoti alternatyvų siekiant sumažinti pėsčiųjų ir dviratininkų patekimo į eismo įvykį skaičių arba minimizuoti žalos dydį.



2 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal rūšis 2000–2011 m.

Skritulinėje diagramoje (3 pav.) pateikti duomenys apie eismo įvykių kaltininkus. Daugiausia eismo įvykių įvyksta dėl transporto priemonių vairuotojų kaltės (65 % eismo įvykių), 12 % kaltininkais yra pėstieji, 6 % sudaro dviratininkai, likusius 17 % eismo įvykių kaltininkais yra kiti eismo dalyviai.



3 pav. Eismo įvykių kaltininkai 2000–2011 m.

2. MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ PĖSČIOJO PARTRENKIMO TEMA ANALIZĖ

Rengiant šį baigiamąjį magistro darbą, buvo apžvelgta skirtingų šalių specialistų bei magistrų publikuota medžiaga eismo įvykio pėsčiojo partrenkimo tema. Kadangi lietuviškos literatūros šia tema nėra daug, plačiausiai apžvelgiama pasaulio mokslininkų ir magistrų mokslinės pakraipos internetinėse svetainėse publikuoti straipsniai. Vieni mokslininkai analizuoja pėsčiųjų partrenkimo statistiką, kiti analizuoja pėsčiajam padarytus kūno sužalojimus, jų tipus, taip pat tiria transporto priemonės priekinės dalies geometrinių formų įtaką pėsčiojo nubloškimui, tipines transporto priemonių deformacijas po susidūrimo ir pan., tretieji analizuoja pėsčiojo judėjimo fizikinius dėsnius ir taiko įvairius matematinius modelius, siekiant atkurti eismo įvykio eigą.

Eismo įvykio metu, kai susiduria transporto priemonė ir pėsčiasis eismo dalyvių veiksmai, siekiant išvengti eismo įvykio kilimo, yra aprašomi knygoje „Autoįvykių analizė ir modeliavimas“ (Lukoševičienė 2001). Eismo saugumą pavojingoje situacijoje paprastai lemia vairuotojo veiksmai. Veikiamas įvairių vidinių paskatų „išsisaugoti pačiam“ ar „išvengti kitų žūties“, vairuotojas siekdamas išvengti eismo įvykio kilimo gali pasirinkti įvairius būdus: ekstremalus stabdymas, manevravimas, greičio didinimas arba jungtinis būdas (manevravimas stabdant ir t. t.). Pėsčiojo veiksmai atsidūrus pavojingoje situacijoje, kai pėsčiasis atsiduria važiuojamojoje kelio dalyje priešais transporto priemonę, įvairiose situacijose skirtingi: jis gali sustoti, judėti greičiau arba apsisukti ir bėgti atgal. Tačiau statistiškai pėsčiojo ir vairuotojo veiksmų eismo įvykio išvengimo atveju nėra, kadangi nėra išanalizuoti atvejai, kai eismo įvykio buvo išvengta.

Eismo įvykių atkūrimas apima fizikinius dėsnius, taikomus transporto priemonės prieš eismo įvykį, jo metu, ir po eismo įvykio judėjimo dinamikai nustatyti.

Eismo įvykių analizei dažniausiai pasitelkiami įvairūs matematiniai modeliai, norint apskaičiuoti transporto priemonės judėjimo greitį iki susidūrimo, galimus faktorius, lemiančius eismo įvykio kilimą ir jų nustatymo metodiką (Franck *et al.* 2009).

Eismo įvykyje, kuriame dalyvavo viena ar keletas transporto priemonių, kai yra žinomas transporto priemonės standumas iš testavimo rezultatų, galima nustatyti susidūrimo metu transporto priemonės prarastą energiją pagal jos sugadinimo dydį. Taikant energijos tvermės dėsnį, galima apskaičiuoti transporto priemonės judėjimo greitį prieš ir po eismo įvykio, įvertinant transporto priemonės judėjimo kryptį. Tačiau eismo įvykiuose, kuriuose transporto priemonė susiduria su pėsčiuoju, dėl per didelių masės skirtumų energijos tvermės dėsnio taikymas būtų netikslingas.

Dėl didelių masės skirtumų tarp pėsčiojo ir transporto priemonės, eismo įvykių atkūrimo išskyla didesnė tikimybė klaidų atsiradimui. Be masių skirtumo, žmogaus kūno dinaminė reakcija susidūrimo su transporto priemone metu nėra išsamiai ir tiksliai apibrėžiama, ir tai taip pat apsunkina eismo įvykių atkūrimą (Brands *et al.* 2001). Daug faktorių lemia žmogaus kūno dinamiką eismo įvykio metu ir po jo, tai:

- žmogaus kūno įvairių audinių standumo ir slopinimo parametrai;
- žmogaus kūno masės pasiskirstymas;
- raumenų įsitempimas ir reakcija;
- sąnarių standumas skirtingomis kryptimis;
- trinties koeficientas, atsirandantis tarp transporto priemonės susidūrimo paviršių ir žmogaus įvairių kūno dalių paviršiaus;
- skirtingų žmogaus kaulų, sąnarių ir kremzių sužalojimų stiprumo;
- dėl skirtingų žmonių fizinių savybių.

Kintamumas ir šių žinių apie šiuos faktorius stoka, apsunkina tyrėjui eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo atkūrimo procesą.

Be jau minėtų faktorių, pėsčiojo kinematiką susidūrimo metu lemia:

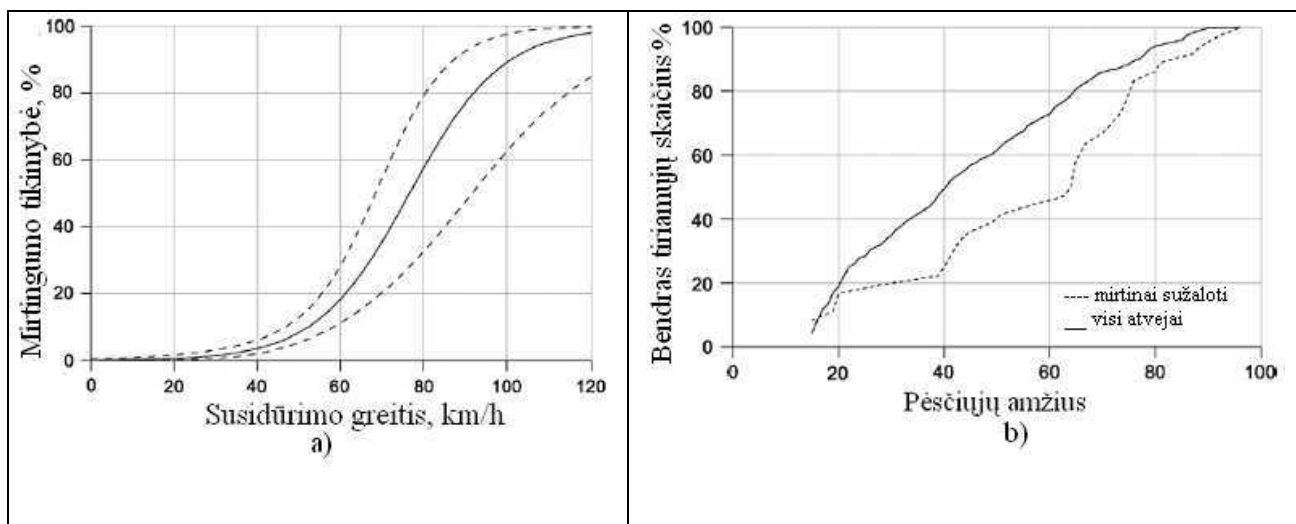
- pėsčiojo padėtis transporto priemonės atžvilgiu;
- pėsčiojo judėjimo greitis (stovėjimas,ėjimas, bėgimas);
- pėsčiojo vertikali padėti (stovintis, palinkės, šliaužiantis).

Šių faktorių įtaka lemia pėsčiojo nubloškimo trajektorijos skirtumus, bet tikslią įtaką yra sudėtinga nustatyti.

Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo atkūrimą tiriantys mokslininkai, nepaisant pėsčiojo judėjimo dinamikos po eismo įvykio sudėtingumo plačiai naudoja gana paprastus matematinius modelius eismo įvykio eigai atkurti (Frank *et al.* 2009, Han *et al.* 2001).

Daugiausia literatūros pėsčiojo partrenkimo tema yra publikuojama, kai transporto priemonės vairuotojas neturėjo techninės galimybės išvengti eismo įvykio kilimo. Eismo įvykio metu partrenkiant pėsčiąjį, pagrindinė priežastis, kuri lemia pėsčiojo sužalojimų dydį, ar net mirtį, yra transporto priemonės judėjimo greitis susidūrimo metu. Siekiant nustatyti pėsčiojo mirtingumo priklausomybę nuo transporto priemonės judėjimo greičio, autorius išanalizavo 2127 pėsčiojo partrenkimo atvejų (Rosen *et al.* 2009). Analizuojama pėsčiojo judėjimo skersai transporto priemonės judėjimo krypties, kai pėsčiasis partrenkimas priekine transporto priemonės dalimi. Pėsčiojo partrenkimo vieta, eismo dalyvių padėtys po susidūrimo, transporto priemonės slydimo žymės buvo ir kiti reikalingi eismo

įvykio atkūrimui duomenys buvo tiksliai išmatuoti, surinkti. Todėl tyrime transporto priemonės judėjimo greitis konkretaus pėsčiojo partrenkimo atveju tiksliai žinomas. Taigi pagal atliktą analizę, ir gautas priklausomybės (4 pav.) galima teigti, kad pėsčiojo sužalojimo tikimybė kai transporto priemonė judėjo 50 km/h greičiu yra daugiau nei du kartus didesnė nei tikimybė kai transporto priemonė judėjo 40 km/h greičiu, ir netgi penkis kartus didesnė tikimybė būti sužalotam nei važiuojant 30 km/h greičiu.



4 pav. Pėsčiojo sužalojimų tikimybės priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio (Rosen *et al.* 2009). a) mirtingumo tikimybė, priklausanti nuo transporto priemonės judėjimo greičio; b) mirtingumo tikimybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio pasiskirstymas pagal amžių.

Pagal atliktą tyrimą, apie galimas sužalojimų rizikas, šis metodas taikytinas tik analizuojant įvykius į kurių pateko pėstieji, kurių amžius ne mažesnis nei 15 metų. Taip pat autoriai pastebi, jog šios priklausomybės tikėtina, kad skirsis skirtingose šalyse, dėl skirtingos medicinos sistemos išsivystimo, nes mažiau išsivysčiusiose šalyse mažiau pėsčiųjų išgelbėjama, todėl mirtingumo tikimybė gali išaugti.

Kiti autoriai (Frederikson *et al.* 2010) nagrinėja skirtingų amžiaus pėsčiųjų ir transporto susidūrimo atveju patirtų sužalojimų pasiskirstymą pagal kontakto vietą. Jie aprašo pagrindinius susidūrimo mechanizmo tipus: kojų kontaktas su transporto priemonės priekine dalimi, galvos kontaktas su transporto priemonės priekiniu stiklu, krūtinės kontaktas su transporto priemonės variklio gaubtu. Eismo įvykio metu, kai partrenkiamas vaikas, dažniausias kontaktas yra vaiko galvos atsitrekinimas į transporto priemonės variklio gaubtą. Atlikus tyrimą, nustatyta, kad didžiausią įtaką pėsčiųjų sužalojimui atsiranda pėsčiojo galvos kontakto su transporto priemone metu, todėl būtina

tobulinti transporto priemonių priekinės dalies konstrukcijas, kad sumažinti pėsčiojo atsitrenkimo metu galimų sužalojimų tikimybę.

Nagrinėjant pėsčiojo sužalojimų tikimybę būtina paminėti, jog transporto priemonės ir pėsčiojo susidūrimo metu pėsčiasis patiria dvigubą smūgį, t. y. pėsčiasis partrenkiamas judančios transporto priemonės, paskui nubloškiamas ir partrenkiamas ant kelio dangos. Dažnai antrinis smūgis gali sukelti ne mažesnių pasekmių pėsčiojo sveikatai, nei pirminis kontaktas susidūrimo su transporto priemone metu (Zhoa *et al.* 2009).

Siekiant apsaugoti pėsčiuosius nuo galimų sužalojimų, transporto priemonių konstrukcijoms taikomi griežti reikalavimai, todėl prieš išleidžiant naują transporto priemonės modelį į rinką, reikalinga atlikti įvairius susidūrimo testus, kurių metu testuojama pėsčiojo sužalojimo tikimybė ir tikrinama ar konstrukcija neviršija leistinų parametrų. Dažniausiai testai atliekami imituoju galvos smūgio atsitrenkimą į priekinę transporto priemonės dalį (variklio gaubtas, dažniausiai priekinis stiklas), transporto priemonės atsitrenkimo į koją testas ir testai su manekenu. Transporto priemonių testavimui reikalinga išanalizuoti daug ir įvairios informacijos, kuri gali būti labai naudinga eismo įvykių atkūrimui.

Tais atvejais kai eismo įvykio metu yra žinomas transporto priemonės stabdymo pėdsako ilgis ir tiksli susidūrimo vieta, ir pėsčiojo nubloškimo atstumas galima tiksliai apskaičiuoti transporto priemonės judėjimo greitį susidūrimo metu naudojant abu metodus. Taip pat yra pateikiamas užsienio autorių sukurtas metodas, kuris nurodo priklausomybę tarp pėsčiojo nubloškimo atstumo ir transporto priemonės stabdymo pėdsako ilgio (Zou *et al.* 2010). Pagal autoriaus atliktus skaičiavimus, gaunama galutinė transporto priemonės stabdymo pėdsako priklausomybė nuo nubloškimo atstumo, kurios išraiška yra:

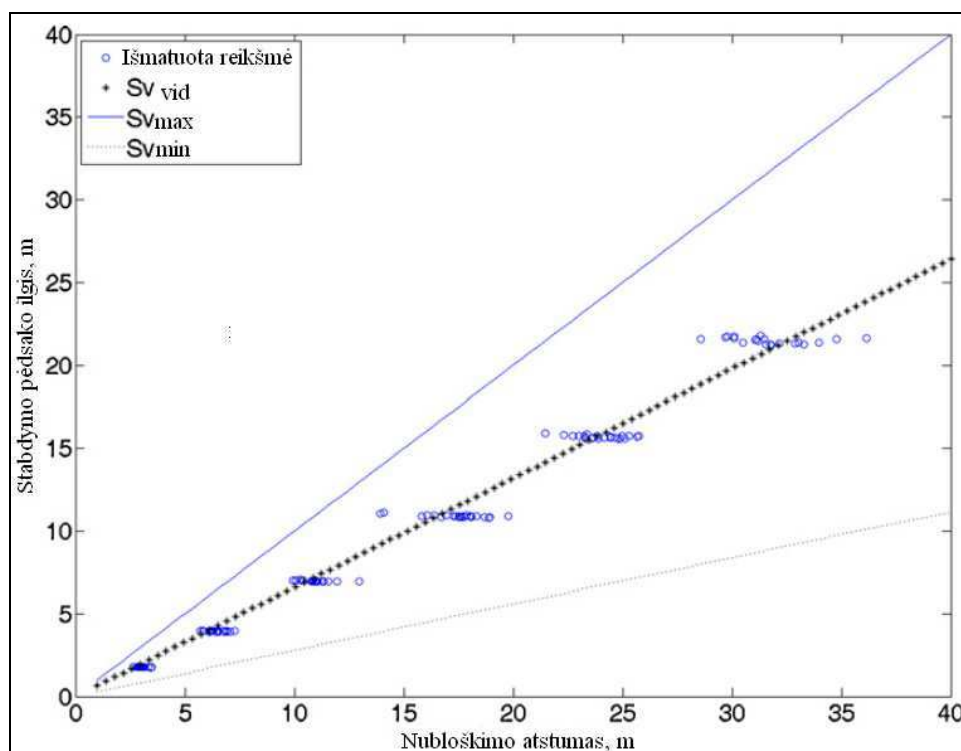
$$S_v = 0,66 \cdot S_p; \quad (1)$$

čia: S_v – transporto priemonės stabdymo pėdsako ilgis;

S_p – pėsčiojo nubloškimo atstumas.

Ši formulė galioja tiems atvejams, kai pėsčiojo partrenkimas įvyko tiesiame kelio ruože be nuolydžio, kelio danga buvo sausas asfaltas, o transporto priemonė buvo stabdoma iki visiško sustojimo. Taip pat būtina sąlyga, kad pėsčiojo nubloškimas būtų priekine transporto priemonės dalimi, pėsčiojo padėtis po susidūrimo būtų priešais galutinę transporto priemonės sustojimo vietą. Tikimybė, kad S_v $[0,3-1,02]$ S_p rezultato reikšmės priklausys šiam intervalui yra 99,7 %. Siekiant patikrinti ar galioja šis modelis, buvo atliktas kompiuterinis modeliavimas programa *PC.Crash*. Iš viso

atlikti 144 bandymai, pagal kurių rezultatus, užfiksavus pėsčiojo nubloškimo atstumą ir transporto priemonės slydimo atstumą, buvo išvesta transporto priemonės slydimo priklausomybė nuo nubloškimo atstumo (5 pav). Pateikiamas modelis labai naudingas atkuriant eismo įvykius, tačiau reikėtų dar išanalizuoti kaip įtakoja nubloškimo atstumą pėsčiojo judėjimo greitis arba transporto priemonės tipas, nes šiame tyrime tai nėra įvertinta.

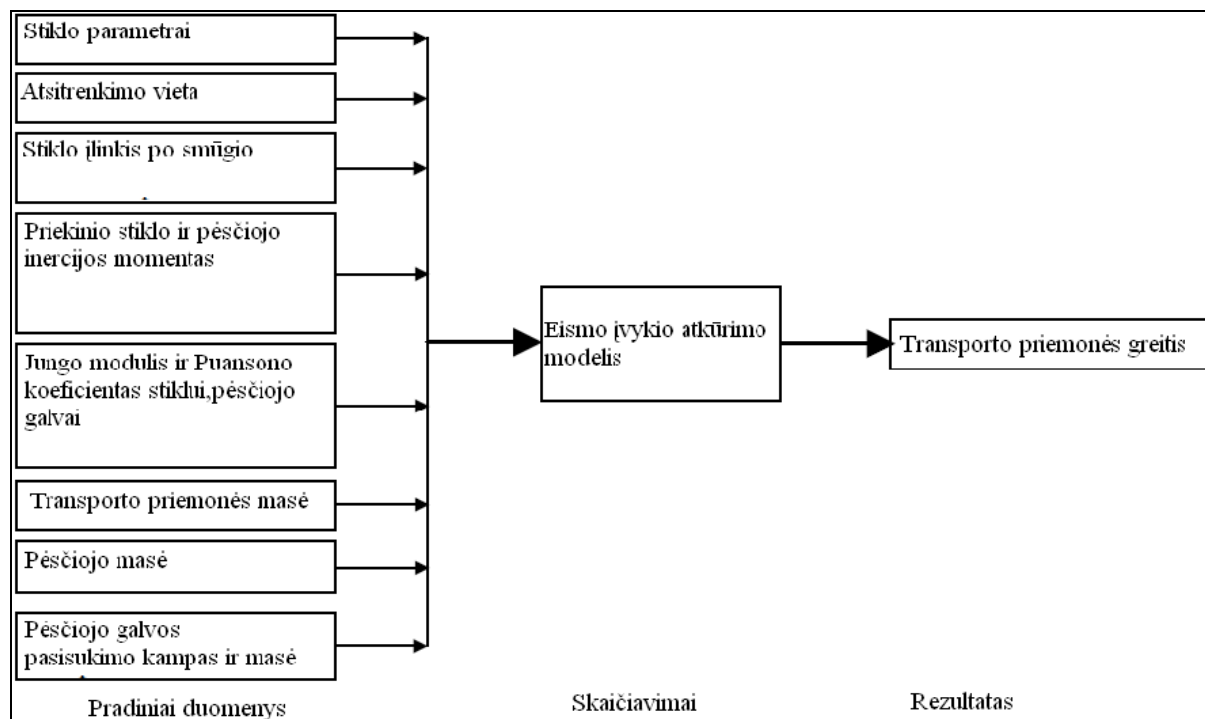


5 pav. Transporto priemonės stabdymo priklausomybė nuo pėsčiojo nubloškimo atstumo (Han *et al* 2001)

Mokslininkai Inhwon Han ir Raymond Brach tyrė transporto priemonės ir pėsčiojo susidūrimą. Jie išanalizavo ir pateikė pėsčiojo nubloškimo modelį, įvertindami parametrus, kurie įtakoja transporto priemonės judėjimo greitį, tai: horizontalų atstumą, kurį nukeliavo pėsčiasis tarp pirminio ir antrinio susidūrimo su transporto priemone, nubloškimo kampą, masės centro aukštį, aprašė transporto priemonės judėjimo greičio įtaką pėsčiojo judėjimui po susidūrimo ir nubloškimo atstumui, pėsčiojo kūno trinties koeficientą, transporto priemonės judėjimo iki visiško sustojimo atstumą. Mokslininkai suskirstė modelį į du etapus: pirmas – naudojamas teoriniam pėsčiojo nubloškimo atstumo skaičiavimui, $S_p = f(v_c)$; antras – skirtas eismo įvykių atkūrimui, transporto priemonės greičio nustatymui pagal nubloškimo atstumą, $v_c = f(S_p)$ (Han *et al.* 2001). Pagal pateikiamas transporto priemonės judėjimo greičiui nustatyti taikomas formules, pažymėtina, jog yra įvertinamas pėsčiojo

kūno trinties į kelio paviršių koeficientas, kurio reikšmės nėra tiksliai nustatytos. Autoriai naudoja anksčiau pateiktas reikšmes, kai trinties koeficientas yra ribose 0,7–0,8. Tačiau šios reikšmės pateikiamos skirtingų autorių literatūroje skiriasi.

Jun Xu, Yibing Li ir kiti pateikia fizininį modelį, apibūdinantį pėsčiojo judėjimo dinamiką atsitrenkiant į transporto priemonės priekinį stiklą. Pirmiausia, modelis nusako ryšį tarp pėsčiojo galvos atsitrenkimo į priekinį transporto priemonės stiklą greičio ir stiklo įlinkio. Vėliau analizuojamas ryšys tarp transporto priemonės judėjimo greičio ir priekinio stiklo įlinkio. Pateikiamas modelis (6 pav.) transporto priemonės greičiui nustatyti, kurį galima naudoti analizuojant eismo įvykių atkūrimą. Siekiant įrodyti modelio veiksmingumą, paimta dešimt realių eismo įvykių ir palyginami gauti rezultatai (Xu *et al.* 2008).



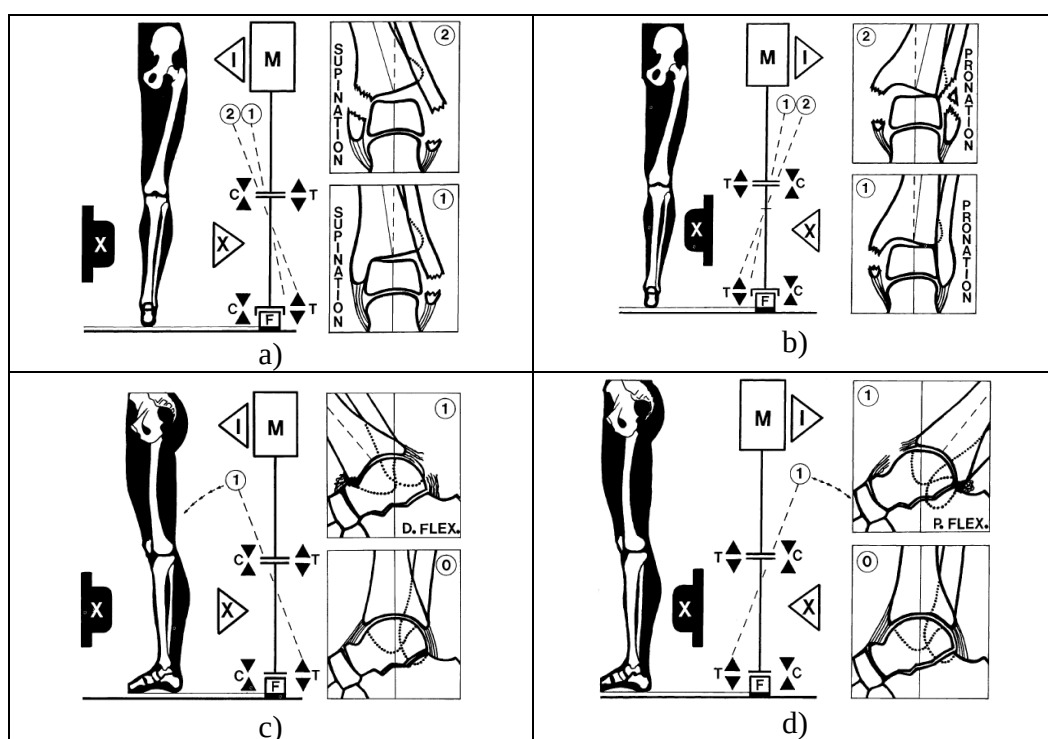
6 pav. Transporto priemonės greičiui nustatyti pagal pėsčiojo atsitrenkimą į priekinį stiklą modelis (Xu *et al.* 2008)

Pagal pateiktą modelį apskaičiuoti teoriniai transporto priemonės judėjimo greičiais skiriasi nuo realaus įvykio metu transporto priemonės greičio apytiksliai 6–11 %, kai greitis yra nuo 40 km/h iki 70 km/h.

Norint eismo įvykių atkūrimui taikyti šį metodą, reikia žinoti daug kintamųjų. Tačiau daugelis iš jų yra nustatyti ir galima juos rasti žinynuose (stiklo parametrai ir kt.) skaičiavimo metodika nėra sudėtinga, todėl gali būti praktiškai panaudota eismo įvykių atkūrimo kaip alternatyva, kai transporto

priemonės greičiui apskaičiuoti negalime taikyti metodo pagal stabdymo žymės ilgį (eismo įvykio metu transporto priemonė nebuvo stabdoma, arba dėl blogų oro sąlygų stabdymo pėdsakai neišliko) arba pėsčiojo nubloškimo atstumą. Tačiau būtina pažymėti, jog norint taikyti šio autoriaus pateiktą metodą būtina įsitikinti, jog pėsčiasis į transporto priemonės stiklą atsitrenkė būtent galva, o ne kita kūno dalimi (dažnai petimi). Taip pat būtina paminėti, jog modelis nėra taikytinas, kai eismo įvykis įvyko esant dideliame transporto priemonės greičiui (daugiau nei 70 km/h).

Mokslinėse publikacijose skelbiama informacija, kai atlikus pėsčiojo autopsiją, pateikiama medžiaga, apie pėsčiojo įvairių kūno dalių (kojų sąnarių, kaklo srities ir pan.) sužalojimus (Teresinski *et al.* 2001).



7 pav. Pėsčiojo kelio sąnario sužalojimo mechanizmas, kai susiduria transporto priemonė ir pėsčiasis. Čia: I – inercijos momento kryptis, M – kūno svoris, C – gniuždymo jėga, T – tempimo jėga, F – trinties jėga, X – susidūrimo vieta ir kryptis (Teresinski *et al.* 2001).

Pateikiamas pėsčiojo kojos sužalojimo mechanizmas (7 pav.). Pagal pateiktą metodiką, atlikus medicininius tyrimus, galima nustatyti kokioje padėtyje transporto priemonės atžvilgiu buvo pėsčiasis susidūrimo metu galima nustatyti transporto priemonės ir pėsčiojo kontakto vietą, pagal kelio sąnario sužalojimus.

Pagal pateiktą modelį negalima spręsti apie transporto priemonės judėjimo greitį, be to, tikslią išvadą gali duoti tik teismo medicinos ekspertai.

Norint gauti tikslesnius eismo įvykio tyrimo rezultatus, pėsčiojo partrenkimo analizei naudojami optimizavimo ir baigtinių elementų metodai. Optimizavimo metodas pasitelkiamas siekiant išanalizuoti pėsčiojo eisenos įtaką, nustatant pradines sąlygas iki eismo įvykio kilimo (Untaroiu, Shin *et al.* 2009; Untaroiu, Meissner *et al.* 2009; Untaroiu, Crandal *et al.* 2010).

Straipsnyje (Bromberg *et al.* 2010) nagrinėjama transporto priemonės vairuotojo amžiaus įtaka pėsčiojo saugumui kelyje. Atlikus tyrimą, nustatyta, kad vairuotojo amžius mažai įtakoja pėsčiojo partrenkimo tikimybę, kadangi vyresnio amžiaus vairuotojų reakcija lėtesnė, o jaunesnio amžiaus vairuotojai, linkę viršyti greitį taip sukeldami didesnę tikimybę eismo įvykio kilimui.

3. EISMO ĮVYKIO – PĖSČIOJO PARTRENKIMO TYRIMO METODIKA

3.1. Eismo įvykių tyrimo metodika

Būtina paminėti, jog eismo įvykių tyrimų būna skirtingų rūšių: eismo įvykio techninė ekspertizė, trasologinė arba kompleksinė ekspertizė.

Eismo įvykio ekspertizė, kuri atliekama siekiant atkurti eismo įvykio eigą (mechanizmą). Atkurti realią situaciją ir eismo įvykio vietoje nustatyti kitas eismo įvykio aplinkybes (judėjimo greičius, techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo, techniniu požiūriu įvertinti eismo dalyvių veiksmus (neveikimą), nustatyti techniniu požiūriu pagrindinę priežastį sukėlusią eismo įvykį).

Esptizė atliekama objektyviais duomenimis, kurie užfiksuoti eismo įvykio vietos protokole ir plane prie jo, transporto priemonės apžiūros protokole ir kituose protokoluose, fotografijose.

Transporto trasologinė ekspertizė atliekama siekiant nustatyti pėdsakų susidarymo ant transporto priemonių ir jų dalių, kelio dangos, kitų pakelės objektų, ant žmonių drabužių ar apavo mechanizmą, atsakyti į kitus su pėdsakų atsiradimu susijusius klausimus. Transporto trasologijos uždaviniai skirstomi į identifikacinius ir neidentifikacinius. Identifikaciniai uždaviniai atsako į klausimą kokios transporto priemonės dalyvavo eismo įvykyje, nustato jų grupinį priklausomumą, o neidentifikaciniai nustato susidūrimo, atsitrenkimo ar apsivertimo mechanizmą. Tyrimo objektas yra transporto priemonės ir jų dalys, ant jų esantys pėdsakai, ant kelio dangos padangų protektoriaus pėdsakai, transporto priemonių nuolaužos, šukės, lako, dažų ir kitų dalių pažeidimai.

Kompleksinė teismo medicinos – eismo įvykio ekspertizė (reikalingos kelių skirtingų rūšių ekspertų žinios), atliekama kai reikalinga tikri žmogaus kūno sužalojimus ir drabužių pažeidimus, bei pėdsakus ant jų. Ji atliekama siekiant nustatyti kokiomis transporto priemonės dalimis buvo padaryti konkretūs kūno sužalojimai, ir atsakyti į kitus klausimus, kurių sprendimui reikalingos specialios žinios.

Eismo įvykių tyrimas atkuria eismo įvykio eigą, eismo įvykio aplinkybes įvykio vietoje, tiria eismo įvykio dalyvių veiksmus, aplinkybes, kurios turėjo įtakos eismo įvykiui įvykti; tiria nustatytus transporto priemonių techninius gedimus, jų atsiradimo laiką, gedimų ir eismo įvykio ryšį.

Paprastai pėsčiojo partrenkimo ekspertinis tyrimas atliekamas tokia tvarka:

- nustatoma pėsčiojo partrenkimo vieta (paprastai pagal eismo įvykio vietos plane užfiksuotus daiktinius įrodymus: šukes, nuolaužas, kelio dangos įbrėžimus, pėdsakus ir pan.);
- nustatomas transporto priemonės važiavimo prieš eismo įvykį greitis;

- nustatoma, ar transporto priemonės vairuotojas, važiuodamas apskaičiuotu arba vairuotojo nurodomu greičiu, savalaikiai stabdydamas ar manevruodamas, turėjo techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo;
- jei nustatyta, kad vairuotojas prieš eismo įvykį važiojo viršydamas konkrečiame kelio ruože maksimalų leistiną važiavimo greitį, nustatoma, ar transporto priemonės vairuotojas, savalaikiai stabdydamas ar manevruodamas, būtų turėjęs techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo, jeigu prieš eismo įvykį nebūtų viršijęs maksimalaus leistino važiavimo greičio;
- atkurama eismo įvykio eiga.

Eismo įvykio tyrimas labiausiai priklauso nuo to ar surinkta pakankamai duomenų eismo įvykiui ištirti, todėl įvykio vietos apžiūros metu turi būti užfiksuoti šie duomenys:

- oro sąlygos, nes būtina nustatyti kelio elementų ir kliūties matomumą;
- kelio ruožo, kuriame įvyko eismo įvykis, parametrai: važiuojamosios dalies, eismo juostų, kelkraščių plotis;
- važiuojamosios kelio dalies kurioje įvyko eismo įvykis, kelkraščių danga (asfaltbetonis, žvyras ir kt.), jos būklė (sausas, šlapias, apledėjęs ir pan.);
- aplinkos objektai (namas, medis, tvora), ypač jei jie gali riboti matomumą;
- transporto priemonės ir pėsčiojo padėtis kelio elementų ir vienas kito atžvilgiu;
- užfiksuoti po eismo įvykio likę objektai (įbrėžimai ant transporto priemonės, stabdymo, slydimo pėdsakai, šukės, kitos detalės ir pan.).

Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo analizės metu pagrindiniai nagrinėjami aspektai yra:

- transporto priemonės judėjimo greitis prieš pat eismo įvykį;
- transporto priemonės greitis susidūrimo (partrenkimo) metu;
- tikslios transporto priemonės ir pėsčiojo partrenkimo vietos nustatymas;
- techninė galimybė išvengti eismo įvykio kilimo.

Pėsčiojo partrenkimo vieta nustatoma pagal eismo įvykio vietos plane užfiksuotus daiktinius įrodymus, šukes, nuolaužas, kelio dangos įbrėžimus, pėdsakus ir pan. *Eismo įvykio vietos apžiūros planas* – tai grafinis eismo įvykio vietos atvaizdas, kuris yra eismo įvykio vietos apžiūros protokolo priedas. Plane objektų padėtis turi būti fiksuota matmenimis taip, kad vėliau būtų galima vienareikšmiškai nustatyti objektų padėtį kelio elementų ir vienas kito atžvilgiu. Paprastai (kai pėsčiasis juda skersai ar įstrižai kelio važiuojamosios dalies) svarbiau nustatyti, kur yra pėsčiojo partrenkimo vieta kelio pločio atžvilgiu, nes nuo to priklauso, kokį atstumą jis įveikė, sudarydamas

kliūtį. Nustatant pėsčiojo partrenkimo vietą kelio pločio atžvilgiu atsižvelgiama į transporto priemonės ratų stabdymo pėdsakų išsidėstymą (jei jie yra), transporto priemonės sugadinimo pobūdį (kokia dalimi buvo partrenktas pėsčiasis), pirmųjų (žiūrint transporto priemonės judėjimo kryptimi) šukių, nuolaužų išsidėstymą. Kartais, kai kitais būdais tiksliau nustatyti partrenkimo vietos negalima, ją galima nustatyti apytiksliai, žinant, kad transporto priemonė prieš eismo įvykį judėjo tiesiai tam tikra eismo juosta, priimant, kad ji važiojo jos viduru ar tam tikru atstumu nuo važiuojamosios dalies krašto ir atsižvelgiant į jos sugadinimus. Pėsčiojo partrenkimo vieta kelio ilgio atžvilgiu dažniausiai ne tiek svarbi, kad nustatyti, kokį atstumą jis įveikė, sudarydamas kliūtį. Tais atvejais kai partrenkimas įvyko netoli pėsčiųjų perėjos ar kokių nors kitų objektų (sankryžų, matomumą mažinančių objektų ir pan.), kai svarbu, kur įvyko partrenkimas jų atžvilgiu, pėsčiojo partrenkimo vieta kelio ilgio atžvilgiu dažniausiai nustatoma pagal pirmų stiklo šukių, nuolaužų ir kitų daiktinių įrodymų išsidėstymą. Kadangi visi šie objektai krenta transporto priemonės judėjimo kryptimi, tai galima teigti, kad pėsčiojo partrenkimas įvyko prieš pirmų šukių, nuolaužų ar kitų daiktinių įrodymų išsidėstymą, žiūrint transporto priemonės važiavimo kryptimi. Atstumą, kurį nulekia sudaužyto žibinto stiklo šukės, transporto priemonei važiuojant tam tikru greičiu, galima apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$S = 0,125 \cdot V_a \cdot \sqrt{H}; \quad (2)$$

čia: V_a – transporto priemonės važiavimo greitis, km/h;

H – žibinto apatinio krašto aukštis, m.

Pagal šią formulę apskaičiuotas atstumas yra minimalus, kadangi dalis šukių gali kristi toliau su pėsčiojo kūnu, dalis gali judėti su transporto priemone ir nukristi vėliau, dalis gali po kritimo riedėti važiuojamosios dalies paviršiumi. Tiksliau apibrėžti pėsčiojo partrenkimo vietą kelio ilgio atžvilgiu dažniausiai yra problematiška. Tam tikrais atvejais apie pėsčiojo partrenkimo vietą orientaciniai galima spręsti, žinant pėsčiojo kūno buvimo po eismo įvykio vietą ir atstumą, kuriuo jis gali būti nublokštas, esant tam tikram transporto priemonės važiavimo greičiui.

3.2. Techninė galimybė išvengti eismo įvykio kilimo

Pagrindinis klausimas, kuris sprendžiamas tokiu atveju: ar transporto priemonės vairuotojas, laiku stabdydamas ar manevruodamas, turėjo techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo. *Techninė galimybė išvengti eismo įvykio* – tai yra galimybė išvengti susidūrimo (partrenkimo), tokiais būdais, kaip, pavyzdžiui, mažinant greitį, stabdant transporto priemonę arba atliekant manevrą. Nuo to dažniausiai ir priklauso kieno, transporto priemonės vairuotojo ar pėsčiojo, veiksmai konkrečioje kelio situacijoje techniniu požiūriu buvo pagrindine sąlyga eismo įvykiui kilti.

Kadangi laikoma, kad transporto priemonės vairuotojas yra padidinto pavojaus šaltinio valdytojas, kuriam keliami aukštesni reikalavimai nei, pavyzdžiui, pėsčiajam, tai laikoma, kad tais atvejais, kai transporto priemonės vairuotojas turėjo techninę galimybę išvengti eismo įvykio, pagrindine sąlyga eismo įvykiui kilti techniniu požiūriu buvo transporto priemonės vairuotojo veiksmai.

Jei nustatyta, kad vairuotojas prieš eismo įvykį važiavo viršydamas konkrečiame kelio ruože maksimalų leistiną važiavimo greitį, nustatoma, ar transporto priemonės vairuotojas, savalaikiai stabdydamas ar manevruodamas, būtų turėjęs techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo, jeigu prieš eismo įvykį būtų važiavęs maksimaliu leistinu važiavimo greičiu. Atliekami kiti reikalingi skaičiavimai ir atkurama eismo įvykio eiga.

Kai nepakanka duomenų duoti vienareikšmiškas išvadas dėl transporto priemonės vairuotojo techninės galimybės išvengti pėsčiojo partrenkimo, o tuo pačiu ir dėl eismo įvykio dalyvių veiksmų ir jų priežastinio ryšio su įvykio kilimu, klausimai sprendžiami alternatyvioje formoje, t. y. randama tam tikro parametro kritinė reikšmė, prie kurios keičiasi išvada apie vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo ir pateikiama sąlyginė išvada. Pareigūnai, patikslinę tam tikro parametro reikšmę, gali padaryti tam tikras išvadas.

Jeigu eismo įvykis įvyko tamsiu paros metu arba esant blogoms matomumo sąlygoms, reikia nustatyti, ar vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo neribojo matomumas. Jeigu kliūties matomumo atstumas yra didesnis nei atstumas S_a , kuriame buvo transporto priemonė tuo momentu, kai pėsčiasis sudarė kliūtį arba iškilo grėsmė eismo saugumui, tai reiškia, kad vairuotojas objektyviai galėjo pastebėti pėsčiąjį anksčiau nei iškilo grėsmė eismo saugumui. Tuomet, sprendžiant klausimą apie vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo, lyginami transporto priemonės sustabdymui būtinas atstumas S_0 ir atstumas S_a . Jeigu kliūties matomumo atstumas yra mažesnis nei atstumas S_a , kuriame buvo transporto priemonė tuo momentu, kai pėsčiasis sudarė kliūtį arba iškilo grėsmė eismo saugumui, tai reiškia, kad vairuotojas objektyviai negalėjo pastebėti pėsčiojo

anksčiau nei buvo sudaryta kliūtis. Tokiu atveju vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo riboja matomumas (kliūtis susidarė anksčiau nei vairuotojas galėjo ją pastebėti), ir sprendžiant klausimą apie vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo transporto priemonės sustabdymui būtinas atstumas S_0 lyginamas su pėsčiojo matomumo atstumu buvusiomis sąlygomis.

Kai prieš partrenkimą pėsčiasis juda kelio išilgine kryptimi, t. y. juda ta pačia arba priešinga kryptimi automobilio judėjimo krypties atžvilgiu, pagrindinis veiksnys, lemiantis eismo įvykio kilimą, paprastai yra ne pėsčiojo judėjimo trajektorija, o jo pasirodymas vairuotojo matomumo zonoje, nes tokiu atveju pėsčiųjų partrenkimas dažniausiai įvyksta esant ribotam matomumui, kai vairuotojas laiku negali pastebėti kliūties arba laiku nesiima priemonių išvengti jos partrenkimo.

Esant pakankamam matomumui pėsčiojo judėjimo kelio išilgine kryptimi atveju, kai jis nesudaro staigios kliūties, vairuotojas, savalaikiai stabdydamas arba manevruodamas, turi techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo ir jo veiksmai techniniu požiūriu yra pagrindine sąlyga įvykiui kilti. Esant ribotam matomumui, sprendžiant klausimą apie vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo, įvertinama, ar buvusiomis matomumo sąlygomis transporto priemonės vairuotojas turėjo techninę galimybę sumažinti važiavimo greitį iki pėsčiojo judėjimo greičio (judėjimo ta pačia kryptimi atveju), arba sustabdyti transporto priemonę iki susidūrimo vietos (judėjimo priešinga kryptimi atveju, nors tokiu atveju pėsčiajam judant toliau kontakto gali būti neišvengta pėsčiajam pačiam atsitrenkus į transporto priemonę).

Be to, tokiu atveju, pėsčiajam judant kelio išilgine kryptimi, esant pakankamam laisvam kelio pločiui, kaip būdas išvengti eismo įvykio, priimtinas ne tik automobilio stabdymas, bet ir manevravimas – kliūties apvažiavimas.

Automobiliui persislinkti tam tikru atstumu y kelio skersine kryptimi (į kairę ar į dešinę) jo vairuotojui būtiną atstumą galima apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$S_m = (t_1 + t_v) \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a}{3,6} \sqrt{\frac{6y}{g \cdot \varphi}}; \quad (3)$$

čia: t_1 – vairuotojo reakcijos laikas, s;

t_v – vairavimo sistemos pavaros suveikimo laikas, s;

y – atstumas, kuriuo transporto priemonė turi persislinkti kelio skersine kryptimi, kad būtų išvengta eismo įvykio, m;

g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ;

ϕ' – sukibimo koeficientas ratų skersiniam slydimui ant konkrečios kelio dangos.

Todėl tokiu atveju, nustatant automobilio vairuotojo techninę galimybę išvengti pėsčiojo partrenkimo, atstumas S_a , kuriame buvo automobilis nuo pėsčiojo partrenkimo vietos tuo momentu, kai iškilo grėsmė eismo saugumui, gali būti lyginamas ne tik su automobilio sustabdymui būtinu atstumu S_0 , bet ir su atstumu S_m , būtinu pėsčiojo apvažiavimui.

Neretai kliūties, pavyzdžiui, pėsčiojo, judėjimo prieš partrenkimą greičio nustatyti neįmanoma. Taip, pavyzdžiui, jeigu pėsčiasis įveikė mažą atstumą arba pradėjo judėti, nuėjo tam tikrą atstumą, sustojo, pakeitė judėjimo tempą ar kryptį ir t. t. Tokiu atveju atliekant skaičiavimus reikia remtis ne tam tikru kliūties judėjimo greičiu, o laiku, kurį kliūtis (pvz., pėsčiasis) buvo vairuotojo matomumo zonoje, sudarydama jam kliūtį arba keldama grėsmę eismo saugumui. Jeigu tokių duomenų nėra, galima apskaičiuoti kritinį kliūties judėjimo laiką (kuriam esant keičiasi išvada), ir atlikus eksperimentus ir nustačius realią šio laiko reikšmę, galima palyginti ją su eksperto apskaičiuota kritine reikšme ir padaryti išvadą apie vairuotojo techninę galimybę išvengti eismo įvykio.

Kritinis kliūties judėjimo greitis $V_{kl.kr.}$, jo judėjimo vairuotojo matomumo zonoje kritinis laikas $t_{kl.kr.}$, transporto priemonės kritinis važiavimo greitis $V_{a.kr.}$, kuriems esant transporto priemonės vairuotojas dar turėjo techninę galimybę sustabdyti transporto priemonę iki kliūties judėjimo linijos, gali būti nustatyti pagal žemiau pateikiamas formules. Kai iki susidūrimo transporto priemonė nebuvo stabdoma:

$$V_{kl.kr.} = \frac{3,6 \cdot S_{kl}}{T + 0,5 \cdot t_t}; \quad (4)$$

$$t_{kl.kr.} = T + \frac{V_a}{7,2 \cdot j}; \quad (5)$$

$$V_{a.kr.} = 7,2 \cdot j \cdot (t_{kl} - T); \quad (6)$$

Kai kliūties partrenkimas įvyko transporto priemonei judant stabdymo režime:

$$V_{kl.kr.} = \frac{3,6 \cdot S_{kl}}{T + t'_T + \frac{3,6 \cdot S''_T}{V_a}}; \quad (7)$$

$$t_{kl.kr.} = T + t'_T + \frac{3,6 \cdot S''_T}{V_a}; \quad (8)$$

čia: S_{kl} – atstumas, kuriuo persislinko kliūtis vairuotojo matomumo zonoje, keldama grėsmę eismo saugumui, m;

T – laikas, būtinas vairuotojui, kad pradėti efektyviai stabdyti, s;

$$T = t_1 + t_2 + 0,5t_3; \quad (9)$$

t_T – užstabdytos transporto priemonės judėjimo laikas iki pilno sustojimo, s;

$$t_T = \frac{V_a}{3,6 \cdot j}; \quad (10)$$

t_{kl} – kliūties judėjimo laikas nuo momento, kai vairuotojas galėjo nustatyti grėsmės eismo saugumui kilimo galimybę, iki partrenkimo, s:

$$t_{kl} = 3,6 \frac{S_{kl}}{V_{kl}}; \quad (11)$$

V_{kl} – kliūties judėjimo prieš partrenkimą greitis, km/h;

t_T' – transporto priemonės judėjimo laikas nuo stabdymo pradžios iki partrenkimo vietos, s:

$$t_T' = t_T - t_T'' = \frac{V_a}{3,6 \cdot j} - \sqrt{\frac{2}{j} S_T''}; \quad (12)$$

t_T'' – užstabdytos transporto priemonės judėjimo laikas po partrenkimo iki sustojimo, s:

$$t_T'' = \sqrt{\frac{2}{j} S_T''}; \quad (13)$$

S_T'' – atstumas, kurį užstabdyta transporto priemonė nuvažiavo po partrenkimo iki pilno sustojimo, m.

Tačiau formulės (9)–(13) neįvertina vairuotojo techninės galimybės išvengti eismo įvykio kliūčiai pasišalinus (išėjus, išbėgus) iš pavojingos zonos, jeigu vairuotojas laiku stabdytų transporto priemonę. Tačiau tais atvejais, kai tai aktualu, tokia galimybė taip pat turi būti nagrinėjama.

Kartais būna, kad yra žinoma kliūties judėjimo greičio reikšmė, o nežinomas atstumas, kurį kliūtis judėjo vairuotojo matomumo zonoje iki partrenkimo vietos, sukeldama grėsmę eismo saugumui. Tokiam atvejui išvedamos formulės apskaičiuoti kritiniam atstumui, kurį kliūtis judėjo vairuotojo

matomumo zonoje iki partrenkimo vietos, sukeldama grėsmę eismo saugumui, kuriam esant vairuotojas dar turėjo techninę galimybę sustabdyti transporto priemonę iki kliūties judėjimo linijos. Kai iki kliūties partrenkimo transporto priemonė nebuvo stabdoma:

$$S_{kl.kr.} = \frac{V_{kl}}{3,6} (T + 0,5 \cdot t_t); \quad (14)$$

Kai kliūties partrenkimas įvyko transporto priemonei judant stabdymo režime:

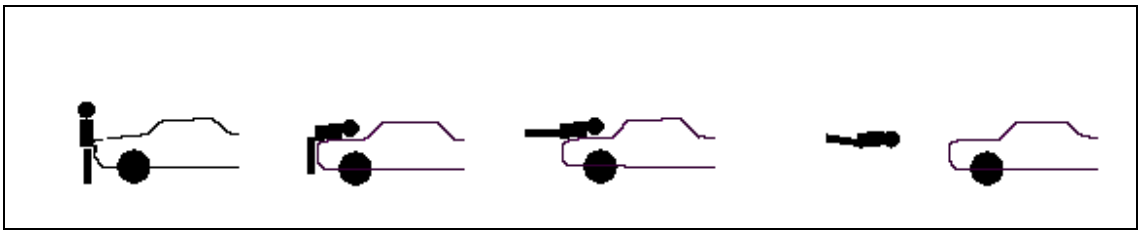
$$S_{kl.kr.} = \frac{V_{kl}}{3,6} \left(T + t'_T + \frac{3,6 \cdot S''_T}{V_a} \right). \quad (15)$$

3.3. Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo specifika

Kai pėsčiasis yra partrenkiamas judančios transporto priemonės, jo judėjimo trajektorija po smūgio gali skirtis, priklausomai nuo to kokiame aukštyje pėsčiojo masės centro atžvilgiu (žemiau masės centro ar aukščiau) transporto priemonės priekinė dalis kliudė pėsčiajį. Taip pat pėsčiojo judėjimo trajektorija priklauso ir nuo pėsčiojo padėties (pėsčiasis stovėjo išsitiesęs, buvo palinkęs, ar šliaužė) ir transporto priemonės judėjimo greičio, bei jos profilio. Pėsčiojo judėjimo po smūgio trajektorija gali būti klasifikuojama:

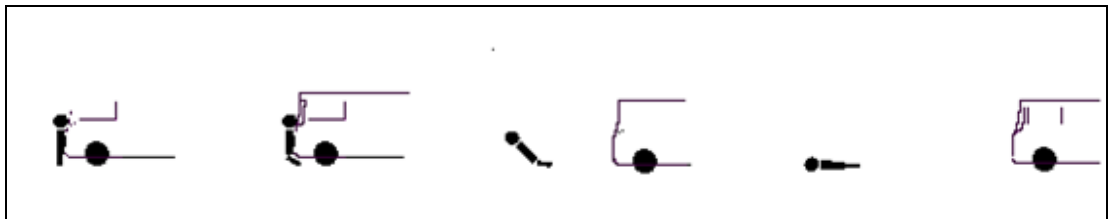
- 1) nubloškimas;
- 2) nustūmimas;
- 3) nubloškimas į šoną;
- 4) permetimas per stogą;
- 5) nubloškimas, kai pėsčiasis apsiverčia.

Nubloškimas atsiranda tada, kai lengvasis automobilis kliudo pėsčiajį žemiau jo masės centro. Pirminis kontaktas yra tarp transporto priemonės buferio ir pėsčiojo kojų, antrinis kontaktas atsiranda kai pėsčiojo krūtinė kontaktuoja su transporto priemonės viršutine variklio gaubto dalimi. Pėsčiasis pastumiamas ir važiuoja nestabdomą atkarpą kartu su transporto priemone (susidūrus greitėja transporto priemonės greičiu), atsiskiria nuo jo pradėjus stabdyti ir nusviedžiamas į priekį. Bendras sviedimo atstumas didesnis nei susidūrimo stabdant atveju.



8 pav. Pėsčiojo priekinis nubloškimas

Priekinis pėsčiojo nustūmimas atsiranda tada kai pėsčiasis yra partrenkiamas plataus priekinio profilio transporto priemonės, t. y. sunkiasvorio ar komercinio transporto. Pėsčiasis visu kūnu kontaktuoja su transporto priemonės priekine dalimi ir yra pastumiamas transporto priemonės judėjimo kryptimi ir partrenkiamas ant kelio dangos. Pėsčiasis nėra užmetamas ant transporto priemonės ir pavežamas, bet pastumiamas ir parbloškiamas priešiasis transporto priemonę ant kelio dangos. Susidūrimo metu pėsčiasis iš kart ima judėti transporto priemonės judėjimo greičiu. Esant labai dideliu transporto priemonės greičiui pėsčiasis gali būti pervaziuojamas jį partrenkusios transporto priemonės.



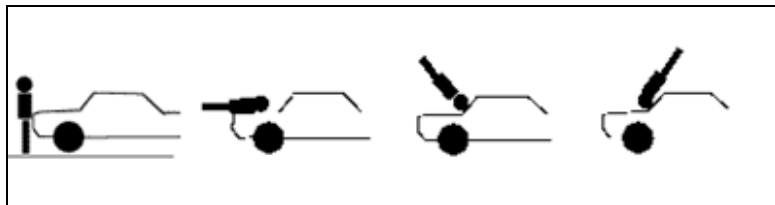
9 pav. Pėsčiojo nustūmimas

Nubloškimas į šoną atsiranda tada kai pėsčiasis yra partrenkiamas lengvojosios transporto priemonės, kontakto vieta susidūrimo metu yra arčiau transporto priemonės dalies šoninio krašto. Pirmasis kontaktas dažiausiai yra tarp transporto priemonės ir pėsčiojo kojų, kai kūnas rotaciniais judesiais sukasi link variklio gaubto. Kadangi pėsčiasis partrenkiamas transporto priemonės priekiniu kraštu, pėsčiasis neatsitrenkdamas į viršutinę variklio gaubto dalį yra nubloškiamas į šoną. Pėsčiojo galva gali kontaktuoti su transporto priemone arba ne.

10 pav. Pėsčiojo šoninis nubloškimas

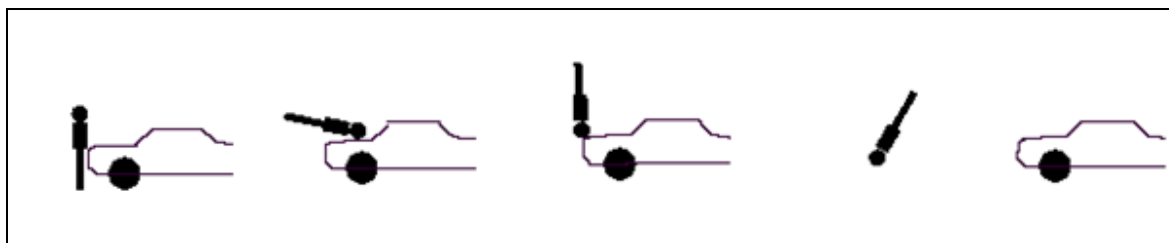
Permetimas per transporto priemonės stogą atsiranda kai transporto priemonė kliudo pėsčiasį į kojas, susidūrimas labai panašus kaip ir nubloškimo atveju, tik šiuo atveju pėsčiojo kojos sukasi į viršų, pėsčiojo galva trenkiasi į priekinį stiklą arba į stogo liniją. Manevras baigiasi kai pėsčiasis

permetamas per stogą palieką transporto priemonės zoną ir veikiamas kūno svorio jėgos krenta ant žemės. Pėsčiojo permetimas per stogą gali įvykti tada, kai transporto priemonė juda labai dideliu greičiu nestabdant. Jei pėsčiasis permetamas per stogą, tai nubloškimo atstumas beveik identiškas susidūrimo stabdant atstumui.



11 pav. Pėsčiojo permetimas per stogą

Pėsčiojo nubloškimas ir apsivertimas atsiranda susidūrus transporto priemonei ir pėsčiajam, kai susidūrimo metu transporto priemonė yra intensyviai stabdoma. Šio susidūrimo pozicija tinkama tik suaugusio pėsčiojo susidūrimui apibūdinti, bet netinkama kai partrenkiamas vaikas, nes dėl jo žemo masės centro, tikėtina, kad vaikas neapsivers. Šio susidūrimo metu pasekmės gali būti labai skaudžios (Martinez 1995).



12 pav. Nubloškimo schema, kai pėsčiasis apsiverčia

Pėsčiųjų partrenkimai pagal kontakto su transporto priemone vietą gali būti skirstomos į:

- Užvažiavimą iš priekio. Pilnas susidūrimas, kai visas pėsčiojo kūnas yra prieš automobilį, jo profilio ribose ir susidūrus greitėja automobilio greičiu. Dalinis susidūrimas, kai susidūrimo metu pėsčiojo kūnas, priešingai nei pilno susidūrimo metu, nėra pilnai automobilio profilio ribose. Ribos tarp dalinio persidengimo ir tarp kontakto be persidengimo yra neryškios. Kalbant apie kontaktą be persidengimo reikia skirti einantį į automobilį ir nueinantį nuo automobilio pėsčiąjį.
- Pilnas susidūrimas stabdant. Skiriamos kontaktinė, postūmio, skrydžio ir slydimo fazės.
- Pilnas susidūrimas nestabdant.
- Pėsčiasis, artėjantis prie automobilio. Iš šono prie automobilio artėjantis pėsčiasis susidūrimo metu užkliudomas arba automobilio priekiniu kraštu arba juda priešpriešiais šoninei automobilio daliai.

Susidūrimo metu perkelta į pėsčiąją energija dažniausiai virsta rotacine, tai išprovokuoja sukimąsi apie savo išilginę ašį. Pėsčiojo judėjimas link automobilio sukelia jo slydimą išilgai automobilio šono, atitinkamai sužalojamas automobilis ir sužeidžiamas pėsčiasis. Po to jo viršutinė kūno dalis patenka ant automobilio sparno ir kapoto, tokiu būdu viršutinė kūno dalis jai slystant išilgai automobilio šono dažnai dar kontaktuoja su priekinio stiklo rėmu, pačiu stiklu arba priekiniu automobilio stogo kampu. Po susidūrimo kūnas, veikiamas svorio jėgos, krenta žemyn, tokiu būdu atsitrengimo į važiuojamąjį kelio dalį intensyvumas lyginant su pilnu priekiniu susidūrimu yra mažesnis, nes mažesnis kritimo aukštis.

- Pėsčiasis, einantis nuo automobilio. Šios susidūrimo rūšies atveju pėsčiajam pavyksta beveik visai palikti pavojaus zoną. Dažnai automobilio profilio ribose lieka tik viena koja. Susidūrimas sukelia pėsčiojo sukimąsi aplink savo išilginę ašį. Dėl to, kad pėsčiasis juda tolyn nuo automobilio, jis nebetenka tolesnio kontakto su juo.

- Lygiagrečiai automobilio važiavimo kryptčiai einantis pėsčiasis. Lygiagrečiai automobilio važiavimo kryptčiai einantis pėsčiasis gali eiti važiavimo kryptimi arba prieš važiavimo kryptį. Šiuo atveju, kūnas gali būti užmestas ant automobilio, tačiau jis nebūna iškeliamas. Ir šiuo atveju kūno centras po susidūrimo krenta žemyn.

- Šoninis susidūrimas. Šoninio susidūrimo atveju pėsčiasis kontaktuoja tik su automobilio šonu. Šoninis susidūrimas įvyksta tada, kai pėsčiasis kontaktuoja su automobilio šonu už jo priekinės linijos. Kontakto trukmė ir intensyvumas pirmiausiai priklauso nuo pėsčiojo judėjimo greičio. Šoninio susidūrimo atveju pėsčiasis sviedžiamas į šoną ir į priekį, kur jis lieka gulėti už priekinės automobilio linijos. Netipinis šoninio nubloškimo atvejus gali būti, kai stovintis arba lygiagrečiai važiavimo kryptčiai judantis pėsčiasis užkliudomas tik išsikišusiomis automobilio dalimis (veidrodžiu, kroviniu ir kt.) ir nustumiamas nuo automobilio, tokiu būdu išvengdamas tolesnio kontakto su automobilio šonu.

- Pervažiavimas. Skiriami paprasti ir komplikuoti pervažiavimai. Jei pervažiuojamas kelyje gulintis pėsčiasis, kuris nebuvo pargriautas prieš tai važiavusios transporto priemonės, tai bus paprastas pervažiavimas. Jei pėsčiasis guli kelyje dėl to, kad susidūrė su transporto priemone, o po to dar kartą buvo pervažiuotas to paties ar kitos transporto priemonės, tada bus komplikuoatas pervažiavimas. Dažniausiai pervažiavimas atsitinka, kai pėsčiasis kliudomas plataus priekinio profilio transporto priemonės, kuriuose stabdymo uždelsimas nedidelis arba jei visu ūgiu kliudomas mažas vaikas.

Atkuriant eismo įvykio eigą, į kurį pateko pėsčiasis, būtina tiksliai priskirti pėsčiojo judėjimą vienai iš anksčiau minėtų nubloškimo schemų, nes nuo to priklausys koks metodas bus taikomas transporto priemonės judėjimo greičiui eismo įvykio metu nustatyti. Kadangi nubloškimo schemų ribos

nēra ryškios, atskirais atvejais sudētinga priskirti atitinkamai rūšiai, o kartais neįmanoma.

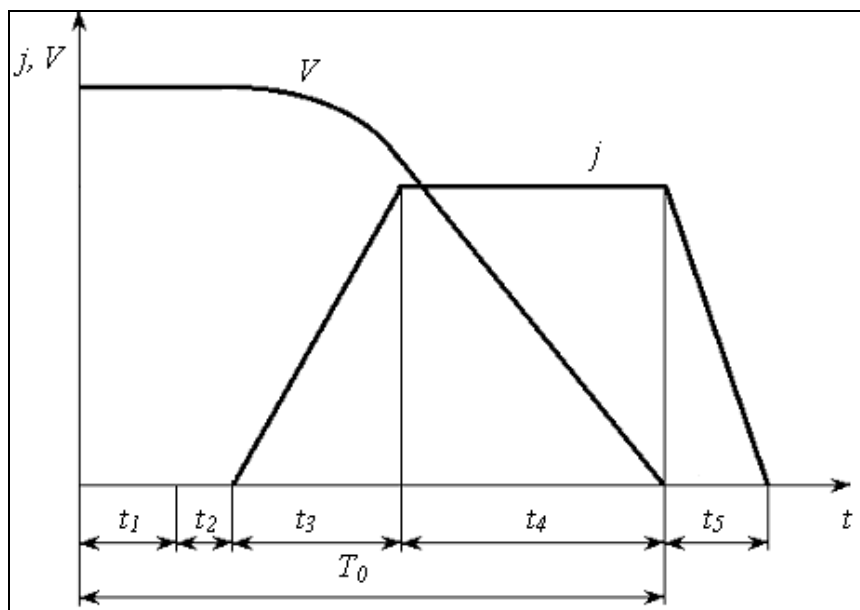
4. TRANSPORTO PRIEMONĖS JUDĖJIMO GREIČUI NUSTATYTI PĖSČIOJO PARTRENKIMO METU TAIKOMI METODAI

Atkuriant eismo įvykius, būtina kuo tiksliau nustatyti transporto judėjimo greitį prieš pat eismo įvykio kilimą, tam naudojami šie metodai:

- Pagal transporto priemonės stabdymo pėdsako ilgį;
- Pagal pėsčiojo nubloškimo atstumą;
- Pagal transporto priemonės apgadinimus;
- Pagal pėsčiojo sužalojimus;
- Pagal liudininkų ar transporto priemonės vairuotojo parodymus.

4.1. Transporto priemonės greičio skaičiavimas pagal stabdymo pėdsako ilgį

Tiksliausiai transporto priemonės greitis yra apskaičiuojamas pagal transporto priemonės stabdymo pėdsako ilgį. Stabdymo pėdsakai susidaro, kai transporto priemonės vairuotojas pastebėjęs kliūtį, įvertinęs situaciją kelyje, priima sprendimą stabdyti. Stabdymo procesas prasideda, kai transporto priemonės vairuotojas pastebėjęs kliūtį priima sprendimą stabdyti, ir trunka iki visiško transporto priemonės sustojimo (13 pav.).



13 pav. Stabdymo diagrama

Laikas, nuo tada kai vairuotojas pastebėjo kliūtį iki to laiko kai ėmėsi stabdyti (pridėjo koją prie stabdžių pėdalo) vadinamas vairuotojo reakcijos laiku t_1 . Priklausomai koku paros metu įvyko eismo įvykis, vairuotojo reakcijos laikas gali kisti nuo 0,6–2,0 s. Laikas t_2 vadinamas stabdžių sistemos pavaros suveikimo laiku (vairuotojui nuspaudus pedalą, slėgis nuo pagrindinio stabdžių cilindro perduodamas stabdžiams, hidrauliniams stabdžiams $t_2 = 0,2$ s). Per reakcijos ir pavaros suveikimo laiką transporto priemonė juda nemažėjančiu greičiu. Kai stabdžių sistema pradeda veikti, lėtėjimo pagreitis pradeda didėti, o automobilio važiavimo greitis mažėja. Laikas t_3 vadinamas lėtėjimo pagreičio didėjimo laiku (skirtingoms transporto priemonėms lėtėjimo pagreičio augimas yra 0,1–0,6 s, jis yra tuo didesnis, kuo didesnė transporto priemonės masė ir padangų sukibimo su keliu koeficientas). Kai lėtėjimo pagreitis pasiekia maksimalią reikšmę ir per laiką t_4 transporto priemonė stabdoma nusistovėjusiu lėtėjimo pagreičiu j , todėl todėl transporto priemonės greitis šioje atkarpoje per vienodą laiko tarpą proporcingai mažėja. Stabdymo pabaigoje automobilis sustoja. Vairuotojas nukelia koją nuo stabdžių pedalo ir įvyksta atstabdymas. Laikas t_5 vadinamas atstabdymo laiku ($t_5 \approx 0,3$ s). Nustatant automobilio važiavimo greitį pagal išlikusius pėdsakus vairuotojo reakcijos laikas t_1 ir stabdžių sistemos pavaros suveikimo laikas t_2 nevertinamas.

Įvertinant transporto priemonės lėtėjimą jo lėtėjimo pagreičio didėjimo fazėje, transporto priemonės judėjimo greičiui prieš stabdymą nustatyti naudojama formulė:

$$v_a = 1,8 \cdot t_3 \cdot j + \sqrt{26 \cdot S_{st} \cdot j}; \quad (16)$$

čia: S_{st} – stabdymo metu transporto priemonės ratų paliktų stabdymo pėdsakų ilgis, m;

j – lėtėjimo pagreitis, m/s^2 ;

t_3 – lėtėjimo pagreičio didėjimo laikas, s.

Bendruoju atveju efektyviai visais ratais stabdomos transporto priemonės lėtėjimo pagreičio reikšmė (m/s^2) nustatoma pagal formulę:

$$j = g\varphi_k = g \left(\frac{\varphi}{K_e} \cos \alpha \pm \sin \alpha \right); \quad (17)$$

čia: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – laisvojo kritimo pagreitis;

φ_k – sukibimo koeficiento reikšmė transporto priemonei tam tikromis kelio sąlygomis:

$$\varphi_k = \frac{\varphi}{K_e} \cos \alpha \pm \sin \alpha; \quad (18)$$

čia: φ – sukibimo koeficientas;

K_e – transporto priemonės stabdymo efektyvumo koeficientas;

α – kelio nuolydis stabdymo ruože (jeigu $\alpha \leq 5^\circ$, $\cos \alpha \approx 1$, $\sin \alpha \approx 0$).

Ženklas „+“ formulėse (17) ir (18) naudojamas, kai transporto priemonė važiuoja įkalne, o ženklas „–“ jai važiuojant nuokalne. Horizontaliame kelio ruože:

$$j = g \frac{\varphi}{K_e}. \quad (19)$$

Sukibimo koeficientas φ – tai maksimalios transporto priemonės padangų sukibimo su kelio paviršiumi jėgos P_s duotame kelio ruože santykis su šios transporto priemonės svorio jėga G :

$$\varphi = \frac{P_s}{G}. \quad (20)$$

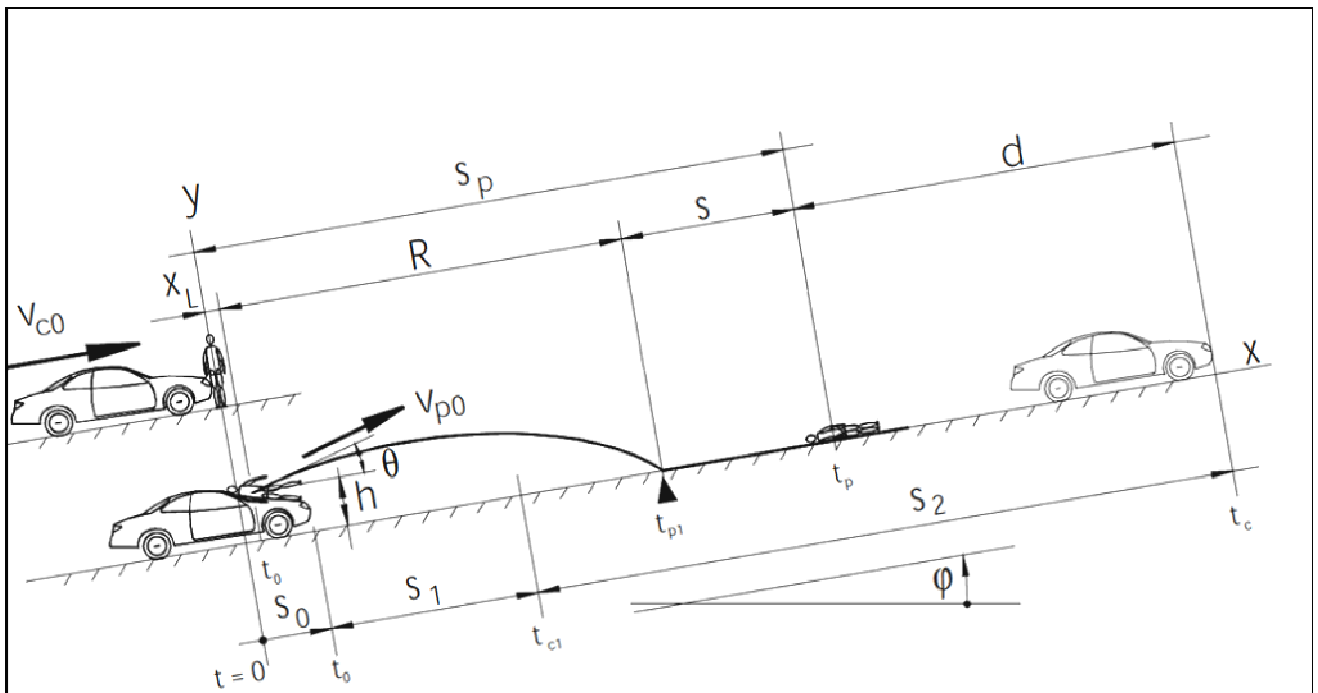
Sukibimo koeficiento φ dydis labiausiai priklauso nuo kelio dangos tipo ir būklės. Sukibimo koeficiento reikšmės pateikiamos lentelėje:

1 lentelė. Transporto priemonės padangų sukibimo su kelio danga koeficientai

Dangos tipas	Sukibimo koeficientas, φ	
	Dangos būklė	
	Sausa	Šlapia
Betonas	0,7–1,0	0,4–0,7
Asfaltbetonis:		
Naujas pašiuškštintas	0,7–1,1	0,4–0,8
Nuvažinėtas	0,6–0,8	0,4–0,7
Nugludintas	0,5–0,7	0,4–0,6
Grindinys	0,6–0,7	0,4–0,5
Žvyras:		
Suplūktas	0,5–0,7	0,4–0,6
nesuplūktas	0,4–0,7	0,4–0,7
Gruntas (kietas)	0,4–0,6	0,2–0,4
Sniegas	0,2–0,4	
Apledėjęs kelias	0,05–0,3	

4.2. Transporto priemonės greičio skaičiavimas pagal pėsčiojo nubloškimo atstumą

Tobulėjant transporto priemonių stabdymo sistemoms, stabdžiai su ABS sistema (stabdžių antiblokavimo sistema) stabdymo pėdsako žymių ant kelio paviršiaus gali ir neišlikti. Transporto priemonės stabdymo žymių kartais nelieka ir dėl dėl šlapios, apsniktos kelio dangos, ar kitų faktorių. Siekiant išspręsti šią problemą, buvo pateiktas metodas, leidžiantis apskaičiuoti transporto priemonės greitį prieš eismo įvykį pagal pėsčiojo nubloškimo atstumą S_p (14 pav.). Šis atstumas apibūdinamas kaip atstumas tarp susidūrimo vietos ir galutinės pėsčiojo padėties.



14 pav. Pėsčiojo išilginio nubloškimo schema (Han *et al.* 2001)

Nubloškimo atstumas susideda iš kontakto fazės (kontakto pradžia – pirminis kontaktas, kai transporto priemonės buferis paliečia pėsčiojo koją, antrinis kontaktas, kai pėsčiasis liečiasi viršutine kūno dalimi į transporto priemonės variklio gaubtą; iki kontakto su transporto priemone pabaigos), transporto stūmimo, skrydžio ir pėsčiojo slydimo kelio dangos paviršiumi fazės.

Kontakto fazė skirstoma į atskiras sritis, susijusias su skirtingomis susidūrimo situacijomis ir jų įtaka kitiems judėjimo etapams:

- pirmasis smūgis atsitrenkiant blauzda;
- pėdos ir blauzdos įtraukimo efektas, lydimas blauzdinio pėdos sąnario sukimo;
- rotacinis viso kūno judesys priekiniame automobilio plote ir kelio sąnario apkrova;

- kontaktas su šlaunimi / dubeniu;
- viršutinės kūno dalies ir galvos atsitrenkimas į priekinę variklio gaubto dalį arba priekinį stiklą;
- atsitrenkimas į transporto priemonės stogą visu kūnu arba tik atskiromis jo dalimis.

Užmetimo atveju kontaktinė jėga veikia pėsčiojo korpusą ir galvą, jam atsitrenkus į variklio gaubtą ir/arba priekinio lango sritį. Judėjimas vyksta priekinio stiklo kryptimi. Laiko tarpas tarp pirmojo pėsčiojo susidūrimo ir jo atsiskyrimo nuo automobilio vadinamas kontakto trukme. Per šį laiką automobilis nuvažiuoja kontaktinį kelią. Kontaktinės fazės pabaigoje pėsčiasis beveik pasiekia automobilio greitį.

Skrydžio fazė prasideda tada, kai pėsčiasis atsiskiria nuo transporto priemonės (užmetimo fazės pabaigoje) ir baigiasi, kai pėsčiasis kuria nors kūno dalimi paliečia žemę (prasideda slydimo fazė). Slydimo fazės pradžią realaus eismo įvykio atveju galima nustatyti pagal pėdsakų, kuriuos pėsčiasis palieka važiuojamoje kelio dalyje, vietą (dažniausiai kraujo žymė ir kt.). Slydimo fazė prasideda atsitrenkus kuriai nors kūno daliai į važiuojamąją kelio dalį ir tęsiasi iki galutinės pėsčiojo padėties (lyginimo taškas yra kūno centras). Slydimo fazės metu gali būti ir trumpalaikių skrydžio fazių. Slydimo fazės trukmė priklauso nuo pėsčiojo greičio atsitrenkiant į kelią, sviedimo kampo ir atsitrenkimo į kelią būdo.

Išilginio nubloškimo atstumas yra svarbiausias ir patikimiausias rodiklis nustatant susidūrimo greitį. Jis greičiausiai nepriklauso nuo pėsčiojo kūno požymių, t.y. pėsčiojo ūgis ir svoris tik nedaug įtakoja bendrą sviedimo atstumą, keičiasi tik skrydžio ir slydimo atstumų dalys, kuriuos realiuose eismo įvykiuose dažniausiai sudėtinga nustatyti.

Siekiant išvesti pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybę, buvo atlikta daug bandymų su skirtingų masių, skirtingų formų transporto priemonėmis, kurios judėjo įvairias greičiais. Naudojantis bandymo rezultatais reikia atkreipti dėmesį į tai, jog realaus eismo įvykio sąlygos gana tiksliai turi atitikti bandymo sąlygas. Turi atitikti šias ribines sąlygas: pėsčiasis turi būti paliestas pilnai, susidūrimas įvyksta transporto priemonės priekinės dalies kontanto su pėsčiuoju metu, susidūrimas įvyksta su lengvąja arba komercine transporto priemone, susidūrimas turi būti įvykęs su prieš arba tuoj pat po jo stabdoma transporto priemone, ir šis stabdymas turėjo tęstis ištisai iki jo sustojimo, galutinė pėsčiojo padėtis turi būti priešais sustojusio automobilio priekinę dalį. Jei šios sąlygos įvykdytos, remiantis išilginio nubloškimo skaičiavimui pateikiama formule, kai susidūrimo greitis iki 90 km/h, transporto priemonės greitį galima apskaičiuoti (Schmidt *et al.* 1971):

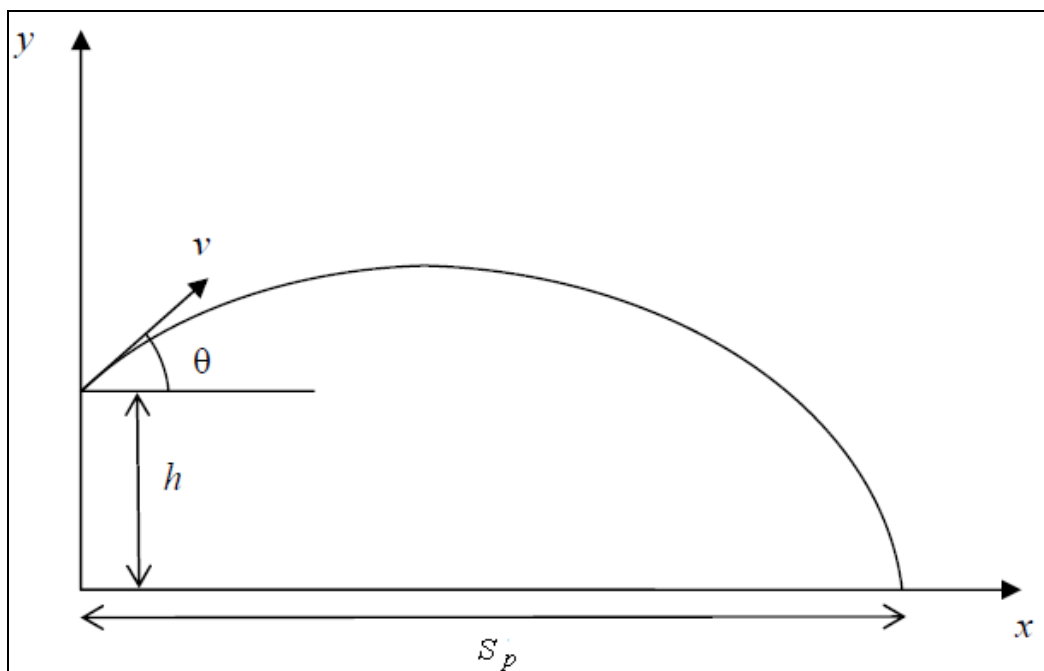
$$s_p = 0.0178v_a + 0.0271v_a^2; \quad (21)$$

čia: s_p – išilginio nubloškimo atstumas, m;

v_a – susidūrimo greitis km/h, tolerancija +/- 5 km/h.

Ši regresinė formulė labai artima transporto priemonių bandymams su manekenais. Nustačius nubloškimo atstumą (esant greičiui iki 90 km/h) galima nustatyti susidūrimo greitį +/- 5 km/h tikslumu. Tikriausiai ši regresinė formulė tinka ir didesniems susidūrimo greičiams (iki šiol nebuvo atlikti tokie tyrimai).

Pėsčiojo nubloškimo atstumą įtakoja pėsčiojo nubloškimo kampo dydis θ , pėsčiojo slydimo kelio dangos koeficientas μ , transporto priemonės judėjimo greitis ir kt. (15 pav.). Dažniausiai pėsčiojo nubloškimo atstumas skaičiuojamas nuo transporto priemonės susidūrimo su pėsčiuoju iki visiško pėsčiojo sustojimo, kai pėsčiojo galutinė padėtis yra pėsčiojo kūnas horizontalioje padėtyje.



15 pav. Pėsčiojo nubloškimo schema koordinačių sistemoje (Stevenson, 2006)

Atsižvelgiant į tai, kad pėsčiasis partrenkimo metu buvo vertikalioje padėtyje (pėsčiojo masės centras susidūrimo metu buvo aukštyje h), ir įvertinant nubloškimo kampą θ , galima apskaičiuoti pėsčiojo judėjimo greitį. Žinant pėsčiojo sklendimo ore atstumą R (14 pav.), judėjimo greitis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot R^2}{2 \cos \theta \left(h + \frac{R \sin \theta}{\cos \theta} \right)}}; \quad (22)$$

čia: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – laisvojo kritimo pagreitis;

R – pėsčiojo sklendimo ore atstumas, m (14 pav.);

θ – nubloškimo kampas, °;

h – pėsčiojo masės centro prieš ir po smūgio aukščių skirtumas, m;

v – pėsčiojo judėjimo po susidūrimo greitis, km/h

Didžiausias pėsčiojo nubloškimo atstumas yra, kai susidūrimo kampas $\theta \approx 45^\circ$, tada pėsčiojo judėjimo greičio apskaičiavimo formulė yra:

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot R^2}{h + R}}. \quad (23)$$

Jeigu, pėsčiojo masės centras susidūrimo metu buvo auktyje $h = 0$, tai judėjimo greitis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v = \sqrt{g \cdot R}. \quad (24)$$

Pėsčiojo judėjimo greičio skaičiavimas, kai žinomas pėsčiojo slydimo kelio dangos pavirčiumi atstumas s . Skaičiuojant greitį būtina įvertinti pėsčiojo kūno trinties į kelio paviršių koeficientą μ . Tada pėsčiojo judėjimo greitis apskaičiuojamas:

$$v = \sqrt{\mu \cdot g \cdot s}. \quad (25)$$

Būtina pažymėti, kad tikslus pėsčiojo kūno trinties į kelio paviršių koeficientas nėra nustatytas, ir atskirais atvejais gali kisti nuo 0,4 iki 1,1. Skirtingų autorių pateikiami pėsčiojo kūno ir kelio dangos trinties koeficientai nurodyti 2 lentelėje.

2 lentelė. Pėsčiojo trinties į kelio dangą koeficientas

Autorius	Kelio dangos paviršius	Sukibimo koeficientas μ
Collins (1979)		1,1
Searle (1983)	Asfaltas	0,66
	Žolė	0,79
Severy (1966)		0,4-0,75
Fricke (1990)	Asfaltas	0,45-0,60
	Betonas	0,40-0,45
	Žolė	0,45-0,70
Stevenson (2006)	Asfaltas	0,57-0,58

Pėsčiojo greitis, kai yra žinomi sklendimo ore ir slydimo kelio dangos pavirčiumi atstumai, įvertinant ir masės centro aukščių prieš ir po susidūrimo skirtumą, apskaičiuojamas:

$$v = \sqrt{g \left(\frac{R^2}{h + R} + 2\mu s \right)}; \quad (26)$$

$$v = \sqrt{g(R + 2\mu R)}. \quad (27)$$

Pagrindinės matematinės išraiškos, analizuojant pėsčiojo ir transporto priemonės sudidūrimą, žinant pėsčiojo nubloškimo atstumą yra:

$$v = \frac{\sqrt{2\mu g s_p}}{\cos \theta + \sin \theta}. \quad (28)$$

Šioje formulėje skaičiuojant pėsčiojo greitį yra imamas bendras nubloškimo atstumas s_p . Pėsčiasis nubloškiamas kampu θ . Šis autorius taip pat nustato kraštines greičių reikšmes, kurios išreiškiamos formulėmis (Searle, 1983):

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{2\mu g s_p}{1 + \mu^2}}; \quad (29)$$

$$v_{\max} = \sqrt{2\mu g s_p}; \quad (30)$$

čia: v_{min} – mažiausia transporto priemonės judėjimo greičio reikšmė, km/h;

v_{max} – didžiausia transporto priemonės judėjimo greičio reikšmė, km/h.

Priėmus prielaidą, kad pėsčiojo judėjimo greitis skrydžio fazėje yra lygiai toks pats kaip pėsčiojo pirmo kontakto su kelio dangos paviršiumi greičiu (slydimo fazės pradžioje). Jis teigia, kad ši greičio apskaičiavimo formulė gali būti naudojama tik dėžės formos transporto priemonių ir pėsčiųjų susidūrimams analizuoti (sunkiasvorės transporto priemonės ar autobusai). Tada susidūrimo metu, nubloškimo kampas $\theta = 0$ (Collins, 1979). Pėsčiojo nubloškimą apibūdinanti formulė yra:

$$v = \sqrt{\frac{g}{2h}} \left(2h \sqrt{\mu^2 + \frac{\mu s_p}{h}} - 2h \right). \quad (31)$$

Įvertinus transporto priemonės ir pėsčiojo mases, nubloškimo atstumui apibūdinti pateikiama tokia formulė (Wood, 1988):

$$v = \sqrt{\frac{2\mu g(d - \mu h)(m_a + m_p)^2}{m_a^2}}; \quad (32)$$

čia: m_a – transporto priemonės masė, kg;

m_p – pėsčiojo masė, kg.

Pėsčiojo judėjimo analizei po susidūrimo su transporto priemone yra siūloma naudoti dviejų dimensijų modelį, kuris nusako ryšį tarp transporto priemonės judėjimo greičio ir pėsčiojo nubloškimo atstumo (Wood 1988). Pėsčiojo judėjimo greitis po susidūrimo su transporto priemone suskirstomas į dvi dalis: vertikalų ir horizontalų judėjimą. Šis autorius taip pat išskiria į dvi dalis pėsčiojo partrenkimo kontakto fazes: pirminę – apimančią pėsčiojo kojų, klubų ir apatinės kūno dalies atsitrenkimą į transporto priemonės priekinę dalį, antrinę – pėsčiojo galvos, krūtinės ar peties atsitrenkimas į transporto variklio gaubtą ar priekinį stiklą. Autorius apibūdina pėsčiojo prieš susidūrimą horizontalų, vertikalų ir kampinį pasisukimo greičius ir transporto priemonės prieš susidūrimą greitį. Įvertinus tai, kad autorius išskiria kontaktą į pirminį ir antrinį, pirminio kontakto metu, transporto priemonės ir pėsčiojo greičiai apskaičiuojami:

$$v_{1pH} = \frac{m_a k^2 v_a}{k^2 (m_a + m_p) + m_a h^2}; \quad (33)$$

$$v_{1pV} = \frac{h v_{1pH}}{k^2}; \quad (34)$$

$$\omega_1 = \frac{h v_{1pH}}{k^2}; \quad (35)$$

$$v_{1a} = \frac{m_a (k^2 + h^2) v_{a_{\text{prieš}}}}{k^2 (m_a + m_p) + m_a h^2}; \quad (36)$$

Antrinio susidūrimo metu pėsčiojo ir transporto priemonės greičiai aprašomi formulėmis:

$$v_{2pH} = \frac{m_a}{m_a + m_p} \left[\frac{(h^2 + k^2)}{h t_{1-2}} - \mu_a g t_{1-2} - v_{2pV} \frac{\cos(\theta - \pi/2)}{\sin \theta} \right] + \frac{m_p}{m_a + m_p} \left[\frac{k^2 \theta}{h t_{1-2}} \right]; \quad (37)$$

$$v_{2pV} = l \omega_2 \sin \theta; \quad (38)$$

$$\omega_2 = \frac{\frac{k^2 \theta / t_{1-2}}{m_a + m_p} + (m_a l \cos(\theta - \pi/2) (h \theta / (t_{1-2} - \mu_a g t_{1-2}))) + l \sin \theta \frac{b \theta}{t_{1-2} - g t_{1-2}}}{k^2 + l^2 ((\sin^2 \theta + m_a \cos^2 \theta) / (m_a + m_p))}; \quad (39)$$

$$v_{2a} = v_{2pH} + l \omega_2 \cos(\theta - \pi/2). \quad (40)$$

Pėsčiojo nubloškimo atstumui apskaičiuoti, kai susidūrimo metu kontakto fazė susideda iš dviejų (pirminio ir antrinio) kontaktų, taikoma formulė:

$$s_p = \frac{v_{2pH}^2 ((1 + \mu_p v_{2pV}) / v_{2pH})^2}{2 \mu_p g} + \frac{k^2 \theta}{h} + \mu(y + \Delta y_{1-2}). \quad (41)$$

Pėsčiojo nubloškimo atstumui apskaičiuoti, kai susidūrimo metu yra tik pirminio susidūrimo kontakto fazė, taikoma formulė:

$$s_p = \frac{m_a^2 v_{a_{prieg}}}{2\mu_p g(m_a + m_p)^2} + \mu_p y; \quad (42)$$

čia: s_p – pėsčiojo nubloškimo atstumas, m;

v_{1pH}, v_{1ps_p} – pirminio kontakto metu pėsčiojo horizontalus ir vertikalus greičiai, m/s;

v_{2pH}, v_{2pH} – antrinio kontakto metu pėsčiojo horizontalus ir vertikalus greičiai, m/s;

v_{1a} – transporto priemonės greitis po susidūrimo, pirminio kontakto metu, m/s;

v_{2a} – transporto priemonės greitis po susidūrimo, antrinio kontakto metu, m/s;

$v_{a_{prieš}}$ – transporto priemonės greitis prieš susidūrimą, m/s;

ω_1, ω_2 – pėsčiojo kūno kampinio pasisukimo apie savo ašį greitis, rad/s;

m_a, m_p – transporto priemonės ir pėsčiojo masės, m;

b – horizontalus atstumas, nuo transporto priemonės kraštinės iki pėsčiojo masės centro, m;

h – vertikalus atstumas, nuo transporto priemonės kraštinės iki pėsčiojo masės centro, m;

k – pėsčiojo kūno kampinis pasisukimas apie savo vertikalią ašį;

l – pėsčiojo vertikalus aukščio ir jo masės centro skirtumas, m;

t_{1-2} – laikas tarp pirminio ir antrinio kontakto, s;

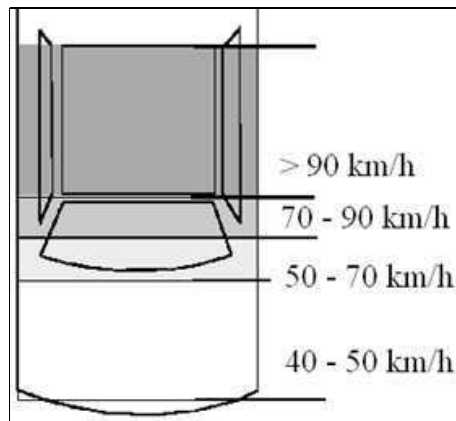
μ_p, μ_a – pėsčiojo, transporto priemonės trinties su kelio paviršiumi koeficientai;

y – pėsčiojo masės centro aukštis, kai pėsčiasis po susidūrimo yra galutinėje padėtyje, m;

Δy_{1-2} – masės centro aukščio pokytis pirminio ir antrinio kontakto metu, m.

4.3. Transporto priemonės greičio nustatymas pagal padarytus sugadinimus

Tam tikrais atvejais apie transporto priemonių važiavimo prieš pat eismo įvykį greitį galima orientaciniai spręsti iš transporto priemonei padarytų sugadinimų. Dažniausiai tokiais būdais negalima nustatyti tikslaus transporto priemonės važiavimo greičio, o tik spręsti orientaciniai. Greitis nustatomas pagal pėsčiojo galvos kontakto su įvairiomis automobilio variklio gaubto, priekinio stiklo ir stogo dalimis vietą:



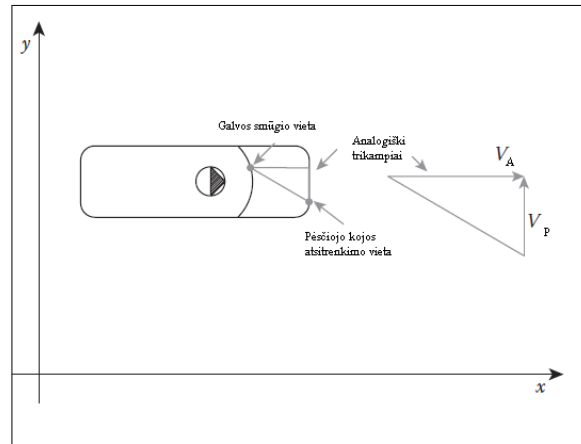
16 pav. Pėsčiojo atsitrenkimo į transporto priemonę vieta, priklausomai nuo jos judėjimo greičio (Martinez, 1995)

Matyti, kad esant iki 50 km/h automobilio judėjimo greičiui, pėsčiasis galva atsitrenkia į variklio gaubtą ir nepasiekia priekinio stiklo. Esant apie 50–70 km/h automobilio judėjimo greičiui, pėsčiasis juda automobilio variklio gaubtu, pasiekia priekinio lango stiklą ir gali į jį atsitrenkti. Paprastai į tai, kad pėsčiojo galva buvo atsitrenkta į transporto priekinį stiklą, rodo atitinkamai suskilęs priekinis stiklas su tam tikru epicentru. Esant transporto priemonės judėjimo greičiui apie 90 km/h ir daugiau, pėsčiasis užmetamas ant automobilio stogo ir juo juda, po to nukrenta ant kelio važiuojamosios dalies. Tokiu atveju būna sulenкта ar kitaip apgadinta ir automobilio stogo priekinė linija.

Tačiau pagal transporto priemonei padarytus sugadinimus galima tik orientaciniai spręsti apie transporto priemonės važiavimo greitį prieš pat eismo įvykį, kai transporto priemonė priekine dalimi partrenkia pėsčią, o pėsčiojo kūnas susidūrimo metu yra transporto priemonės profilio ribose.

Pažymėtina, kad šiuolaikinių transporto priemonių priekinės dalies elementų didesnis užapvalinimas, gerinant automobilio aerodinamines savybes, mažesnis jo priekio elementų aukštis gali palengvinti pėsčiojo užmetimą ant variklio gaubto ir toliau ant stogo ir esant kiek mažesniau automobilio važiavimo greičiui.

Kartais apie automobilio važiavimo greitį pėsčiojo partrenkimo atveju galima spręsti ir iš pėsčiojo kūno sužalojimų. Jeigu įvyksta trauminė pėsčiojo galūnių amputacijai, tai automobilio važiavimo greitis pėsčiojo partrenkimo metu turėjo būti virš 80–90 km/h.



17 pav. Pėsčiojo ir transporto priemonės judėjimo kryptis (Franck *et al.* 2009)

Pagal transporto priemonei padarytų sugadinimų pobūdį, žinant transporto priemonės judėjimo greitį v_a , atstumą išilgai transporto priemonės judėjimo krypties Δx , atstumas išilgai pėsčiojo judėjimo krypties Δy , galima teoriškai apskaičiuoti pėsčiojo judėjimo iki susidūrimo greitį, pagal formulę (Franck *et al.* 2009):

$$v_p = v_a \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (42)$$

Ryšiui tarp pėsčiojo ir transporto priemonės judėjimo greičių nusakymui pateikta formulė grindžiama tuo, kad pėsčiojo pirminio (smūgis į pėsčiojo kojas) ir antrinio kontakto metu (galvos smūgis į viršutinę transporto priemonės dalį) ant transporto priemonės yra padaromi atitinkami sugadinimai, o pėsčiasis po smūgio nubloškiamas priešais transporto priemonę.

Sprendžiant apie pėsčiojo judėjimo greitį, būtina pažymėti, kad nevisada galima tikėti gautais rezultatais, nes pėsčiojo judėjimo greitis yra ribotas (suaugusiojo bėgimo tempas yra apie 12 km/h), todėl reikia racionaliai įvertinti, ar apskaičiuotas pėsčiojo judėjimo greitis atitinka jo fizines savybes. Reikia įvertinti ir tai, kad pėsčiasis susidūrimo metu galėjo stovėti ($v_{p0} = 0$).

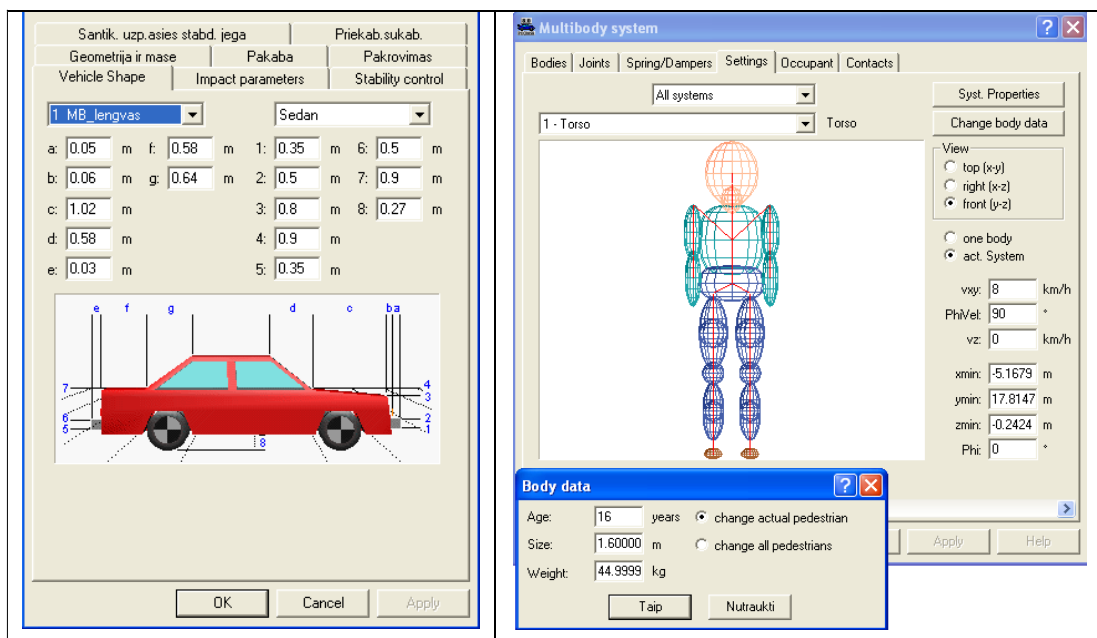
5. TIRIAMOJI DALIS

5.1. Kompiuterinio modeliavimo (tyrimo) eiga

Tyrimo tikslas – nustatyti pėsčiojo nubloškimo atstumą, išanalizuoti pėsčiojo partrenkimo mechanizmą ir kitus dydžius esant fiksuotam automobilio važiavimo greičiui. Modeliavimo metu gauti duomenys bus reikalingi nustatyti pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybę nuo transporto priemonės judėjimo greičio. Šiais rezultatais bus galima remtis prognozuojant transporto priemonės judėjimo greitį pėsčiojo partrenkimo metu.

Kompiuterio programa *PC.Crash* skirta eismo įvykio eigai modeliuoti. Ši programa taikoma nuo 1993 metų, jos licencijos nuolat atnaujinamos. *PC.Crash* programa turi didelį transporto priemonių duomenų banką, galimybę įvertinti energiją, prarastą automobilių deformacijoms, modeliuoti visą eismo įvykio eigą, t. y. transporto priemonių judėjimą iki susidūrimo, susidūrimo metu ir po susidūrimo iki sustojant. Modeliavimo eiga matoma monitoriaus ekrane, o rezultatai parodomi grafiškai ir skaitmenine išraiška.

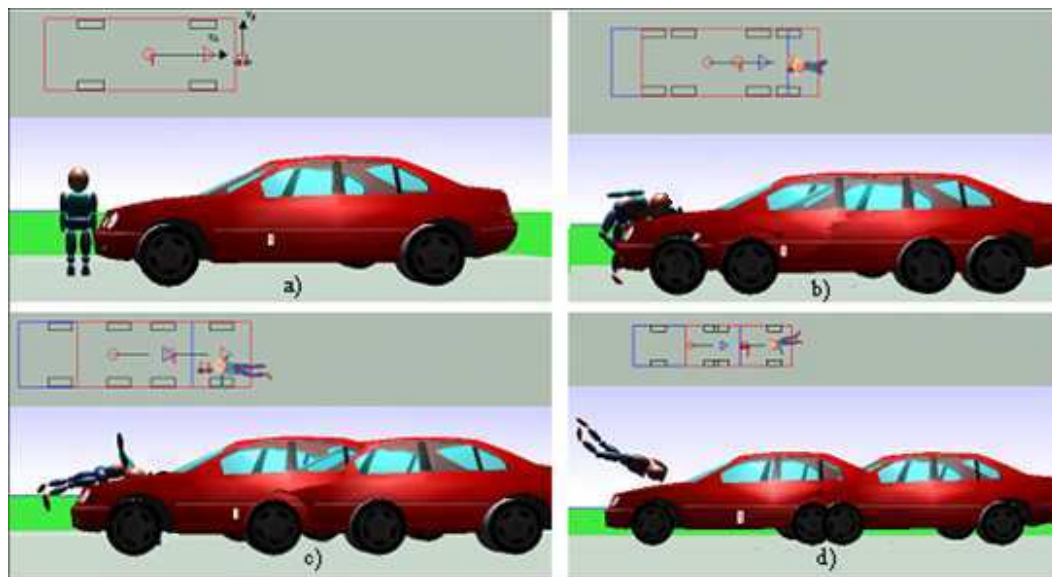
Eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimui modeliuoti pasirinktos transporto priemonės techniniai duomenys pateikti 18 paveiksle:



18 pav. Pėsčiojo ir lengvojo automobilio techniniai duomenys

Pradinės sąlygos. Tyrinėjamas pėsčiojo partrenkimas transporto priemonei judant tiesiu kelio

ruožu, be nuolydžio. Kelio danga – sausas asfaltas, sukibimo koeficientas $\mu_a = 0,8$. Oro pasipriešinimo nėra. Pėsčiojo slydimo kelio dangos paviršiumi trinties koeficientas, $\mu_p = 0,6$. Pėsčiasis sudaro kliūtį transporto priemonei, judėdamas skersai transporto priemonės judėjimo kryptiai (judėjimo kampas transporto priemonės judėjimo atžvilgiu 90°). Transporto priemonė kliudo pėsčiąjį priekine dalimi, kai susidūrimas yra ties transporto priemonės priekinės dalies viduriu. Pėsčiasis partrenkiamas transporto priemonės tik kartą, antrinio kontakto po smūgio nėra. Pėsčiasis po susidūrimo guli nublokštas ant kelio dangos priešais transporto priemonę. Techninės galimybės išvengti eismo įvykio kilimo transporto priemonės vairuotojas neturi. Pėsčiojo ir transporto priemonės susidūrimas pavaizduotas toliau esančiame 19 paveiksle. Pėsčiojo ir transporto priemonės susidūrimas priskiriamas pilnam priekiniam susidūrimui, kai transporto priemonė intensyviai stabdo.



19 pav. Pėsčiojo ir transporto priemonės susidūrimo konfigūracijos

Eismo įvykio imitacijai pasirenkamas lengvasis automobilis *Mercedes-Benz* ($m_a = 1720$ kg), kuris judės keturiais skirtingais greičiais, t. y.: 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h, 90 km/h. Juda stabdymo režimu, stabdymo lėtėjimo pagreitis $7,2 \text{ m/s}^2$. Nagrinėjami skirtingų masių ir judėjimo greičių pėsčiojo nubloškimo atvejai, esant skirtingam transporto priemonių judėjimo greičiui. Transporto priemonės masė, modeliuojant atskirus atvejus, nekinta.

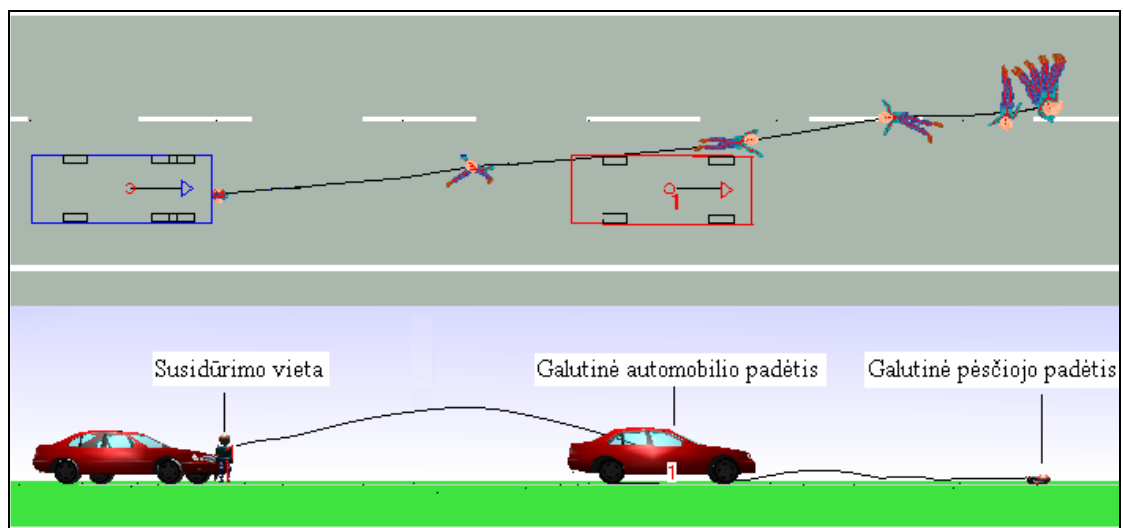
Tiriant pėsčiojo nubloškimo atvejus, pasirenkama trijų skirtingų amžiaus grupių pėstieji:

- pėsčiasis vaikas, kurio masė 20 kg, ūgis 1,20 m;
- paauglys, kurio masė 45 kg, ūgis 1,60 m;
- suaugęs žmogus, kurio masė 80 kg, ūgis 1,85 m.

Modeliuojant eismo įvykį – pėsčiojo nubloškimą įvertinamas ir pėsčiojo judėjimo greitis:

- lėtas ėjimas, 6 km/h;
- greitas ėjimas, 8 km/h;
- bėgimas, 10 km/h.

Eiga. Pėsčiojo partrenkimo kompiuterinis modeliavimas pradedamas pasirenkant pastovų transporto priemonės judėjimo greitį, tačiau keičiama pėsčiojo masė bei pasirenkamas skirtingas pėsčiojo judėjimo greitis. Tarkim, pirmu atveju, modeliujant eismo įvykį transporto priemonės judėjimo greitis yra pastovus, $v_A = 30$ km/h, pėsčiojo masė parenkama $m_p = 20$ kg, pasirenkamas pėsčiojo judėjimo tempas. Užfiksuojamas pėsčiojo nubloškimo atstumas esant pasirinktiems parametrams. Tada pakeičiamas pėsčiojo tempas ir duomenys fiksuojami vėl. Antra, esant tam pačiam transporto priemonės judėjimo greičiui $v_A = 30$ km/h, pakeičiama pėsčiojo masė į $m_p = 44$ kg, analogiškai pakeičiamas pėsčiojo judėjimo greitis (6 km/h, 8 km/h, 10 km/h) ir užfiksuojami modeliavimo rezultatai. Tolesnė modeliavimo eiga analogiška, parenkamas didesnis transporto priemonės judėjimo greitis, kuris nekinta, kinta tik pėsčiojo judėjimo masė ir pėsčiojo judėjimo greičiai. Iš viso sumodeliuoti trisdešimt šeši skirtingi pėsčiojo partrenkimo atvejai. Modeliavimo metu užfiksuotas pėsčiojo nubloškimo atstumas esant atitinkamiems greičiams. Pėsčiojo modeliavimo eiga ir galutinės padėties matomi *PC.Crash* programos ekrane ir skaitinė išraiška. Modeliavimo grafinis vaizdas pateikiamas toliau esančiame paveiksle, o modeliavimo parametrai pateikiami modeliavimo protokole.



20 pav. Pėsčiojo partrenkimo modeliavimas programa *PC.Crash 8.0*

Viršuje pateiktas vaizdas plokštumoje (20 pav.), kuriame matomas pėsčiojo persislinkimas po

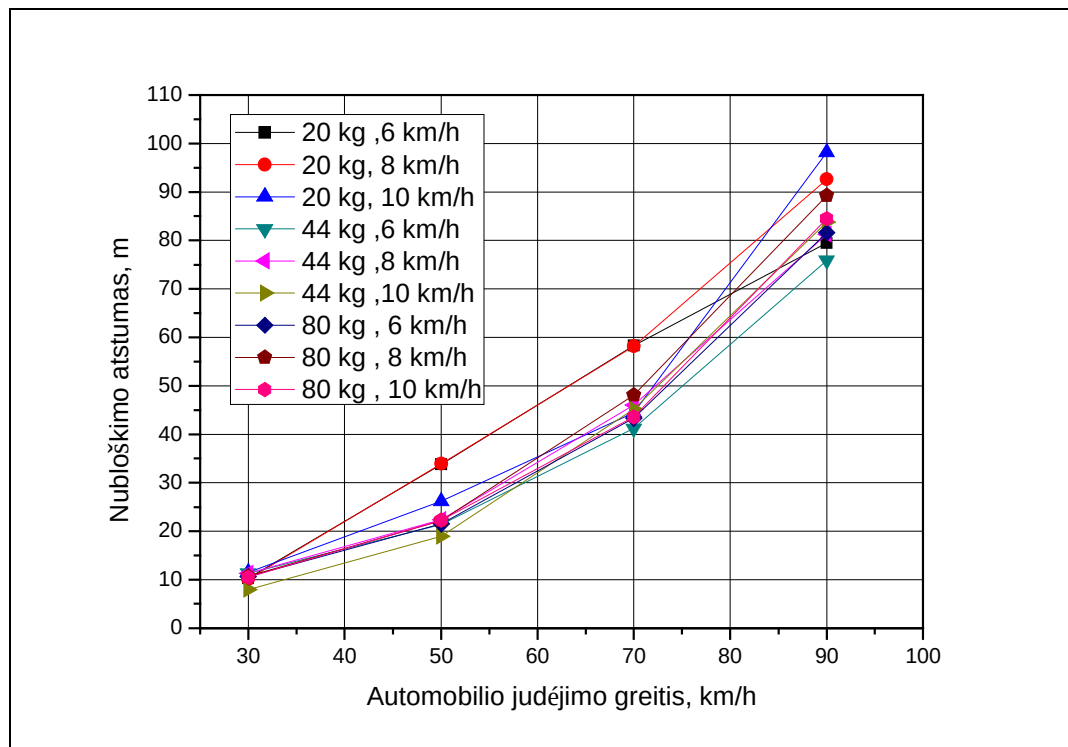
partrenkimo išilgine ir skersine judėjimo kryptimis. Toliau esančiame vaizde matoma pėsčiojo svorio centro judėjimo trajektorija, kurią sudaro pėsčiojo judėjimo ore fazė ir slydimo kelio dangos paviršiumi fazė. Kadangi sudėtinga tiksliai nustatyti kada baigiasi sklendimo ore fazė ir kada prasideda pėsčiojo slydimo kelio paviršiumi fazė, tiriant eismo įvykius naudojamas bendras pėsčiojo nubloškimo atstumas. Šiame paveiksle taip pat nurodytos galutinės padėtys po susidūrimo.

Modeliavimo duomenų protokolas:

Automobilis:	„Mercedes-Benz“
Pradinis greitis :	50,00 km/h
Galutinis greitis :	0,00 km/h
Nuvažiutas kelias :	6,49 m
Laiko skirtumas:	5 s
IVEDAMI DUOMENYS	
Automobilis:	MB_lengvasis
Ilgis [m] :	4,82
Plotis [m] :	1,82
Aukštis [m] :	1,45
Ašių skaičius :	2,00
Bazė [m] :	2,85
Priekinė iškyša [m] :	0,82
Priekinių ratų vėžė [m] :	1,56
Užpakalinių ratų vėžė [m] :	1,56
Nuosava masė [kg] :	1720,00
Atst. nuo pr. ašies iki sv. c. [m] :	1,37
Inercijos momentas (x) [kgm ²] :	899,50
Inercijos momentas (y) [kgm ²] :	2998,30
Inercijos momentas (z) [kgm ²] :	2998,30
Lankstumas k. rato 1-os ašies [N/m] :	29207,41
Lankstumas d. rato 1-os ašies [N/m] :	29207,41
Lankstumas k. rato 2-os ašies [N/m] :	27036,59
Lankstumas d. rato 2-os ašies [N/m] :	27036,59
Slopinimas k. rato 1-os ašies [Ns/m] :	3285,83
Slopinimas d. rato 1-os ašies [Ns/m] :	3285,83
Slopinimas k. rato 2-os ašies [Ns/m] :	3041,62
Slopinimas d. rato 2-os ašies [Ns/m] :	3041,62
Maks. skersidės kam. k. rato 1-as. [°] :	10,00
Maks. skersidės kam. d. rato 1-as. [°] :	10,00
Maks. skersidės kam. k. rato 2-as. [°] :	10,00
Maks. skersidės kam. d. rato 2-as. [°] :	10,00
Vidutinis stabdymo lėtėjimas [m/s ²]:	-7,00
ABS	NE
PĖSČIOJO PARAMETRAI	
Nuosava masė [kg] :	80
Ilgis [m] :	0,46
Plotis [m] :	0,56
Aukštis [m] :	1,85
Greitis (v) [km/h] :	6,0
Greičio kryptis (ni) [°] :	90,0
Pasisukimo kampas [°] :	90,0

5.2. Kompiuterinio modeliavimo (tyrimo) rezultatai

Atlikus kompiuterinį pėsčiojo partrenkimo modeliavimą, pateikiami pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumo priklausomybės nuo transporto priemonės judėjimo greičio grafikai (21 pav.):

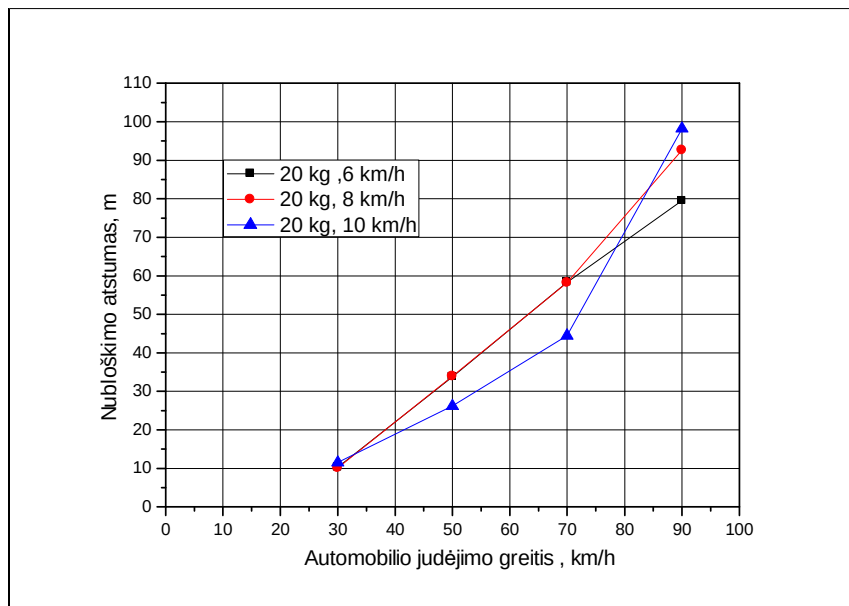


21 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio

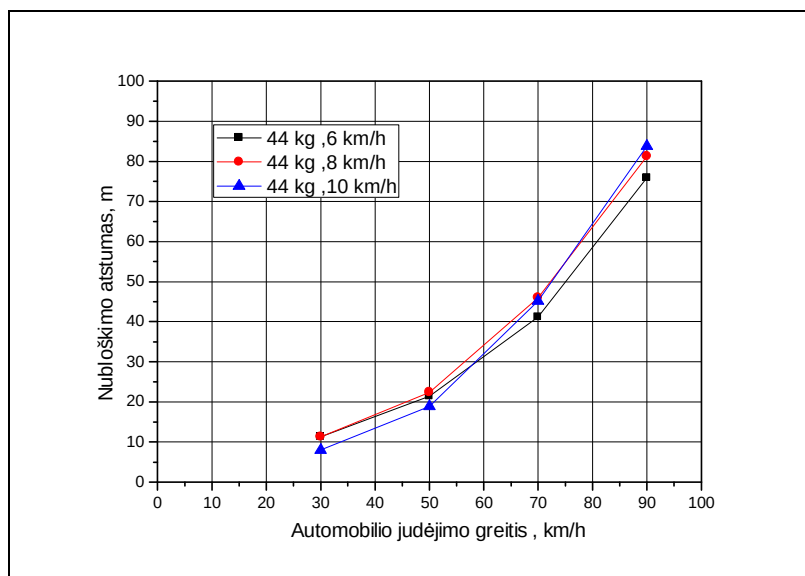
Iš grafiko matyti, kad didėjant transporto priemonės judėjimo greičiui proporcingai didėja ir išilginis nubloškimo atstumas. Nustatyta, jog transporto priemonės judėjimo greičiui padidėjus nuo 30 km/h iki 50 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumas padidėja 50 %. Kai transporto priemonės greitis padidėja nuo 50 km/h iki 70 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumo skirtumas pakinta 80 %. Pakitus transporto judėjimo greičiui nuo 70 km/h iki 90 km/h, išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas padidėja 100 %. Iš gautų modeliavimo rezultatų galima teigti, jog kuo didesnis transporto priemonės judėjimo greitis, tuo intensyviau didėja pėsčiojo nubloškimo atstumas.

Iš gautų modeliavimo rezultatų galima spręsti, kad esant mažam (apie 30 km/h) transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė beveik neturi įtakos jo išilginio nubloškimo atstumui. Tai galima paaiškinti tuo, kad esant tokiam nedideliame transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiasis paprastai neužmetamas ant transporto priemonės variklio dangčio, nėra pavežamas, o tiesiog

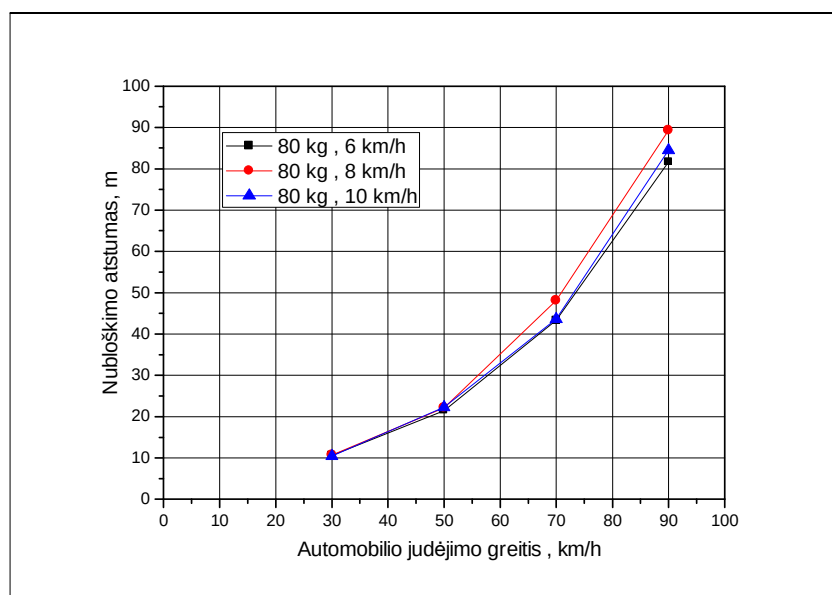
pastumiamas transporto priemonės išilgine judėjimo kryptimi. Esant didesniai transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė turi didesnę įtaką jo išilginio nubloškimo atstumui.



22 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybės nuo automobilio greičio, kai pėsčiojo masė 20 kg



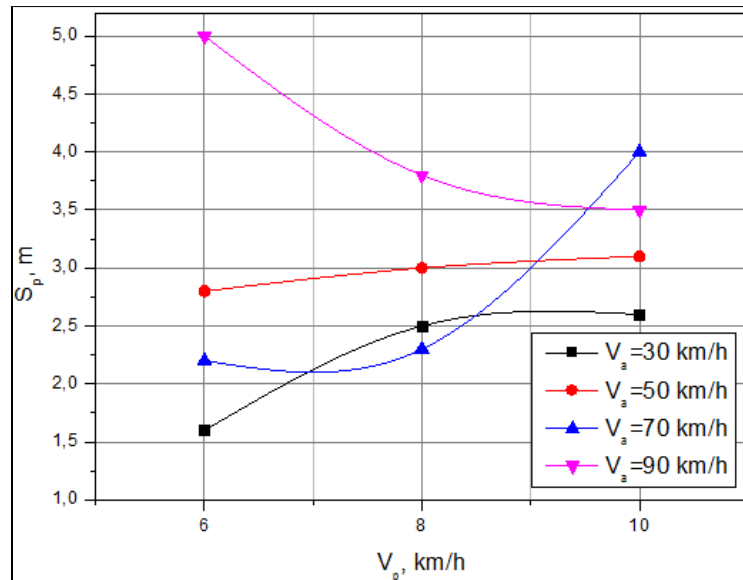
23 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybės nuo automobilio greičio, kai pėsčiojo masė 44 kg



24 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybė nuo automobilio greičio, kai pėsčiojo masė 80 kg

Iš pateiktų modeliavimo rezultatų (21–24 pav.) matoma, kad eismo įvykio metu, kai yra partrenkiamas pėsčiasis, išilginis nubloškimo atstumas priklausomai nuo masės ir pėsčiojo judėjimo greičio, esant maksimaliams mieste leistinam greičiui yra 23–35 m. Pastebima, kad vaiko partrenkimo atveju (22 pav.) nubloškimo atstumas kinta 25–35 m ribose, o partrenkiant paauglį ar suaugusįjį, pėsčiojo nubloškimo atstumas yra apie 23 m. Tai galima paaiškinti tuo, kad vaiko partrenkimo atveju, nubloškimo atstumas gali kisti ribose priklausomai nuo jo judėjimo greičio, o paauglio ir suaugusiojo atveju pėsčiojo judėjimo greitis mažai lemia nubloškimo atstumą. Pėsčiojo nubloškimo atstumas tiesiogiai priklauso nuo transporto priemonės judėjimo greičio. Pėsčiojo judėjimo greitis iki susidūrimo tik nežymiai įtakoja nubloškimo atstumą. Tačiau pėsčiojo judėjimo tempas prieš pat eismo įvykį yra svarbus tuo atveju, kai yra skaičiuojama transporto priemonės vairuotojo techninė galimybė išvengti susidūrimo. Būtina pažymėti, kad pagal kompiuterinio modeliavimo rezultatus nustatytos transporto priemonės judėjimo greičio reikšmės gali kisti, nes esant įvairioms oro sąlygoms pėsčiojo nubloškimo atstumas gali skirtis (skirsis trinties koeficiento reikšmės). Be to, šias reikšmes galima naudoti tik lengvojo automobilio ir pėsčiojo susidūrimo atveju, kai transporto priemonė kliudė pėsčiąjį priekine dalimi, o pėsčiasis judėjo skersai transporto priemonės judėjimo kryptiai. Tačiau, kai įvyko eismo įvykis esant modeliavimo metu nustatytomis sąlygomis, pagal pateiktus nubloškimo atstumo rezultatus preliminarai galima spręsti apie transporto priemonės judėjimo greičius eismo įvykio vietoje, taip sutrumpėtų procesinės eismo įvykio nagrinėjimo laiko sąnaudos ir būtų pagerinti ekonominiai eismo įvykio nagrinėjimo rodikliai, t. y. sumažintos sąnaudos.

Iš gautų kompiuterinio modeliavimo rezultatų nubraižomi pėsčiojo skersinio nubloškimo atstumo priklausomybės nuo pėsčiojo judėjimo greičio grafikai (25–27 pav.).

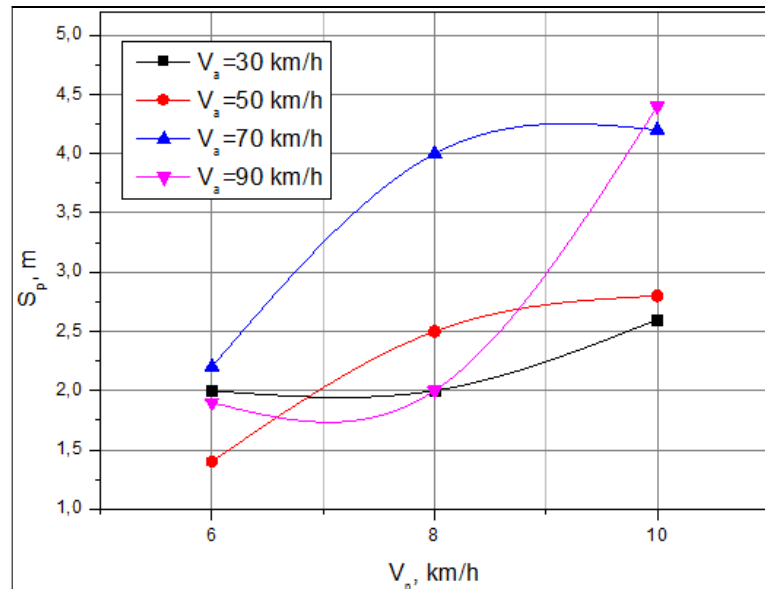


25 pav. Skersinio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo pėsčiojo greičio, kai pėsčiojo masė 20 kg

Kai pėsčiasis vaikas (masė 20 kg) skersinis nubloškimo atstumas, kai transporto priemonės greitis yra 30 km/h, proporcingai didėja didėjant pėsčiojo judėjimo greičiui ir 1,6–2,6 m ribose. Iš 25 paveikslo matyti, kad esant didesniai nei 50 km/h transporto priemonės greičiui, pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas priklauso nuo pėsčiojo judėjimo greičio pasiskirsto pagal skirtingą dėsnį. Tai galima paaiškinti tuo, kad kai pėsčiasis yra vaikas, jis partrenkimo metu nėra užmetamas ant transporto priemonės priekinio variklio gaubto, o iš karto nubloškiamas ant važiuojamosios kelio dangos, todėl skersinis nubloškimo atstumas, esant skirtingam pėsčiojo judėjimo greičiui, skiriasi. Taigi, galima teigti, kad kai partrenktas vaikas, spręsti apie jo judėjimo tempą iki eismo įvykio galima, tik kai susidūrimo metu transporto priemonės judėjimo greitis buvo ne didesnis, nei 50 km/h.

Iš 26 paveikslo matyti, kad transporto priemonei judant 30 km/h greičiu, pėsčiojo (paauglio partrenkimo atveju) skersinis nubloškimo atstumas kinta 2,0–2,6 m ribose. Kai transporto priemonės judėjimo greitis yra 50 ir 70 km/h, pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas didėjant pėsčiojo judėjimo greičiui didėja. Kaip transporto priemonė juda 90 km/h greičiu, pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas kinta 1,9–4,4 m ribose. Iš gautų modeliavimo rezultatų matyti, kad esant skirtingiems transporto priemonės judėjimo greičiams, pėsčiojo skersinio nubloškimo atstumas pasiskirsto skirtingai. Esant lėtam pėsčiojo judėjimo tempui (6 km/h), pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas kinta 1,4–2,2 m ribose. Kai pėsčiojo judėjimo greitis 8 km/h, tai skersinis nubloškimo atstumas esant skirtingiems

transporto priemonės judėjimo greičiams kinta 2,0–4,0 m ribose. Kai pėsčiojo judėjimo greitis yra 10 km/h, skersinis nubloškimo atstumas, esant skirtingiems transporto priemonės greičiams, kinta 2,6–4,4 m ribose.

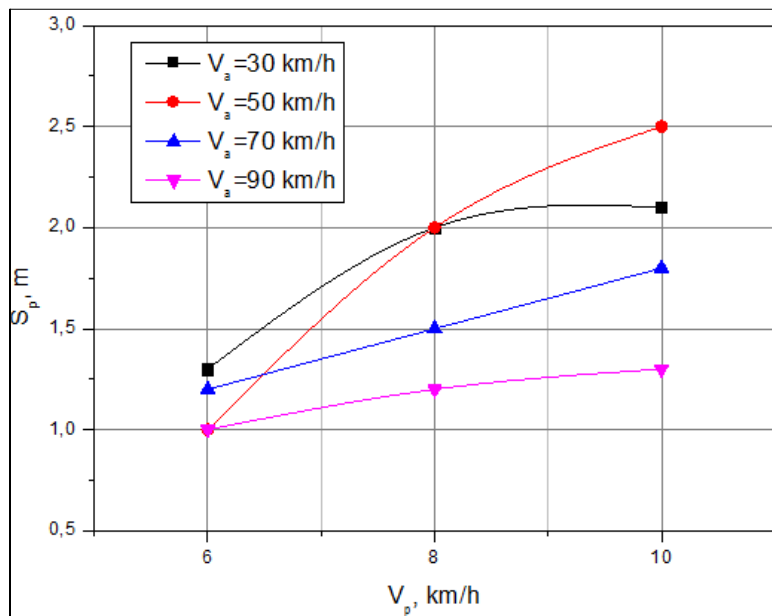


26 pav. Skersinio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo pėsčiojo greičio, kai pėsčiojo masė 44 kg

Taigi, esant skirtingiems transporto priemonės judėjimo greičiams, pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas kinta priklausomai nuo pėsčiojo judėjimo tempo – pėsčiajam judant lėtai (6 km/h) skersinis nubloškimo atstumas kinta 1,4–2,2 m, o pėsčiajam judant 10 km/h greičiu, skersinis nubloškimo atstumas yra maždaug du kartus didesnis.

Iš 25 ir 26 paveikslų matyti, kad pėsčiojo partrenkimo atveju, kai pėsčiasis vaikas ir paauglys, pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas pasiskirsto įvairiai, kintant pėsčiojo judėjimo greičiui. Tai galima paaiškinti tuo, kad kai pėsčiojo masė maža ir žemai jo masės centras, pėsčiasis nėra užmetamas ant transporto priemonės variklio gaubto ir pavežamas, todėl skersinis nubloškimo atstumas esant skirtingiems transporto priemonės greičiams pasiskirsto pagal skirtingą dėsnį. Pagal skersinio nubloškimo atstumą, apie pėsčiojo judėjimo greitį prieš pat eismo įvykio kilimą galima spręsti, ir kai pėsčiasis yra suagęs žmogus (27 pav.). Iš 27 paveikslo matyti, kad kai transporto priemonės judėjimo greitis yra 30 km/h ir 50 km/h, pėsčiojo skersinis nubloškimo atstumas esant skirtingam pėsčiojo judėjimo tempui didesnis už skersinį nubloškimo atstumą, kai transporto priemonės judėjimo greitis yra daugiau nei 70 km/h. Tai galima paaiškinti tuo, kad pėsčiasis yra užmetamas ant transporto priemonės variklio gaublo, pavežamas transporto priemonės ir tik tada nubloškiamas ant kelio dangos. Tokiu atveju esant didesniai transporto priemonės judėjimo greičiui suaugusio žmogaus

partrenkimo atveju skersinis nubloškimo atstumas bus mažesnis, bet išilginis nubloškimo atstumas bus didesnis.



27 pav. Skersinio nubloškimo atstumo priklausomybė nuo pėsčiojo greičio, kai pėsčiojo masė 80 kg

Būtina pažymėti, kad apie pėsčiojo judėjimo greitį prieš eismo įvykį galima spręsti iš pateiktų grafikų tik tuo atveju, kai pėsčiasis partrenkiamas priekine transporto priemonės dalimi ir pėsčiasis yra pilnai transporto priemonės profilio ribose.

IŠVADOS

Atlikus eismo įvykio – pėsčiojo partrenkimo tyrimą, formuluojamos šios išvados:

1. Atlikus kompiuterinį pėsčiojo partrenkimo modeliavimą, nustatyta, kad išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas tiesiogiai priklauso nuo transporto priemonės judėjimo greičio: padidėjus greičiui nuo 30 km/h iki 50 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumas padidėja 50 %; greičiui padidėjus nuo 50 km/h iki 70 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumo skirtumas pakinta 80 %, o padidėjus nuo 70 km/h iki 90 km/h, išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas padidėja 100 %. Iš gautų modeliavimo rezultatų, galima teigti, jog kuo didesnis transporto priemonės judėjimo greitis, tuo intensyviau didėja pėsčiojo nubloškimo atstumas.

2. Esant mažam (apie 30 km/h) transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė beveik neturi įtakos jo išilginio nubloškimo atstumui. Esant didesniam transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė turi didesnę įtaką jo išilginio nubloškimo atstumui.

3. Pėsčiojo judėjimo iki partrenkimo greitis nežymiai lemia jo išilginio nubloškimo atstumą, ypač esant nedideliame pėsčiojo judėjimo greičiui.

4. Atliktų tyrimų rezultatai gali būti naudingi analizuojant eismo įvykių aplinkybes pėsčiojo partrenkimo atvejus. Iš atlikto pėsčiojo partrenkimo eksperimento rezultatų matyti, kad nesant tikslių duomenų apie transporto priemonės judėjimo greitį pėsčiojo partrenkimo metu arba nesant tikslių duomenų, apibūdinančių pėsčiojo kūno ir paviršiaus, kuriuo jis slysta, trintį, tyrimo išvada turėtų būti formuluojama tikėtinoje formoje, nurodant galimas automobilio važiavimo greičio reikšmes esant mažiausiai ir didžiausiai kūno sukibimo su danga koeficiento reikšmei. Remiantis pėsčiojo modeliavimo rezultatais, galima nurodyti orientacinį transporto priemonės judėjimo greitį, tačiau išvada neturėtų būti kategoriška.

LITERATŪRA

1. Bromberg, S.; Oron-Gilad, T.; Borowsky, A.; Parmet, Y. 2010. The perception of pedestrians from the perspective of elderly experienced and experienced drivers, *Accident Analysis and Prevention* (2010): AAP-2350.
2. Fredriksson, R.; Rosen, E.; Kullgren, A., 2010. Priorities of pedestrian protection—A real-life study of severe injuries and car sources, *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010): 1672–1681.
3. Franck, H.; Franck, D., 2009. Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL. 169p. ISBN: 978-1-4200-8897-7.
4. Han, I.; Brach, R. 2001. Trow model for frontal pedestrian collision. *Society of automotive engineers*. 2001–01–0898.
5. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2012. [interaktyvus][žiūrėta 2012 m. kovo 25d.]. Prieiga per internetą < http://www.lra.lt/lt.php/eismo_saugumas/eismo_ivykiu_statistika/27>.
6. Lukoševičienė, O. 2001. Autoįvykių analizė ir modeliavimas, Vilnius: Technika, 244 p.
7. Martinez, L. 1995. Pedestrian accident reconstruction: review and update. *The traffic accident reconstruction origin article*. [interaktyvus][žiūrėta 2012 m. kovo 25d.]. Prieiga per internetą <<http://www.tarorigin.com/art/Lmartinez/Ped/>>.
8. Rosen, E.; Stigson, H.; Sander, U. 2010. Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed, *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 25–33.
9. Searle, J., 1993. The physics of throw distance in accident reconstruction, *SAE* 930659.
10. Stevenson, T. J., 2006. Simulation of vehicle–pedestrian interaction. Thesis of the degree of doctor at University of Canterbury. 25–48.
11. Teresinski, G.; Madro, R., 2001. Ankle joint injuries as a reconstructive factors in car to pedestrian accidents. *Forensics Science International* 118 (2001): 65–73.
12. Untaroiu, C. D.; Crandall, J. R.; Takahashi, Y.; Okamoto, M.; Ito, O.; Fredriksson, R. 2010. Analysis of running child pedestrians impacted by vehicle using rigid–body models and optimisation techniques, *Safety Science* 48 (2010): 259–267.
13. Untaroiu, C. D.; Meissner, M. U.; Crandall, J.R.; Takahashi, Y.; Okamoto, M.; Ito, O. 2009. Crash reconstruction of pedestrian accident using optimization techniques, *International journal of Impact Engineering* 36 (2009): 210–219.

14. Untaroiu, C. D.; Shin, J.; Crandall, J. R.; Fredricson, R.; Bostrom, O.; Takahashi, Y., Akiyama, A.; Okamoto, M.; Kikuchi, Y. 2009. Development and validation of pedestrian sedan bucks using finite-element simulation: a numerical investigation of influence of vehicle automatic braking on kinematics of the pedestrian involved in vehicle collisions, *International Journal of Crashworthiness* 15:5, 491–503.
15. Zou, T.; Zhi, Y.; Ming, C.; Jike, L., 2010. Analysis and application of relationship between post-braking–distance and throw distance in vehicle–pedestrian accident reconstruction. *Forensic Science International* 2010.
16. Zhao, H.; Yin, Z.; Chen, R.; Chen, H. Song, C.; Yang, G.; Wang, Z. 2009. Investigation of 184 passenger car–pedestrian accidents. *International journal of crashworthiness*. Vol. 15, 2010: 313–320.
17. Wood, D.P. 1988. Impact and movement of pedestrians in frontal collisions with vehicles, *proceedings of the institution of mechanical engineers*. 101–110.

PRIEDAI

EISMO ĮVYKIO – PĖSČIOJO PARTRENKIMO TYRIMAS

Diana Grikštaitė¹, Loreta Levulytė², Edgar Sokolovskij³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹d.grikstaite@gmail.com, ²l.loreta@gmail.com, ³edgar.sokolovskij@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas eismo įvykis, kai susiduria judanti transporto priemonė ir pėstysis. Aprašoma transporto priemonės judėjimo greičiui iki eismo įvykio apskaičiuoti taikoma metodika. Atliekamas kompiuterinis eismo įvykio-pėsčiojo partrenkimo modeliavimas. Palyginama pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio. Aprašoma pėsčiojo fizinių parametrų įtaka nubloškimo atstumui.

Reikšminiai žodžiai: pėsčiasis, eismo įvykis, eismo įvykio atkūrimas, susidūrimo greitis, nubloškimo atstumas.

Įvadas

Pagal Lietuvos automobilių kelių direkcijos pateikiamus statistinius duomenis per 2011 metus 34,54 % visų eismo įvykių sudaro transporto priemonių užvažiavimai ant pėsčiųjų. Net 66 % visų eismo įvykių įvyko dėl transporto priemonės vairuotojų kaltės ir tik 10 % atvejų kaltininkais pripažinti pėstieji. Iš visų eismo įvykiuose žuvusių eismo dalyvių, 37 % žuvusiųjų sudaro pėstieji.

Pėsčiųjų mirtingumo tikimybė tiesiogiai priklauso nuo transporto priemonės judėjimo greičio prieš susidūrimą (Rosen *et al.* 2010). Kuo greičiau juda transporto priemonė, tuo didesnė tikimybė būti mirtinai sužalotam.

Eismo įvykiai, kurių metu susiduria pėstieji ir transporto priemonės gali būti skirstomi į: užvažiavimus iš priekio; pilną priekinį susidūrimą – visas pėsčiojo kūnas yra prieš automobilį, jo profilio ribose ir susidūrus greitėja automobilio greičiu; dalinį priekinį susidūrimą – kai susidūrimo metu pėsčiojo kūnas, priešingai nei pilno susidūrimo metu, nėra pilnai automobilio profilio ribose; pilną susidūrimą stabdant; pilnas susidūrimas nestabdant; pėsčiasis, artėjantis prie automobilio – tai, kai iš šono prie automobilio artėjantis pėsčiasis susidūrimo metu užkliudomas arba automobilio priekiniu kraštu arba juda priešpriešiais šoninei automobilio daliai; pėsčiasis, einantis nuo automobilio – šios susidūrimo rūšies atveju pėsčiajam pavyksta beveik visai palikti pavojaus zoną; lygiagrečiai automobilio važiavimo kryptčiai einantis pėsčiasis; šoninis susidūrimas; pervažiavimas – kūnas pervažiuojamas bent vienu ratu. Toliau straipsnyje nagrinėjamas pilnas susidūrimas, kai transporto priemonė juda stabdant.

Pagrindinis tikslas, nagrinėjant eismo įvykius, į kuriuos patenka pėstieji, yra nustatyti transporto priemonės judėjimo greitį prieš pat eismo įvykį ir tiksliai eismo įvykio kilimo vietą.

Kaip ir bet kokio eismo įvykio atveju, tiriant pėsčiųjų partrenkimus, ekspertui labai svarbu tiksliai atkurti eismo įvykio eigą ir nustatyti techniniu požimiui pagrindinę sąlygą eismo įvykiui kilti, t. y. nustatyti pagrindines priežastis, kurios įtakojo eismo įvykio kilimą. Nustatyti

ar vairuotojas laiku stabdydamas ar manevruodamas, galėjo išvengti eismo įvykio kilimo.

Eismo įvykių atkūrimui, be įvairių matematinių modelių naudojamas kompiuterinis eismo įvykio modeliavimas. Šiame straipsnyje pateikiamas eismo įvykio pėsčiojo partrenkimo kompiuterinis modeliavimas ir analizuojama pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio.

Literatūros šaltinių apžvalga

Mokslinėse publikacijose plačiai nagrinėjama transporto sistemos elementų sąveika (Sivilevičius 2011), eismo įvykių tyrimo problematika (Prentkovskis *et al.* 2010). Tačiau dažniausiai nagrinėjamos automobilių stabdymo, skersinio slydimo savybės, ratų sukibimas su kelio danga (Sokolovskij 2007; Sokolovskij and Pečeliūnas 2007). Kartais nagrinėjamos automobilio važiavimo prieš eismo įvykį greičio nustatymo metodikos, siūlomi jų patobulinimai konkreitiems atvejams (Sokolovskij *et al.* 2007), taip pat įvairių faktorių įtaka eismo įvykių kilimui (Kinderytė-Poškienė and Sokolovskij 2008).

Eismo įvykių analizei dažniausiai pasitelkiami įvairūs matematiniai modeliai, norint apskaičiuoti transporto priemonės judėjimo greitį iki susidūrimo, galimus faktorius įtakančius eismo įvykio kilimui ir jų nustatymo metodiką (Franck H. and Franck D. 2009).

Straipsnyje (Jun *et al.* 2009; Fredrikson *et al.* 2010; Yao *et al.* 2007) analizuojamas ryšys pėsčiojo partrenkimo metu tarp transporto priemonės judėjimo greičio ir transporto priekiniui stiklui padarytų sugadinimų. Tačiau prieš naudojant aprašytą metodą, reikia įsitikinti, kad padaryti defektai priekiniam stiklui yra pėsčiojo galvos ir stiklo kontakto metu, o ne kitos kūno dalies. Įsitikinama vizualiai apžiūrėjus transporto priemonę po sugadinimo ir pėsčiojo kūnui padarytus sužalojimus.

Kartais orientaciniai galima spręsti apie transporto priemonės judėjimo greitį pėsčiojo partrenkimo metu pagal pėsčiojo galvos kontakto su priekiniu transporto stiklu vietą. Jei greitis didesnis nei 90 km/h, kontakto su priekiniu stiklu gali nebūti, nes pėsčias užmetamas ant transporto priemonės stogo.

Norint gauti tikslesnius eismo įvykio tyrimo rezultatus, pėsčiojo partrenkimo analizei naudojami optimizavimo ir baigtinių elementų metodai. Optimizavimo metodas pasitelkiamas siekiant išanalizuoti pėsčiojo eisenos įtaką, nustatant pradinės sąlygas iki eismo įvykio kilimo (Untaroiu, Shin *et al.* 2009; Untaroiu, Meissner *et al.* 2009; Untaroiu, Crandal *et al.* 2010).

Straipsnyje (Tiefang *et al.* 2010) pateikiama metodika, pagal kurią analizuojama pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės stabdymo atstumo.

Straipsnyje (Bromberg *et al.* 2010) nagrinėjama transporto priemonės vairuotojo amžiaus įtaka pėsčiojo saugumui kelyje. Atlikus tyrimą, nustatyta, kad vairuotojo amžius mažai įtakoja pėsčiojo partrenkimo tikimybę, kadangi vyresnio amžiaus vairuotojų reakcija lėtesnė, o jaunesnio amžiaus vairuotojai, linkę viršyti greitį taip sukeldami didesnę tikimybę eismo įvykio kilimui.

Pėsčiojo partrenkimo modeliavimui naudojama programa

Siekiant atkurti eismo įvykio eigą, yra imituojamas transporto priemonės ir pėsčiojo susidūrimas. Atliekamas kompiuterinis modeliavimas programa *PC.Crash 8.0*. Ši programa turi didelį transporto priemonių duomenų banką, galimybę įvertinti energiją, prarastą automobilių deformacijoms, modeliuoti visą eismo įvykio eigą, t.y. transporto priemonės ir pėsčiojo judėjimą iki susidūrimo, susidūrimo metu ir po susidūrimo iki visiško sustojimo. Programoje galima įvertinti transporto priemonės susidūrimo metu buvusią situaciją (transporto priemonė buvo stabdoma, veikė išorinės kelio trinties jėgos, oro pasipriešinimo jėgos ir kt.). Pasirenkami arba nustatomi modeliuojamo eismo įvykio dalyvių techniniai duomenys. Modeliavimo eiga matoma monitoriaus ekrane, rezultatai pateikiami grafiškai arba skaitmenine išraiška.

Pėsčiojo partrenkimo tyrimo eiga

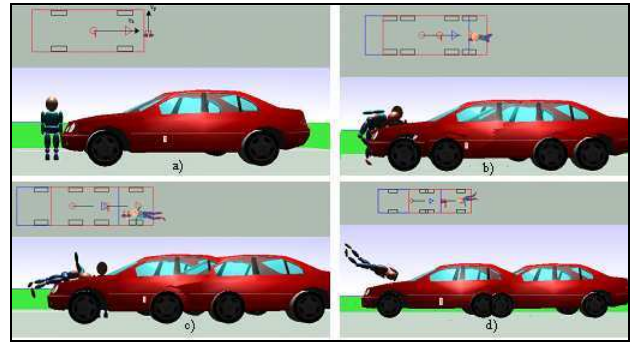
Paprastai pėsčiojo partrenkimo tyrimas atliekamas pagal tam tikrą tvarką. Pirmiausia nustatoma pėsčiojo partrenkimo vieta, paprastai pagal eismo įvykio vietos plane užfiksuotus daiktinius įrodymus, stiklų šukes, kelio dangos įbrėžimus, stabdymo pėdsakus ir kitus požymius.

Toliau nustatomas transporto priemonės važiavimo prieš eismo įvykį greitis. Nustatoma, ar transporto priemonės vairuotojas, važiuodamas apskaičiuotu arba vairuotojo nurodomu greičiu, laiku stabdydamas ar manevruodamas, turėjo techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo. Kai nustatoma, kad vairuotojas prieš eismo įvykį važiavo viršydamas konkrečiame kelio ruože maksimalų leistiną važiavimo greitį, nustatoma, ar transporto priemonės vairuotojas laiku stabdydamas būtų turėjęs techninę galimybę išvengti eismo įvykio kilimo, jeigu prieš eismo įvykį nebūtų viršijęs maksimalaus leistino važiavimo greičio. Žinant pradinis duomenis (transporto priemonės judėjimo greitį, tikslią susidūrimo

vieta, ir padėtis po eismo įvykio) atkuriama eismo įvykio eiga.

Šiame straipsnyje modeliuojant eismo įvykį nagrinėjama transporto priemonės greičio įtaka išilginiam pėsčiojo nubloškimo atstumui.

Išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas susideda iš kontakto fazės (kontakto pradžia, nustumiant ir partrenkiant ant žemės, iki kontakto pabaigos), skridimo, transporto (stūmimo) ir pėsčiojo slydimo kelio dangos paviršiumi fazės.



1 pav. Pėsčiojo ir transporto priemonės susidūrimo fazės

Fig. 1. Schematic of pedestrian vehicle impact phases

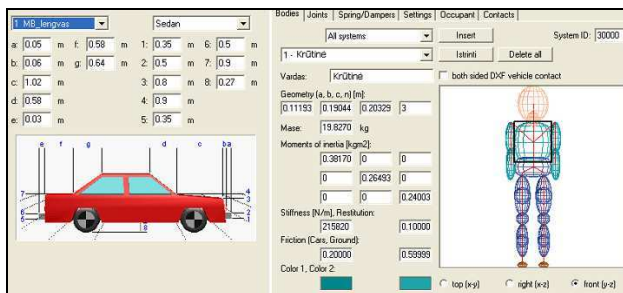
1 pav. pateikiamos pėsčiojo partrenkimo fazės modeliuojant eismo įvykį programa *PC.Crash 8.0*. 1 pav. a) kontakto pradžia, kai transporto priemonės priekinis bamperis betarpiškai kontaktuoja su pėsčiojo koja; b) kontakto fazė, kai kontaktuoja pėsčiojo kūnas ir transporto priemonės variklio gaubtas; c) kontakto fazė, kai liečiasi pėsčiojo galva į variklio gaubtą arba, esant didesniems greičiams į transporto priemonės priekinį stiklą ar stogą; d) transporto priemonės ir pėsčiojo atsiskyrimo fazė, kai toliau pėstysis skrenda ore.

Atsiradus pėsčiojo kontaktui su kelio danga, prasideda pėsčiojo slydimo kelio paviršiumi fazė.

Kadangi sudėtinga tiksliai nustatyti kada baigiasi viena fazė ir prasideda kita pėsčiojo nubloškimo fazė, modeliuojant bus naudojamas tik išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas.

Kompiuterinio modeliavimo eiga

Tyrinėjamas pėsčiojo partrenkimas transporto priemonei judant tiesiu kelio ruožu, be nuolydžio. Oro pasipriešinimo nėra. Priimu, jog kelio danga sausas asfaltas, sukibimo koeficientas yra 0,8. Pėstysis sudaro kliūtį transporto priemonei, judėdamas skersai transporto priemonės judėjimo kryptį. Pėsčiasis partrenkiamas transporto priemonės tik kartą, nėra antrinio kontakto po smūgio. Techninės galimybės išvengti eismo įvykio kilimo transporto priemonės vairuotojas neturi.



2 pav. Transporto priemonės ir pėsčiojo techniniai duomenys

Fig. 2. Vehicle and pedestrian technical data

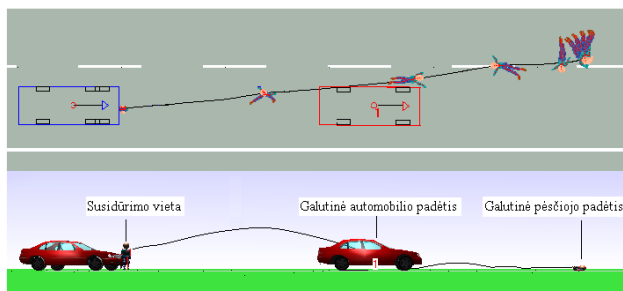
Eismo įvykio imitacijai pasirenkamas lengvasis automobilis (2 pav.), kuris judės keturiais skirtingais greičiais, t.y.: 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h, 90 km/h. Juda stabdymo režimu, stabdymo lėtėjimo pagreitis $7,2 \text{ m/s}^2$.

Nagrinėjami skirtingų masių ir judėjimo greičių pėsčiojo nubloškimo atvejai, esant skirtingam transporto priemonių judėjimo greičiui. Transporto priemonės masė nekinta.

Tiriami trijų skirtingų masių pėsčiųjų partrenkimo atvejai, kai pėsčiasis vaikas 20 kg, paauglys 45 kg, suaugęs žmogus 80 kg. Pėsčiojo ūgis taip pat skirtingas, atitinkamai 1200 mm, 1600 mm ir 1850 mm. Pėsčiasis juda trimis skirtingais greičiais: 6 km/h, 8 km/h ir 10 km/h.

Pėsčiojo partrenkimo kompiuterinis modeliavimas pradedamas pasirenkant pastovų transporto priemonės judėjimo greitį, tačiau keičiama pėsčiojo masė, bei pasirenkamas skirtingas pėsčiojo judėjimo greitis. Tarkim, pirmu atveju, modeliuojant eismo įvykį transporto priemonės judėjimo greitis yra pastovus, $v_A=30 \text{ km/h}$, pėsčiojo masė parenkama $m_p=20 \text{ kg}$, kintamas tik pėsčiojo judėjimo greitis. Užfiksuojamas pėsčiojo nubloškimo atstumas prie pasirinktų parametrų. Antra, esant tam pačiam transporto priemonės judėjimo greičiui $v_A=30 \text{ km/h}$, pakeičiama pėsčiojo masė į $m_p=44 \text{ kg}$, analogiškai pakeičiamas pėsčiojo judėjimo greitis (6 km/h, 8 km/h, 10 km/h) ir užfiksuojami modeliavimo rezultatai. Tolimesnė modeliavimo eiga analogiška, parenkamas didesnis transporto priemonės judėjimo greitis, kuris nekinta, kinta tik pėsčiojo judėjimo masė prie atitinkamų pėsčiojo judėjimo greičių.

Iš viso sumodeliuoti trisdešimt šeši skirtingi pėsčiojo partrenkimo atvejai.

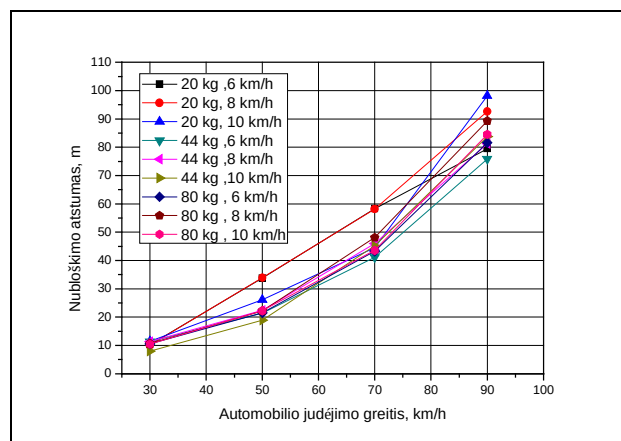


3 pav. Pėsčiojo partrenkimo imitacija

Fig. 3 Crash accident-pedestrian impact imitation

3 pav. pavaizduotas pėsčiojo partrenkimo atvejis. Viršuje pateiktas vaizdas plokštumoje, kuriame matomas pėsčiojo persislinkimas po partrenkimo išilgine ir skersine judėjimo kryptimis. Žemiau esančiame vaizde matoma pėsčiojo svorio centro judėjimo trajektorija, kurią sudaro pėsčiojo judėjimo ore fazė ir slydimo kelio dangos paviršiumi fazė. Kadangi sudėtinga tiksliai nustatyti kada baigiasi sklendimo ore fazė ir kada prasideda pėsčiojo slydimo kelio paviršiumi fazė, eismo įvykių tyrime naudojamas bendras pėsčiojo nubloškimo atstumas. Šiame paveiksle taip apt nurodytos galutinės padėties po susidūrimo. Matoma, kad pėsčiasis nubloškiamas didesnę atstumą nuo pradinės susidūrimo padėties nei transporto priemonėi sustojimo atstumas.

Atlikus kompiuterinį pėsčiojo partrenkimo modeliavimą, grafiškai pateikiama pėsčiojo nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio (4 pav.), įvertinant pėsčiojo judėjimo greičio prieš susidūrimą ir pėsčiojo masės įtaką nubloškimo atstumui. Nustatyta, jog transporto priemonės judėjimo greičiui padidėjus nuo 30 km/h iki 50 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumas padidėja 50 %. Kai transporto priemonės greitis padidėja nuo 50 km/h iki 70 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumo skirtumas pakinta 80 %. Pakitus transporto priemonės judėjimo greičiui nuo 70 km/h iki 90 km/h, išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas padidėja 100 %. Iš gautų modeliavimo rezultatų, galima teigti, jog kuo didesnis transporto priemonės judėjimo greitis, tuo intensyviau didėja pėsčiojo nubloškimo atstumas.



4 pav. Nubloškimo atstumo priklausomybė nuo transporto priemonės judėjimo greičio, įvertinant pėsčiojo judėjimo greitį iki susidūrimo ir pėsčiojo fizinius duomenis

Fig. 4. Throw distance dependence of the vehicle velocity, evaluating pedestrian speed before impact and his physical data

Iš (4 pav.) pateiktų modeliavimo rezultatų matyti, kad esant mažam (apie 30 km/h) transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė beveik neturi įtakos jo išilginio nubloškimo atstumui. Tai galima paaiškinti tuo, kad esant tokiam nedideliame transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiasis paprastai neužmetamas ant transporto priemonės variklio dangčio, nėra pavežamas, o tiesiog pastumiamas transporto priemonės išilgine

judėjimo kryptimi. Esant didesniai transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė turi didesnę įtaką jo išilginio nubloškimo atstumui.

Išvados

1. Atlikus kompiuterinį pėsčiojo partrenkimo modeliavimą, nustatyta, kad išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas tiesiogiai priklauso nuo transporto priemonės judėjimo greičio: padidėjus greičiui nuo 30 km/h iki 50 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumas padidėja 50 %; greičiui padidėjus nuo 50 km/h iki 70 km/h, pėsčiojo išilginio nubloškimo atstumo skirtumas pakinta 80 %, o padidėjus nuo 70 km/h iki 90 km/h, išilginis pėsčiojo nubloškimo atstumas padidėja 100 %.

Iš gautų modeliavimo rezultatų, galima teigti, jog kuo didesnis transporto priemonės judėjimo greitis, tuo intensyviau didėja pėsčiojo nubloškimo atstumas.

2. Esant mažam (apie 30 km/h) transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė beveik neturi įtakos jo išilginio nubloškimo atstumui. Esant didesniai transporto priemonės judėjimo greičiui, pėsčiojo masė turi didesnę įtaką jo išilginio nubloškimo atstumui.

3. Pėsčiojo judėjimo iki partrenkimo greitis, nežymiai įtakoja jo išilginio nubloškimo atstumą, ypač esant nedideliui pėsčiojo judėjimo greičiui.

4. Atliktų tyrimų rezultatai gali būti naudingi analizuojant eismo įvykių aplinkybes ir atliekant eismo įvykių ekspertizės pėsčiojo partrenkimo atvejus.

Literatūra

- Bromberg, S.; Oron-Gilad, T.; Borowsky, A.; Parmet, Y. 2010. The perception of pedestrians from the perspective of elderly experienced and experienced drivers, *Accident Analysis and Prevention* (2010): AAP-2350.
- Frederikson, R.; Rosen, E.; Kullgren, A., 2010. Priorities of pedestrian protection—A real-life study of severe injuries and car sources, *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010): 1672–1681.
- Franck, H.; Franck, D., 2009. Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL. 169p. ISBN: 978-1-4200-8897-7.
- Yao, J.; Yang, J.; Otte, D. 2007. Investigation of head injuries by reconstructions of real-world vehicle-versus-adult-pedestrian accidents, *Safety Science* 46 (2008): 1103–1114.
- Jun, X.; Yibing, L.; Guangquan, L.; Wei, Z., 2008. Reconstruction model of vehicle impact speed in pedestrian–vehicle accident, *International Journal of Impact Engineering* 36 (2009) 783–788.
- Kinderytė-Poškienė, J.; Sokolovskij, E. 2008. Traffic control elements influence on accidents, mobility and the environment, *Transport* 23(1): 55–58.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2012. [interaktyvus] [žiūrėta 2012 m. kovo 25 d.]. Prieiga per internetą < http://www.lra.lt/lt.php/eismo_saugumas/eismo_ivykiu_statistika/27 >.
- Oh, C.; Kang, Y.; Kim, W., 2008. Assessing the safe benefits of an advanced vehicular technology for protecting pedestrians, *Accident Analysis and Prevention* 40 (2008): 935–942.
- Prentkovskis, O.; Sokolovskij, E.; Bartulis, V. 2010. Investigating traffic accidents: a collision of two motor vehicles, *Transport* 25(2): 105–115.
- Rosen, E.; Stigson, H.; Sander, U. 2010. Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed, *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 25–33.
- Sivilevičius, H. 2011. Modelling the interaction of transport system elements, *Transport* 26(1): 20–34.
- Sokolovskij, E. 2007. Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces, *Transport* 22(4): 275–278.
- Sokolovskij, E.; Mikaliūnas, Š., 2006. Modelling of collisions of the automobiles, *Transport* 21 (4): 239–244.
- Sokolovskij, E.; Pečeliūnas, R., 2007. The influence of road surface on an automobile's braking characteristics, *Storiniški vestnik—Journal of Mechanical Engineering* 53(4): 216–223.
- Sokolovskij, E.; Prentkovskis, O.; Pečeliūnas, R.; Kinderytė-Poškienė, J. 2007. Investigation of automobile wheel impact on the road border, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(3): 119–123.
- Tiefang, Z.; Zhi, Y.; Ming, C.; Jike, L., 2010. Analysis and application of relationship between post-braking-distance and throw distance in vehicle–pedestrian accident reconstruction. *Forensic Science International* 2010.
- Untaroiu, C. D.; Crandall, J. R.; Takahashi, Y.; Okamoto, M.; Ito, O.; Fredriksson, R. 2010. Analysis of running child pedestrians impacted by vehicle using rigid–body models and optimisation techniques, *Safety Science* 48 (2010): 259–267.
- Untaroiu, C. D.; Meissner, M. U.; Crandall, J. R.; Takahashi, Y.; Okamoto, M.; Ito, O. 2009. Crash reconstruction of pedestrian accident using optimization techniques, *International journal of Impact Engineering* 36 (2009): 210–219.
- Untaroiu, C. D.; Shin, J.; Crandall, J. R.; Fredriksson, R.; Bostrom, O.; Takahashi, Y.; Akiyama, A.; Okamoto, M.; Kikuchi, Y. 2009. Development and validation of pedestrian sedan bucks using finite-element simulation: a numerical investigation of influence of vehicle automatic braking on kinematics of the pedestrian involved in vehicle collisions, *International Journal of Crashworthiness* 15:5, 491–503.

CRASH ACCIDENT–PEDESTRIAN IMPACT ANALYSIS

D. Griškaitė, L. Levulytė, E. Sokolovskij

Abstract

In this article crash accident is analysing in case of vehicle and pedestrian collision. The methodic for calculation of vehicle speed before crash accident is described. There is presented computer reconstruction of crash–accident vehicle to pedestrian impact in the article. Comparison of pedestrian throw distance dependence of vehicle speed is made. Physical parameters of pedestrian influence to the pedestrian's throw distance.

Keywords: pedestrian, crash accident reconstruction, impact speed, throw distance.