



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Eimantas Mikalajūnas

**MOTOCIKLO SUSIDŪRIMO SU LENGVUOJU AUTOMOBILIU
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Vaidas Lukoševičius

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

MOTOCIKLO SUSIDŪRIMO SU LENGVUOJU AUTOMOBILIU
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Vaidas Lukoševičius
(data)

Recenzentas

(parašas) Prof. dr. Artūras Keršys
(data)

Projektą atliko

(parašas) Eimantas Mikalajūnas
(data)

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATEDRA

Suderinta:

Studijų krypties programų vadovas
prof. Artūras Keršys

Transporto inžinerijos katedros vedėjas
doc. Rolandas Makaras

2016 m. vasario mėn. 8 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Eimantui Mikalajūnui*

1. Projekto tema: *Motociklo susidūrimo su lengvuju automobiliu tyrimas*

Investigation of motorcycle and vehicle collision

Patvirtinta: 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-8

2. Projekto tikslas: sudaryti motociklo ir lengvojo automobilio skaitinius modelius, leidžiančius tirti skirtingas susidūrimų situacijas bei nustatyti galimas motociklininko traumas ir žūties tikimybę susidūrimų metu.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

- Apžvelgti eismo įvykių statistiką Lietuvoje ir Europoje, išnagrinėti pagrindines motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimų situacijas bei jų pasekmes.
- Išanalizuoti tyrimus, kuriuose buvo atliktas motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimas ir išnagrinėti sužeidimų vertinimo metodiką.
- Remiantis literatūros apžvalga, sudaryti motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimo modelius pasinaudojant programomis „LS-DYNA“ bei „LS-PrePost“.
- Įvertinti motociklininko sužeidimus, kintant motociklo ir lengvojo automobilio greičiams bei susidūrimo kampams.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2016 m. vasario mėn. 8 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2017 m. gegužės mėn. 18 d.

Vadovas:

(vardas, pavardė)

_____ (parašas)

Užduotį gavau: _____

(studento vardas, pavardė)

_____ (parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Eimantas Mikalajūnas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Motociklo susidūrimo su lengvuju automobiliu tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Eimanto Mikalajūno**, baigiamasis projektas tema „Motociklo susidūrimo su lengvuju automobiliu tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Mikalajūnas, Eimantas. Motociklo susidūrimo su lengvuju automobiliu tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vaidas Lukoševičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T)

Reikšminiai žodžiai: motociklininkas, avarių atkūrimas, traumos sunkumas, baigtiniai elementai.

Kaunas, 2017. 60 p.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe tiriamas motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimas bei jo pasekmės motociklo vairuotojui. Apžvelgta eismo įvykių statistika, pagrindinės motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimo situacijos. Išnagrinėti kitų tyrėjų atlikti darbai, kuriuose buvo vertinamas motociklininko sužeidimo lygis. Nuosekliai aprašyta kievienos kūno dalies sužeidimų vertinimo metodika.

Pasirinktos 5 dažniausiai pasitaikančios motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimo situacijos, kuriomis remiantis atlikti skaitiniai bandymai. Situacijos modeliuojamos programos „LS-PrePost“ aplinkoje, o skaičiavimai atlikti programa „LS-DYNA“. Bandymų metu naudojami 2 tipų automobiliai: miesto automobilis ir minivenas. Kiekvienas susidūrimas tirtas esant 3 skirtingiems greičiams: 40 km/h, 50 km/h ir 60 km/h. Gauti rezultatai palyginami tarpusavyje bei su kitų tyrėjų atliktais darbais. Atlikus tyrimą, pateikiamos baigiamojo darbo išvados.

Mikalajūnas, Eimantas. Investigation of Motorcycle and Vehicle Collision: *Vehicle engineering Master's final project* / supervisor assoc. prof. Dr. Vaidas Lukoševičius. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: Motorcyclist, Accident Reconstruction, Injury Severity, Finite Elements.

Kaunas, 2017. 60 p.

SUMMARY

The motorcycle and vehicle collision and its consequences for motorcycle rider are investigated in the Master's final thesis. Accidents statistics, the main motorcycle and vehicle collision situations were reviewed. Other investigators works were examined where the level of motorcyclist injury was assessed. Consistently described methodology of each part of the body injury evaluation.

5 most common motorcycle and vehicle collision situations were selected. Based on these situations numerical tests were performed. All situations were modeled with "LS-PrePost" and calculations were carried out with software "LS-DYNA". During the test 2 types of cars were used: city car and minivan. Each collision investigated at 3 different speeds: 40 km/h, 50 km/h and 60 km/h. The obtained results are compared with each other and with other investigators works. The conclusions of this study are presented.

TURINYS

ĮVADAS.....	5
1. EISMO ĮVYKIŲ STATISTIKA	6
1.1. Eismo įvykių statistika Europos Sąjungoje	6
1.2. Motociklininkų sužalojimų statistika	8
2. MOTOCIKLO IR AUTOMOBILIO SUSIDŪRIMO SITUACIJOS	9
2.1. Dažniausiai pasitaikančios situacijos	9
2.2. Atlikti motociklo ir automobilio susidūrimo tyrimai	11
3. SUŽEIDŽIAMUMO KRITERIJAI IR JŲ LEISTINOS RIBOS	18
3.1. Sužeidimų biomechanika	18
3.2. Galvos sužeidimų kriterijus.....	21
3.3. Kaklo sužeidimų kriterijus	22
3.4. Krūtinės sužeidimų kriterijus	24
3.5. Dubens sužeidimų vertinimas	25
3.6. Apatinių galūnių sužeidimų vertinimas.....	25
3.7. Sužeidžiamumo kriterijų santrauka	26
4. SKAITINIS MOTOCIKLO IR AUTOMOBILIO SUSIDŪRIMO TYRIMAS	27
4.1. Tyrime naudojami modeliai	27
4.1.1. Manekeno modelis	27
4.1.2. Motociklo modelis	28
4.1.3. Automobilių modeliai	28
4.1.4. Susidūrimo situacijos modelis	29
4.2. Motociklo ir automobilio susidūrimo situacijos.....	30
4.3. Rezultatų analizė	31
4.3.1. Pirma situacija.....	31
4.3.2. Antra situacija	36
4.3.3. Trečia situacija	41
4.3.4. Ketvirta situacija	46
4.3.5. Penkta situacija	51
4.3.6. Situacijų palyginimas.....	56
5. EKONOMINIS VERTINIMAS.....	58
6. REZULTATŲ PALYGINIMAS.....	59
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	60
INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	61

IVADAS

Motociklininkai – lengvai pažeidžiami eismo dalyviai. Jų saugumas kelyje yra labai svarbus siekiant sumažinti žuvusiųjų skaičių, kadangi beveik penktas žuvęs žmogus yra motociklo ar mopedo vairuotojas. Nors kiekvienais metais vis keliami saugumo reikalavimai ir gaminamos saugesnės transporto priemonės, motociklininkų žūčių skaičius mažėja nežymiai ir tai išlieka didele problema saugumo specialistams.

Lengvojo automobilio ir motociklo susidūrimas yra viena iš dažniausiai pasitaikančių avarijų, pasibaigiančių motociklininko žūtimi. Tokiems susidūrimams yra skiriamas nemažas specialistų dėmesys siekiant išanalizuoti avarijų priežastis ir pasekmes. Įvairios organizacijos atlieka tyrimus tiek su tikrais manekenais, tiek su kompiuteriniais jų modeliais. Tyrimų metu dažniausiai yra nustatomos manekeną veikiančios jėgos, automobilio bei motociklo deformacijos. Pagal gautas jėgas galima įvertinti galimus motociklininko sužalojimus jeigu jis patektų į panašią avariją, kokia buvo paruošta bandymų metu. Svarbiausia, jog žinant manekeną veikiančias jėgas galima nustatyti reikalavimus automobiliui, kurie leistų suprojektuoti saugesnę automobilio išorę motociklų, mopedų, dviračių ir kitų dviračių transporto priemonių vairuotojams.

Darbo tikslas – sudaryti motociklo ir lengvojo automobilio skaitinius modelius, leidžiančius tirti skirtingas susidūrimų situacijas bei nustatyti galimas motociklininko traumas ir žūties tikimybę susidūrimų metu.

Darbo uždaviniai:

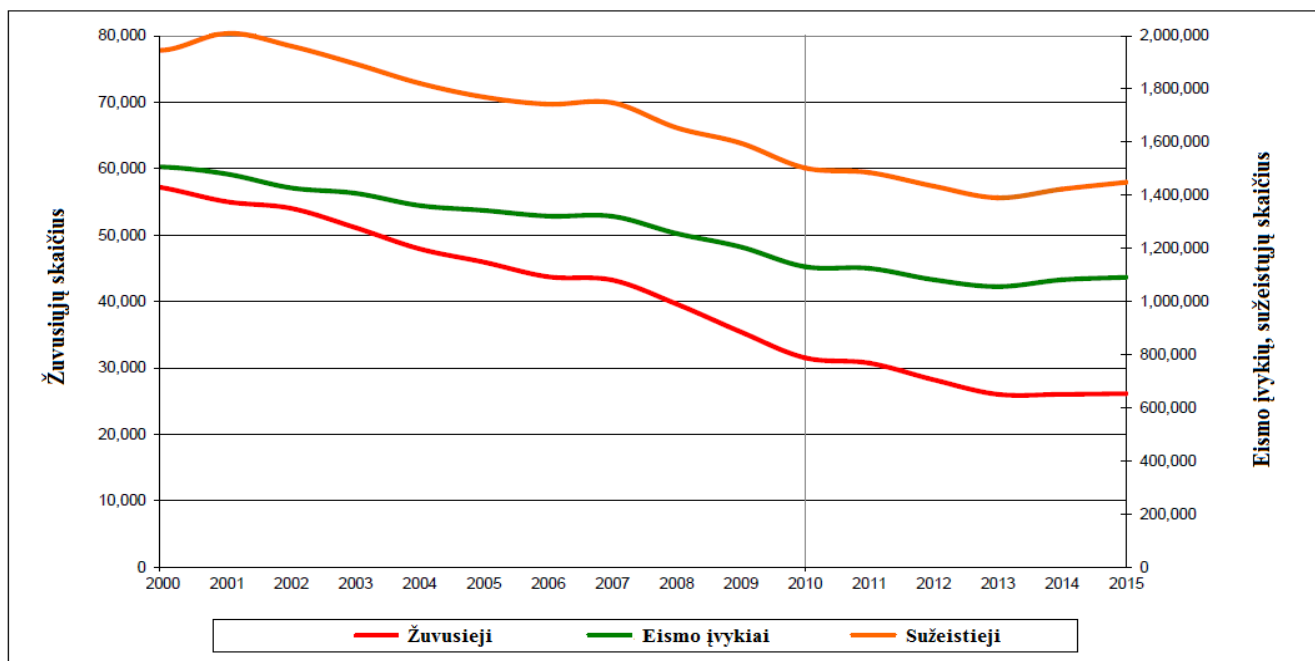
- Apžvelgti eismo įvykių statistiką Lietuvoje ir Europoje, išnagrinėti pagrindines motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimų situacijas bei jų pasekmes.
- Išanalizuoti tyrimus, kuriuose buvo atliktas motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimas ir išnagrinėti sužeidimų vertinimo metodiką.
- Remiantis literatūros apžvalga, sudaryti motociklo ir lengvojo automobilio susidūrimo modelius pasinaudojant programomis „LS-DYNA“ bei „LS-PrePost“.
- Įvertinti motociklininko sužeidimus, kintant motociklo ir lengvojo automobilio greičiams bei susidūrimo kampams.

1. EISMO ĮVYKIŲ STATISTIKA

1.1. Eismo įvykių statistika Europos Sąjungoje

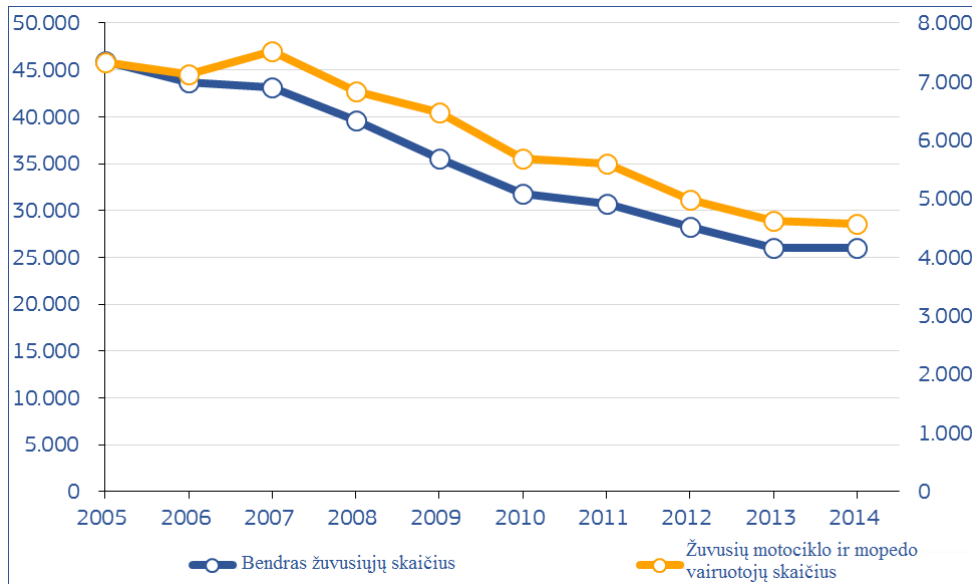
Kasmet visoje Europoje įvyksta šimtai tūkstančių eismo įvykių, kuriuose yra sužeidžiami ar netgi žūsta jų dalyviai – vairuotojai, keleiviai, pėstieji. 2015 metais Europos Sąjungoje įvyko 1,1 mln. eismo įvykių, kuriuose buvo 1,45 mln. sužeistųjų ir 26 tūkst. žuvusiųjų (žr. 1.1 pav.). Apskaičiuota, jog kiekvienai mirčiai Europos keliuose tenka 8 rimtos, 50 nesunkių ir 4 neįgalumą sukeliančios traumos. Apie pusę žuvusiųjų yra pažeidžiami eismo dalyviai, tai – pėstieji, dviratininkai ir motociklininkai. Net 48 % eismo įvykių, kuomet žūsta pėstysis ar motociklininkas ir 42 % eismo įvykių, kai žūsta dviratininkas, įvyksta dėl lengvojo automobilio vairuotojo kaltės [1].

Atnaujinama miesto gatvių ir užmiesčio kelių infrastruktūra, didinami lengvųjų automobilių saugos reikalavimai ženkliai prisideda prie žuvusiųjų skaičiaus Europos keliuose mažėjimo. Palyginimui, 2000 metais eismo įvykių skaičius Europos Sąjungoje – 1,5 mln., sužeistųjų – 1,95 mln., žuvusiųjų – 57 tūkst. (žr. 1.1 pav.). Per 15 metų laikotarpį eismo įvykių keliuose sumažėjo 25,6 %, o žuvusiųjų skaičius – 54,4 %. Galima teigti, jog beveik dvigubai išaugo tikimybė avarijos atveju likti gyvam.



1.1 pav. Žuvusiųjų, sužeistųjų bei eismo įvykių skaičiaus kitimas ES [2]

Tačiau ši statistika daug niuresnė motociklų ir mopedų vairuotojams. Nors pagal bendrą tendenciją žuvusiųjų skaičius mažėja, jau ištisą dešimtmetį beveik kas penktas žuvęs žmogus yra motociklo ar mopedo vairuotojas (žr. 1.2 pav.) Pagal ERSO (European Road Safety Observatory) pateiktą ataskaitą, 2014 metais net 18 % žuvusiųjų buvo motociklo arba mopedo vairuotojai. 2005 metais šis skaičius buvo lygus 16 % ir bėgant metams po truputį tik augo [3].



1.2 pav. Žuvusių motociklo ir mopedo vairuotojų skaičius lyginant su bendru žuvusiųjų skaičiumi [3]

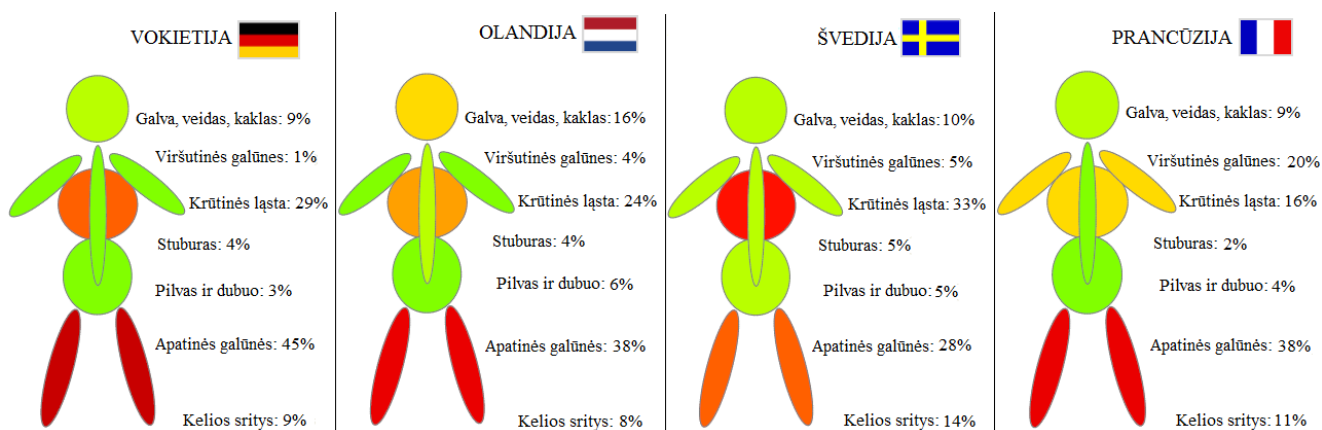
Lietuvoje, pagal 2015 metų statistiką, vienam milijonui gyventojų tenka 83 žūtys keliuose, o Europos Sąjungos vidurkis – 51 žūtis. Pagal šią statistiką Lietuva yra vos 25 vietoje tarp visų 28 Europos Sąjungos šalių. Kita vertus, Lietuva yra pirmaujanti šalis pagal žuvusiųjų skaičiaus mažinimą per pastarąjį dešimtmetį. 2005 metais vienam milijonui gyventojų Lietuvoje teko 260 žūčių, o dabar šis skaičius sumažėjęs net 65 %. Iš viso per 2015 metus Lietuvos keliuose įvyko 3161 eismo įvykis, kurių metu 241 žmogus žuvo ir 3777 buvo sužeisti. Iš jų 221 sužeistasis ir 12 žuvusiųjų buvo motociklo ir mopedo vairuotojų. Žuvusiųjų skaičius sudaro tik 5 % ir tai yra daug mažiau negu ES vidurkis – 18 % [4].

Motociklų ir mopedų vairuotojų saugumas visgi išlieka svarbus klausimas ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Kiekvienais metais atliekama begalė bandymų siekiant pagerinti šių transporto priemonių vairuotojų saugumą. Pagrindinis eismo įvykių kaltininkas yra lengvasis automobilis, tačiau jo techninės galimybės yra ribotos, tad tenka ieškoti kitų sprendimų. Tam galima pasitelkti naujausias technologijas. Vieną iš būdų pasiūlė NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) organizacija. Tai transporto priemonių tarpusavio bendravimas (vehicle to vehicle communication). Ši sistema leidžia belaidžiu ryšiu keisti informaciją apie transporto priemonių greitį, šalia esančius eismo dalyvius, o tai labai padėtų išvengti susidūrimų keliuose. Žinoma, geriausi rezultatai gali būti pasiekti tik įdiegus sistemą į visas transporto priemones. Būtent todėl NHTSA organizacija jau metų metus dirba kartu su automobilių pramone ir įvairiomis tyrimų institucijomis, kad paverstų šią sistemą realybe [5]. Kitas, kiek paprastesnis būdas yra dažniau naudoti oro pagalves tiek motocikluose, tiek motociklininko aprangoje. Žinomi gamintojai pasaulyje siūlo tokias galimybes, pavyzdžiui, „Honda“ jau 2006 metais išleido motociklą su priekyje esančia oro pagalve. Aprangoje esančios oro pagalvės taip pat dažnai naudojamos nuo kaklo iki kojų. Deja, tokios aprangos kaina yra ženkliai didesnė už paprastos, todėl motociklininkai praktiškai visada renkasi pigesnę variantą.

EuroNCAP (European New Car Assessment Programme) organizacija per 2017–2018 metus planuoja parengti demonstracinę autonominio stabdymo sistemą, pritaikytą motorizuotoms dviratėms transporto priemonėms. Šios demonstracijos tikslas bus parodyti sistemų, padedančių išvengti avarių, efektyvumą ne tik lengviesiems automobiliams [1]. Taigi motociklininkų saugumo klausimas yra aktyviai sprendžiamas visame pasaulyje ir ateityje žuvusiųjų ir sužeistųjų skaičius turėtų tik mažėti.

1.2. Motociklininkų sužalojimų statistika

Motociklininkai patiria daugiau sužalojimų įvykus eismo įvykiui, lyginant su automobilio vairuotoju ar keleiviais, kadangi jie nėra pakankamai apsaugoti. 2016 metais Europos Komisija atliko tyrimą apie dažniausius motociklininkų sužalojimus ir jų priežastis. Yra gauti rezultatai iš kelių Europos Sąjungos šalių (Vokietijos, Olandijos, Švedijos, Prancūzijos), kuriose motociklai yra dažnai pasirenkama transporto priemonė keliuose [6]. Šie rezultatai pavaizduoti 1.3 paveiksle.



1.3 pav. Motociklininkų sužalojimų statistika ES šalyse [6]

Iš 1.3 paveikslo matyti, kad labiausiai sužeidžiama vieta yra apatinės galūnės. Tai paaiškinama labai paprastai, kadangi dažniausiai įvykus susidūrimui su lengvuoju automobiliu, būtent motociklininko kojos yra pirmasis smūgio taškas. Kojų traumas gali būti labai sunkios ir net paversti žmogų neįgaliuoju, todėl motociklų kūrėjams reikėtų atsižvelgti į geresnę kojų apsaugą. Kita dažnai sužeidžiama vieta yra krūtinės ląsta, kai motociklininkas krisdamas kliudo motociklo vairą, atsitrenkia į kietus objektus, pavyzdžiui, nuslydęs nuo motociklo trenkiasi į kelio atitvarus. Dar neretai sužeidžiamos vietos yra viršutinės galūnės bei galva, nors pastarosios procentas nėra labai didelis, tačiau net esant nedideliame greičiui trauma gali būti mirtina. Manoma, jog šalmas susidūrimo metu net 50 % sumažina mirtinos galvos traumas tikimybę. Tačiau praktiškai visada motociklininkas patiria daugybinius kūno sužalojimus, kadangi nevaldomai nulėkdamas nuo motociklo, trenkiasi į žemę, automobilį ar kitą objektą, taip patirdamas smūgius į daugelį kūno dalių.

2. MOTOCIKLO IR AUTOMOBILIO SUSIDŪRIMO SITUACIJOS

2.1. Dažniausiai pasitaikančios situacijos

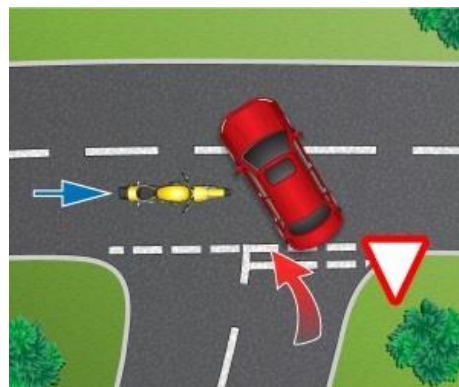
Sukelti avariją keliuose gali daugelis veiksnių, tokių kaip eismo dalyvių neatidumas, važiavimas per dideliu greičiu, vairavimo kontrolės praradimas dėl prastų kelio sąlygų. Dauguma motociklininkų patenka į dažnai pasitaikančių avarijų situacijas. Jeigu motociklų vairuotojai geriau žinotų šias situacijas, jie galėtų būti pasiruošę netikėtiems veiksniams ir taip galbūt išvengti avarijos. Taigi žemiau pateikiamos dažniausiai pasitaikančios motociklininko ir automobilio susidūrimo situacijos ir kaip jų išvengti [7].

- Automobilio posūkis į kairę. Dažniausiai pasitaikanti situacija, kai priešpriešais važiuojantis automobilis atlieka posūkį į kairę nepastebėdamas atvažiuojančio motociklo (žr. 2.1 pav.). Susidūrimo kampas priklauso nuo to, koku greičiu juda tiek viena, tiek kita transporto priemonė. Geriausias būdas išvengti susidūrimo, tai motociklininkui sulėtinti greitį ir įsitikinti, jog automobilio vairuotojas pastebėjo artėjančią kliūtį ir yra pasiruošęs ją praleisti.



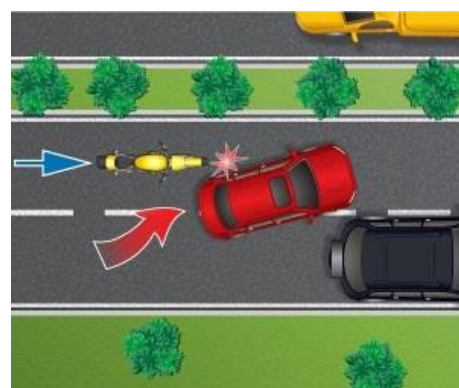
2.1 pav. Automobilio posūkis į kairę [7]

- Automobilio posūkis į kairę iš šalutinio kelio. Ši situacija pasitaiko taip pat neretai. Staiga iš šalutinio kelio sukantis automobilis tiesiog užkerta kelią motociklui ir šis rėžiasi į jo šoną (žr. 2.2 pav.). Paprasčiausias būdas išvengti tokio susidūrimo motociklininkui, tai papildomai atkreipti dėmesį į bet kurią transporto priemonę, laukiančią prie sankryžos ir būti pasiruošus netikėtiems eismo dalyvio manevrams.



2.2 pav. Automobilio posūkis į kairę iš šalutinio kelio [7]

- Automobilio rikiavimasis į kitą eismo juostą (žr. 2.3 pav.). Keliuose, kur yra daugiau negu viena eismo juosta viena kryptimi, automobilių vairuotojai rikiuodamiesi į kitą juostą dažnai nepamato artėjančio motociklo, kadangi jis sunkiau pastebimas, arba pastebėdami neįvertina jo greičio. Susidūrimo metu motociklas trenkiasi į automobilio šoną ar galą. Geriausias būdas išvengti šios situacijos, tai motociklininkui stengtis nepatekti į automobilio vairuotojo akkląją zoną, pakeisti padėtį, kad būtų geriau pastebimas.



2.3 pav. Automobilio rikiavimasis į kitą eismo juostą [7]

- Automobilio smūgis į motociklo galą (žr. 2.4 pav.). Ši situacija nutinka kai motociklininkas staigiai stabdo išvažiuodamas iš šalutinio kelio ar atsiradus netikėtai kliūčiai kelyje. Iš galo važiuojantis automobilis nesilaiko atstumo, todėl trenkiasi į motociklo galą. Šiuo atveju motociklininkas mažai ką gali padaryti, kad išvengtų susidūrimo. Paprasčiau yra kai eilėje jau laukia bent vienas automobilis, tada galima sustoti šalia jo ar net užlįsti į eilės priekį, taip susikuriant saugią zoną.



2.4 pav. Automobilio smūgis į motociklo galą [7]

- Motociklo smūgis į automobilio galą (žr. 2.5 pav.). Analogiška situacija anksčiau paminėtai, tik šįkart automobilis yra priekyje. Šiuo atveju jau motociklas trenkiasi į automobilio galą, nesilaikydamas saugaus atstumo ar važiuodamas per dideliu greičiu. Geriausias būdas išvengti situacijos, motociklininkui visada išlaikyti saugų atstumą iki priekyje esančios transporto priemonės ir stebėti vairuotojo vairavimo stilių.



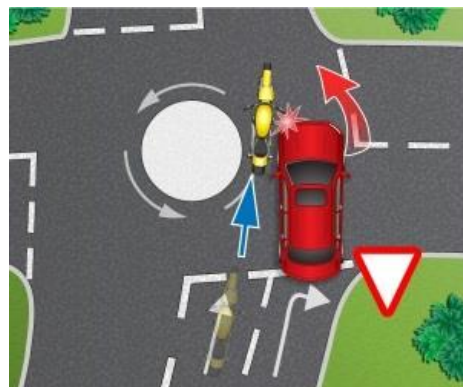
2.5 pav. Motociklo smūgis į automobilio galą [7]

- Pavojingas lenkimas posūkyje. Tokia situacija įvyksta kai motociklininkas neįsitikinęs, jog iš priekio neatvažiuoja automobilis, pradeda lenkimo manevrą posūkyje (žr. 2.6 pav.). Motociklas kaktomuša trenkiasi į automobilį, o šis susidūrimo būdas yra vienas pavojingiausių. Norint išvengti tokių situacijų, motociklo vairuotojui atliekant lenkimo manevrą privalu įsitikinti, jog nėra jokios kliūtis iš priekio ir lenkimą atlikti tiesiame ir gero matomumo kelyje.



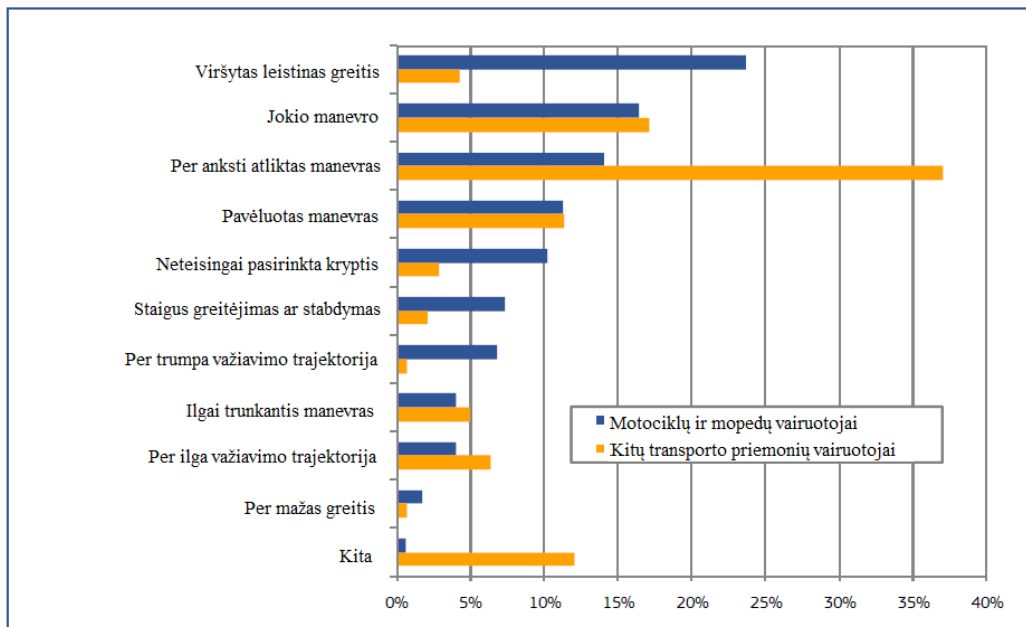
2.6 pav. Pavojingas lenkimas posūkyje [7]

- Netaisyklingas važiavimas žiedu (žr. 2.7 pav.). Statistika rodo, jog dar nemažai vairuotojų vis dar nežino kaip taisyklingai važiuoti žiedu ir dažnai pasirenka ne tą eismo juostą. Judantis link išvažiavimo motociklininkas gauna smūgį į šoną, kadangi automobilio vairuotojas ne ta eismo juosta bando judėti žiedu tolyn. Saugiausia būtų prieš išvažiuojant iš žiedo žvilgtelėti per petį ir įsitikinti, kad tai padaryti bus saugu.



2.7 pav. Netaisyklingas važiavimas žiedu [7]

Kiekvienoje situacijoje avarija įvyksta dėl skirtingų veiksnių. Įvykus avarijai dėl motociklo ar mopedo vairuotojo kaltės, beveik 25 % atvejų priežastimi yra viršytas leistinas greitis. Tuo tarpu kitų transporto priemonių vairuotojai apie 37 % avarijų, kuriose susiduria su motociklu, sukelia per anksti atlikdami manevrą (žr. 2.8 pav.), pavyzdžiui, įvažiuoja į sankryžą dar nespėjus užsidegti žaliajam šviesoforo signalui.



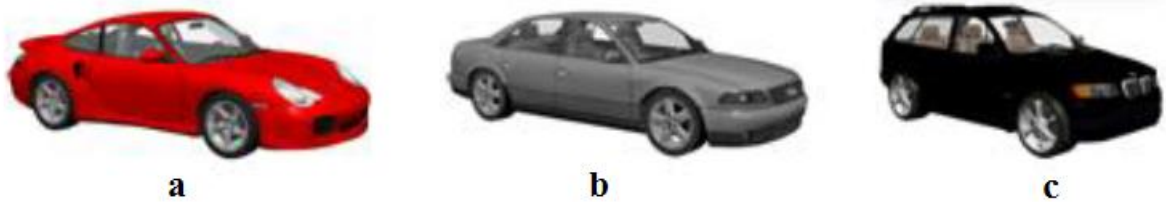
2.8 pav. Veiksniai, dėl kurių įvyksta motociklų ir kitų transporto priemonių avarijos [3]

Apžvelgus šiuos veiksnius matyti, kad didžiąją dalį avarijų sukelia netinkamai įvertintas manevro atlikimo laikas. Tai reiškia, jog tiek motociklų ir mopedų, tiek kitų transporto priemonių vairuotojai atlieka manevrus jau žinodami, jog jų kelyje tikėtina kliūtis. Šiuos atvejus galima paaiškinti tuo, kad vairuotojai dažnai pervertina savo galimybes manydami, jog manevrą pavyks atlikti saugiai ir laiku [3].

2.2. Atlikti motociklo ir automobilio susidūrimo tyrimai

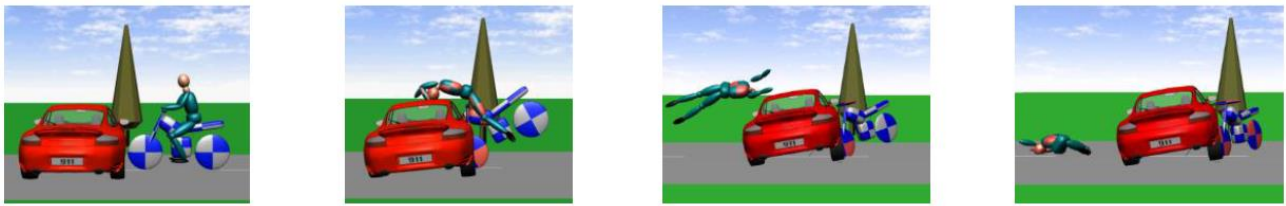
Kiekviena motociklo ir automobilio susidūrimo situacija turi būti nagrinėjama individualiai, norint nustatyti tikslias jų priežastis ir pasekmes. Įvairiuose tyrimų institutuose yra atliekama nemažai tyrimų šia tema, tačiau pripražintų standartų kaip turėtų būti vertinamas motociklininko saugumas kol kas nėra. Toliau bus aptarti keli jau atlikti tyrimai, kuriuose vertinamas motociklininko sužalojimas skirtingose susidūrimų situacijose, taip pat naudojamos saugumo priemonės.

2012 metais Lisabonos technikos universite atliktas tyrimas, kurio metu buvo atkuriamos realios motociklo ir automobilio avarijos pasinaudojant programa „PC-Crash“. Išnagrinėjus visos Portugalijos eismo įvykių statistiką buvo pasirinktos dažniausiai pasitaikančios situacijos, o tarp jų buvo ir šoninis susidūrimas 90° ir 45° kampais. Bandymams atlikti buvo pasirinkti trijų skirtingų tipų (pagal masę ir gabaritinius matmenis) automobiliai, kurie pavaizduoti 2.9 paveiksle.



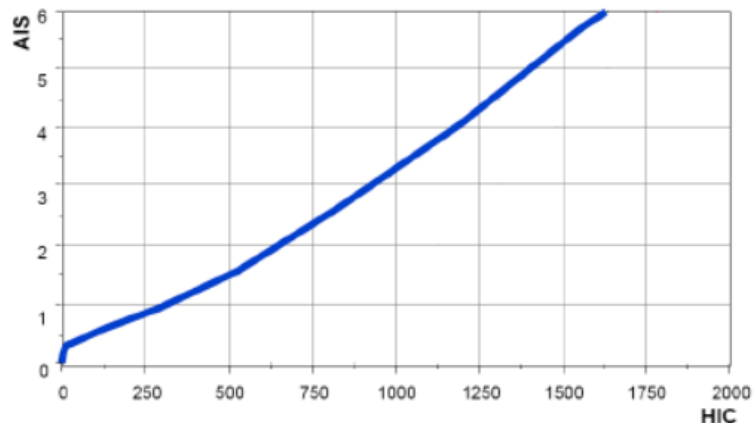
2.9 pav. Automobilių modeliai: a – sportinis, b – limuzino klasės, c – visureigis [15]

Pasirinkti susidūrimo greičiai – 50 km/h ir 120 km/h. Iš viso gauta 12 atvejų esant skirtingiems automobiliams, susidūrimo kampams ir greičiams. Kaip atrodo susidūrimo simuliacija programos „PC-Crash“ aplinkoje, pavaizduota 2.10 paveiksle.



2.10 pav. Automobilio ir motociklo 90° susidūrimas [15]

Pagrindinis dydis, pagal kurį buvo vertinamas motociklininko sužalojimo lygis buvo galvos sužalojimų kriterijus HIC. Pagal jo reikšmę buvo įvertinamas traumos sunkumas AIS skalėje. 2.11 paveiksle pateiktas grafikas, leidžiantis HIC dydį susieti su AIS balu.



2.11 pav. HIC ir AIS koreliacija [15]

Kaip buvo apibendrinami gauti rezultatai galima matyti 2.1 lentelėje. Pateikiama lentelė nurodo susidūrimo su sportinio tipo automobiliu rezultatus. Yra nurodomos HIC reikšmės gautos bandymų metu bei perskaičiuotos į reikšmes, kurios būtų gautos motociklininkui naudojant šalną, kadangi programa „PC-Crash“ neleidžia pasirinkti manekeno su šalnu, o tik pateikia kriterijaus perskaičiavimo metodiką. Kita vertus, šiuo atveju galima įvertinti šalmo įtaką avarijos metu.

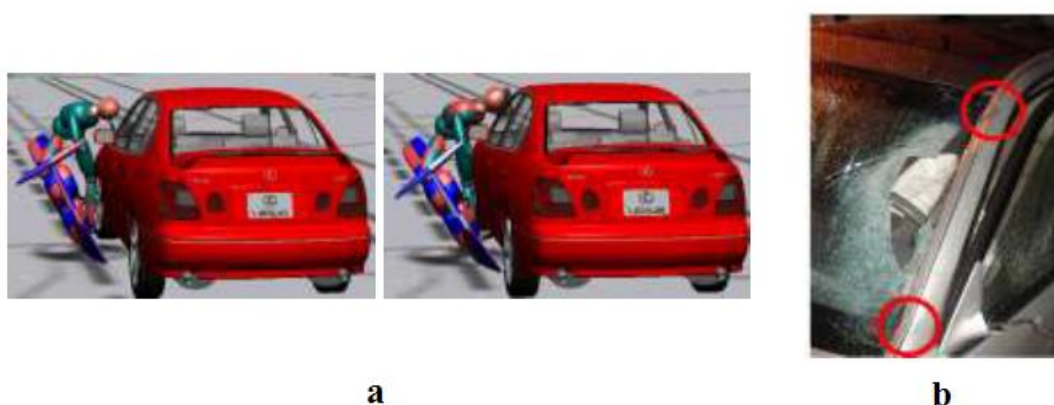
Susidūrimo motociklas – sportinis automobilis rezultatai [15]

V_M (km/h)	Θ (°)	HIC ₁₅ /HIC ₃₆	AIS	HIC _{šalmas}	AIS _{šalmas}	HIC ₁₅ /HIC ₃₆ ribos
50	90	566 / -	2	176	1	700 / 1000
	45	139 / -	1	43	1	
120	90	32644 / -	6	18934	6	
	45	- / 2628	6	1524	6	

Iš gautų rezultatų matyti, kad susidūrimas 90° kampu yra pavojingesnis negu 45°. Motociklininkui važiuojant 120 km/h greičiu ir susiduriant su automobiliu, nelieka jokių šansų išgyventi net ir dėvint šalmą, kuris paprastai padeda išvengti sunkesnių sužalojimų.

2013 metais buvo atliktas dar vienas tyrimas, kurio metu buvo nustatomas motociklininko sužalojimo lygis. Pasirinkta atkurti realias eismo įvykių situacijas ir jas išanalizuoti. Buvo lyginami programos „PC-Crash“ ir medicininių įstaigų išrašų duomenys ir pagal tai vertinama, kaip tiksliai galima atkurti eismo įvykius.

Atliekant bandymus buvo naudojamas manekenas, sudarytas iš elipsoidžių. Pasinaudojant dinamine analize, programa leidžia nustatyti kiekvienos elipsoidės pagreičius, greičius bei veikiančias jėgas. Prieš tai buvo apžvelgti visi sužeidžiamumo kriterijai, nustatytas jų ryšys su sutrumpinta sužalojimų skale AIS. Pagal šios skalės rezultatus įvertinta žūties tikimybė pagal sužalojimų sunkumo balą ISS. Buvo vertinami galvos, kaklo, krūtinės, pilvo, dubens bei apatinių ir viršutinių galūnių sužeidimai. Iš viso buvo išanalizuota net 20 atvejų, iš kurių 10 rezultatų palyginimas pateiktas 2.2 lentelėje. Susidūrimas, kurio eilės numeris lentelėje yra 3, pavaizduotas 2.12 paveiksle.



2.12 pav. a – susidūrimas programos „PC-Crash“ aplinkoje, b – realaus eismo įvykio pasekmės [13]

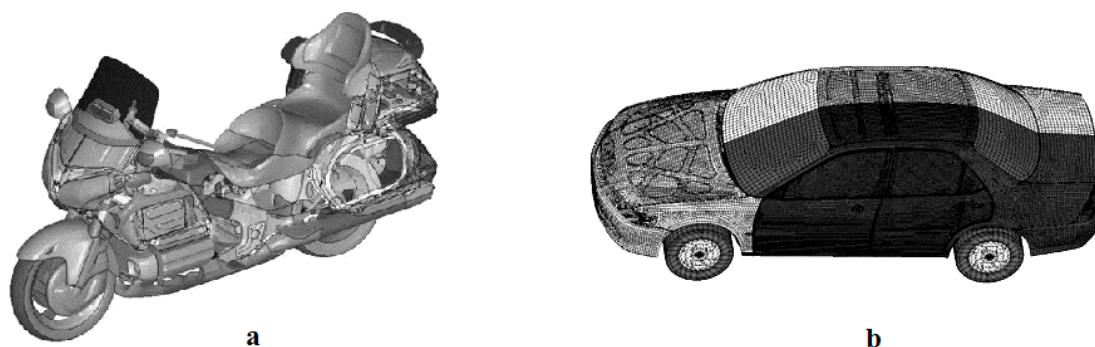
Visi atliekami bandymai buvo atkūriami kiek įmanoma realiau, siekiant gauti kuo tikslesnius duomenis. Pagrindinis skirtumas buvo tas, jog teko naudoti iš programos bibliotekos paimtą motociklo modelį, o ne kokrečius modelius, kurie patyrė avarijas.

Sužalojimų sunkumo balo palyginimas [13]

Eilės Nr.	Patirta trauma	ISS balas		Žūties tikimybė (%)	
		Bandymas	Med. išrašas	Bandymas	Med. išrašas
1	Mirtina	75	66	100	100
2	Mirtina	48	50	60	60
3	Mirtina	27	57	50	50
4	Mirtina	75	75	100	100
5	Lengva	4	0	0	0
6	Lengva	0	1	0	0
7	Mirtina	27	22	20	15
8	Mirtina	66	34	100	30
9	Mirtina	41	41	40	40
10	Lengva	17	9	5	0

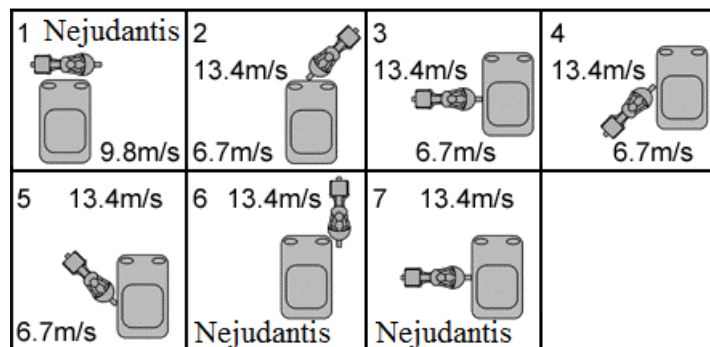
Pagal lentelėje pateiktus duomenis galima daryti išvadą, kad programa „PC-Crash“ atkurti avarių modeliai leidžia ganėtinai tiksliai nustatyti avarių pasekmes. O tai yra gera žinia motociklų ir automobilių kūrėjams, kurie remdamiesi skaitiniais tyrimais, galėtų projektuoti saugesnes transporto priemones.

Skaitinių tyrimų metu taip pat yra nustatoma saugumo priemonių įtaka motociklininko sužalojimams. „Honda“ tyrimų centre Japonijoje buvo tiriama oro pagalvės įtaka susidūrimo metu. Tyrimui pasirinktas turistinis motociklas „Honda GL1800“ su gamykliškai įmontuota oro pagalve (žr. 2.13 pav.). Susidūrimui taip pat naudotas 2000 metų modelio „Honda Accord“ automobilis, kuris pavaizduotas 2.13 pav. Paveikslo b dalyje taip galima išskirti tai, kad šviesiai pilkos zonos yra standžios, t.y. nesideformuoja, o tamsiai pilkos – deformuojasi. Tai leidžia sutrumpinti kompiuterinio skaičiavimo laiką.



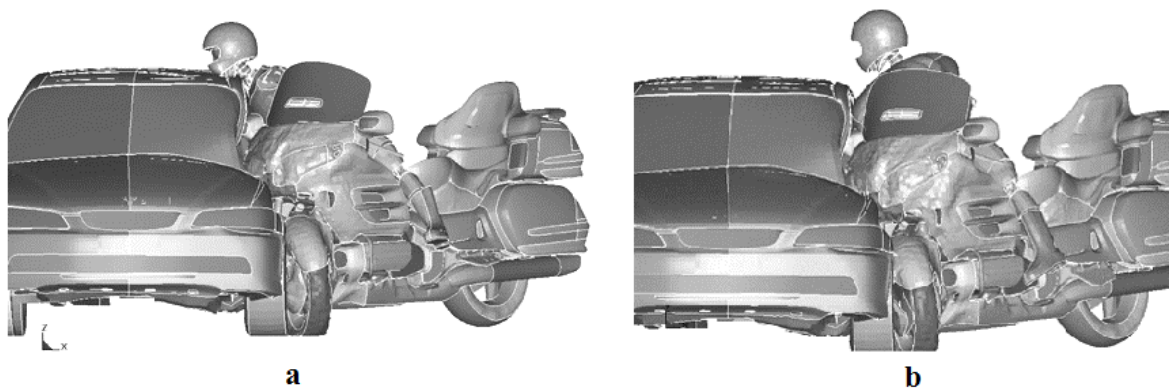
2.13 pav. Tyrimė naudoti motociklo „Honda GL1800“ ir automobilio „Honda Accord“ modeliai [16]

Buvo atliekami tiek skaitiniai, tiek realūs bandymai. Skaitiniai bandymai buvo atliekami baigtinių elementų skaičiavimo programa „LS-DYNA“. Susidūrimų situacijos buvo pasirinktos pagal ISO/CD 13232 standartą (žr. 2.14 pav.). Bandymų rezultatai taip pat buvo palyginami ir tarpusavyje, kaip koreliuoja vienas ar kitas dydis, realaus ir skaitinio bandymo metu. Gauti koreliacijos koeficientai siekė net iki 0,93, o tai parodo, jog yra stiprus ryšys tarp realių ir skaitinių bandymų rezultatų.



2.14 pav. Atliekamų bandymų situacijos pagal ISO 13232 standartą [16]

2.15 paveiksle galima aiškiai pamatyti oro pagalvės naudą. Paveikslo a dalyje pavaizduotas manekeno smūgis į automobilio stogą. Paveikslo b dalyje manekeno galva į automobilį neatsitrenkia, kadangi išsiskleidžia oro pagalvė. Abu pavaizduoti atvejai yra praėjus 0,1 sekundės po susidūrimo. Sužeidimai buvo vertinami pagal AIS skalę, rezultatai pateikti 2.3 lentelėje.



2.15 pav. Šoninis susidūrimas: a – be oro pagalvės, b – su oro pagalve [16]

2.3 lentelė

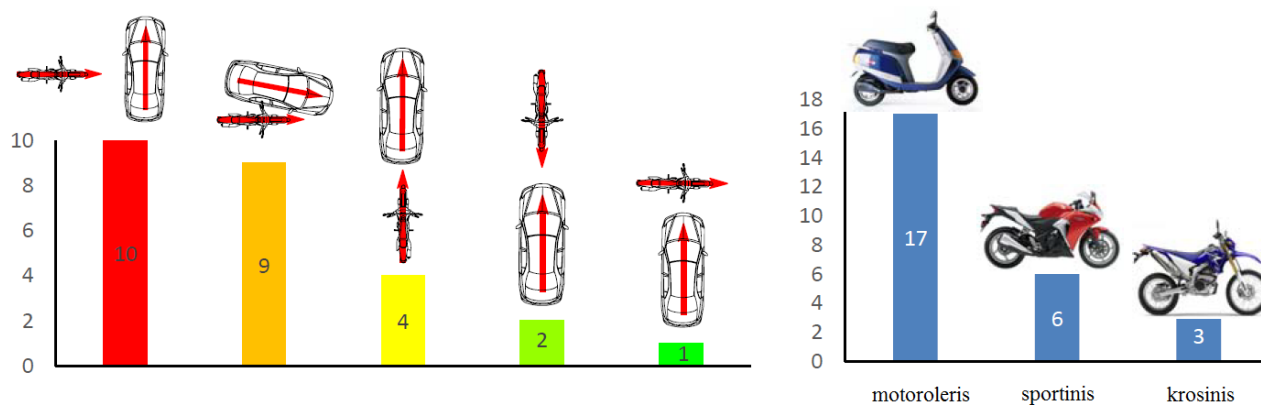
AIS balų palyginimas susidūrimo metu su oro pagalve ir be jos [16]

	Be oro pagalvės	Su oro pagalve
Galva	6	0
Kaklas	4	0
Krūtinė	1	1
Pilvas	0	0
Kojos	3	3

Susidūrimo metu, kai nenaudojama oro pagalvė, smūgis galva į automobilio stogą būtų mirtinas, o panaudojant oro pagalvę būtų galima išvengti net lengvo galvos sužalojimo. Taip pat pastebėta, kad didžiausias oro pagalvės efektyvumas yra kai susidūrimo greitis siekia nuo 20 iki 25 m/s. Taigi buvo priimta išvada, jog oro pagalvių naudojimas motocikluose galėtų išgelbėti ne vieną motociklininko gyvybę susidūrimo su kita transporto priemone metu [16].

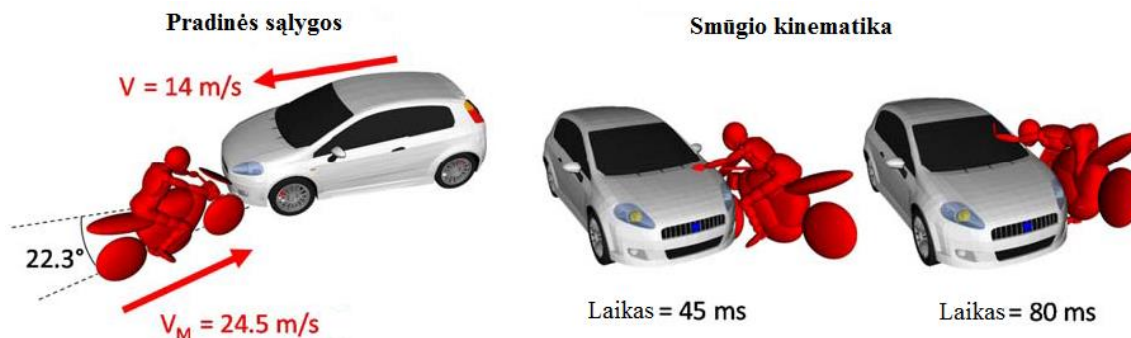
2016 metais IRCOBI (International Research Council On Biomechanics of Injury) konferencijoje buvo pristatytas straipsnis apie naują motociklininkų šalmų bandymų būdą. Šio tyrimo tikslas yra įrodyti smūgio metu veikiančių tangentinį jėgų įtaką galvos sužeidimams. Buvo pasirinktos 26 motociklo avarijų situacijos iš Florencijos universiteto duomenų bazės. Joje kaupiama informacija yra naudojama Europoje vykdomiems projektams, kurie skirti didinti dviračių transporto priemonių saugumą kelyje.

2.16 paveiksle pavaizduotos pasirinktos susidūrimų situacijos, kokio tipo motociklai dalyvavo susidūrimuose. Dažniausiai pasitaikančios situacijos buvo motociklo smūgis į automobilio šoną ir automobilio manevras į motociklą važiuojant lygiagrečiai. Išskiriant motociklų tipą, avarijas dažniausiai patirdavo motorolerių vairuotojai.



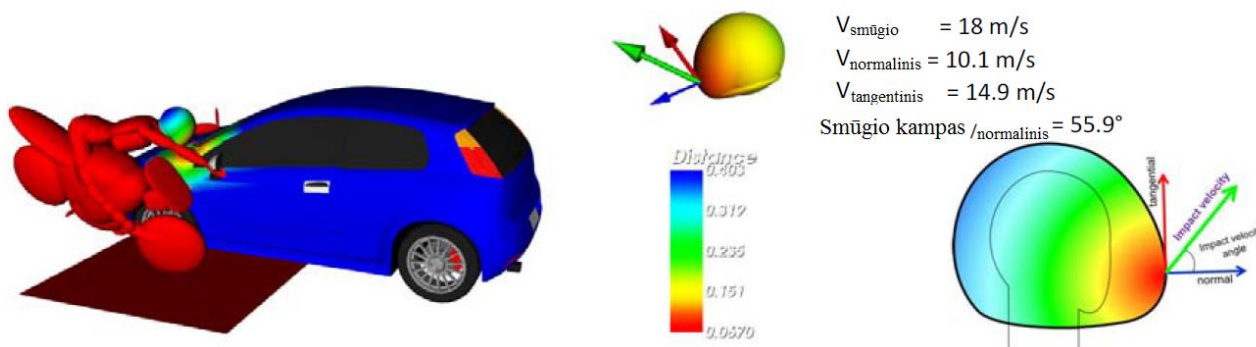
2.16 pav. Susidūrimų situacijos ir motociklų tipai naudoti tyrimuose [17]

Kiekvienas pasirinktas susidūrimo atvejis turėjo aprašymą, t.y. buvo eismo įvykio nuotraukos, nurodyti transporto priemonių modeliai, eismo įvykio aplinkybės ir pan. Kad būtų išsiaiškinta koku greičiu važiuavo kiekviena transporto priemonė ir koku kampu susidūrė, buvo panaudota avarijų atkūrimo programa „Virtual Crash“. Taip buvo nustatomos situacijų pradinės sąlygos (žr. 2.17 pav.).



2.17 pav. Susidūrimo pradinės sąlygos ir smūgio kinematika [17]

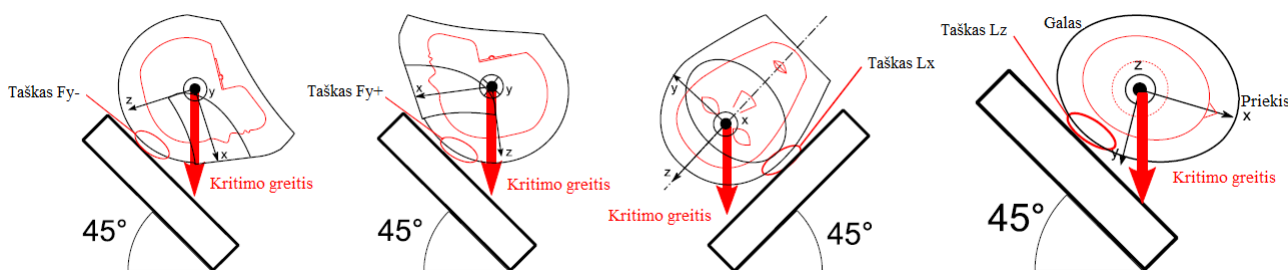
Nustačius pradines sąlygas buvo modeliuojama susidūrimo situacija. Motociklas ir manekenas buvo sudarytas iš elipsoidžių programa „MADYMO“, o pati situacija atkurama programoje „PC-Crash“. Tam, kad būtų gautos greičių kryptys galvos ir automobilio kontakto zonoje, buvo panaudotas „Python“ programos tekstas. Kaip vaizduojami greičių vektoriai kontakto zonoje, pavaizduota 2.18 paveiksle. Taip buvo analizuojama kiekviena situacija atskirai, kol gauti reikiami rezultatai.



2.18 pav. Galvos smūgis į automobilį ir greičių kryptys kontakto zonoje [17]

Tangentine kryptimi veikiantys greičiai verčia galvą pasisukti, atsiranda kampinis pagreitis, kuris turi įtakos galvos sužeidimams. Straipsnyje sukritikuotas motociklininko šalmų bandymų standartas ECE R22.05. Pagrindinis minusas yra tas, jog vertinami tik linijiniai greičiai skirtingose šalmo vietose. Buvo pasiūlyta nauja šalmų vertinimo metodika, leidžianti matuoti ir kampinius pagreičius.

Visų pirma nutarta pakeisti pagal ISO standartą naudojamą galvos formą į Hybrid III manekeno galvą, kurioje yra sumontuotas 6 krypčių pagreičių matavimo įtaisas. Šalmas su šia galva turėtų laisvai kristi į 45° pasvirusią standžią plokštę, 8,5 m/s greičiu. Bandymo schemos pateiktos 2.19 paveiksle.



2.19 pav. Bandymų metodika, leidžianti nustatyti kampinius pagreičius apie x, y, ir z ašis [17]

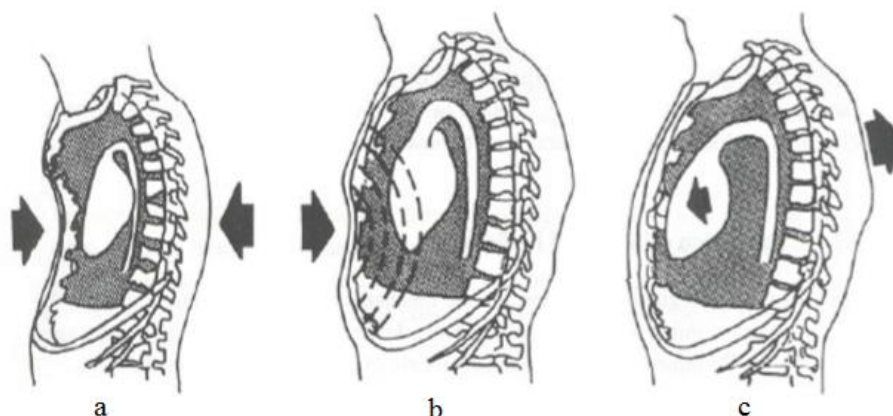
Pirmais dviem atvejais bus gaunamas sukimasis apie y ašį (taškuose Fy- ir Fy+), jis nurodo galvos momentą į priekį ir atgal. Trečiu atveju gaunamas galvos pasisukimas apie x ašį (taške Lx), tai galvos palinkimas į šalis. Paskutiniu atveju gaunamas galvos pasisukimas apie z ašį (taške Lz), kai galva pasisuka į šoną. Sudaryta nauja metodika, įvertinanti kampinius pagreičius, leistų gauti tikslesnius HIC kriterijaus rezultatus, todėl atliekamų bandymų rezultatai taptų dar realistiškesni [17].

3. SUŽEIDŽIAMUMO KRITERIJAI IR JŲ LEISTINOS RIBOS

3.1. Sužeidimų biomechanika

Jeigu koks nors išorinis veiksnys sužaloja kūno audinius ar organus, žmogus patiria traumą. Kai kurios traumos gali sukelti anatominius pakitimus, kurie sutrikdo įprastas organizmo funkcijas. Traumas sukeltantys veiksniai yra skirstomi į grupes pagal poveikio principą. Kalbant apie avarijų metu patirtas traumas yra išskiriami tokie jas sukeliančių apkrovų tipai:

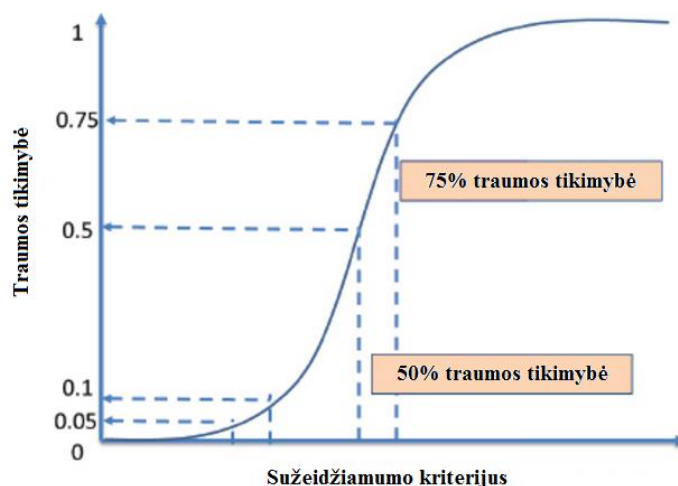
- *Tampri apkrova.* Kai spaudimo ir tempimo jėgos viršija kūno dalių tamprumo ribas, yra patiriama trauma. Tokią traumą gali sukelti tiek lėta deformacija, tiek didelio greičio poveikis.
- *Impulsinio tipo apkrova.* Kai kūną veikiančios mechaninės bangos sukelia vidaus organų sužalojimus.
- *Inercinių jėgų apkrova.* Kai kūną veikiantis pagreitis sukelia vidaus organų sužalojimą dėl inercijos poveikio [8].



3.1 pav. Traumas sukeliančios apkrovos: a – tampri, b – impulsinė, c – inercinių jėgų [8]

Sužeidžiamumo kriterijus apibūdinamas kaip fizinis parametras, kuris priklauso nuo nagrinėjamos kūno dalies traumos sunkumo. Dažniausiai naudojami parametrai yra tie, kuriuos lengva nustatyti bandymais. Tokiems bandymams yra naudojami manekenai. Įprastai matuojami įvairių kūno dalių pagreičiai, jas veikiančios jėgos bei momentai [8].

Taip pat yra naudojamos traumų rizikos kreivės, kurios apibūdina tikimybę patirti traumą. Vienas iš kreivės pavyzdžių yra pateiktas 3.2 paveiksle. Y ašyje yra nurodoma traumos tikimybė procentais, o x ašyje pateikiamas sužeidžiamumo kriterijus. Norint gauti įvairių kriterijų kreives, reikia parinkti atliekamų bandymų sąlygas, nes jos yra labai svarbios traumų rizikos kreivių patikimumui. Kartais tokie faktoriai kaip amžius ar lytis, yra įtraukiami į traumų rizikos kreivių sudarymą, tačiau dažniausiai turima per mažai informacijos apie šių faktorių įtaką kreivėms. Verta paminėti, kad žmogaus kūno sudėjimas gali turėti didelės įtakos traumų rizikos kreivių neatitikimams [8].



3.2 pav. Traumų rizikos kreivės pavyzdys [18]

Terminas leistina riba (arba sužeidžiamumo kriterijaus riba) yra apibūdinamas kaip apkrovos dydis, pagal kurio reikšmę yra nustatoma traumos rizika ir jos sunkumas. Traumų rizikos kreivės dažniausiai remiasi duomenimis, gautais atliekant eksperimentus su manekonais ar žmogaus skeletu. Būtent eksperimentų metu yra gaunamos leistinos ribos, kurios apibrėžiamos pagal kūno dalis bei konkrečios traumos sunkumą.

Viena iš rimtų metodinių problemų yra tai, kad eismo įvykio metu labai retai pažeidžiamas vienas organas. Sužeidimai, kuriuos žmogus gali patirti avarijos metu, dažniausiai, yra kompleksiniai, sunkiai aprašomi kiekybiniais rodikliais. Traumos sunkumas gali būti apibūdinamas naudojant vertinimo skales, kuriose traumos vertinamos pagal kūno dalis. Žinomiausia anatomicinė vertinimo skalė, kuri priimta visame pasaulyje, yra sutrumpinta sužalojimų skalė AIS (Abbreviated Injury Scale). Šios skalės vertinimas pateiktas 3.1 lentelėje [8, 19].

3.1 lentelė

Sutrumpinta sužalojimų skalė AIS

AIS balas	Trauma	Žūties tikimybė (%)
1	Lengva	0,0
2	Vidutinė	0,1–0,4
3	Rimta	0,8–2,1
4	Sunki	7,9–10,6
5	Kritinė	53,1–58,4
6	Mirtina	–

Pagal kiekvieną balą galima pateikti kelis pavyzdžius:

- AIS = 1 – lengvi sužeidimai (paviršiniai odos pažeidimai, negilios žaizdos, mėlynės, sulaužytas nosies kaulas, sulaužytas šonkaulis);

- AIS = 2 – vidutiniai sužeidimai (gilioji žaizda, smegenų sukrėtimas, jei sąmonė prarasta ne ilgiau nei 15 min., daugybiniai šonkaulių lūžiai);
- AIS = 3 – rimti sužeidimai (galvos smegenų sukrėtimas, kai sąmonė prarandama iki vienos val., pažeidžiama diafragma);
- AIS = 4 – sunkūs sužeidimai (smegenų sukrėtimas, kai sąmonė prarandama iki vienos paros, trūkusi blužnis, sužalotas skrandis, nutraukta koja virš kelio (pavojinga, nes pažeidžiama arterija ir labai greitai nukraujuojama));
- AIS = 5 – kritiniai sužeidimai (smegenų sukrėtimas, kai sąmonė prarandama virš paros, širdies, kepenų, žarnyno sužalojimai, stuburo smegenų sužalojimai, stuburo slankstelių persislinkimai su smegenų pažeidimais);
- AIS = 6 – sužeidimai, kai nelieta galimybių išgyventi (kaukolės lūžiai, sulaužyta krūtinė).

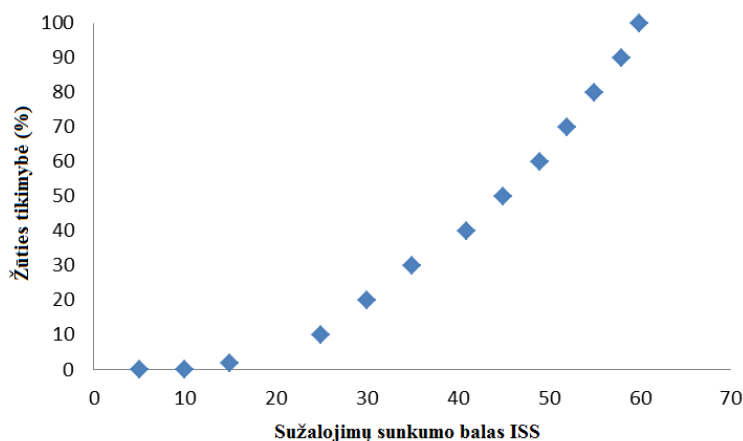
Šios skalės paskirtis yra standartizuoti sužalojimų terminą, suskirstyti sužalojimus pagal jų sunkumą kiekvienai kūno daliai. Tai yra visuotinė sužalojimų sunkumo vertinimo skalė. [10, 19].

Nepaisant stiprios koreliacijos tarp AIS balo ir žūties tikimybės, t.y. kuo didesnis AIS balas, tuo didesnė žūties tikimybė, AIS nėra skirtas apibūdinti bendrą kūno sužeidimą. Avarijų atveju labai retai sužeidžiama tik viena kūno dalis, todėl reikalingas kriterijus, kuris galėtų apibendrinti viso kūno sužalojimus. Toks kriterijus, kurį galima išreikšti per AIS, yra sužalojimų sunkumo balas ISS (Injury Severity Score). Jis lygus trijų didžiausių AIS balų kvadratų sumai, įskaitant galvos ar kaklo, veido, krūtinės, pilvo ar dubens ir galūnių sužeidimus (3.1 formulė).

$$ISS = AIS_1^2 + AIS_2^2 + AIS_3^2 \quad (3.1)$$

čia: AIS_1 – aukščiausias balas bet kurioje kūno dalyje; AIS_2 – aukščiausias balas bet kurioje kūno dalyje, išskyrus AIS_1 ; AIS_3 – aukščiausias balas bet kurioje kūno dalyje, išskyrus AIS_1 ir AIS_2 .

ISS balas svyruoja nuo 0 iki 75, kur 75 atitinka trys AIS 5 traumos. Viena AIS 6 trauma automatiškai prilyginama 75 balams. Koreliacija tarp ISS balo ir žūties tikimybės yra pavaizduota 3.3 paveiksle [13].



3.3 pav. Sužalojimų sunkumo balo ISS kreivė pagal žūties tikimybę [13]

Kaip matyti iš kreivės, žūties tikimybė pagal ISS balą nėra tiesinė. Pavyzdžiui, jeigu patirta vienos kūno dalies AIS 5 trauma, žūties tikimybė yra 10 %, tačiau jeigu patirta jau dviejų kūno dalių AIS 5 trauma, tikimybė žūti išauga iki 60 % [13].

3.2. Galvos sužeidimų kriterijus

Avarijų metu patirtos galvos traumos vis dar yra pagrindinė mirties ar neįgalumo priežastis, nors kasmet padaroma pažanga, siekiant padidinti galvos saugumą. Pagrindinis dydis nusakantis galvos sužeidimo dydį yra galvos sužeidimų kriterijus HIC (Head Injury Criteria). Jį pasiūlė jau minėta NHTSA organizacija 1972 metais. Buvo reglamentuota, kad 80 g dydžio pagreitis galvos negali veikti ilgiau nei 3 ms ir šis apribojimas yra taikomas iki šiol. HIC dydis gali būti apskaičiuojamas pagal 3.2 formulę:

$$HIC = \max \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (3.2)$$

čia: a – galvos pagreitis, išreiškiamas santykiniu dydžiu – g reikšmėmis; t_1 ir t_2 – intervalo pradžios ir pabaigos laikas, parenkant taip, kad HIC būtų didžiausias ($t_2 - t_1 \leq 15$ ms).

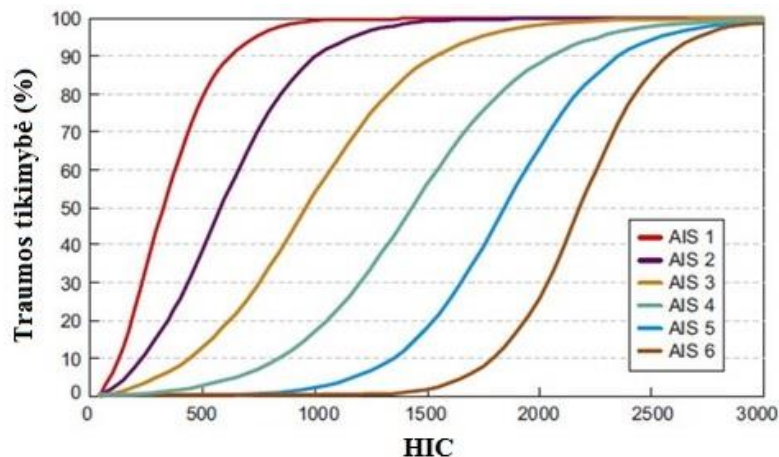
Federalinė motorinių transporto priemonių saugumo ir standartų organizacija FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety and Standards) nustatė maksimalią HIC reikšmę, kuri buvo lygi 1000, o laiko intervalas negalėjo būti didesnis kaip 36 ms. Kai HIC reikšmė yra lygi 1000, 16 % žmonių patiria mirtiną smegenų traumą jeigu impulsas sukaupiamas per daugiau negu 15 ms. Tai parodo, kad didesnis pagreitis trumpesnį laiką yra mažiau žalingas negu mažesnis pagreitis, kuris trunka ilgesnį laiko tarpą. Nuo 2000 metų, NHTSA organizacija nurodė maksimalią HIC reikšmę skaičiuoti 15 ms laiko tarpui. 3.2 lentelėje yra pateiktos HIC leistinos ribos skirtingiems individams, kai pagreitis veikia ne ilgiau kaip 15 ms [11].

3.2 lentelė

HIC₁₅ leistinos ribos

Individas	Didelis vyras	Vidutinis vyras	Maža moteris	6 metų vaikas	3 metų vaikas	1 metų vaikas
HIC₁₅ leistina riba	700	700	700	700	570	390

Teigiama, kai HIC₁₅ pasiekia 700, yra 5 % tikimybė patirti sunkią galvos traumą. Vertinant pagal AIS skalę, tokia trauma jau būtų vertinama 4 balais. Šią koreliaciją nurodo 3.4 paveiksle pavaizduotos kreivės. Pagal jas galimas nustatyti skirtingų traumų tikimybę AIS skalėje keičiantis HIC kriterijaus reikšmei [8].

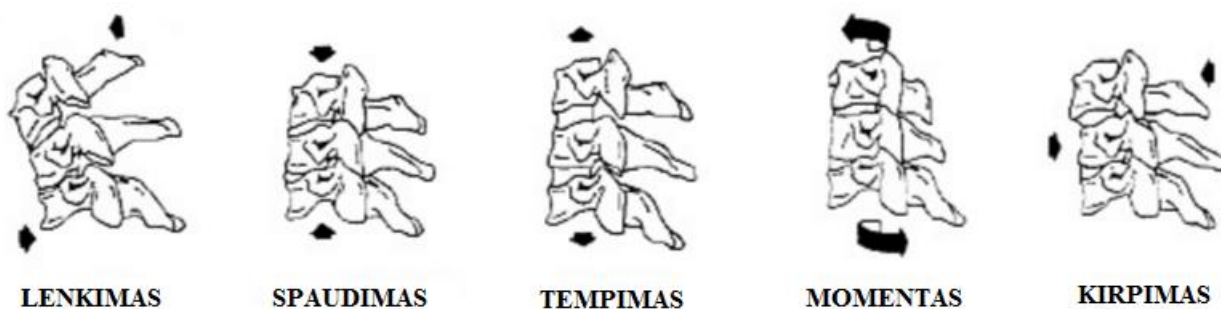


3.4 pav. Traumos tikimybės priklausomybė nuo HIC reikšmės pagal AIS skalę [8]

Žinoma, HIC kriterijus nėra pakankamas žmogaus sužalojimams apibūdinti, todėl naudojami ir kitų kūno dalių sužeidimų vertinimo kriterijai.

3.3. Kaklo sužeidimų kriterijus

Kai avarijos metu žmogaus galva trenkiasi į nejudantį objektą, smūgio metu dideles apkrovas patiria ir kaklas. Apkrovos kaklo slanksteliams būna kelių tipų, jie pavaizduoti 3.5 paveiksle. Šios apkrovos gali paveikti visą stuburą iki pat juosmens. Kaklo traumos yra labai pavojingos, nes žmogus gali likti paralyžuotas visam gyvenimui ar netgi žūti.



3.5 pav. Kaklo slanksteliams tenkančių apkrovų tipai [9]

Sužeidimų sunkumui nustatyti yra naudojamas kaklo sužeidimų kriterijus NIC (Neck Injury Criterion). Šis kriterijus nurodo santykinę pagreitį tarp C1 ir T1 stuburo slankstelių bei yra apskaičiuojamas pagal sekančią formulę:

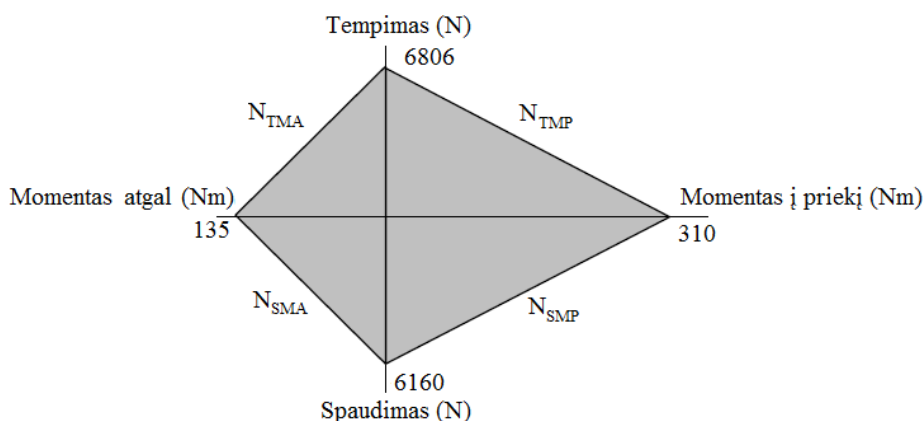
$$NIC = 0,2a_{rel}(t) + V_{rel}^2(t) \quad (3.3)$$

čia: a_{rel} ir V_{rel} – stuburo slankstelių C1 ir T1 poslinkio vienas kito atžvilgiu pagreitis bei greitis.

Tokie matavimai bandymų metu yra labai sudėtingi, todėl NHTSA organizacija pasiūlė naudoti N_{ij} kriterijų, kuriam apskaičiuoti yra reikalingos kaklą veikiančios jėgos ir momentai. Pagal šiuos matavimus yra daug lengviau nustatyti galimos traumos sunkumą. N_{ij} yra skaidomas į keturias dedamąsias (žr. 3.6 pav.): N_{TMA} (tempimas – momentas atgal), N_{TMP} (tempimas – momentas į priekį), N_{SMA} (spaudimas – momentas atgal) ir N_{SMP} (spaudimas – momentas į priekį). Kiekviena dedamoji yra apskaičiuojama pagal 3.4 formulę [11]:

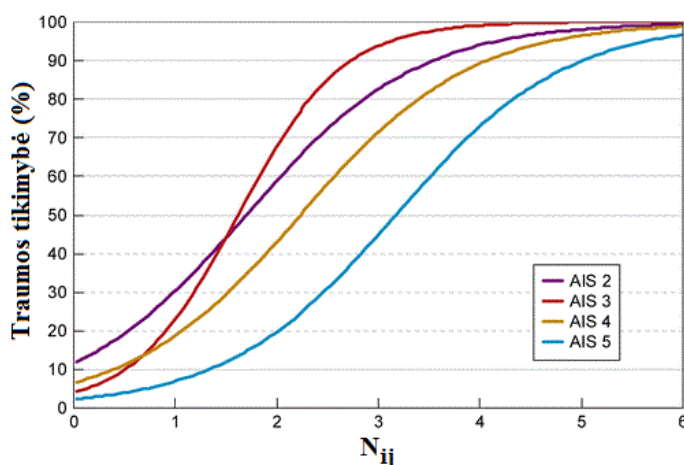
$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{int}} + \frac{M_y}{M_{int}} \quad (3.4)$$

čia: F_z – kaklą veikianti tempimo arba spaudimo ašinė jėga, N; F_{int} – leistina ašinė jėga kaklui, N; M_y – kaklą veikiantis lenkimo momentas, Nm; M_{int} – leistinasis lenkimo momentas kaklui, Nm.



3.6 pav. N_{ij} kriterijaus dedamosios bei leistinos tempimo, spaudimo ir momentų reikšmės vidutinio dydžio vyrui[12]

Pagal FMVSS paruoštą specifikaciją nr. 208 reikalaujama, kad bendra N_{ij} dedamųjų suma neviršytų 1 [11]. Šio kriterijaus ryšys su AIS skale nurodytas 3.7 paveiksle. Pagal duotas kreives galima nustatyti kaklo traumos sunkumą bei jos tikimybę.



3.7 pav. Traumos tikimybės priklausomybė nuo N_{ij} reikšmės pagal AIS skalę [8]

N_{ij} kriterijaus reikšmei pasiekus 1, yra 18 % tikimybė patirti sunkią (AIS 4) traumą, jei N_{ij} padidėja iki 1,4 – sunkios traumos tikimybė išauga iki 30 %.

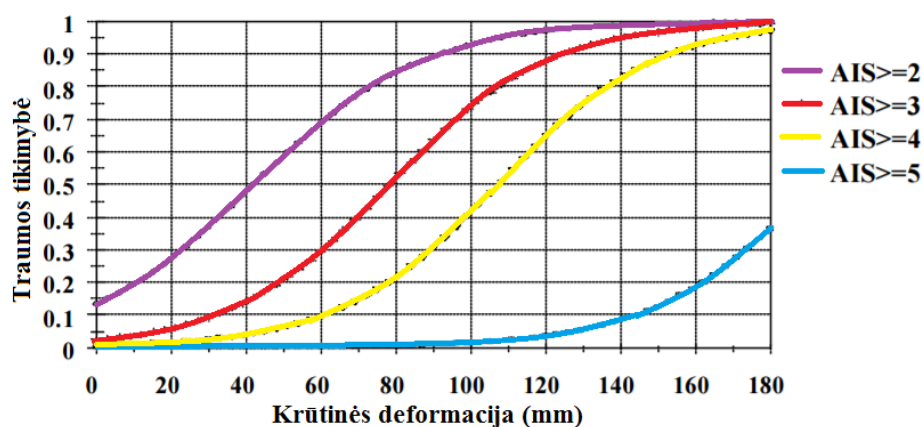
3.4. Krūtinės sužeidimų kriterijus

Krūtinės ląstos sužeidimai tiesiogiai priklauso nuo krūtinės deformacijos dydžio, patirto avarijos metu. Deformacija priklauso nuo kinetinės energijos, standumo bei objekto, į kurį trenkiamasi krūtine, formos. Sužeidimai atsiranda, kai deformacijos dydis viršija krūtinės ląstos tamprumo ribą, patiriami šonkaulių, krūtinkaulio ar net stuburo lūžiai. Taip pat dažnai yra sužeidžiami ir vidaus organai: stemplė, plaučiai, diafragma, širdis ir kt.

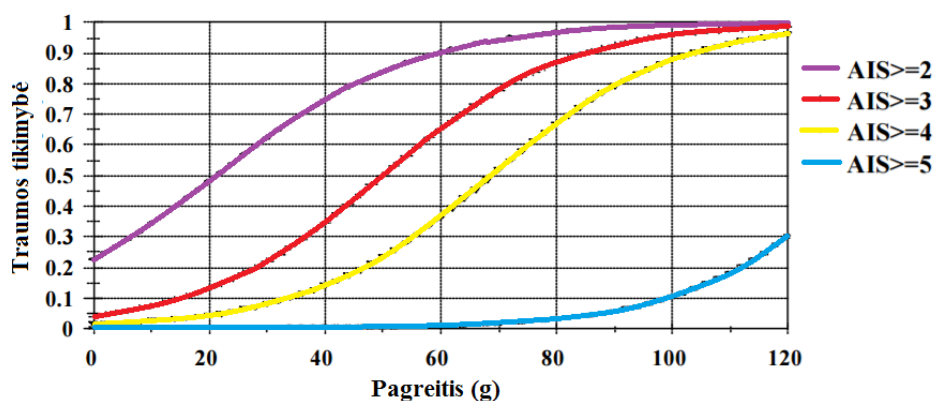
Nemažiau pavojingi yra ir krūtinės ląstą veikiančios pagreičiai. Jie gali sukelti vidaus organų įtrūkimus, arterijų plyšimus. Ypač pavojingas yra aortos plyšimas [13].

Krūtinės sužeidimams įvertinti yra naudojamas mišrus krūtinės ląstos indeksas CTI (Combined Thoracic Index). Jis apibūdina krūtinės deformaciją ir veikiančius pagreičius. Atlikta nemažai tyrimų, kol visgi buvo priimta, kokio dydžio deformacija yra leistina. Taigi, 50 % reprezentavimo lygio vyrui, krūtinės deformacija neturėtų viršyti 63 mm. Krūtinę veikiantis 60 g dydžio pagreitis negali veikti ilgiau negu 3 ms. Vertinti tik veikiančiam pagreičiui yra naudojamas krūtinės sužeidimo indeksas CSI (Chest Severity Index). Šio kriterijaus reikšmė negali viršyti leistinos ribos, kuri yra 700 [11].

Pagal krūtinės deformaciją ir veikiančius pagreičius, pasinaudojant priklausomybės kreivėmis (žr. 3.8 ir 3.9 pav.), galima nustatyti traumos sunkumą pagal AIS skalę [12].



3.8 pav. Traumos tikimybės priklausomybė nuo krūtinės deformacijos dydžio pagal AIS skalę [12]



3.9 pav. Traumos tikimybės priklausomybė nuo krūtinę veikiančio pagreičio dydžio pagal AIS skalę [12]

Kai krūtinės deformacija siekia 63 mm, tikimybė patirti sunkią traumą yra 10 %, o veikiant 60 g dydžio pagreičiui tokia tikimybė yra jau 35 %. Taigi krūtinę veikiantys pagreičiai gali padaryti daugiau žalos krūtinės ąstai ir vidaus organams negu krūtinės deformacija.

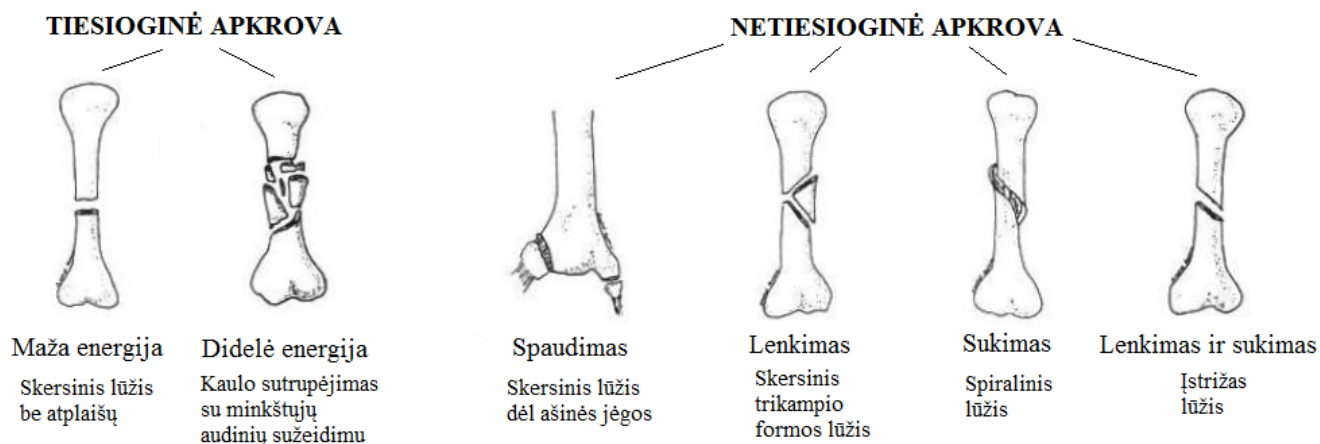
3.5. Dubens sužeidimų vertinimas

Kalbant apie dubenį, dažniausiai kartu kalbama ir apie šlaunį. Taip yra todėl, kad dažniausia trauma dubens zonoje yra lūžis tarp šlaunikaulio ir šlaunikaulio galvutės, kuri yra dubens kauluose. Deja, yra atlikta per mažai bandymų, jog būtų priimta vieninga vertinimo sistema dėl veikiančių jėgų dubens srityje. Atliekant bandymus su manekenais dažniausiai yra matuojamas dubens šoninis pagreitis. Pagal FMVSS standartą priimta, kad jis negali viršyti 130 g.

Reikėtų paminėti, kad šis kriterijus nustatytas visam dubeniui. Jeigu apkrauta būtų tik viena dubens pusė, lūžis galimas jau esant net ir dvigubai mažesnei apkrovai, todėl vertinti galimas dubens traumas yra sudėtinga [13].

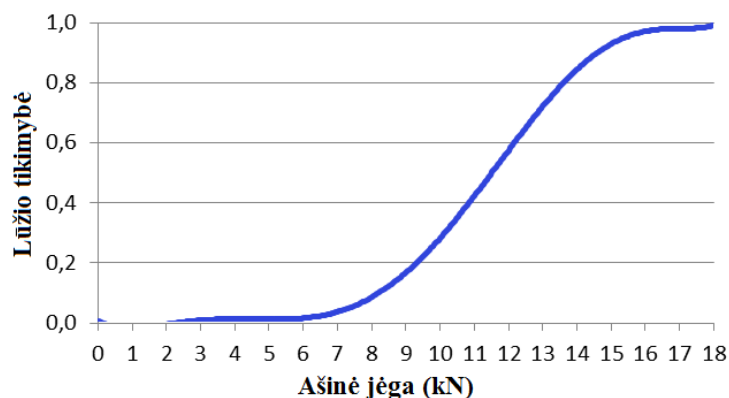
3.6. Apatinių galūnių sužeidimų vertinimas

Kaip ir prieš tai minėtas dubuo, taip ir apatinės galūnės dažniausiai patiria lūžius. Pagrindiniai apatinių galūnių kaulai, kurie lūžta avarijų metu yra šlaunikaulis, blauzdikaulis ir šėivikaulis. Atsižvelgiant į patiriamas traumas yra išskiriami keturi tipai pagal apkrovą: tiesioginis, netiesioginis, pasikartojantis ir ardantysis. Avarijų metu įmanoma patirti visų tipų apkrovas, išskyrus pasikartojančią. Ardantysis tipas yra kai aštrus daiktas sužaloja kurią nors kūno dalį, t.y. padaro atvirą žaizdą. Tiesioginio ir netiesioginio tipo akrovos su pavyzdžiais pavaizduotos 3.10 paveiksle [14].



3.10 pav. Tiesioginės ir netiesioginės apkrovos tipai bei jų pavyzdžiai [14]

Yra priimti vertinimo kriterijai, kurie nurodo, kad kojos kaulus veikianti ašinė jėga negali viršyti tam tikros vertės. Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (Femur Force Criterion) nurodo, kad šlaunikaulį veikianti ašinė jėga negali būti didesnė negu 10 kN. Šlaunikaulio lūžio tikimybės kreivė pavaizduota 3.11 paveiksle. Pasiekus leistiną 10 kN ribą, lūžio tikimybė yra 30 % [11, 13].



3.11 pav. Šlaunikaulio lūžio tikimybės priklausomybė nuo ašinės jėgos [13]

Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijaus TCFC (Tibia Compression Force Criterion) maksimali reikšmė siekia 8 kN. Jeigu avarijos metu kaulų ašinės apkrovos neviršija šių ribų, yra didelė tikimybė išvengti kaulų lūžių [11].

3.7. Sužeidžiamumo kriterijų santrauka

Apibendrinant visą 3 skyrių, 3.3 lentelėje yra pateikiami visi aptarti kriterijai ir jų leistinos ribos.

3.3 lentelė

Sužeidžiamumo kriterijai

Kriterijus	Leistina riba
Galvos sužeidimų kriterijus HIC ₁₅	700
Kaklo sužeidimų kriterijus N _{ij}	1,0
Tempimas (N)	6806
Spaudimas (N)	6160
Momentas atgal (Nm)	135
Momentas į priekį (Nm)	310
Krūtinės sužeidimų kriterijus CSI	700
Krūtinės deformacija (mm)	63
Dubens šoninis pagreitis (g)	130
Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (kN)	10 kN
Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijus TCFC (kN)	8 kN

Remiantis šiais kriterijais bus vertinamas motociklininko sužeidimų lygis susidūrimo metu.

4. SKAITINIS MOTOCIKLO IR AUTOMOBILIO SUSIDŪRIMO TYRIMAS

Skaitiniam tyrimui atlikti buvo pasirinkta baigtinių elementų skaičiavimo programa „LS-DYNA“, su kuria galima sumodeliuoti realias, mūsų aplinkoje vykstančias, situacijas. Ši programa dažnai naudojama automobilių, aviacijos, statybos, gamybos ir bioinžinerijos pramonėse. Kartu bus naudojama ir programa „LS-PrePost“, kuri leidžia apdoroti gautus rezultatus.

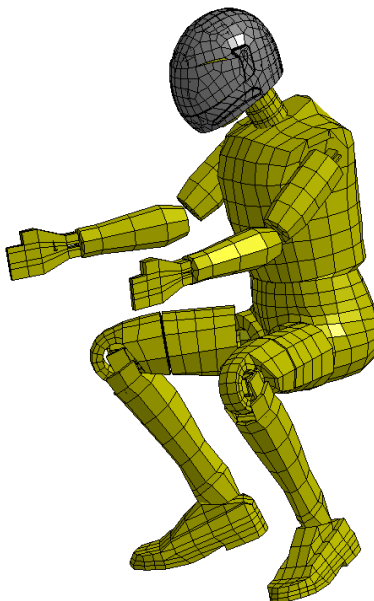
Susidūrus motociklui ir automobiliui, motociklininkas (manekenas) nulekia nuo motociklo ir trenkiasi į automobilį. Šio pirminio smūgio į automobilį metu yra matuojami motociklininką veikiantys pagreičiai, jėgos bei momentai. Toliau pagal 3 skyriuje aprašytą sužeidžiamumo vertinimo metodiką, kuri apibrėžia įvairių kūno dalių vertinimo kriterijų leistinąsias ribas, nustatomas motociklininko kūno sužalojimų sunkumas pagal AIS skalę. Šie rezultatai yra perskaičiuojami į sužalojimų sunkumo balą ISS, pagal kurį įvertinama motociklininko tikimybė žūti susidūrimo metu. Tokiu būdu galima nustatyti, kuris susidūrimas motociklininkui yra „saugiausias“, o kuris pavojingiausias.

4.1. Tyrime naudojami modeliai

Tiriant susidūrimą yra išskiriami trys modeliai: manekenas, motociklas ir lengvasis automobilis. Toliau pateikiamas kiekvieno iš jų trumpas aprašymas.

4.1.1. Manekeno modelis

Pasirinktas skaitiniuose tyrimuose dažniausiai naudojamas LSTC (Livermore Software Technology Corporation) Hybrid III 50 % reprezentavimo lygio vyro baigtinių elementų modelis, kuris pavaizduotas 4.1 paveiksle su uždėtu šalmu.

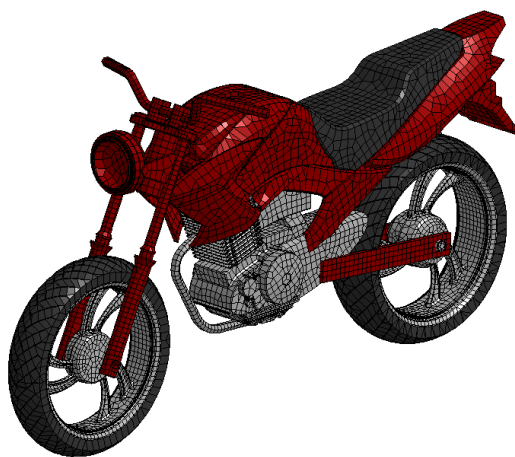


4.1 pav. Hybrid III 50 % reprezentavimo lygio vyro modelis

Modelis sudarytas iš 7404 mazgų ir 4313 elementų, tarp kurių yra standžių ir deformuojamų komponentų. Šio manekeno ūgis yra 175 cm, masė – 78,4 kg. Modelio dokumentacijoje yra nurodyti mazgų, elementų bei jungčių numeriai, atitinkantys tam tikras kūno vietas. Programos „LS-Prepost“ pagalba, pasirinkus norimą mazgo, elemento ar jungties numerį, galima pamatyti veikiančius pagreičius, jėgas ar momentus ir pagal šiuos duomenis, pasinaudojant metodika, nustatyti sužeidžiamumo kriterijus [20].

4.1.2. Motociklo modelis

Buvo sumodeliuotas standartinio tipo motociklas (žr. 4.2 pav.), kuris sudarytas iš 35821 mazgų ir 36320 elementų. Motociklo atskiroms dalims priskirtos medžiagų savybės parinktos pagal realias medžiagas, naudojamas motocikluose. Bendra motociklo masė yra 172 kg.



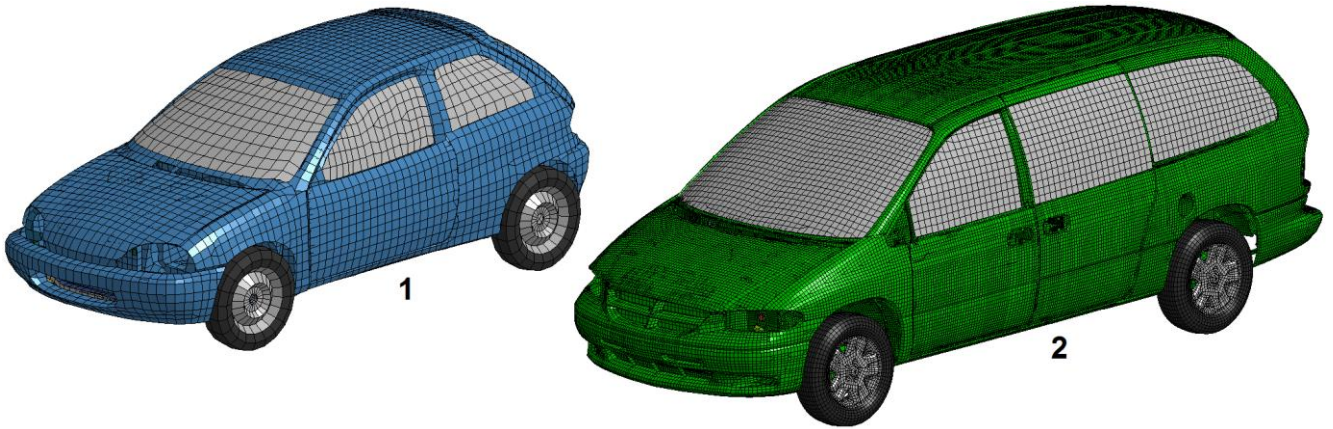
4.2 pav. Motociklo baigtinių elementų modelis

Modelio dalys, išskyrus padangas, buvo priskirtos medžiagos tipui RIGID (nesideformuojantis). Padangos galėjo deformuotis, kadangi RIGID tipo elementai nepalaiko kontakto su RIGIDWALL tipo pagrindu, kuris buvo priskirtas kaip žemė.

4.1.3. Automobilių modeliai

Buvo pasirinkta naudoti du skirtingus automobilių modelius – mažą miesto automobilį ir didelį 7 vietų miniveną. Abu modeliai yra pavaizduoti 4.3 paveiksle.

Pirmasis modelis yra mažas miesto automobilis, kurio masė 900 kg. Jis sudarytas iš 19216 mazgų ir 16270 elementų. Automobilio gabaritiniai matmenys: ilgis – 3759 mm, plotis – 1590 mm, aukštis – 1389 mm. Modelio atskiroms dalims yra priskirtos realių, automobilių pramonėje naudojamų, medžiagų savybės.

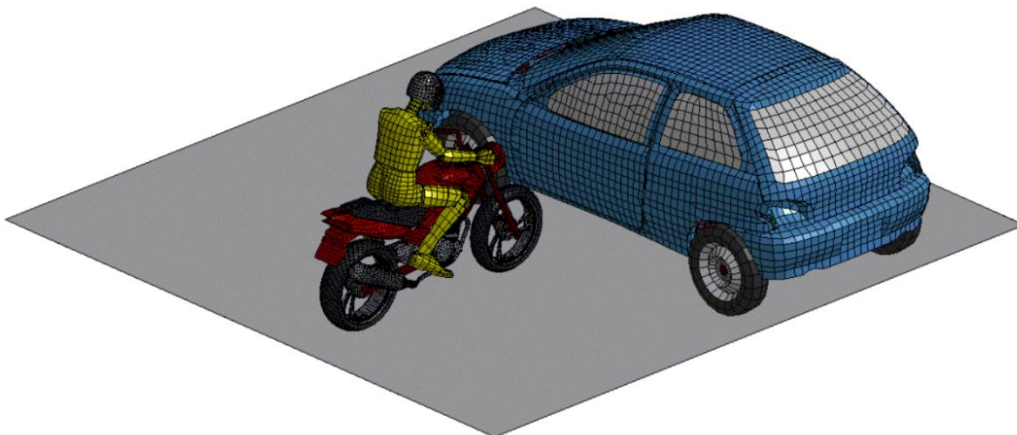


4.3 pav. Lengvųjų automobilių baigtinių elementų modeliai: 1 – miesto automobilis, 2 – minivenas

Antras modelis yra didelis 7 vietų minivenas, kurio masė yra 2000 kg. Šis modelis sudarytas iš 344724 mazgų ir 333455 elementų. Automobilio gabaritiniai matmenys: ilgis – 5070 mm, plotis – 1951 mm, aukštis – 1740 mm. Modelio atskiroms dalims yra priskirtos realių medžiagų savybės.

4.1.4. Susidūrimo situacijos modelis

Modeliuojant kiekvieną situaciją, visus turimus modelius reikėjo sukelti į bendrą aplinką programoje „LS-PrePost“, kurioje modeliai buvo sustatomi į reikiamas vietas. Čia jiems buvo priskiriami judėjimo greičiai, kontaktų tipai, medžiagų savybės ir pan. Vienas iš pavyzdžių, kaip atrodo situacijos modeliavimas, pateiktas 4.4 paveiksle.

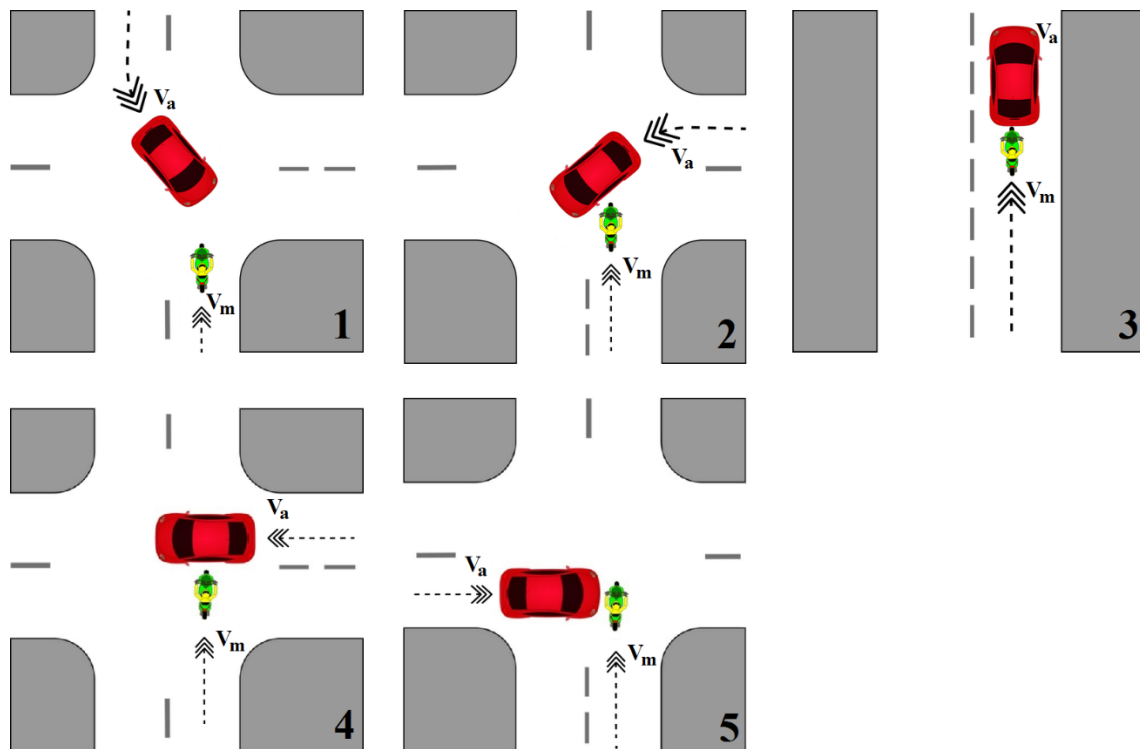


4.4 pav. Susidūrimo situacijos modeliavimas

Kaip judėjimo pagrindas parinkta nesideformuojanti plokštė RIGIDWALL. Kontakto tipas tarp motociklo, manekeno ir automobilio – AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Kiekvienos sumodeliuotos situacijos trukmė yra 250 ms. Šis laiko tarpas yra pakankamas, jog susidūrimo metu būtų gaunami manekeno pirminio smūgio į automobilį rezultatai.

4.2. Motociklo ir automobilio susidūrimo situacijos

Remiantis atlikta literatūros apžvalga bei jau atliktų tyrimų analize, buvo pasirinktos 5 dažniausiai pasitaikančios situacijos, kuriose susiduria motociklas ir automobilis. Nors situacijos atrodo gana aiškios, susidūrimų kampai ir vietos buvo standartizuotos pagal ISO 13232 standartą, kuris taikomas susidūrimo bandymuose. Situacijos yra pavaizduotos 4.5 paveiksle. Pagal kiekvieną situaciją buvo atlikta po 6 bandymus esant skirtingiems automobiliams bei greičiams. Atsižvelgiant į didžiausią leistiną greitį mieste buvo pasirinkti tokie greičiai: 40 km/h, 50 km/h ir 60 km/h. Šis greičių intervalas buvo taikomas motociklui, kai jis trenkiasi į automobilį ir penktoje situacijoje automobiliui, kuris trenkiasi į motociklą. Toliau kiekviena situacija aprašoma detalčiau.



4.5 pav. Motociklo ir automobilio susidūrimo situacijos: 1 – automobilio posūkis į kairę, 2 – automobilio posūkis į kairę iš šalutinio kelio, 3 – motociklo smūgis į automobilio galą, 4 – motociklo smūgis į automobilio šoną, 5 – automobilio smūgis į motociklo šoną [21]

Pirmoji situacija yra dažniausiai pasitaikantis susidūrimo tipas, kai automobilio vairuotojas sukdamas į kairę nepraleidžia arba tiesiog nepastebi iš priekio atvažiuojančio motociklo ir pastarasis trenkiasi į jį. Modeliuojant situaciją pagal standartą, motociklas turi trenktis į automobilio priekio geometrinį vidurį, 45° kampu. Motociklo greitis kinta intervale, o automobilio greitis šiuo atveju yra 25 km/h. Jis parinktas pagal vidutinį greitį atliekant posūkio manevrą kelyje.

Antroji situacija įvyksta kuomet iš šalutinio kelio sukantis automobilis atlieka posūkį į kairę ir užkerta kelią motociklui, kuriam išvengti smūgio jau praktiškai neįmanoma. Modeliuojant šią situaciją pagal standartą, motociklas turi trenktis į automobilio šono geometrinį vidurį, 45° kampu. Motociklo greitis kinta intervale, o automobilio greitis šiuo atveju yra 25 km/h. Jis parinktas pagal vidutinį greitį atliekant posūkio manevrą kelyje.

Trečioji situacija įvyksta kai vairuotojas, važiuojantis paskui kitą transporto priemonę, nesilaiko saugaus atstumo, o šiuo atveju tai motociklo vairuotojas. Tokio tipo susidūrimai paprastai padaro mažai žalos. Modeliuojant šią situaciją pagal standartą, motociklas turi trenktis į automobilio galo geometrinį vidurį. Motociklo greitis kinta intervale, o automobilio greitis šiuo atveju yra 10 km/h. Jis parinktas atsižvelgiant į tai, jog prieš sustodamas automobilis dar šiek tiek juda į priekį.

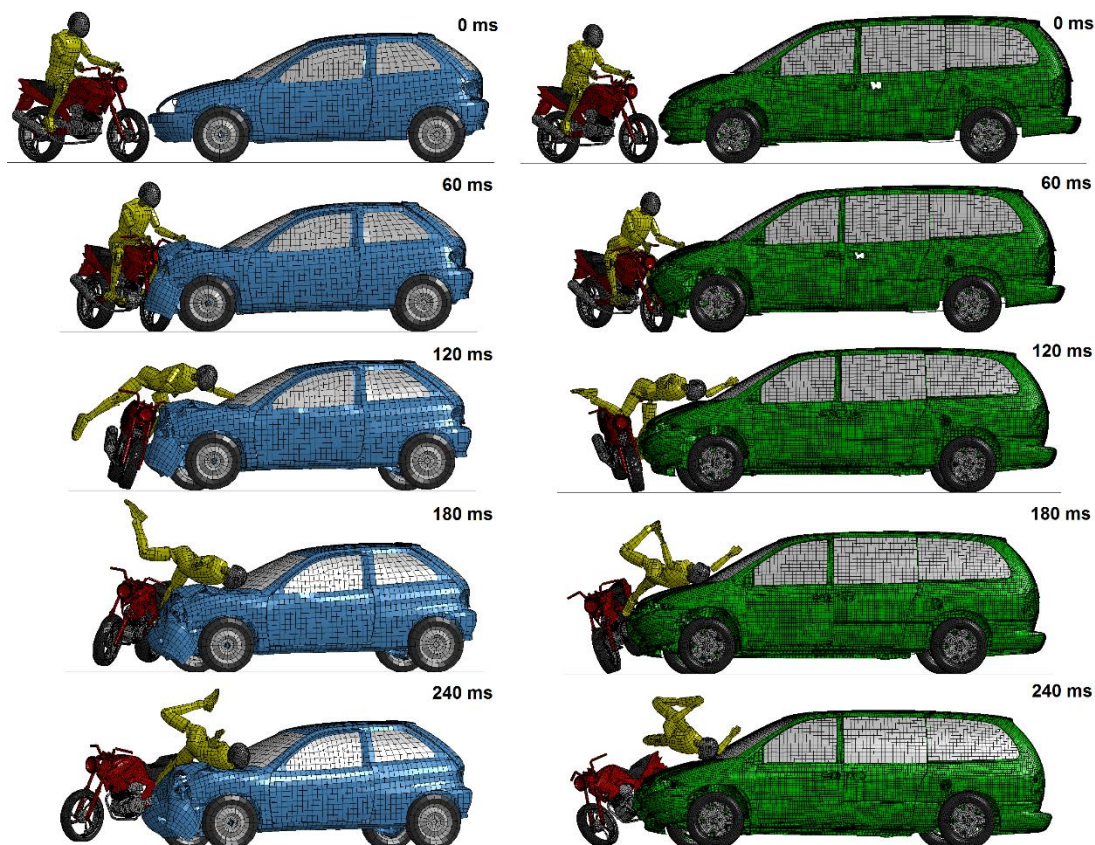
Ketvirtoji situacija gali įvykti kai automobilio vairuotojas įvažiuoja į sankryžą per anksti, dar prieš užsidedant žaliajam šviesoforo signalui, o motociklininkas kerta sankryžą jau degant draudžiamajam signalui. Modeliuojant šią situaciją pagal standartą, motociklas turi trenktis į automobilio šono geometrinį vidurį, 90° kampu. Motociklo greitis kinta intervale, o automobilio greitis šiuo atveju yra 25 km/h. Jis parinktas pagal vidutinį greitį važiuojant per sankryžą mieste.

Penktoji situacija yra analogiška ketvirtai, tik šiuo atveju automobilis ir motociklas apsieičia vietomis. Modeliuojant šią situaciją pagal standartą, automobilis turi trenktis į motociklo šono geometrinį vidurį, 90° kampu. Automobilio greitis kinta intervale, o motociklo greitis šiuo atveju yra 25 km/h. Jis parinktas pagal vidutinį greitį važiuojant per sankryžą mieste.

4.3. Rezultatų analizė

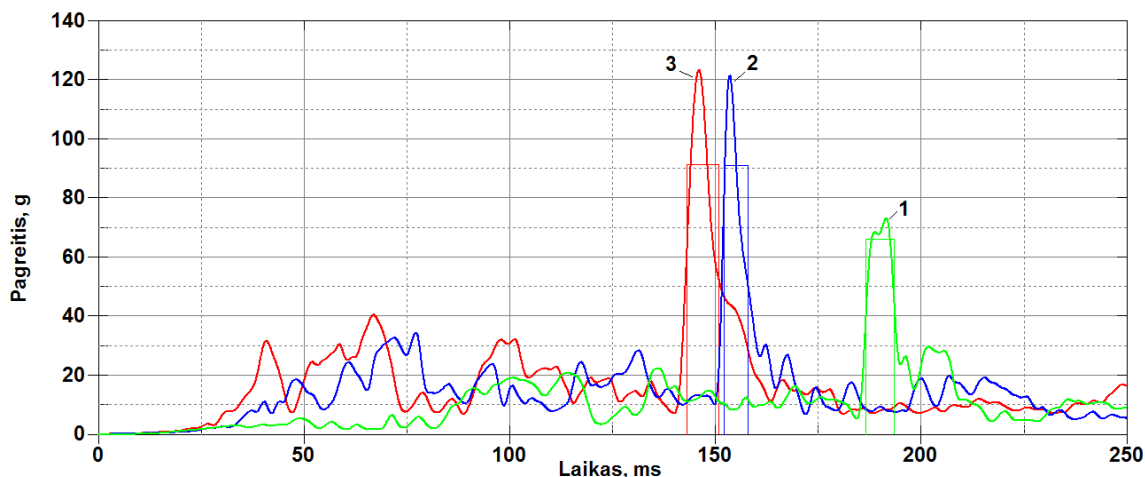
4.3.1. Pirmą situacija

Situacija, kai motociklas trenkiasi į atvažiuojančio automobilio priekio geometrinį vidurį, 45° kampu. Su kiekvienu automobiliu atlikta po 3 bandymus keičiant motociklo greitį intervale.



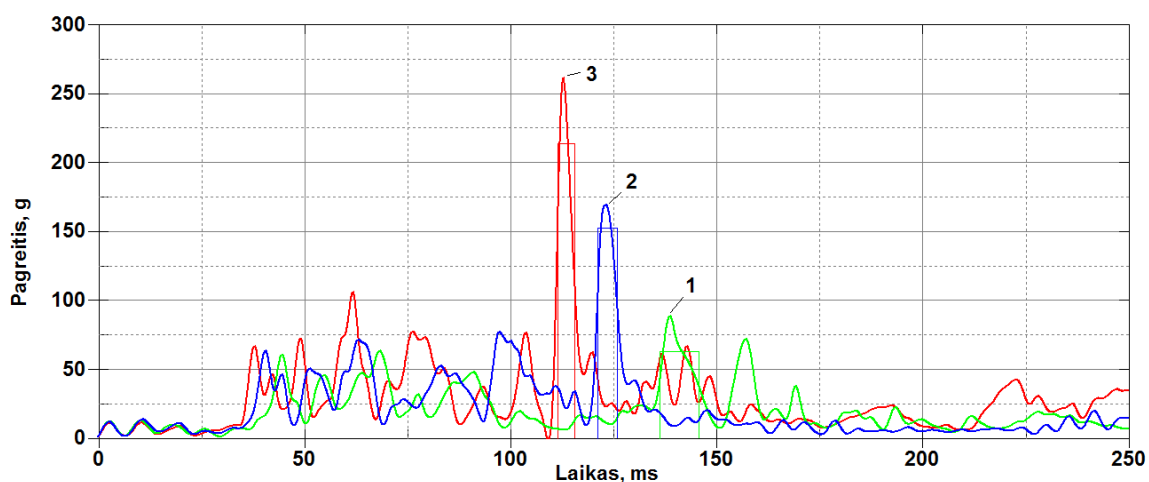
4.6 pav. Motociklo smūgis į automobilio priekio geometrinį vidurį 45° kampu

4.6 paveiksle yra pavaizduotas motociklo ir automobilio susidūrimas, kuriame matyti kaip kinta motociklininko padėtis keičiantis laikui kas 60 ms. Vos atsitrenkus į automobilį, motociklininkas yra sviedžiamas per motociklo priekį ir galva trenkiasi į automobilio priekinį stiklą, kai susiduriama su miesto automobiliu, bei į automobilio variklio dangtį, kai susiduriama su minivenu. Taip pat tiek vienu, tiek kitu atveju motociklininko kairė koja patiria stiprų smūgį į automobilio buferį. Toliau pateikiami gauti rezultatai, visos vaizduojamos kreivės yra filtruojamos pagal 108 Hz dažnio filtrą.



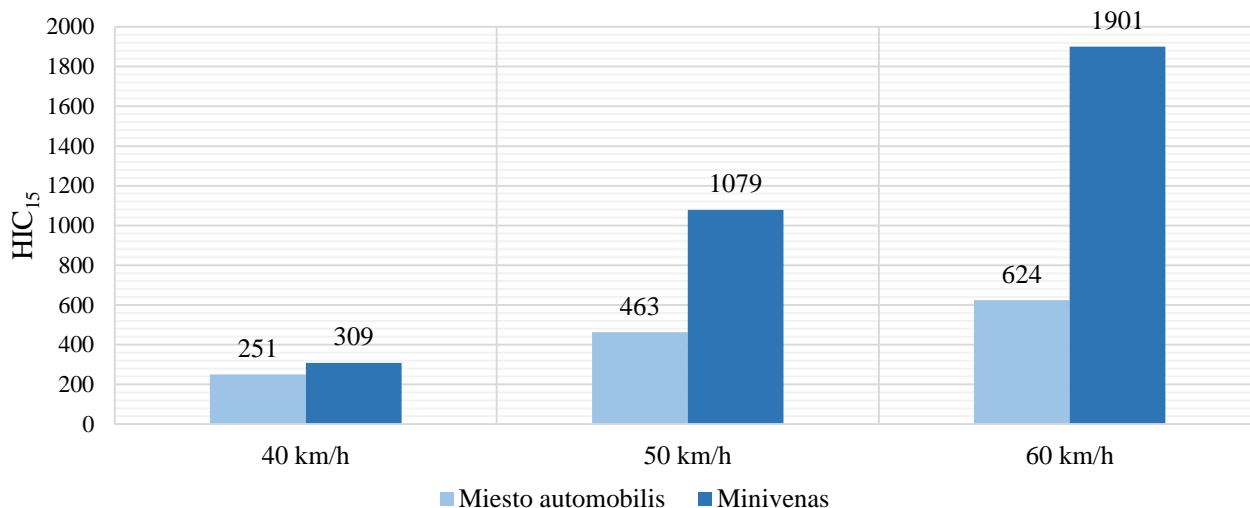
4.7 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.7 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Iš gautų kreivių matyti, kad esant tiek 50 km/h, tiek 60 km/h greičiui, galvą veikiantys maksimalūs pagreičiai yra panašūs, tačiau susiduriant 60 km/h greičiu, didesnis pagreitis veikia ilgesnį laiko tarpą. Esant 40 km/h greičiui, pagreičio reikšmės beveik 1,5 karto mažesnės.



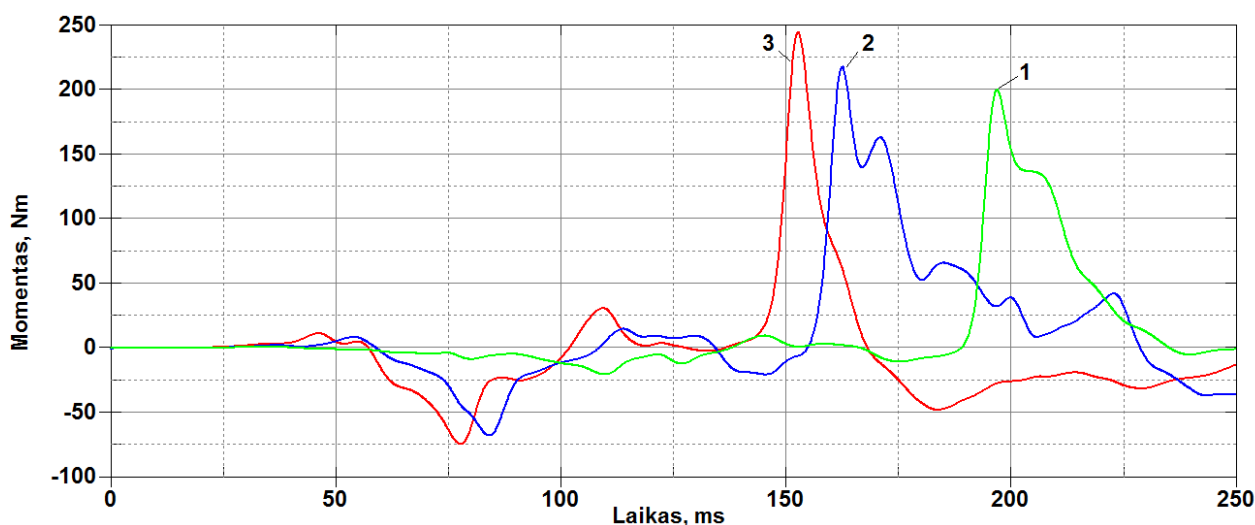
4.8 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.8 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su minivenu. Iš gautų kreivių matyti, jog didėjant motociklo greičiui, praktiškai tolygiai didėja ir galvą veikiantys pagreičiai ir esant 60 km/h greičiui jau viršija net 250 g ribą.



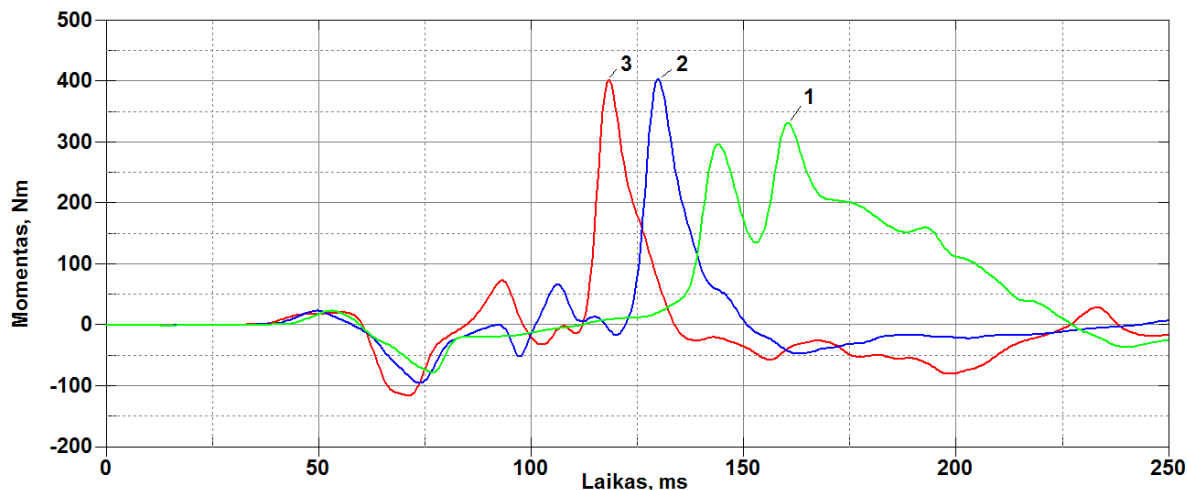
4.9 pav. HIC reikšmių palyginimas

Gautų HIC reikšmių palyginimas yra pateiktas 4.9 paveiksle. Motociklui susidūrus su miesto automobiliu, HIC reikšmės kintant greičiui didėja, tačiau net esant 60 km/h greičiui, nepasiekia leistinos ribos. Susidūrimo su minivenu metu, jau esant 50 km/h greičiui, HIC reikšmė viršija leistiną ribą ir motociklininkui yra didelė tikimybė patirti sunkią galvos traumą. Motociklo greičiui pasiekus 60 km/h, HIC reikšmė išauga iki 1901, motociklininkui išgyventi šansų nebelyka.



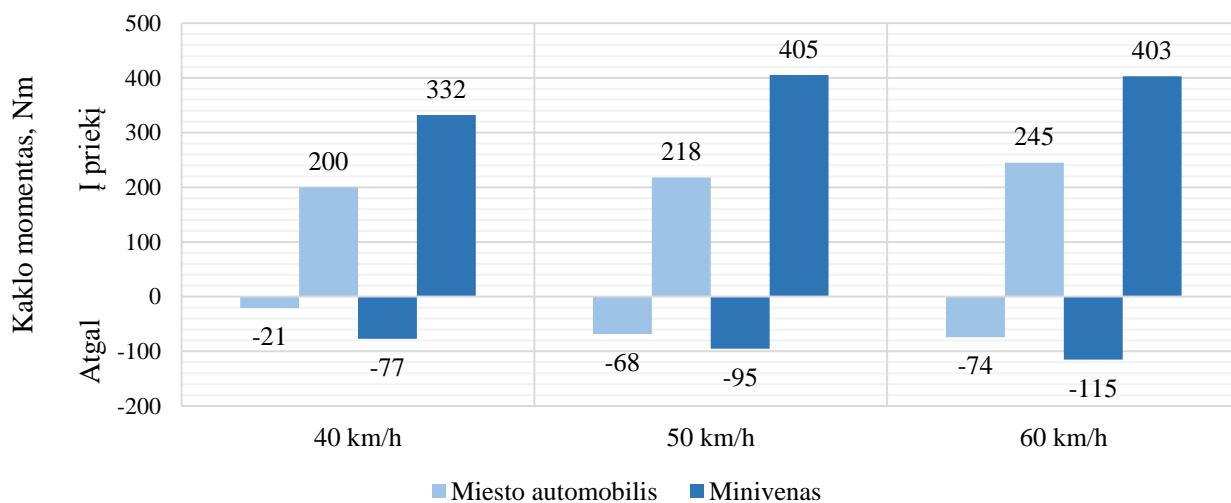
4.10 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.10 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad į priekį lenkiantis momentas esant skirtingiems greičiams yra beveik vienodas. Motociklui važiuojant 40 km/h greičiu, kaklo momentas atgal yra apie 20 Nm, pasiekus tiek 50 km/h, tiek 60 km/h greitį, momentas išauga daugiau negu 3 kartus.



4.11 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.11 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su minivenu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad susiduriant tiek 50 km/h, tiek 60 km/h greičiu, momentų kreivės beveik sutampa, tik yra persislinkusios per laiko tarpą. Esant 40 km/h motociklo greičiui, kaklą veikiantis momentas yra mažesnis, tačiau aukšta reikšmė laikosi ilgesnį laiko tarpą.



4.12 pav. Kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas

Gautų kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas pateiktas 4.12 paveiksle. Motociklui susiduriant su miesto automobiliu, didžiausi momentai veikiantys kaklą yra esant 60 km/h greičiui. Momentas į priekį siekia 245 Nm, atgal – 74 Nm. Nei viena reikšmė neviršija leistinos, todėl yra didelė tikimybė išvengti rimtesnės kaklo traumos. Susidūrimo su minivenu metu, jau esant 40 km/h motociklo greičiui, kaklą veikiantis momentas į priekį viršija leistiną ribą, todėl atsiranda didelė tikimybė patirti sunkią kaklo traumą. Didėjant motociklo greičiui susidūrimo metu, sunkios kaklo traumos rizika taip pat tik didėja.

Bendri visų kūno dalių rezultatai yra pateikiami 4.1 lentelėje. Gauti duomenys palyginami su leistinomis ribomis, pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką nustatomas kiekvienos kūno dalies traumos sunkumas bei įvertinama motociklininko žūtis tikimybė kiekvienu atveju.

4.1 lentelė

Sužeidimų vertinimo rezultatai

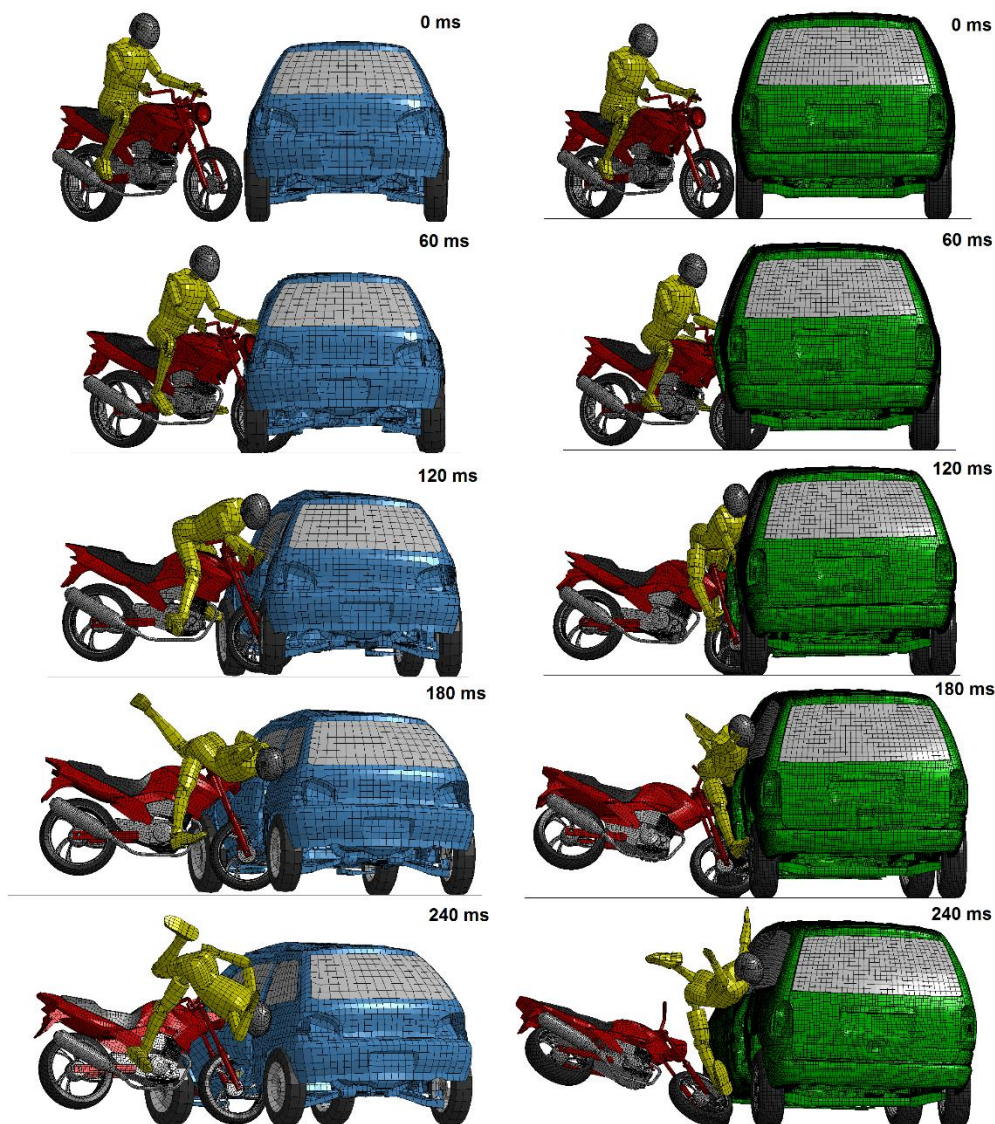
Kriterijus	Leistina riba	Pirma situacija											
		40 km/h				50 km/h				60 km/h			
		1	*	2	*	1	*	2	*	1	*	2	*
Galvos sužeidimų kriterijus HIC ₁₅	700	251	1	309	2	463	2	1079	4	624	3	1901	6
Kaklo sužeidimų kriterijus N _{ij}	1,0	2,37	3	4,93	5	3,31	4	5,82	6	3,62	4	6,54	6
Tempimas (N)	6806	1340		2763		1689		3130		1728		4476	
Spaudimas (N)	6160	1140		2596		1237		2722		1356		2859	
Momentas atgal (Nm)	135	21		77		68		95		74		115	
Momentas į priekį (Nm)	310	200		332		218		405		245		403	
Krūtinės sužeidimų kriterijus CSI	700	163	1	663	2	276	2	1257	5	400	2	1363	5
Krūtinės deformacija (mm)	63	5		10		11		14		8		15	
Dubens pagreitis (g)	130	39	1	109	3	103	3	146	4	87	2	185	5
Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (kN)	10	3,3		3,1		14,9		4,8		13,7		8,9	
Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijus TCFC (kN)	8	2,3	1	1,6	1	3,7	3	5,1	1	4,4	3	4,4	2
Sužalojimų sunkumo balas ISS	0...75	11		38		29		75		29		75	
Žūtis tikimybė (%)	0...100	1		37		20		100		20		100	

* – AIS balas

Pagal gautus rezultatus matyti, kad dviem atvejais yra 100 % tikimybė, jog motociklininkas žus susidūrimo metu. Abu atvejai yra susidūrimas su minivenu, kai motociklo greitis 50 km/h ir 60 km/h. Pagrindinė žūtis priežastis šioje situacijoje, yra mirtinos galvos ar kaklo traumos. Esant šiems greičiams susidūrimas su miesto automobiliu, tikimybė žūti abiem atvejais yra 20 %. Taigi susidūrimas su minivenu šioje situacijoje važiuojant leistinu greičiu ar viršijant jį, yra net 5 kartus pavojingesnis už susidūrimą su miesto automobiliu. Kai motociklo greitis 40 km/h, susidūrimas su minivenu yra netgi pavojingesnis (žūtis tikimybė 37 %) už susidūrimą miesto automobiliu, kai greitis siekia 50 km/h ar 60 km/h. Tačiau susidūrimas su mažu automobiliu esant 40 km/h, tikimybė žūti yra vos 1 %.

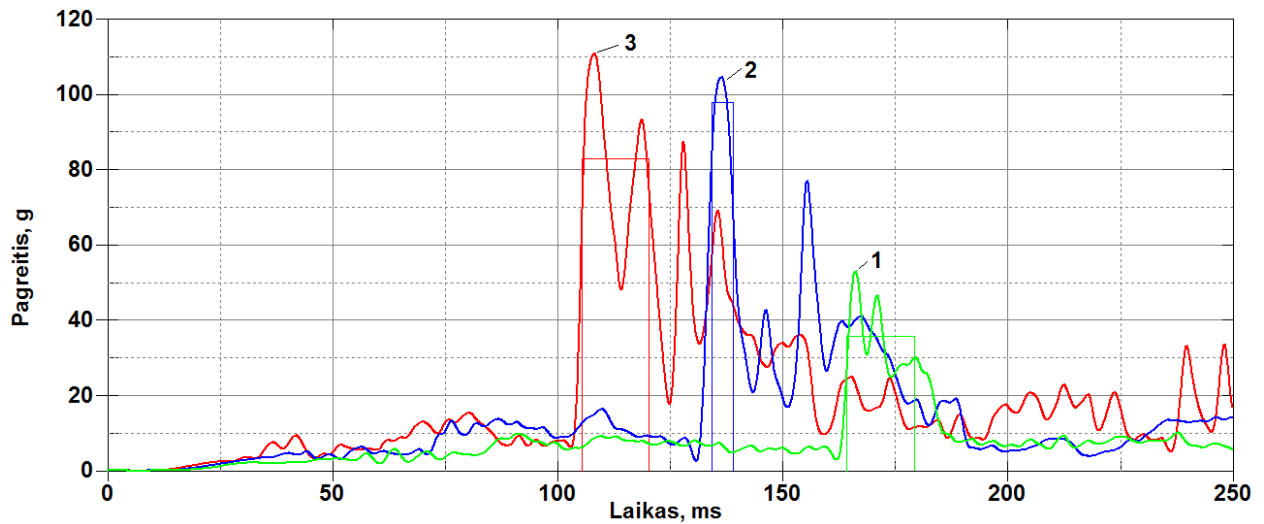
4.3.2. Antra situacija

Situacija, kai motociklas trenkiasi į automobilio šono geometrinį vidurį, 45° kampu. Su kiekvienu automobiliu atlikta po 3 bandymus keičiant motociklo greitį intervale.



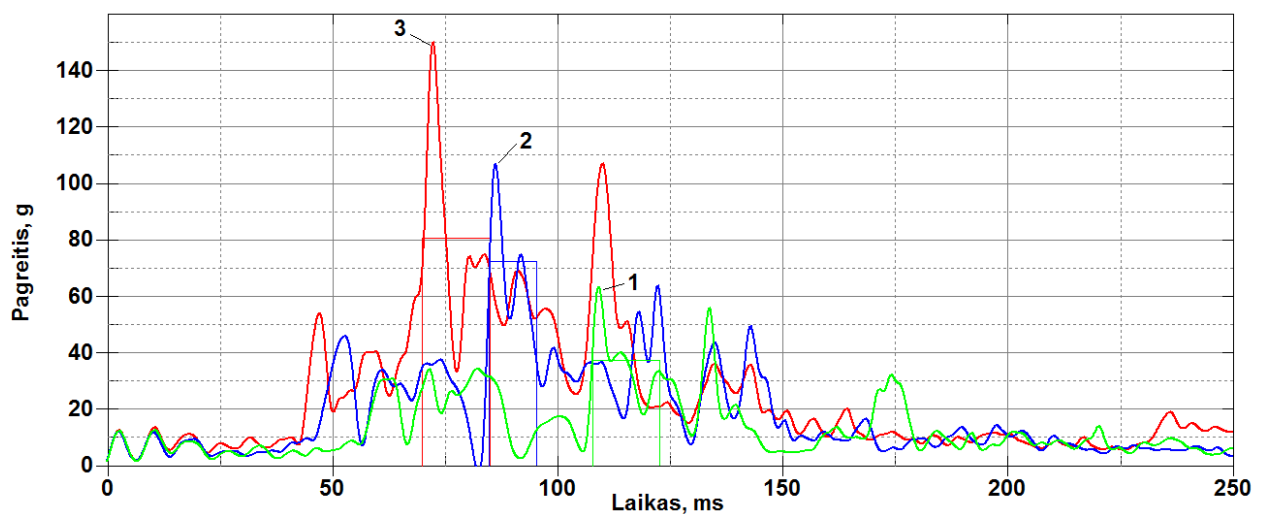
4.13 pav. Motociklo smūgis į automobilio šono geometrinį vidurį 45° kampu

4.13 paveiksle yra pavaizduotas motociklo ir automobilio susidūrimas, kuriame matyti kaip kinta motociklininko padėtis keičiantis laikui kas 60 ms. Vos atsitrenkus į abiejų tipų automobilius, motociklininkas yra sviedžiamas per motociklo priekį ir galva trenkiasi į automobilio šoninį stiklą. Taip pat tiek vienu, tiek kitu atveju motociklininko kairė koja patiria stiprų smūgį į automobilio dureles. Toliau pateikiami gauti rezultatai, visos vaizduojamos kreivės yra filtruojamos pagal 108 Hz dažnio filtrą.



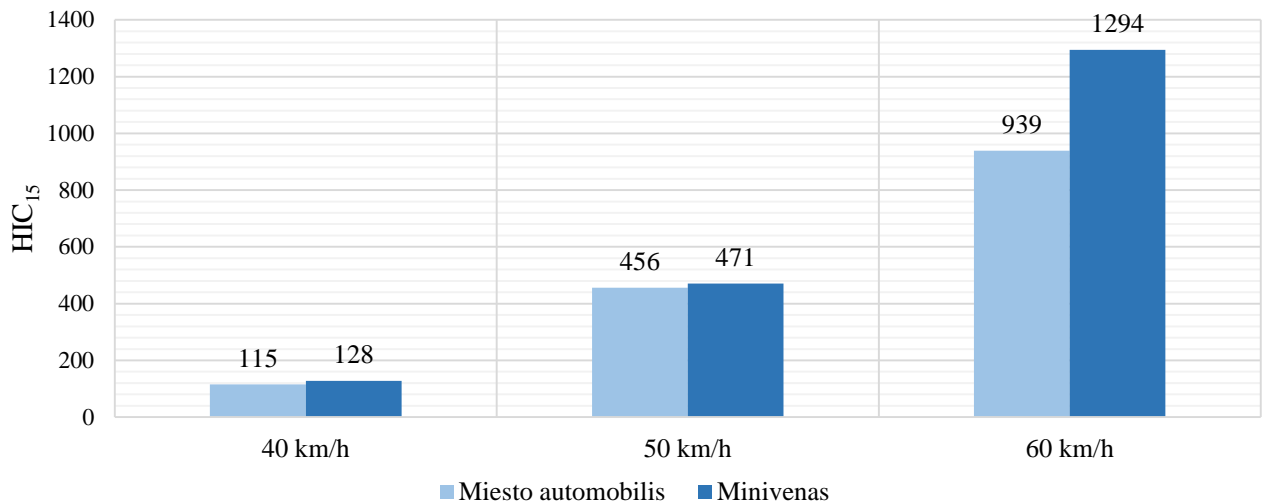
4.14 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.14 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Šiuo atveju yra gana didelis rezultatų netolygumas, veikiančių pagreičių reikšmės kelis kartus kyla ir krenta. Tokie šuoliai matomi esant visam greičių intervalui, kuo didesnis motociklo greitis, tuo didesni šuoliai. Pasikartojantys dideli pagreičiai žmogui yra žalingesni negu vienkartinė apkrova.



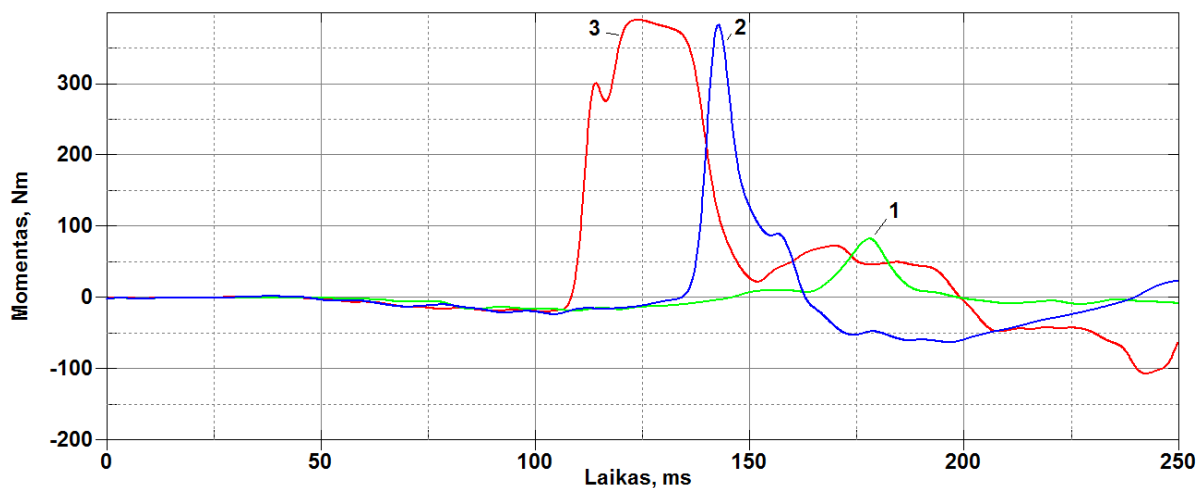
4.15 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.15 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su minivenu. Šiuo atveju yra gana didelis rezultatų netolygumas, veikiančių pagreičių reikšmės kelis kartus kyla ir krenta. Tokie šuoliai matomi esant visam greičių intervalui. Motociklui susiduriant 60 km/h greičiu, pagreičiai veikiantys galvą net du kartus pakyla virš 100 g dydžio apkrovos. Pasikartojantys dideli pagreičiai žmogui yra žalingesni negu vienkartinė apkrova, todėl išauga sunkesnės traumos tikimybė.



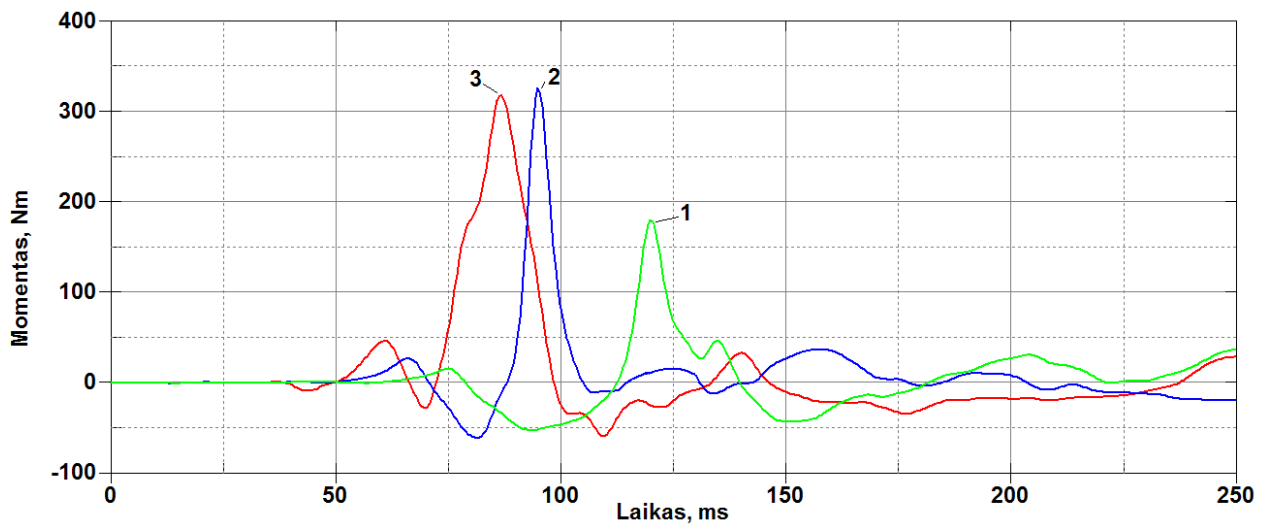
4.16 pav. HIC reikšmių palyginimas

Gautų HIC reikšmių palyginimas yra pateiktas 4.16 paveiksle. Motociklui susidūrus tiek su miesto automobiliu, tiek su minivenu esant 40km/h ir 50km/h greičiams, HIC reikšmės yra praktiškai vienodos. Visais šiais atvejais jos neviršija leistinos ribos, motociklininkas turi didelius šansus išvengti galvos traumos. Tačiau pasiekus 60 km/h greitį, susiduriant su abiejų tipų automobiliais, HIC reikšmės viršija leistiną. HIC reikšmė susidūrus su miesto automobiliu – 939, su minivenu – 1294. Abiem atvejais yra didelė tikimybė patirti sunkią ar net kritinę galvos traumą.



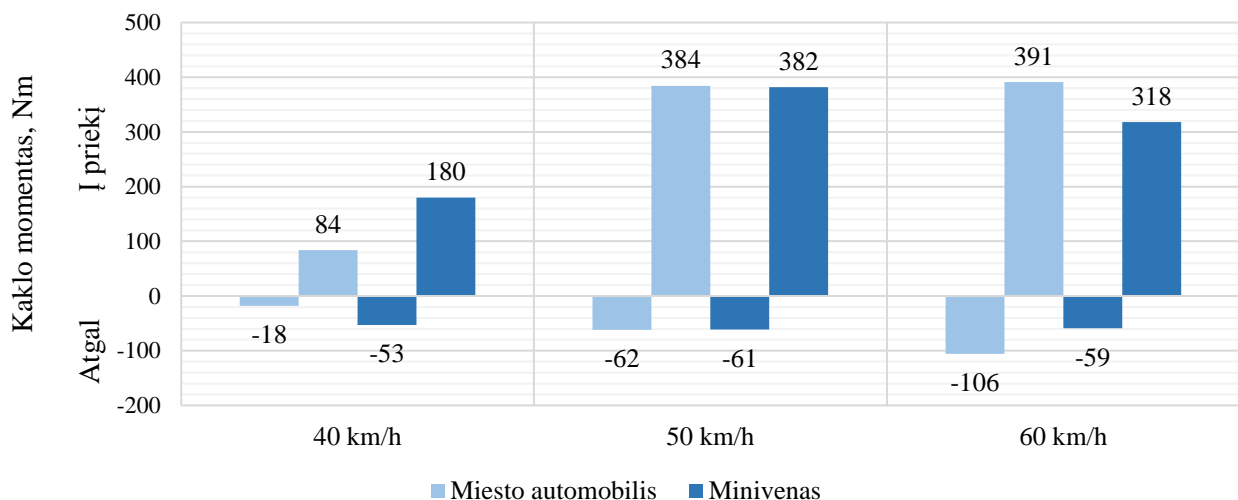
4.17 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.17 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad esant 40 km/h greičiui, kaklą veikiantis momentas yra nežymus. Kuomet greitis 50 km/h ir 60 km/h, kaklą veikiantis momentas į priekį yra praktiškai vienodas, tačiau susiduriant didesniu greičiu, veikimo trukmė yra kelis kartus ilgesnė. Momento atgal reikšmės didėja, didėjant susidūrimo greičiui.



4.18 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.18 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su minivenu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad esant susidūrimui tiek 50 km/h, tiek 60 km/h greičiu, momentų kreivės beveik sutampa, tik yra persislinkusios per laiko tarpą. Esant 40 km/h greičiui, kaklą veikiantis momentas į priekį yra beveik 2 kartus mažesnis.



4.19 pav. Kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas

Gautų kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas pateiktas 4.19 paveiksle. Motociklui susidūriant su miesto automobiliu, didžiausi momentai veikiantys kaklą yra esant 60 km/h greičiui. Momentas į priekį siekia 391 Nm, atgal – 106 Nm. Šiuo atveju reikšmės yra didesnės negu tokiu pat greičiu atsirenkiant į miniveną. Kai susidūrimo greitis yra 50 km/h, abiejų automobilių rezultatai yra praktiškai vienodi, kaklo momentas į priekį viršija leistiną ribą. Išvengti sunkesnės kaklo traumos galima tikėtis tik esant 40 km/h greičiui, kai gauti momentai neviršija leistinų ribų.

Bendri visų kūno dalių rezultatai yra pateikiami 4.2 lentelėje. Gauti duomenys palyginami su leistinomis ribomis, pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką nustatomas kiekvienos kūno dalies traumos sunkumas bei įvertinama motociklininko žūties tikimybė kiekvienu atveju.

4.2 lentelė

Sužeidimų vertinimo rezultatai

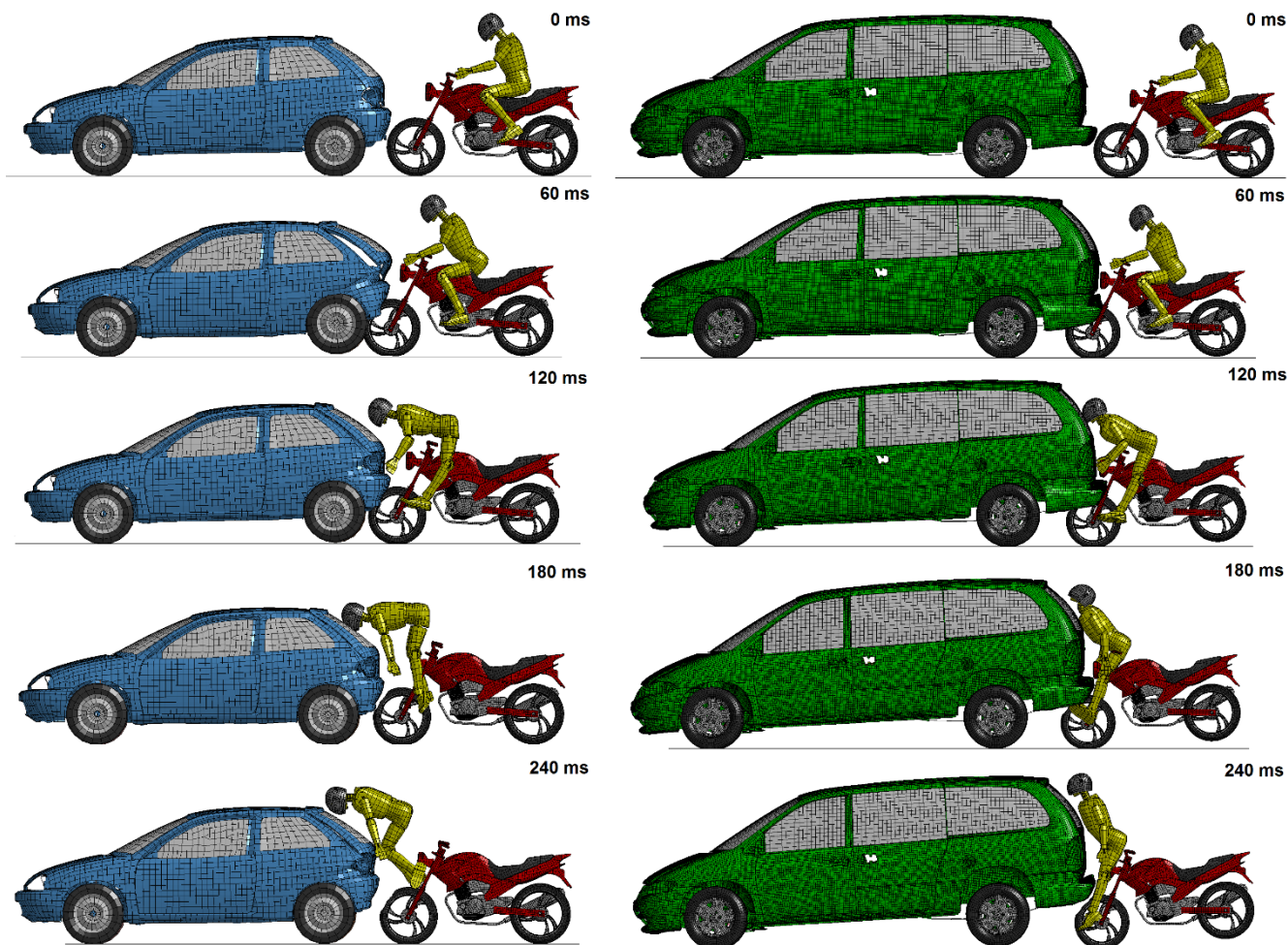
Kriterijus	Leistina riba	Antra situacija											
		40 km/h				50 km/h				60 km/h			
		1	*	2	*	1	*	2	*	1	*	2	*
Galvos sužeidimų kriterijus HIC ₁₅	700	115	1	128	1	456	2	471	2	939	4	1294	5
Kaklo sužeidimų kriterijus N _{ij}	1,0	1,15	2	2,82	3	4,35	5	4,56	5	5,74	6	4,61	5
Tempimas (N)	6806	889		1474		2479		1773		3539		3194	
Spaudimas (N)	6160	235		1352		698		2056		1882		2291	
Momentas atgal (Nm)	135	18		53		62		61		106		59	
Momentas į priekį (Nm)	310	84		180		384		382		391		318	
Krūtinės sužeidimų kriterijus CSI	700	37		244		121		464		428		929	
Krūtinės deformacija (mm)	63	3	1	8	1	4	1	16	2	6	2	34	4
Dubens pagreitis (g)	130	59	2	115	3	62	2	92	3	79	2	204	5
Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (kN)	10	2,5		3,3		10,9		10,6		11,8		3,8	
Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijus TCFC (kN)	8	1,6	1	2,9	1	1,7	3	3,3	3	2,6	3	2,1	1
Sužalojimų sunkumo balas ISS	0...75	9		19		38		43		75		75	
Žūties tikimybė (%)	0...100	1		5		37		40		100		100	

* – AIS balas

Pagal gautus rezultatus matyti, kad dviem atvejais yra 100 % tikimybė, jog motociklininkas žus susidūrimo metu. Abu atvejai yra kai motociklo greitis siekia 60 km/h. Susidūriant su miesto automobiliu patiriama mirtina kaklo trauma, o susidūrimo su minivenu metu – kritinės galvos, kaklo ir dubens traumos. Esant 50 km/h greičiui, žūties tikimybė taip pat panaši, atitinkamai 37 % ir 40 %. Abiem atvejais patiriama kritinė kaklo trauma, kuri gali paversti žmogų neįgaliu visam likusiam gyvenimui. Motociklo greičiui sumažėjus iki 40 km/h, susidūrimo su miesto automobiliu metu, žūties tikimybė yra vos 1 %, su minivenu – 5 %. Šioje situacijoje praktiškai nėra skirtumo su kokio tipo automobiliu susidurs motociklas, patiriamos traumos priklausys nuo važiavimo greičio.

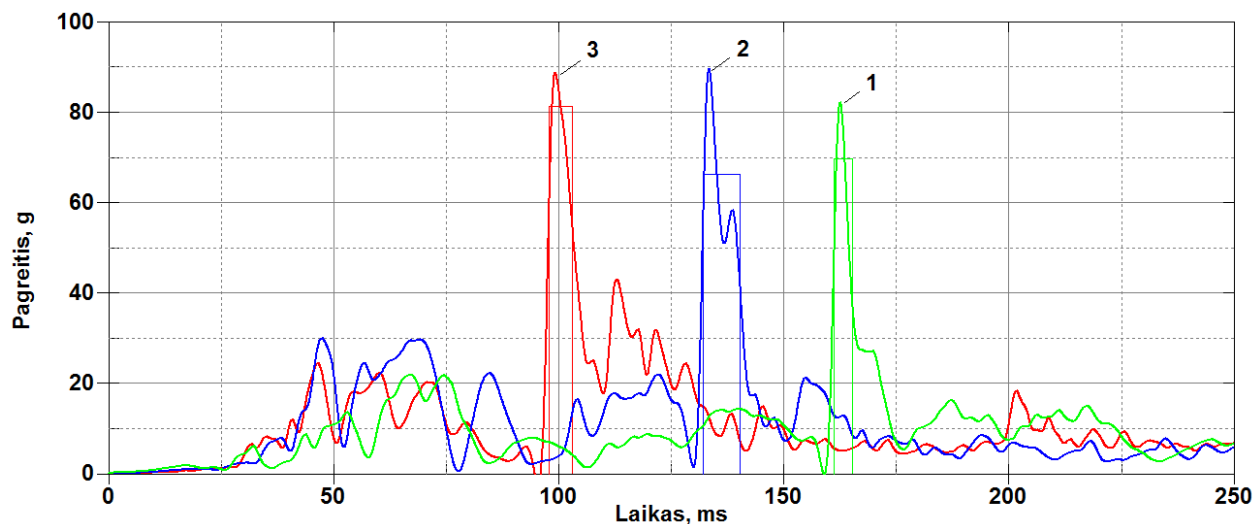
4.3.3. Trečia situacija

Situacija, kai motociklas trenkiasi į priekyje lėtėjančio automobilio galo geometrinį vidurį. Su kiekvienu automobiliu atlikta po 3 bandymus keičiant motociklo greitį intervale.



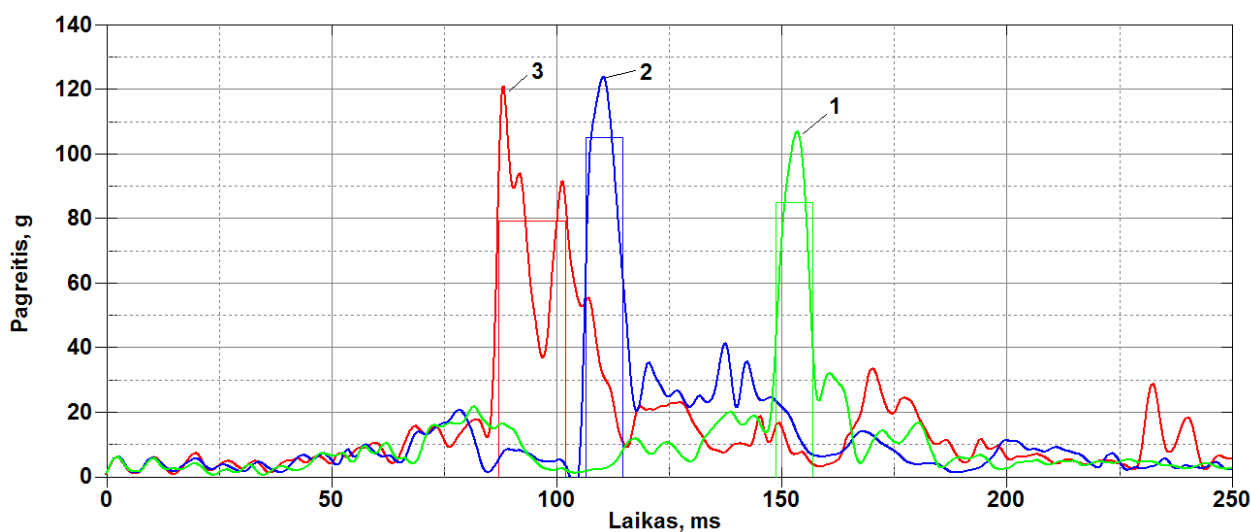
4.20 pav. Motociklo smūgis į automobilio galo geometrinį vidurį

4.20 paveiksle yra pavaizduotas motociklo ir automobilio susidūrimas, kuriame matyti kaip kinta motociklininko padėtis keičiantis laikui kas 60 ms. Vos atsitrenkus į abiejų tipų automobilius, motociklininkas yra sviedžiamas per motociklo priekį ir galva trenkiasi į automobilio galinį stiklą. Toliau pateikiami gauti rezultatai, visos vaizduojamos kreivės yra filtruojamos pagal 108 Hz dažnio filtrą.



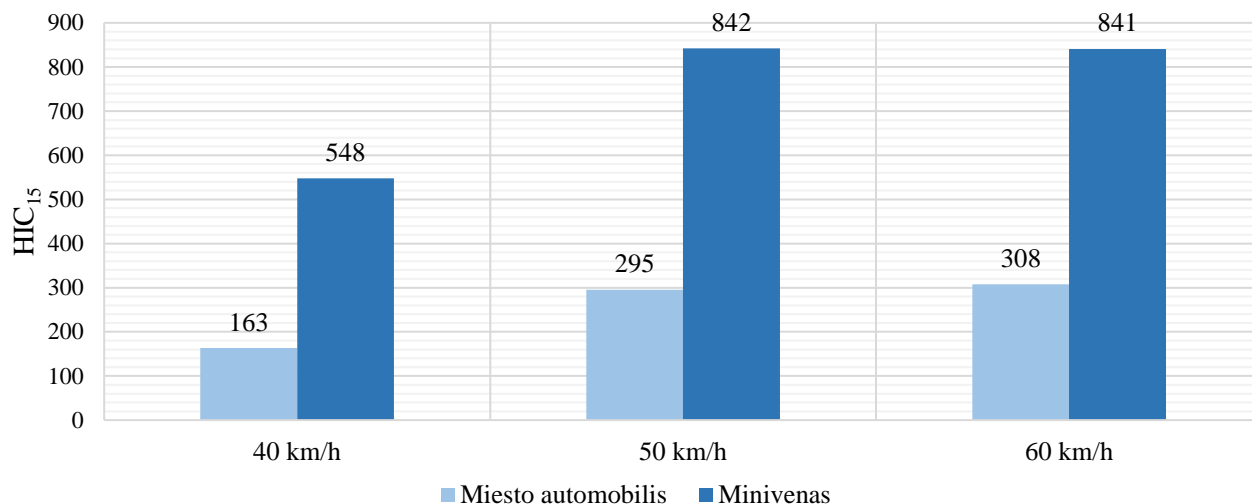
4.21 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.21 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Iš gautų kreivių matyti, kad kiekvienu atveju aiškiai išsiskiria didžiausios reikšmės, kurios yra beveik vienodos ir didėjant greičiui, didėja nežymiai. Pagrindinis skirtumas yra tik pagreičio veikimo trukmė, kuri didėja esant didesniai susidūrimo greičiui.



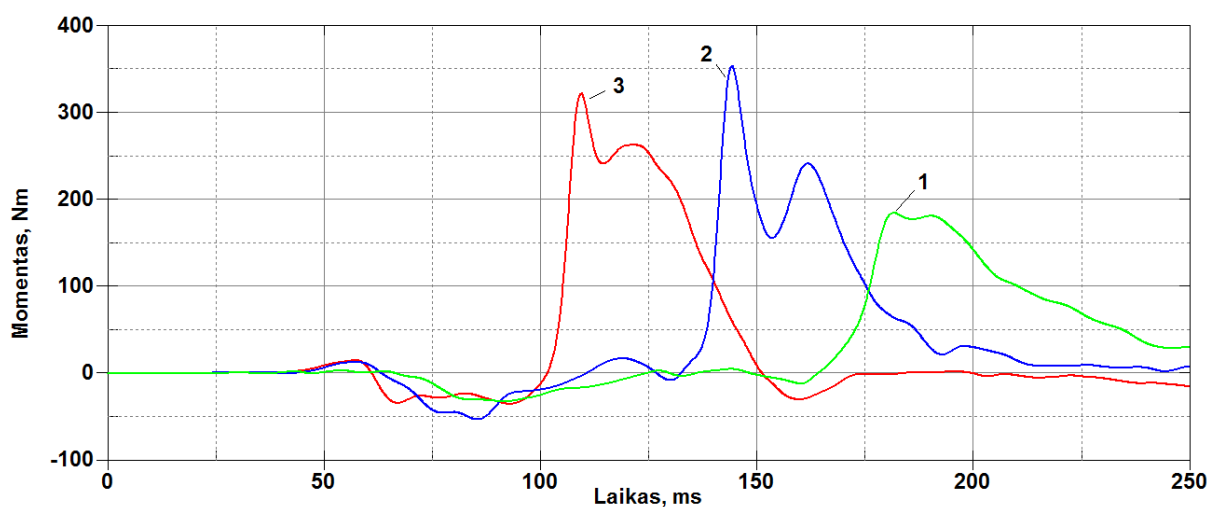
4.22 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.22 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su minivenu. Šio susidūrimo pagreičių kreivės yra panašios į prieš tai aptartas, tačiau susidūriant su minivenu visais atvejais yra gaunami didesni pagreičiai. Didžiausia pagreičio reikšmė pasiekama esant 50 km/h greičiui, ji siekia 125 g. Nors esant 60 km/h greičiui pagreitis yra šiek tiek mažesnis, jo veikimo trukmė yra ilgesnė, todėl toks susidūrimas yra pavojingesnis.



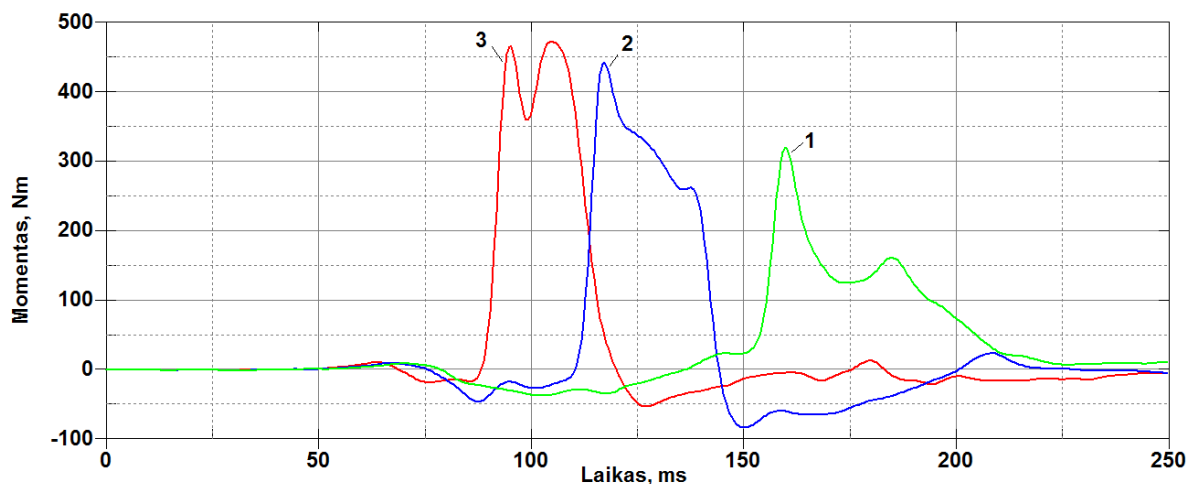
4.23 pav. HIC reikšmių palyginimas

Gautų HIC reikšmių palyginimas yra pateiktas 4.23 paveiksle. Motociklui susidūrus su miesto automobiliu, visais atvejais HIC reikšmės nesiekia net pusės leistinos ribos. Taigi motociklo vairuotojas turėtų išvengti galvos sužalojimų. Susidūrimas su minivenu yra pavojingesnis, kadangi jau esant 50 km/h greičiui, HIC reikšmė pasiekia 842. Leistina riba yra viršijama ir motociklininkui atsiranda didelė tikimybė patirti sunkią galvos traumą. Kai greitis pasiekia 60 km/h, sunkios traumos tikimybė išlieka tokia pati.



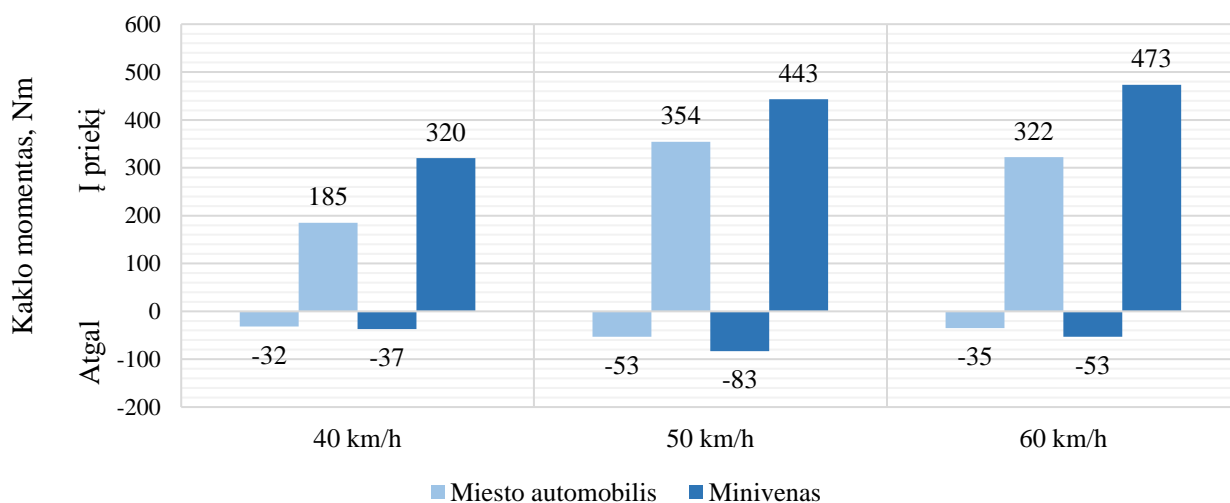
4.24 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.24 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad visų atvejų momento veikimo pobūdis yra panašus. Esant 40 km/h greičiui, kaklo momentas į priekį siekia apie 180 Nm. Greičiui padidėjus iki 50 km/h, šis momentas padidėja daugiau negu dvigubai. Dar padidinus greitį momento reikšmės išlieka panašios. Visais atvejais momentas atgal yra panašaus dydžio.



4.25 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.25 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su minivenu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Gautų kreivių pobūdis panašus kaip ir prieš tai aptartą. Šiuo atveju esant 60 km/h greičiui, kaklo momentas į priekį siekia apie 470 Nm. Mažėjant greičiui intervale, momento reikšmės taip pat mažėja. Didžiausias kaklą veikiantis momentas atgal yra tada, kai susidūrimas įvyksta esant 50 km/h motociklo greičiui. Momento dydis siekia apie 80 Nm.



4.26 pav. Kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas

Gautų kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas pateiktas 4.26 paveiksle. Motociklui susidūriant su miesto automobiliu, didžiausi kaklą veikiantys momentai yra esant 50 km/h greičiui. Momentas į priekį siekia 354 Nm, atgal – 53 Nm. Tiek šiuo atveju, tiek esant didesniai greičiui momentas į priekį viršija leistiną ribą. Kai susidūrimo greitis 40 km/h, yra didelė tikimybė išvengti sunkesnės kaklo traumos. Susidūriant su minivenu, visais atvejais momentų reikšmės yra didesnės. Jau esant 40 km/h greičiui yra nemaža tikimybė patirti sunkią kaklo traumą, kadangi momentas į priekį viršija leistiną ribą.

Bendri visų kūno dalių rezultatai yra pateikiami 4.3 lentelėje. Gauti duomenys palyginami su leistinomis ribomis, pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką nustatomas kiekvienos kūno dalies traumos sunkumas bei įvertinama motociklininko žūties tikimybė kiekvienu atveju.

4.3 lentelė

Sužeidimų vertinimo rezultatai

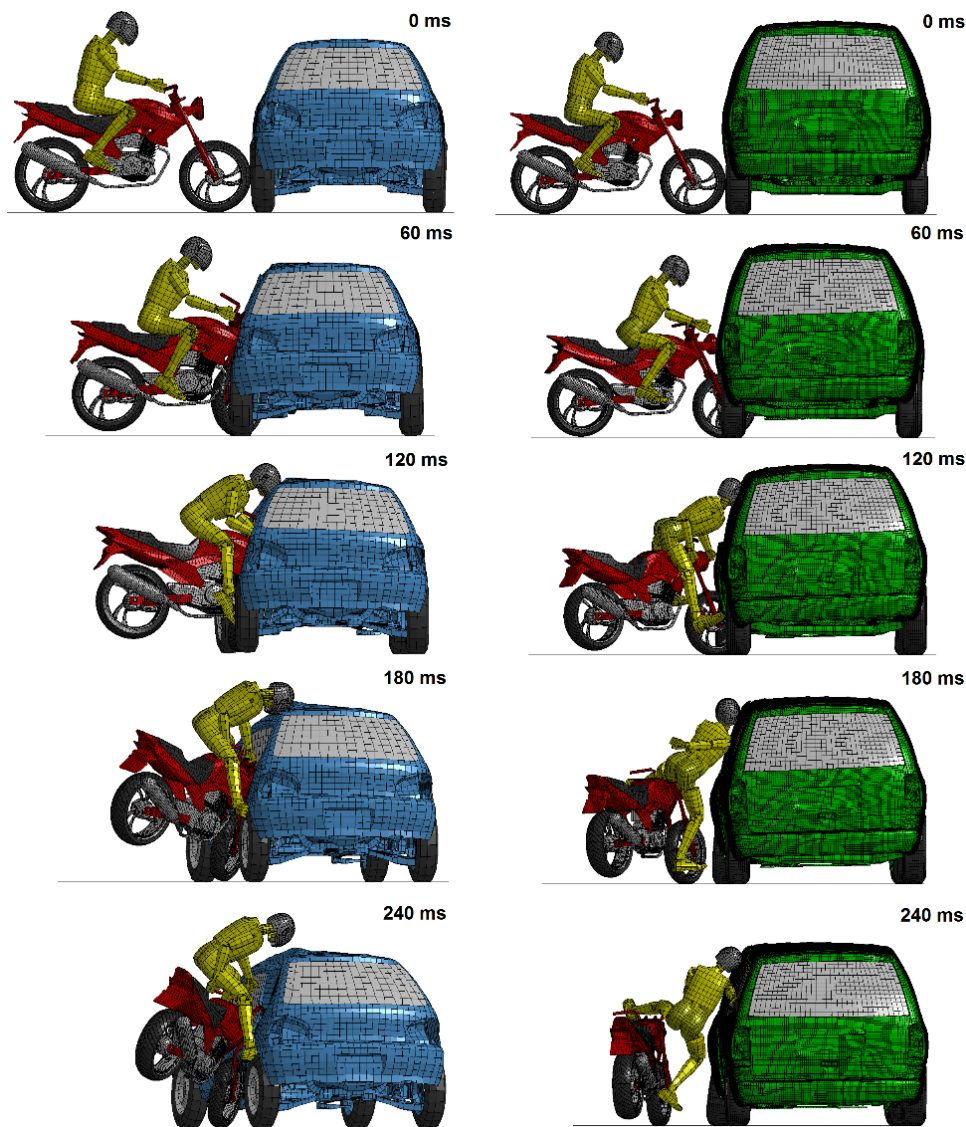
Kriterijus	Leistina riba	Trečia situacija											
		40 km/h				50 km/h				60 km/h			
		1	*	2	*	1	*	2	*	1	*	2	*
Galvos sužeidimų kriterijus HIC ₁₅	700	163	1	548	2	295	1	842	3	308	2	841	3
Kaklo sužeidimų kriterijus N _{ij}	1,0	2,13	3	3,15	4	3,86	4	4,94	5	3,20	4	4,89	5
Tempimas (N)	6806	929		1267		1273		1223		893		1663	
Spaudimas (N)	6160	577		513		1290		1504		1057		1725	
Momentas atgal (Nm)	135	32		37		53		83		35		53	
Momentas į priekį (Nm)	310	185		320		354		443		322		473	
Krūtinės sužeidimų kriterijus CSI	700	62		80		160		128		204		311	
Krūtinės deformacija (mm)	63	4	1	5	1	7	1	6	1	8	1	46	4
Dubens pagreitis (g)	130	36	1	35	1	68	2	34	1	60	2	51	2
Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (kN)	10	1,7		1,9		1,9		6,7		3,8		2,5	
Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijus TCFC (kN)	8	0,9	1	1,3	1	1,6	1	1,0	2	1,5	1	1,5	1
Sužalojimų sunkumo balas ISS	0...75	10		21		21		38		24		50	
Žūties tikimybė (%)	0...100	1		7		7		37		10		62	

* – AIS balas

Pagal gautus rezultatus matyti, kad visais susidūrimo atvejais motociklininkui yra šansų išgyventi. Didžiausia žūties tikimybė yra 60 km/h greičiu susidūriant su minivenu, ji siekia 62 %. Tokiu pat greičiu atsitrenkiant į miesto automobilį tikimybė žūti sumažėja iki 10 %. Šiais atvejais traumos yra patiriamos galvos, kaklo ir krūtinės srityse. Kai motociklo greitis yra 50 km/h, susidūrimo su minivenu metu atsiranda 37 % tikimybė, kad motociklininkas žus, kritinės kaklo traumos pavojus. Vienoda žūties tikimybė (7 %) yra kai įvyksta susidūrimas su miesto automobiliu esant 50 km/h greičiui ir susidūrus su minivenu 40 km/h greičiu. Tokiu pat greičiu susidūrus su miesto automobiliu yra tik 1 % tikimybė žūti. Šioje situacijoje yra gana didelis skirtumas, su kokia transporto priemone susidurs motociklas. Miniveno galinė dalis yra statesnė ir aukštesnė negu miesto automobilio, ir būtent dėl to, šis susidūrimas yra pavojingesnis motociklininko gyvybei.

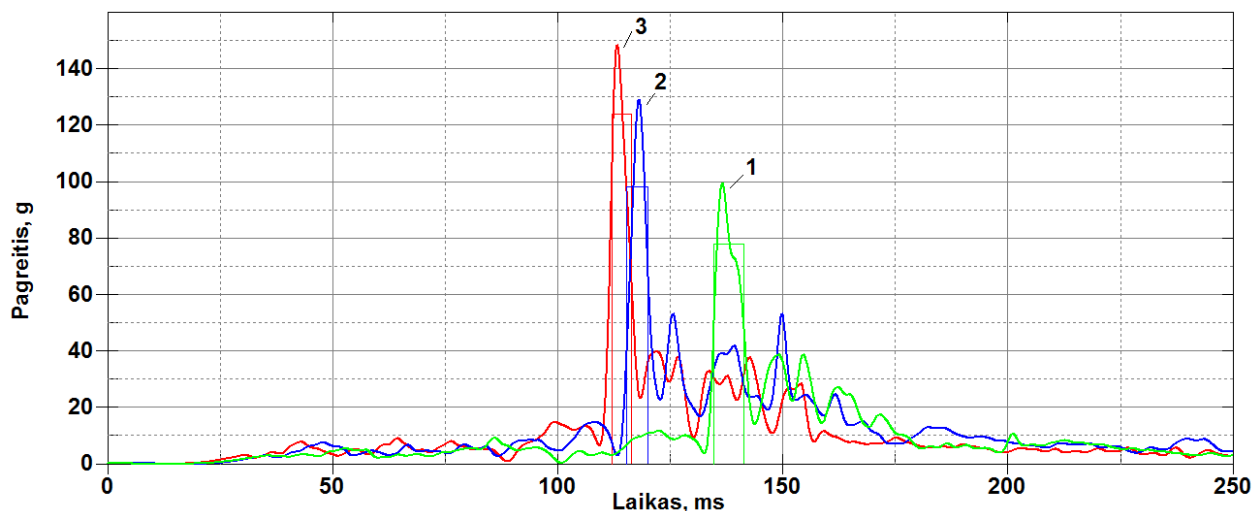
4.3.4. Ketvirta situacija

Situacija, kai motociklas trenkiasi į automobilio šono geometrinį vidurį 90° kampu. Su kiekvienu automobiliu atlikta po 3 bandymus keičiant motociklo greitį intervale.



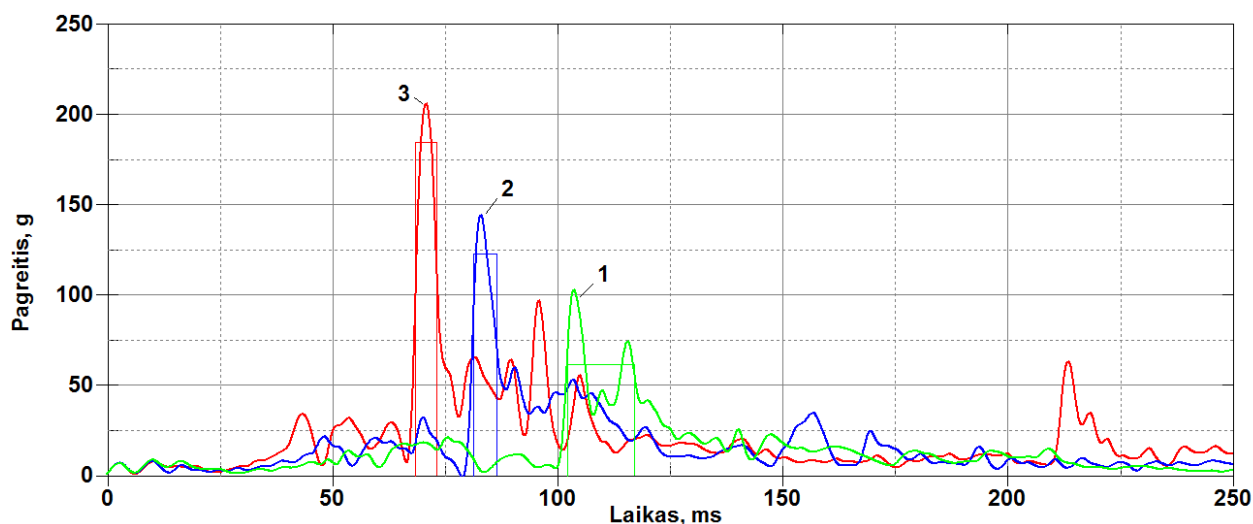
4.27 pav. Motociklo smūgis į automobilio šono geometrinį vidurį 90° kampu

4.27 paveiksle yra pavaizduotas motociklo ir automobilio susidūrimas, kuriame matyti kaip kinta motociklininko padėtis keičiantis laikui kas 60 ms. Vos atsitrenkus į automobilį, motociklininkas yra sviedžiamas per motociklo priekį ir galva trenkiasi į automobilio stogą, kai susiduriama su miesto automobiliu, ir į automobilio šoninį stiklą, kai susiduriama su minivenu. Toliau pateikiami gauti rezultatai, visos vaizduojamos kreivės yra filtruojamos pagal 108 Hz dažnio filtrą.



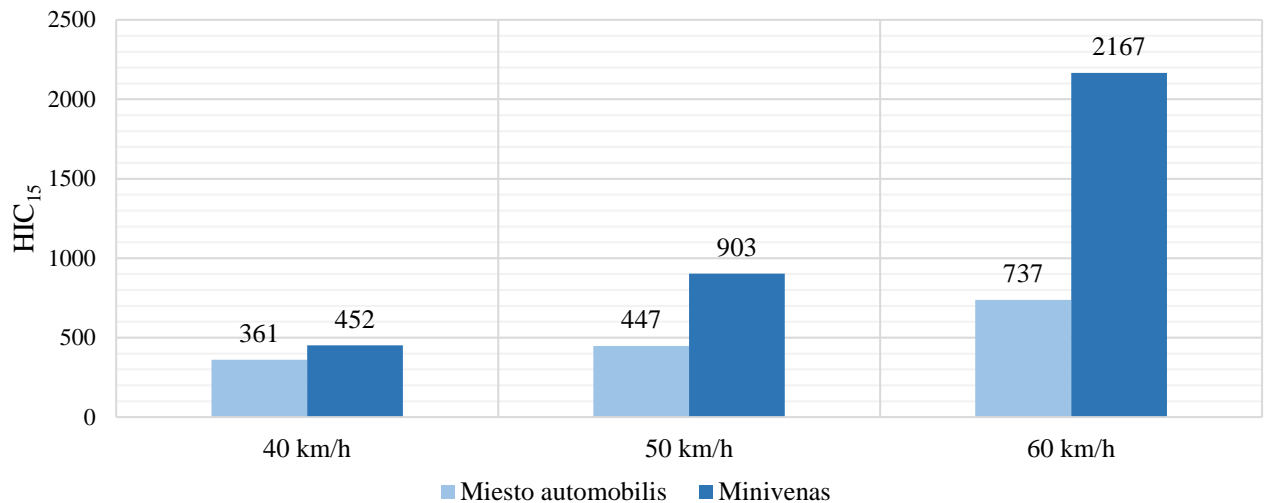
4.28 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.28 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Iš gautų kreivių matyti, kad kiekvienu atveju aiškiai išsiskiria didžiausios reikšmės, kurios didėjant greičiui, taip pat didėja. Esant 50 km/h ir 60 km/h motociklo greičiui, didžiausi pagreičiai veikia beveik tuo pat metu, nuo susidūrimo pradžios.



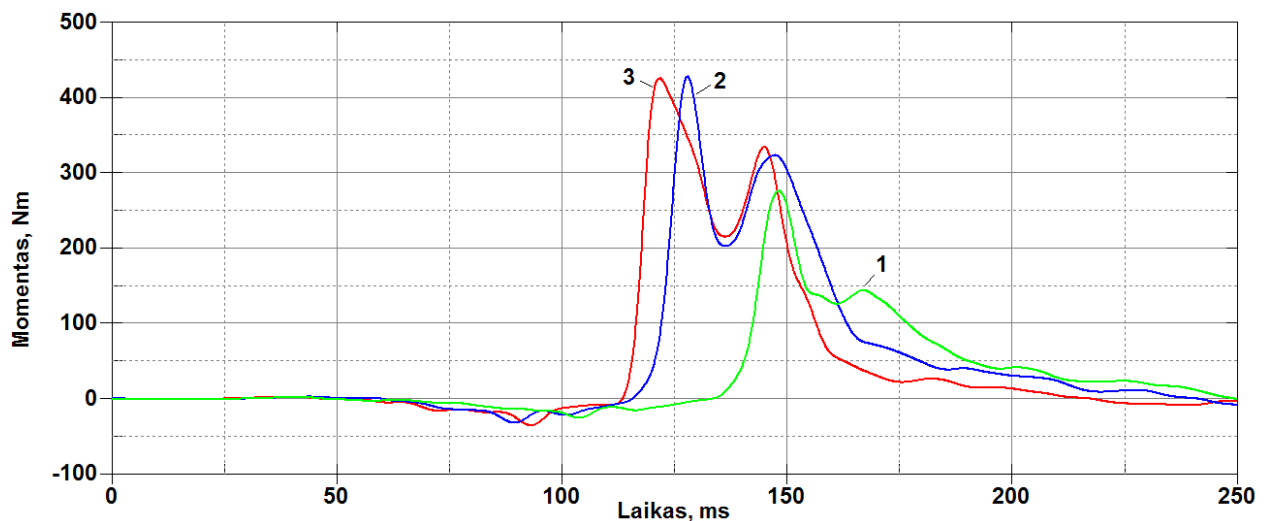
4.29 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.29 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su minivenu. Iš gautų kreivių matyti, kad kintant motociklo greičiui, beveik vienodu intervalu kyla ir veikiančio pagreičio reikšmės. Esant 60 km/h greičiui, galvą veikiančio pagreičio reikšmė viršija 200 g. Esant 40 km/h greičiui šis pagreitis yra praktiškai dvibugai mažesnis.



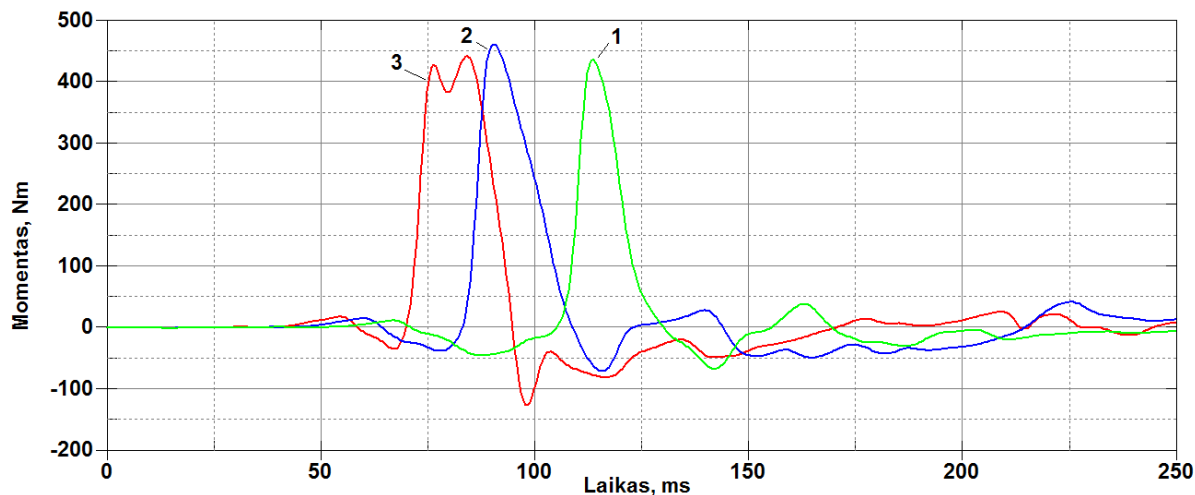
4.30 pav. HIC reikšmių palyginimas

Gautų HIC reikšmių palyginimas yra pateiktas 4.30 paveiksle. Motociklui susidūrus su miesto automobiliu, mažiausia HIC reikšmė yra 361. Kai greitis yra 60 km/h, HIC išauga iki 737, atsiranda didelė tikimybė patirti sunkią galvos traumą. Susidūriant su minivenu, jau esant 50 km/h greičiui HIC dydis pasiekia 903, o greičiui padidėjus iki 60 km/h, kriterijaus reikšmė pakyla net iki 2167. Šiuo atveju motociklininkui nelieka net teorinių šansų išgyventi.



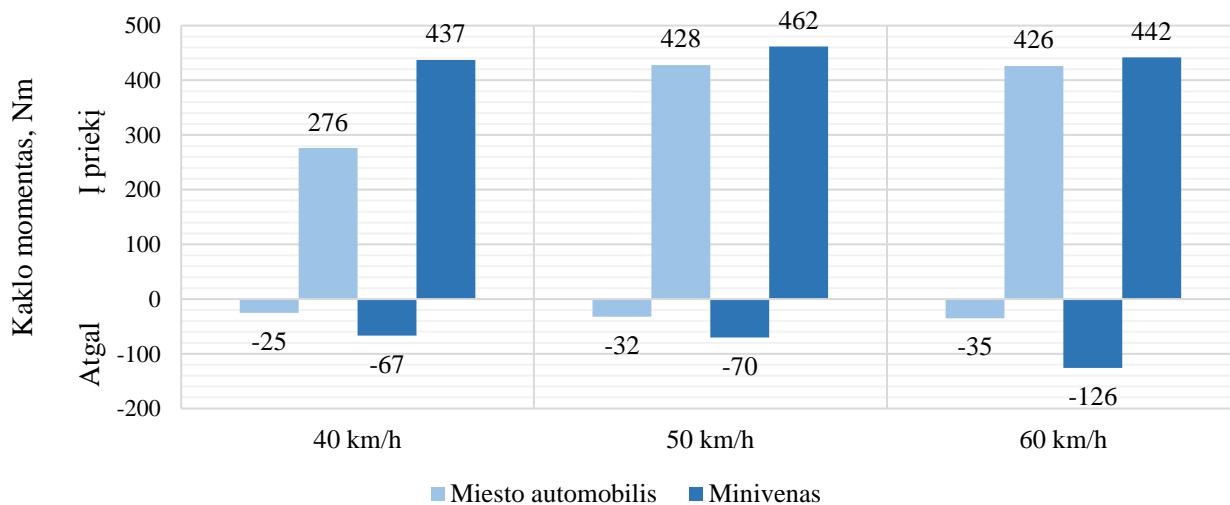
4.31 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.31 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad kaklą veikiantys momentai esant tiek 50 km/h, tiek 60 km/h yra praktiškai vienodi, didžiausia reikšmė siekia apie 420 Nm. Esant 40 km/h greičiui momento veikimo pobūdis yra panašus, tik momentų dydžiai yra mažesni.



4.32 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – motociklo greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.32 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su minivenu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad esant skirtingiems greičiams, kaklo momento į priekį reikšmės yra praktiškai vienodos ir visais atvejais viršija leistiną ribą. Momentas atgal yra didžiausias kai motociklo greitis yra 60 km/h, kitais atvejais beveik vienodas.



4.33 pav. Kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas

Gautų kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas pateiktas 4.33 paveiksle. Motociklui susidūriant su miesto automobiliu, mažiausi momentai yra esant 40 km/h greičiui. Momento į priekį reikšmė yra 276 Nm, atgal – 25 Nm. Šis atvejis yra mažiausiai pavojingas lyginant su kitais. Likusiais atvejais susidūriant tiek su miesto automobiliu, tiek su minivenu, momentų dydžiai yra labai panašūs. Išskirti galima tik susidūrimą su minivenu esant 60 km/h motociklo greičiui. Šiuo atveju leistiną ribą viršija jau ne tik momentas į priekį, bet ir atgal, todėl yra labai didelė tikimybė patirti sunkią ar net mirtiną kaklo traumą.

Bendri visų kūno dalių rezultatai yra pateikiami 4.4 lentelėje. Gauti duomenys palyginami su leistinomis ribomis, pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką nustatomas kiekvienos kūno dalies traumos sunkumas bei įvertinama motociklininko žūtis tikimybė kiekvienu atveju.

4.4 lentelė

Sužeidimų vertinimo rezultatai

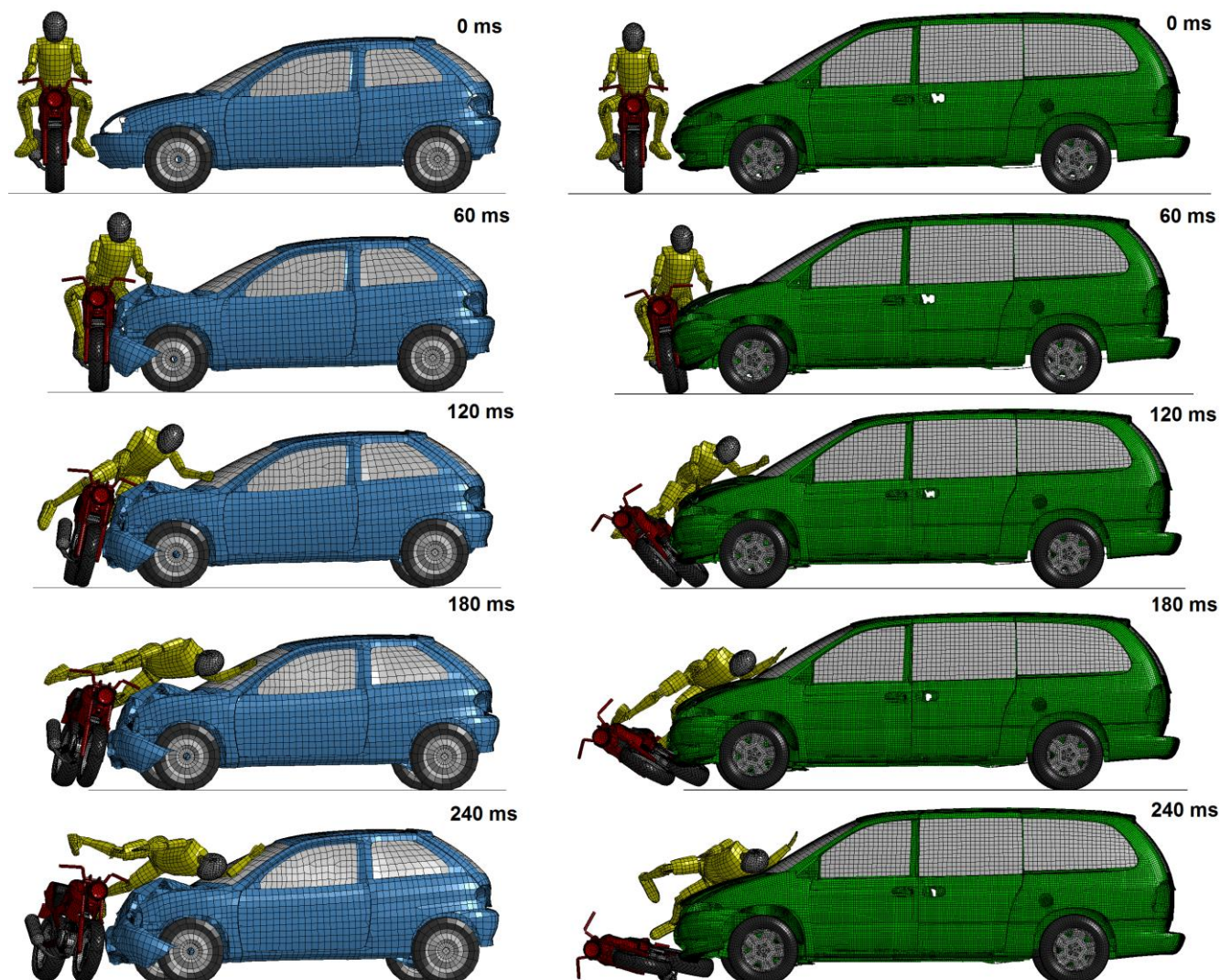
Kriterijus	Leistina riba	Ketvirta situacija											
		40 km/h				50 km/h				60 km/h			
		1	*	2	*	1	*	2	*	1	*	2	*
Galvos sužeidimų kriterijus HIC ₁₅	700	361	2	452	2	447	2	903	4	737	3	2167	6
Kaklo sužeidimų kriterijus N _{ij}	1,0	2,59	3	4,35	5	3,83	4	4,87	5	3,96	4	5,76	6
Tempimas (N)	6806	1236		1267		1658		1223		1518		1663	
Spaudimas (N)	6160	231		513		321		1504		761		1725	
Momentas atgal (Nm)	135	25		67		32		70		35		126	
Momentas į priekį (Nm)	310	276		437		428		462		426		442	
Krūtinės sužeidimų kriterijus CSI	700	55		140		126		421		129		1192	
Krūtinės deformacija (mm)	63	4	1	5	1	5	1	9	2	6	1	9	5
Dubens pagreitis (g)	130	32	1	60	2	87	2	246	5	43	2	121	3
Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (kN)	10	0,7		1,9		0,8		4,6		0,6		7,4	
Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijus TCFC (kN)	8	0,9	1	2,0	1	2,5	1	2,8	1	0,8	1	2,1	2
Sužalojimų sunkumo balas ISS	0...75	14		33		24		66		29		75	
Žūtis tikimybė (%)	0...100	3		26		10		95		20		100	

* – AIS balas

Pagal gautus rezultatus matyti, kad yra 100 % tikimybė, jog motociklininkas žus susidūrimo su minivenu metu, kai motociklo greitis yra 60 km/h. Šiuo atveju patiriamos mirtinos galvos ir kaklo traumos. Taip pat didelė tikimybė (95 %) žūti yra kai susidūrimo greitis yra 50 km/h, patiriamos kritinės kaklo ir dubens traumos bei pavojinga galvos trauma. Palyginimui, susiduriant su miesto automobiliu esant tokiems greičiams, tikimybės žūti yra 10 % ir 20 %. Šiais atvejais motociklininkas patiria pavojingas kaklos traumas, kurios gali jį paversti neįgaliu. Kai motociklo greitis yra 40 km/h, susiduriant su minivenu, tikimybė žūti yra 26 %, su miesto automobiliu – 3 %. Šioje situacijoje vėl galima pastebėti didelį skirtumą tarp automobilio tipo ir žūtis tikimybės. Visais atvejais susidūrimas su minivenu yra kelis kartus pavojingesnis motociklininko gyvybei.

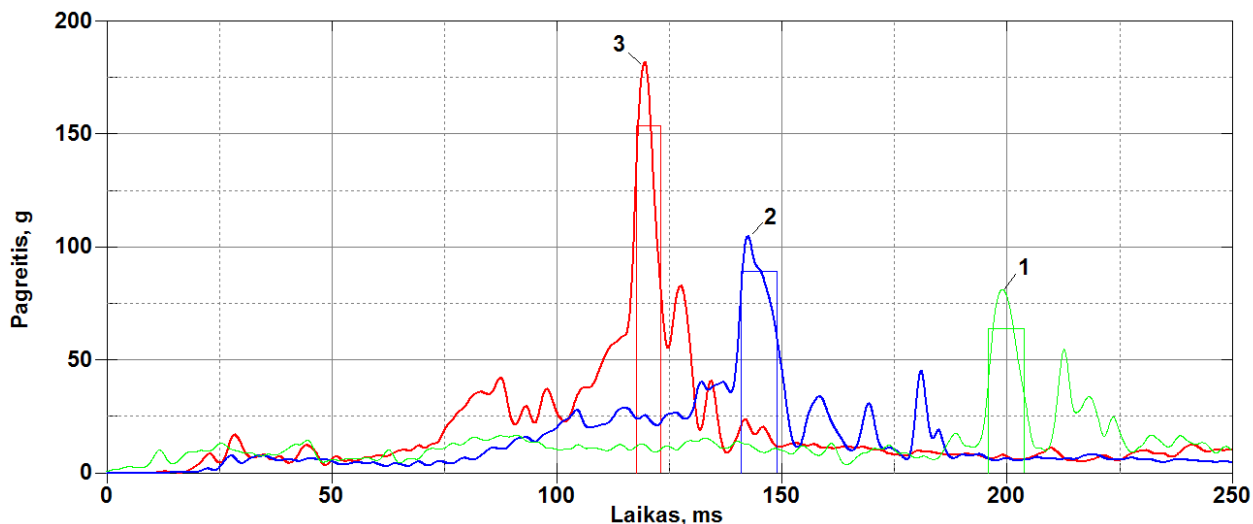
4.3.5. Penkta situacija

Situacija, kai automobilis trenkiasi į motociklo šono geometrinį vidurį 90° kampu. Su kiekvienu automobiliu atlikta po 3 bandymus keičiant jo greitį intervale.



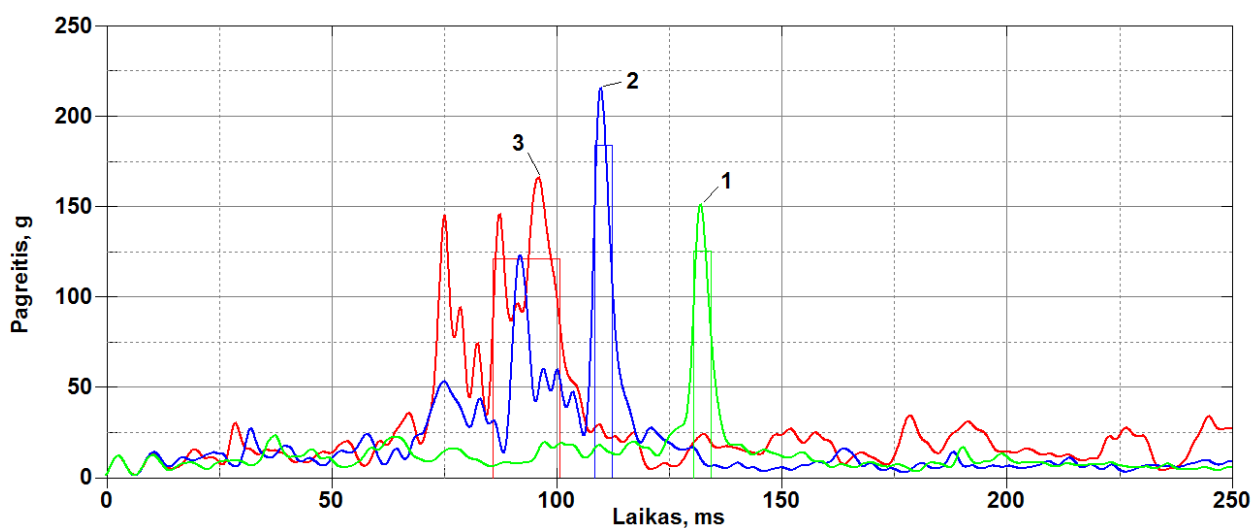
4.34 pav. Motociklo smūgis į automobilio šono geometrinį vidurį 90° kampu

4.34 paveiksle yra pavaizduotas automobilio ir motociklo susidūrimas, kuriame matyti kaip kinta motociklininko padėtis keičiantis laikui kas 60 ms. Vos automobiliui atsitrenkus į motociklą, motociklininkas yra sviedžiamas per motociklo šoną ant automobilio priekinės dalies. Kai susiduriama su miesto automobiliu, motociklininkas galva trenkiasi į priekinį stiklą, o kai susiduriama su minivenu – į automobilio variklio dangtį. Taip pat tiek vienu, tiek kitu atveju motociklininko kairė koja yra suspaudžiama tarp motociklo ir automobilio buferio. Toliau pateikiami gauti rezultatai, visos vaizduojamos kreivės yra filtruojamos pagal 108 Hz dažnio filtrą.



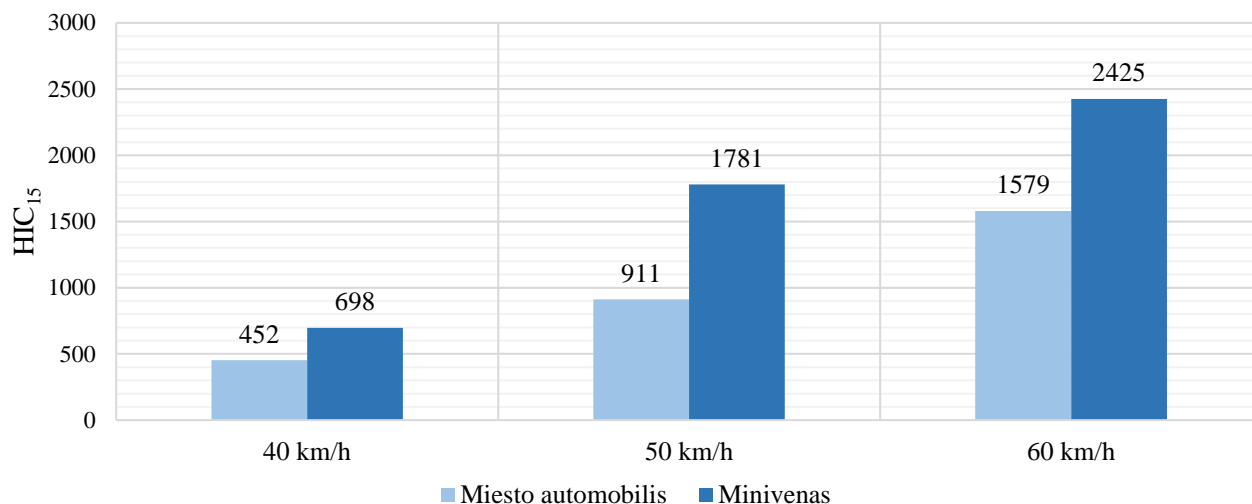
4.35 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – automobilio greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.35 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Iš gautų kreivių matyti, kad esant 40 km/h ir 50 km/h greičiams veikiantis pagreitis yra gana nedidelis. Tačiau greičiui pasiekus 60 km/h, galvą veikiantis pagreitis išauga beveik dvigubai ir pasiekia apie 180 g dydį, kuris motociklininkui yra mirtinas.



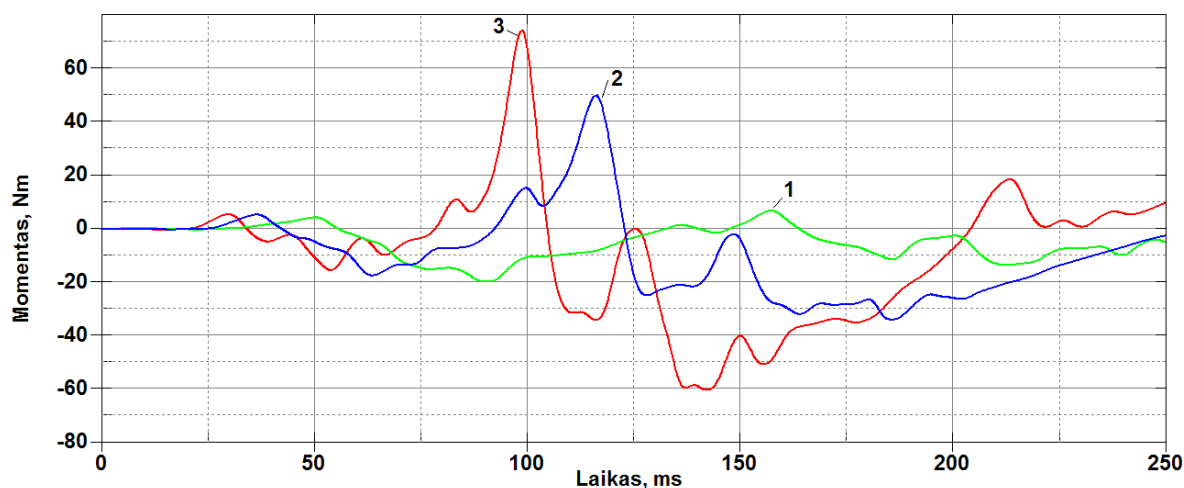
4.36 pav. Galvą veikiančių pagreičių kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – automobilio greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.36 paveiksle pateikti motociklininko galvą veikiantys pagreičiai esant susidūrimui su minivenu. Iš gautų kreivių matyti, kad didžiausi pagreičiai veikia esant 50 km/h greičiui, reikšmė pakyla beveik iki 250 g. Esant 40 km/h ir 60 km/h greičiams, galvą veikiantys pagreičiai pagal dydį yra panašūs, tačiau susiduriant didesniu greičiu, pagreičio veikimo trukmė yra gerokai ilgesnė.



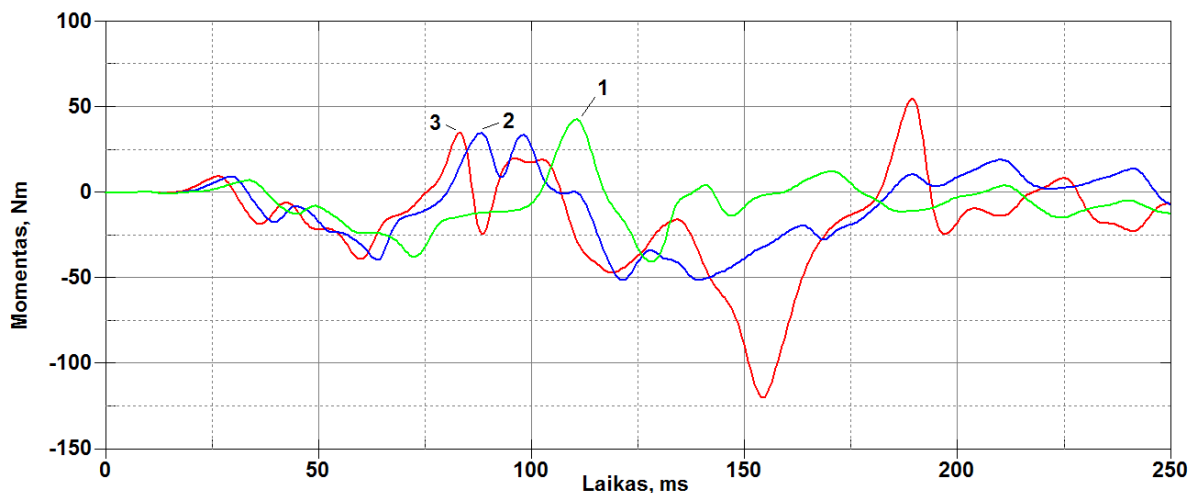
4.37 pav. HIC reikšmių palyginimas

Gautų HIC reikšmių palyginimas yra pateiktas 4.37 paveiksle. Motociklui susidūrus su miesto automobiliu, mažiausia HIC reikšmė yra 352. Greičiui padidėjus iki 50 km/h, HIC padidėja iki 611, o pasiekus 60 km/h greitį – siekia net 1579. Susidūrus su minivenu, esant 40 km/h greičiui HIC reikšmė yra lygi leistinai, nemaža tikimybė patirti sunkią galvos traumą. Tačiau greičiui padidėjus iki 50 km/h, HIC reikšmė išauga iki 1781, išgyventi šansų nebelieka. Labai didelės HIC reikšmės įrodo, kad šoninis pagreitis žmogui yra pavojingesnis negu pagreitis į priekį.



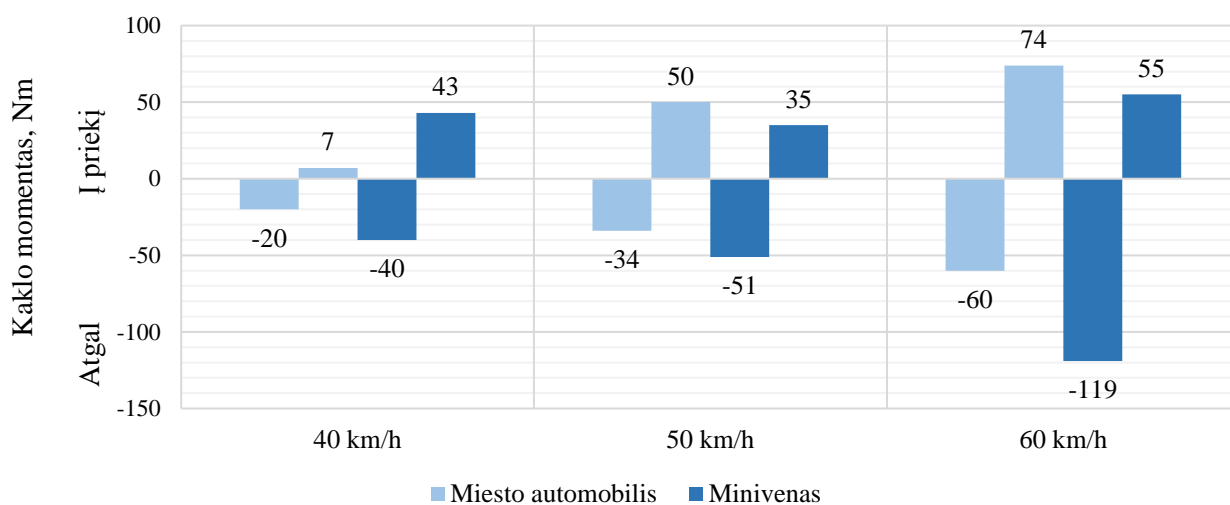
4.38 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su miesto automobiliu metu: 1 – automobilio greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.38 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su miesto automobiliu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Šiuo atveju yra gana didelis kreivių netolygumas, ypač esant 40 km/h greičiui. Kiekvienu atveju momentas tiek į priekį, tiek atgal yra praktiškai vienodas. Esant 60 km/h greičiui, didžiausia momento į priekį reikšmė yra apie 75 Nm, atgal – 60 Nm. Visais atvejais momentai neviršija leistinųjų reikšmių.



4.39 pav. Kaklą veikiančių momentų kreivės susidūrimo su minivenu metu: 1 – automobilio greitis 40 km/h, 2 – 50 km/h, 3 – 60 km/h

4.39 paveiksle pateikti motociklininko kaklą veikiantys momentai esant susidūrimui su minivenu. Teigiama reikšmė nurodo kaklo momentą į priekį, o neigiama – atgal. Iš gautų kreivių matyti, kad esant skirtingiems greičiams, kaklo momentų reikšmės svyruoja panašiam intervale. Galima išskirti atvejį, kai susiduriama 60 km/h greičiu. Momento atgal reikšmė beveik pakyla iki leistinos 135 Nm ribos, atsiranda didelė tikimybė patirti sunkią kaklo traumą.



4.40 pav. Kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas

Gautų kaklą veikiančių momentų reikšmių palyginimas pateiktas 4.40 paveiksle. Motociklui susiduriant su miesto automobiliu, esant 40 km/h greičiui, momentų reikšmės yra mažos. Greičiui padidėjus iki 50 km/h, kaklo momentas į priekį siekia 50 Nm, atgal – 34 Nm. Dar pakilus greičiui reikšmės atitinkamai padidėja iki 74 Nm ir 60 Nm. Visais atvejais yra didelė tikimybė išvengti kaklo traumas. Susiduriant su minivenu leistinos momentų ribos nėra viršijamos. Esant 60 km/h greičiui, momentas atgal pasiekia 119 Nm, o ši reikšmė jau teikia nemažą tikimybę patirti sunkią kaklo traumą.

Bendri visų kūno dalių rezultatai yra pateikiami 4.5 lentelėje. Gauti duomenys palyginami su leistinomis ribomis, pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką nustatomas kiekvienos kūno dalies traumos sunkumas bei įvertinama motociklininko žūties tikimybė kiekvienu atveju.

4.5 lentelė

Sužeidimų vertinimo rezultatai

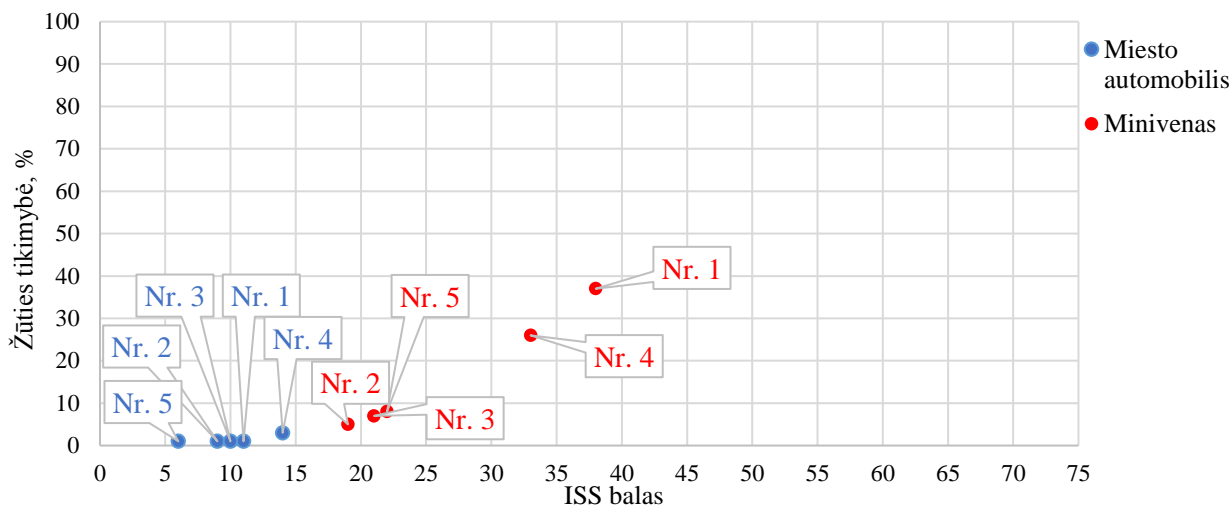
Kriterijus	Leistina riba	Penkta situacija											
		40 km/h				50 km/h				60 km/h			
		1	*	2	*	1	*	2	*	1	*	2	*
Galvos sužeidimų kriterijus HIC ₁₅	700	452	2	698	3	911	4	1781	6	1579	6	2425	6
Kaklo sužeidimų kriterijus N _{ij}	1,0	0,64	1	1,43	2	1,48	2	2,44	3	2,36	3	4,24	5
Tempimas (N)	6806	707		1511		1845		4332		3004		6123	
Spaudimas (N)	6160	270		357		333		563		350		995	
Momentas atgal (Nm)	135	20		40		34		51		60		119	
Momentas į priekį (Nm)	310	7		43		50		35		74		55	
Krūtinės sužeidimų kriterijus CSI	700	93		191		161		451		274		1035	
Krūtinės deformacija (mm)	63	3	1	4	1	3	1	13	2	4	1	10	4
Dubens pagreitis (g)	130	42	1	78	2	87	2	272	5	64	2	203	5
Šlaunikaulio jėgos kriterijus FFC (kN)	10	6,2		17,5		9,9		24,8		12,3		25,0	
Blauzdikaulio spaudimo jėgos kriterijus TCFC (kN)	8	2,2	1	4,9	3	1,7	2	4,6	4	4,3	3	4,2	4
Sužalojimų sunkumo balas ISS	0...75	6		22		24		75		75		75	
Žūties tikimybė (%)	0...100	1		8		10		100		100		100	

* – AIS balas

Pagal gautus rezultatus matyti, kad net trimis atvejais yra 100 % tikimybė, jog motociklininkas žus susidūrimo metu, t.y. abiem atvejais, kai skirtingų automobilių greitis yra 60 km/h, ir kai minivenu greitis yra 50 km/h. Visais trimis atvejais patiriama mirtina galvos trauma. Kai miesto automobilis važiuodamas 50 km/h greičiu susiduria su motociklu, tikimybė žūti yra 10 %, nors patiriama pavojinga galvos trauma. Greičiui sumažėjus iki 40 km/h, tikimybė žūti susidūrus su miesto automobiliu yra 1 %, su minivenu – 8 %. Šiais atvejais taip pat tikėtinos sunkios galvos traumos. Šioje situacijoje yra pastebimas ryšys tarp motociklininko žūties tikimybės ir automobilio greičio, su kuriuo įvyksta susidūrimas. Taip pat, kaip ir prieš tai aptartose situacijose, susidūrimas su minivenu yra pavojingesnis.

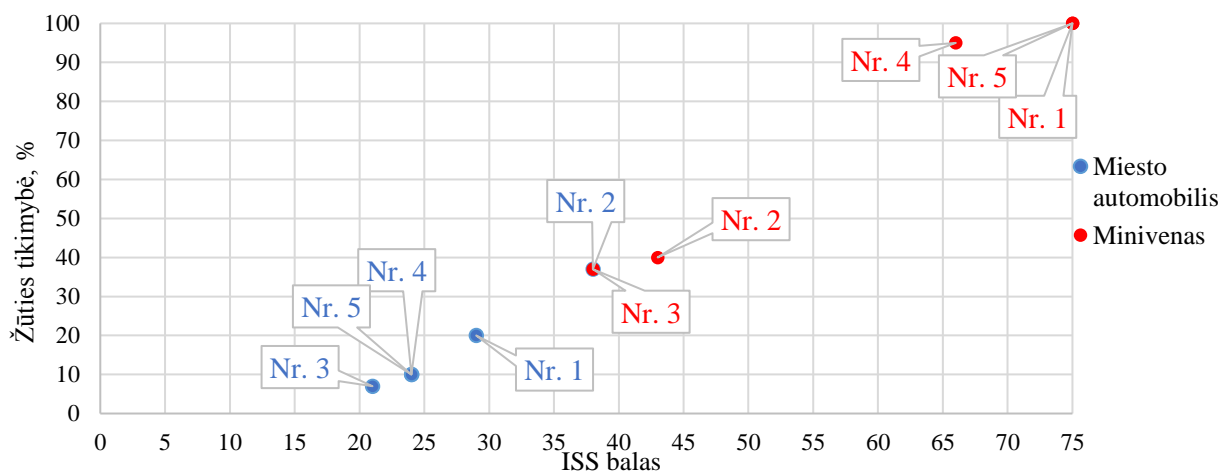
4.3.6. Situacijų palyginimas

Apžvelgus kiekvieną situaciją atskirai, gautus rezultatus galima lyginti tarpusavyje esant skirtingiems susidūrimo greičiams. Toks palyginimas leidžia įvertinti pavojingiausią ir „saugiausią“ susidūrimą kintant greičiui.



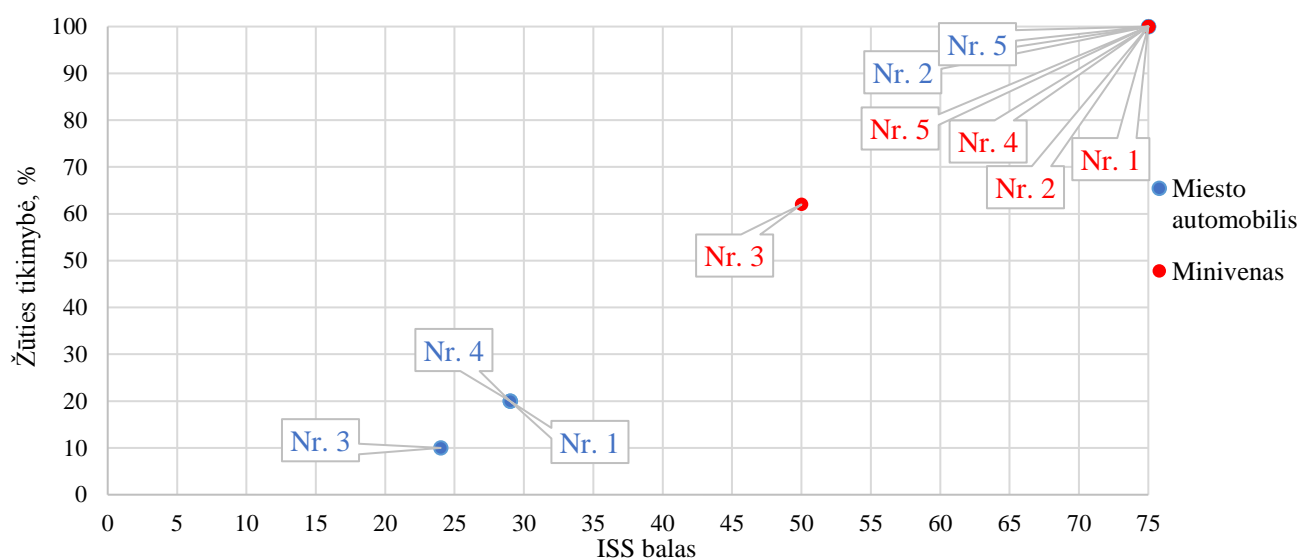
4.41 pav. Žūties tikimybės palyginimas skirtingose situacijose esant 40 km/h greičiui: Nr. 1 – pirma situacija, Nr. 2 – antra situacija, Nr. 3 – trečia situacija, Nr. 4 – ketvirta situacija, Nr. 5 – penkta situacija

4.41 paveiksle yra pateiktas motociklininko žūties tikimybės palyginimas skirtingose situacijose esant 40 km/h greičiui. Pavojingiausias susidūrimas tokiu greičiu yra motociklui susidūrus su minivenu pirmoje situacijoje, kurioje motociklas trenkiasi į automobilio priekį 45° kampu. Šiuo atveju motociklininko tikimybė žūti yra 37 %. Kitas taip pat pavojingas susidūrimas yra su minivenu ketvirtoje situacijoje, žūties tikimybė yra 26 %. Pagal ISS balus, nepavojingiausias susidūrimas yra su miesto automobiliu penktoje situacijoje, kurioje automobilis trenkiasi į motociklo šoną. Tačiau įvertinant tai, jog visose situacijose susiduriant su miesto automobiliu, žūties tikimybė neviršija 3 %, visas situacijas galima įvardinti kaip nepavojingiausias esant 40 km/h susidūrimo greičiui.



4.42 pav. Žūties tikimybės palyginimas skirtingose situacijose esant 50 km/h greičiui: Nr. 1 – pirma situacija, Nr. 2 – antra situacija, Nr. 3 – trečia situacija, Nr. 4 – ketvirta situacija, Nr. 5 – penkta situacija

4.42 paveiksle yra pateiktas motociklininko žūties tikimybės palyginimas skirtingose situacijose esant 50 km/h greičiui. Kaip pavojingiausią susidūrimą galima išskirti du atvejus: susidūrimus su minivenu pirmoje ir penktoje situacijose. Abiem atvejais motociklininkas žūsta vietoje. Dar vienas labai pavojingas susidūrimas yra su minivenu ketvirtoje situacijoje. Žūties tikimybė 95 %, taigi išgyventi po tokio susidūrimo šansų nėra daug. Pats nepavojingiausias susidūrimas yra su miesto automobiliu trečioje situacijoje, kurioje motociklas trenkiasi į lėtėjančio automobilio galą. Šiuo atveju žūties tikimybė yra tik 7 %. Šiek tiek pavojingesni yra susidūrimai su miesto automobiliu ketvirtoje ir penktoje situacijose, čia žūties tikimybė siekia 10 %.



4.43 pav. Žūties tikimybės palyginimas skirtingose situacijose esant 60 km/h greičiui: Nr. 1 – pirmą situacija, Nr. 2 – antra situacija, Nr. 3 – trečia situacija, Nr. 4 – ketvirta situacija, Nr. 5 – penkta situacija

4.43 paveiksle yra pateiktas motociklininko žūties tikimybės palyginimas skirtingose situacijose esant 60 km/h greičiui. Išskirti pavojingiausią susidūrimą yra sudėtinga, kadangi net 6 iš 10 tirtų atvejų motociklininkas žūsta susidūrimo metu. 100 % žūties tikimybė yra visose situacijose, išskyrus trečią, kai susiduriama su minivenu, ir antroje bei penktoje situacijoje, kai susiduriama su miesto automobiliu. Pats nepavojingiausias susidūrimas yra su miesto automobiliu trečioje situacijoje, kurioje motociklas trenkiasi į lėtėjančio automobilio galą. Žūties tikimybė šiuo atveju yra 10 %. Kiti du susidūrimai, kuriose tikimybė žūti yra 20 %, yra susidūrimai su miesto automobiliu pirmoje ir ketvirtoje situacijose.

5. EKONOMINIS VERTINIMAS

Dėl eismo įvykių kiekviena valstybė patiria milžiniškus nuostolius. Tačiau šie nuostoliai nėra tik apgadintas turtas ar pagalbos tarnybų darbo sąnaudos. Kiekvienas žuvęs ar sužeistas pilietis valstybei padaro nemažą žalą. Štai Jungtinėse Amerikos Valstijose ši žala yra skaičiuojama pasinaudojant AIS skale, kai nuo traumos sunkumo priklauso ir patiriamos žalos dydis. 2010 metų duomenys pateikti 5.1 lentelėje. Kiekvienais metais šie skaičiai šiek tiek kinta dėl ekonominės situacijos šalyje.

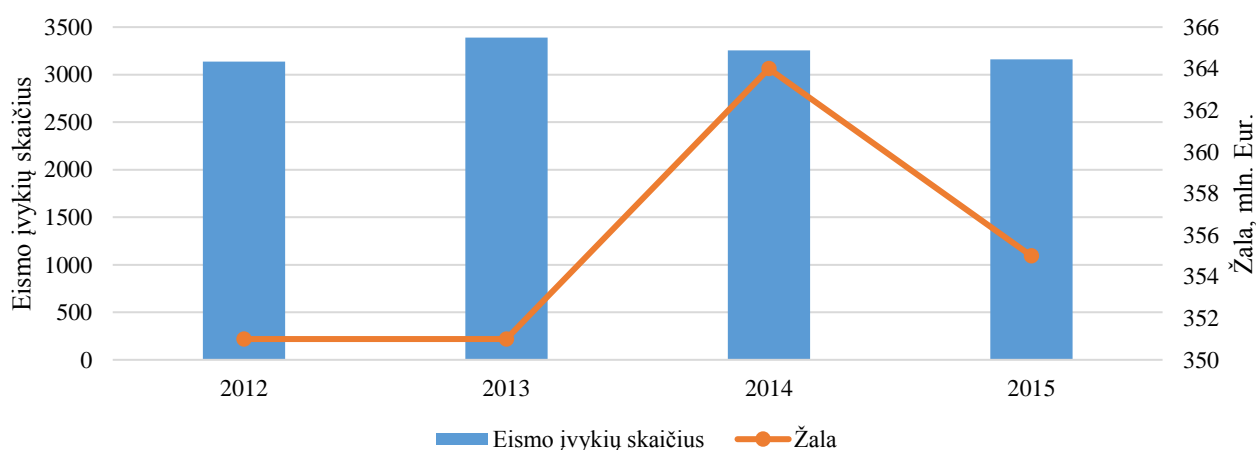
5.1 lentelė

Valstybės patiriama žala skirtingų žmogaus traumų atveju [22]

Traumos sunkumas	Valstybės patiriama žala, \$
Lengva (AIS 1)	23 241
Vidutinė (AIS 2)	340 872
Rimta (AIS 3)	805 697
Sunki (AIS 4)	2 037 483
Kritinė (AIS 5)	4 578 525
Mirtina (AIS 6)	7 747 082

Lietuvoje žmogaus gyvybė įvertinama daug mažesne suma. Pagal 2012 metų duomenis, žuvęs žmogus vertinamas kiek daugiau nei 550 tūkst. eurų, o sužeistasis – beveiki 50 tūkst. eurų. 2015 metais šie skaičiai kilo atitinkamai iki 609 tūkst. ir 55 tūkst. eurų [23].

2015 metais Lietuvos keliuose žuvo 241 žmogus bei 3777 buvo sužeisti. Nesunku apskaičiuoti kokią žalą patyrė valstybė 2015 metais dėl žuvusių ir sužeistų – daugiau nei 355 milijonus eurų. Kaip keitėsi ši suma bėgant metams yra pateikiama 5.1 paveiksle.



5.1 pav. Žalos Lietuvos ekonomikai dėl eismo įvykių kitimas 2012-2015 m. [23]

Saugumo reikalavimų didinimas, kelių ir gatvių infrastruktūros gerinimas padeda kasmet mažinti žuvusiųjų skaičių, o tai mažina ir valstybės patiriamos žalos dydį.

6. REZULTATŲ PALYGINIMAS

Šiame skyriuje yra palyginami tyrimo metu gauti rezultatai su kitų tyrėjų, kurie atliko panašius tyrimus, rezultatais.

Pirmasis darbas, su kuriuo galima lyginti rezultatus, yra 2012 metais Lisabonos technikos universitete D.Bernardo atliktas motociklo ir automobilio susidūrimo tyrimas naudojant programą „PC-Crash“. Kadangi tyrime buvo vertinamas tik galvos sužeidimų kriterijus HIC, lyginamas bus tik šis rodiklis. Taip pat palyginimas yra tik motociklo susidūrimo su didelės masės automobiliu. Rezultatų palyginimas pateikiamas 6.1 lentelėje.

6.1 lentelė

Rezultatų palyginimas

Susidūrimo greitis, km/h	Susidūrimo kampas, °	HIC ₁₅ (D.Bernardo tyrimas [15])	AIS balas	HIC ₁₅ (šis tyrimas)	AIS balas
50	45	574	2	471	2
	90	748	2	903	3

Kaip matyti iš rezultatų, gautos HIC reikšmės šiek tiek skiriasi, tačiau lyginant rezultatus AIS skalėje, jos praktiškai sutampa.

Sekantis darbas yra S.Carvalho atliktas tyrimas, kuriame buvo lyginami medikų išrašai su skaitinių tyrimų rezultatais programa „PC-Crash“. Kadangi šio tyrimo metu tirtos situacijos nėra standartizuotos, palyginti galima tik vieną iš situacijų, kuri buvo labai panaši į atliktą šiame darbe. Tai miniveno susidūrimas su motociklu 90°kampu (5 situacija). Skirtumas tik tas, kad motociklo greitis buvo 20 km/h, o ne 25 km/h kaip šiame tyrime. Rezultatų palyginimas pagal AIS pateikiamas 6.2 lentelėje.

6.2 lentelė

Rezultatų palyginimas

Kūno dalis	Galva	Kaklas	Krūtinė	Dubuo	Kojos
S.Carvalho tyrimas [13]	5	1	4	2	3
Šis tyrimas	3	2	1	2	3

Didžiausias skirtumas tarp rezultatų yra galvos ir krūtinės srityse. Neatitikimai gali atsirasti dėl skirtingo motociklo tipo, kitokių susidūrimo sąlygų ir kt. S.Carvalho tyrimas panašus tuo, kad jame taip pat yra vertinami viso kūno sužalojimai ir pagal tai nustatoma motociklininko žūties tikimybė vienu ar kitu atveju.

Apžvelgus kitų tyrėjų rezultatus galima teigti, jog nepriklausomai kokia programine įranga yra atliekamas susidūrimo modeliavimas, gaunami rezultatai yra labai panašūs ir juos galima vertinti kaip teisingus.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Nustatyta, kad pavojingiausias susidūrimas motociklininkui su miesto automobiliu yra esant 60 km/h greičiui, kai automobilis trenkiasi į motociklo šoną. Šiuo atveju yra 100 % tikimybė motociklininkui žūti susidūrimo metu, kadangi patiriama mirtina galvos trauma.
2. Net 4 iš 5 atvejų, kai motociklas susiduria su miesto automobiliu, esant 40 km/h greičiui, motociklininko žūtis tikimybė yra vos 1 %. Šiuos susidūrimus galima vertinti kaip nepavojingiausius gyvybei, patiriamos vidutinės kaklo bei galvos traumas.
3. Pavojingiausias susidūrimas motociklininkui su minivenu yra esant 60 km/h greičiui, kai motociklas statmenu kampu trenkiasi į automobilį. Patiriamos mirtinos tiek galvos, tiek kaklo traumas, žūtis tikimybė yra 100 %.
4. Pats nepavojingiausias susidūrimas su minivenu yra esant 40 km/h greičiui, kai motociklas trenkiasi į automobilio šoną 45° kampu. Šiuo atveju žūtis tikimybė yra tik 5 %, galima patirti rimtesnes kaklo ir dubens traumas.
5. Esant 60 km/h susidūrimo greičiui, net 6 iš 10 tirtų atvejų, motociklininko patiriamos traumas yra mirtinos.
6. Nustatyta, jog visais tirtais atvejais susidūrimas su minivenu yra pavojingesnis negu su miesto automobiliu.

INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. EuroNCAP 2016–2020 metų strategija. [žiūrėta 2017-02-06] Prieiga per internetą:
<http://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/timeline/roadmap-2016-2020>
2. EK paskelbta eismo įvykių statistika. [žiūrėta 2017-01-16] Prieiga per internetą:
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics_lt
3. Europos Komisijos paskelbta motociklų ir mopedų eismo įvykių statistika. [žiūrėta 2017-01-16] Prieiga per internetą:
https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2016_moto_moped.pdf
4. LR susisiekimo ministerijos eismo įvykių statistika. [žiūrėta 2017-01-17] Prieiga per internetą:
<https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/saugus-eismas-1/kita-informacija-1/eismo-ivykiu-statistika>
5. NHTSA transporto priemonių tarpusavio bendravimas. [žiūrėta 2017-01-17] Prieiga per internetą:
<https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communications>
6. EK paskelbta rimtų traumų eismo įvykių metu statistika. [žiūrėta 2017-01-16] Prieiga per internetą:
https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/injuries_study_2016.pdf
7. Dažnos motociklų avarių situacijos. [žiūrėta 2017-01-13] Prieiga per internetą:
<http://www.mc-ams.co.uk/blog/common-motorbike-accident-scenarios/>
8. Traumų biomechanika. [žiūrėta 2017-03-08] Prieiga per internetą:
<http://annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.bioeng.9.060906.151946#f1>
9. Sužeidžiamumo kriterijai ir jų leistinos ribos. [žiūrėta 2017-03-06] Prieiga per internetą:
http://www.academia.edu/4626758/INJURY_CRITERIA_AND_TOLERANCE_LEVELS
10. Sutrumpinta sužalojimų skalė. [žiūrėta 2017-03-20] Prieiga per internetą:
https://en.wikipedia.org/wiki/Abbreviated_Injury_Scale
11. 10-oji tarptautinė LS-DYNA vartotojų konferencija. „Validation of Finite Element Crash Test Dummy Models for the Prediction of Orion Crew Member Injuries during a Simulated Vehicle Landing“ medžiaga. [žiūrėta 2017-03-21] Prieiga per internetą:
http://www.academia.edu/21168648/Validation_of_Finite_Element_Crash_Test_Dummy_Models_for_the_Prediction_of_Orion_Crew_Member_Injuries_during_a_Simulated_Vehicle_Landing
12. R.Eppinger, E.Sun ir kt.. Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems. NHTSA, 1999. 180p. [žiūrėta 2017-03-27] Prieiga per internetą:
https://ntl.bts.gov/lib/11000/11600/11669/rev_criteria.pdf

13. S.Carvalho. Injuries Analysis and Computational Simulation of Two Wheelers Accidents Using Human Body Biomechanical Models. [žiūrėta 2017-03-27] Prieiga per internetą:
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146033726/Resumo%20Sergio%20Carvalho%2041623.pdf>
14. Rankų ir kojų traumos. [žiūrėta 2017-04-02] Prieiga per internetą:
<http://www.eurailsafe.net/subsites/operas/HTML/Section3/Page3.3.6.2.htm>
15. D. Bernardo. Injury analysis and reconstruction of Powered Two Wheelers accidents. [žiūrėta 2017-04-10] Prieiga per internetą:
http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/666/pdf/11_Dias.pdf
16. H.Namiki, T.Nakamura, S.Iijima. A Computer Simulation For Motorcycle Rider Injury Evaluation in Collision. [žiūrėta 2017-04-17] Prieiga per internetą:
<https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0309-W.pdf>
17. N.Bourdet, S.Mojumder ir kt. Proposal of a new motorcycle helmet test method for tangential impact. [žiūrėta 2017-04-17] Prieiga per internetą:
<http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc16/pdf-files/65.pdf>
18. Traumų rizikos kreivė. [žiūrėta 2017-03-20] Prieiga per internetą:
<https://www.nap.edu/read/18377/chapter/8#243>
19. J. Sapragnas. Transporto priemonių saugumas. Kauno technologijos universitetas, 2012. 241 p.
20. LSTC Hybrid III manekeno dokumentacija. [žiūrėta 2017-04-26] Prieiga per internetą:
http://www.oasys-software.com/dyna/en/fe-models/lstc_dummies/LSTC.H3.103008_v1.0_Documentation.pdf
21. Avarių situacijos. [žiūrėta 2017-01-13] Prieiga per internetą:
<https://publicdomainvectors.org/en/accident-clipart>
22. Eismo įvykių nuostoliai. [žiūrėta 2017-05-16] Prieiga per internetą:
<https://www.government.nl/binaries/government/documents/reports/2016/11/16/the-cost-of-road-crashes-in-the-netherlands/The+Cost+of+Road+Traffic+Accidents+in+the+Netherlands.pdf>
23. Eismo įvykių nuostoliai.Lietuvoje [žiūrėta 2017-05-16] Prieiga per internetą:
<https://www.15min.lt/gazas/naujiena/saugukelyje-lt/lietuva-del-eismo-ivykiuose-zuvusiu-asmenu-patiria-milziniskus-nuostolius-787-733572>