



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

**Tautvydas Gurevičius**

**AUTOMOTRISĖS IR AUTOMOBILIO SUSIDŪRIMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. Robertas Keršys

**KAUNAS, 2017**

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

**AUTOMOTRISĖS IR AUTOMOBILIO SUSIDŪRIMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
**Transporto priemonių inžinerija (621E20001)**

**Vadovas**

Doc. dr. Robertas Keršys

**Recenzentas**

Prof. dr. Žilvinas Bazaras

**Projektą atliko**

Tautvydas Gurevičius

**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: Tautvydas Gurevičius

1. Projekto tema:

Automotrisės ir automobilio susidūrimo tyrimas

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

2. Projekto tikslas:

Ištirti automotrisės ir automobilio susidūrimus geležinkelio pervažoje

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

Išanalizuoti pervažų konstrukcijas;

Naudojant specialią programinę įrangą sudaryti transporto priemonių susidūrimų modeli pervažoje;

Išanalizuoti gautas susidūrimų trajektorijas;

Pateikti pasiūlymus pervažų rekonstrukcijai.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)<sup>1</sup>:

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

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

Vadovas: doc. Robertas Keršys

(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_ (parašas)

Užduotį gavau: Tautvydas Gurevičius

(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_ (parašas)

<sup>1</sup> Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju



Gurevičius, Tautvydas. Automotrisės ir automobilio susidūrimo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Robertas Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Automotrisė, geležinkelio pervažos, susidūrimai pervažose, infrastruktūros saugumas, PC – Crash .

Kaunas, 2017. 91 p.

## **SANTRAUKA**

Šiame darbe tiriamos automobilio judėjimo trajektorijos po susidūrimo su automotrise geležinkelio pervažoje, siekiant, kad automobilis kuo greičiau po susidūrimo pasišalintų nuo geležinkelio bėgių į šalikelę.

Pirmame skyriuje nagrinėjami darbai, susiję su geležinkelių pervažų avaringumu Lietuvoje ir Europos sąjungoje, tiriamieji darbai, kuriuose nagrinėjami automobilio bei traukinio susidūrimai. Taip pat analizuojamos pervažų konstrukcijos. Antrame skyriuje aprašoma tyrimo metodika, susidūrimų tyrimui naudojama programinė įranga „PC – Crash 8.1“. Trečiame skyriuje atliekamas susidūrimų tyrimas naudojant pasirinktą programinę įrangą. Kiekvienas susidūrimų atvejis išsamiai analizuojamas. Ketvirtame skyriuje atliekamas gautų programos rezultatų patikrinimas taikant judesio kiekio ir energijos tvermės dėsnius. Skaičiavimams patikrinti naudojama „Matlab“ programa. Penktame skyriuje gauti rezultatai taikomi konkrečioms pervažoms bei teikiami pasiūlymai pervažų rekonstrukcijai. Remiantis gautais rezultatais pateikiamos išvados.

Gurevičius Tautvydas. RESEARCH OF RAIL CAR AND VEHICLE IMPACT: Master's thesis / supervisor assoc dr. Robertas Keršys. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Key words: Rail car, railway level crossing, collision on level crossing, infrastructure protection, PC – Crash.

Kaunas, 2017. 91 p.

## **SUMMARY**

In this project are research vehicle movements after impact with rail car on level crossing. The main aim of this study is to carry out how to make that car after impact move from railway to road side as soon as possible.

In the first chapter the literature related with railway level crossing safety in Lithuania and EU is reviewed. Also research study related with rail car and vehicle collision on level crossings is reviewed and level crossings constructions are analyzed. In the second chapter is describes research methods and “PC – Crash 8.1” software using for the research study. In the third chapter carried out collisions with the computer software. Each collision case is analyzed in detail. In the fourth chapter computer based simulation results are checked using the law of quantity of motion and the law of conservation of energy. Verification calculations are carried out using “Matlab” software. In the fifth chapter the results are apply to certain level crossing and suggestions for reconstruction are present. Conclusions are based on given results.

# Turinys

Įvadas .....	8
1. Literatūros apžvalga.....	10
1.1 Geležinkelio pervažų konstrukcijos .....	20
2. Tyrimo metodika .....	26
2.1 Susidūrimų analizei skirta programa.....	27
2.2 Programoje sudarytas susidūrimo modelis.....	28
3. Automotrisės ir automobilio susidūrimo tyrimas .....	32
3.1 Automotrisės smūgis į automobilio šono priekinę dalį .....	32
3.2 Automotrisės smūgis į automobilio priekines dureles .....	39
3.3 Automotrisės smūgis į automobilio vidurinę dalį .....	45
3.4 Automotrisės smūgis į automobilio galines dureles.....	51
3.5 Automotrisės smūgis į automobilio šono galinę dalį .....	54
4. Gautų rezultatų patikrinimas.....	59
5. Pavojingų pervažos zonų nustatymas .....	64
5.1 Pasiūlymai pervažų rekonstrukcijai.....	66
5.2 Ekonominis pasiūlymų įvertinimas .....	67
Darbo apibendrinimas ir rezultatų palyginimas .....	69
Išvados .....	70
Literatūros sąrašas.....	71
1 Priedas.....	73
2 Priedas.....	89





Tiesiant „Rail Baltica“ kelią buvo numatyta, jog pro pervažas bus galima važiuoti 120 km/h. Šiuo metu atkarpoje Kaunas – Balstogė, atlikus infrastruktūros modernizaciją, traukinių greitis pervažose padidintas nuo 25 km/ iki 80 km/h [5]. Atlikus geležinkelio linijos Kaunas – Vilnius modernizacijos darbus, konstrukcinis kelio greitis padidėjo iki 160 km/h [1]. Todėl, įvertinant tai, jog geležinkelių infrastruktūra atnaujinama siekiant padidinti leistiną važiavimo greitį, tikėtina, kad susidūrimai pervažose turės didesnės žalos ne tik automobiliams, bet ir pervažos elementams.

Šio darbo tikslas – ištirti automotrisės ir automobilio susidūrimus geležinkelio pervažoje.

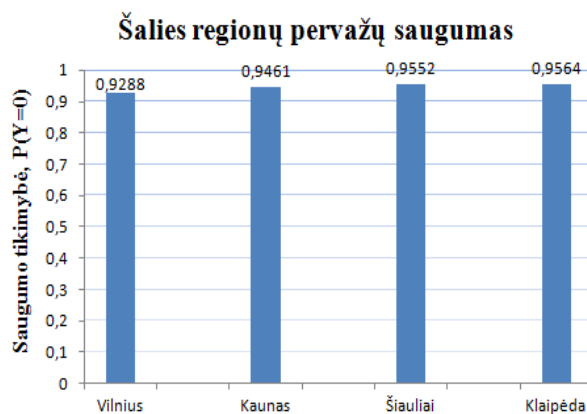
Tikslui pasiekti iškeliami uždaviniai:

- Išanalizuoti pervažų konstrukcijas;
- Naudojant specialią programinę įrangą sudaryti transporto priemonių susidūrimų modelį pervažoje;
- Išanalizuoti gautas susidūrimų trajektorijas;
- Pateikti pasiūlymus pervažų rekonstrukcijai.

# 1. Literatūros apžvalga

Visose šalyse, kuriose yra geležinkelio linijų, galima rasti ir geležinkelio pervažų. Tai viename lygyje esanti kelio ir geležinkelio sankirtos zona. Ten, kur kertasi traukinių ir automobilių keliai, yra tikimybė, jog gali įvykti šių transporto priemonių susidūrimas. Todėl pirmiausia reikėtų panagrinėti, kokia yra avarijos tikimybė pervažoje, kokie tokių susidūrimų mastai Europos sąjungoje, kiek kainuoja tokios avarijos ir kaip tiriami tokie susidūrimai.

M. Komaiško ir G. Bureika savo darbe apie Lietuvos geležinkelių pervažų eismo saugumą [6] aprašo pervažų eismo rizikos lygio vertinimą mūsų šalyje. Darbe analizuojami Lietuvos bei užsienio geležinkelių eismo įvykių statistiniai duomenys 2010 – 2016 m laikotarpyje. Autoriai nustatė, kad pervažose įvyksta apie 30 % visų geležinkelių transporto patiriamų eismo įvykių [6]. Jie vertino techninius pervažų kriterijus tirdami jų saugumą. Vertindami eismo saugumą pervažose pritaikė binarinės lygties regresijos modelį, apskaičiavo eismo įvykių tikimybių reikšmes šalies pervažose. Pagal gautus rezultatus nustatė pavojingiausių Vilniaus, Kauno, Klaipėdos ir Šiaulių regionų pervažų rizikas. Pervažos buvo sureitinguotos pagal gautus tyrimo rezultatus atsižvelgiant į eismo įvykių tikimybę. 2 paveiksle, pateiktas autorių nustatytas Lietuvos geležinkelių pervažų regionuose saugumas. Iš M. Komaiško ir G. Bureikos atlikto tyrimo rezultatų matyti, jog pačios saugiausios pervažos yra Klaipėdos ir Šiaulių regione, o nesaugiausios – Vilniaus regione (1.1 pav.)

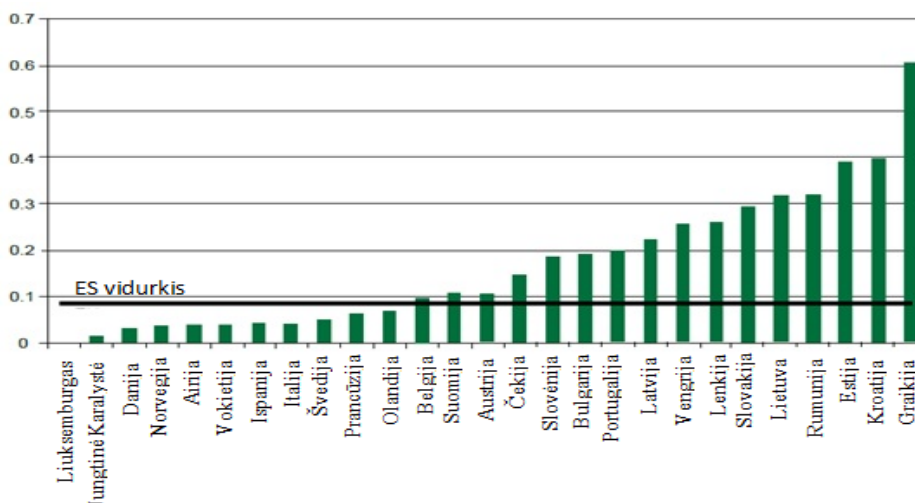


1.1 pav. Lietuvos geležinkelių pervažų saugumo palyginimas pagal šalies regionus 2010 – 2016 m laikotarpiu [6]

Vengrijos transporto infrastruktūros departamento atliktas tyrimas parodė, jog šioje šalyje, įvykus avarijai pervažoje, visi įvykiai baigiasi sunkiais sužalojimais ar mirtimi ir infrastruktūros objektų apgadinimu [7]. Palyginimui, iš keliuose įvykstančių susidūrimų tik 20 % turi tokias pasekmes. Vengrijoje yra 7718 km geležinkelio linijų, kuriose įrengta 5838 pervažos. Tai yra po vieną pervažą geležinkelyje kas 1,3 km. Pagal šią ataskaitą per devynis metus buvo užregistruoti 589 eismo įvykiai geležinkelio pervažose [7]. Iš jų 56 % įvyko dėl to, jog vairuotojai įvažiavo į pervažą esant draudžiamam šviesoforo signalui. 5 % įvykių įvyko dėl to, jog vairuotojai nesustojo prie stop linijos, 4 % įvykių dėl neatsargaus vairavimo ir 2 % dėl nepasirinkto saugaus greičio ir netinkamai įvertintų

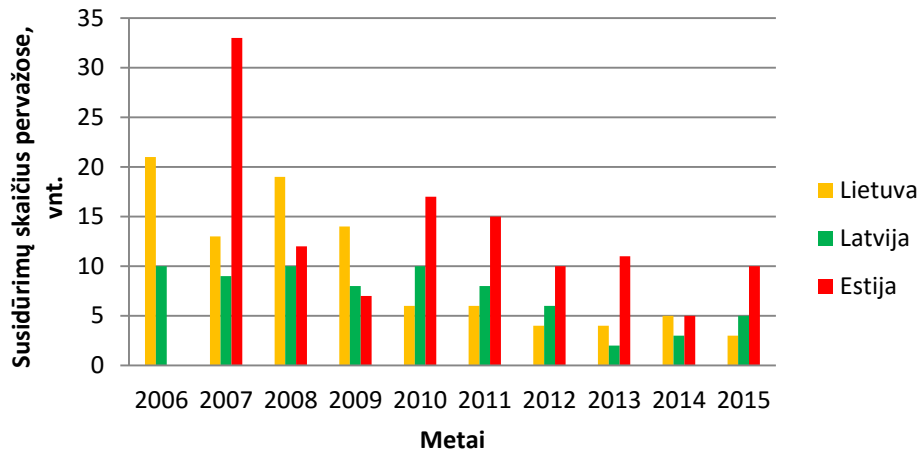
kelio sąlygų. Daugiausiai eismo įvykių Vengrijoje esančiose pervažose įvyksta, kai eismas jose reguliuojamas tik šviesoforo pagalba, nepasitelkiant kitų eismo valdymo priemonių.

Pagal Jungtinės karalystės transporto komiteto ataskaitą apie pervažų saugumą [8], šioje šalyje yra 6500 pervažų pagrindinėse geležinkelio linijose ir dar papildomai 1500 pervažų industriniuose regionuose ir metro linijose. Pagrindinės geležinkelio linijos pervažos yra suskirstytos į aktyvias, kuriose veikia garsinė ir vaizdinė signalizavimo sistema, pranešanti apie artėjantį traukinį ir pasyvias, kuriose nėra signalizavimo sistemų, pranešančių apie artėjantį traukinį. Iš 6500 pervažų net 76 % yra pasyvios, kuriose tik nuo paties vairuotojo priklauso ar kirsti pervažą saugu [8].



1.2 pav. Mirtini geležinkelio pervažų susidūrimai Europos sąjungos šalyse, kas milijoną traukinio kilometrų [8]

Nepaisant labai didelio pervažų skaičiaus, Jungtinė karalystė išlieka tarp Europos lyderių pagal pervažų saugumą. Įvertinus Europos sąjungos narių pervažas pagal eismo įvykius jose kas milijoną traukinio kilometrų, gaunamas susidūrimų vidurkis yra 0,09. 1.2 paveiksle esančiame grafike, pateikti Europos sąjungos narių duomenys apie eismo įvykius pervažose. Matome, jog Liuksemburge tokių įvykių nėra, o Jungtinėje karalystėje jų yra apie 0,01. Tuo tarpu Lietuva gerokai viršija vidurkį. Mūsų šalies pervažose įvyksta apie 0,32 eismo įvykių kas milijoną traukinio kilometrų. Tai 3,5 karto viršija Europos sąjungos vidurkį.



1.3 pav. Susidūrimų pervažose statistika Baltijos šalyse

Trijose Baltijos šalyse įvykstančių avarių geležinkelio pervažose skaičių galime matyti 1.3 paveiksle esančiame grafike. Pagal Europos geležinkelių agentūros („ERAIL“) duomenis sudarytas grafikas parodo, jog transporto priemonių susidūrimai pervažose mažėja. Šią tendenciją labiausiai lemia atnaujinamos pervažos, kuriose įrengiama vis daugiau saugumą didinančių priemonių. Pagal statistikos duomenis matyti, jog nuo 2006 m iki 2009 Latvijoje įvykdavo mažiau avarių geležinkelio pervažose nei kitose dviejose šalyse. Lietuva pagal šią neigiamą statistiką pirmavo 2006, 2008 ir 2009 metais. Nuo 2010 m Lietuvoje pastebimas tokių avarių skaičiaus žymus sumažėjimas. Tuo tarpu Estijoje taip pat fiksuojamas avarių pervažose mažėjimas, tačiau šioje šalyje vis tiek įvyksta beveik dvigubai daugiau tokių avarių nei Lietuvoje ar Latvijoje.

Suomijoje yra 3745 geležinkelio pervažos ir 78 % iš jų yra pasyvios [9]. Pagal tokių pervažų skaičių Suomija Europoje pirmauja, nes, pavyzdžiui, Belgijoje pasyvių pervažų yra tik 15 %, Olandijoje – 26 %, Prancūzijoje – 30 %, Vokietijoje – 36 % [9]. S. Laapotti atlikęs avarių geležinkelio pervažose Suomijoje tyrimą nustatė, kad apie 10 pervažų kiekvienais metais yra rekonstruojama ir paverčiama iš pasyvios į aktyvią. Traukinių greitis Suomijoje ribojamas iki 140 km/h, tačiau prieš pasyvias pervažas traukinio greitis mažinamas iki 80 km/h. Siekdami padidinti traukinių greitį, suomia mažina pasyvių pervažų skaičių. Pagal S. Laapotti, iš visų pasyvių pervažų tik 14 % turi „stop“ ženklą. Tyrimas atskleidė, jog Suomijoje 82 % visų geležinkelių pervažų avarių įvyksta pasyvaus tipo pervažose. Taip pat autorius nustatė, jog 72 % pasyvių pervažų kas diena kerta mažiau nei 11 automobilių. S. Laapotti, atlikdamas tyrimą, išnagrinėjo geležinkelių pervažų avarijas, patenkančias į 1991 – 2011 metų laikotarpį. Išanalizavęs šią statistiką autorius nustatė, jog kasmet avarių pervažose mažėja. Tačiau labiausiai tokių susidūrimų sumažėjimas įvyko nuo 2001 m. Nuo 2001 m iki 2011 m Suomijoje įvyko 42 % mažiau avarių pasyviose pervažose ir 84 % mažiau aktyviose pervažose lyginant su 1991 – 2000 metų laikotarpiu. Tai autorius sieja su pervažų atnaujinimais, didinančiais saugumą. Taip pat S. Laapotti savo tiriamajame darbe nustatė, jog 34 % avarių pervažose įvyksta vasaros sezono metu ir 25 % avarių pavasario metu. Dažniau Suomijoje

pervažose avarijas patiria keleiviniai traukiniai (79 %) nei kroviniai (21 %) [9]. Suomijoje 70 % visų avarių geležinkelių pervažose įvyksta dėl to, jog vairuotojai nepastebi atvykstančio traukinio arba neatkreipia dėmesio į draudžiamą šviesoforo signalą. 20 % tokių avarių įvyksta dėl to, jog vairuotojai prie pervažos artėja per greitai ir nespėja laiku sustabdyti transporto priemonės. S. Laapotti nustatė, jog 74 % avarių pasyviose geležinkelio pervažose įvyko retai apgyvendintose teritorijose, o aktyviose geležinkelio pervažose - 42 % . Tokį pasiskirstymą lemia tai, jog dauguma aktyvių pervažų yra tankiau apgyvendintose vietovėse, o pasyvių priešingai – daugiau jų yra rečiau apgyvendintose vietovėse.

Siekiant nustatyti ekonominę žalą, kuri atsiranda po eismo įvykio geležinkelio linijose, reikia atsižvelgti į keletą kriterijų. Pirmiausiai reikia nustatyti ar eismo įvykyje buvo sunkiai sužeistų, mirusių asmenų. Tada tenka nustatyti žalos, padarytos aplinkai, dydį ir ją įvertinti pinigine išraiška. Vėliau nustatoma žala, padaryta geležinkelių infrastruktūrai ir geležinkelių riedmenims. Galiausiai apskaičiuojama žala, kurią patyrė krovinių siuntėjai dėl vėluojančių traukinių. N. Žalnieraitis savo darbe [10] nagrinėja skaičiavimo metodikas, reikalingas apskaičiuoti prieš tai minėtoms žalomis.

Žala dėl sunkiai sužalotų ar mirusių asmenų, apskaičiuojama pagal sekančią formulę [10]:

$$D_{zm} = I_{AV} \cdot N, \quad (1.1)$$

čia:

$D_{zm}$  – žala dėl sunkiai sužalotų ar mirusių asmenų, €;

$I_{AV}$  – išvengtų aukų vertė, €;

$N$  – sunkius sužeidimus patyrusių ir žuvusių asmenų skaičius, vnt.

Išvengtų aukų vertė apskaičiuojama pagal sekančią formulę [10]:

$$I_{AV} = N_{MV} \cdot I_{TN}, \quad (1.2)$$

čia:

$N_{MV}$  – nustatyta mokama suma, €;

$I_{TN}$  – tiesioginės ar netiesioginės išlaidos, €.

Tiesioginės ar netiesioginės išlaidos apskaičiuojamos pagal šią formulę [10]:

$$I_{TN} = I_M + I_{PTD} + N_{pr}, \quad (1.3)$$

čia:

$I_M$  – medicininės išlaidos, €;

$I_{PTD}$  – išlaidos susijusios su policijos darbu, teismų išlaidomis ir administracinėmis draudimo išlaidomis, €;

$N_{pr}$  – valstybės patiriami nuostoliai, kurie apskaičiuojami nustatant prekių, kurias galėjo pagaminti, ir paslaugų, kurias galėjo suteikti į eismo įvykį patekęs asmuo jei eismo įvykis nebūtų įvykęs, €.

Žala, kurią dėl traukinių vėlavimo patiria siuntėjai ar geležinkelio keleiviai, apskaičiuojama pagal šią formulę [10]:

$$D_{KK} = C_{KV} \cdot T_{KV} + C_{PV} \cdot T_{PV}, \quad (1.4)$$

čia:

$D_{KK}$  – žalos, kurią dėl traukinių vėlavimo patiria krovinių siuntėjai ar keleiviai, dydis, €;

$C_{KV}$  – keleivinio traukinio vienos minutės vėlavimo vertė, €;

$T_{KV}$  – keleivinio traukinio vėlavimo laikas, min;

$C_{PV}$  – prekinio traukinio vienos minutės vėlavimo vertė, €;

$T_{PV}$  – prekinio traukinio vėlavimo laikas, min.

Keleivinio traukinio vienos minutės vėlavimo vertė apskaičiuojama pagal sekančią formulę [10]:

$$C_{KV} = \frac{K_1 \cdot TV_K}{60} \cdot \frac{S_K}{R}, \quad (1.5)$$

čia:

$K_1$  – pataisos koeficientas;

$TV_K$  – keleivio sutaupyto kelionės laiko vertė, €;

$S_K$  – keleivių nuvažiuoti kilometrai, km;

$R$  – visų traukinių rida, km.

Keleivių sutaupyto kelionės laiko vertė apskaičiuojama pagal šią formulę [10]:

$$TV_K = V_{DR} \cdot V_{DR \text{ vid}} + V_{NDR} \cdot V_{NDR \text{ vid}}, \quad (1.6)$$

čia:

$V_{DR}$  – darbo reikalais važiuojančių keleivių sutaupyto kelionės laiko vertė, €;

$V_{DR \text{ vid}}$  – darbo reikalais važiuojančių keleivių metinis vidurkis, vnt;

$V_{NDR}$  – ne darbo reikalais važiuojančių keleivių sutaupyto kelionės laiko vertė, €;

$V_{NDR\ vid}$  – ne darbo reikalais važiuojančių keleivių metinis vidurkis, vnt.

Prekinio traukinio vienos minutės vėlavimo vertė apskaičiuojama pagal sekančią formulę [10]:

$$C_{PV} = \frac{K_2 \cdot TV_P}{60}, \quad (1.7)$$

čia:

$K_2$  – pataisos koeficientas;

$TV_P$  – prekinio traukinio sutaupyto kelionės laiko vertė, €.

Sutaupyto kelionės laiko vertė, prekiniam traukiniui, apskaičiuojama pagal šią formulę [10]:

$$TV_P = V_P \cdot \frac{T_{DA}}{R}, \quad (1.8)$$

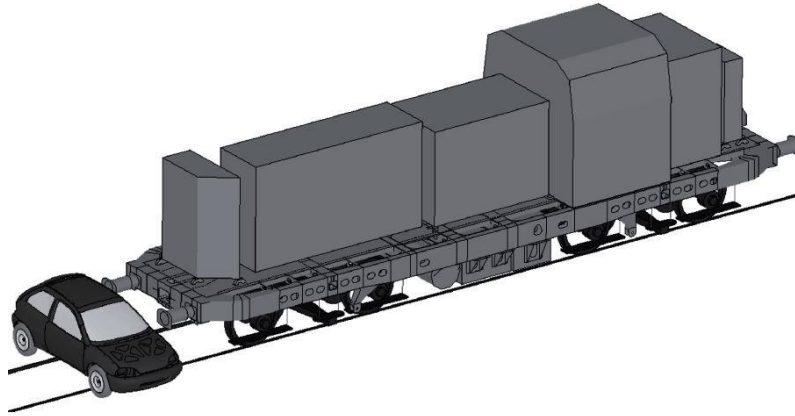
čia:

$V_P$  – siunčiamo krovinio vertė, €;

$T_{DA}$  – traukinių darbo apimtis, tkm bruto.

Koeficientų  $K_1$  ir  $K_2$  vertės patenka į intervalą tarp traukinių važiavimų laiko vertės ir vėlavimų vertės, atsižvelgiant į tai, kad dėl vėlavimų prarastas laikas vertinamas kur kas nepalankiau nei įprastas kelionės laikas [10].

P. Szurgott ir P. Dziewulski atliko automobilio ir traukinio susidūrimo pervažoje analizę [11]. Pagrindinis jų darbo tikslas buvo nustatyti lokomotyvo dinamiką, įvykus susidūrimui su automobiliu. Tam buvo atlikta skaitinė analizė, naudojant baigtinių elementų metodą. Šiai analizei atlikti, autoriai pasinaudojo „LS – DYNA“ programos kodu, o abiejų transporto priemonių modeliai buvo sujungti į vieną skaičiavimo modelį pasinaudojant „Hyper Mesh“ programa. Nagrinėjamame darbe susidūrimas pervažoje įvyksta automobiliui stovint, o lokomotyvo greitis iki susidūrimo yra 36 km/h. Nustatytas trinties koeficientas tarp padangų ir kelio dangos buvo 0,6. Šiam darbui autoriai pasirinko automobilį, kurio masė 700 kg, o pasirinkto lokomotyvo – 74000 kg. P. Szurgott ir P. Dziewulski naudotas susidūrimui lokomotyvas buvo SM42 tipo. Tai dyzelinis – elektrinis lokomotyvas, tačiau atlikdami skaitinę analizę, autoriai jį šiek tiek modernizavo. Bendras modelių vaizdas programoje, pateiktas 1.4 paveiksle.



1.4 pav. P. Szurgott ir P. Dziewulski sukurtas lokomotyvo ir automobilio susidūrimo modelis [11]

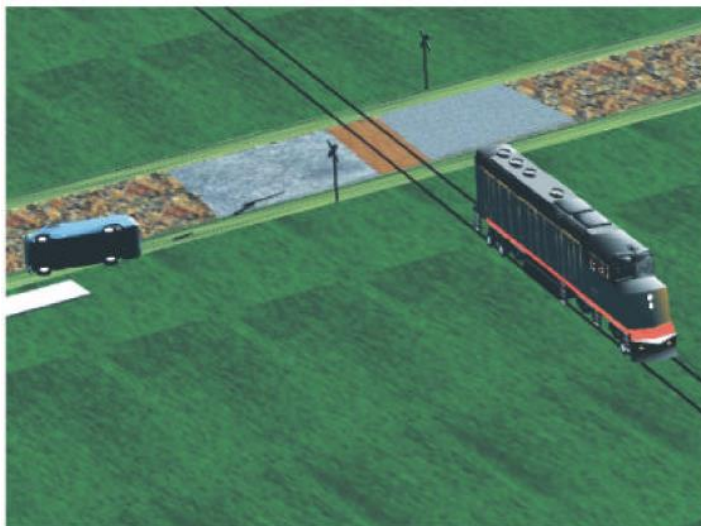
Laiko tarpas, kurį P. Szurgott ir P. Dziewulski naudojo tirdami lokomotyvo dinamiką po susidūrimo su automobiliu, buvo 400 ms. Iš viso autoriai, atlikdami skaitinę analizę, naudojo du personalinius kompiuterius, o programos skaičiavimai užtruko 35 valandas [11]. Autorių atlikta skaitinė analizė atitiko PN – EN15227 standartą, kuris numato traukinių susidūrimų tyrimams keliamus reikalavimus. P. Szurgott ir P. Dziewulski tyrimui pasirinko tokią automobilio padėtį, kad šis smūgį patirtų į dešinės pusės šoną. Atlikę skaičiavimus autoriai nustatė, jog susidūrimo metu lokomotyvo kėbule gaunami didžiausi įtempiai nesiekia 200 MPa, o važiuoklės priekyje esančios plokštelės pasiekia 350 MPa ribą, tačiau to nepakanka, kad būtų viršyta takumo riba. Taip pat gauti rezultatai parodė, jog lokomotyvo kabinoje, įvykus susidūrimui, perkrovos neviršijo 1,7 g. Autoriai nustatė, jog lokomotyvo važiuoklės didžiausi poslinkiai po susidūrimo siekia 0,5 mm. Taip pat buvo nustatyta, jog po susidūrimo automobilis nepalenda po lokomotyvą. Visas P. Szurgott ir P. Dziewulski tiriamasis darbas orientuotas į lokomotyvo kėbulo ir važiuoklės patiriamus apgadinius susidūrimo su automobiliu metu.

Kitame darbe L.E. Jackson ir K. Bolte tiria traukinio susidūrimus pervažoje su automobiliu ir sunkvežimiu, naudodamos „EDSMAC4“ programą [12]. Abu tyrimui naudojami susidūrimai yra realios avarijos, o kompiuterinis modeliavimas naudojamas nustatyti transporto priemonių greitį iki susidūrimo.

Pirmuoju atveju tirtas lokomotyvo ir „Dodge 350“ automobilio susidūrimas pervažoje [12]. Lokomotyvo ilgis 22 m, o jo masė apie 20 tonų. Iki susidūrimo jis judėjo 74 km/h greičiu. Automobilis patiria smūgį į dešinės pusės galinę dalį, maždaug 0,9 m nuo automobilio galo. Autorės nustatė, jog po susidūrimo automobilis apie savo vertikalią ašį pasisuka 340° laipsnių pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Iš viso po susidūrimo automobilis iki sustojimo vietos judėjo 25 m. Atlikdamos tyrimą L.E. Jackson ir K. Bolte programoje „EDSMAC4“ suprojektavo 3D susidūrimo modelį. Jis, pavaizduotas 1.5 paveiksle. „EDSMAC4“ programa yra skirta nustatyti ir parodyti automobilių trajektorijas po susidūrimų, tačiau ši programa negali nustatyti automobilio apsisvertimo. Norint tai atlikti L.E. Jackson



ir K. Bolte gautus programos rezultatų failus perkėlė į kitą programą – „EDVSM“. Ši programa pagal „EDSMAC4“ skaičiavimų rezultatus gali nustatyti ar automobilis apsisvertė po avarijos. Autorės atliko avarijų simuliacijas, nustatydamos automobilio greitį 16, 32, 40, 48, 56, 64 ir 72 km/h. Pagal gautas trajektorijas po susidūrimo buvo nustatyta, kad automobilis iki susidūrimo važiavo 56 km/h greičiu [12]. Autorės nustatė, kad norint išvengti avarijos, automobilis, judėdamas tokiu greičiu, turėjo pradėti stabdyti už 30 m nuo pervažos.

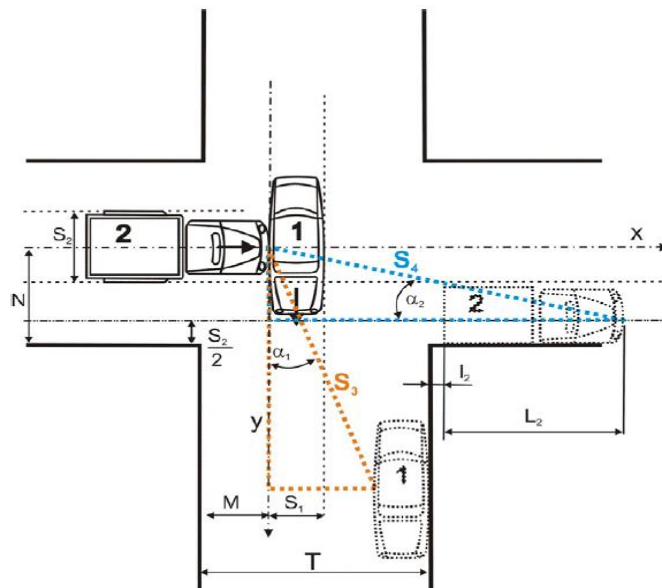


1.5 pav. L.E. Jackson ir K. Bolte sudarytas 3D susidūrimo modelis programoje „EDSMAC4“ [12]

Antruoju L.E. Jackson ir K. Bolte tirtu atveju, traukinys pervažoje susiduria su sunkvežimiu [12]. Traukinio greitis iki susidūrimo buvo 126 km/h. Siekiant tiksliai nustatyti, koku greičiu judėdamas sunkvežimis įvažiavo į pervažą, autorės sudarė keturis skirtingus susidūrimų modelius, kuriuose skyrėsi sunkvežimio padėtis prieš susidūrimą ir buvo užduoti skirtingi padangos ir kelio dangos sukibimo koeficientai. Iš pradžių L.E. Jackson ir K. Bolte „AutoCAD“ programoje nusibraižė sunkvežimio modelį, kurį įkėlė į „EDSMAC4“ programą. Su šia programa jos apskaičiavo sunkvežimio ir traukinio judėjimo dinamiką po susidūrimo. Visais keturiais atvejais buvo atliekamos susidūrimo simuliacijos su nustatytu sunkvežimio greičiu nuo 8 iki 40 km/h, naudojant 8 km/h žingsnį. Pirmuoju susidūrimų modeliu autorės nustatė, jog programos apskaičiuotos trajektorijos po susidūrimo artimiausios realioms, kai sunkvežimio greitis yra tarp 24 ir 32 km/h. Antruoju susidūrimų modeliu nustatė, kad sunkvežimio greitis iki avarijos turėjo būti 30 km/h. Trečiuoju susidūrimų modeliu L.E. Jackson ir K. Bolte nustatė, jog sunkvežimio greitis iki susidūrimo turėjo būti 24 km/h, o ketvirtuoju susidūrimo modeliu gautas greitis buvo 2 km/h mažesnis. Taigi, įvertinusios gautus rezultatus, L.E. Jackson ir K. Bolte nustatė, jog sunkvežimis į pervažą įvažiavo judėdamas 24 – 32 km/h greičiu.

B. Tseveennamjil, A. Hudak ir V. Rievaj atliko tiriamąjį darbą [13], kuriame nustatinėjo automobilių greitį prieš ir po susidūrimo pagal automobilių judėjimo kelią po susidūrimo. Autoriai išskyrė du susidūrimų tipus. Vienas iš jų yra centrinis susidūrimas. Tai toks susidūrimas, kada smūgio

jėgos vektorius eina per smūgį patiriančio kūno svorio centrą. Kitas tipas yra ekscentrinis susidūrimas. Šio susidūrimo metu smūgio jėgos vektorius neina per svorio centrą. Centrinį susidūrimą autoriai savo darbe iškirto į du tipus: tiesios linijos susidūrimas ir nukirstas susidūrimas. Tiesios linijos susidūrimo greičio vektoriai išsidėsto toje pačioje linijoje kaip ir susidūrimo jėgos vektorius. Tuo tarpu nukirsto tipo susidūrimo greičio vektoriai ir smūgio jėgos vektorius neišsidėsto vienoje linijoje. Autoriai skaičiavimus atlieka taikydami Niutono kūnų sąveikos dėsnius. Savo tyrimui autoriai pasirinko lengvojo automobilio ir sunkvežimio susidūrimą pervažoje. Susidūrimo schema, pateikta 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Susidūrimo schema [13]

Pagal pateiktą schemą (1.6 pav.), B. Tseveennamjil, A. Hudak ir V. Rievaj, apskaičiavo automobilio pasisukimo kampą po susidūrimo. Tai atliko naudodami šią formulę [13]:

$$\sin \alpha_1 = \frac{T - (M + S_1)}{S_3}, \quad (1.9)$$

čia:

$\alpha_1$  – automobilio pasisukimo kampas, °;

$T$  – kelio plotis, m;

$M$  – atstumas nuo kelkraščio iki susidūrimo plokštumos, m;

$S_1$  – lengvojo automobilio plotis, m;

$S_3$  – lengvojo automobilio judėjimo kelio po susidūrimo ilgis, m.

Lengvojo automobilio greitį po susidūrimo, B. Tseveennamjil, A. Hudak ir V. Rievaj, savo darbe apskaičiavo pagal sekančią formulę [13]:

$$v' = \sqrt{2 \cdot g \cdot (S_3 \cdot \mu + h)}, \quad (1.10)$$

čia:

$v'$  - automobilio greitis po susidūrimo, m/s;

$g$  – laisvojo kritimo pagreitis,  $\text{ms}^{-2}$ ;

$\mu$  - trinties koeficientas;

$h$  – automobilio svorio centro pokytis po susidūrimo, m.

Apskaičiavę visus reikiamus parametrus, autoriai, galėjo nustatyti automobilio greitį prieš susidūrimą [13]:

$$v_2 = \frac{m_1 v_1' \sin \alpha_1 + m_2 v_2' \cos \alpha_2}{m_2}, \quad (1.11)$$

čia:

$m_1, m_2$  – transporto priemonių masės, kg;

$\alpha_1, \alpha_2$  – transporto priemonių pasisukimo kampai po susidūrimo, °;

$v_1', v_2'$  - transporto priemonių greičiai po susidūrimo, km/h;

$v_2$  – antros transporto priemonės greitis prieš susidūrimą, km/h.

Taigi, B. Tseveennamjil, A. Hudak ir V. Rievaj, nustatę automobilių greičius prieš ir po susidūrimo įvertino, jog gauta skaičiavimų paklaida siekia apie 10 %.

B. Bartels, C. Erbsmehl ir L. Hannawald atliko tiriamąjį darbą, kuriame bandė atkurti realybėje įvykusį susidūrimą naudodami „PC – Crash“ programą [14]. Bandydami atkurti realų vietovės reljefą ir kelio profilį, autoriai vietoje nuskenavo 3D skeneriu. Tačiau, kad gautą reljefą galėtų įkelti į programą, pirmiausiai turėjo atlikti redagavimo darbus. Tam buvo pasitelktos „Matlab“, „AutoCAD“ ir „Blender“ programos. „Matlab“ programa buvo naudota konvertuoti 3D reljefo taškų koordinatėms. Vėliau, su „AutoCAD“ programa, reljefo modelis buvo konvertuotas į „PC – Crash“ programos palaikomą failo tipą. Tačiau to nepakanka, kad programa teisingai atvaizduotų 3D reljefą. Todėl autoriai turėjo pasinaudoti „Blender“ programa, kuri konvertavo reljefo failo informaciją į „PC – Crash“ programai suprantamą tipą. Gautas reljefo vaizdas programoje „PC – Crash“, pavaizduotas 1.7 paveiksle.



1.7 pav. Kelio profilis programoje „PC –Crash“ [14]

Atliekant autoįvykio atkūrimą B. Bartels, C. Erbsmehl ir L. Hannawald turėjo pasinaudoti net keturiomis skirtingomis programomis, kad gautų tikslų aplinkos reljefą ir kelio profilį. Tai nulėmė nepalanki avarijos vietovė, kadangi joje kelias yra dviejų lygių.

### 1.1 Geležinkelio pervažų konstrukcijos

Geležinkelio pervažų statybos, techninės priežiūros ir naudojimo taisyklės numato techninius geležinkelio pervažų ir perėjų bei jų įrangos techninės priežiūros ir eksploataavimo reikalavimus, taip pat geležinkelio pervažų ir perėjų statybos, jų signalinės įrangos įrengimo ir eismo saugumo užtikrinimo reikalavimus. Geležinkelio pervažų techninės priežiūros taisyklės taikomos geležinkelio pervažoms eksploatuoti, statyti arba planuoti.

Geležinkelio pervažos danga turi būti padaryta iš gelžbetonio, gumos, medžio, asfaltbetonio arba betono, ir įrengta tarp bėgių iš abiejų geležinkelio pusių iki 1 m atstumu nuo bėgių. Išorinė kelio dangos riba turi būti lygiagreti bėgiui. Viešai naudojamos geležinkelio pervažos danga yra 0 – 25 mm virš bėgių paviršiaus tarp bėgių arba iki 5 mm žemiau bėgio paviršiaus per 100 mm nuo bėgio, bėgių išorinėje pusėje. Taip pat danga gali būti padaryta iš elastinės medžiagos, kad kompensuotų bėgio dėvėjimąsi. Siekiant, kad geležinkelio riedmenų ratai laisvai pravažiuotų, geležinkelio pervažos dangoje turi būti sudarytas 56 – 110 mm pločio ir ne mažiau kaip 45 mm gylio griovelis. Griovelio plotis tiesioje viešai naudojamos geležinkelio pervažos atkarpoje negali būti didesnis nei 75 mm. Įrengiant šoninius bėgius, padarytus iš bėgių, jų galai palenkiami 25 cm link centrinės linijos, nuo 50 cm atstumo, matuojant nuo geležinkelio pervažos krašto. Tarp viešai naudojamos geležinkelio pervažos centrinės dalies ir šoninio bėgio arba tarp išorinės dalies ir bėgio negali būti tarpų, taip pat geležinkelio pervažos danga arba pagrindas negali būti deformuoti. Pagal Europos komisijos sprendimą, geležinkelio pervažos dangos plotis turi būti ne mažesnis nei 1,6 m ir ne didesnis nei 3 m pločio. Geležinkelio pervažos dangos plotis turi būti ne siauresnis nei pėsčiųjų takas arba dviračių takas. [15]. 1.1.1 paveiksle, pavaizduota geležinkelio pervažos danga.



1.1.1 pav. Geležinkelio pervažos danga

Pagal naudojimą geležinkelio pervažos klasifikuojamos taip [15]:

- *viešai naudojama* – geležinkelio ir viešojo kelio geležinkelio pervaža;
- *technologinė* – geležinkelio ir kelio pervaža, esanti riboto priėjimo arba draudžiamoje naudoti neįgaliesiems asmenims teritorijoje ir skirta konkrečios įmonės darbo veiklai.

Viešai naudojamos geležinkelio pervažos skirstomos į tris kategorijas. Pervažai kategorija priskiriama pagal traukinių ir kitų transporto priemonių, kertančių pervažą, srautus. Skirstant į kategorijas neatsižvelgiama į važiavimą per geležinkelio pervažą atliekant manevravimo arba sutelkimo operacijas. Geležinkelio pervažos kategoriją nustato geležinkelio infrastruktūros valdytojas arba savininkas, remdamasis eismo apimtimi. Kategorija geležinkelio pervažai nekeičiama įrengus papildomą geležinkelio pervažos įrangą. Technologinėms geležinkelio pervažoms kategorijos nepriskiriamos. Pervažų skirstymas pagal kategorijas, pateiktas 1.1.1 lentelėje.

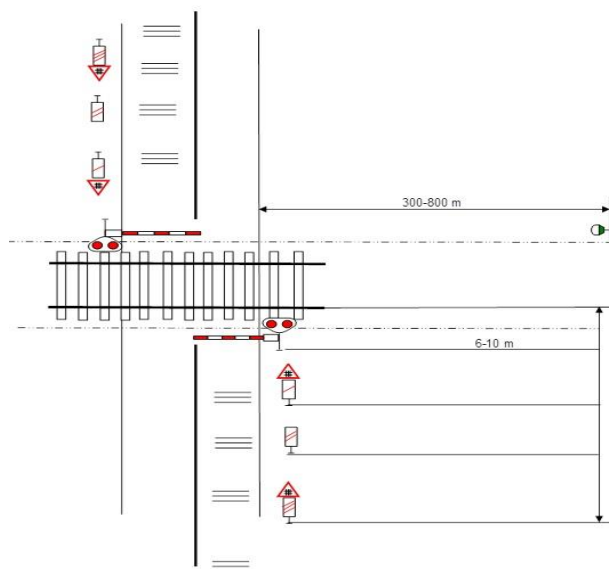
1.1.1 lentelė

Viešai naudojamų geležinkelio pervažų kategorijos

Geležinkelių pervažų kategorija	Per dieną geležinkelio pervažą kertančių transporto priemonių skaičius
I	Daugiau kaip 7000
II	3000 – 7000
III	Iki 3000

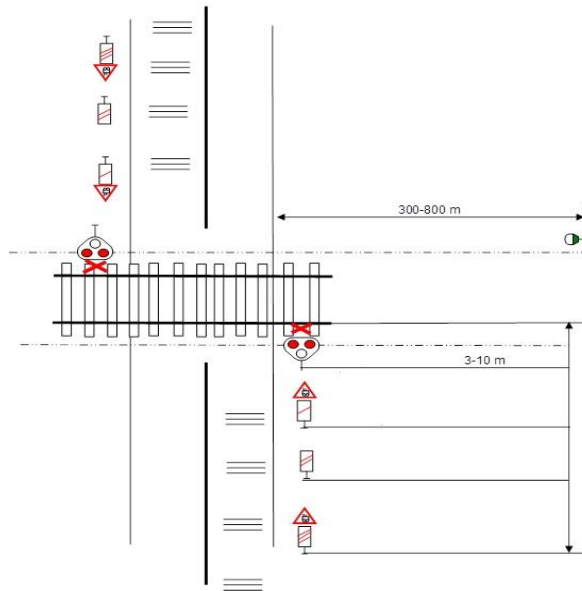
I kategorijos geležinkelio pervaža yra reguliuojama geležinkelio pervaža, kuri saugoma apsaugos darbuotojų arba stebima vaizdo kameromis. Šios kategorijos pervažos schema, pateikta 1.1.2 paveiksle. Geležinkelio pervažoje, kurią saugo apsaugos darbuotojai, įrengiama automatinė

geležinkelio pervažų eismo signalinė įranga ir pusiau automatiniai arba automatiniai užtvarų strypai. Jei kelyje, kuris kerta apsaugos darbuotojų saugomą geležinkelio pervažą, yra dvi ar daugiau eismo juostų, prieš geležinkelio pervažą virš antros, o jei jų daugiau, tai virš kitų eismo juostų įrengiama gembė su papildomais šviesoforais. Geležinkelio pervažoje, kuri stebima vaizdo kameromis, įrengiama automatinė geležinkelio pervažos eismo signalinė įranga, automatiniai arba pusiau automatiniai užtvarai ir vaizdo įrašymo įranga. Stebint vaizdo kameromis turi būti užtikrintas momentinis geležinkelio pervažos vaizdas, kad būtų galima kontroliuoti transporto priemonių eismą, geležinkelio pervažos sąlygas ir įrangos darbą. Be to, geležinkelio pervažoje, kuri stebima vaizdo kameromis, įrengiama nuotolinio stebėjimo įranga, pranešanti apie bet kokias geležinkelio pervažos įrangos klaidas arba gedimus. Geležinkelio pervažą, kuri stebima vaizdo kameromis, prižiūri stoties operatorius, paskirtas geležinkelio infrastruktūros valdytojo ar savininko.



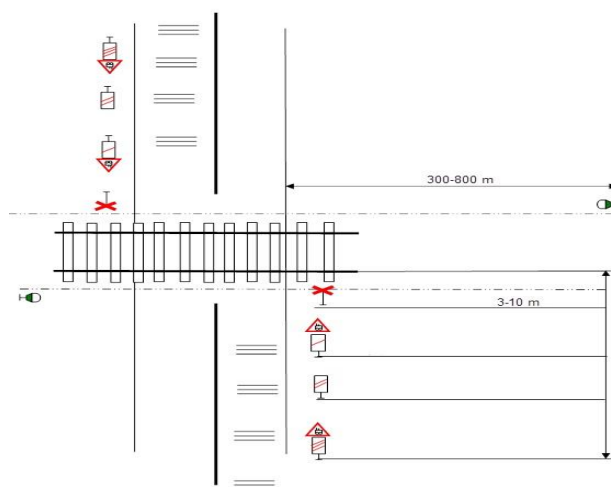
1.1.2 pav. I kategorijos geležinkelio pervažą [15]

II kategorijos geležinkelio pervažą yra reguliuojama nesaugoma geležinkelio pervažą, kurioje įrengiama automatinė geležinkelio pervažos eismo signalinė įranga. Šios kategorijos pervažos schema, pateikta 1.1.3 paveiksle. Jei kelyje, kuris kerta II kategorijos saugomą geležinkelio pervažą, yra dvi ar daugiau eismo juostų, prieš geležinkelio pervažą virš antros, o jei jų daugiau, tai ir virš kitų eismo juostų įrengiama gembė su papildomais šviesoforais.



1.1.3 pav. II kategorijos geležinkelio pervažė [15]

III kategorijos geležinkelio pervažė yra nereguliuojama geležinkelio pervažė, kuri ženklinama tik privalomais eismo valdymo įtaisais, nustatytais pagal 2011 m. vasario 22 d. Šios kategorijos pervažės schema, pateikta 1.1.4 paveiksle. Ekonomikos reikalų ir ryšių ministerijos reglamentą Nr. 12 „Kelio ženklų ir kelio ženklinimo reikšmės ir šviesoforams keliami reikalavimai“. III kategorijos geležinkelio pervažėje traukinio matomumas turi būti užtikrintas per 50 m nuo tolimiausio bėgio transporto priemonės vairuotojui esant 400 m atstumu. Jei III kategorijos geležinkelio pervažėje reikiamas matomumo trikampis neužtikrinamas ir traukinių greitis yra daugiau kaip 25 km/h, o jų, kasdien pervažiuojančių per geležinkelio pervažę, ir ją kertančių transporto priemonių skaičiaus sandauga yra didesnė nei 800, geležinkelio pervažė įrengiama laikantis reikalavimų, taikomų II kategorijos geležinkelio pervažėi. Jei III kategorijos geležinkelio pervažė nėra aiškiai matoma transporto priemonės vairuotojui dėl ją supančios aplinkos, geležinkelio pervažėje įrengiamas apšvietimas.



1.1.4 pav. III kategorijos geležinkelio pervažė [15]



Prieš padidinant ribotą traukinių greitį iki daugiau kaip 120 km/h, geležinkelio pervažos automatinės eismo signalinės įrangos šviesoforai atitinkamoje geležinkelio atkarpoje pakeičiami geležinkelio pervažos šviesos diodų šviesoforais. Likusių geležinkelio pervažų automatinės eismo signalinės įrangos šviesoforai su lempomis pakeičiami geležinkelio pervažų šviesos diodų šviesoforais vėliausiai iki 2018 m [15].

Geležinkelio pervažų šviesoforai turi būti matomi iš visų kelių, kuriais įvažiuojama į geležinkelio pervažą. Siekiant užtikrinti matomumą artėjančio traukinio mašinistui, visi medžiai ir pomiškis, augantys matomumo trikampio zonoje, iškertami pagal reikalavimus, nustatytus Geležinkelių įstatymo 37 straipsnyje. Pirmiau minėtas matomumo sektorius užtikrinamas nuolat. Jei nėra galimybės užtikrinti matomumo trikampio pirmiau aprašytu būdu, pavyzdžiui, dėl kraštovaizdžio struktūros arba ypatumo, geležinkelio pervažoje įrengiama įranga, laikantis aukštesnės kategorijos geležinkelio pervažai keliamų reikalavimų.

Užtvaro strypas užtveria ne mažiau kaip pusę kelio pločio važiavimo kryptimi taip, kad ne mažiau kaip 3 m kairės kelio pusės būtų neužtvarta. Siekiant užtikrinti saugumą, galima įrengti užtvarų strypus, užtveriančius kelią per visą plotį. Trys stulpeliai įrengiami iš viešai naudojamos geležinkelio pervažos krašto ir be pėsčiųjų tako, o prie stulpelių pritvirtinami geltoni atšvaitai. Pirmas stulpelis įrengiamas 2,5 m nuo tolimiausio bėgio, kiti – 5 m ir 10 m atstumais. Likusieji stulpeliai kelkraštyje paženklinami baltais atšvaitais 15, 25, 50, toliau – 50 arba 100 m atstumais. Stulpelis įrengiamas išoriniame kelkraščio krašte, bet ne arčiau kaip 0,5 m nuo kelio dangos krašto. Stulpeliai įrengiami viešai naudojamose geležinkelio pervažose [15].

Uztvarų strypai turi būti įrengti ne mažesniu kaip 6 m atstumu nuo tolimiausio bėgio. Uztvarų mechanizmai ir šviesoforai turi būti 0,5 – 2 m atstumu nuo kelio krašto. Bet koks arčiau esantis užtvaro mechanizmas arba šviesoforo stulpas paženklinamas kelio ženklu „Pavojinga vieta arba kelio kraštas“. Uztvaro signalinę sistemą galima įrengti apsaugos darbuotojų saugomoje geležinkelio pervažoje. Uztvaro šviesoforai įrengiami iki 800 m atstumu nuo geležinkelio pervažos, bet ne arčiau kaip 15 m su sąlyga, kad geležinkelio pervaža matoma iš tos vietos. Geležinkelio pervažoje užtvarai įrengiami taip, kad dviratinkai ir pėstieji negalėtų tiesiogiai patekti ant geležinkelio bėgių. Uztvarai įrengiami taip, kad tarp užtvaro galo ir pėsčiųjų eismui skirto tako krašto liktų ne mažiau kaip 1 m tarpas. Atstumai tarp užtvarų turi būti 1,5 – 2,0 m, o užtvaro atstumas nuo geležinkelio bėgių centrinės linijos turi būti 3,1 – 4,5 m. Įrengti užtvarus nėra privaloma, jei nėra užtvaro ruožo, vejos ruožo arba kitos skiriamosios kelio naudotojų zonos tarp kelio, skirto pereiti geležinkelio bėgius, ir kelio arba kelio dalies, skirtos į geležinkelio pervažą patenkantiems dviratinkams ir pėstiesiems [15].





1.1.5 pav. Naujai įrengta geležinkelio pervažą „Rail Baltica“ geležinkelio linijoje

Naujai įrengiamose pervažose susikirtimo kampas tarp kelio ir geležinkelio turi būti kuo statesnis. Susikirtimo kampas negali būti mažesnis nei  $70^\circ$  laipsnių ir ne didesnis nei  $110^\circ$  laipsnių. 1.1.5 paveiksle, pateikta naujai įrengta geležinkelio pervažą, pro kurią eina „Rail Baltica“ geležinkelio linija.

## 2. Tyrimo metodika

Įvykus traukinio ir automobilio susidūrimui geležinkelio pervažoje, dažnai būna apgadinami bėgiai bei pabėgiai, taip pat infrastruktūros elementai. Po avarijos automobilis dažnai „pasimauna“ ant bėgių, kadangi jie yra virš sankasos. Automobilio ratai užstringa už bėgių ir neleidžia automobiliui sukstis ar kitaip pajudėti. Automobilis traukinio yra stumiamas bėgiais tol, kol vienos ašies ratai neatsiskiria nuo automobilio. Tik tada automobilis gali pradėti sukstis apie savo vertikalią ašį ir taip nulėkti nuo bėgių kelio. „Lietuvos Geležinkeliai“ 2015 m atliko demonstracinį bandymą, kurio metu susidūrė lengvasis automobilis ir traukinys. Kaip po susidūrimo automobilis yra stumiamas geležinkelio bėgiais, pavaizduota 2.1 paveiksle.



2.1 pav. „Lietuvos Geležinkelių“ atliktas susidūrimo bandymas [16]

Siekiant išvengti geležinkelio bėgių ir pabėgių apgadinimų, reikėtų, jog automobilis po susidūrimo kuo greičiau atsidurtų šalikelėje. Tai būtų galima padaryti pratęsus pervažos dangą link geležinkelio bėgių kelio. 2.2 paveiksle, pavaizduota prailginta geležinkelio pervažos danga.



2.2 pav. Prailginta geležinkelio pervažos danga

Pratęsus pervažos dangą, geležinkelio bėgio galvutė su danga būtų viename lygyje, dėl to bėgiai ilgesnį atstumą nebūtų iškilę virš kelio. Dėl šios priežasties automobilio ratai po susidūrimo iš karto neužstrigtų už bėgių ir tai leistų automobiliui greičiau pajudėti link šalikelės. Bėgių kelkraštyje būtų galima įrengti dangą su nuolydžiu. Tai turėtų dar labiau pagreitinti automobilio slydimą į šalikelę.

Norint sužinoti, koku atstumu šalia pervažos reikia prailginti dangą, atliekame susidūrimo geležinkelio pervažoje tyrimą, naudodami specialią programinę įrangą. Gavę automobilio judėjimo atstumus po susidūrimo galėsime nustatyti, kiek metrų reikia pratęsti dangą palei geležinkelio bėgius.

## 2.1 Susidūrimų analizei skirta programa

Susidūrimams modeliuoti naudojama „PC – Crash 8.1“ programa. Ši programa veikia „Windows“ aplinkoje ir gali atlikti susidūrimų analizes, nustatyti prieš ir po susidūrimo transporto priemonių judėjimo trajektorijas. Su šia programa galima tirti įvairių transporto priemonių susidūrimus. Programoje vienu metu susidūrime gali dalyvauti iki 32 transporto priemonių. Ji taip pat gali apskaičiuoti transporto priemonių susidūrimus su pėsčiaisiais. Susidūrimus galima modeliuoti 2D ir 3D aplinkoje. Naudojamos kelios duomenų bazės, kurios apima praktiškai visų automobilių gamintojų (ir ne tik automobilių) gaminamus modelius. Daugelio transporto priemonių susidūrimo parametrai yra įvedami į duomenų bazę iš „ADAC“ vykdomų susidūrimų bandymų su realiais automobilių modeliais. Programoje yra integruota braižymo funkcija, kuri vartotojui leidžia lengvai sukurti susidūrimo brėžinį, kuriame gali būti įvairių aplinkos objektų, tokių kaip medžiai, atitvarai ar pastatai. 2.1.1 paveiksle, pavaizduota, kaip programoje atrodo 3D gatvės vaizdas.



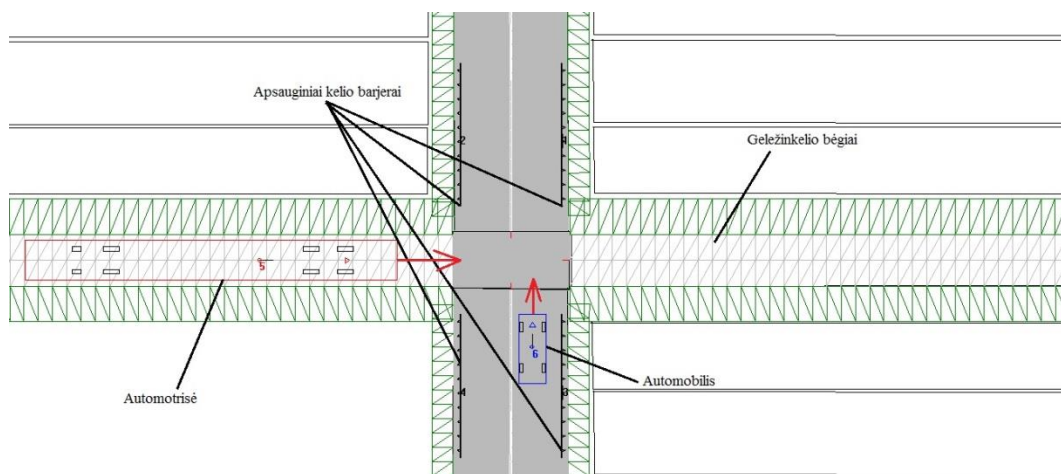
2.1.1 pav. „PC – Crash“ programoje sukurtos gatvės 3D vaizdas [17]

„PC-Crash“ programa gali atkurti 3D vaizdą iš „taškų debesio“, kuris gaunamas aplinką (gatvę, sankryžą ir pan.) nuskenavus su 3D skeneriu. Sukurtoje aplinkoje programa gali atlikti įvairius kinematinis ir dinaminis susidūrimų skaičiavimus, atsižvelgdama į užduotas aplinkos sąlygas, tokias kaip kelio danga, aplinkos objektai, vairo pasukimo padėtis ir panašiai. Atlikus skaičiavimus,

programa nubraižo grafikus pagal gautus duomenis. Juose gali būti atvaizduotas greičio kitimas keičiantis atstumui, automobilio energijos pokytis prieš ir po susidūrimo, pagreičiai, kampiniai greičiai ir kiti transporto priemonių judėjimą apibrėžiantys parametrai. Turėdama tokias dideles galimybes, programa plačiai naudojama mokslinių įstaigų, tokių kaip universitetai, taip pat draudimų bendrovių ar teismo ekspertizės atliekančių ekspertų, tiriant transporto priemonių susidūrimus. Ji plačiai naudojama JAV ir vakarų Europos šalyse. Daugumos valstybių, tarp jų ir Lietuvos, teismai naudojami šia programa autoįvykių ekspertizei atlikti.

## 2.2 Programoje sudarytas susidūrimo modelis

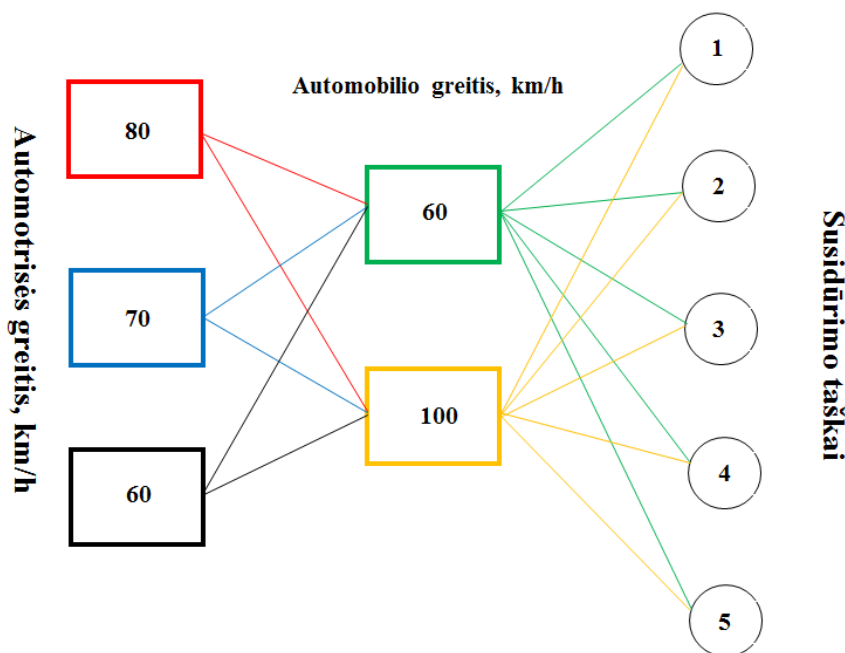
Šiame darbe yra tiriamas automotrisės ir automobilio susidūrimas. Tyrimui naudojama „PC – Crash 8.1“ programa. Pervažos modelis sudarytas programa, pavaizduotas 2.2.1 paveiksle. Automobilio kelio plotis yra 8 m, kelio dangą – asfaltas. Nustatytas padangų ir kelio sukibimo koeficientas yra 0,8. Šalia pervažos išdėstyti apsauginiai kelio barjerai. Žalia spalva pažymėtos zonos yra kelio nuolydžio šlaitas. Raudonos rodyklės žymi transporto priemonių judėjimo kryptis iki susidūrimo.



2.2.1 pav. Pervažos vaizdas sumodeliuotas programa „PC – Crash 8.1“

Atliekant susidūrimų tyrimą parinkti trys skirtingi automotrisės greičiai. Šie greičiai parinkti atsižvelgiant į tai, jog geležinkelio linijos nuolat atnaujinamos ir leistini greičiai didėja. Lietuvoje esančioje „Rail Baltica“ atšakoje šiuo metu per pervažas leidžiama važiuoti 80 km/h greičiu [5]. Leistinas traukinių greitis pervažose svyruoja nuo 20 km/h iki 120 km/h. Žemiausias automotrisės parinktas greitis susidūrimų tyrimui yra 60 km/h, nes GPS pagalba toks greitis buvo užfiksuotas važiuojant per pervažą maršrutu Kaunas – Vilnius. Taip pat parinkta tarpinė reikšmė – 70 km/h siekiant geriau įvertinti, kaip automotrisės greitis nulemia automobilio judėjimą po susidūrimo. Automobiliumi parinkti du greičiai. Vienas yra 60 km/h, o kitas 100 km/h. Pirmasis greitis pasirinktas,

nes daugelyje gyvenviečių greitis yra ribojimas iki 50 km/h, tačiau atsižvelgiant į tai, jog už 10 km/h greičio viršijimą nėra numatyta administracinė bauda ir dauguma vairuotojų dažnai iki šios ribos viršija greitį, todėl pasirinktas greitis yra 60 km/h. Šiuo atveju susidūrimas įvyksta automobiliui judant tolygiai, nes vairuotojas nepastebi artėjančios automotrisės. Antrasis greitis pasirinktas, kai automobilis lekia, siekiant suspėti „prašokti“ pro atvažiuojančią automotrisę. Susidūrimai įvyksta penkiuose skirtinguose automobilio kėbulo taškuose. Tyrimas atliekamas modeliuojant susidūrimus kiekviename taške, esant visiems transporto priemonių judėjimo greičiams. Taip gauname 30 skirtingų susidūrimų su vienu automobiliu. Iš viso bus naudojami trys skirtingi automobilių modeliai, kurių masės ir svorio centro padėtis yra skirtinga. 2.2.2 paveiksle, pavaizduota susidūrimų modelio schema.

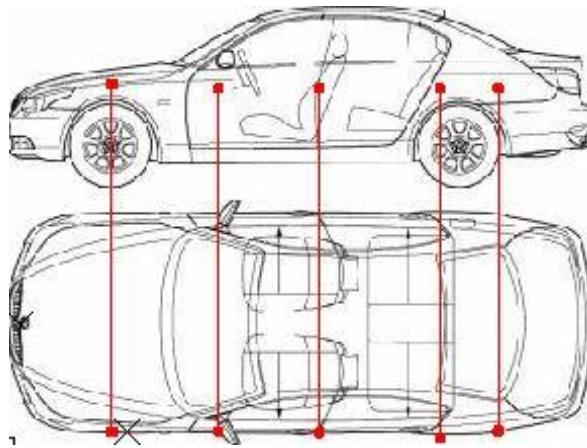


2.2.2 pav. Susidūrimų modelio schema

Pasirinktos automotrisės modelis yra „PESA 620M“. Tai pagal „Lietuvos Geležinkelių“ užsakymą Lenkijoje pagaminta automotrisė. Jos masė siekia 57 tonas, o ilgis siekia 26,4 m. Dyzelinio variklio galia yra 382 kW, o konstrukcinis greitis yra 120 km/h. Automotrisei didžiausia leidžiama ašinė apkrova yra 14 tonų. Ašinė formulė yra B'2, pavaros tipas – hidrodinaminė. Sėdimų vietų skaičius 93, gamybos metai 2008 – 2010 m.

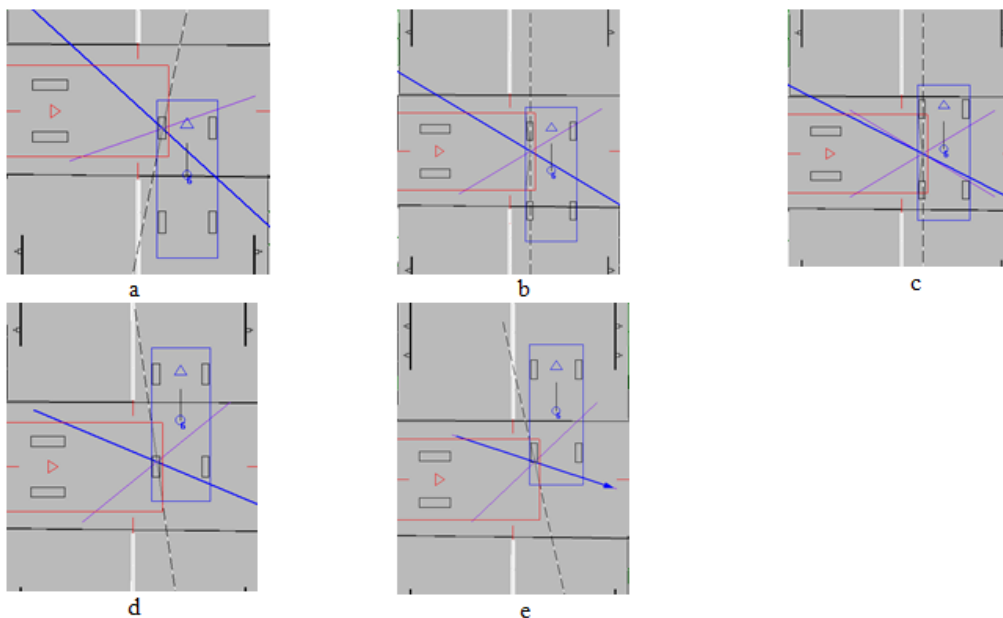
Pirmasis avarių modeliui parinktas automobilis yra „BMW“ gamintojo. Modeliui naudojamas 5 klasės sedanas, kuris priskiriamas prie prabangesnės klasės sedanų. Automobilio kėbulo kodas – e60, kuris buvo gaminamas nuo 2003 m pabaigos iki 2010 m. Automobilio masė – 1590 kg, ilgis – 4,84 m, plotis – 1,85 m, atstumas nuo priekinės ašies iki svorio centro yra 1,445 m. Modeliuojant susidūrimą geležinkelio pervažoje, parinktos 5 susidūrimo zonos, kuriuose susiduria automobilis ir automotrisė. Automobilis ir pažymėtos susidūrimo zonos, pavaizduoti 2.2.3 paveiksle.





2.2.3 pav. Pasirinktas „BMW“ automobilis su pažymėtomis susidūrimų zonomis

Pirmoji zona yra automobilio priekinėje dalyje, pačiame priekinės ašies rato centre. Antroji zona yra ties automobilio vairuotojo durelių pradžia ir priekinio veidrodėlio vertikaloje plokštumoje. Trečioji zona yra ties automobilio viduriu esančiu statramsčiu. Šioje vietoje baigiasi priekinės durelės ir prasideda galinės automobilio durelės. Ketvirtoji zona yra galinėje automobilio dalyje, iš karto už galinių keleivio durelių. Paskutinė, penktoji zona, yra automobilio galinėje dalyje. Jo vertikali plokštuma eina iš karto už galinės ašies rato. Automobiliui bei automotrisei judant įvairiais greičiais, susidūrimo zonos nekinta. Programa „PC-Crash 8.1“ sumodeliuotos susidūrimo zonos, pavaizduotos 2.2.4 paveiksle.

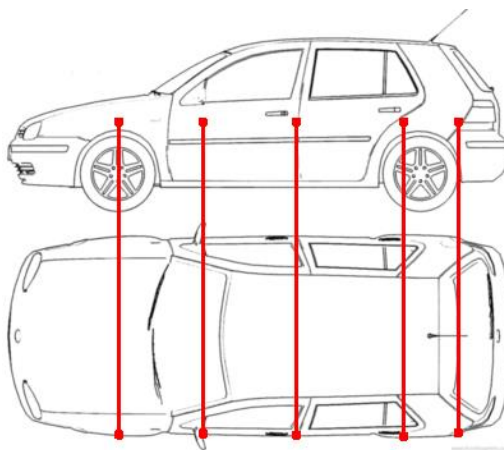


2.2.4 pav. Automobilio ir automotrisės susidūrimo zonos sumodeliuotos programa „PC-Crash 8.1“.

a – 1 zona; b – 2 zona; c – 3 zona; d – 4 zona; e – 5 zona

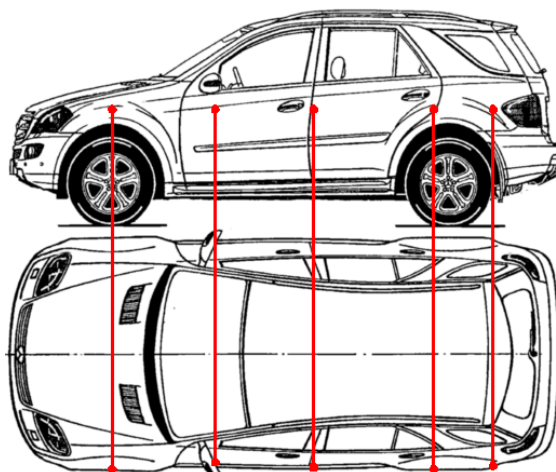
Antrasis automobilis pasirinktas avarijų modeliui yra „VW“ gamintojo. Modeliui pasirinktas vienas žinomiausių gamintojo modelių – „VW Golf“. Programoje naudojamas ketvirtos kartos

„Golfas“, kuris priskiriamas prie ekonominės klasės hečbekų. Automobilio kėbulo kodas – mk4, kuris buvo gaminamas nuo 1997 m pabaigos iki 2003 m pradžios. Automobilio masė – 1280 kg, ilgis – 4,15 m, plotis – 1,73 m, atstumas nuo priekinės ašies iki svorio centro yra 1,25 m. Kaip ir pirmajame automobilyje, taip ir šiame, parinktos 5 susidūrimo zonos, kuriuose susiduria automobilis ir automotrisė. Automobilis ir susidūrimo zonos, pavaizduoti 2.2.5 paveiksle.



2.2.5 pav. Pasirinktas „VW“ automobilis su pažymėtomis susidūrimo zonomis

Trečiasis automobilis pasirinktas avarijų modeliui yra „Mercedes-Benz“ gamintojo. Programos modeliui pasirinktas vienas populiariausių gamintojo visureigių – „Mercedes-Benz ML“.



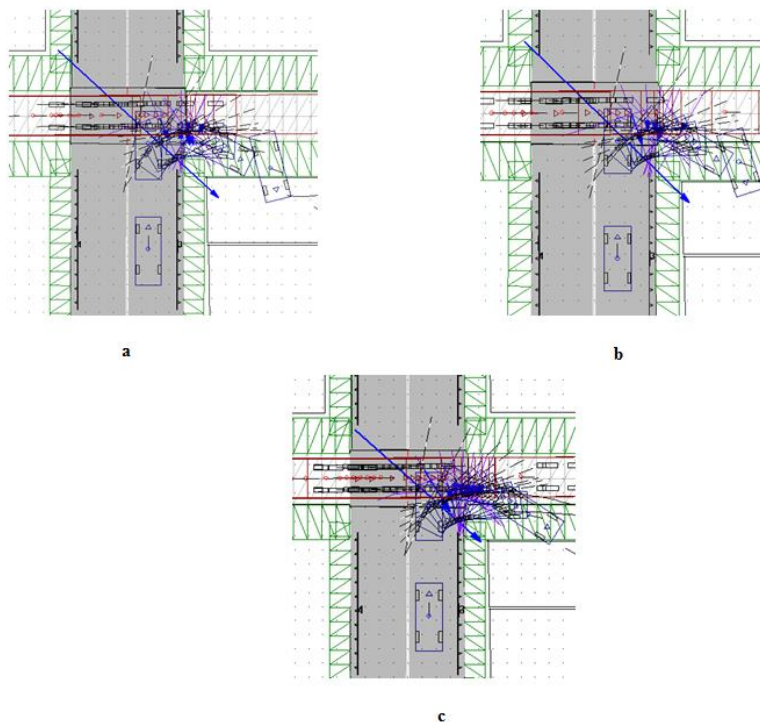
2.2.6 pav. Pasirinktas „Mercedes – Benz“ automobilis su pažymėtomis susidūrimo zonomis

Naudojamas antros kartos „Mercedes-Benz ML“, kuris priskiriamas prie vidutinio dydžio, prabangių visureigių klasės. Automobilio kėbulo kodas – w164, kuris buvo gaminamas nuo 2005 m iki 2011 m. Automobilio masė – 2100 kg, ilgis – 4,78 m, plotis – 1,91 m, atstumas nuo priekinės ašies iki svorio centro yra 1,47 m. Kaip ir ankstesniuose automobiliuose, taip ir šiame, parinktos 5 susidūrimo zonos, kuriuose susiduria automobilis ir automotrisė. Automobilis ir susidūrimo zonos, pavaizduoti 2.2.6 paveiksle.

### 3. Automotrisės ir automobilio susidūrimo tyrimas

#### 3.1 Automotrisės smūgis į automobilio šono priekinę dalį

Pirmuoju atveju nagrinėjamas automobilių ir automotrisės susidūrimas geležinkelio pervažoje, kai pastarosios greitis yra 80 km/h, o automobilių – 60 km/h. Susidūrimai įvyksta stačiu kampu. Automobiliai smūgius patiria į kairį (vairuotojo pusės) šoną.



3.1.1 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

a – „BMW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 80 km/h; b – „VW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, c – „Mercedes – Benz“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 60 km/h.

Įvykus susidūrimui, „BMW“ automobilis, apie 10 m atstumą juda geležinkeliu, kol nurieda į šalikelę (3.1.1 a pav.). Programa apskaičiavo, kad po susidūrimo automobilis nuo pervažos iki sustojimo vietos gali judėti gan ilgą atstumą, kuris siekia 45 m. Žinoma, šis atstumas labai priklauso nuo šalia geležinkelio esančio lauko reljefo ir dangos, kuria čiuožia automobilis. „PC – Crash 8.1“ programos gautas atstumas yra didžiausias galimas, kai geležinkelio šalikelės paviršius yra lygus. Po susidūrimo „BMW“ automobilis pradeda suktis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Automobilis iki sustojimo ne kartą apsisuka apie savo vertikalią ašį, keisdamas savo judėjimo kryptį. Sekančių susidūrimų pirmoje zonoje su „VW“ ir „Mercedes – Benz“ automobiliais schemas, pateiktos 1 priedo 1 pav. Abu automobiliai po susidūrimo taip pat, kaip ir prieš tai buvusiu atveju, pradeda suktis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Nors transporto priemonių greitis vienodas, kaip ir tuo atveju, kai



susidūrimo dalyvavo „BMW“ markės automobilis, tačiau judėjimo trajektorija ir jos ilgis skiriasi. „VW“ markės automobilis nuo geležinkelio į šalikelėje esantį lauką nukelia už 8 m nuo susidūrimo vietos, o tai yra 2 m mažiau už atstumą, gautą su „BMW“ automobiliu. Atstumas, kurį „VW“ automobilis juda nuo susidūrimo vietos iki sustojimo taško yra 34 m. Palyginę „BMW“ ir „VW“ automobilių judėjimo atstumus po susidūrimo gaunama, kad automobilio masei sumažėjus 310 kg (~20 %) atstumas, kurį automobilis juda po susidūrimo, sutrumpėja 11 m (24 %). Pagal programos gautus rezultatus „Mercedes – Benz“ automobilis po susidūrimo su automotrise juda geležinkeliu 11 m, kol nukelia į šalikelės lauką. Tai 3 m daugiau už „VW“ markės automobilį ir 1 m daugiau už „BMW“ automobilį. Programa apskaičiavo, jog maksimalus atstumas, kurį „Mercedes – Benz“ automobilis po susidūrimo gali judėti, yra 44 m. Tai 1 m mažiau už apskaičiuotą atstumą su „BMW“ markės automobiliu ir 10 m daugiau už gautą su „VW“ markės automobiliu.

Po susidūrimo, kai automotrisės greitis sumažėja 10 km/h, „VW“ markės automobilis, juda per geležinkelio bėgius 11 m atstumą, kol nukelia į šalikelės lauką. Šis atstumas yra 2 m ilgesnis už gautą tada, kai automotrisė važiuo 10 km/h didesniu greičiu. Apskaičiuotas maksimalus atstumas, kurį „VW“ automobilis gali judėti po susidūrimo su automotrise, yra 37 m. Po susidūrimo automobilis pradeda sukis pagal laikrodžio rodyklės kryptį (3.1.1 b pav.). Gautos susidūrimų schemos su kitais dviem automobiliais yra labai panašios į prieš tai aptartą. „BMW“ automobilis po susidūrimo bėgių keliu juda 10 m. Pagal programos rezultatus, didžiausias galimas šio automobilio judėjimo kelio ilgis, po susidūrimo, yra 35 m. „Mercedes – Benz“ automobilis po susidūrimo pervažoje, bėgių keliu juda 11 m, kol atsiduria šalikelėje. Bendras šio automobilio judėjimo atstumas nuo susidūrimo iki sustojimo vietos yra 36 m. Gautas atstumas yra 8 m trumpesnis nei tada, kai automotrisė važiuo 80 km/h greičiu. Palyginus gautus automobilių judėjimo atstumus po susidūrimų, gaunama, jog „Mercedes – Benz“ sustojo 1 m toliau nei „BMW“ ir 1 m arčiau nei „VW“.

Esant vienodam abiejų transporto priemonių greičiui, „BMW“ automobilis, po susidūrimo geležinkeliu juda 12 m atstumą, kol nukelia į šalikelę. Gautas maksimalus šio automobilio judėjimo kelias po susidūrimo yra 31 m. Tai yra 4 m trumpesnis atstumas nei esant 10 km/h didesniam automotrisės greičiui ir net 14 m trumpesnis, kai automotrisės greitis didesnis 20 km/h. „VW“ markės automobilis po susidūrimo į šalikelę nukelia už 12 m nuo susidūrimo vietos. Maksimalus įmanomas šio automobilio judėjimo kelias po susidūrimo siekia 30 m atstumą. Tai 7 m trumpesnis kelias nei tada, kai automotrisė važiuo 70 km/h greičiu. Abiejų šių automobilių susidūrimų su automotrise schemos, kai transporto priemonių greitis vienodas – 60 km/h, pateiktos 1 priedo 3 pav. „Mercedes – Benz“ automobilis į šalikelės lauką nukelia už 12 m nuo susidūrimo vietos (3.1.1 c pav.). Didžiausias įmanomas atstumas, už kurio gali sustoti automobilis po susidūrimo, yra 30 m. Palyginus su kitais dviem automobiliais, šis atstumas yra 1 m trumpesnis už gautą su „BMW“ ir vienodas su „VW“ markės automobiliu.

Gauti atstumai nuo susidūrimo vietos iki automobilių nuvažiavimo nuo bėgių kelio vietos, pateikti 3.1.1 lentelėje.

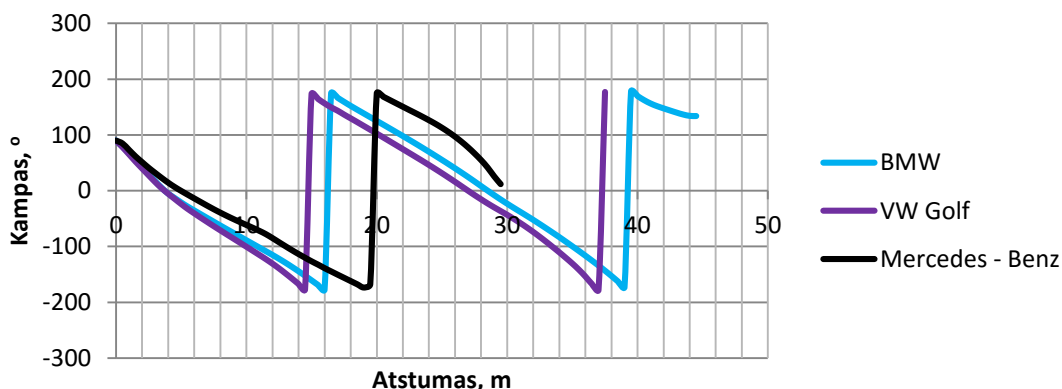
3.3.1 lentelė

Automobilių judėjimo bėgių keliu atstumai

Automotrisės greitis iki susidūrimo, km/h	Gautas atstumas, m		
	„BMW“	„VW“	„Mercedes – Benz“
80	10	8	11
70	10	10	11
60	12	12	12

Lentelėje pateikti duomenys yra gauti, kai susidūrimas įvyksta pirmame taške su visais parinktais automotrisės greičiais. Automobilių greitis buvo 60 km/h.

Kaip keičiasi automobilių judėjimo kryptis, po susidūrimų, pavaizduota 3.1.2 paveiksle esančiame grafike.



3.1.2 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo pirmoje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

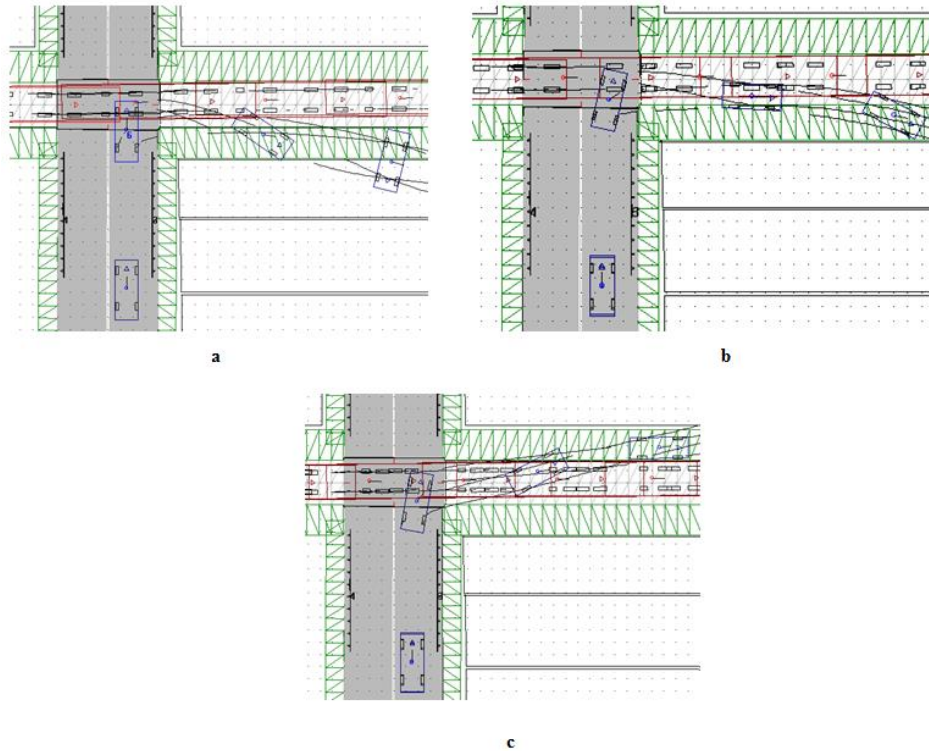
Iš pateikto grafiko (3.1.2 pav.) matyti, kaip keičiasi „BMW“ automobilio judėjimo kryptis po susidūrimo, pavaizduoto 3.1.1 a paveiksle. Kadangi po susidūrimo automobilis pradeda sukis pagal laikrodžio rodyklės kryptį, todėl judėjimo krypties kampas įgauna neigiamas reikšmes. Programa, skaičiuodama automobilio sukimaši apie vertikalią jo ašį, pirmus 180° laipsnių naudoja su teigiamomis reikšmėmis, o nuo 180° iki 360° laipsnių naudoja neigiamas reikšmes. Tai yra, pasisukimo kampas, kurio dydis yra 270° laipsnių, programoje žymimas -90° laipsnių reikšme, o 360° laipsnių yra žymimi -180° laipsnių reikšme. Iš 3.1.2 paveiksle esančio grafiko matyti, jog automobilis tris sykius apsisuka 180° kampu. Pirmasis apsisukimas įvyksta už 11 m nuo susidūrimo vietos. Antrasis apsisukimas įvyksta už 22 m atstumo nuo susidūrimo vietos. Trečiasis ir paskutinis apsisukimas įvyksta už 12 m toliau nuo antrojo apsisukimo vietos. Pradinis automobilio judėjimo krypties kampas yra 90° laipsnių, o sustojimo vietoje jisai yra 133°. Iš viso po susidūrimo automobilis apsisuka 627° laipsniais arba 1,7

karto kryptį pakeitė  $360^\circ$  laipsnių. Kaip keičiasi „VW“ ir „Mercedes – Benz“ automobilių judėjimo kryptys po susidūrimo, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, pavaizduota 1 priede esančiuose grafikuose. Programos pagalba buvo nustatyta, jog daugiausiai automobilis „VW“ gali apsisukti apie savo vertikalią ašį  $622^\circ$  laipsniais. Gautas rezultatas yra  $5^\circ$  laipsniais mažesnis už „BMW“ tipo automobilį. Tuo tarpu „Mercedes – Benz“ automobilis, pagal gautus rezultatus, judėdamas iki sustojimo vietos, daugiausiai gali apsisukti  $615^\circ$  laipsnių. Tai  $7^\circ$  laipsniais mažiau už „VW“ automobilį.

Pagal „VW“ automobilio kreivės, esančios grafike (3.1.2 pav.), kitimą, galima nustatyti, jog automobilis apie savo vertikalią ašį po susidūrimo apsisuko  $627^\circ$  laipsnių kampu. Už 10 m nuo susidūrimo vietos automobilis savo kryptį yra pakeitęs  $180^\circ$  laipsnių. Už 21 m, nuo susidūrimo, pervažoje, vietos, automobilis jau yra apsisukęs  $360^\circ$  laipsnių. Kitas pasisukimo kampo pokytis -  $180^\circ$  laipsnių, gaunamas už 33 m nuo susidūrimo vietos. Per likusius 4 m iki sustojimo vietos automobilis dar gali pasisukti  $87^\circ$  laipsniais. Gauti rezultatai yra maksimaliai įmanomi automobiliui judant lygiu šalikelės paviršiumi. Kaip gali keistis „Mercedes – Benz“ ir „BMW“ automobilių judėjimo kryptis po susidūrimo pervažoje, pavaizduota 1 priede esančiuose grafikuose. „BMW“ markės automobilis po susidūrimo daugiausiai gali apsisukti  $580^\circ$  laipsnių apie savo vertikalią ašį. Tai yra 1,6 apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu. Didžiausias galimas „Mercedes – Benz“ automobilio sukimosi apie savo vertikalią ašį dydis yra  $570^\circ$  laipsnių. Tiek automobilis gali pasisukti, judėdamas lygiu šalikelės paviršiumi po susidūrimo su automotrise. Gaunama, jog „Mercedes – Benz“ automobilis, po susidūrimo maksimaliai gali pasisukti 1,5 karto  $360^\circ$  laipsnių kampu.

Kaip gali keistis automobilių judėjimo kryptis po susidūrimo, kai automotrisės ir automobilio greitis vienodas, galima pamatyti 1 priede esančiuose grafikuose. „BMW“ automobilis po susidūrimo iš viso gali apsisukti  $394^\circ$  laipsnių kampu. Šis dydis priklauso nuo šalikelės paviršiaus dangos tipo. „VW“ markės automobilis po susidūrimo daugiausiai gali apsisukti apie savo vertikalią ašį  $443^\circ$  laipsnių kampu, o tai yra 1,2 apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu. Pagal gautus rezultatus, „Mercedes – Benz“ daugiausiai apie savo vertikalią ašį gali apsisukti  $440^\circ$  laipsnių kampu (3.1.2 pav). Tai tik  $3^\circ$  mažiau nei „VW“ markės automobilis.

Sekančiu atveju, nagrinėjant automobilių ir automotrisės susidūrimą geležinkelio pervažoje, parinktas automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 100 km/h. Visi kiti susidūrimų parametrai išlieka nepasikeitę.



3.1.3 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automobilių greitis yra 100 km/h

a – „BMW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 80 km/h; b – „VW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, c – „Mercedes – Benz“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 60 km/h.

Iš pateiktos schemas matyti, jog dėl padidėjusio automobilio greičio, pasikeičia jo judėjimo trajektorija po susidūrimo (3.1.3 a pav.). „BMW“ automobilis, patyręs smūgį, geležinkeliu juda 17 m atstumą, kol nulekia į šalikelę. Apskaičiuotas maksimalus šio automobilio judėjimo atstumas nuo susidūrimo vietos iki sustojimo taško siekia 58 m. Tai yra 13 m (28 %) daugiau nei tuo atveju, kai „BMW“ greitis buvo 40 km/h mažesnis. Šiuo atveju automobilis po susidūrimo pradeda sukis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Kitų dviejų automobilių susidūrimų schemas pirmame taške, kai jų greitis 100 km/h, pateiktos 1 priedo 4 pav. „VW“ ir „Mercedes – Benz“ automobilių trajektorijos po susidūrimo yra panašios į „BMW“ automobilio. „VW“ markės automobilis, po susidūrimo su automotrise, geležinkeliu juda 12 m atstumą, o „Mercedes – Benz“ automobilis – 23 m atstumą. Didžiausias gautas „VW“ automobilio atstumas, kurį jis gali judėti po susidūrimo, yra 49 m, o „Mercedes – Benz“ automobilio – 68 m. Gaunama, jog dėl skirtingų automobilių masių ir skirtingų inercijos momentų, maksimalūs judėjimo atstumai po susidūrimo skiriasi apie 10 m.

Automotrisės greičiui sumažėjus iki 70 km/h, o automobilių greičiui nepasikeitus, automobiliai juda panašiai, kaip ir prieš tai apžvelgtu atveju (3.1.3 b pav.). Tačiau gauti automobilių judėjimo (po susidūrimo) geležinkelio bėgiais atstumai yra kiek kitokie. „BMW“ markės automobilis nuo bėgių kelio nulekia po 19 m. Tuo tarpu „VW“ ir „Mercedes – Benz“ automobiliai po susidūrimo bėgiu keliu juda, atitinkamai 23 ir 22 m. Gaunama, jog lengviausias automobilis juda ilgiausią atstumą, kol nulekia į šalikelę.

Iš susidūrimo schemos (3.1.3 c pav.) matyti, jog automobilis po susidūrimo išleikia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką. Šiuo atveju automotrisės greitis per mažas, jog nustumtų automobilį į šalia esančią šalikelę. Po susidūrimo automobilio priekis pasisuka, tačiau dėl didesnio jo greičio ir turimos inercijos, jis toliau gali judėti skersai bėgių kelio. Kirsdamas kelią skersai automotrisės, automobilis patiria smūgį į vidurinę bei galinę dalį. Atstumas kurį automobilis juda geležinkelio bėgiais, kol nulekia į šalikelę yra 20 m. Didžiausias gaunamas „Mercedes – Benz“ automobilio atstumas nuo susidūrimo vietos iki automobilio sustojimo taško yra 64 m. Kitų dviejų automobilių susidūrimų schemas, kai jų greitis yra 100 km/h, o automotrisės – 60 km/h, pateiktos 1 priedo 6 pav. „VW“ automobilis po susidūrimo bėgių keliu juda 56 m, o „Mercedes – Benz“ automobilis – 20 m. Abu automobiliai, kaip ir „BMW“ automobilis, po susidūrimo su automotrise išleikia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką. Kaip keitėsi automobilių judėjimo kryptis po susidūrimo, pavaizduota 1 priede esančiuose grafikuose.

Gauti atstumai nuo susidūrimo iki nuvažiavimo nuo bėgių vietos, pateikti 3.1.2 lentelėje.

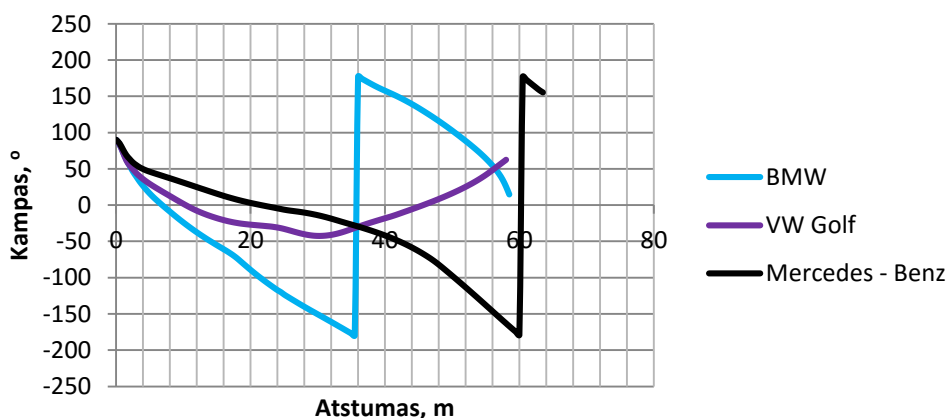
3.1.2 lentelė

Automobilių judėjimo bėgių keliu atstumai

Automotrisės greitis iki susidūrimo, km/h	Gautas atstumas, m		
	„BMW“	„VW“	„Mercedes – Benz“
80	17	12	23
70	19	23	22
60	22	56	20

Lentelėje pateikti duomenys yra gauti, kai susidūrimas įvyksta pirmame taške su visais parinktais automotrisės greičiais. Automobilių greitis buvo 100 km/h.

Kaip gali keistis automobilių judėjimo kryptys po susidūrimo, pavaizduota 3.1.4 paveiksle esančiame grafike.



3.1.4 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo pirmoje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 100 km/h

Po susidūrimo, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, „BMW“ automobilio, judėjimo krypties kampas keičiasi kiek kitaip, kai jo greitis buvo 40 km/h mažesnis (3.1.4 pav). Automobilis gerokai ilgesnį atstumą sukasi, kol pasisuka 180° laipsnių kampu. Tokiu dydžiu automobilis pasisuka už 20 m nuo susidūrimo vietos. Už 52 m nuo susidūrimo vietos „BMW“ automobilis yra apsisukęs 360° laipsnių kampu, lyginant su pradine jo padėtimi. Daugiausia po susidūrimo automobilis gali pasisukti 436° laipsnių kampu. Tai yra 1,2 apsisukimo 360° laipsnių kampu. „VW“ automobilis po susidūrimo iš viso pasisuka net 803° laipsnius apie savo vertikalią ašį, judėdamas didžiausią gautą atstumą po susidūrimo. Tai yra 2,2 apsisukimo 360° laipsnių kampu. Tuo tarpu „Mercedes – Benz“ automobilis po susidūrimo daugiausiai gali pasisukti 267° laipsnių kampu. Tai yra 0,7 apsisukimo 360° laipsnių kampu. Šie dydžiai yra gauti skaičiuojant maksimalų automobilio judėjimo kelią po susidūrimo. Šių automobilių judėjimo krypties grafikas, pateiktas 1 priede.

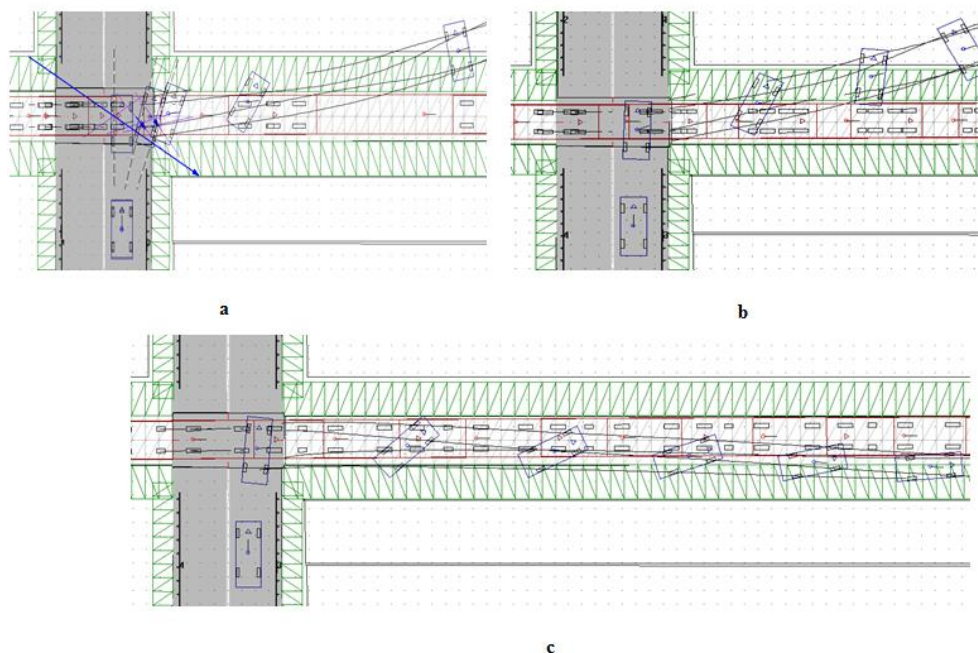
Automotrisės greičiui sumažėjus iki 70 km/h, pagal „VW“ automobilio kreivę, esančią grafike (3.1.4 pav.) matyti, kad po susidūrimo automobilis pradėjo sukis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Tačiau ties 31 m kreivė pradeda kilti (kampe reikšmė -42° laipsniai), o tai rodo, jog automobilis pradeda sukis į priešingą pusę, tai yra prieš laikrodžio rodyklės kryptį. Jam sustojus jo judėjimo krypties kampas yra 62° laipsniai. Sudėjus visus šio automobilio pasisukimus po susidūrimo, gaunamas bendras apsisukimo kampas, kuris yra 236° laipsniai. Tai yra 0,6 apsisukimo 360° laipsnių kampu. „Mercedes – Benz“ kreivė (žr. 1 priedą) parodo, jog automobilis vieną kartą apsisuka 180° laipsnių kampu. Šis apsisukimas įvyksta už 34 m nuo susidūrimo vietos. Per likusius 19 m iki sustojimo, automobilis dar pasisuka 89° laipsniais. Iš viso Mercedes-Benz po susidūrimo apsisuko 269° laipsnių kampu, tai yra 0,7 apsisukimo 360° laipsnių kampu. Pastebima, jog automobilio greičiui išaugus iki 100 km/h jis po susidūrimo sukasi kur kas mažiau. Tuo tarpu „BMW“ automobilio, po susidūrimo, sukimasis vyksta palaipsniui. Galima daryti išvadą, jog automobilis sukasi per pus lėčiau. Tačiau nepaisant to automobilis nukelia kur kas didesnį atstumą. Reiškiasi, automobilis dėl po susidūrimo įgytos didesnės energijos, ilgiau slysta šonu ir dėl trinties jėgų krentant greičiui, automobilis pradeda sukis labiau. Automobilis pasisuka 180° kampu už 24 m, kai palyginimui, šis atstumas siekė 10 m automobiliui judant 60 km/h greičiu. Taigi atstumas padidėja 2,4 karto. Bendras automobilio pasisukimo kampas yra lygus 277° laipsniams.

Automotrisės greičiui sumažėjus iki 60 km/h, „Mercedes – Benz“ automobilis, po susidūrimo, pradeda sukis pagal laikrodžio rodyklės kryptį (3.1.4 pav.). Tai parodo automobilio kreivės kritimas žemyn. Ši kreivė parodo, jog už 49 m nuo susidūrimo vietos automobilis savo kryptį yra pakeitęs 180° laipsnių kampu. Iš viso automobilis po susidūrimo apsisuka 290° laipsnių kampu, o tai yra 0,8 apsisukimo 360° laipsnių kampu. 1 priede esančiame grafike, galima matyti, kaip keitėsi „BMW“ automobilio kryptis po susidūrimo, esant 60 km/h automotrisės greičiui. Automobilio kreivė staigiai krenta žemyn, tačiau vėliau ji link  $x$  ašies artėja ne tokiu stačiu kampu. Už 5 m nuo susidūrimo vietos iki 48 m automobilio krypties kampas kinta tolygiau. Tai rodo lėtesnį automobilio sukimąsi. Per šį

atstumą automobilis pasisuka  $97^\circ$  laipsniais. Vėliau, nuo 48 m iki 66 m, automobilio krypties kampas pasikeičia  $127^\circ$  laipsniais. Grafike matyti, jog automotrisė po susidūrimo nepakeitė savo judėjimo krypties, o „BMW“ automobilis apie savo vertikalią ašį apsisuko  $264^\circ$  laipsnių kampu.

### 3.2 Automotrisės smūgis į automobilio priekines dureles

Tiriant automobilių ir automotrisės susidūrimus geležinkelio pervažoje, kai susidūrimas įvyksta antroje zonoje, pirmiausiai parenkamas atvejis, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 60 km/h. Visi susidūrimo parametrai išlieka tokie patys, kaip ir susidūrimus pirmoje zonoje.



3.2.1 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

a – „VW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 70 km/h; b – „Mercedes – Benz“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, c – „BMW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 80 km/h.

Automotrisei važiuojant 70 km/h greičiu, „VW“ markės automobilis (greitis 60 km/h), po susidūrimo, geležinkelio bėgiais juda 24 m. Kaip pailgėja automobilio judėjimo trajektorija po susidūrimo, pavaizduota 3.2.1 a paveiksle. Schemoje matyti, kad nulėkęs į šalikelės lauką „VW“ automobilis slysta šonu, kol sustoja. Gautas maksimalus automobilio atstumas nuo susidūrimo iki sustojimo vietos siekia 51 m. Pateiktoje schemoje matyti, jog po susidūrimo automobilis pradeda sukis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Kai susidūrimo dalyvauja „Mercedes – Benz“ automobilis, nesikeičiant transporto priemonių greičiui, po susidūrimo, jis automotrisės yra stumiamas 32 m atstumą geležinkelio bėgiais, kol išlieka į kitoje geležinkelio pusėje esančią šalikelę (žr. 1 priedo 7 pav.). Gautas maksimalus „Mercedes – Benz“ automobilio judėjimo atstumas nuo susidūrimo iki

sustojimo vietos yra 57 m. Po susidūrimo, automobilis, taip pat pradeda suktytis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. „BMW“ markės automobilis, po susidūrimo (transporto priemonių greitis išlieka nepasikeitęs), geležinkelio bėgiais yra stumiamas 30 m atstumą. Tai 2 m mažiau nei prieš tai naudotas automobilis. Apskaičiuotas maksimalus automobilio judėjimo nuo susidūrimo iki sustojimo vietos kelias yra 57 m.

Automobilio greičiui nesikeičiant, o automotrisės sumažėjus iki 60 km/h, „Mercedes – Benz“ automobilis 17 m nuo susidūrimo vietos juda bėgių keliu, kol išleikia į kitoje geležinkelio pusėje esančią šalikelę (3.2.1 b pav.). Palyginus šį atstumą su gautu, kai automotrisė važiavo 10 km/h didesniu greičiu, gaunamas dvigubas atstumo sutrumpėjimą. Gautas maksimalus, „Mercedes – Benz“ automobilio, kelias nuo susidūrimo iki sustojimo vietos, siekia 40 m. Naudojant „VW“ markės automobilį, šiame susidūrime, jis už 12 m nuo susidūrimo vietos nulekia į šalikelės lauką. Šis atstumas yra perpus trumpesnis, lyginant su gautu tada, kai automotrisė važiavo 10 km/h didesniu greičiu. Kaip ir prieš tai apžvelgtu atveju, su „Mercedes – Benz“ markės automobiliu, taip ir šiuo, automobilis išleikia į kitoje geležinkelio pusėje esančią šalikelę. Gautas maksimalus „VW“ automobilio judėjimas po susidūrimo, kol šis sustoja, yra 36 m. Kai susidūrimas įvyksta su „BMW“ markės automobiliu, nesikeičiant transporto priemonių greičiui, po susidūrimo jis yra stumiamas geležinkelio bėgiais 15 m. Vėl pastebimas dvigubas atstumo sutrumpėjimas, lyginant su atveju, kai automotrisės greitis buvo 10 km/h didesnis. Kaip ir prieš tai buvusiais atvejais automobilis po susidūrimo išleikia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką (žr. 1 priedo 8 pav). Gautas maksimalus atstumas nuo susidūrimo vietos iki automobilio sustojimo taško yra 39 m. Po susidūrimo automobilis pradėjo suktytis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Gaunama, jog esant tokiam transporto priemonių greičiui, „Mercedes – Benz“ automobilio judėjimas bėgių keliu po susidūrimo yra ilgiausias iš gautų su visais trim automobiliais.

Automotrisės greičiui išaugus iki 80 km/h, o automobilio išliekant 60 km/h, „BMW“ markės automobilis, po susidūrimo, geležinkelio bėgiais juda 65 m. Automobilio judėjimo trajektorija po susidūrimo, pavaizduota 3.2.1 c paveiksle. Schemoje matyti, kad po susidūrimo „BMW“ automobilis ilgą kelią yra stumiamas šonu, kol nulekia nuo bėgių ir sustoja. Gautas maksimalus automobilio atstumas nuo susidūrimo iki sustojimo vietos siekia 81 m. Pateiktoje schemoje matyti, jog po susidūrimo automobilis pradeda suktytis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. „VW“ ir „Mercedes – Benz“ automobilių susidūrimų schemas yra panašios į prieš tai nagrinėtą, kai transporto priemonių greitis išlieka toks pat (žr. 1 priedo 9 pav.). Pirmajam automobiliui susidūrus antrojoje zonoje, pastarasis geležinkelio bėgiais yra stumiamas 44 m atstumą, kol nulekia į šalikelę. Tai yra 21 m daugiau nei „BMW“ automobilis. Atlikus skaičiavimus su programa, gauta, jog maksimalus galimas „VW“ automobilio judėjimo kelias nuo susidūrimo iki sustojimo vietos siekia iki 72 m. „Mercedes – Benz“ automobilis už 50 m nuo susidūrimo vietos nulekia į dešinėje pusėje esančią šalikelę. Gaunama, jog „Mercedes – Benz“ automotrisės buvo stumiamas 15 m trumpiau už „BMW“ automobilį ir 6 m ilgiau



už „VW“ automobilį. Gautas maksimalus „Mercedes – Benz“ atstumas nuo susidūrimo vietos iki automobilio sustojimo taško yra 77 m.

Gauti atstumai nuo susidūrimo iki nuvažiavimo nuo bėgių vietos, pateikti 3.2.1 lentelėje.

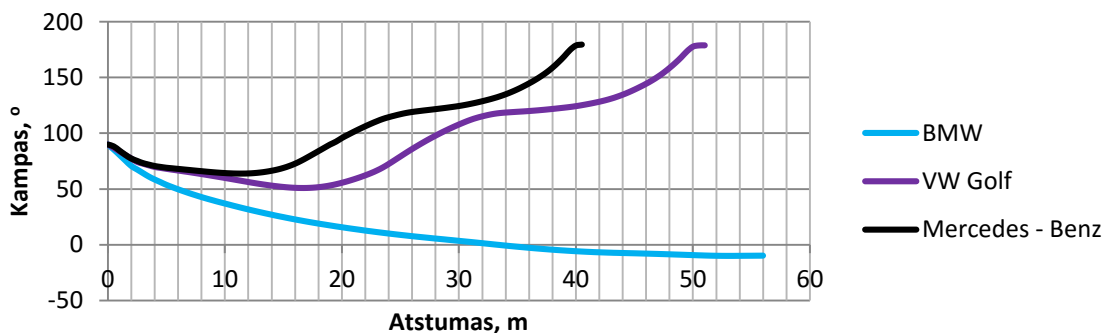
3.2.1 lentelė

Automobilių judėjimo bėgių keliu atstumai

Automotrisės greitis iki susidūrimo, km/h	Gautas atstumas, m		
	„BMW“	„VW“	„Mercedes – Benz“
80	65	44	50
70	30	24	32
60	15	12	17

Lentelėje pateikti duomenys yra gauti, kai susidūrimas įvyksta antrame taške su visais parinktais automotrisės greičiais. Automobilių greitis buvo 60 km/h.

Kaip keitėsi automobilių judėjimo kryptys po susidūrimų antrame taške, pavaizduota 3.2.2 paveiksle esančiame grafike.

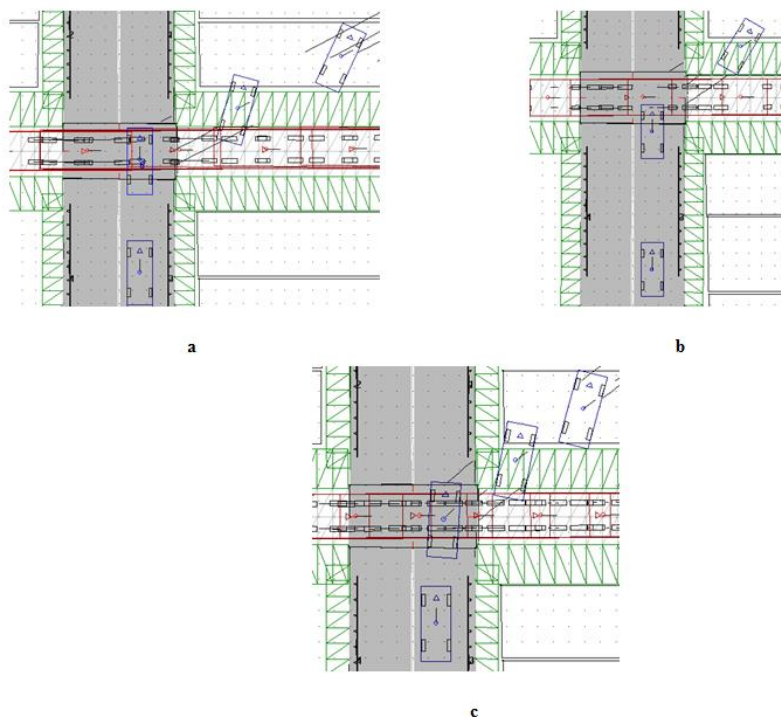


3.2.2 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo antroje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

Iš grafiko (3.2.2 pav) matyti, jog automobilių judėjimo krypties kampas nesikeičia labai staigiai po susidūrimo, kaip tai būdavo susidūrus pirmame taške. „BMW“ Automobilio kampo kreivė tolygiai artėja link  $x$  ašies, kurią kerta ties 34 m reikšme. Tik po tokio atstumo automobilis pasisuka  $90^\circ$  laipsnių kampu. Automobilis po susidūrimo nė karto neapsisuka  $180^\circ$  laipsnių. Jam sustojus jo judėjimo krypties kampas yra lygus  $-15^\circ$  laipsnių (minuso ženklas, nes automobilis sukosi pagal laikrodžio rodyklės kryptį). Po susidūrimo automobilis apie savo vertikalią ašį iš viso apsisuko  $105^\circ$  laipsnių kampu.

„VW“ markės automobilis po susidūrimo pradeda sukintis pagal laikrodžio rodyklės kryptį (3.2.2 pav), tačiau už 17 m nuo susidūrimo vietos prasideda sukimasis į priešingą pusę. Iki taško, kai kreivė pradeda kilti, automobilio krypties kampas pasikeitė  $40^\circ$  laipsnių. Sukimasis į priešingą pusę prasideda

dėl to, jog automobilis apsisukęs patiria smūgį į priekinę dalį ir todėl automotrisė pradeda jį sukti į priešingą pusę. Po susidūrimo, „VW“ automobiliui sustojus, jo krypties kampas yra  $88^\circ$  laipsniai. „Mercedes – Benz“ kreivė, esanti grafike (3.2.2 pav.), po susidūrimo iš karto leidžiasi žemyn. Tai parodo, jog automobilis po susidūrimo sukasi pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Tačiau už 12 m kreivė pradeda kilti į viršų, o tai reiškia, jog automobilis pradeda sukintis į priešingą pusę. Prasidėjęs sukimasis į kitą pusę nėra staigus, nes kreivė kyla palaipsniui. Kiek statesnis kilimas prasideda ties 19 m, kai automobilis jau yra išlėkęs į šalikelės lauką. „Mercedes – Benz“ kreivė leidosi nuo  $90^\circ$  iki  $63^\circ$  laipsnių. Automobiliui sustojus jo krypties kampas yra  $179^\circ$  laipsniai. Iš viso automobilis po susidūrimo pasisuka  $89^\circ$  laipsnių kampu, o tai yra 0,25 apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu.



3.2.3 pav. Susidūrimo, antroje zonoje, schema, kai automobilių greitis yra 100 km/h

a – „BMW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 80 km/h; b – „VW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, c – „Mercedes – Benz“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 60 km/h.

Automotrisės greičiui esant 80 km/h, o automobilio – 100 km/h, po susidūrimo, „BMW“ automobilis išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką (3.2.3 a pav.). Nors patyręs smūgį automobilis pasisuka pagal laikrodžio rodyklės kryptį, tačiau dėl gerokai didesnio greičio jis pralekia skersai autmotrisės kelio. Prieš išlėkdamas į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką, automobilis dar patiria kelis smūgius į vidurinę bei galinę kėbulo dalį. „BMW“ bėgių keliu juda 11 m. Gautas, maksimalaus, automobilio judėjimo kelio po susidūrimo ilgis yra 64 m. Įvykus susidūrimui antroje zonoje su „VW“ markės automobiliu, išliekant tokiam pačiam transporto priemonių greičiui, po susidūrimo, automobilis, į šalikelės lauką išlekia už 10 m nuo susidūrimo vietos. Palyginus su „BMW“ automobiliu, gautas atstumas yra 1 m trumpesnis. „VW“ automobilis taip pat nulekia į kitoje

geležinkelio pusėje esančią šalikelę. Gautas automobilio maksimalus judėjimo kelias nuo susidūrimo iki sustojimo vietos yra 79 m. Kai susidūrimas įvyksta su „Mercedes – Benz“ automobiliu, nesikeičiant transporto priemonių greičiui, automobilis po susidūrimo taip pat nulekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką. Atstumas, kurį šis automobilis juda bėgių keliu, kol nulekia į šalikelę, yra 9 m. Tai vienu metru mažiau nei prieš tai nagrinėtas automobilis. Gautas maksimalus „Mercedes – Benz“ automobilio kelias nuo susidūrimo iki sustojimo vietos siekia iki 54 m.

Automobilio greičiui nesikeičiant, o automotrisės greičiui sumažėjus iki 70 km/h, „VW“ markės automobilis, po susidūrimo su automotrise, bėgių keliu juda 8 m. Vėliau automobilis nulekia į kitoje geležinkelio pusėje esančią šalikelę (3.2.3 b pav.). Automobilio judėjimas bėgių keliu, po susidūrimo, sutrumpėja 1 m, lyginant su atveju, kai automotrisė važiavo 10 km/h didesniu greičiu. Gautas maksimalus „VW“ automobilio kelias, nuo susidūrimo iki sustojimo vietos yra 57 m. Kitų dviejų automobilių susidūrimų schemas, esant tokiam pačiam transporto priemonių greičiui, pateiktos 1 priedo 11 pav.

Automotrisės greičiui sumažėjus iki 60 km/h, o automobilio greičiui išliekiant 100 km/h, „Mercedes – Benz“ automobilis, po susidūrimo pasisuka pagal laikrodžio rodyklės kryptį (3.2.3 c pav.). Už 7 m nuo susidūrimo vietos „Mercedes – Benz“ išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką, kuriame po ilgo slydimo sustoja. Gautas maksimalus atstumas nuo susidūrimo vietos iki automobilio sustojimo taško yra 48 m. Palyginus su atveju, kai automotrisės greitis buvo 10 km/h didesnis, gautas atstumas šiuo atveju yra 4 m ilgesnis. Išliekiant tokiam pačiam transporto priemonių greičiui ir įvykus susidūrimui antroje zonoje, „BMW“ markės automobilis, po susidūrimo, kaip ir prieš tai buvusiais atvejais, išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką (žr. 1 priedo 12 pav.). Atstumas, kurį automobilis juda geležinkeliu, kol nulekia į šalikelę, yra 7 m. Dėl mažesnio automotrisės greičio, po susidūrimo automobilis pasukamas mažesniu kampų ir, prieš išlėkdamas į šalikelės lauką, jis kliudo apsauginį kelio atitvarą priekinės dalies šonu. Braukdamas apsauginį kelio atitvarą automobilis sumažina savo greitį, kuris ir taip sumažėja po susidūrimo su automotrise. Gautas maksimalus automobilio judėjimo po susidūrimo atstumas yra 44 m nuo susidūrimo vietos. Gaunama, jog „Mercedes – Benz“ trajektorija po susidūrimo yra 4 m ilgesnė už „BMW“ automobilio.

Gauti atstumai nuo susidūrimo iki nuvažiavimo nuo bėgių vietos, pateikti 3.2.2 lentelėje.

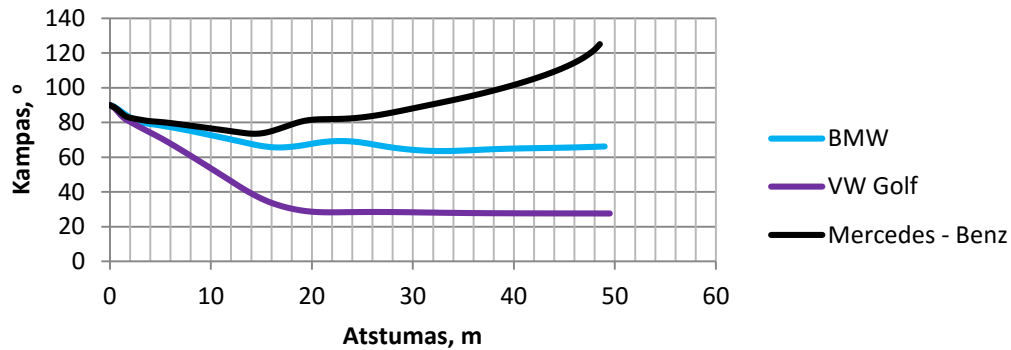
5.3.2 lentelė

Automobilių judėjimo bėgių keliu atstumai

Automotrisės greitis iki susidūrimo, km/h	Gautas atstumas, m		
	„BMW“	„VW“	„Mercedes – Benz“
80	11	10	9
70	8	8	7
60	7	8	7

Lentelėje pateikti duomenys yra gauti, kai susidūrimas įvyksta antrame taške su visais parinktais automotrisės greičiais. Automobilių greitis buvo 100 km/h.

Kaip po susidūrimo keičiasi transporto priemonių judėjimo kryptis, pavaizduota grafike, esančiame 3.2.4 paveiksle.



3.2.4 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo antroje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 100 km/h

Automotrisės greičiui esant 80 km/h, „BMW“ automobilis po susidūrimo labai staigia pasisuka  $10^\circ$  laipsnių kampu pagal laikrodžio rodyklės kryptį (3.2.4 pav.). Tai parodo staigus kreivės kritimas. Vėliau kreivė leidžiasi žemyn ne tokiu stačiu kampu. Ties 16 m po susidūrimo automobilis šiek tiek pasisuka į kitą pusę, vėliau vėl pradeda sukstis pagal pirminę kryptį. Tai matoma iš kreivės pakilimo ir vėliau sekančios leidimosi atkarpos. Galutinėje padėtyje automobilio judėjimo krypties kampas yra  $69^\circ$  laipsniai. Po susidūrimo automotrisė nepakeičia savo judėjimo krypties. 1 priede yra pateikti kitų dviejų automobilių, judėjimo krypčių grafikai, kai transporto priemonių greičiai yra tokie pat. „VW“ markės automobilis po susidūrimo sukasi kiek mažiau nei prieš tai buvusiais atvejais.  $90^\circ$  laipsnių pasisukimas apie savo vertikalią ašį įvyksta už 51 m nuo susidūrimo vietos. Sudėjus visus automobilio pasisukimus po susidūrimo, gaunamas bendras apsisukimo kampas apie vertikalią ašį, kuris yra  $165^\circ$  laipsniai. Tai yra  $\sim 0,5$  apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu. Tuo tarpu „Mercedes – Benz“ automobilis po susidūrimo iš viso apsisuka  $65^\circ$  laipsniais apie savo vertikalią ašį. Tai yra  $0,2$  apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu.

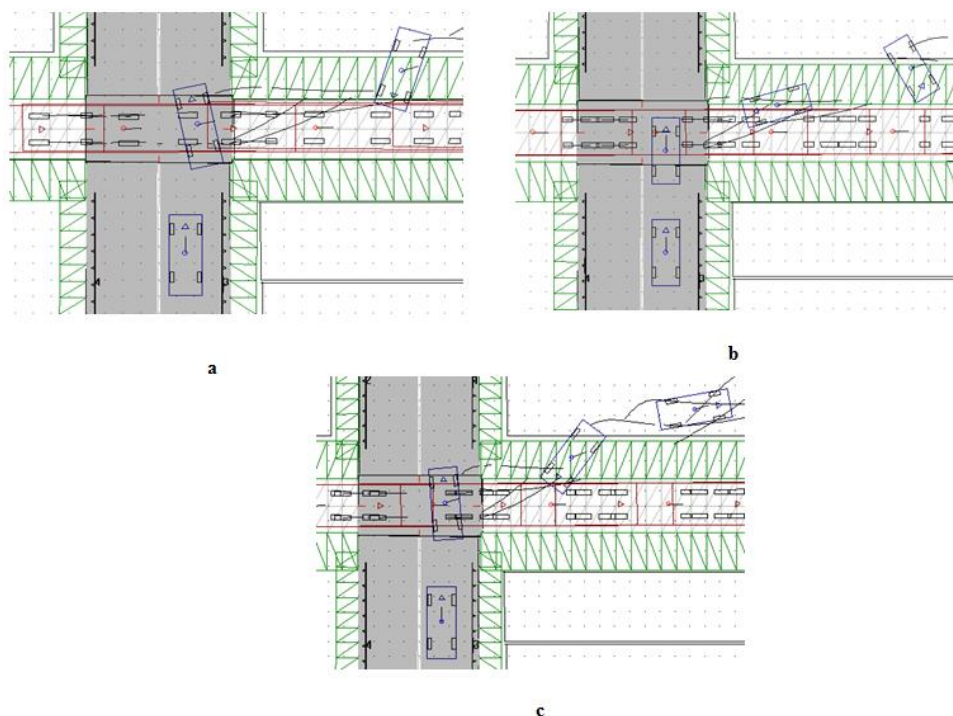
Automotrisės greičiui sumažėjus iki 70 km/h, po susidūrimo antroje zonoje, „VW“ automobilio kreivė staigiai leidžiasi žemyn (3.2.4 pav.). Automobilis po smūgio pradeda sukstis pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Ties 20 m automobilio kreivė nukrenta iki  $28^\circ$  laipsnių. Likusius 37 m kreivė nusileidžia tik per  $1^\circ$  laipsnį žemyn, o tai reiškia, kad šį atstumą judėdamas automobilis nesisuko. Iš viso po susidūrimo, „VW“ automobilis, apie vertikalią ašį pasisuko  $63^\circ$  laipsniais.

Automotrisės greičiui sumažėjus iki 60 km/h, „Mercedes – Benz“ kreivė, esanti grafike (3.2.4 pav.), po susidūrimo iš karto leidžiasi žemyn. Tai parodo, jog automobilis po susidūrimo sukasi pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Tačiau už 15 m kreivė pradeda kilti į viršų, tai reiškia, jog automobilis pradeda sukstis į priešingą pusę. Prasidėjęs sukimasis į kitą pusę nėra staigus, nes kreivė kyla

palaiptai. Mercedes-Benz kreivė leidosi nuo  $90^\circ$  iki  $73^\circ$  laipsnių. Automobiliui sustojus jo krypties kampas yra  $125^\circ$  laipsniai. Iš viso automobilis po susidūrimo pasisuka  $69^\circ$  laipsnių kampu, o tai yra  $\sim 0,2$  apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu. Kitų dviejų automobilių, judėjimo krypčių grafikai, kai transporto priemonių greičiai yra tokie pat, pateikti 1 priede.

### 3.3 Automotrisės smūgis į automobilio vidurinę dalį

Tiriant automobilių ir automotrisės susidūrimus geležinkelio pervažoje, kai susidūrimas įvyksta trečioje zonoje, pirmiausiai parenkamas atvejis, kai automotrisės greitis yra  $80 \text{ km/h}$ , o automobilių –  $60 \text{ km/h}$ . Visi susidūrimo parametrai išlieka tokie patys, kaip ir susidūrimus pirmoje ir antroje zonoje.



3.3.1 pav. Susidūrimų trečioje zonoje, schemas, kai automobilių greitis yra  $60 \text{ km/h}$

a – „BMW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra  $80 \text{ km/h}$ ; b – „VW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra  $70 \text{ km/h}$ ,  
c – „Mercedes – Benz“ automobilis, kai automotrisės greitis yra  $60 \text{ km/h}$ .

Automotrisės greičiui esant  $80 \text{ km/h}$ , o automobilio –  $60 \text{ km/h}$ , „BMW“ automobilis patyręs smūgį į vidurinę kėbulo dalį, iš karto pradeda sukty prieš laikrodžio rodyklės kryptį (3.3.1 a pav.). Automobilis po susidūrimo  $13 \text{ m}$  juda geležinkelio bėgiais, kol nulekia į šalikelėje esantį lauką. Gautas maksimalus atstumas, kurį automobilis juda nuo susidūrimo vietos iki sustojimo taško yra  $69 \text{ m}$ . Tuo tarpu „VW“ automobilis po susidūrimo ne iškart nulekia nuo bėgių kelio (žr. 1 priedo 13 pav.). Tai įvyksta už  $16 \text{ m}$  nuo susidūrimo vietos,  $1 \text{ m}$  toliau už „BMW“ automobilį. Gautas maksimalus „VW“ judėjimas po susidūrimo, kol jis sustoja yra  $74 \text{ m}$ . Šis automobilio kelias yra  $5 \text{ m}$  ilgesnis už gautą su

„BMW“ markės automobiliu. Įvykus susidūrimui su „Mercedes – Benz“ automobiliu, pastarasis po susidūrimo pradeda sukintis prieš laikrodžio rodyklės kryptį. Už 16 m nuo susidūrimo vietos „Mercedes – Benz“ išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką, kuriame po ilgo slydimo ir sukimosi sustoja. Gautas maksimalus atstumas nuo susidūrimo vietos iki automobilio sustojimo taško yra 70m. Palyginus su prieš tai apžvelgtais atvejais, kai buvo naudojami „BMW“ ir „VW“ automobiliai, „Mercedes – Benz“ trajektorija po susidūrimo yra 4 m trumpesnė už „VW“ ir 1 m ilgesnė už „BMW“ trajektoriją.

Automobilio greičiui nesikeičiant, o automotrisės greičiui sumažėjus iki 70 km/h, susidūrimų schemos pasikeičia nežymiai. „BMW“ markės automobilis po susidūrimo 15 m juda geležinkelio bėgiais. Vėliau, išlėkęs į šalia esantį lauką, automobilis kelis sykius apsisuka ir sustoja (žr. 1 priedo 14 pav.). Gautas maksimalus atstumas, kurį automobilis juda po susidūrimo iki sustojimo yra 56 m. Taigi šiuo atveju, automobilio kelias po susidūrimo sutrumpėja 18 %, lyginant su atveju, kai automotrisės greitis yra 80 km/h. „VW“ markės automobilis po susidūrimo (3.3.1 b pav.) nuo bėgių kelio nukelia į šalikelę 1 m arčiau nei „BMW“ automobilis. Tai yra už 14 m nuo susidūrimo vietos. Gautas maksimalus atstumas, kurį automobilis juda, kol sustoja, yra 63 m. Šis automobilio kelias yra 7 m ilgesnis už gautą su „BMW“ markės automobiliu. „Mercedes – Benz“ atstumas, kurį automobilis juda po susidūrimo, kol išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką, yra 13 m. Šis atstumas yra 2 m trumpesnis už gautą su „BMW“ automobiliu. Gautas maksimalus automobilio judėjimo po susidūrimo atstumas yra 59 m. Tai 4 m trumpiau už „VW“ automobilį ir 3 m ilgiau už „BMW“.

Automotrisės greičiui sumažėjus iki 60 km/h ir susilyginus su automobilio greičiu, matyti, jog „Mercedes – Benz“ automobilis po susidūrimo pasisuka prieš laikrodžio rodyklės kryptį (3.3.1 c pav.). Išlėkęs į šalikelės lauką, automobilis porą kartų apsisuka kol sustoja. Atstumas po kurio automobilis nuvažiuoja nuo bėgių yra 10 m nuo susidūrimo. Gautas maksimalus atstumas, kurį automobilis po susidūrimo juda, kol sustoja yra 45 m . Palyginus su atveju, kai automotrisės greitis buvo 10 km/h didesnis, gautas atstumas šiuo atveju yra 14 m arba 23 % trumpesnis. Palyginus su „BMW“ ir „VW“ automobiliais, kai jų greitis tai pat lygus automotrisės greičiui, „Mercedes – Benz“ trajektorija po susidūrimo yra 1 m ilgesnė už „BMW“ ir tokio pat ilgio, kaip ir „VW“ automobilio.

Gauti atstumai nuo susidūrimo iki nuvažiavimo nuo bėgių vietos, pateikti 3.3.1 lentelėje.

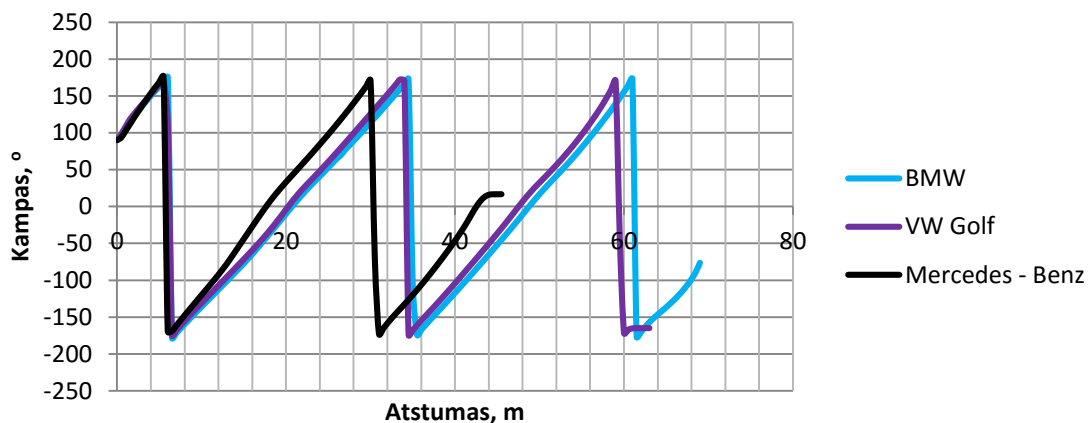
3.3.1 lentelė

Automobilių judėjimo bėgių keliu atstumai

Automotrisės greitis iki susidūrimo, km/h	Gautas atstumas, m		
	„BMW“	„VW“	„Mercedes – Benz“
80	13	16	16
70	15	14	13
60	11	10	10

Lentelėje pateikti duomenys yra gauti, kai susidūrimas įvyksta trečioje zonoje su visais parinktais automotrisės greičiais. Automobilių greitis buvo 60 km/h.

Kaip po susidūrimo keičiasi transporto priemonių judėjimo kryptys, pavaizduota grafike, esančiame 3.3.2 paveiksle.



3.3.2 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo trečioje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

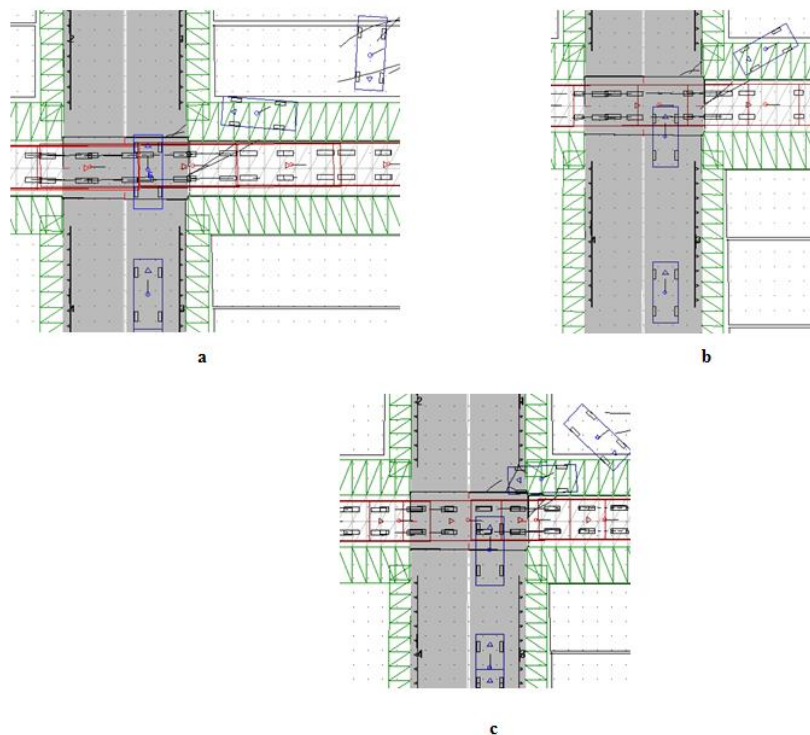
„BMW“ automobilio kreivė po susidūrimo, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, kylo į viršų todėl, jog šis pradeda sukstis prieš laikrodžio rodyklės kryptį (3.3.2 pav.). Už 13 m nuo susidūrimo vietos automobilis apie savo vertikalią ašį jau yra pasisukęs  $180^\circ$  laipsnių kampu. Sekantis toks apsisukimas yra už 15 m nuo pirmojo. Už 43 m nuo susidūrimo vietos automobilis trečią kartą apsisuka  $180^\circ$  kampu. Automobilui sustojus, jo krypties kampas yra  $76^\circ$  laipsniai. Kitų dviejų automobilių, judėjimo krypčių grafikai, kai transporto priemonių greičiai yra tokie pat, pateikti 1 priede.

Įvykus susidūrimui, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, grafike matyti, kad „VW“ automobilis pradeda sukstis prieš laikrodžio rodyklės kryptį (3.3.2 pav). Pagal violetinės kreivės kitimą matyti, jog automobilis keturis sykius apsisuko  $180^\circ$  kampu. Pirmas toks apsisukimas įvyksta už 14 m nuo susidūrimo vietos. Sekantys trys apsisukimai po  $180^\circ$  laipsnių įvyksta už 28, 41 ir 55 m nuo susidūrimo vietos. Iš viso automobilis po susidūrimo apsisuko  $826^\circ$  laipsnių kampu, o tai yra 2,3 apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu.

„Mercedes – Benz“ automobilio kreivė, esanti grafike (3.3.2 pav.), parodo, jog automobilis po susidūrimo pradeda sukstis prieš laikrodžio rodyklės kryptį ir ne vieną kartą apsisuka apie savo vertikalią ašį  $180^\circ$  laipsnių. Ši automobilio kreivė gauta, kai susidūrimas įvyksta esant vienodiam transporto priemonių greičiams, t.y. 60 km/h. Pirmasis apsisukimas apie savo vertikalią ašį  $180^\circ$  laipsnių, „Mercedes – Benz“ automobiliui įvyksta už 12 m nuo susidūrimo vietos. Antrasis apsisukimas įvyksta už 25 m, o paskutinis, trečiasis, už 37 m nuo susidūrimo vietos. Iš viso „Mercedes



– Benz“ automobilis po susidūrimo apsisuko  $646^\circ$  laipsnių kampu, o tai yra  $1,8$  apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu.



3.3.3 pav. Susidūrimų, trečioje zonoje, schemas, kai automobilių greitis yra 100 km/h

a – „BMW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 80 km/h; b – „VW“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, c – „Mercedes – Benz“ automobilis, kai automotrisės greitis yra 60 km/h.

Automobilio greičiui padidėjus 40 km/h, gaunama susidūrimo schema yra labai panaši į gautą tuo atveju, kai automobilio greitis buvo mažesnis. Šiuo atveju automobilio trajektorija po susidūrimo išsidėsto kur kas statesniu kampu. „BMW“ markės automobilis bėgių keliu po susidūrimo juda 7 m atstumą (3.3.3 a pav.). Gautas maksimalus automobilio kelias nuo susidūrimo vietos iki sustojimo taško yra 67 m. „VW“ markės automobilis, po susidūrimo su automotrise, bėgių keliu juda 8 m, kol nulekia į šalikelę (žr. 1 priedo 15 pav.). Šis atstumas yra 1 m ilgesnis už gautą su „BMW“ automobiliu. Gautas maksimalus atstumas, kurį „VW“ automobilis juda po susidūrimo iki sustojimo yra 72 m. Šis automobilio kelias yra 5 m ilgesnis už gautą su „BMW“ automobiliu. „Mercedes – Benz“ automobilis gan greitai, už 7 m nuo susidūrimo vietos, išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką. Šis atstumas yra 1 m trumpesnis už gautą su „VW“ automobiliu. Gautas maksimalus atstumas, kurį automobilis juda po susidūrimo iki sustojimo yra 64 m. Palyginus su prieš tai apžvelgtais atvejais, kai buvo naudojami „BMW“ ir „VW“ automobiliai, „Mercedes – Benz“ maksimali trajektorija po susidūrimo yra 3 m trumpesnė už „BMW“ ir 8 m trumpesnė už „VW“ trajektoriją.

Toliau nagrinėjami susidūrimai, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių – 100 km/h. Schemoje (3.3.3 b pav.) matyti, jog „VW“ automobilis gana greitai po susidūrimo nulekia į šalikelės lauką. Tai įvyksta už 8 m nuo susidūrimo vietos, o palyginus su BMW automobiliu, gaunamas 2 m trumpesnis atstumas. Gautas maksimalus atstumas po susidūrimo, kurį „VW“ juda, kol sustoja yra 61



m. Šis automobilio kelias yra 11 m ilgesnis už gautą su BMW automobiliu. Palyginus šį atstumą su atveju, kai „VW“ susidūrė su automotrise, važiuodamas 40 km/h mažesniu greičiu, gaunama, jog kelias nuo susidūrimo iki sustojimo vietos sutrumpėjo 11 m. Taigi šiuo atveju automotrisės greičiui sumažėjus 10 km/h, automobilio judėjimo kelias po susidūrimo sutrumpėja 15 %. Nesikeičiant transporto priemonių greičiui ir įvykus susidūrimui su „BMW“ automobiliu, atstumas kurį šis automobilis juda, po susidūrimo, per geležinkelio bėgius yra 10 m (žr. 1 priedo 16 pav.). Automobilis, prieš nulėkdamas į šalikelę, kliudo apsauginį kelio atitvarą. Gautas maksimalus atstumas nuo susidūrimo iki sustojimo vietos yra 50 m. Taigi gaunama, jog automotrisės greičiui sumažėjus 10 km/h automobilio judėjimo kelias po susidūrimo sumažėja 25 %. „Mercedes – Benz“ automobilio susidūrimo trečioje zonoje schema, kai transporto priemonių greičiai nesikeičia, pateikti 1 priede.

Automotrisei judančiai 60 km/h greičiu, susidūrus su automobiliu, kurio greitis yra 100 km/h, gaunama schema, kurioje matyti, jog „Mercedes – Benz“ automobilis greitai išlekia į kitoje geležinkelio pusėje esantį lauką, tačiau prieš tai priekine dalimi kliudo apsauginė kelio barjerą (3.3.3 c pav.). Atstumas nuo susidūrimo vietos iki nuvažiavimo nuo bėgių taško yra 8 m. Maksimalus gautas kelias, kurį „Mercedes – Benz“ juda po susidūrimo, kol sustoja yra 38 m. Palyginus su kitais dviem automobiliais, „Mercedes – Benz“ trajektorija po susidūrimo yra 2 m ilgesnė už „BMW“ ir 5 m ilgesnė už „VW“ automobilio trajektoriją. „BMW“ ir „VW“ automobilių susidūrimų trečiame taške schemas, esant nepasikeitusiems transporto priemonių greičiams, pateiktos 1 priedo 17 pav.

Gauti atstumai nuo susidūrimo iki nuvažiavimo nuo bėgių vietos, pateikti 3.3.2 lentelėje.

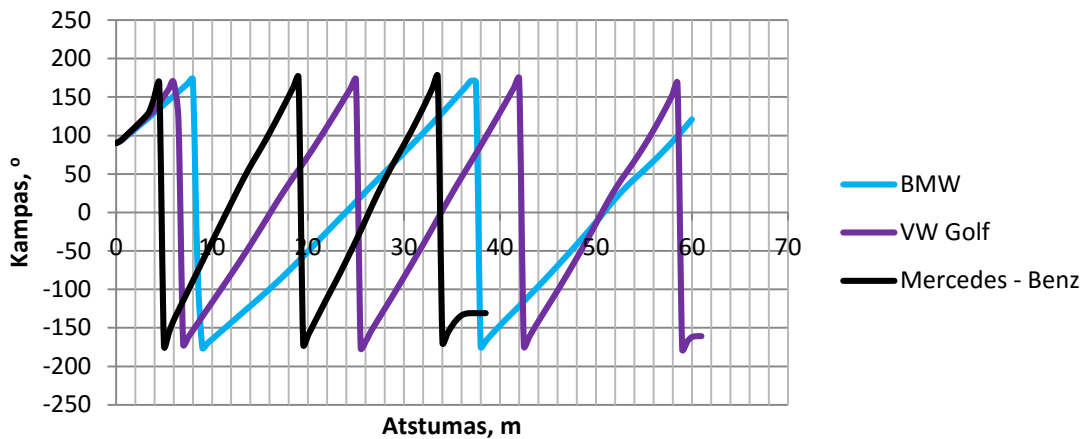
3.3.2 lentelė

Automobilių judėjimo bėgių keliu atstumai

Automotrisės greitis iki susidūrimo, km/h	Gautas atstumas, m		
	„BMW“	„VW“	„Mercedes – Benz“
80	7	8	7
70	10	8	7
60	8	9	8

Lentelėje pateikti duomenys yra gauti, kai susidūrimas įvyksta trečioje zonoje su visais parinktais automotrisės greičiais. Automobilių greitis buvo 100 km/h.

Kaip po susidūrimo keičiasi transporto priemonių judėjimo kryptis, pavaizduota grafike, esančiame 3.3.4 paveiksle.



3.3.4 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo trečioje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 100 km/h

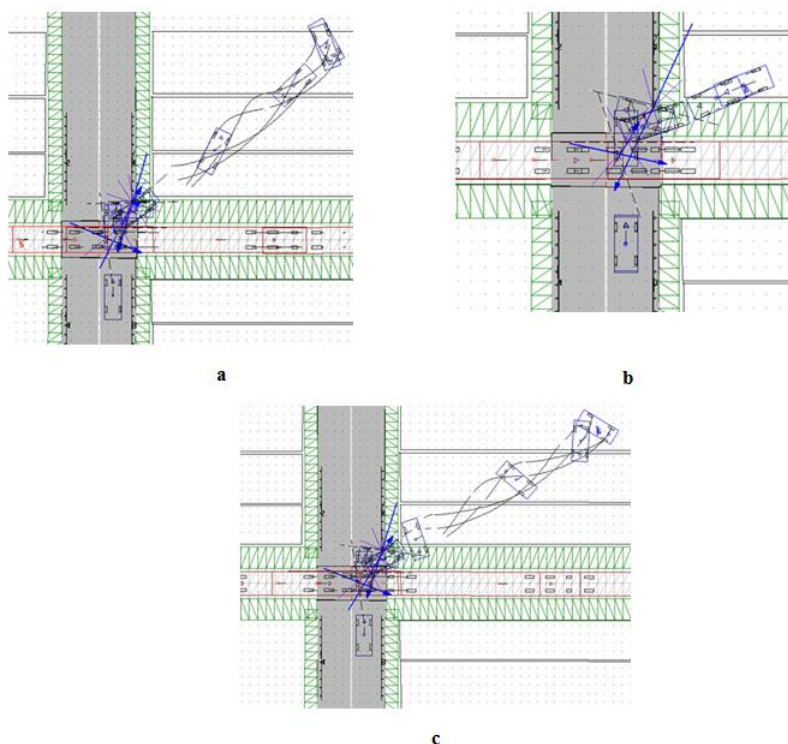
Susidūrimui įvykus, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, „BMW“ automobilis po susidūrimo 4 sykius apsisuka 180° laipsnių apie savo vertikalią ašį (3.3.4 pav.). Iš karto po susidūrimo automobilis pradeda sukstis prieš laikrodžio rodyklės kryptį. Už 17 m nuo susidūrimo vietos automobilis judėjimo kryptį jau būna pakeitęs 180° laipsnių. Toliau automobiliui slystant ir sukantis jis už 14 m nuo pirmojo apsisukimo apsisuką antrąjį kartą. Trečiasis apsisukimas įvyksta, kai automobilis nuo susidūrimo vietos nutolsta už 45 m. Ketvirtasis apsisukimas įvyksta už 13 m nuo trečiojo. Iš viso po susidūrimo automobilis apsisuka 793° laipsniais arba 2,2 karto padaro 360° laipsnių apsisukimą apie savo vertikalią ašį.

„VW“ automobilio kreivė, esanti grafike (3.3.4 pav.), parodo, jog automobilis po susidūrimo pradeda sukstis prieš laikrodžio rodyklės kryptį ir ne vieną kartą apsisuka 180° laipsnių. Ši kreivė yra gaunama, kai susidūrimas įvyksta automotrisei važiuojant 70 km/h greičiu, o automobiliui – 100 km/h. Pirmasis „VW“ automobilio apsisukimas apie savo vertikalią ašį įvyksta už 12 m nuo susidūrimo vietos. Kiti penki apsisukimai po 180° laipsnių įvyksta atitinkamai už 21, 29, 38, 47 ir 55 m nuo susidūrimo vietos. Iš viso automobilis po susidūrimo apsisuko 1179° laipsnių kampu, o tai yra 3,2 apsisukimo 360° laipsnių kampu.

Pagal „Mercedes – Benz“ automobilio kreivės kitimą (3.3.4 pav.) matyti, jog po susidūrimo automobilis pradėjo sukstis prieš laikrodžio rodyklės kryptį ir keturis kartus apie savo vertikalią ašį apsisuko po 180° laipsnių. Pirmasis toks apsisukimas įvyksta už 8 m nuo susidūrimo vietos. Antrasis apsisukimas tokiu kampu įvyksta už 7 m nuo pirmojo apsisukimo vietos. Likę du tokie apsisukimai įvyksta už 23 ir 30 m nuo susidūrimo vietos. Ši kreivė gaunama, kai automobilio greitis yra 100 km/h, o automotrisės – 60 km/h. Iš viso „Mercedes – Benz“ automobilis apsisuka 830° laipsnių apie savo vertikalią ašį, o tai yra 2,3 apsisukimo 360° laipsnių kampu.

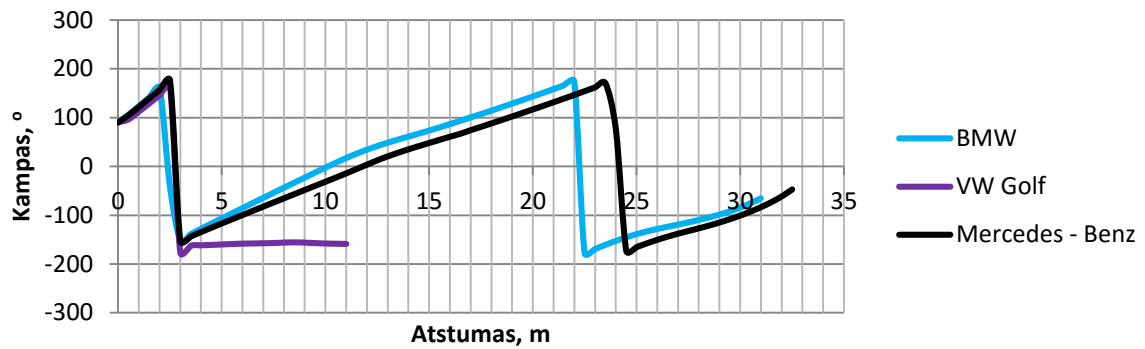
### 3.4 Automotrisės smūgis į automobilio galines dureles

Įvykus transporto priemonių susidūrimui ketvirtoje zonoje, gaunamos automobilio judėjimo trajektorijos po susidūrimo skiriasi nuo prieš tai buvusių. Susidūrimo schemas, ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilio – 60 km/h, pateiktos 3.4.1 paveiksle.



3.4.1 pav. Susidūrimų schemas, ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 60 km/h  
a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“

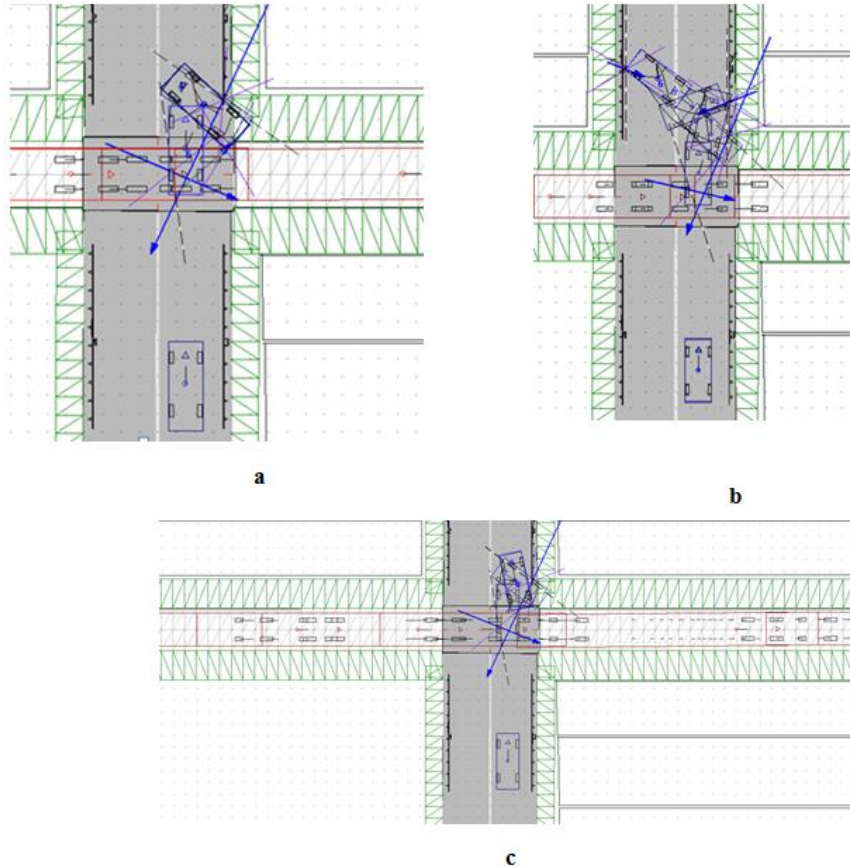
Iš pateiktų schemų matyti, jog visi trys automobiliai po susidūrimo su automotrise atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą. Toliau trajektorijos kiek išsiskiria. „BMW“ markės automobilis po susidūrimo į gauna daug energijos, dėl to stipriai trenkiasi į kelio atitvarą. Po smūgio automobilis pasisuka ir priekine dalimi užkliūna už važiuojančios automotrisės. Įgaudamas papildomos energijos, automobilis į šalikelės lauką nurieda kur kas toliau nei „VW“ automobilis. Pastarasis po susidūrimo pervažoje, taip pat atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą. Tačiau šis automobilis yra 0,69 m trumpesnis už „BMW“ markės automobilį, todėl po susidūrimo su kelio atitvaru, „VW“ pasisuka ir nurieda į šalikelę, neužkliudęs automotrisės. Mercedes-Benz automobilis patiria tokius pačius susidūrimus, kaip ir „BMW“ automobilis. Šių dviejų automobilių trajektorijos skiriasi savo ilgiu. „Mercedes – Benz“ po susidūrimo juda 2 m toliau nei „BMW“ automobilis, kurio trajektorijos ilgis yra 30 m. „VW“ po susidūrimo juda gerokai trumpesnę atstumą – 10 m. Kaip keičiasi automobilių judėjimo kryptis po susidūrimo, pavaizduota 3.4.2 paveiksle esančiame grafike.



3.4.2 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo ketvirtoje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

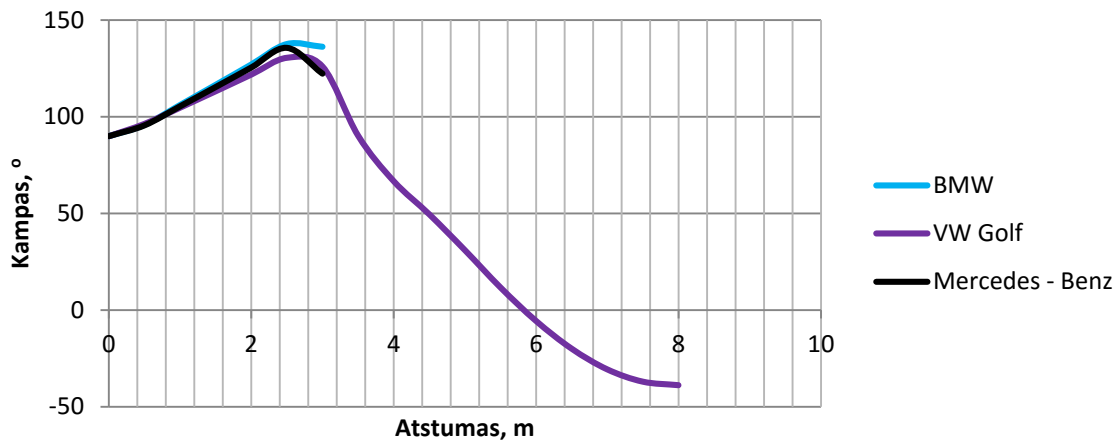
Iš pateikto grafiko (3.4.2 pav.) matyti, jog visi automobiliai susidūrė su automotrise, po smūgio pradeda sukis prieš laikrodžio rodyklės kryptį. „BMW“ automobilis po susidūrimo tris sykius apsisuka  $180^\circ$  laipsnių kampu. Pirmasis toks apsisukimas įvyksta už 6 m nuo susidūrimo vietos, tai yra, kai automobilis jau nulekia į šalikelę. Sekantis apsisukimas įvyksta už 16 m, o paskutinis už 29 m nuo susidūrimo vietos. Iš viso po susidūrimo „BMW“ apsisuka  $567^\circ$  laipsnių kampu arba 1,5 karto apsisuka  $360^\circ$  laipsnių kampu. „VW“ po susidūrimo pasisuka kur kas mažesniu kampu. Tai aiškiai matoma iš automobilio kreivės kitimo (3.4.2 pav.). Iš viso, šis automobilis pasisuka  $111^\circ$  laipsnių kampu, o tai yra 0,3 apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu. „Mercedes – Benz“ po susidūrimo apsisuka tiek pat kartų, kaip ir „BMW“ automobilis. Pirmasis „Mercedes – Benz“ apsisukimas  $180^\circ$  laipsnių kampu įvyksta už 7 m nuo susidūrimo vietos, o antrasis už 11 m nuo pirmojo apsisukimo vietos. Paskutinis toks apsisukimas įvyksta už 31 m nuo susidūrimo vietos. Gaunama, jog „Mercedes – Benz“ kiekvieną kartą apsisukdavo pora metrų toliau nei „BMW“. Iš viso po susidūrimo „Mercedes – Benz“ apsisuko  $591^\circ$  laipsnio kampu arba 1,6 apsisukimo  $360^\circ$  laipsnių kampu.

Susidūrimų schemas, kai automobilių greitis yra 60 km/h, o automotrisės greitis yra 70 ir 60 km/h, pateiktos 1 priede. Šių susidūrimų metu, automobilių trajektorijos, gaunamos labai panašios į prieš tai apžvelgtas, kai susidūrimas įvyksta, ketvirtoje zonoje. Jose automobiliai po susidūrimo su automotrise taip pat atsitrenkia į apsauginį kelio atitvarą. Tačiau dėl mažesnio automotrisės greičio automobiliai po susidūrimo įgauna mažesnę energiją, todėl atsidūrę šalikelėje juda trumpesnę atstumą. Taip pat automobiliai pastebimai mažiau pasisuka po susidūrimo. „BMW“ automobilio trajektorija po auto įvykio sutrumpėja iki 15 m, kai automotrisės greitis 70 km/h ir iki 10 m, kai automotrisė juda 60 km/h greičiu. „VW“ automobilio trajektorijos po susidūrimo taip pat patrumpėja. Kai automotrisės greitis yra 70 km/h, automobilio judėjimo kelias po susidūrimo siekia tiek pat, kaip ir „BMW“ automobilio, o kai automotrisė važiuoja 60 km/h, tai „VW“ po susidūrimo pervažioje juda, tik 3 m iki apsauginio kelio barjero į kurį atsitrenkęs, sustoja. „Mercedes – Benz“ trajektorijos taip pat panašaus ilgio. Automotrisei judant 70 km/h, šis automobilis po susidūrimo sustoja 1 m arčiau susidūrimo vietos nei kiti du automobiliai. Kai automotrisės ir Mercedes-Benz greičiai yra vienodi, pastarasis po susidūrimo juda 7 m, kol sustoja. Tai 3 m mažiau nei „BMW“ ir 4 m daugiau nei „VW“.



3.4.3 pav. Susidūrimų schemas, ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 100 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“

Automotrisės greičiui nesikeičiant, o automobilių padidėjus iki 100 km/h, gautos susidūrimų schemas, pavaizduotos 3.4.3 pav. Šios schemas artimos tomis, kai automobilio greitis buvo 40 km/h mažesnis. Pagrindinis skirtumas yra toks, jog automobiliai po susidūrimo nenuvažiuoja į šalikelės lauką. Dėl didelio greičio susidūrimo metu jų galas yra pasukamas automotrisės, tačiau smūgis automobilių visiškai nesustabdo ir dėl turimos inercijos jie juda toliau. Tačiau automobilių judėjimas nėra tiesus. Dėl susidūrimo metu pasukto galo, automobilis juda skersai, kol atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą. „BMW“ ir „Mercedes – Benz“, atsitrenkę į barjerą, sustoja už 1 m nuo jo. Tačiau „VW“ po smūgio dar juda toliau, kol priekine dalimi atsitrenkia į kitoje kelio pusėje esantį kelio atitvarą. Taip yra todėl, jog šis automobilis yra trumpiausias iš visų trijų automobilių, dėl to kelio barjerą jis kliudo ne galiniu sparnu, šalia galinės ašies rato, o galiniu bamperiu. Dėl šios priežasties „VW“ praranda mažiau energijos, susidūręs su kelio barjeru, todėl dar gali judėti toliau. Kaip keitėsi automobilių judėjimo kampas po susidūrimų, pavaizduota 3.4.4 paveiksle esančiame grafike.



3.4.4 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo ketvirtoje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 100 km/h

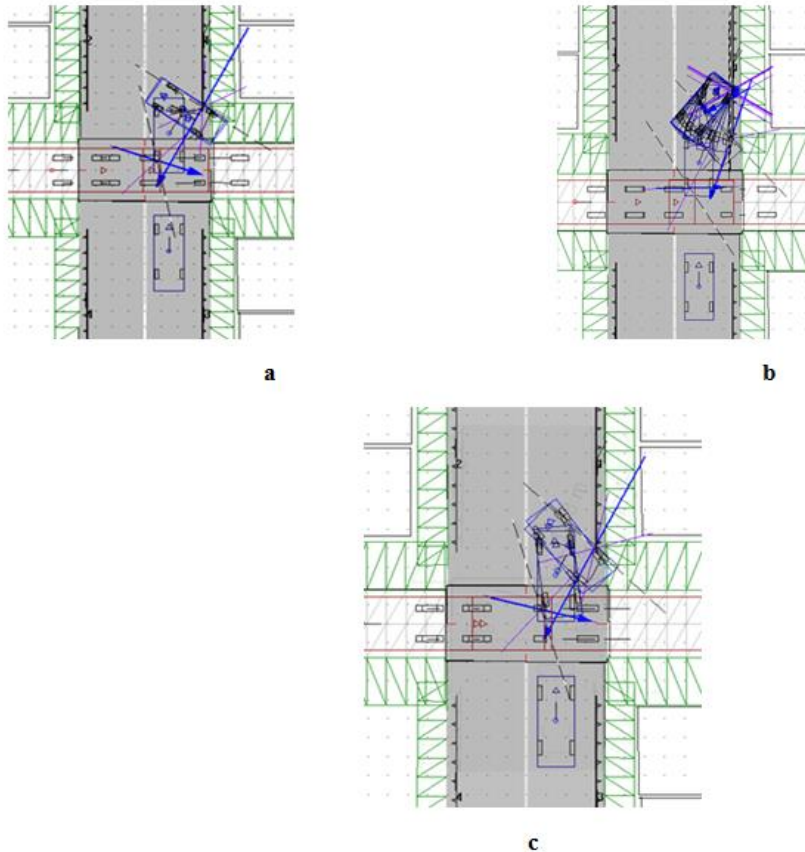
Kreivės, esančios grafike (3.4.4 pav.) parodo, jog po susidūrimo automobiliai pasisuka mažesniais kampais. „BMW“ ir „Mercedes – Benz“ pasisuka, atitinkamai,  $46^\circ$  ir  $40^\circ$  laipsnių kampais. Tuo tarpu „VW“ po susidūrimo pasisuka  $128^\circ$  laipsnių kampu. Visais atvejais, automotrisė po susidūrimo nepakeitė savo krypties kampo. Jei automobilių tolimesnio judėjimo nebūtų stabdę apsauginiai kelio atitvarai, grafikuose matytume kiek kitokias automobilių kreives.

Susidūrimo schemas ir judėjimo krypties grafikai, kai susidūrimai įvyksta su likusiais automotrisės greičiais, pateikti 1 priede. Šios schemas labai artimos prieš tai apžvelgtoms, kai susiduriama ketvirtoje zonoje, automobiliams judant 100 km/h greičiu. Iš grafikuose esančių kreivių pastebima, jog automobiliai, sumažėjus automotrisės greičiui, pasisuka didesniu kampu. Pavyzdžiui, automotrisės greičiui esant 70 km/h, „BMW“ ir „Mercedes – Benz“ automobiliai po susidūrimo iš viso pasisuka, atitinkamai,  $80^\circ$  ir  $89^\circ$  laipsnių kampu (žiūrėti 1 priedą). Apsauginiams kelio barjerams apribojus automobilių judėjimą po susidūrimo, gaunamos trajektorijos yra labai panašios.

### 3.5 Automotrisės smūgis į automobilio šono galinę dalį

Įvykus transporto priemonių susidūrimui, penktoje zonoje, gaunamos automobilio judėjimo trajektorijos po susidūrimo yra šiek tiek panašios į gautas, kai susidūrimas įvyksta, ketvirtoje zonoje. Susidūrimo schemas, penktoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilio – 60 km/h, pateiktos 3.5.1 paveiksle.

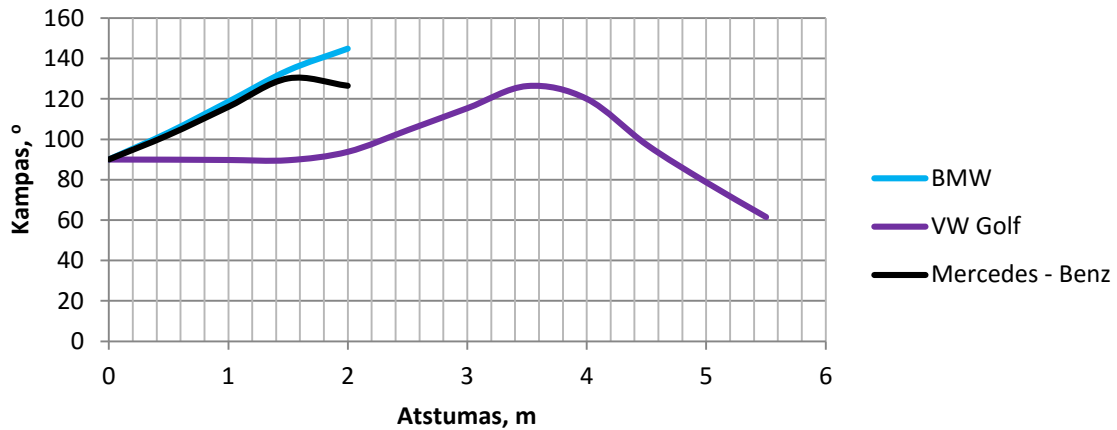




3.5.1 pav. Susidūrimų, penktoje zonoje, schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 60 km/h

a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“

Pateiktose schemose matyti, jog visi trys automobiliai po susidūrimo su automotrise atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą. Priešingai nei susidūrus, ketvirtame taške, kai transporto priemonės juda tokiu pačiu greičiu, kaip ir šiuo atveju, automobiliai po susidūrimo, atsitrenkę į apsauginį kelio barjerą, toliau nebejuda. Kadangi šiuo atveju susidūrimas su automotrise įvyksta galinėje automobilio dalyje, tai šis į apsauginį kelio barjerą atsitrenkia su galinės ašies ratu. Dėl šios priežasties automobilis nenurieda į šalikelės lauką, kaip tai buvo pastebima susidūrus ketvirtoje zonoje. Tik „VW“ automobilis kelio atitvarą kliudo ne ratu, o galiniu bamperiu, todėl po smūgio automobilis pasisuka į kitą pusę ir priekine dalimi atsitrenkia į tą patį kelio atitvarą. Šiuo atveju „BMW“ ir „Mercedes – Benz“ trajektorijos yra labai panašios. „Mercedes – Benz“ po susidūrimo su kelio barjeru dar šiek tiek pasisuka. Kaip keičiasi automobilių judėjimo kryptis po susidūrimo, pavaizduota 3.5.2 paveiksle esančiame grafike.



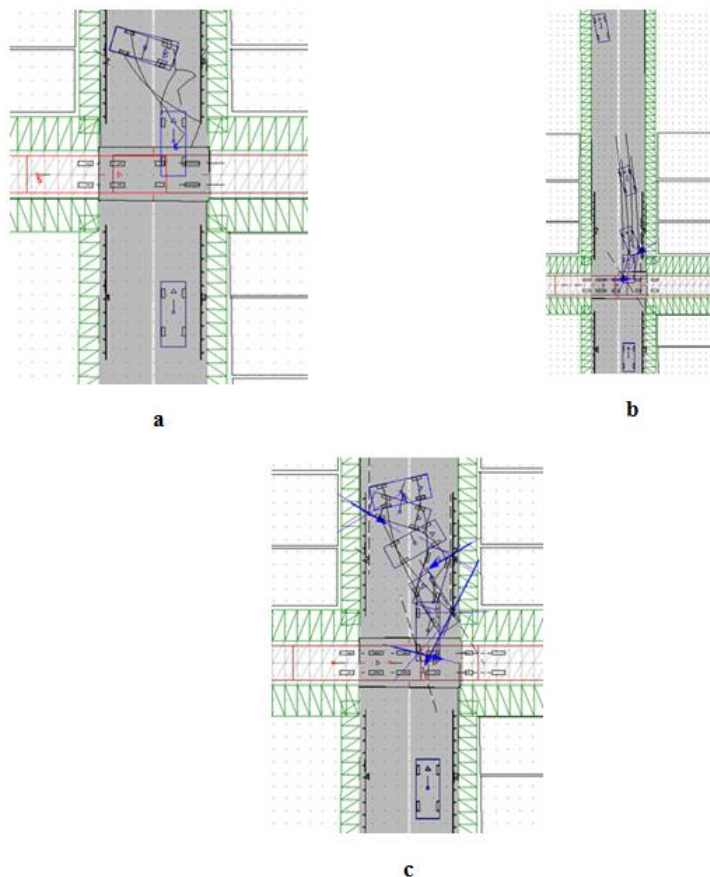
3.5.2 pav. Judėjimo krypties, po susidūrimo penktoje zonoje, kitimo grafikas, kai automobilių greitis yra 60 km/h

Automobilių kreivės, esančios grafike (3.5.2 pav.), labai greitai nutrūksta įvykus susidūrimui. Tai parodo, jog automobiliai pasisuko nedideliu kampu. Tik „VW“ automobilio kreivė šiek tiek skiriasi. „BMW“ ir „Mercedes – Benz“ pasisuko apie savo vertikalią ašį, atitinkamai,  $48^\circ$  ir  $39^\circ$  laipsnių kampais. Tuo tarpus „VW“ po susidūrimo  $32^\circ$  laipsnius pasisuka prieš laikrodžio rodyklę, vėliau patyręs smūgį į apsauginį kelio atitvarą pradeda suktis į priešingą pusę. Pagal laikrodžio rodyklės kryptį, apie savo vertikalią ašį, automobilis „VW“, pasisuka  $57^\circ$  laipsnius. Iš viso šis automobilis po susidūrimo pervažoje iki sustojimo, pasisuko  $89^\circ$  laipsnių kampu.

Automobilių ir automotrisės susidūrimų schemas ir krypties kitimo grafikai, kai automobilių greitis yra 60 km/h, o automotrisės greitis yra 70 ir 60 km/h, pateikti 1 priede. Šių susidūrimų metu automobilių trajektorijos gaunamos labai panašios į prieš tai apžvelgtas, kai susidūrimas įvyksta penktoje zonoje. Schemose matyti, jog po susidūrimo su automotrise, automobiliai atsitrenkia galine dalimi į apsauginį kelio barjerą ir sustoja. Šiuo atveju dėl mažesnio automotrisės greičio trajektorijos beveik nekinta, tik „VW“ judėjimo kryptis kinta  $20^\circ$  laipsnių ribose. Tai, jog trajektorijos po susidūrimo išlieka panašios, nulemia, apsauginis kelio barjeras, kuris sustabdo automobilius.

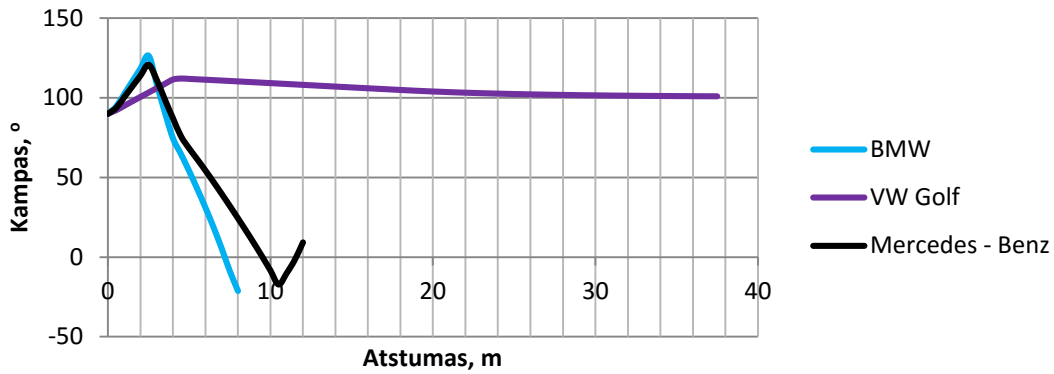
Automobilių greičiui padidėjus iki 100 km/h, o automotrisės greičiui išlikus 80 km/h, gaunamos trajektorijos po susidūrimo, pavaizduotos 3.5.3 paveiksle.





3.5.3 pav. Susidūrimų penktoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 100 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“

Pateiktose schemose matyti, jog visi trys automobiliai po susidūrimo su automotrise atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą. Tačiau tolimesnis automobilių judėjimas skiriasi. „BMW“ automobilis dėl didelio savo greičio įgyja daug kinetinės energijos, kurios net ir susidūrus su automotrise bei atsitrenkus į apsauginį kelio barjerą užtenka judėti toliau, kol priekine dalimi automobilis kliudo kitoje kelio pusėje esantį atitvarą ir sustoja (3.5.3 a pav.). Iš viso „BMW“ nuo susidūrimo iki sustojimo vietos juda 7 m. „VW“ po susidūrimo juda kur kas toliau. Su galiniu bamperiu atsitrenkęs į apsauginį kelio barjerą, automobilis pasisuka į priešingą pusę ir juda toliau (3.5.3 b pav.). Nuo susidūrimo iki sustojimo vietos „VW“ automobilis juda 35 m. Taip yra todėl, jog susidūręs su kelio atitvaru, automobilis, praranda per mažai kinetinės energijos. „Mercedes – Benz“ po susidūrimo su automotrise, galine dalimi kliudo kelio barjerą, tačiau dėl didelės turimos energijos nuo jo atšoka ir apsisuka į priešingą pusę (3.5.3 c pav.). Automobilis slysta šonu, kol sustoja už 12 m nuo susidūrimo vietos. Kaip keičiasi automobilių judėjimo kryptis po susidūrimo, pavaizduota 3.5.4 paveiksle esančiame grafike.



3.5.4 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus penktoje zonoje, kai automotrisės greitis 80 km/h, o automobilių 100 km/h

Visos automobilių kreivės, esančios grafike (3.5.4 pav.), po susidūrimo pradeda kilti į viršų, nes automobilis pradeda sukis prieš laikrodžio rodyklės kryptį. „BMW“ automobilio kreivė ties 3 m atstumo riba pradeda leisti žemyn. Taip yra todėl, jog automobilis atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą ir pradeda sukis į priešingą pusę. Iš viso automobilis apie savo vertikalią ašį apsisuka 120° laipsnių. „VW“ automobilio kreivė skiriasi nuo „BMW“ kreivės. Nors šis automobilis taip pat pradeda sukis į priešingą pusę, kai kliudo kelio atitvarą, tačiau pasisukimas vyksta kur kas mažesniu kampų. Automobilio kryptis po susidūrimo su kelio barjeru pasikeičia nuo 111° iki 100° laipsnių. „Mercedes – Benz“ kreivė panaši į „BMW“ automobilio kreivę. Tačiau „Mercedes – Benz“ automobilis prieš sustodamas dar pasisuka į priešingą pusę, dėl ko kreivėje matomas pakilimas prieš sustojimą. Šiuo atveju automobilis iš viso pasisuka apie savo vertikalią ašį 129° laipsnių.

Trajektorijų schemas po susidūrimų ir judėjimo krypties grafikai, kai susidūrimai įvyksta su kitais dviem automotrisės greičiais yra 1 priede. Šios schemas labai artimos prieš tai apžvelgtoms, kai susiduriama penktoje zonoje automobiliams judant 100 km/h greičiu. Tačiau mažėjant automotrisės greičiui pastebimas automobilių trajektorijų pailgėjimas. „BMW“ automobilis susidūręs su 70 km/h greičiu važiuojančia automotrise, po susidūrimo juda 24 m, o kai automotrisės greitis sumažėja 10 km/h, automobilio judėjimo kelias po susidūrimo sutrumpėja iki 14 m. Taip yra todėl, jog automobilis šiuo atveju po susidūrimo praranda mažiau energijos, todėl nuo apsauginio kelio barjero atšoka kitu kampu. Dėl šios priežasties vėliau priekine dalimi kliudo kitoje kelio pusėje esantį barjerą (žiūrėti 1 priedą). Po šio susidūrimo „BMW“ automobilis sustoja. „VW“ susidūręs su automotrise, važiuojančia 70 km/h greičiu, po susidūrimo juda 34 m. Automobilio kelias po susidūrimo su automotrise, kai ši važiuoja 60 km/h greičiu, pailgėja 2 m. „Mercedes – Benz“ trajektorijos taip pat pailgėja. Kai susiduriama su automotrise važiuojančia 70 km/h greičiu, automobilis sustoja už 51 m nuo susidūrimo vietos. Automotrisei greitį sumažinus 10 km/h, automobilis sustoja už 29 m nuo susidūrimo vietos. Kaip ir „BMW“ automobilio atveju, „Mercedes – Benz“ nuo barjero atšoka kitu kampu, dėl ko keičiasi jo trajektorija, automobilis daugiau sukasi bei kliudo priekine dalimi kelio atitvarą. Todėl automobilis sustoja arčiau susidūrimo vietos.

## 4. Gautų rezultatų patikrinimas

Su programa „PC – Crash 8.1“ gauti rezultatai, patikrinami analitiškai. Tai yra įvertinama ar gautos automobilio judėjimo po susidūrimo trajektorijos yra teisingos. Šiam tikslui įgyvendinti bus bandoma nustatyti automobilio greitį prieš ir po susidūrimo su automotrise. Greičiai bus randami įvertinant automobilių mases ir jų judėjimo kelią po susidūrimo. Jei apskaičiuotas greitis iki susidūrimo yra toks pat, koks buvo užduotas programoje ir jei greitis po susidūrimo, apskaičiuavus analitiškai yra lygus, ar artimas, gautam programos, priimama, jog gautos susidūrimo trajektorijos yra teisingos.

Kadangi visais atvejais žinomas susidūrimo kampas ir automobilio judėjimo kelias po susidūrimo, tai galima taikyti judesio kiekio ir energijos tvermės dėsnius, tiriant susidūrimą analitiškai. Šis metodas dažnai naudojamas siekiant nustatyti transporto priemonės judėjimo parametrus prieš ir po susidūrimo. Žinoma, jog įvykus susidūrimui, jame dalyvaujančios jėgos labai greitai didėja nuo nulio iki maksimumo ir atvirkščiai, mažėja nuo maksimumo iki nulio labai greitai. Todėl šias jėgas galime vadinti momentinėmis, nes smūgio metu jos neišlieka vienodos. Taigi atsižvelgdami į visa tai galime nustatyti jėgos impulso dydį, tai yra sandauga tarp jėgos ir jos veikimo laiko. Esant mažam laiko dydžiui, momentinės jėgos impulsas vadinamas smūgio impulsu, o tai vektorinis dydis [18]. Verta paminėti, jog pirminio kontakto taškas gali ne visada sutapti su smūgio jėgų impulsų atstojamąja. Šios jėgos gali pasireikšti įvairiuose kontaktų taškuose, taip pat jos gali skirtis savo dydžiu ir kryptimi. Tačiau dažniausiai per trumpą laiką jėgų impulsai pasireiškia, kaip viena atstojamoji, o jos vektorius vadinamas susidūrimo linija [18]. Iš teorinės mechanikos žinome, jog apibrėžtos sistemos judesio kiekis yra pastovus savo dydžiu ir kryptimi, su sąlyga, kad išorinis atstojamųjų jėgų vektorius, kuris veikia šią sistemą, lygus nuliui. Todėl susidūrus transporto priemonėms, jas veikiančios išorinės jėgos yra nežymios, lyginant su transporto priemonių sąveikos jėgomis. Dėl šios priežasties galime atmesti išorines jėgas ir be didelės paklaidos techniniu požiūriu teigti, kad dviejų automobilių judesio kiekio atstojamosios vektorius iki susidūrimo ir po jo pagal dydį ir kryptį iš esmės nekinta [18], tai yra:

$$\overline{m_1 v_1} + \overline{m_2 v_2} = \overline{m_1 v_1'} + \overline{m_2 v_2'} = const \quad (4.1)$$

čia:

$m_1$  ir  $m_2$  – susiduriančių transporto priemonių masės, kg;

$v_1$  ir  $v_2$  – susiduriančių transporto priemonių greičiai iki susidūrimo, km/h;

$v_1'$  ir  $v_2'$  – transporto priemonių greičiai po susidūrimo, km/h.

Šia lygtimi (4.1) dažniausiai yra remiamasi tiriant transporto priemonių susidūrimus. Jei visus judesio kiekio vektorius suprojektuosime į ašis, statmenas kiekvienai iš transporto priemonių judėjimo kryptims iki susidūrimo, tai lygtys, išreiškiančios ryšį tarp susidūrimo parametrų, atrodys taip [18]:

$$\overline{m_1 v_1} \sin \alpha' = \overline{m_1 v_1'} \sin(\alpha' - \delta_1) - \overline{m_2 v_2'} \sin \delta_2; \quad (4.2)$$

$$\overline{m_2 v_2} \sin \alpha' = \overline{m_1 v_1'} \sin \delta_1 + \overline{m_2 v_2'} \sin(\alpha' + \delta_2); \quad (4.3)$$

čia:

$\alpha'$  – susidūrimo kampas, °;

$\delta_{1,2}$  – atitranspos po susidūrimo kampai, °.

Projektuojant judesio kiekio vektorius į  $x$  ašį naudojama (4.2) lygtis, o (4.3) lygtis naudojama projektuojant į  $y$  ašį.

Automobilio greičio nustatymas pagal jo judėjimo trajektoriją po susidūrimo yra atliekamas pagal šią formulę [18]:

$$v_k = \sqrt{254 \cdot \mu \cdot S}; \quad (4.4)$$

čia:

$v_k$  – automobilio greitis, apskaičiuotas pagal slydimo kelią, km/h;

$\mu$  – sukibimo koeficientas;

$S$  – automobilio nuvažiuotas kelias po susidūrimo, m.

Automobilio greitis, ekvivalentiškas energijai po susidūrimo yra apskaičiuojamas įvertinant pasipriešinimo sukimuisi momentą. Šie parametrai apskaičiuojami pagal sekančias formules [18]:

$$v_e = \sqrt{\frac{2E}{m}}; \quad (4.5)$$

$$E = M \cdot \Delta; \quad (4.6)$$

$$M = m \cdot S_c \cdot g \cdot \mu; \quad (4.7)$$

čia:

$M$  – automobilio pasipriešinimo šoniniam poslinkiui apie priekinę ašį momentas, Nm;

$m$  – automobilio masė, kg;

$S_c$  – atstumas nuo automobilio priekinės ašies iki svorio centro, m;

$g$  – laisvojo kritimo pagreitis, m/s;

$E$  – energija, sunaudota pasisukant, J;

$\Delta$  – pasisukimo kampas, rad;

$v_e$  – greitis, ekvivalentiškas energijai, km/h.

Įvertinus automobilio greitį apskaičiuotą pagal (4.4) ir (4.5) formules, randamas bendras automobilio greitis po susidūrimo [18]:

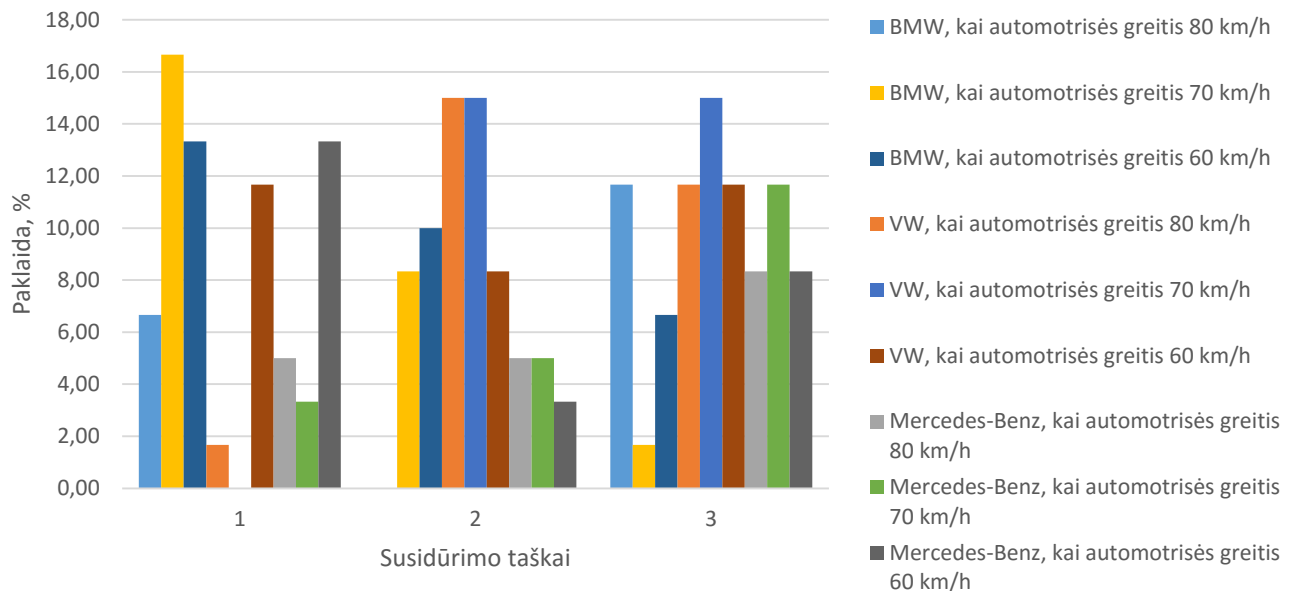
$$v' = \sqrt{(v_k)^2 + (v_e)^2}; \quad (6.8)$$

Žinant automobilio greitį po susidūrimo, kampą, kuriuo susidūrė transporto priemonės ir atatrunkos kryptis, galima apskaičiuoti susidūrimo dalyvavusių transporto priemonių greičius prieš susidūrimą. Tai galima padaryti pertvarkius 4.2 ir 4.3 formules [18]:

$$v_1 = v_1' \frac{\sin(\alpha' - \delta_1)}{\sin \alpha'} - \frac{m_2}{m_1} v_2' \frac{\sin \delta_2}{\sin \alpha'}; \quad (4.9)$$

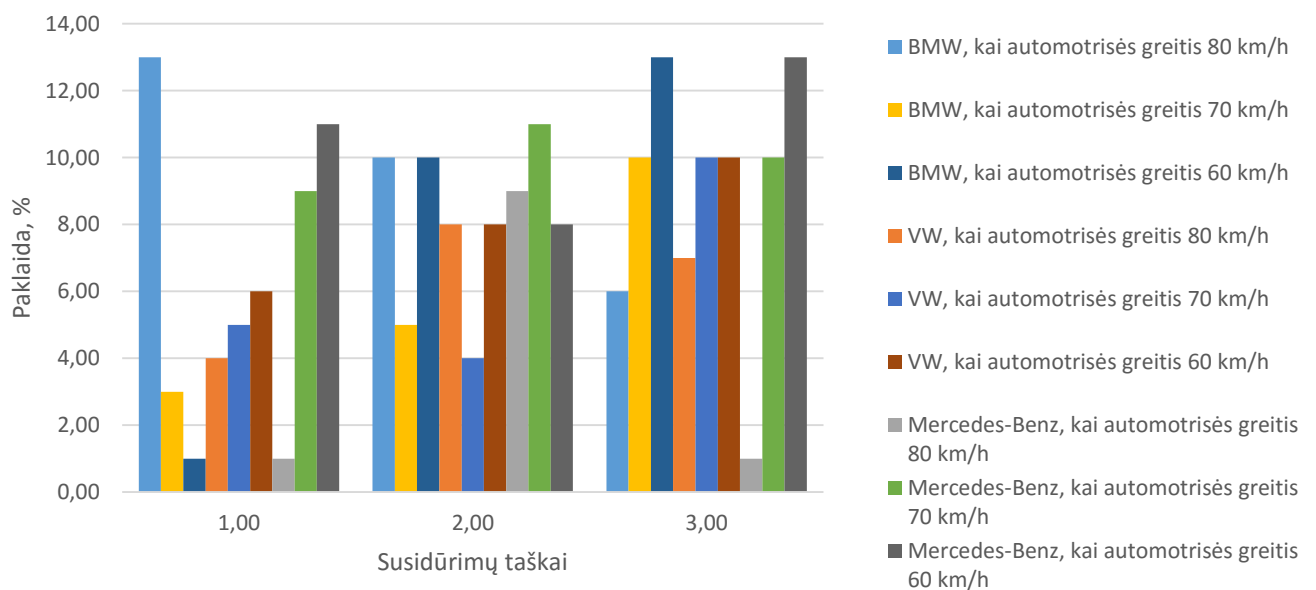
$$v_2 = v_1' \frac{m_1 \sin \delta_1}{m_2 \sin \alpha'} + v_2' \frac{\sin(\alpha' + \delta_2)}{\sin \alpha'}; \quad (4.10)$$

Siekiant pagreitinti skaičiavimus, kad visų 90 atvejų nereikėtų skaičiuoti su skaičiuotuvu, buvo sudarytas skaičiavimo algoritmas programoje „Matlab“. Šios programos tekstas ir gauti rezultatai, pateikiami 2 priede.



4.1 pav. Rezultatų skirtumas tarp programų, kai automobilių judėjimo greitis yra 60 km/h

Įvertinus skaičiavimo rezultatus, gautus su „Matlab“ programa, gaunama, kad automobilio greitis iki susidūrimo skiriasi nuo užduoto programoje „PC –Crash 8.1“ ir apskaičiuoto, taikant judesio kiekio ir energijos tvermės dėsnius. Iš 4.1 paveiksle, pateikto grafiko, matyti, jog didžiausias skirtumas siekia 16 %, tačiau yra ir tokių atvejų, kai rezultatai visiškai sutampa. „BMW“ automobilio atveju didžiausi greičio skirtumai, tarp apskaičiuoto pagal gautą trajektoriją ir naudoto programoje „PC – Crash 8.1“ yra tada, kai automotrisė juda 70 ir 60 km/h greičiu, ir susidūrimas įvyksta pirmoje zonoje. „VW“ automobilio atveju tokie didžiausi skirtumai gaunami, kai automotrisė juda 80 ir 70 km/h ir susidūrimas įvyksta antroje ir trečioje zonose. „Mercedes – Benz“ atveju gaunamas didžiausias skirtumas tarp rezultatų tada, kai automotrisė juda 60 km/h greičiu ir susidūrimas įvyksta pirmoje zonoje.

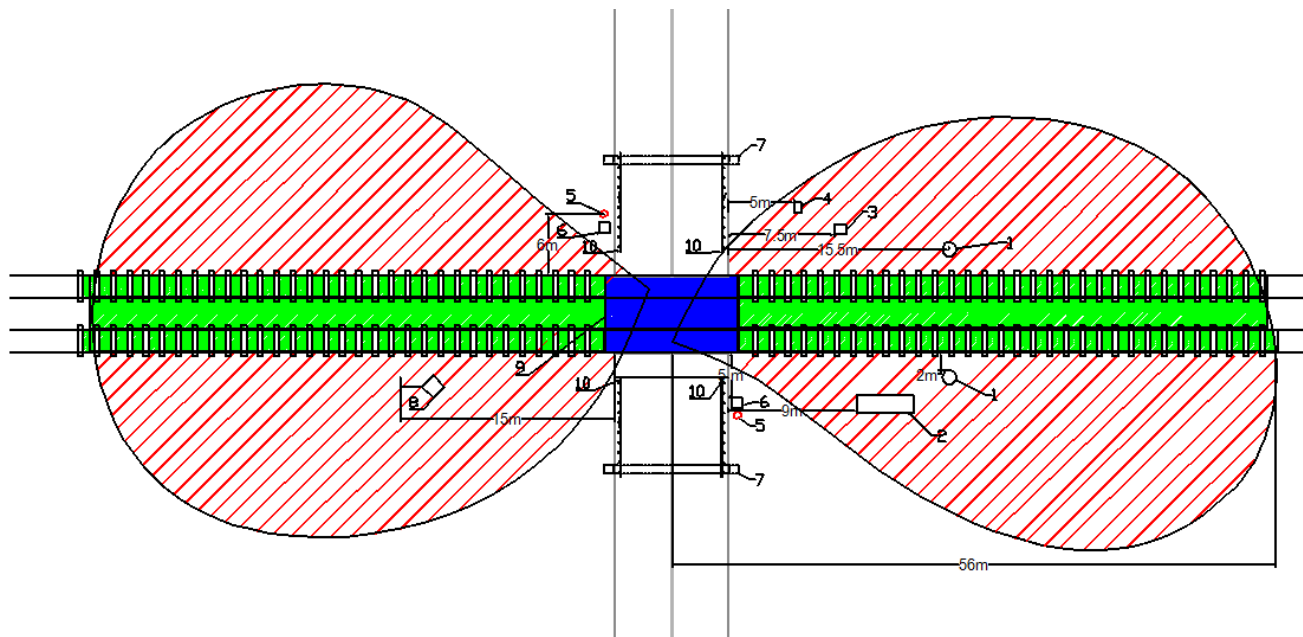


4.2 pav. Rezultatų skirtumas tarp programų, kai automobilių judėjimo greitis yra 100 km/h

Automobilių greičiui padidėjus iki 100 km/h prieš susidūrimą, gaunami rezultatų skirtumai tarp programų siekia iki 13 % (4.2 pav.). Tai mažiau (3 %) nei lyginant su atvejais, kai automobiliai iki susidūrimo važiuodavo 60 km/h greičiu. „BMW“ automobilio didžiausi skirtumai tarp programų rezultatų yra tais atvejais, kai automotrisės greitis yra 80 ir 60 km/h, o susidūrimai įvyksta atitinkamai pirmoje ir trečioje zonoje. „VW“ automobilio atveju didžiausi rezultatų skirtumai gaunami, kai automotrisės greitis yra 70 ir 60 km/h ir susidūrimai įvyksta trečioje zonoje. „Mercedes – Benz“ atveju gaunamas didžiausias rezultatų skirtumas yra tada, kai automotrisės greitis yra 70 ir 60 km/h, o susidūrimai įvyksta antroje zonoje su pirmu greičiu (70 km/h), ir pirmoje bei trečioje zonoje su antruoju greičiu (60 km/h).

## 5. Pavojingų pervažos zonų nustatymas

Gautas trajektorijas, pritaikius pilnai įrengtoms pervažoms, matyti, kokie infrastruktūros elementai yra pavojingoje zonoje. 5.1 paveiksle, pavaizduota Kauno rajone esanti geležinkelio pervaža su pažymėtais infrastruktūros elementais ir zonomis, kur po susidūrimo su automotrise, gali nulėkti automobilis.



5.1 pav. Neveronių pervažos schema su pažymėtais infrastuktūros elementais ir galimomis automobilio judėjimo vietovėmis. 1 – kontaktinio tinklo stulpas; 2 – pervažos signalizacija; 3, 4 – elektros tinklo dėžutė; 5 – šviesoforas; 6 – pakeliamas kelio užtvaras; 7 – gabaritų vartai; 8 – ativeriamasis šviesoforas; 9 – pervažos dangą; 10 – kelio atitvarai.

Iš pateiktos pervažos schemos matyti, jog dauguma infrastruktūros elementų patenka į pavojingas zonas. Ši zona yra pažymėta raudonomis linijomis. „Saugūs“ pervažos elementai yra tie, kurie pastatyti šalia apsauginio kelio atitvaro. Tai šviesoforas su kelio užtvaru ir gabarito vartai. Tačiau panagrinėjus kitą pervažą, esančią Marijampolės mieste (5.2 pav.), matyti, jog pervažos šviesoforas ir signalinės įrangos pastotės yra labai arti geležinkelio ir pervažos, todėl avarijos atveju, šie elementai, patenka į pavojingą zoną.





5.2 pav. Marijampolės mieste esanti pervažė

Taip pat į pavojingą zoną patenka geležinkelio šviesoforas, matomas dešinėje nuotraukos pusėje (5.2 pav.) ir kitoje kelio pusėje esantys infrastruktūros elementai, kurių nuotraukoje nesimato. Šioje pervažoje į pavojingą zoną taip pat patenka ir pėstiesiems skirtas takas. Dėl šios priežasties pervažoje avarijos atveju, pavojus kyla ne tik infrastruktūros elementams, bet ir pėstiesiems, kurie bando pereiti per geležinkelio bėgius. Įvertinus tai, jog pro šią pervažą eina „Rail Baltica“ geležinkelio linija, dėl jos nesaugios konstrukcijos, traukinių greitis turi būti stipriai ribojimas. Tačiau net ir esant nedideliam traukinio greičiui, automobilis gali judėti pakankamai greitai (60 km/h ir daugiau), tad avarijos atveju automobilis gali nulėkti iki 15 – 20 m nuo susidūrimo vietos. Kaip matyti iš pateiktos nuotraukos, dauguma šios pervažos infrastruktūros elementų yra išsidėstę šiuo atstumu aplink pervažą.



5.3 pav. „Rail Baltica“ linijoje esanti pervažė

Kitoje, Marijampolės rajone, esančioje pervažoje (5.3 pav.) į pavojingą zoną patenka ne tik pervažos signalinės įrangos pastotės, bet ir šalia bėgių esantis geležinkelio namukas, bei pervažos apšvietimo stulpai. Tačiau šioje pervažoje, „stop“ ženklas ir pervažos šviesoforas, nepatenka į

pavojingą zoną, nes jie yra išdėstyti už apsauginio kelio atitvaro. Tačiau kiti pervažos infrastruktūros elementai yra neapsaugoti ir patenka į pavojingą zoną.



5.4 pav. Vilniaus rajone esanti avaringa pervaža

Vilniaus rajone esančioje pervažoje (5.4 pav.) į pavojingą zoną patenka pervažos signalinės įrangos pastotės, elektros linijos stulpai, geležinkelio šviesoforas. Šioje pervažoje, kaip ir Kauno rajone, Neveronyse, esančioje pervažoje į pavojingą zoną patenka tie patys geležinkelio infrastruktūros elementai. Skirtingose šalies vietose esančios pervažos, pasižymi tokiais pačiais trūkumais, kalbant apie infrastruktūros elementų saugumą.

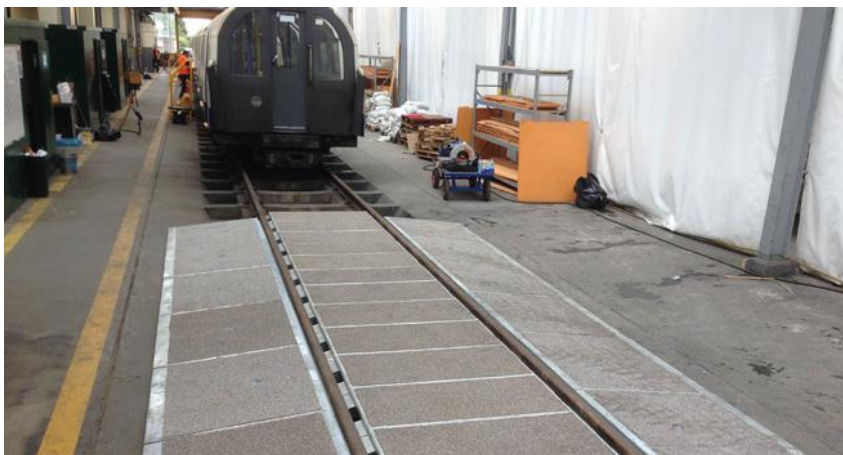
### 5.1 Pasiūlymai pervažų rekonstrukcijai

Taigi, siekiant labiau apsaugoti infrastruktūros elementus šalia pervažų, siūloma atlikti šiuos pervažų konstrukcijos pakeitimus:

1. Lygiagrečiai bėgių kelio įrengti apsauginius barjerus;
2. Pervažos dangą pratęsti bėgių keliu tolyn;
3. Elektrifikuotose geležinkelio linijose, šalia pervažų esančius kontaktinio tinklo stulpus pakeisti gembine konstrukcija.

Įrengiamų apsauginių barjerų ilgis priklausytų nuo to, kokių ilgiu infrastruktūros elementai yra išdėstyti šalia bėgių kelio. Tačiau apsauginio barjero ilgis neturėtų būti ilgesnis už ilgiausią gautą trajektoriją (65 m). Atitvarai nuo bėgių kelio, turi būti įrengiami tokiu atstumu, kad visus infrastruktūros elementus apsaugotų ir paliktų laisvos vietos, nulėkti automobiliui į šalikelę, avarijos atveju. Priimtinas atstumas būtų 3 – 5 metrai nuo bėgių kelio. Prailginant geležinkelių pervažų dangas, kelias ir bėgių galvutė būtų viename lygyje ilgesnį atstumą. Tai leistų automobiliui „neužstrigti“ tarp bėgių avarijos atveju. Dangas, kurios būtų klojamos tarp bėgių, galima rinktis iš keleto variantų.

Vienas iš jų, naudoti gumines plokštes pervažų dangoms. Šios plokštės suteiktų aukštą sukibimo koeficientą tarp automobilio padangų ir geležinkelio dangos. Tačiau tokios plokštės po avarijos, gali būti labai apgadintos. Kitas variantas, būtų, įrengti geležinkelio dangas naudojant grindinio plyteles, kurios yra naudojamos šaligatvių tiesimui. Šio varianto minusas yra daug laiko ir kaštų reikalaujantis įrengimas. Trečias variantas, panaudoti gelžbetonines perdangos plokštes. Jų įrengimas nesudėtingas ir avarijos metu automobilio ratams būtų suteikiamas pakankamas sukibimo koeficientas su danga. Bėgių šonuose esanti danga turėtų būti nuožulni, kaip parodyta 5.5 paveiksle. Tai leistų automobiliui dar greičiau pasišalinti nuo bėgių kelio avarijos atveju.



5.5 pav. Specialios formos geležinkelio danga [16]

Elektrifikuotose geležinkelio linijose, kontaktinio tinklo stulpai, kurie yra šalia pervažos ir patenka į anksčiau nustatytas pavojingas zonas, turėtų būti keičiami gembinėmis, gabarito vartų tipo konstrukcijomis. Tai leistų stulpus išdėstyti toliau nuo geležinkelio linijos, o laidus laikytų virš bėgių esanti gembinė konstrukcija. Šalia pervažų esantys elektrifikuotų linijų stulpai, turėtų būti už apsauginio atitvaro, kaip ir kiti infrastruktūros elementai.

## 5.2 Ekonominis pasiūlymų įvertinimas

Apsauginio kelio atitvaro kaina svyruoja nuo 50 iki 200 € už 1 metrą. Kaina skiriasi priklausomai nuo gamintojo ir naudojamų medžiagų. Apsauginiai atitvarai būna dviejų tipų: sijiniai ir parapetiniai. Sijiniai atitvarai yra metalinės konstrukcijos su metaliniais statramsčiais. Šio tipo kelio atitvarai susidūrimo metu deformuojasi ir sugeria dalį arba visą smūgio jėgą. Tuo tarpu parapetiniai atitvarai yra gaminami iš gelžbetonio, pasižymi dideliu standumu ir gali sulaikyti didelius šoninius smūgius. Tačiau šio tipo atitvarai Lietuvoje beveik nenaudojami. Tad šiuo atveju reikėtų rinktis VMM-2 arba VDMM-2 tipo atitvarus. Jie yra sijiniai ir metalinės konstrukcijos. Jų kaina įvairi, tačiau patenka į anksčiau minėtą intervalą. Žinant, kad šalia pervažos esančiam bėgių keliui gali reikėti

keturių atitvarų, kurių maksimalus ilgis yra 56 m, gaunama, jog atitvarų kaina pervažai siektų iki 13000 €. Ši suma daugeliui pervažų būtų kur kas mažesnė, nes daugumoje pervažų infrastruktūros elementai yra vienoje arba dviejose bėgių kelio pusėse, o ir jų išsidėstymo ilgis yra mažesnis nei 56 m. Todėl daugumoje atvejų, ši suma būtų per pus mažesnė. Gelžbetoninių plokščių vidutinė rinkos kaina yra apie 200 € už 10 m ilgio plokštę. Įrengiant dangas po 56 m prieš ir po pervažos, gautųsi 130 m. Padalinus reikalingą ruožo ilgį iš vienos plokštės ilgio ir gautą skaičių padauginus iš plokštės kainos, gaunama, jog vidutiniškai dangos kainuotų – 2600 €. Ši suma yra vidutinė, reikiamų plokščių kaina, be montavimo darbų išlaidų. Taigi sudėjus pervažai reikalingų atitvarų kainą su dangos plokščių kaina, gaunama, jog rekonstrukcija kainuotų apie 15600 €. Ši suma yra be įrengimo darbų. Tačiau reikia pažymėti, jog kaina gali būti ir mažesnė, priklausomai nuo pervažos tipo ir šalia jos esančių infrastruktūros elementų išsidėstymo. Jei šalia pervažos yra kontaktinio tinklo stulpai, juos keičiant gembine konstrukcija kaina išaugtų iki 21000 €.

Nors pervažos rekonstrukcija atrodo brangi, tačiau jos remontas po avarijos ir infrastruktūros elementų atstatymas kainuoja kur kas daugiau. Įvykus avarijai pervažoje, dažniausiai po jos tenka keisti bėgius, pabėgius, skaldą ir kitus infrastruktūros elementus. Vidutinė bėgių kaina už 1 metrą svyruoja nuo 500 iki 1500 €. Taigi vien bėgių keitimas gali kainuoti nuo 32500 iki 97500 €. Ši suma gaunama paskaičiavus, kad bus keičiama 56 m bėgių. Šis ilgis yra didžiausias gautas, kuriuo juda automobilis po susidūrimo su automotrise bėgių keliu. Pervažos remonto suma gali būti ir didesnė, nes papildomai gali tekti keisti pabėgius, bei infrastruktūros elementus, tokius, kaip signalizacijos pastotės, kurios gali būti apgadintos avarijos metu. Taigi gaunama, jog įvykdžius pervažos rekonstrukciją būtų sutaupoma mažiausiai 11500 € po kiekvienos avarijos.

## Darbo apibendrinimas ir rezultatų palyginimas

Magistro baigiamajame projekte atliekamas automotrisės ir automobilio susidūrimo tyrimas. Tiriamajam objektui pasirenkama „PESA 620M“ automotrisė bei trys skirtingi lengvieji automobiliai. Automobiliai tarpusavyje skiriasi savo mase bei kėbulo geometriniais parametrais. Susidūrimų tyrimai atliekami naudojant specialią programinę įrangą „PC – Crash 8.1“. Gauti šios programos rezultatai, patikrinami taikant judesio kiekio ir energijos tvermės dėsnius. Susidūrimo tyrimo modeliui yra parenkami trys skirtingi automotrisės greičiai bei du skirtingi automobilių greičiai. Tyrimas atliekamas, kai automotrisė smūgiuoja į penkias skirtingas automobilio zonas. Pirmoji zona, tai automobilio šono priekinė dalis, antroji zona – priekinės automobilio durelės, trečioji zona – automobilio vidurinė dalis, ketvirtoji zona – galinės automobilio durelės ir penktoji zona – galinė automobilio šono dalis.

Atlikus tyrimą ir įvertinus 3 skyriuje gautus rezultatus, gaunama, jog automobilis bėgių keliu po susidūrimo juda nuo 7 iki 56 m, priklausomai nuo transporto priemonių greičio iki susidūrimo ir susidūrimo zonos. Esant didesniam automobilio ir automotrisės greičiui iki susidūrimo, gaunamas automobilio judėjimo kelias po susidūrimo yra ilgesnis nei judant mažesniu greičiu. Daugumoje atvejų, gautos automobilių judėjimo trajektorijos po susidūrimo yra dvigubai ilgesnės, kai automobilis iki susidūrimo važiuoja 100 km/h nei tada, kai jo greitis iki susidūrimo yra 60 km/h. Toliausiai (82 m) nuo susidūrimo iki sustojimo vietos po susidūrimų pervažoje su automotrise juda „VW“ markės automobilis. Trumpiausią atstumą (30 m) nuo susidūrimo iki sustojimo vietos po susidūrimų juda „Mercedes – Benz“ automobilis. Tai paaiškinama dideliu automobilių masių skirtumu, kuris tarp lengviausio ir sunkiausio automobilio siekia 64 %. „VW“ automobilis šiame tyrime buvo lengviausias (1280 kg), o „Mercedes – Benz“ automobilis buvo sunkiausias (2100 kg). Ilgiausias, gautas, maksimalus atstumas nuo susidūrimo iki sustojimo vietos yra 82 m. Tokį atstumą po susidūrimo judėjo „VW“ automobilis, kai susidūrimas įvyko antrame taške ir jo greitis buvo 100 km/h, o automotrisės – 80 km/h. Gaunamas automobilių judėjimo atstumas nuo susidūrimo iki sustojimo vietos yra pastebimai ilgesnis (iki 30 %), kai susiduriama antroje ir trečioje zonoje. Trumpiausi tokie atstumai gaunami, kai susidūrimas įvyksta ketvirtoje zonoje (2,5 m). Taip nutinka todėl, jog susidūrus šiame taške, automobiliai greitai atsitrenkia į apsauginį kelio barjerą ir sustoja. Tuo tarpu susidūrus penktoje zonoje, automobiliai dažnai tik galiniu bamperiu kliudydavo apsauginį barjerą ir to nepakakdavo, kad transporto priemonė sustotų. Dėl šios priežasties, gauti automobilių judėjimo atstumai po susidūrimo yra ilgesni už gautus susidūrus, ketvirtoje zonoje, tačiau jie yra trumpesni už gautus, susidūrus, pirmuose trijuose zonoje.

## Išvados

1. Išanalizavus pervažų avaringumo statistiką, nustatyta, jog 2015 m įvyko 12 avarijų, kuriose dalyvavo geležinkelių ir kelių transporto priemonės;
2. Atlikus susidūrimų tyrimą, nustatyta, jog automobilio judėjimas bėgių keliu po susidūrimo siekia iki 56 m, kai automobilio („VW“) greitis yra 100 km/h ir susidūrimas įvyksta, kai automotrisė smūgiuoja į automobilio priekines dureles;
3. Automobiliui važiuojant 100 km/h greičiu, atstumas, kurį automobilis yra stumiamas bėgių keliu po susidūrimo yra gerokai ilgesnis (iki 35 %) už gautą tada, kai jo greitis yra 60 km/h;
4. Automotrisės greičiui sumažėjus 10 km/h, automobilis po susidūrimo bėgių keliu juda iki 12 % trumpesnį atstumą, o greičiui sumažėjus 20 km/h šis atstumas sutrumpėja iki 37 %;
5. Išanalizavus automobilio judėjimo po susidūrimo trajektorijas, pasiūlyta, koku atstumu prieš ir po pervažos, turėtų būti prailginta, pervažos danga (56 m);
6. Nustatyta, kad labiausiai pažeidžiami pervažos infrastruktūros elementai yra bėgiai bei pabėgiai, signalinės įrangos pastotės, bėgių šviesoforas, o elektrifikuotose geležinkelio linijose ir kontaktinio tinklo stulpai;
7. Apskaičiuota, jog ekonomiškai naudingiausia danga yra gelžbetoninės plokštės (kaina vienos pervažos ruožui 2600 €), o atlikus pervažų rekonstrukciją būtų sutaupoma apie 11500 € po kiekvienos avarijos;



## Literatūros sąrašas

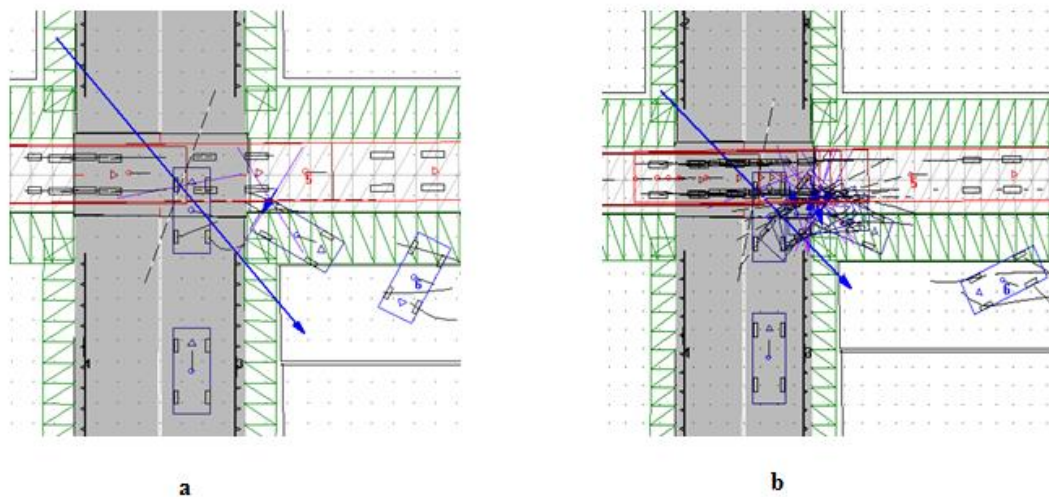
1. AB „Lietuvos Geležinkeliai“ 2015 metinė ataskaita.
2. UAB „Geležinkelių aplinkosaugos centras“. Lietuvos geležinkelių transporto sektoriaus ilgalaikės strategijos iki 2030 metų. Vilnius, 2014 m.
3. Eurostat duomenys [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway\\_safety\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway_safety_statistics)
4. Valstybinė geležinkelių inspekcija [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <https://gervis.vgi.lt/maps>
5. AB „Lietuvos Geležinkeliai“ pranešimas žiniasklaidai. „Lietuvos geležinkeliai“ trumpina kelionės laiką geležinkeliu „Rail Baltica“. Vilnius, 2016 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <http://www.litrail.lt/en/-/%E2%80%9ELietuvos-gelezinkeliai-trumpina-keliones-laika-gelezinkeliu-%E2%80%9Erail-baltica->
6. M. Komaiško, G. Bureika. Lietuvos geležinkelių pervažų eismo saugumo vertinimas. 20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos transporto inžinerija ir vadyba, straipsnis. Vilnius, 2017 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <http://jmk.transportas.vgtu.lt/index.php/tran2017/tran2017/paper/viewFile/104/134>
7. A. A. Mogyros. Low cost solutions to improve safety at level crossings in Hungary. Economic Commissions for Europe, Working Party on Road Traffic Safety Group of Experts on Improving Safety at Level Crossing. Geneva, 2014 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp1/ECE-WP1-GE1-2014-9e.pdf>
8. S. Champion, G. Stringer. Safety at level crossings. House of Commons Transport Committee, Eleventh Report of Session. London, 2014 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <https://www.publications.parliament.uk/pa/cm201314/cmselect/cmtran/680/680.pdf>
9. S. Laapotti. Comparison of fatal motor vehicle accidents at passive and active railway level crossing in Finland. IATSS Research, 2014, Vol. 40, No 1, pp. 1-6 [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111215000308>
10. N. Žalnieraitis. Lietuvos geležinkelių eismo įvykių analizė. Baigiamasis magistro projektas. Kaunas, 2013 m.
11. P. Szurgott, P. Dziewulski. Numerical analysis of collision between locomotive and passenger car located on level crossing. Journal of KONES Powertrain and Transport,

- Vol. 21, No. 4. 2014 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą:  
[http://www.kones.eu/ep/2014/vol21/no4/Journal\\_of\\_KONES\\_2014\\_No.4\\_Vol.21\\_ISSN\\_1231-4005\\_SZURGOTT111.pdf](http://www.kones.eu/ep/2014/vol21/no4/Journal_of_KONES_2014_No.4_Vol.21_ISSN_1231-4005_SZURGOTT111.pdf)
12. L. E. Jackson, K. Bolte. Simulating train collisions with highway vehicle using EDSMAC4 and other programs. National Transportation Safety Board, 2000 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą:  
<http://www.edccorp.com/library/HveWpPdfs/WP2000-1.pdf>
13. B. Tseveennamjil, A. Hudak, V. Rievaj. Determining the speed of vehicles before and after crash. Electronical technical journal of technology, Vol 6, No. 3. 2011 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą:  
[http://pnerscontacts.upce.cz/22\\_2011/Tseveennamjil.pdf](http://pnerscontacts.upce.cz/22_2011/Tseveennamjil.pdf)
14. B. Bartels, C. Erbsmehl ir L. Hannawald. Reconstruction of accidents based on 3D – geodata. 5 Internationale Konferenz ESAR „Expertensymposium Accident Research“. Dresden, 2011 m [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: [http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/664/pdf/09\\_Bartels.pdf](http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/664/pdf/09_Bartels.pdf)
15. Geležinkelio pervažų statybos, techninės priežiūros ir naudojimo taisyklės.
16. „Lietuvos Geležinkelių“ Atliekamas avarijos bandymas [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/watch?v=w5CZpeIqcYs>
17. „PC – Crash“ programoje sukurtos gatvės 3D vaizdas [žiūrėta 2017-05-30]. Prieiga per internetą: [http://www.dsd.at/index.php?option=com\\_content&view=article&id=76:pc-crash&catid=37&Itemid=207&lang=en](http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=76:pc-crash&catid=37&Itemid=207&lang=en)
18. O. Lukoševičienė. Autoįvykių analizė ir modeliavimas. Vilnius. Technika, 2001 m.

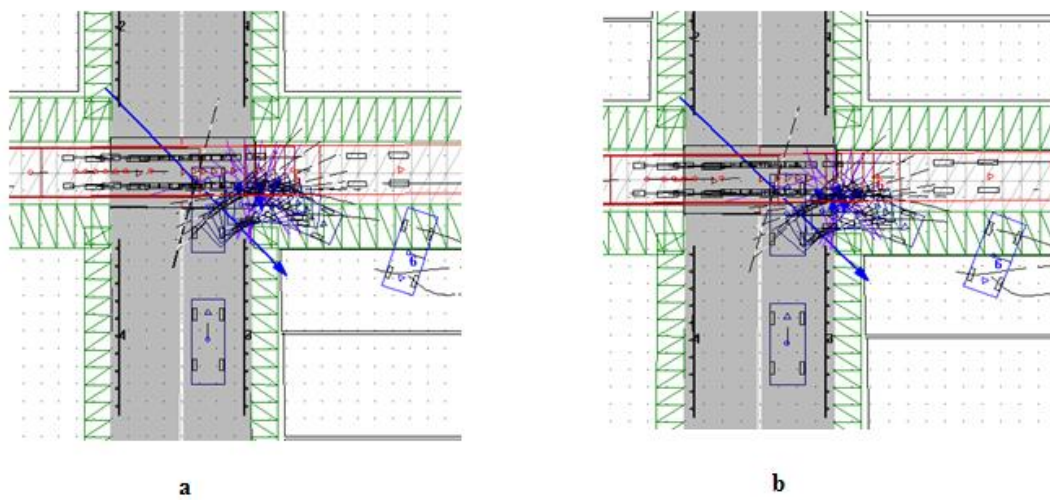


# 1 Priedas

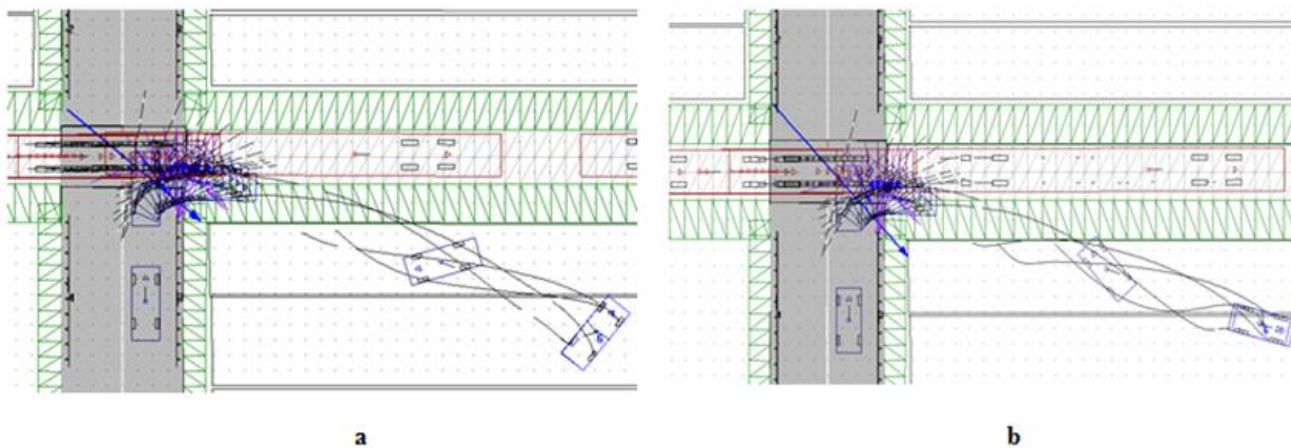
Šiame priede pateikiamos automobilių susidūrimo schemas ketvirtame ir penktame taške.



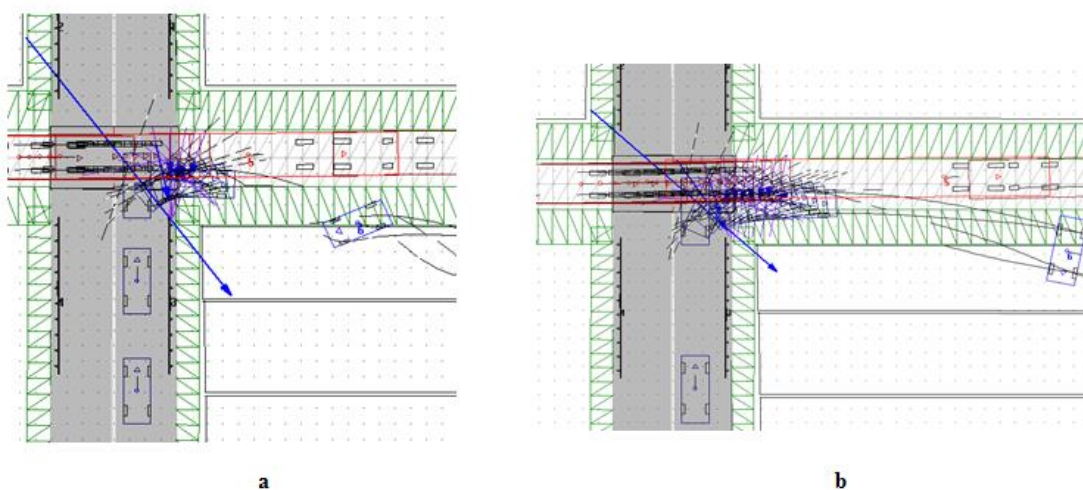
1 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 60 km/h  
a – „VW“, b – „Mercedes – Benz“



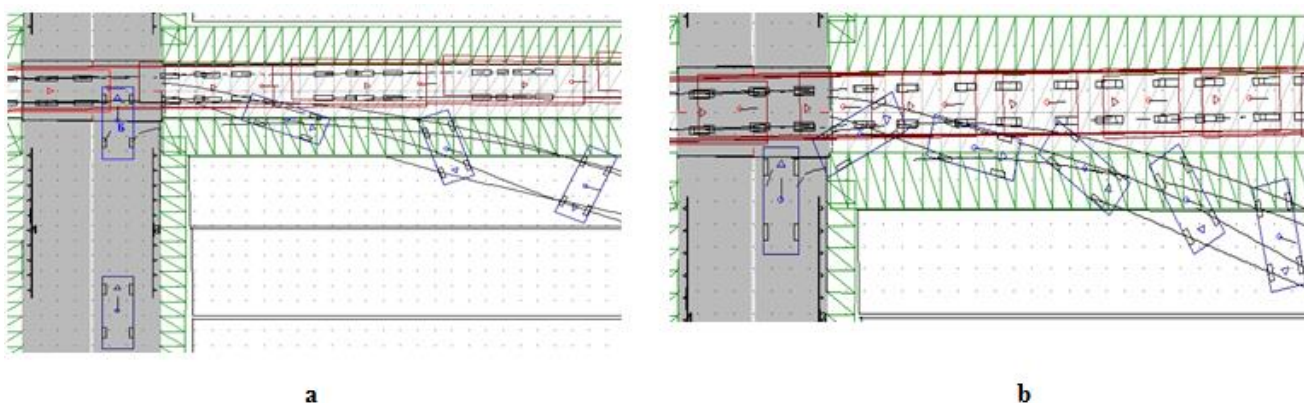
2 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių – 60 km/h  
a – „BMW“, b – „Mercedes – Benz“



3 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automotrisės ir automobilio greitis yra 60 km/h  
a – „BMW“, b – „VW“

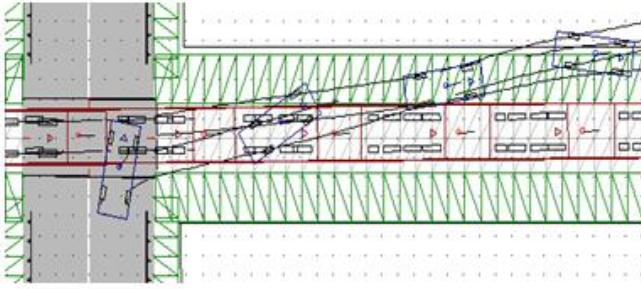


4 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių –100 km/h  
a – „VW“, b – „Mercedes – Benz“

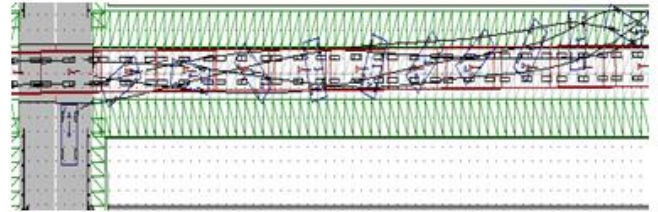


5 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių –100 km/h  
a – „BMW“, b – „Mercedes – Benz“



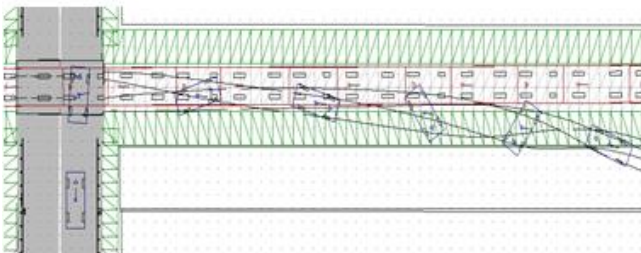


a

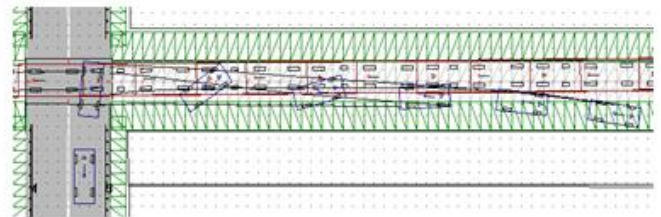


b

6 pav. Susidūrimų pirmoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių –100 km/h  
a – „BMW“, b – „VW“

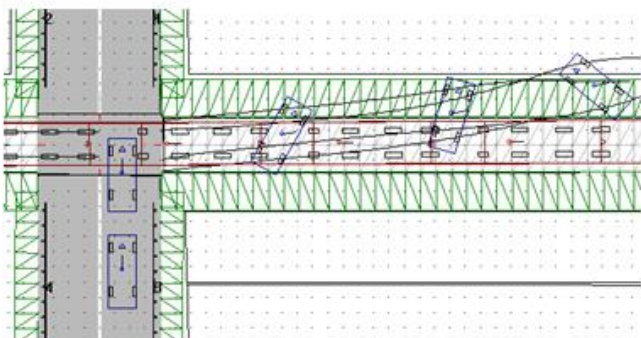


a

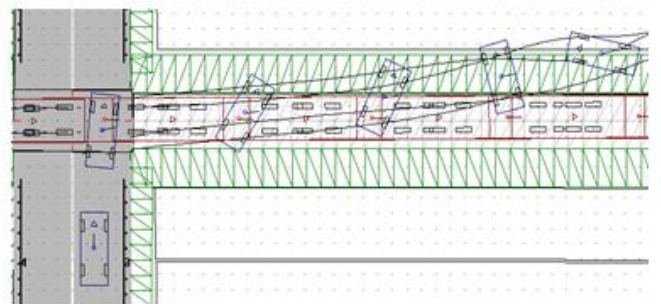


b

7 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių –60 km/h  
a – „VW“, b – „Mercedes – Benz“

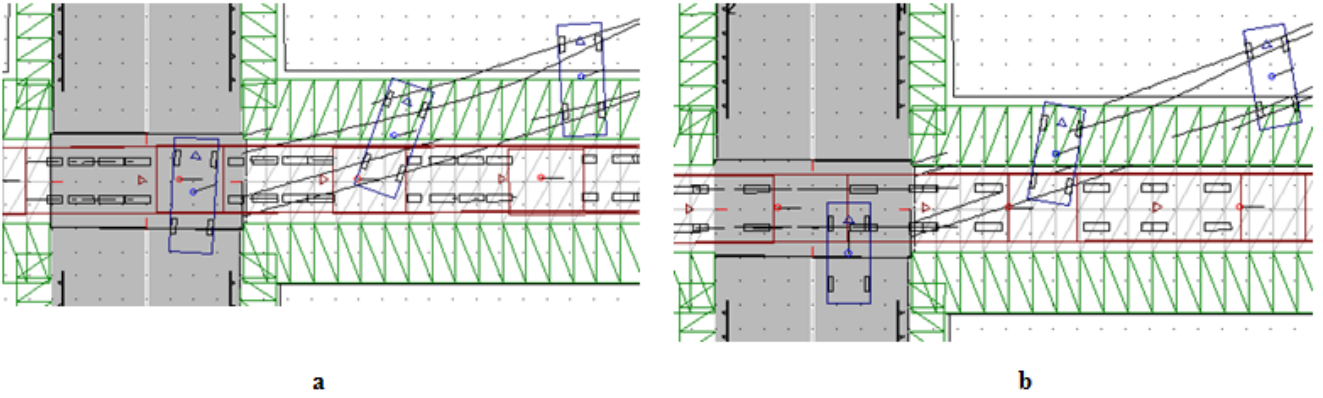


a

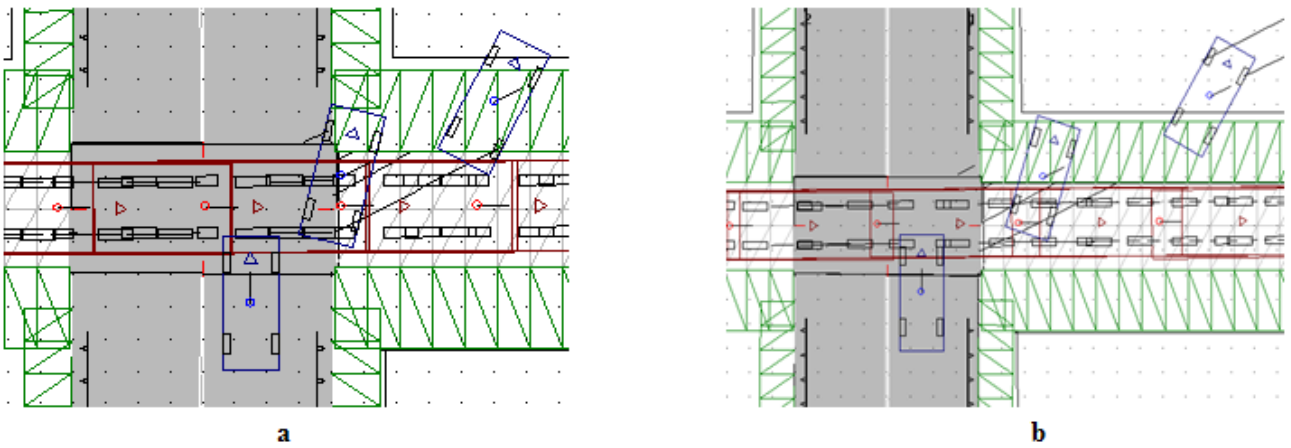


b

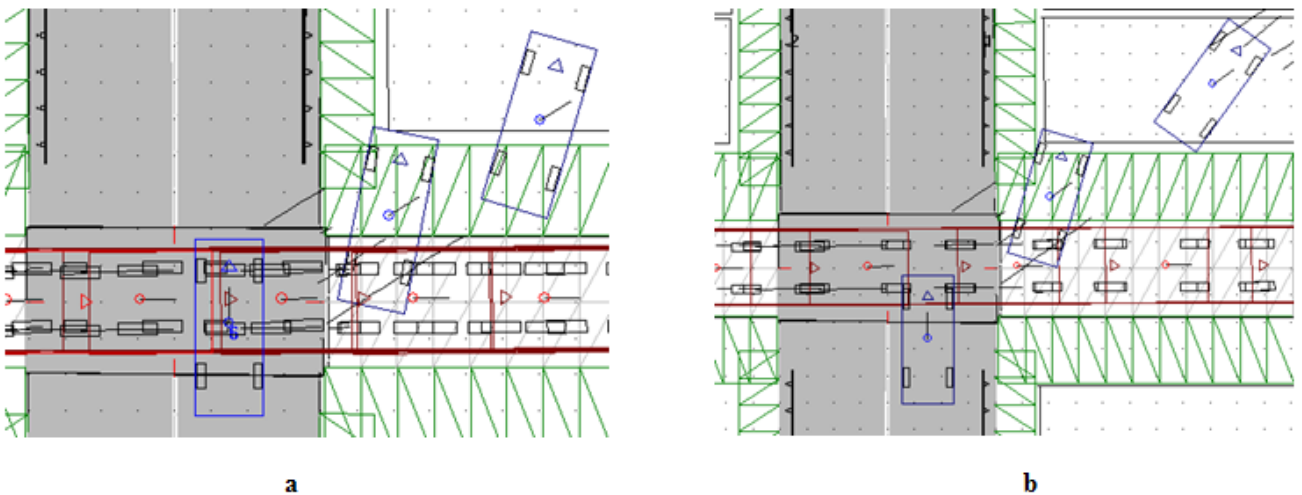
8 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių –60 km/h  
a – „BMW“, b – „Mercedes – Benz“



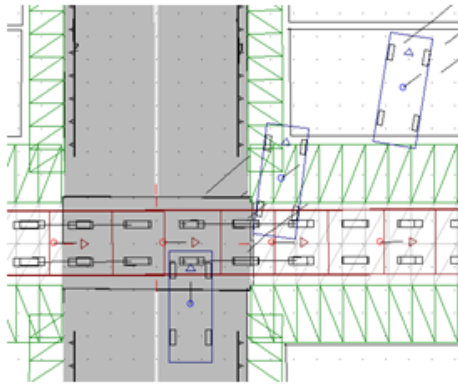
9 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automotrisės ir automobilių greitis yra 60 km/h  
a – „BMW“, b – „VW“



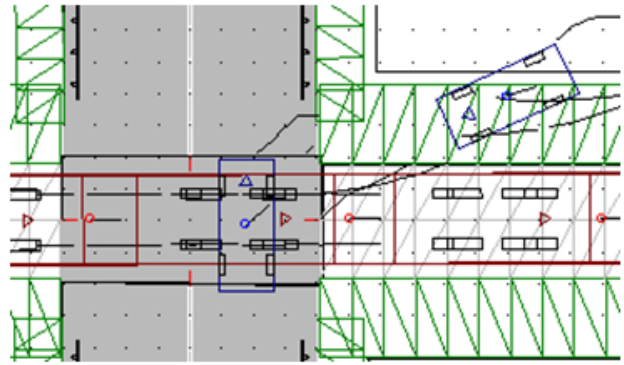
10 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių –100 km/h  
a – „VW“, b – „Mercedes – Benz“



11 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių –100 km/h  
a – „BMW“, b – „Mercedes – Benz“



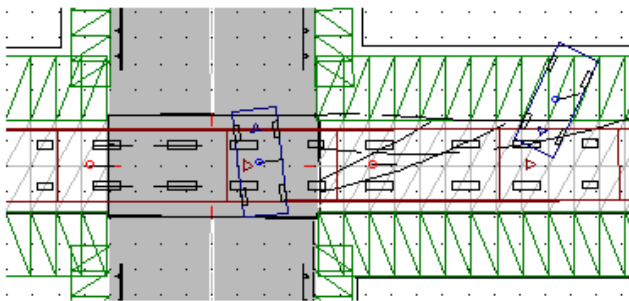
**a**



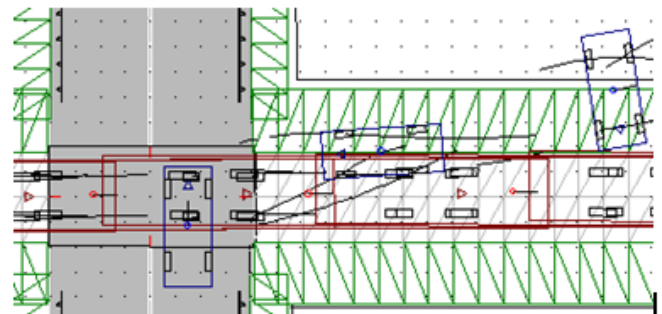
**b**

12 pav. Susidūrimų antroje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių –100 km/h

a – „BMW“, b – „VW“



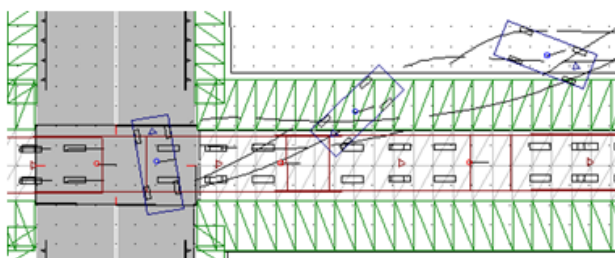
**a**



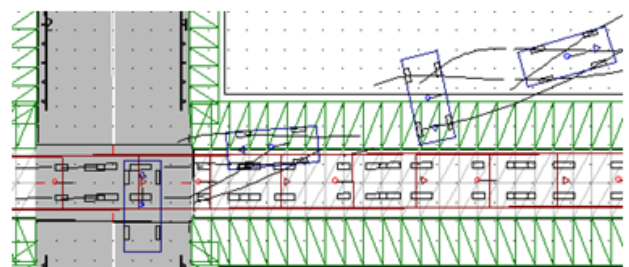
**b**

13 pav. Susidūrimų trečioje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių –60 km/h

a – „VW“, b – „Mercedes – Benz“



**a**

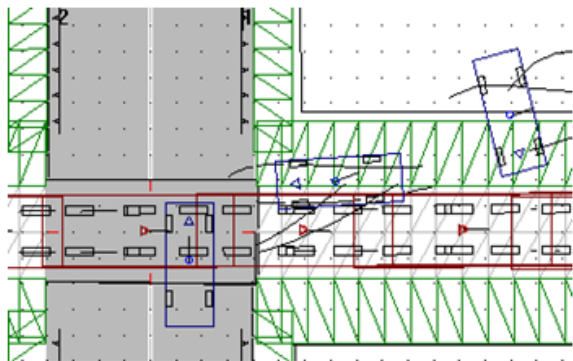


**b**

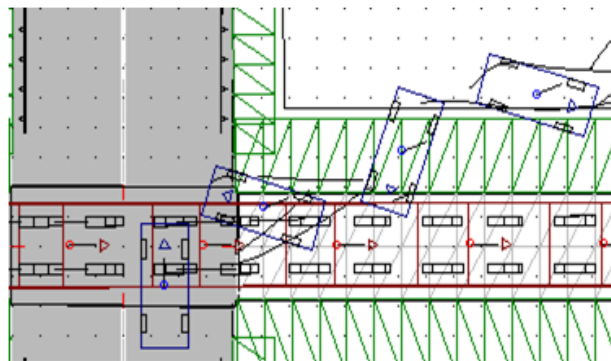
14 pav. Susidūrimų trečioje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių –60 km/h

a – „BMW“, b – „Mercedes – Benz“





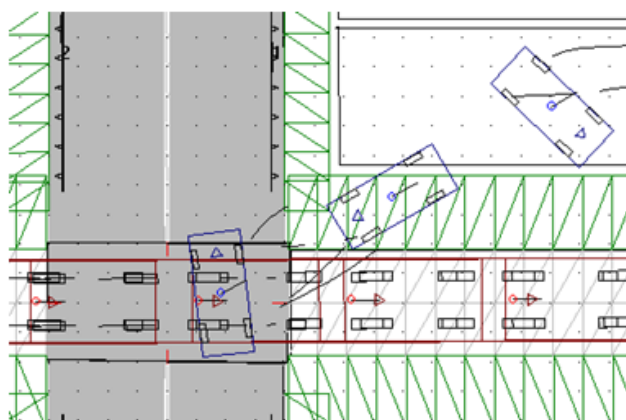
**a**



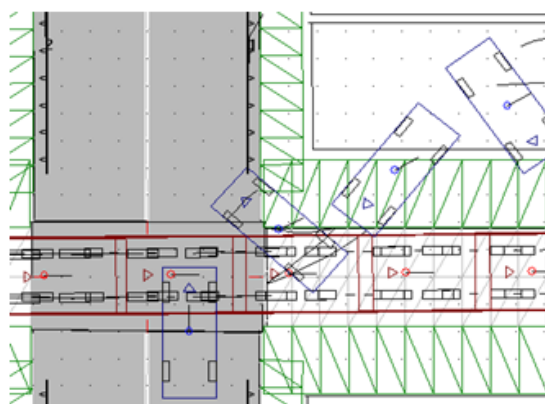
**b**

15 pav. Susidūrimų trečioje zonoje schemas, kai automotrisės ir automobilių greitis yra 60 km/h

a – „BMW“, b – „VW“



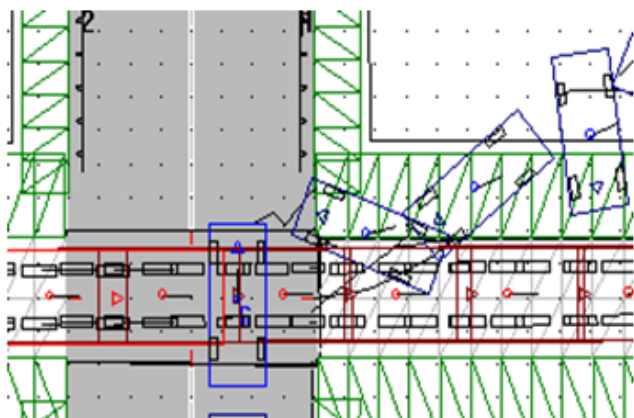
**a**



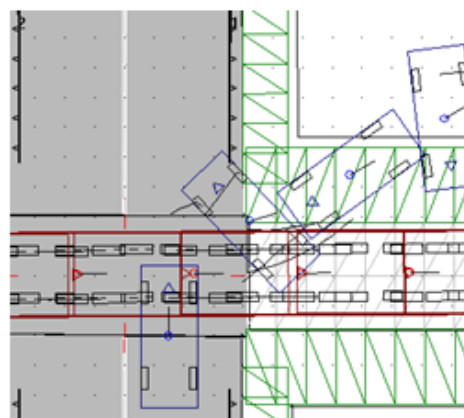
**b**

16 pav. Susidūrimų trečioje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 80 km/h, o automobilių – 100 km/h

a – „VW“, b – „Mercedes – Benz“



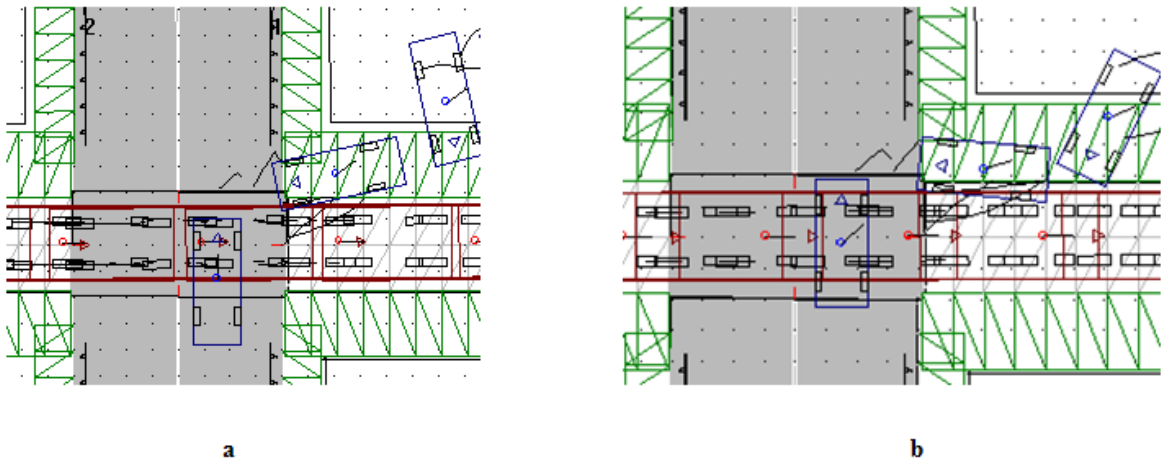
**a**



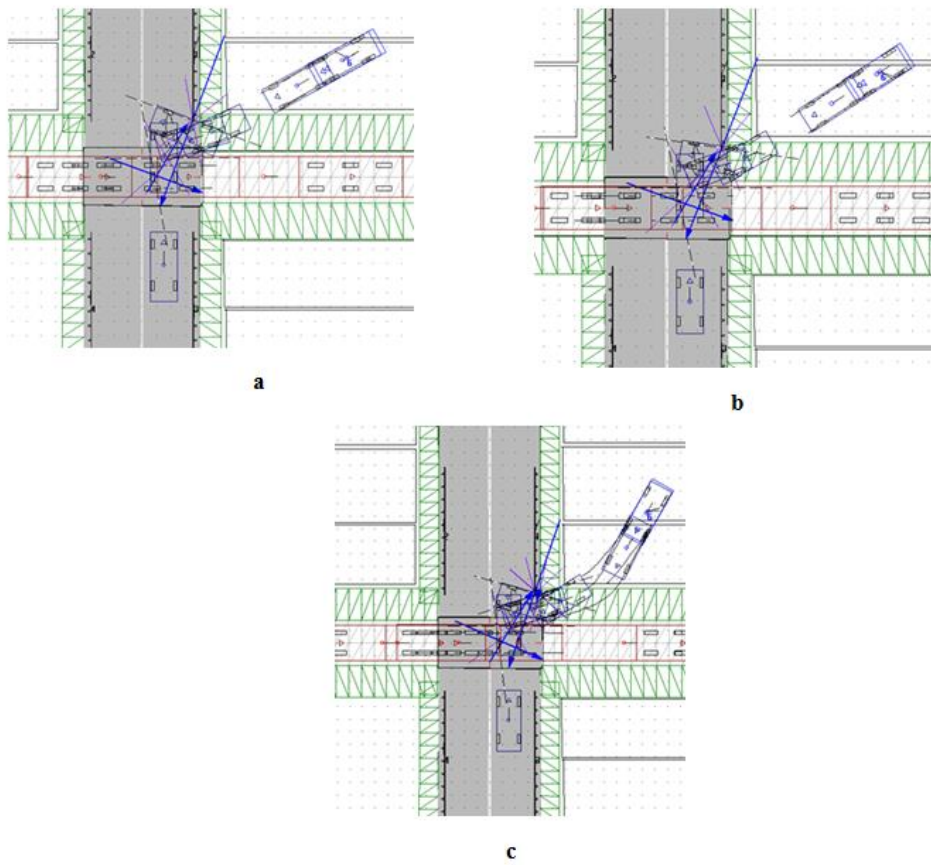
**b**

17 pav. Susidūrimų trečioje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių – 100 km/h

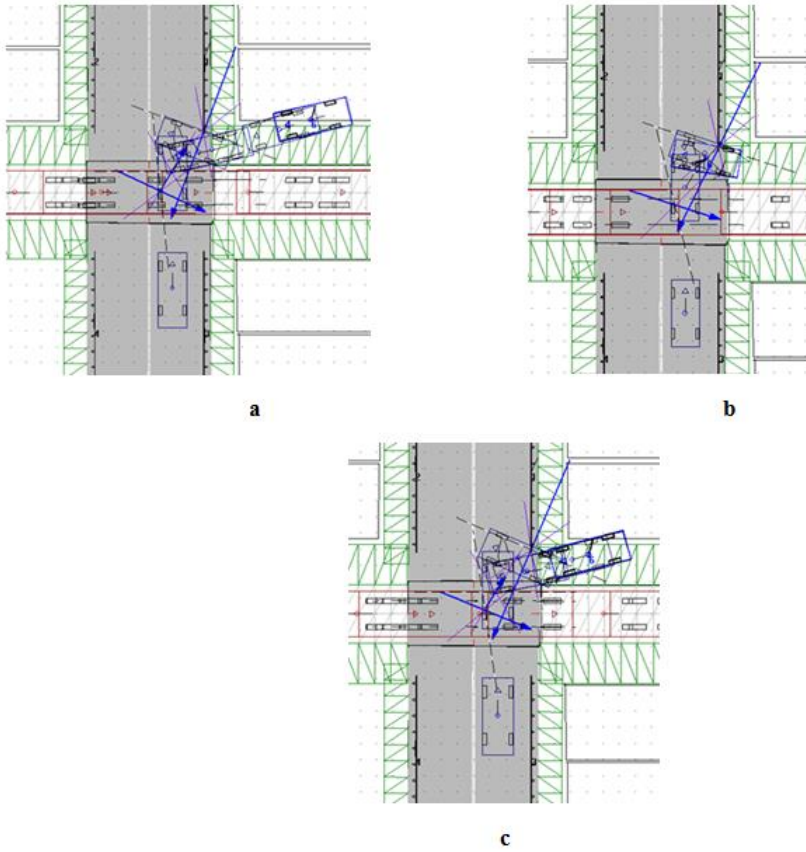
a – „BMW“, b – „Mercedes – Benz“



18 pav. Susidūrimų trečioje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių – 100 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“

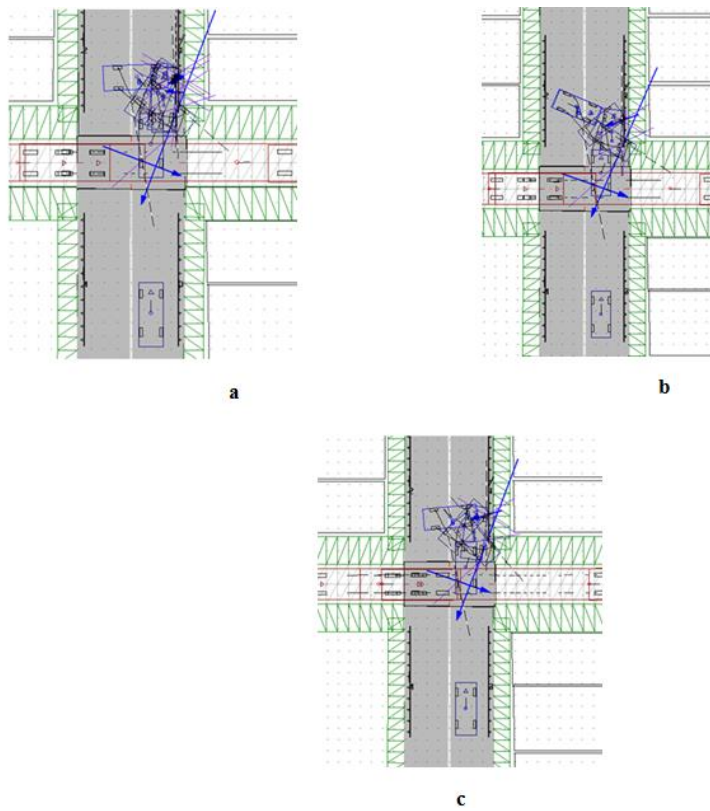


19 pav. Susidūrimų ketvirtoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis 70 km/h, o automobilių – 60 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



20 pav. Susidūrimų ketvirtoje zonoje schemas, kai automotrisės ir automobilio greitis yra 60 km/h

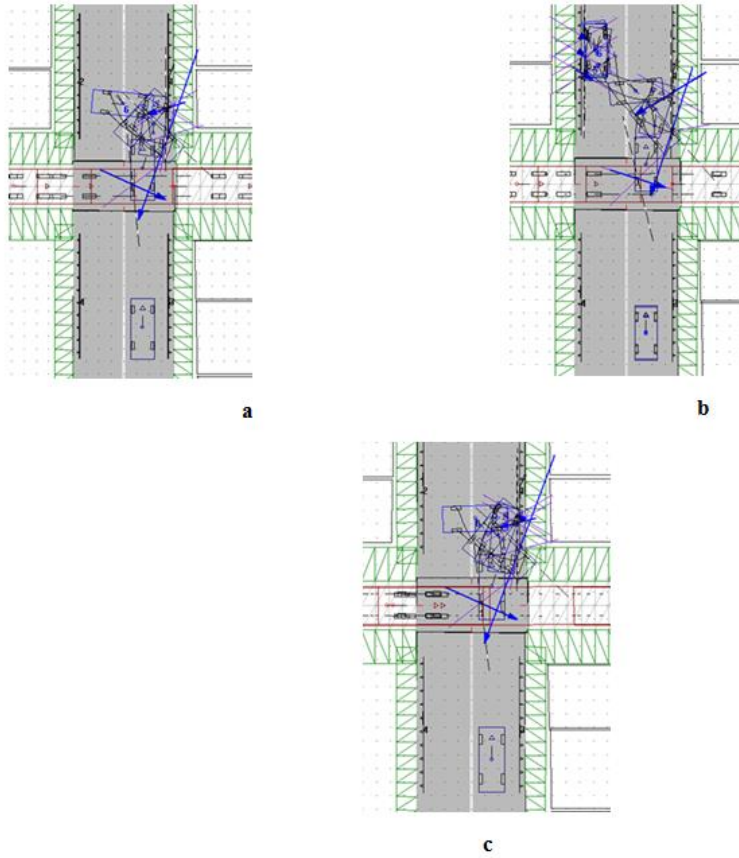
a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



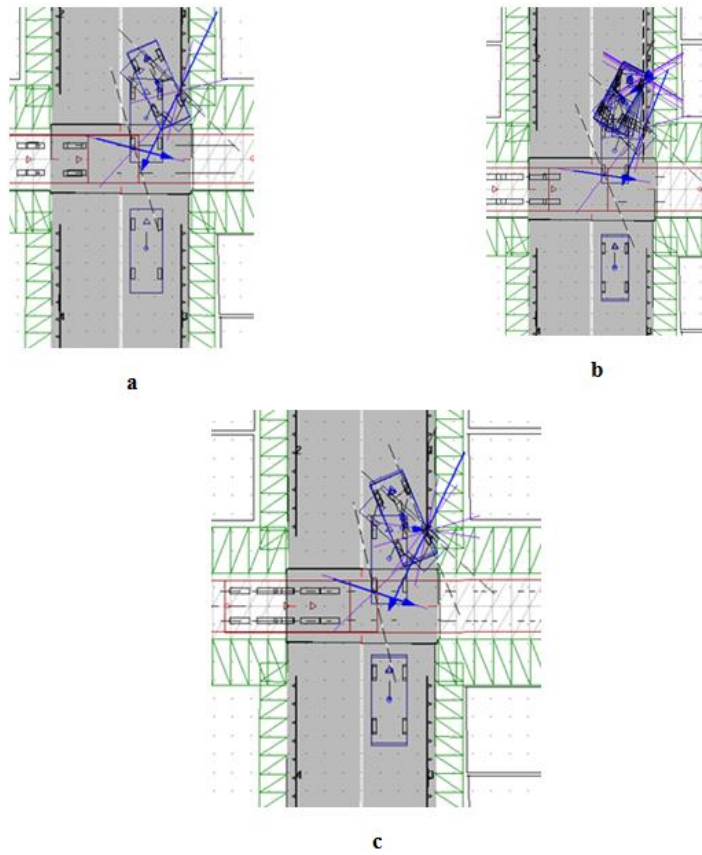
21 pav. Susidūrimų ketvirtoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių – 100 km/h

a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“





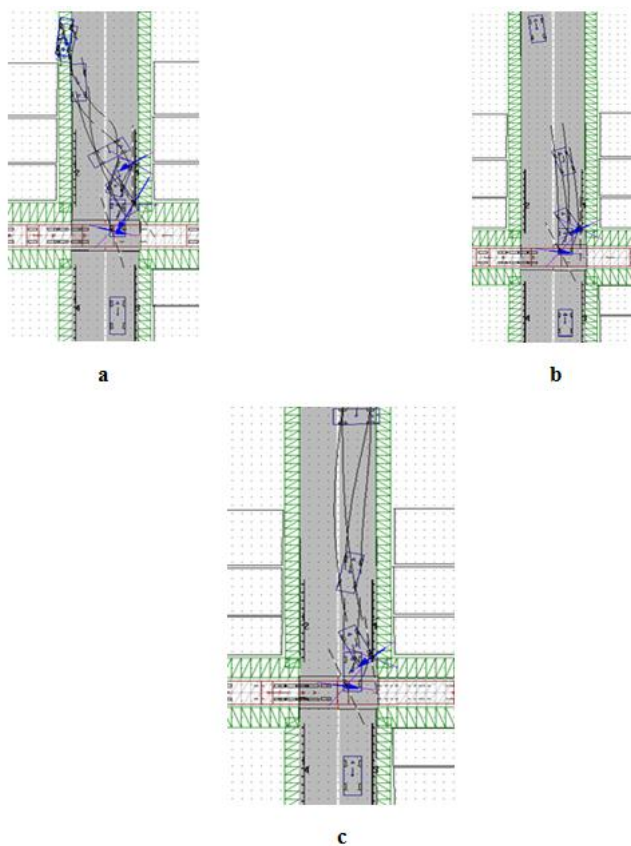
22 pav. Susidūrimų ketvirtoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių – 100 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



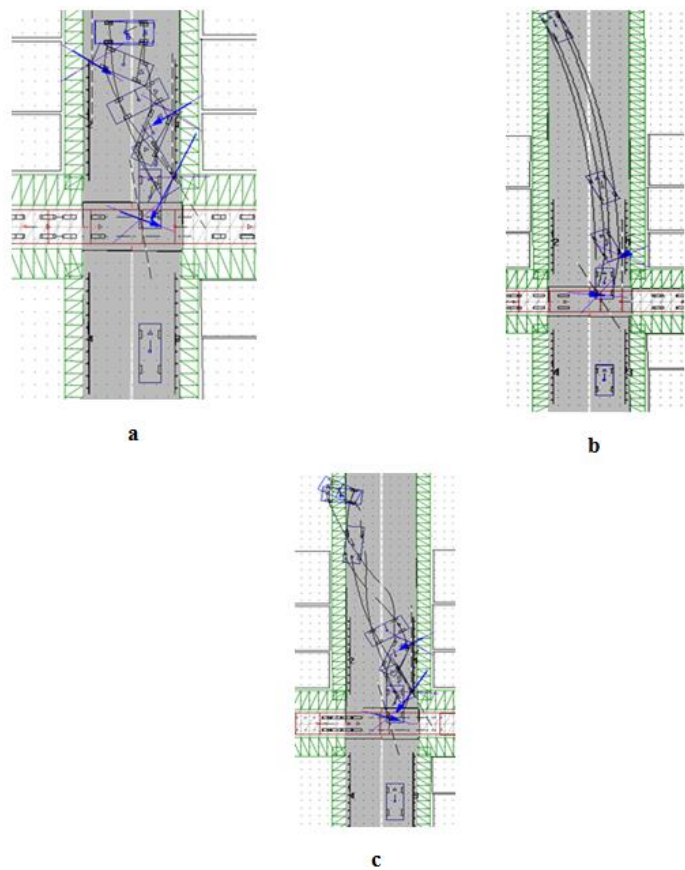
23 pav. Susidūrimų penktoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių – 60 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



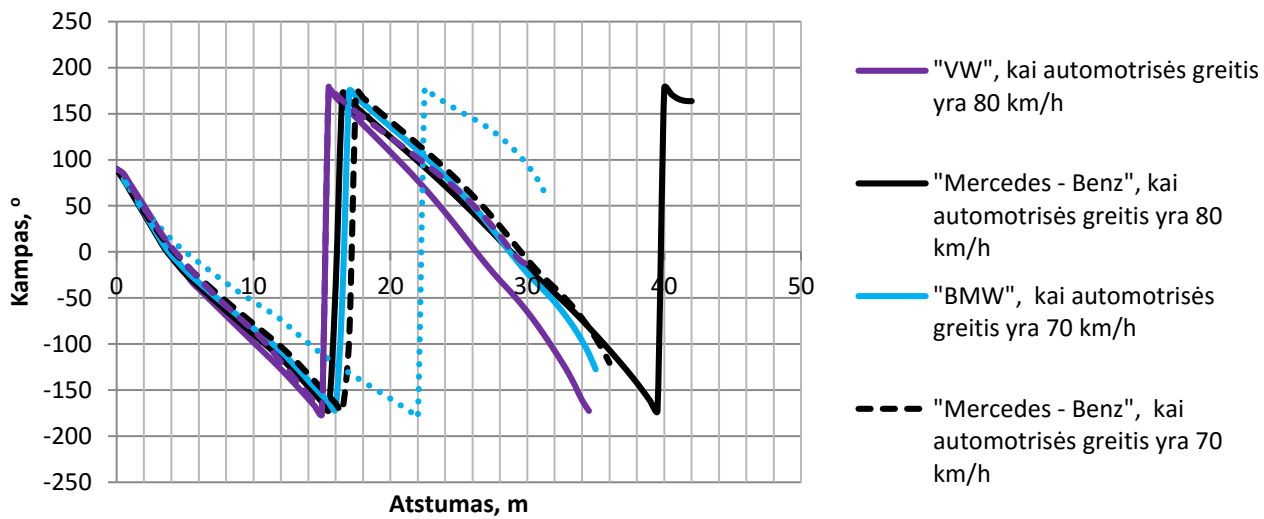
24 pav. Susidūrimų penktoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis ir automobilio greitis yra 60 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



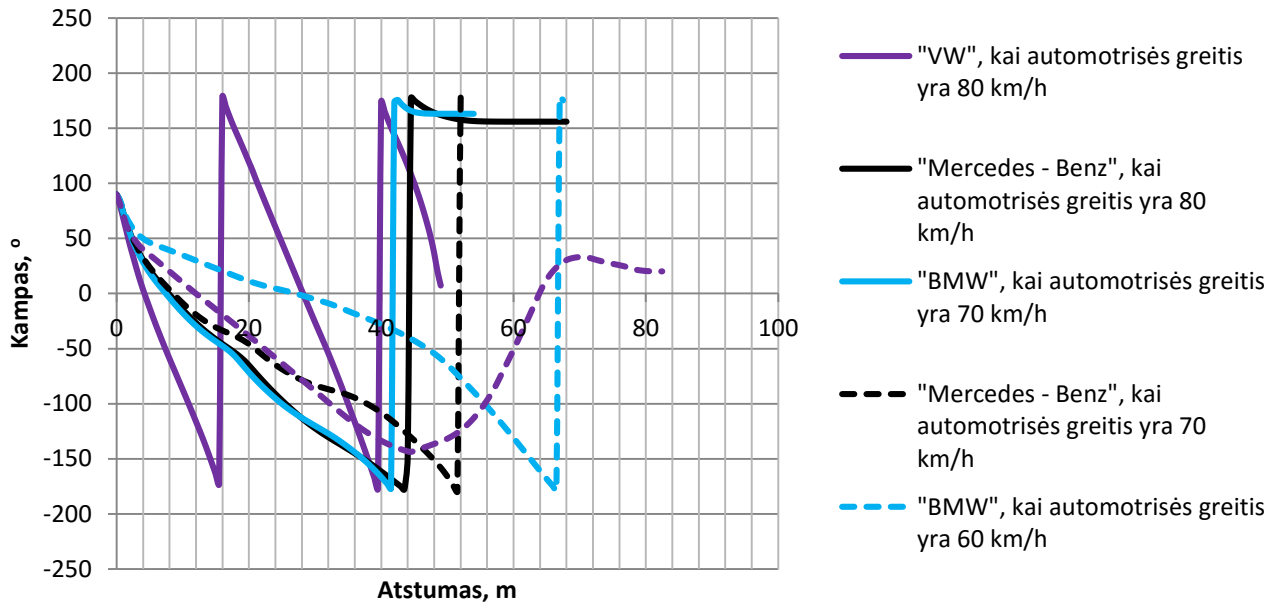
25 pav. Susidūrimų penktoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių – 100 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



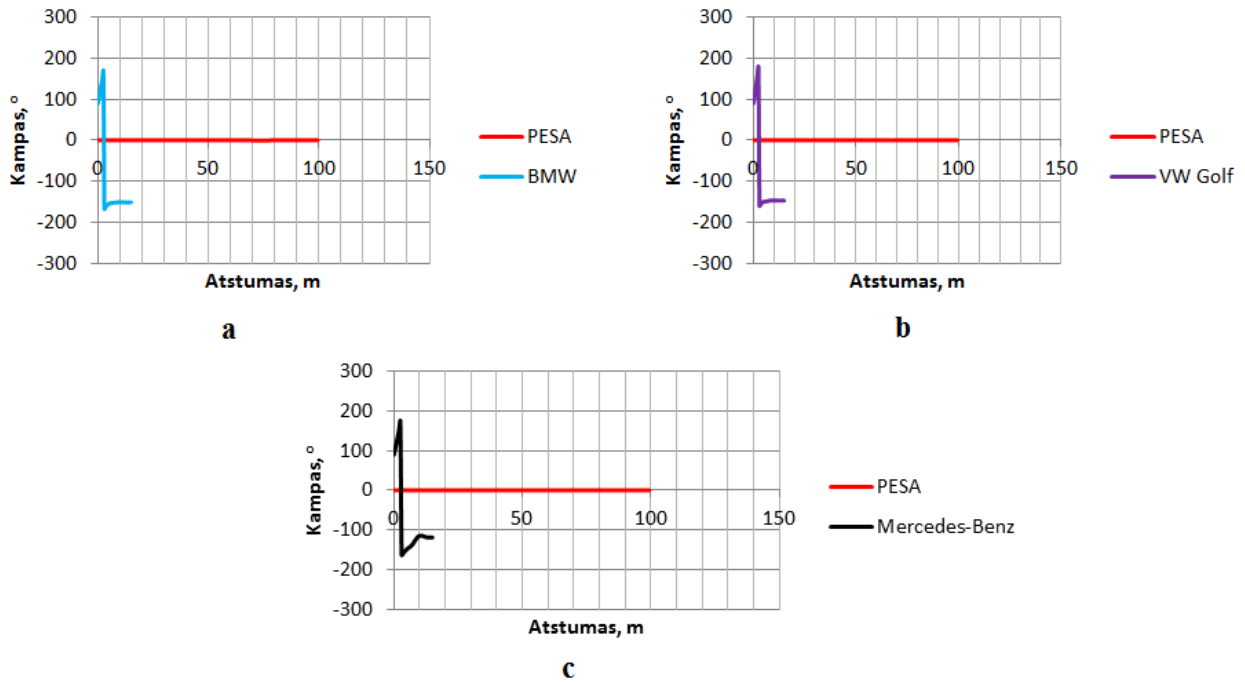
26 pav. Susidūrimų penktoje zonoje schemas, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių – 100 km/h  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



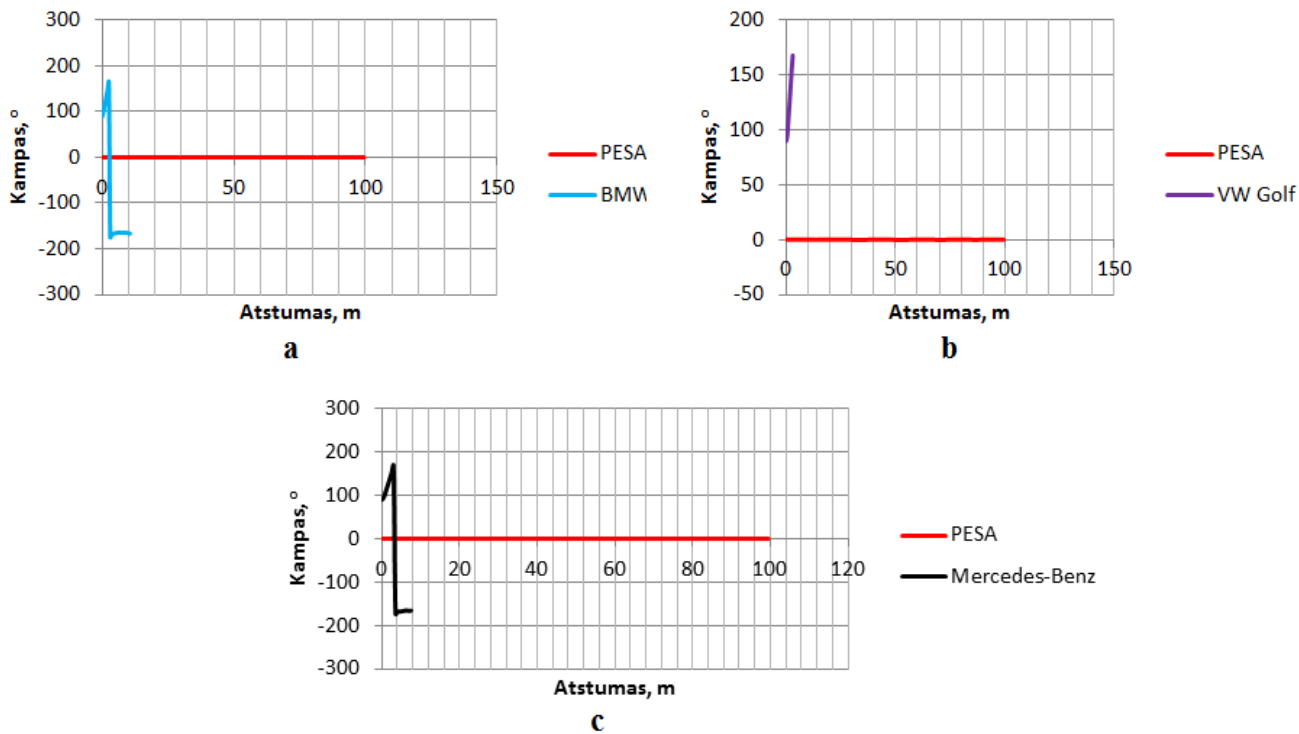
27 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus pirmoje zonoje, kai automobilių greitis yra 60 km/h



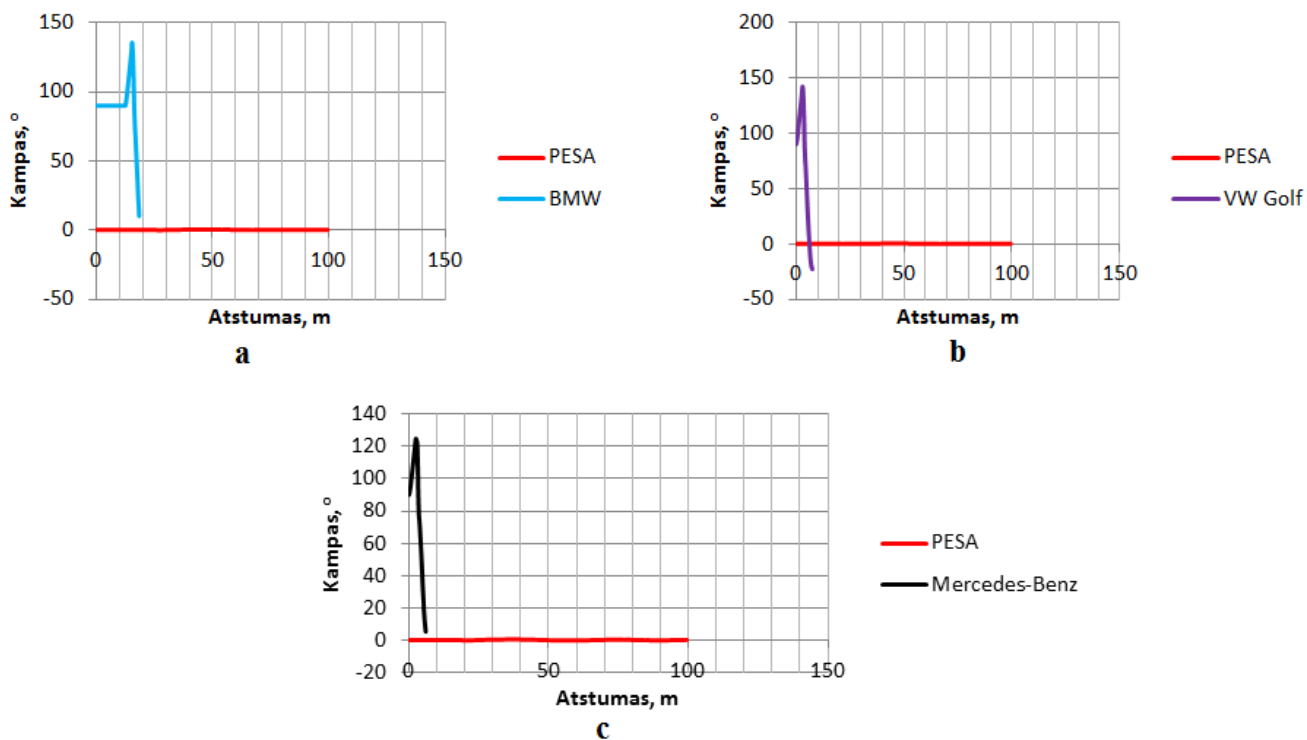
28 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus pirmoje zonoje, kai automobilių greitis yra 100 km/h



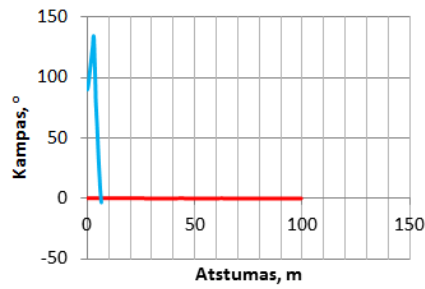
28 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių greitis – 60 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



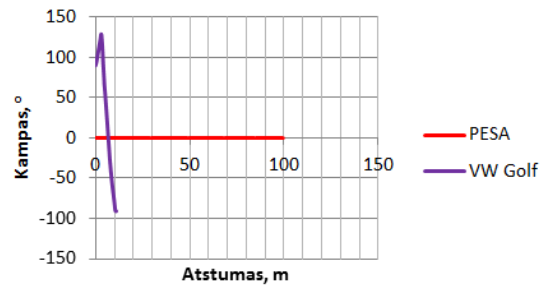
29 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus ketvirtoje zonoje, kai automotrisės ir automobilių greitis yra 60 km/h.  
 a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



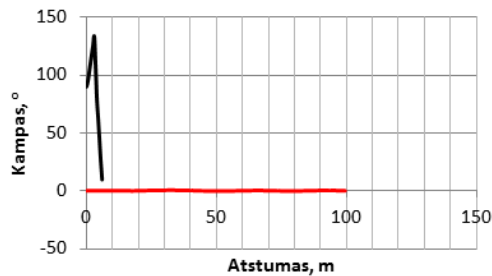
30 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių greitis – 100 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



a

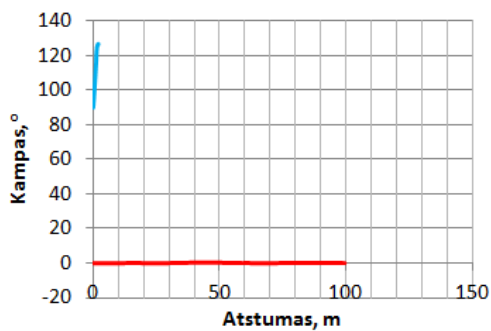


b

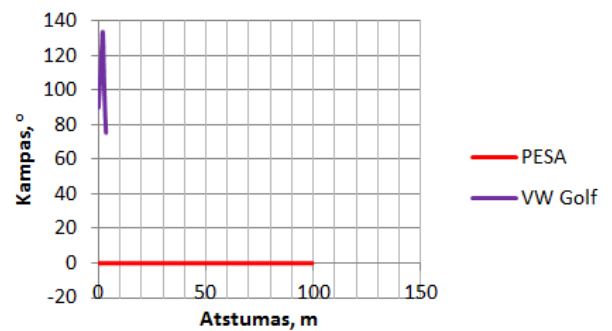


c

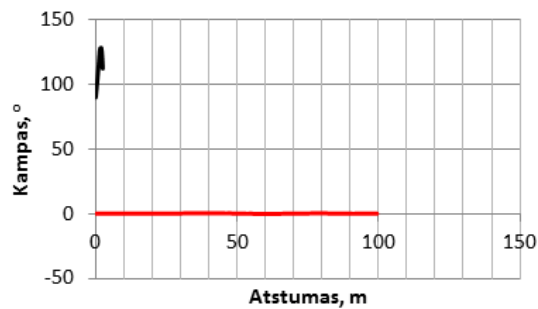
31 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių greitis – 100 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



a

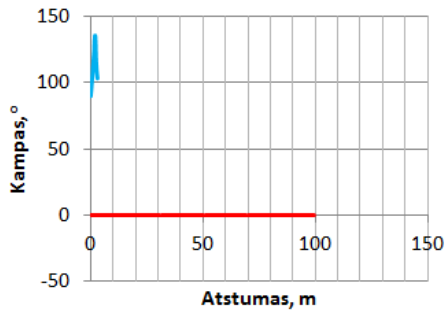


b

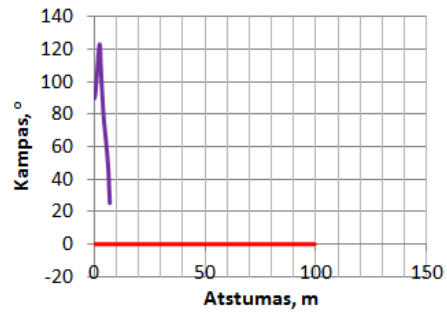


c

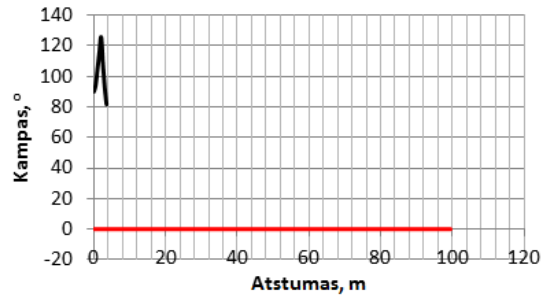
32 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus penktoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių greitis – 60 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



a

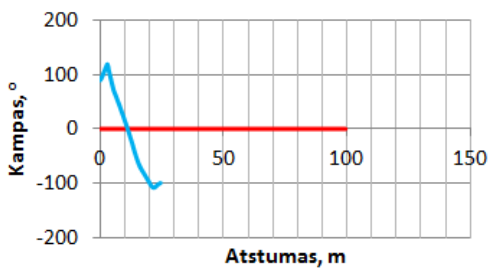


b

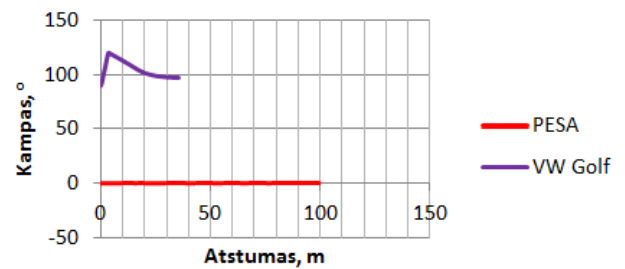


c

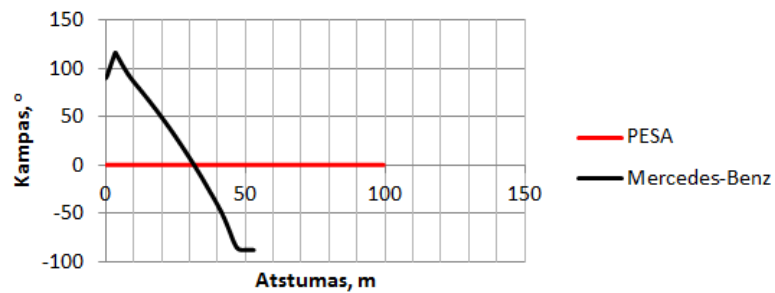
33 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus penktoje zonoje, kai automotrisės ir automobilių greitis yra 60 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



a

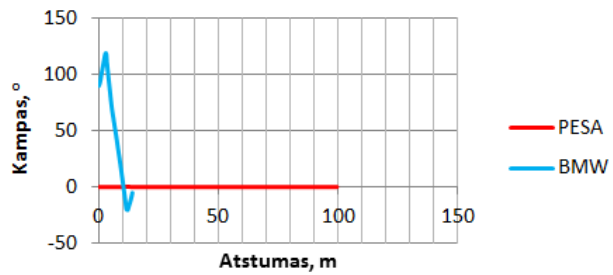


b

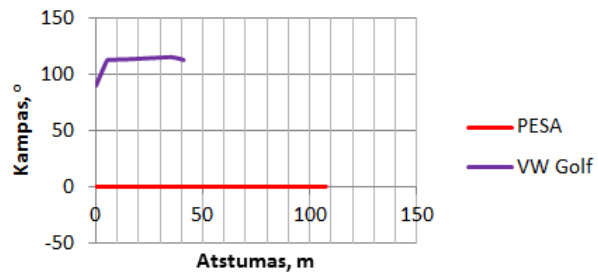


c

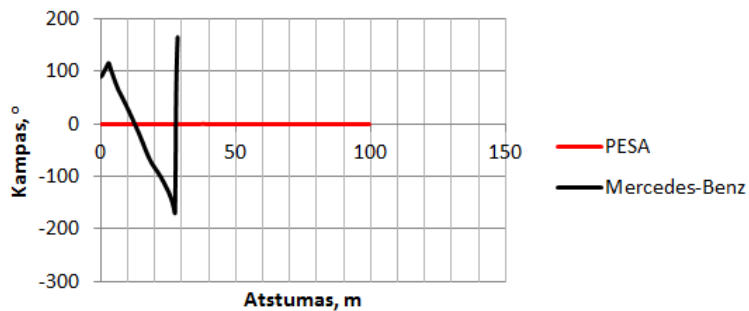
34 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus penktoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 70 km/h, o automobilių greitis – 100 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



a



b



c

35 pav. Judėjimo krypties kitimo grafikai susidūrus ketvirtoje zonoje, kai automotrisės greitis yra 60 km/h, o automobilių greitis – 100 km/h. a – „BMW“, b – „VW“, c – „Mercedes – Benz“



## 2 Priedas

„Matlab“ programos tekstas, skirtas apskaičiuoti automobilio greitį iki susidūrimo pagal judesio kiekio ir energijos tvermės dėsnius.

```
clc
clear all
format short e
% Įvedami skaičiavimams reikalingi duomenys:
disp(['Pradiniai duomenys: ']);
% Nustatomas automobilio modelis:
% 1 - BMW;
% 2 - VW;
% 3 - MB;
z=input('Įveskite automobilio modelio numerį 1, 2 ar 3: ');
% Slydimo atstumas iki žolės:
S1=input('Įveskite pirmą slydimo atstumą: '); % m;
% Slydimo atstumas ant žolės:
S2=input('Įveskite antrą slydimo atstumą: '); % m;
S3=input('Įveskite trečią slydimo atstumą: '); % m;
S4=input('Įveskite ketvirtą slydimo atstumą: '); % m;
% Įvedamas automobilio pasisukimo kampas po smūgio:
alf=input('Įveskite automobilio pasisukimo kampą: '); % laipsniai
disp(['-----']);
f=[0.6 0.4 0.65 0.78]; %sudaromas trinties koeficientų vektorius
% Nustatoma automobilio masė bei atstumas nuo svorio centro iki
V3=80;
% priekinės ašies, pagal pasirinktą automobilio markę:
for m=1:z
    if z==1
        m=1590; % kg;
        a=1.445; % m;
    elseif z==2
        m=1280; % kg;
        a=1.25; % m;
    else
        m=2100; % kg;
        a=1.47; % m;
    end
end
m2=57000; % kg;
g=9.81; % Laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2;
%-----
%                               Skaičiavimai
%-----
f=f*0.5; % Įvertinamas trinties koeficientas ratams slystant šonu
% Apskaičiuojamas automobilio greitis pagal slydimo kelią:
V1=sqrt(254*(S1*f(1)+S2*f(2)+S3*f(3)+S4*f(4))); % km/h;
% Automobilio pasisukimo kampas perskaičiuojamas į radianus:
delt=abs(alf)*3.14/180; % rad;
% Pasipriešinimo momentas automobilio pasisukimui:
M=m*a*g*f(1); % Nm;
% Energija, sunaudota pasisukant:
E=delt*M; % J;
% Greitis, ekvivalentiškas gautai energijai:
V2=sqrt(2*E/m)*3.6; % km/h;
% Įvertinus visus duomenis, gaunamas automobilio greitis po susidūrimo:
V=sqrt((V1)^2+(V2)^2); % km/h;
% Nustatomas pradinis automobilio greitis pagal energijos tvermės dėsnį:
Vpr=((m*V1*abs(sind(alf))+V3*m2*sind(0.6))/(m*sind(90))); % km/h.
disp(['Skaičiavimų rezultatai: ']);
disp(['Greitis, kurio automobilis neteko slysdamas: ' num2str(V1) 'km/h']);
```

```

disp([' ']);
disp(['Pasipriešinimo momentas automobilio sukimuisi: ' num2str(M) 'Nm']);
disp([' ']);
disp(['Energija, sunaudota pasisukant: ' num2str(E) 'J']);
disp([' ']);
disp(['Greitis, ekvivalentiškas energijai: ' num2str(V2) 'km/h']);
disp([' ']);
disp(['Greitis po susidūrimo: ' num2str(V) 'km/h']);
disp([' ']);
disp(['Greitis prieš susidūrimą: ' num2str(Vpr) 'km/h']);

```

Toliau esančiose lentelėse pateikiami automobilių greičiai iki susidūrimo, kurie buvo apskaičiuoti su programa „Matlab“. Programoje „PC – Crash 8.1“ šis greitis buvo nustatytas 60 km/h.

1 lentelė

Apskaičiuotas automobilių greitis prieš susidūrimą, kai automotrisės greitis yra 80 km/h

Susidūrimo taškai	Greitis prieš susidūrimą		
	BMW	VW	Mercedes – Benz
1	56	59	63
2	60	51	63
3	67	67	65

2 lentelė

Apskaičiuotas automobilių greitis prieš susidūrimą, kai automotrisės greitis yra 70 km/h

Susidūrimo taškai	Greitis prieš susidūrimą		
	BMW	VW	Mercedes – Benz
1	50	60	58
2	55	69	63
3	61	69	67

3 lentelė

Apskaičiuotas automobilių greitis prieš susidūrimą, kai automotrisės greitis yra 60 km/h

Susidūrimo taškai	Greitis prieš susidūrimą		
	BMW	VW	Mercedes – Benz
1	52	53	52
2	66	55	62
3	56	67	65

Toliau esančiose lentelėse pateikiamas su programa „Matlab“ apskaičiuotas automobilio greitis iki susidūrimo, kai programoje „PC – Crash 8.1“ buvo nustatytas 100 km/h automobilio greitis.

4 lentelē

Apskaičiuotas automobilių greitis prieš susidūrimą, kai automotrisės greitis yra 80 km/h

Susidūrimo taškai	Greitis prieš susidūrimą		
	BMW	VW	Mercedes – Benz
1	87	104	101
2	90	108	91
3	106	107	101

5 lentelē

Apskaičiuotas automobilių greitis prieš susidūrimą, kai automotrisės greitis yra 70 km/h

Susidūrimo taškai	Greitis prieš susidūrimą		
	BMW	VW	Mercedes – Benz
1	97	95	91
2	95	104	89
3	90	110	90

6 lentelē

Apskaičiuotas automobilių greitis prieš susidūrimą, kai automotrisės greitis yra 60 km/h

Susidūrimo taškai	Greitis prieš susidūrimą		
	BMW	VW	Mercedes – Benz
1	101	106	89
2	90	92	92
3	87	90	87