VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Vidas Žuraulis

AVARINGŲ RUOŽŲ ATSIRADIMO PRIEŽASTYS IR JŲ SPRENDIMO BŪDAI

REASONS OF RICE OF ACCIDENTAL STRETCHES IN THE ROADS AND WAYS OF THEIR PREVENTION

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104
Automobilių transporto inžinerijos specializacija
Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

PDF processed with CutePDF evaluation edition www.CutePDF.com

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
_____
(Parašas)
Saugirdas Pukalskas
(Vardas, pavardė)
2011 05 25
(Data)

Vidas Žuraulis

AVARINGŲ RUOŽŲ ATSIRADIMO PRIEŽASTYS IR JŲ SPRENDIMO BŪDAI

REASONS OF RICE OF ACCIDENTAL STRETCHES IN THE ROADS AND WAYS OF THEIR PREVENTION

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104
Automobilių transporto inžinerijos specializacija
Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas	*doc. dr. Saugirdas Pukalskas*		2011-05-23
	(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)	(Parašas)	(Data)
Konsultantas	A. Petrilini		2011-05-17
	(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)	(Parašas)	(Data)
Konsultantas			
	(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)	(Parašas)	(Data)

VGTU
Automobilių transporto
katedra

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(Parašas)
Saugirdas Pukalskas
(Vardas, pavardė)
2011 05 25
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS
2009 12 04 Nr. 16
Vilnius

Studentui (ei) *Vidui Žurauliui*

Baigiamojo darbo tema: *Avaringų ruožų atsiradimo priežastys ir jų sprendimo būdai*

patvirtinta 2009 m. lapkričio 26 d. dekano potvarkiu Nr. 319ti

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2011 m. gegužės 20 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išanalizuoti avaringus ruožus įvairiose Lietuvos keliuose ir faktorius įtakojančius eismo įvykius atrinkdami. Nustatyti eismo reguliavimo ir organizavimo problemas Vilniaus mieste. Nustatyti vertikalių kelio nelygumų įtaką eismo saugumui ir pateikti argumentuotas rekomendacijas eismo reguliavimui tobulinti įvertinant minėtus nelygumus.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: Angelika Petrėtienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas .....
(Parašas)
doc. Saugirdas Pukalskas
(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau
.....
(Parašas)
Vidas Žuraulis
(Vardas, pavardė)
2009 gruodžio 4 d.
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių transporto katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Avaringų ruožų atsiradimo priežastys ir jų sprendimo būdai**

Autorius **Vidas Žuraulis**

Vadovas **doc. dr. Saugirdas Pukalskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame darbe yra analizuojama kelių eismo saugumo situacija ir avaringumo veiksniai remiantis statistika ir užsienio šalių mokslininkų tyrimais. Tiriamajame darbe taip pat pateikiami taikomos avaringumo nustatymo metodikos trūkumai ir pasiūlymai.

Darbe yra keletas tyrimo objektų. Atliktas vizualinis Vilniaus miesto eismo reguliavimo ir organizavimo sistemos tyrimas nustatant pagrindines problemas ir „juodųjų dėmių" analizė nustatant pagrindinius didesnio avaringumo faktorius. Siekiant nustatyti kelio nuolydžio įtaką eismo saugumui buvo atliktas stabdymo automobiliu tyrimas įvertinant lėtėjimo pagreičio kitimą priklausomai nuo vertikalių kelio nelygumų.

Darbą sudaro įvadas ir 5 aiškinamojo rašto skyriai, pabaigoje pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

Prasminiai žodžiai

Eismo saugumas, avaringumo veiksniai, avaringumo nustatymo metodika, eismo reguliavimas, lėtėjimo pagreitis.

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

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

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

Title **Reasons of rice of accidental stretches in the roads and ways of their prevention**

Author **Vidas Žuraulis**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Saugirdas Pukalskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This research analyses the situation of road traffic safety and factors in traffic accidents based on statistic and studies of foreign scientists. Research also represents weaknesses of actual accident methodology and proposals.

There are few objects of investigation. Visual research is made by assessing the main problems of traffic regulation and organization system in Vilnius city and "black spots" analysis identifying factors of increased accident rate. Car braking investigation was performed by pursuing to estimate the alternation of deceleration in roads with vertical gradient influence to traffic safety.

Research consists of introduction, 5 descriptive parts, summarized giving conclusions and proposals.

Keywords

Traffic safety, factors in traffic accidents, accident methodology, traffic regulation, deceleration.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vidas Žuraulis 20053850
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Transporto inžinerijos
(Fakultetas)
Automobilių transporto inžinerijos ATfm-9
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2011 m. gegužės 17 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema Avarinių nuožų atsiradimo priežastys ir jų sprendimo būdai

patvirtintas 2009 m. lapkričio 26 d. dekano potvarkiu Nr. 319ti, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Angelika Petrienė

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Saugirdas Pukalskas

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

(Parašas) Vidas Žuraulis (Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 8
LENTELIŲ SĄRAŠAS 9
SANTRUMPOS 9
ĮVADAS 10
1. DABARTINĖ KELIŲ EISMO SAUGUMO SITUACIJA 11
2. SAUGŲ EISMĄ LEMIANTYS VEIKSNIAI 13
2.1. Eismo dalyviai 14
2.2. Transporto priemonės 17
2.3. Gatvės ir keliai 21
2.3.1. Sankryžos 25
2.3.2. Gatvių funkcijos eismo saugumo požiūriu 29
2.4. Eismo organizavimo, valdymo ir kontrolės priemonės 31
3. AVARINGŲ RUOŽŲ ANALIZĖS METODAI 34
4. EISMO REGULIAVIMO IR ORGANIZAVIMO PROBLEMOS KONKREČIOSE VILNIAUS VIETOSE 43
4.1. Šviesoforų išdėstymas ir reguliavimas 44
4.2. Matomumas 51
4.3. Vertikalūs kelių nelygumai 55
5. STABDYMO ĮKALNĖJE IR NUOKALNĖJE TYRIMAS 63
5.1. Tyrimo metodika 63
5.2. Tyrimo rezultatai 65
5.3. Įtaka eismo saugumui 70
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI 73
LITERATŪRA 74
PRIEDAI 77

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Pagrindinės Lietuvos institucijos, dalyvaujančios saugaus eismo užtikrinimo srityje 11
2 pav. Eismo įvykių priežastys 13
3 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal rūšis 2000–2010 m. 14
4 pav. Eismo įvykių kaltininkų grupės 2000–2010 m. 15
5 pav. Apžvalgos plotas priklausomai nuo važiavimo greičio 15
6 pav. Avaringumo priklausomybė nuo greičio pokyčio 16
7 pav. Transporto priemonių ir žuvusiųjų skaičius Lietuvoje 2000–2010 m. 18
8 pav. Saugios zonos dydis priklausomai nuo greičio 22
9 pav. Kreivių spindulių derinimas 23
10 pav. Incidentų dažnumo priklausomybė nuo kelio vingio spindulio 24
11 pav. Konfliktinių taškų skaičiai sankryžose 25
12 pav. Y formos sankryžos pakeitimas į T bei saugumo salelių įrengimas 26
13 pav. Žiedinės sankryžos su atskiromis eismo juostomis schema ir konkreti sankryža 27
14 pav. Saugios sankryžų pavyzdžiai užmiesčio keliuose 28
15 pav. Gatvių funkcinis pasiskirstymas 30
16 pav. Kelio ženklinimu siekiama mažinti greitį 31
17 pav. Kintamo greičio ribojimo sistema, kai duomenys siunčiami į eismo priežiūros skyrių 32
18 pav. Eismo įvykio įtakos zona 35
19 pav. „Juodųjų dėmių“ skaičiaus kitimas 2006–2011 metais 37
20 pav. Lietuvos „juodųjų dėmių“ žemėlapis (2010 m.) 38
21 pav. „Juodosios dėmės“ palydovinė nuotrauka 40
22 pav. Prognozuojamų avaringumo faktorių procentinis pasiskirstymas 41
23 pav. Avaringumo faktoriaus nustatymas „juodųjų dėmių“ skaičiuje 41
24 pav. Vilniaus miesto avaringiausios gatvės 43
25 pav. Avaringumo statistika Vilniaus m. sav. 2005–2010 m. 44
26 pav. Pagrindiniai ir papildomi transporto šviesoforai vienu metu rodo tą patį signalą 45
27 pav. Pagrindinių ir papildomų transporto šviesoforų signalai nesutampa: 46
28 pav. Transporto šviesoforų signalų nesuderinimas: 47
29 pav. Papildomų sekcijų naudojimas eismo kryptims reguliuoti 48
30 pav. Tinkamas šviesoforų naudojimas eismo kryptims reguliuoti 49
31 pav. Pėstiesiems ir transporto priemonėms leidžiama judėti vienu metu: 49
32 pav. Eismo dalyviams informacija ne visada pateikiama apgalvotai: 51
33 pav. Pėstieji Kalvarijų–Didlaukio gatvių sankryžos saugumo salelėje 52
34 pav. Pėsčiuosius užstojantys kelio ženklai 52
35 pav. Ištęsta saugumo salelė Asanavičiūtės–Kavoliuko g-vių sankryžoje 53
36 pav. Želdiniai šalia kelio dažnai apsunkina matomumą eismo dalyviams 54
37 pav. Gatvėje statomi automobiliai apsunkina matomumą 54
38 pav. Naujai įrengti šviesoforai tamsiuoju paros metu degantys per ryškiai 55
39 pav. Avaringumo koeficientai kelio nelygumų zonose 56

40 pav. Reikalingas sustojimo matomumas 56
41 pav. Nuokalne važiuojantį (a) ir stabdomą (b) automobilį veikiančios jėgos 59
42 pav. Lėtėjimo pagreičio skaičiavimo rezultatai, skaičiuojant skirtingomis formulėmis 60
43 pav. Kelio nuolydžio matavimo schema 63
44 pav. Prietaisas „XL Meter Pro“ bandymų metu automobilyje 64
45 pav. Stabdymų metu gauti lėtėjimo pagreičiai 66
46 pav. Prietaisu „XL Meter Pro“ gautas pagreitis išilgine ašimi kompiuterio ekrane 68
47 pav. Teorinės ir eksperimentiškai gautos lėtėjimo pagreičio kreivės 69
48 pav. Avaringa situacija reguliuojamoje sankryžoje 71

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Santykinės žūties rizikos priklausomybė nuo automobilio masės 19
2 lentelė. Faktoriai, turintys įtakos aktyviajam automobilio saugumui 20
3 lentelė. Minimalus ženklų matomumo atstumas 32
4 lentelė. „Juodųjų dėmių“ analizei pasirinkti avaringumo faktoriai 38
5 lentelė. Pagrindiniai reikalavimai transporto priemonių stabdžių sistemoms 61
6 lentelė. Ribiniai kelio išilginio profilio elementų dydžiai 62
7 lentelė. Tyrimo metu gautos lėtėjimo pagreičio reikšmės 67

SANTRUMPOS

KET – Kelių eismo taisyklės

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija

TKTI – Transporto ir kelių tyrimo institutas

AK – avaringumo koeficientas

AT – eismo įvykių tankis

JD – „juodoji dėmė“

ĮVADAS

Eismo įvykiai nuo pat automobilizacijos pradžios tapo labai svarbūs saugumo ir sveikatos požiūriu. Bendruomenių našta, susijusi su ekonominiu ir socialiniu nepasitenkinimu dėl kelių tinklo problemų, yra įvardijama kaip besiplečianti pasaulinė problema. Išskiriant kaip svarbią problemą, besitęsiančią jau keletą dešimtmečių, pasaulinės organizacijos inicijuoja tyrimų programas siekiant pagerinti saugumą keliuose. Šiomis programomis nustatoma daug faktorių, lemiančių susidūrimus ir susijusių su eismo įvykiais vienu ar keletu sistemos žmogus – automobilis – kelias – eismo aplinka komponentų. Transporto saugumo programos koncentruoja savo veiklą į šiuos eismo komponentus saugumo požiūriu.

Transporto inžinerijoje yra du pagrindiniai požiūriai sprendžiant saugumą keliuose: reaguojantysis ir iniciatyvusis. Reaguojantis arba tradicinis traktavimas yra nukreiptas į egzistuojančias eismo saugumo problemas. Nustatant avaringus ruožus, išsiskiriančius dažnesniais arba pavojingesniais susidūrimais, naudojami empiriniai ir mikro lygmenys (tam tikros atskiros vietos) susidūrimo prognozavimo modeliai. Po tyrimo nustatant charakteringas susidūrimo problemas, susidūrimo pasikeitimo faktorius ir naudos – pastangų lygį dar yra taikomas efektyvumo perskaičiavimas (Gordon ir Lovegrove 2007). Kol avaringų ruožų programos yra efektyviai taikomos, naujų inicijuojančių programų įtraukimas turi paskatinti tokių ruožų nustatymą dar prieš eismo įvykių atsiradimą ar padažnėjimą. Užuot siūlius tiesioginius sprendimo variantus, eismo saugumo specialistai koncentruojasi į išankstinį planavimą. Jų pagrindinis tikslas visais atžvilgiais įvertinant kiekvieną projektavimo etapą maksimaliai sumažinti riziką keliuose.

Susidūrimai keliuose, kai nukenčia žmonės, neįvyksta be priežasties arba nėra visiškai atsitiktiniai. Be to, didelė dalis eismo įvykių, kurie įvyksta tam tikroje vietoje ir panašiu laiko momentu, yra sistemingi ir naudojant patikimas eksperimentines priemones gali būti numatyti iš anksto. Tinkamai įvertinus ir panaudojus saugumo priemones dar planavimo etape galima išvengti skaudžių įvykių keliuose ir sutaupyti tolesnių jau nebereikalingų tyrimų ir veiksmų. Taigi savalaikis panaudojimas ir tolesnis saugumo priemonių tobulinimas yra tiesiausias kelias mažinant avaringumą keliuose. Tačiau realiame gyvenime dažnai susiduriame su jau egzistuojančiomis avaringumo problemomis.

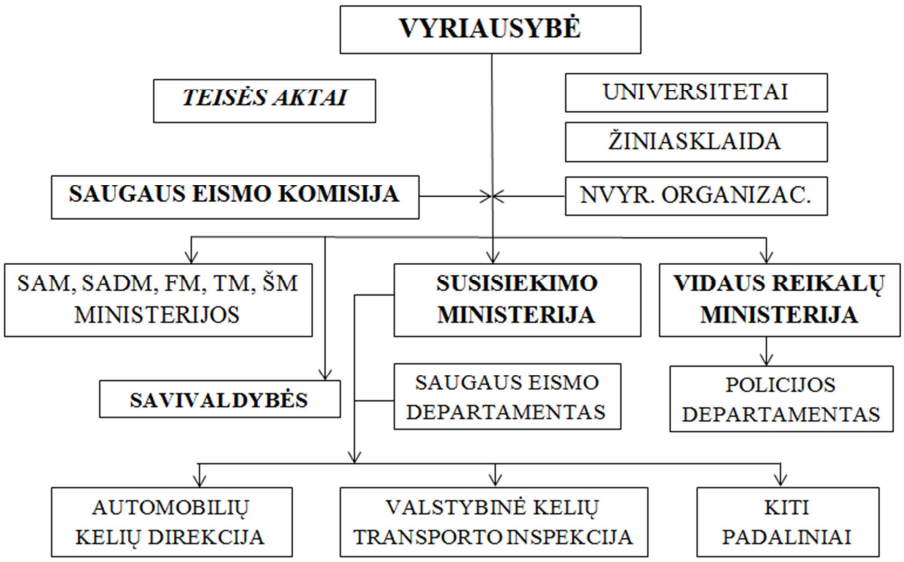
Integruojant Lietuvos kelių transportą į Europos sistemą, saugus eismas keliuose ir gatvėse tampa prioritetine sritimi, kuri yra sudedamoji šalies įsitvirtinimo Europos Sąjungoje dalis.

Lietuva saugaus eismo požiūriu yra didelės rizikos šalis, todėl saugiam eismui šalyje užtikrinti būtina imtis visokeriopų priemonių, kurių visuma leistų siekti, kad mūsų keliai ir transporto priemonės nereikalautų nekaltų aukų.

1. DABARTINĖ KELIŲ EISMO SAUGUMO SITUACIJA

Pasaulio valstybės daug dėmesio priverstos skirti eismo saugumo problemoms, nes žmonių žūtys ir sužeidimai keliuose kaskart atneša ne tik moralinį sukrėtimą, bet ir didelę žalą ekonomikai. Išsivysčiusiose šalyse nuolat vykdomos saugaus eismo programos, didelės lėšos investuojamos į kelių infrastruktūrą ir automobilių tobulinimą ir tai ilgainiui duoda teigiamą rezultatą, tačiau kelių tinklas plečiasi, automobilių pagaminama vis daugiau, jų dinaminės charakteristikos gerėja, todėl eismo saugumo situacija pasaulyje yra labai dinamiška. Tautų karai, ligos, gamtos kataklizmai pasiglemžia žmonių gyvybes, tačiau nelaimės keliuose yra nuolat vykstantis neigiamas reiškinys mūsų civilizuotame pasaulyje, kurio apimtys užgožia didžiąsias tautų nelaimes. Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis, apie 3000 žmonių kasdien žūsta eismo įvykiuose, o tai yra maždaug 1,3 milijono kasmet. Dar nuo 20 iki 50 milijonų yra sužalojami (Pasaulio sveikatos organizacijos 2010 m. duomenys).

Lietuvoje iki nepriklausomybės atkūrimo už saugų eismą buvo atsakinga Kelių policija. Vėliau 1994 m. saugaus eismo sistema buvo reorganizuota ir ši atsakomybė buvo perskirstyta. Dabartinė Lietuvos saugaus eismo sistema ir joje dalyvaujančios institucijos bei jų tarpusavio ryšiai pateikti 1 pav.



1 pav. Pagrindinės Lietuvos institucijos, dalyvaujančios saugaus eismo užtikrinimo srityje

Pagal institucijų, dalyvaujančių saugaus eismo užtikrinimo srityje, funkcijas ir tarpusavio ryšius galima teigti, kad Saugaus eismo programos rengėjai yra ir patys tos programos vykdytojai, t.y. patys rengia, koordinuoja ir kontroliuoja programos vykdymą. Pagal šią sistemą saugaus eismo tikslai gali būti ne pilnai pasiekti.

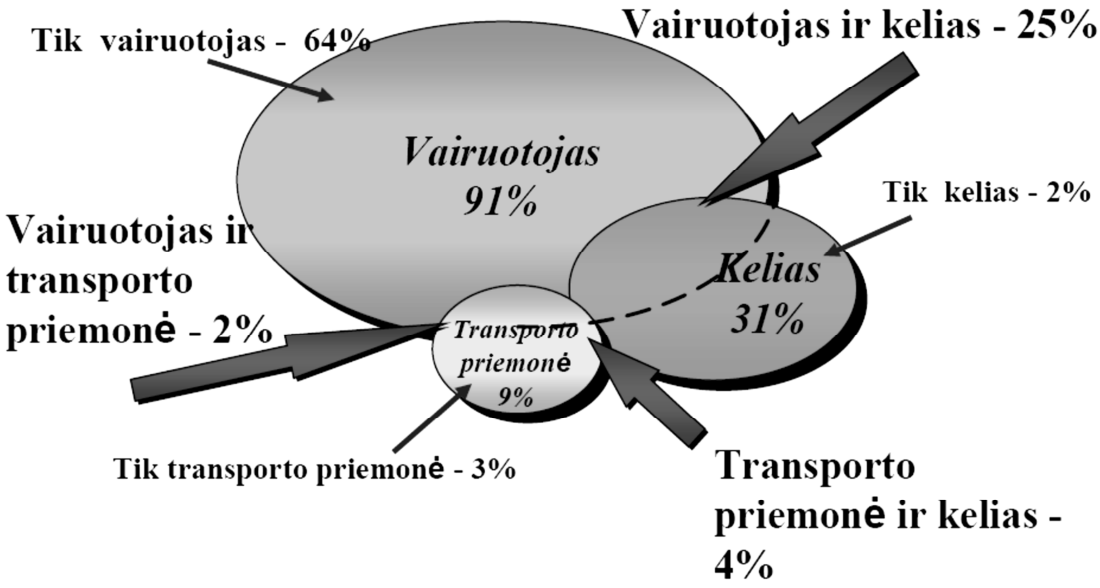
Dabartinėje 2011 – 2015 metų valstybės eismo saugumo programoje, kaip ir ankstesnėje 5-mečio programoje, pabrėžiamas eismo dalyvio, labiausiai įtakojančio avaringumą, vaidmuo. Dėl vis sudėtingesnių eismo sąlygų griežtėja ir egzaminai vairuotojo pažymėjimui gauti, nors žmonių įgūdžiai taip greitai netobulėja. Teisę vairuoti suteikiančių egzaminų išlaikančiųjų iš pirmo karto skaičius kasmet mažėja ir dėl to ne tik laikantieji egzaminą yra kalčiausi. Vairavimo mokyklos turi būti kontroliuojamos, kad kuo geriau paruoštų būsimus vairuotojus, o ne kad per kuo trumpesnį laiką uždirbtų pinigus ir paruoštų kandidatus laikyti vairavimo egzaminą.

Žala Lietuvos ekonomikai dėl eismo įvykių paskutiniais metais siekia apie 1,5 mlrd. litų (LAKD duomenys), o pagrindinės lėšos, siekiančios šimtus milijonų, eismo situacijai gerinti investuojamos kelių infrastruktūrai gerinti. Tačiau dažnai projektai vykdomi prieš tai neatlikus išsamių studijų arba įgyvendinami ne iki galo.

Tarp Europos šalių Lietuva pagal žuvusiųjų skaičių, tenkantį 1 mln. gyventojų 2009 m. buvo 22 vietoje iš 27 Europos Sąjungos valstybių (duomenys iš ETSC (angl. – European Transport Safety Council) pranešimo „4th Road Safety PIN Report“). Lietuvoje 2009 m. 1 mln. gyventojų teko 110 žuvusiųjų. Beje toks pat rodiklis buvo ir JAV (duomenys iš NHTSA (angl. – National Highway Traffic Safety Administration). Be to įskaitinių eismo įvykių Lietuvoje skaičius 2008 metais sumažėjęs net 25,6 %, 2010-aisiais mažėjo jau vos 5,3 %. Optimistiškai nuteikia tai, kad Lietuvai pavyko pasiekti 2003 m. spalio 24 d. Italijos mieste Veronoje kartu su 29 Europos valstybėmis užsibrėžtą tikslą – žuvusiųjų eismo įvykiuose skaičių iki 2010 m. sumažinti dvigubai. Nepaisant gerėjančios avaringumo statistikos, Lietuva dar smarkiai atsilieka nuo tokių valstybių kaip Švedija, Norvegija, Didžioji Britanija, Olandija. Šiose valstybėse nusistovėjęs kruopštus ir atsakingas kelių priežiūros institucijų darbas bei drausmingas vairuotojų elgesys prie vairo. Atsakomybė už saugumą keliuose yra bendra. Mažinant riziką keliuose reikalingas įsipareigojimas iš valdžios, pramonės šakų, nevyriausybinių organizacijų ir tarptautinių agentūrų lygiai taip, kaip kelių inžinierių, transporto priemonių kūrėjų, teisės gynėjų, pedagogų, sveikatos organizacijų atstovų ir bendruomenių (Peden 2004).

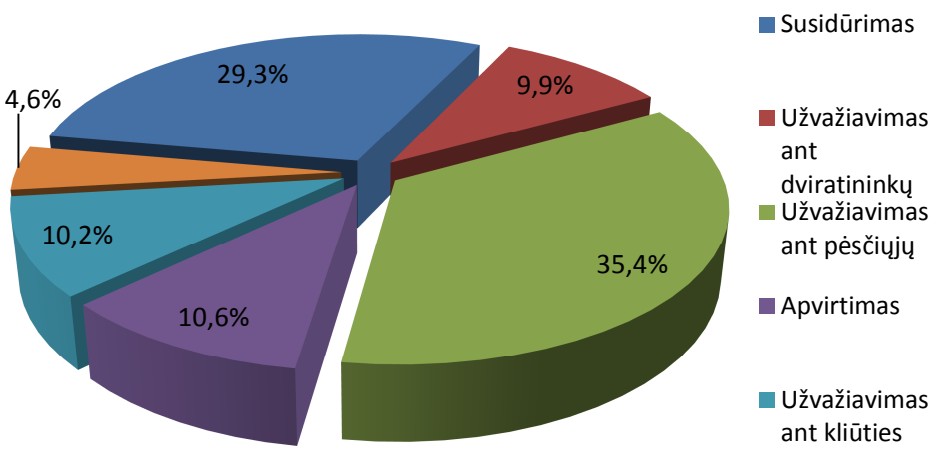
2. SAUGŲ EISMĄ LEMIANTYS VEIKSNIAI

Pasaulio Banko tyrimų duomenimis nustatyta, kad eismo įvykius didžiąja dalimi lemia žmogiškasis faktorius (vairuotojas), o eismo aplinka ir automobilis yra antrame plane (2 pav.). Tačiau išvada, kad keliai yra pakankamai saugūs ir nereikšmingi eismo saugumo požiūriu, yra neteisinga. Priešingai – tam tikros eismo dalyvių klaidos gali būti paskatintos aplinkos. Pavyzdžiui, greičio viršijimas visada siejamas su vairuotojo elgsena, tačiau daugeliu atvejų priežasčių galima rasti eismo aplinkoje. Gerinant eismo sąlygas galima sumažinti apie 20 % eismo įvykių keliuose, o aktyviai kontroliuojant transporto priemonių techninę būklę ir vairuotojų elgesį keliuose eismo įvykių skaičius dar labiau sumažėtų.



2 pav. Eismo įvykių priežastys

Pagal eismo įvykių rūšis dažniausiai pasitaikančios nelaimės – užvažiavimas ant pėsčiųjų ir transporto priemonių susidūrimai (3 pav.). Pėstieji yra mažiausiai apsaugota ir pažeidžiamiausia eismo dalyvių grupė, todėl svarbu sudaryti tinkamas ir saugias sąlygas jų judėjimui, rūpintis, kad jie būtų lengviau pastebimi ir didelį dėmesį skirti jaunųjų eismo dalyvių švietimui.



3 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal rūšis 2000–2010 m. (LAKD duomenys)

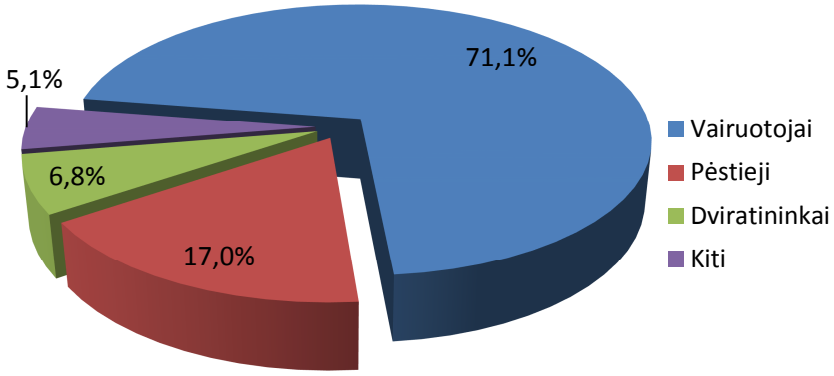
Norint tinkamai įvertinti objektų, dalyvaujančių eisme, reikšmę ir vaidmenį, svarbu atkreipti dėmesį į jų tarpusavio sąveiką. Eismo charakteristikos yra glaudžiai susijusios su jo sudedamųjų dalių savybėmis. Taigi bendru atveju yra išskiriami penki eismo sistemai svarbūs komponentai (Roger, Roess ir kt. 2004):

- Eismo dalyviai – vairuotojai, pėstieji, dviratininkai ir keleiviai.
- Transporto priemonės – lengvieji ir komerciniai automobiliai.
- Gatvės ir keliai.
- Eismo organizavimo, valdymo ir kontrolės priemonės.
- Aplinka.

Visų transporto sistemoje dirbančių specialistų tikslų įgyvendinimą apsunkina šių sudedamųjų elementų savybių įvairovė. Tiek žmonės, tiek automobiliai, tiek visa eismo aplinka tarpusavyje labai skiriasi, o keliamas tikslas vienas – visų jų darnus bendros sistemos veikimas.

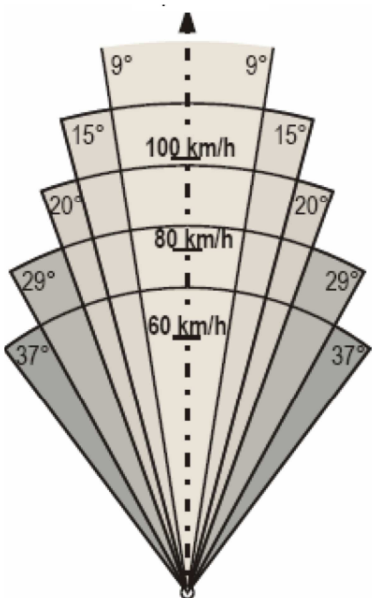
2.1. Eismo dalyviai

Žmonių asmeniniai gebėjimai, prioritetai ir patirtis turi didelę reikšmę dalyvaujant eisme. Asmenys, dalyvaujantys kelių eisme paprastai skirstomi į vairuotojus, pėsčiuosius, dviratininkus ir kitus šioms grupės nepriklausančius asmenis. Didžiausią dalį pagal eismo įvykių kaltę užima vairuotojai (4 pav.). Dažnos vairuotojų klaidos – tai greičio viršijimas, manevravimo ir kelių eismo taisyklių nesilaikymas, nesugebėjimas tinkamai įvertinti susidariusios situacijos ir kelio sąlygų, netinkami veiksmai vairuojant automobilį. Didelę įtaką daro vairavimas pavargus, išsiblaškymas ir alkoholis ar narkotikai.



4 pav. Eismo įvykių kaltininkų grupės 2000–2010 m. (LAKD duomenys)

Dvi pagrindinės eismo dalyvių savybės yra regėjimo aštrumas ir reakcija. Reakcija – tai laikas nuo to, kai informacija pasiekia žmogaus mąstymą iki konkrečių veiksmų, o regėjimas yra pagrindinis informacijos gavimo būdas, todėl šios savybės yra tarpusavyje susijusios. Eisme regėjimą galima sugretinti su judėjimo greičiu. Didėjant greičiui siaurėja apžvalgos plotas (5 pav.), keičiasi greičio ir atstumo suvokimas, o tai tiesiogiai įtakoja vairuotojo veiksmus ir jų pasekmes.

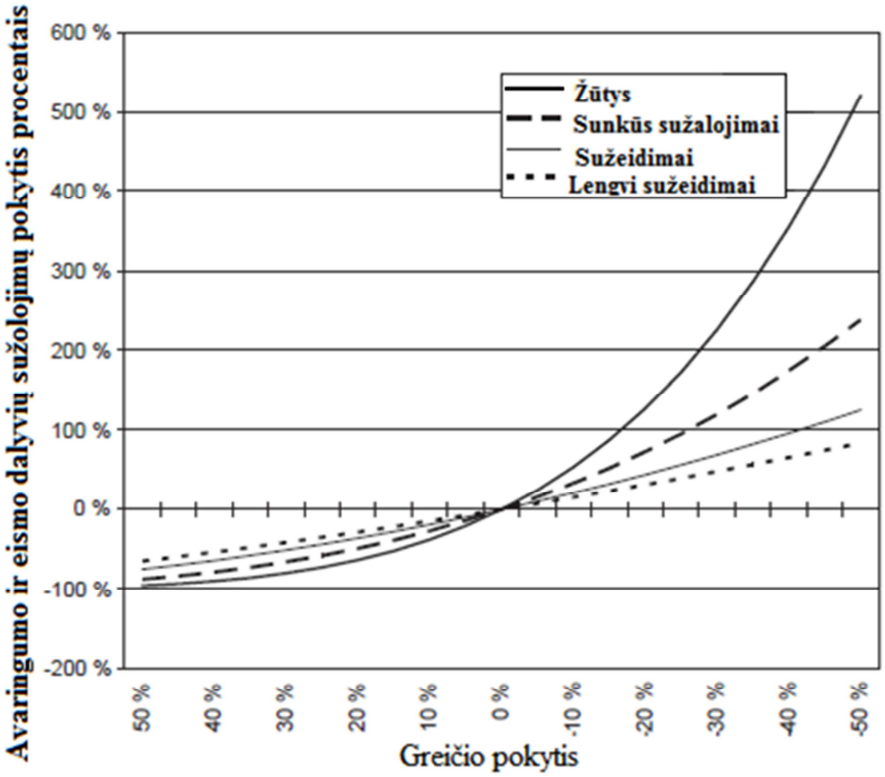


5 pav. Apžvalgos plotas priklausomai nuo važiavimo greičio

Taigi miestuose, kur greitis yra mažesnis, vairuotojams turi būti sudarytos sąlygos matyti važiuojamąją dalį pakankamai plačiu kampu. Svarbių kelio elementų, kaip pėsčiųjų perėjų, kelio ženklų, šviesoforų neturi užstoti kitos transporto priemonės, medžiai ar želdiniai. Svarbus yra

tinkamas judrių gatvių apšvietimas, neperkrautas ir aiškus kelio ženklų išdėstymas. Tada eismo dalyviai lengviau orientuosis, vyraus geresnis mikroklimatas ir bus laiku išvengta nelaimių.

Išskirtinę įtaką avaringumui turi saugaus greičio pasirinkimas. Didelis greitis arba dažnas ir staigus jo kitimas ženkliai padidina eismo įvykių tikimybę ir rimtus sužalojimus. Greičio ribojimo ir kontrolės priemonės yra kompromisas tarp poreikio laisvai judėti ir saugumo. Eismo įvykių priklausomybė pasikeitus važiavimo greičiui vaizduojama 6 paveiksle. Greičio pokytis didžiausią įtaką turi eismo dalyvių žūtims keliuose, o nedideliems eismo įvykiams poveikis gerokai mažesnis (Elvik 2009). Atliktais tyrimais nustatyta, kad Lietuvoje nuo 61 iki 75 procentų vairuotojų viršija greitį iki 20 km/h. Taigi leistino greičio ribos skiriasi nuo realaus šalies keliuose bei gatvėse naudojamo maksimalaus važiavimo greičio (Sadauskas, Pukalskas 2002).



6 pav. Avaringumo priklausomybė nuo greičio pokyčio

Eismo saugumui didelę reikšmę turi dalyvių amžius. Tai svarbu ir kalbant apie pėsčiuosius. Pagal amžių skiriasi jų savisaugos jausmas, atidumas, greitis (pavyzdžiui, einant per perėją), tarpusavio supratimas (Abou-Raya, Abd ElMeguid 2009). Eismo įvykio rizikos pokyčio kreivė priklausomai nuo vairuotojų amžiaus turi parabolės, nukreiptos į viršų, formą. Jaunų (iki

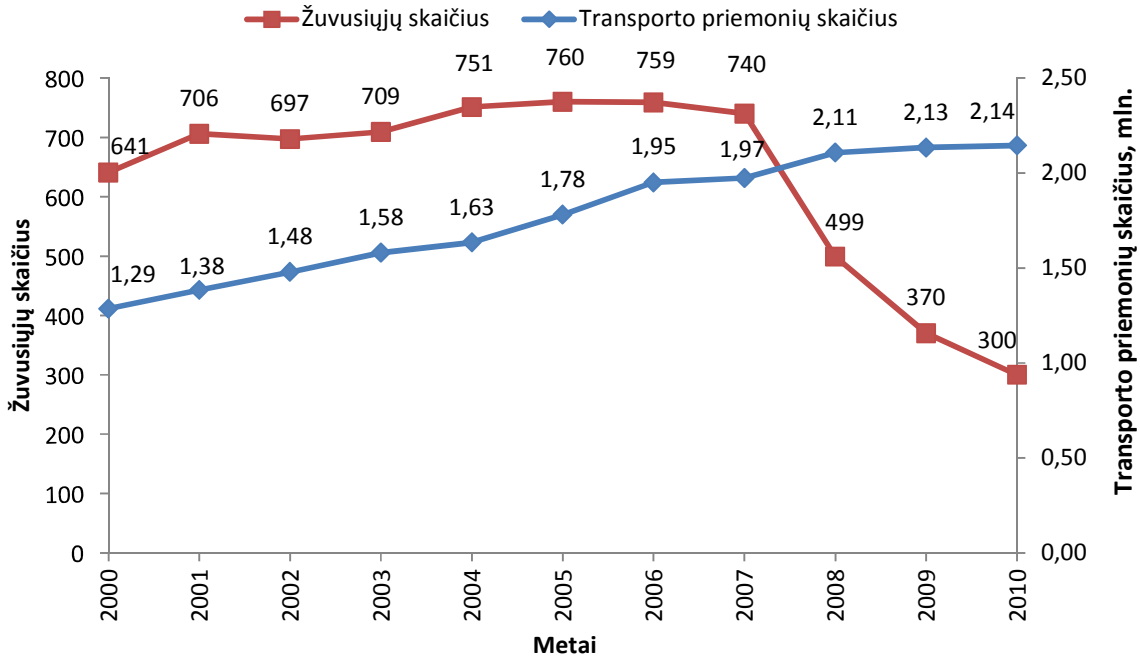
25 metų) ir pagyvenusių (po 65 metų) vairuotojų rizika didesnė. Išanalizavus avaringumo statistiką nustatyta, kad jaunų pradedančiųjų vairuotojų susidūrimo rizika apie 10 kartų didesnė lyginant su 40–50 metų amžiaus patyrusiais vairuotojais (Evans 2004).

Alkoholio (narkotikų) poveikis sąlygoja eismo įvykius dvejopai, tuo pačiu abu poveikiai papildo vienas kitą. Visų pirma, pablogėja žmogaus fiziologiniai rodikliai. Krinta matymo ryškumas, sulėtėja ir tampa mažiau tikslios kūno funkcijos. Antra, sumažėja dėmesys. Fiziologinių rodiklių pablogėjimas nėra problema, jeigu eismo dalyviai elgiasi dėmesingai. Tačiau alkoholis duoda atvirkštinį efektą. Jis sumažina dėmesingumą, padidindamas subjektyvų įsitikinimą, kad žmogus lengvai susitvarkys su saugaus eismo sunkumais.

Žmogus yra savarankiškai mąstanti būtybė, todėl būtina atkreipti dėmesį į jo psichinę – emocinę būklę. Veikiamas aplinkos ir apimtas emocijų gali kelti didelę grėsmę ne tik sau, bet ir kitiems eismo dalyviams (Fastenmeier, Gstalter 2006). Kalbant apie žmogaus mąstymą, svarbu paminėti, kad visi eismo dalyviai išmanytų Kelių eismo taisykles ir vieningai jomis vadovautųsi.

2.2. Transporto priemonės

Nors bendras dėl transporto priemonių įvykstančių eismo įvykių skaičius siekia iki 9%, tačiau jų neišvengiamas dalyvavimas eisme sąlygoja beveik absoliučiai visas nelaimes keliuose. Eismo intensyvumas keliuose kinta proporcingai šalies ekonomikos raidai. Pakilimo metu auga pragyvenimo lygis, plečiasi tarptautiniai ir vietiniai ekonominiai ryšiai, didėja tranzitinio transporto srautas, kyla automobilizacijos lygis, o tai skatina eismo intensyvumo augimą. Lietuvoje dėl ekonominio sunkmečio pastaraisiais metais eismo intensyvumas stabilizavosi. Transporto priemonių ir žuvusiųjų skaičiaus kitimas Lietuvoje vaizduojamas 7 paveiksle.



7 pav. Transporto priemonių ir žuvusiųjų skaičius Lietuvoje 2000–2010 m. (LAKD duomenys)

Transporto priemones galima skirstyti pagal jų tipą, paskirtį, technines charakteristikas, tačiau eismo saugumo pobūdžiu yra vertinamos šios pagrindinės savybės:

- Stabdymo efektyvumas.
- Automobilio masė.
- Dinamiškumas.
- Bendra techninė būklė.
- Kitos aktyvios ir pasyvios saugos priemonės.

Sustojimo kelias – tai kelias, kurį automobilis nuvažiuoja nuo to momento, kai vairuotojas pamato kliūtį iki visiško sustojimo. Todėl stabdymo efektyvumas – tai ne tik techniškai tvarkinga ir moderni stabdžių sistema, bet ir vairuotojo savalaikis pavojaus identifikavimas (rega, klausa) bei greita reakcija. Stabdymo efektyvumas taip pat priklauso nuo:

- kelio dangos ir meteorologinių sąlygų (sukibimo koeficiento) – tada ypač svarbu pasirinktos tinkamos padangos;
- automobilio krovumo – ar masė neviršija leistinosios;
- vairuotojo įgūdžių.

Apie automobilio masės ir saugumo priklausomybę Evanso teorija teigia, kad rizika mirtinai susižaloti eismo įvykyje sumažėja maždaug du kartus kiekvieniems 800 kilogramų papildomos automobilio masės. Automobilio masės ir rizikos žūti eismo įvykyje su lengvuoju automobiliu santykis pateiktas 1 lentelėje. Įvykus eismo įvykiui lengvasis automobilis apsaugo vairuotoją ir keleivį žymiai geriau, negu, pavyzdžiui motociklas arba drabužiai. Savo ruožtu, didelis lengvasis automobilis apsaugo vairuotoją ir keleivius geriau, negu mažesnių gabaritų lengvasis automobilis.

1 lentelė. Santykinės žūties rizikos priklausomybė nuo automobilio masės

Automobilio masė (kg)	**Santykinė žūties rizika**
2400	1,0
1600	2,0
800	4,0

Reikia atkreipti dėmesį, kad tai yra žūties rizika jau įvykusiame eismo įvykyje, o ne rizika pakliūti į eismo įvykį su mirtinom pasekmėm.

Automobilio dinamiškumas gali būti prilyginamas variklio galingumui. Automobiliai su galingesniais varikliais ir geresnėmis dinaminėmis charakteristikomis dažniau pakliūna į eismo įvykius (kilometrui kelio). Pasirinktas nesaugus greitis yra viena iš dažniausių avaringumo priežasčių, todėl su ja kovojama įvairiomis priemonėmis. Automobilių spidometrai yra sureguliuoti taip, kad esant vis didesniam greičiui, realus greitis yra mažesnis nei rodomas prietaisų skydelyje, nors praktikoje pasitaiko sutrikimų ir šiose sistemose (Nagurnas, Garbinčius 2011). Gamintojai įrengia greičio ribotuvus, naujausi modeliai turi modernias greičio atpažinimo sistemas, nuolat tobulinama automobilio pakaba gerinant stabilumą važiuojant didesniu greičiu ir posūkiuose. Vis dėl to per didelis greitis nėra neigiama automobilio savybė, tą dažniausiai lemia žmogiškasis faktorius.

Bendra techninė būklė lemia darnų automobilio sistemų darbą. Ji kontroliuojama privaloma periodine technine apžiūra. JAV atlikti bandymai parodė, kad rizika pakliūti į eismo įvykį sunkvežimiams su techniniais gedimais 60–70 % didesnė, negu sunkvežimiams be techninių gedimų. Kiti tyrimų rezultatai rodo, kad techninė transporto priemonių būklė po apžiūros maždaug pusmetį išlieka beveik nepakitusi, o po metų saugumo laipsnis sumažėja iki 40 %, palyginti su būkle po techninės apžiūros (Jurkauskas 2001). Tačiau periodinė techninė apžiūra dažnai neįvertina visų automobilio saugumo priemonių, todėl vairuotojai privalo patys tuo

rūpintis. Servisuose turi plačiau taikyti kompiuterinės automobilio saugumo sistemų diagnostikos paslaugas.

Dėl saugaus automobilio eismo skiriamos šios priemonės:

- aktyvusis saugumas, t.y. nelaimingų atsitikimų prevencija;
- pasyvusis saugumas, t.y. nelaimingų atsitikimų pasekmių sumažinimas.

Kiekviena aktyviojo saugumo sritis yra veikiama tam tikrų faktorių (2 lentelė).

2 lentelė. Faktoriai lemiantys aktyvią automobilio saugą

Sritis	**Įtakos faktoriai**
Važiavimo saugumas	Ratų pakaba, stabdžiai (pvz., ABS), variklio galingumas, vairavimo sistema, padangos
Saugumo jausmas	Matomumas, kėbulo matomumas, šviesos signalų įrenginys, saugi dažų spalva
Valdymo saugumas	Geras prieinamumas prie valdymo elementų (ergonomika), signalų vienareikšmiškumas, patikimumas
Saugumo kokybės stabilumas	Patogi sėdynė, maloni temperatūra, gryno oro tiekimas, gera izoliacija

(Gerigh ir kt. 2006)

Pasyvusis saugumas gali būti:

- išorinis – automobilyje neturi būti aštrių kampų, kėbule turi būti sritys, priimančios smūgio energiją, tinkama ratų padėtis kitų eismo dalyvių atžvilgiu;
- vidinis – automobilyje nelaimės atveju turi būti išlaikoma kuo saugesnė keleivio vieta (saugos diržai, oro pagalvės, saugus vairo mechanizmas), apsauga nuo gaisro ir nuo šoninio smūgio, smūgio amortizacijos sistemos.

Taigi, visų eismo dalyvių saugumas turi būti vienas svarbiausių automobilių gamintojų prioritetų. Kuriant automobilius, daug dėmesio skiriama ne tik vairuotojo ir keleivių, bet ir pėsčiųjų bei kitų eismo dalyvių saugumui, nes dabartiniai automobiliai turi atitikti griežtus saugumo reikalavimus (pvz. Euro–NCAP[1]).

[1] Euro-NCAP (angl. „European New Car Assessment Programme“) - organizacija, kuri atlieka aukšto lygio nepriklausomus saugos testus populiariausiems Europoje parduodamiems automobiliams ir pateikia vartotojams tikslią ir bešališką informaciją.

2.3. Gatvės ir keliai

Daug automobilių turinčiose šalyse, keliai, priklausomai nuo reljefo, eismo reguliavimo tipo ir priemonių bei kelių išsidėstymo, išskiriami į atskirus tipus: automagistralės ir greitkeliai, rajoniniai, krašto bei miesto keliai. Automagistralėse siekiama užtikrinti maksimaliai saugų eismą. Jos turi ne mažiau kaip dvi eismo juostas viena kryptimi, reguliuojamus privažiavimus, skiriamąsias juostas, apsauginius barjerus. Šie keliai neturi vieno lygio sankryžų su kitais keliais. Pėstieji, dviratininkai ir traktoriai neturi galimybės judėti automagistralėmis. Lietuvoje gyvenamosiose teritorijose dėl didesnio eismo intensyvumo įvyksta per 61 % įskaitinių eismo įvykių. Miestuose ir gyvenvietėse važiuojama lėčiau, todėl juose įvykusių eismo įvykių pasekmės ne tokios skaudžios – žuvusiųjų skaičius šiose vietose sudaro apie 24 % visų eismo dalyvių keliuose.

Keliai yra pagrindinis eismo sistemos komponentas ir jų struktūros specifika daro didelę įtaką visos transporto sistemos veikimui. Gatvėms ir keliams yra keliami du pagrindiniai tikslai:

- prieinamumas;
- paslankumas.

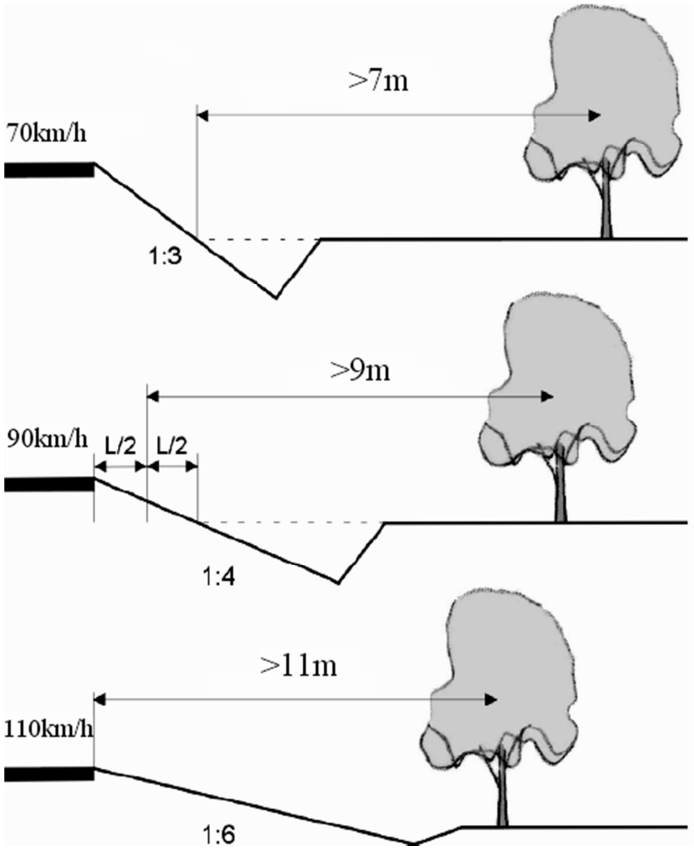
Siekiant įgyvendinti šiuos tikslus eismo saugumas turi užimti išskirtinę vietą, priešingu atveju visi sistemos privalumai įgaus neigiamą reikšmę. Prieinamumas siejamas su šalia gyvenančių žmonių patogumu. Toks kelių prieinamumas įgyvendinamas pritaikant kelių tinklą, įrengiant automobilių stovėjimo vietas, autobusų, taksi sustojimus. Paslankumas išreiškiamas žmonių, krovinių ir automobilių suteikta judėjimo galimybe iš taško A į tašką B bendroje eismo sistemoje.

Užmiesčių keliai turi būti labiau pritaikyti didesniems greičiams, čia keliai paprastai mažiau apkrauti nei miestuose, tačiau eismo įvykių pasekmės būna gerokai skaudesnės. Pagrindiniai užmiesčio kelių faktoriai lemiantys didesnį avaringumą yra:

- kelio ir pakelių būklė
- kelių vingiai;
- įkalnės ir nuokalnės;
- sankryžos.

Kelio paviršiaus ir pakelių būklė turi įtakos viso kelio bendram saugumui. Tam tikslui: gerinama kelių danga, prižiūrimi kelkraščiai, įrengiami apsauginiai barjerai, apsauginės tvoros

nuo žvėrių, kelio ribas žymintys signaliniai stulpeliai, pjaunami pakelės medžiai ir krūmai, kasami nuožulnūs pakelės šlaitai (Perez 2005). Taigi keliai ir pakelės reikalauja nuolatinės priežiūros, darbuotojų ir technikos išteklių. Saugumo zonos dydis priklausomai nuo važiavimo greičio vaizduojamas 8 paveiksle. Per arti augantys pakelės medžiai ne tik kelia pavojų atsitrenkus eismo įvykio metu, bet ir sumažina matomumą.



8 pav. Saugios zonos dydis priklausomai nuo greičio

Transporto priemonė, judėdama kelio vingyje, yra veikiama išcentrinės jėgos. Šis poveikis yra mažinamas skersine trintimi tarp padangų ir kelio paviršiaus bei kelio profilio pasvirimu. Automobiliai, kurių masių centras yra pakankamai aukštai, linkę apvirsti judant kelio vingyje, todėl svarbu pasirinkti saugų greitį ir tinkamą važiavimo trajektoriją (Yingxue 2009). Kelio vingis skaičiuojamas pagal šią formulę:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127(e+f)}; \qquad (1)$$

čia: $R_{\min}$ – minimalus kelio vingio spindulys, m;

v – greitis, km/h;

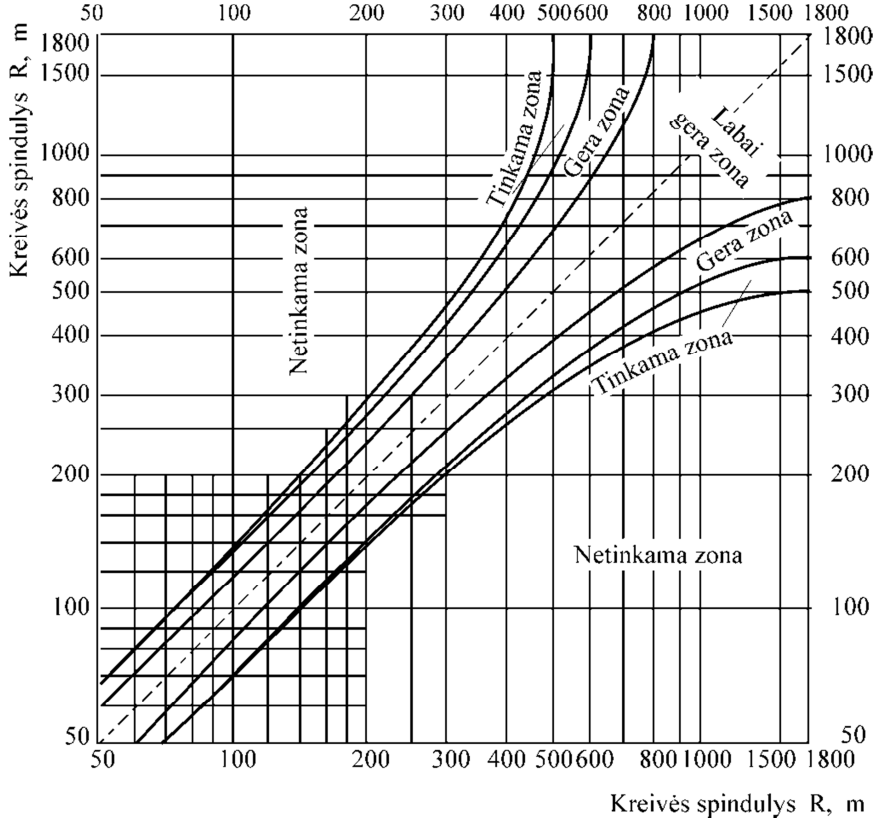
e – kelio profilio pasvirimas, m/m;

f – trinties koeficientas.

Minimalus kelio vingio spindulys projektuojamas nuo 100 m, kur greitis turi būti apie 50 km/h, iki 500 m 100 km/h greičiui. Skaičiuojant spindulius naudojamos pakankamai mažos trinties koeficientų reikšmės, kad:

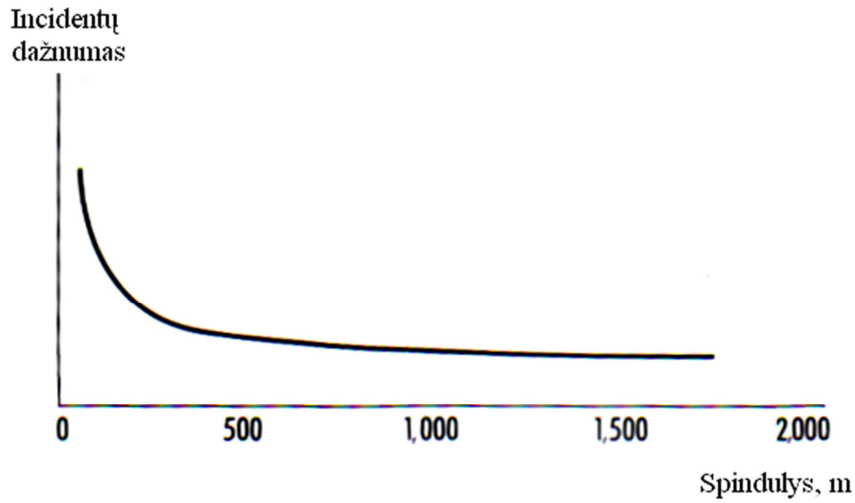
- įvertinti važiavimą sudėtingomis sąlygomis (slidi kelio danga, mažas padangų rašto gylis);
- išvengti svarbaus stabdymo kelio didėjimo kelio vingyje;
- suteikti vairuotojui ir keleiviams pakankamą komforto lygį.

Kelio gretimų kreivių spinduliai turi būti tarpusavyje suderinti (9 pav.). Mažiausius apskritiminių kreivių spindulius reikia parinkti atsižvelgiant į projektinį greitį, važiuojamosios dalies skersinius nuolydžius ir jungiamų tiesių ilgius.



9 pav. Kreivių spindulių derinimas

Saugumas taip pat priklauso nuo tiesaus kelio ilgio tarp kelių vingių, kelio pločio, tačiau labai tiesus ir per platus kelias gali skatinti važiuoti pernelyg greitai (Zhu, Xu, Yan 2001). Dažnai siekiant sumažinti transporto priemonių važiavimo greitį įvažiuojant į mažesnio greičio zoną arba palaikyti leistinąjį greitį naudojamas važiuojamosios dalies iškreivinimas (Inžinerinių eismo saugumo priemonių projektavimo ir naudojimo rekomendacijos RESP 09). Tokie iškreivinimai taikomi įvažiuojant iš užmiesčio kelio į gyvenamąją teritoriją ir gyvenvietėse: ties pėsčiųjų perėjomis, sankryžų zonose, ilguose tiesiuose ruožuose. Užmiesčio keliuose pastebima priklausomybė tarp eismo įvykių dažnumo ir kelio vingių didumo, tai vaizduojama 10 paveiksle.



10 pav. Incidentų dažnumo priklausomybė nuo kelio vingio spindulio

Suprantama, kad avaringumas lygiuose keliuose ir kalnuotose vietose smarkiai skiriasi. Šios kelio charakteristikos ypač reikšmingos krovininiams automobiliams, nes stati įkalnė arba nuokalnė gali smarkiai paveikti pakrauto automobilio valdymą, atsiranda nepageidautinas papildomas teigiamas arba neigiamas pagreitis. Ištirta, kad avaringumo tikimybė didėja kelio nuolydžiui viršijus 1,6 %. Nuokalnė paprastai yra pavojingesnė, nes transporto priemonė linkusi greitėti, atsiranda greičio skirtumai tarp sunkvežimių ir lengvųjų automobilių, sukibimas su keliu leidžiantis yra mažesnis, nors matomumas išlieka geras. Esant 10 % nuokalnei, stabdymo kelias nuo pradinio 100 km/h greičio (trinties koeficientas 0,28, reakcijos laikas 2,5 s) padidėja 37 % (tai sudaro 78 m) lyginant su lygiu keliu. Todėl turi būti ribojamas greitis, įrengiami kelio barjerai, projektuojami tiltai, tuneliai ir prižiūrima kelio danga žiemą.

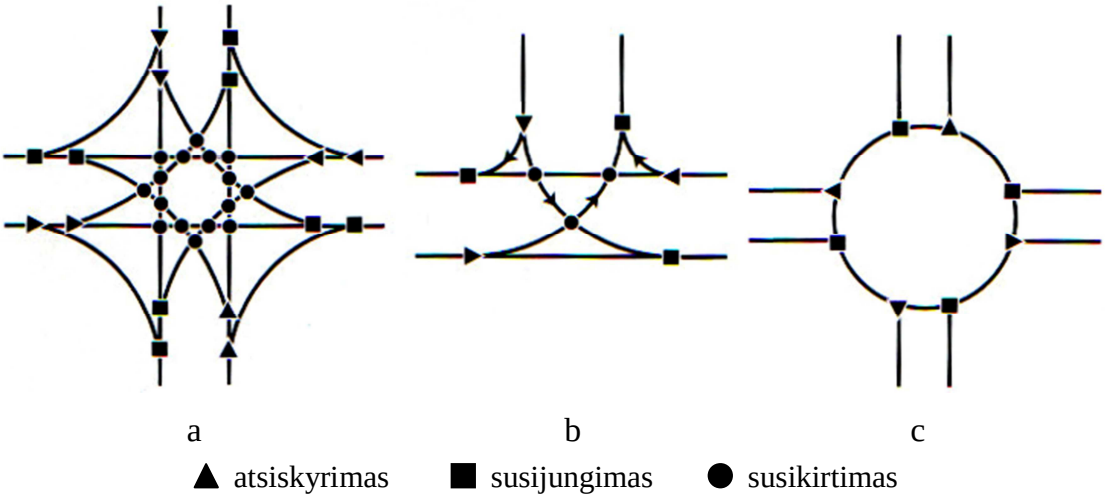
2.3.1. Sankryžos

Sankryža – tai kelių kirtimosi, jungimosi arba atsišakojimo vieta, įskaitant atvirus plotus, kuriuos sudaro minėti kelių susikirtimai, susijungimai arba atsišakojimai (KET). Būna vieno ir skirtingo lygio sankryžos, kuriose atitinkamai eismo srautai tiesiogiai gali kirstis arba ne. Esant didesniems transporto srautams ir greičiams arba netinkamam eismo organizavimui net ir nereikšminga sankryža gali būti pavojinga. Privažiavus kelių susikirtimą yra svarbus pakankamas matomumas, kad laiku pastebėti kliūtis ir suspėti netrukdant įsilieti į transporto srautą.

Skirtingi kelių tipai ir jų eismo aplinkos, sudarantys bendrą tinklą, turi skirtingus saugumo lygius. Pavyzdžiui, eismo įvykių dažnis yra gerokai didesnis keturšalėse sankryžose nei T formos, kur yra skaičiuojama mažiau konfliktinių taškų (11 pav.). Dėl to skirtingos vietos gali turėti tokį patį autoįvykių skaičių, bet skirtingas galimybes jiems sumažinti. Identifikavimo stadijoje siekiama nustatyti tokias vietas, kur yra padidėjusi įvykių koncentracija ir kelių saugumo specialistų dėka tai gali būti sumažinta. Kaip matosi 11 paveiksle, konfliktinių taškų skaičius priklauso nuo sankryžos tipo ir susikertančių kelių skaičiaus (Road Safety Manual 2003).

Kampai, kuriems esant susidūrimų tikimybė gali gerokai sumažėti:

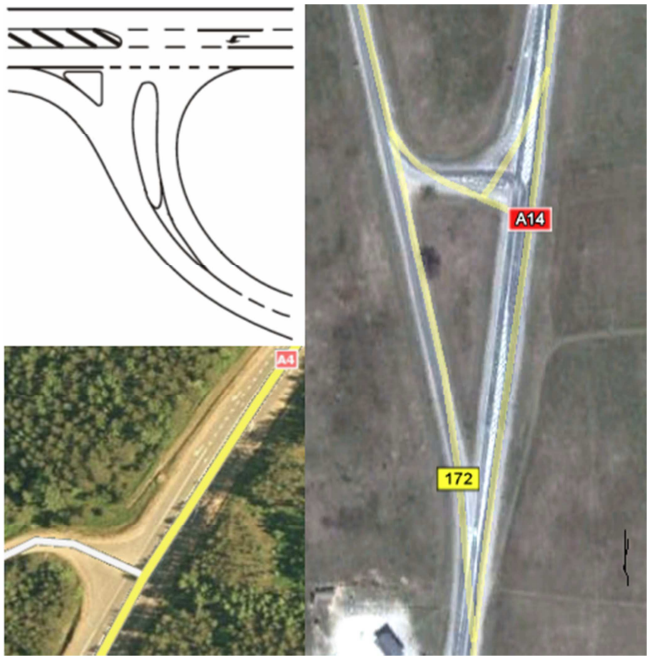
- Kampai tarp atsiskyrimo ir susijungimo turi būti labai maži (iki $5°$), todėl reikalingos greitėjimo ir lėtėjimo juostos.
- Susikertančioms trajektorijoms kampai turi būti kiek galima statesni ($75° - 105°$). Taip pagerėja matomumas ir greičio įvertinimas bei sutrumpinama kirtimosi atkarpa.
- Įsiterpimo manevrui kampas tarp trajektorijų reguliuoja greitį ir turėtų būti apie $20° - 60°$.



11 pav. Konfliktinių taškų skaičiai sankryžose:
a. keturšalė sankryža – 32, **b.** T formos sankryža – 9, **c.** žiedinė sankryža – 8

Siekiant pagerinti sankryžų saugumą ir pralaidumą, atsižvelgiant į apkrovimą ir kitus parametrus, didelis dėmesys skiriamas sankryžos projektavimui arba rekonstruojamos jau egzistuojančios sankryžos:

- Y formos sankryžos keičiamos į T formos sankryžas (12 pav.). Taip pagerinamas matomumas sankryžoje, vairuotojui lengviau apžvelgti kertamą kelią, įrengtos saugumo salelės, kuriomis atskiri priešingų krypčių transporto srautai, mažinamas greitis.

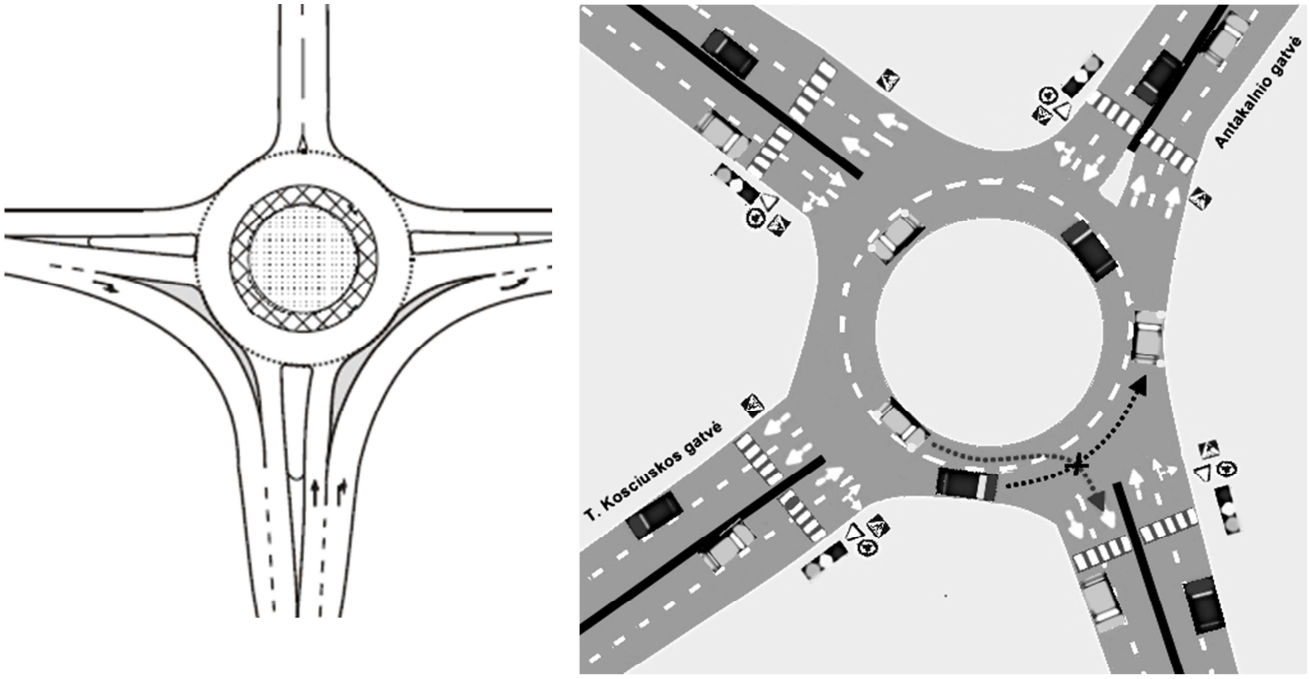


12 pav. Y formos sankryžos pakeitimas į T bei saugumo salelių įrengimas, vaizdas konkrečiuose keliuose

- Keturšalės sankryžos transformuojamos į žiedines (13 pav.). Žiedinė sankryža pagal suskaičiuojamus konfliktinius taškus yra pati saugiausia (11 pav.).

Ekspertai pabrėžia, kad reikėtų nepainioti senų ir šiuolaikinių žiedinių sankryžų. Anksčiau statyti žiedai yra platūs (nuo 90 iki 300 metrų skersmens), į juos automobiliai įvažiuoja bei išvažiuoja smailiu kampu, todėl jų pasiekiamas greitis gerokai didesnis – net iki 70 km/h. Moderniuose žieduose eismas organizuojamas kitaip. Tyrimais Švedijoje buvo nustatyta, kad įrengus žiedinę sankryžą eismo įvykių rizika sumažėja 44 % (Hyden, Varhelyi 1999). Dabartiniai žiedai yra ne tokie platūs (nuo 16 iki 60 metrų skersmens), į juos automobiliai įvažiuoja kiek įmanoma statesniu kampu, o ir jų greitis gerokai mažesnis – nuo 18 iki 30 km/h, todėl žiedinės

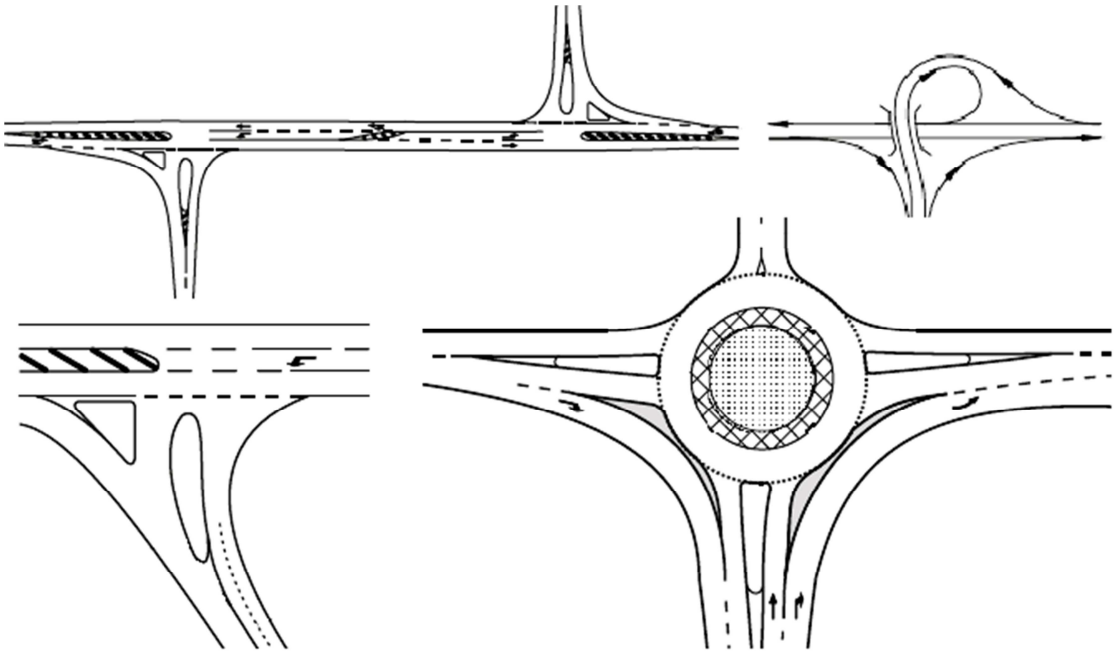
sankryžos yra saugiausios vieno lygio sankryžos (Brabander, Vereeck 2007). Be to tyrimai patvirtina, kad modernų žiedą per valandą gali įveikti net apie 1500–2000 automobilių.



13 pav. Žiedinės sankryžos su atskiromis eismo juostomis schema ir konkreti sankryža

13 paveiksle pateikta konkreti žiedinės sankryža Vilniuje (Olandų–Antakalnio gatvių susikirtimas). Ši sankryža yra labai apkrauta, o eismo organizavimas buvo keletą kartų keičiamas, tačiau problemų visiškai išvengti nepavyko. Reikia įvertinti, kad žiedinė sankryža – tai tarsi keturios mažos atskiros sankryžėlės, kurias reikia saugiai įveikti. Beje, Lietuvoje beveik visose žiedinėse sankryžose pagrindinis kelias eina ratu, o kairė sankryžos juosta skirta važiuoti aplink. Vairuotojams norint išvažiuoti iš sankryžos vidurinę juostą reikia užsiimti iš anksto, sukant paskutinę akimirką dažnai sudaroma avaringa situacija. Dešinė kraštinė juosta paprastai skirta įveikti vieną sankryžos atkarpą, ja negalima važiuoti ratu. Persirikiuoti galima tol, kol leidžia ženklai ar kelio žymos – linijos ir rodyklės.

Užmiesčio keliuose, esant didesniems greičiams, net ir nereikšminga sankryža gali būti pavojinga. Privažiavus kelių susikirtimą yra svarbus pakankamas matomumas, kad laiku pastebėti kliūtis ir suspėti netrukdant įsilieti į transporto srautą. Šiam tikslui Y formos sankryžos keičiamos į T formos, įrengiamos saugumo salelės, keturšalės sankryžos transformuojamos į žiedines (14 pav.). Didesnės reikšmės keliuose statomos dviejų ar daugiau lygių sankryžos.



14 pav. Saugių sankryžų pavyzdžiai užmiesčio keliuose

Dėl tankesnės transporto srautų koncentracijos būtina atkreipti išskirtinį dėmesį į miestų eismo sistemas. Miestuose gausu sankryžų, įvažiavimų į kiemus ir aikšteles, pėsčiųjų perėjų. Šių ir kitų papildomų komponentų veikimas urbanizuotose teritorijose sąlygoja didelę saugumo riziką.

Transporto mazgai eismo laidumo ir pavojingumo požiūriu yra svarbiausias elementas miesto gatvių tinkle. Mažinant avaringumą ir tobulinant eismo organizavimą, kartu didinant gatvių tinklo laidumą, taikomi tokie sprendimai (Paliulis 2007):

- kairiųjų posūkių draudimas sankryžoje;
- vienpusio eismo įvedimas gatvėse;
- automobilių sustojimo gatvėse, prieigose ribojimas;
- transporto srautų paskirstymas;
- viešojo transporto juostų ir prioritetinės šviesoforinės signalizacijos įrengimas;
- prioritetinių sąlygų pėsčiųjų ir dviračių eismui sudarymas;
- eismo sąlygų ribojimas ir apsunkinimas tam tikrose miesto dalyse (senamiesčiai ir pan.);
- dalinis gatvių uždarymas, įvedant kilpinį–labirintinį įvažiavimą.

Sankryžos yra saugesnės ir geresnės, jei jos visos arba atskiros jų zonos:

- laiku pastebimos;
- apžvelgiamos;

- suprantamos;
- pakankamai patogios važiuoti.

Jeigu neišpildomos šios sąlygos, eismo dalyvis elgsis skubotai arba pernelyg lėtai ir ne visiškai apdairiai. Didesnė tikimybė, kad jis nepastebės netikėtai atsiradusios kliūties arba atlikdamas manevrą kliudys kitiems, taip sutrikdant transporto srautų judėjimą.

2.3.2. Gatvių funkcijos eismo saugumo požiūriu

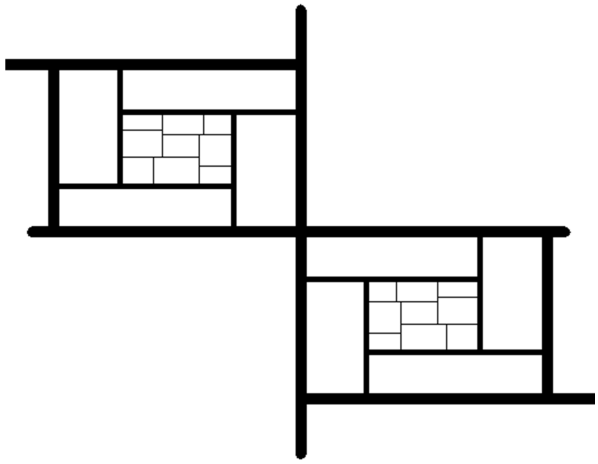
Lietuvos infrastruktūra, ypač miestuose, netenkina smarkiai padidėjusių kelių eismo srautų, nes 1980–1990 metais planuojant miestų gatves bei transporto statinius buvo orientuojamasi į tuometinį automobilizacijos lygį miestuose. Tuo metu buvo manoma, kad automobilizacijos lygis, kai 1000 gyventojų tenka 180 individualių automobilių, bus pasiektas tik apie 2005 metus. Tačiau per pastaruosius 20 metų transporto priemonių skaičius sparčiai augo ir 2010 metais pasiekė 2 144 584 vienetus (VĮ „Regitra“ duomenys). Taigi didėjant automobilių skaičiui gatvės ir keliai labiau apkraunami ir saugaus eismo problemos tampa vis aktualesnės.

Sprendžiant tam tikros kelio atkarpos ar sankryžos avaringumą įvairių saugumo priemonių panaudojimas negali visiškai panaikinti esamos problemos. Tam trukdo kelių tinklo funkcijų ir eismo organizavimo nesuderinimas. Marshall ir Garrich atliktas tyrimas Kalifornijos valstijoje (JAV) 24 miestuose parodė, kad žemesnio lygio sankryžose ar nuovažose bei arčiau miesto centro įvyksta daugiau eismo įvykių, tačiau pasekmės būna švelnesnės. Šiose zonose būna daug pėsčiųjų, dviratininkų ir išlieka tranzitinio transporto srautai. Siekiant mažinti avaringumą aukštesnio lygio keliuose, kur vyrauja didesnis važiavimo greitis ir eismo intensyvumas, reikia mažinti sankryžų skaičių paliekant tik pagrindines. Dėl to padaugės sankryžų žemesnio lygio gatvėse, tai paskatins mažesnį važiavimo greitį ir saugesnę aplinką visiems eismo dalyviams. Atskiriant transporto srautus pagal jiems būdingas judėjimo charakteristikas stabilizuojasi eismo aplinka, rečiau susidaro avaringos situacijos.

Vilniuje dažnai pagrindinė gatvė, kuri ne tik apkrauta dideliu vietinio transporto srautu, bet ir atlieka tranzito funkciją, driekiasi per gyvenamųjų namų teritoriją. Aišku, kad tokioje gatvėje yra padidėjęs avaringumas, nes ją dažnai kirsti priversti čia pat gyvenantys pėstieji arba yra daug įvažiavimų tiesiai iš kiemų teritorijos. Šiuo atveju susiduriama su dideliu judėjimo greičių ir transporto rūšių skirtumu.

Siekiant atskirti transporto srautus miestų išorinėse dalyse tiesiami aplinkkeliai, tačiau ilgai, dažnai keliais etapais trunkantys darbai tik palaipsniui mažina avaringumą, o kartais jį ir

padidina. Nesuderinti gatvių lygiai ypač pasijuto atidarius Vilniaus miesto vakarinio aplinkkelio 1-ojo etapo ruožą. Šešių eismo juostų kelias, kuriame leidžiamas 80 km/h greitis staiga pasibaigia, o toliau greitis ribojamas iki 40 km/h ir eismas tęsiasi tarp daugiabučių vingiuojančia L. Asanavičiūtės gatve. Pastaroje gatvėje 600 automobilių per parą padidėjęs automobilių srautas (fiksuoja šviesoforai su įdiegta skaičiavimo sistema) piko valandomis didina diskomfortą ir avaringumą. Po plataus, automagistralę primenančio kelio, vairuotojai staiga vėl turi būti ypač budrūs, nes visai šalia gatvės yra vaikų darželis, muzikos mokykla, maršrutinio transporto sustojimo vietos, pėsčiųjų perėjos ir pirmoje juostoje stovintys kiemuose netelpantys automobiliai. Tęsiant aplinkkelio tiesimą antro etapo darbai nėra aktyviai tęsiami, todėl šiuo metu didelės investicijos ir atlikti darbai duoda neigiamą efektą. Teorinė gatvių funkcinio pasiskirstymo schema pavaizduota 15 paveiksle.



15 pav. Gatvių funkcinis pasiskirstymas

Storiausiomis linijomis 15 paveiksle vaizduojami tranzitiniai keliai. Juose vyrauja dideli transporto srautai ir didesni greičiai. Susikirtimai su kitomis gatvėmis yra ne vieno lygio sankryžos arba su greitėjimo ir lėtėjimo juostomis. Rečiau įrengiamos žiedinės arba reguliuojamos sankryžos srautams ir greičiams kontroliuoti. Plonesne linija žymimi skirstomieji keliai. Juose greičiai mažesni, nes arti yra įvairūs pastatai, intensyvesnis pėsčiųjų ir dviratininkų eismas. Dažnai statomi šviesoforai, įrengiamos nedidelio skersmens žiedinės sankryžos. Ploniausia linija žymi privažiavimo gatves. Tai gatvės ir kiemai per miegamuosius rajonus, gyvenamąsias zonas. Važiavimo greičiai nedideli, vyrauja T formos sankryžos.

Pilnai įgyvendinus funkcinį gatvių išsidėstymą būtų galima ženkliai sumažinti, o galbūt ir visiškai išvengti eismo įvykių, nes tokiame modelyje skirtingi transporto srautai nesipina

tarpusavyje, o jų susikirtimai minimizuojami. Skirtingi eismo dalyviai juda zonose, kur vyrauja vieno tipo judėjimas (privažiavimai, kiemai arba tranzitinės kelių juostų gatvės) taip nekeliant pavojaus vieni kitiems. Eismo aplinka keičiasi palaipsniui. Šio modelio veikimui nepakanka vien tinkamos gatvių infrastruktūros, tam turi būti suderinta ištisa miesto statinių ir kitų reikšmingų objektų sistema.

2.4. Eismo organizavimo, valdymo ir kontrolės priemonės

Eismo kontrolės priemonėmis transporto specialistai savotiškai bendrauja su eismo dalyviais. Naudojamos spalvos, formos, simboliai turi loginę reikšmę, todėl eismo kontrolės priemones lengviau greitai suprasti ir pastebėti bei įsiminti. Eismo reguliavimui naudojamos tokios priemonės:

- kelių ženklinimo;
- kelio ženklų;
- eismo signalų;
- papildomų eismo saugumo priemonių.

Kelių horizontalusis ženklinimas įveda tam tikrą judėjimo tvarkingumą (eismo juostos, kryptys). Saugumo požiūriu svarbu, kad žymėjimas ant kelių būtų tinkamai parinktas, laiku atnaujinamas, pakankamai tikslus ir aiškus. Vairuotojų dėmesį siekiama atkreipti raudonomis zonomis prieš pėsčiųjų perėjas, geltonomis linijomis kelio darbų vietose, netgi tam tikromis formomis siekiama mažinti greitį (16 pav.). Šiuo atveju horizontaliuoju ženklinimu ne suteikiama informacija ar nukreipiama, bet sudaroma vizualinė iliuzija.



16 pav. Kelio ženklinimu siekiama mažinti greitį

Kelio ženklai yra viena iš pagrindinių informavimo ir eismo reguliavimo priemonių. Sutartiniais draudžiamaisiais simboliais nurodomos judėjimo kryptys ir tvarka, vairuotojai informuojami apie kelio ir eismo sąlygas. Kelio ženklai gatvėse ir sankryžose įrengiami tokiose vietose, kad jie būtų gerai matomi eismo dalyviams, kuriems yra skirti, ir kad juos būtų patogu prižiūrėti. Jų neturi užstoti jokios kliūtys, taip pat kelio ženklai neturi užstoti vienas kito ar trukdyti matomumui. Kad eismo dalyviai laiku pastebėtų ženklus naktį, miestų gatvėse pastatomi apšviečiami ženklai, o užmiesčio keliuose – ženklai, padengti šviesą atspindinčia plėvele. Ženklų išdėstymas priklauso nuo eismo intensyvumo ir greičio (3 lentelė).

3 lentelė. Minimalus ženklų matomumo atstumas

Važiavimo greitis, km/h	40	50	60	70	80	90	100	110	130
Minimalus matomumo atstumas, m	100	120	150	180	200	240	280	310	360

Eismo saugumui svarbų vaidmenį atlieka įspėjamieji, pirmumo, draudžiamieji greičio ribojimo ženklai. Keliuose taip pat naudojamos kintamos informacijos lentelės, kuriose pateikiama informacija apie kelio būklę, eismo apribojimus, transporto spūstis ir pan.

Švedijos nacionalinė kelių administracija (angl. Swedish National Road Administration), remdamasi Suomijos ir Didžiosios Britanijos patirtimi, pradėjo šalyje bandymus, kurie tęsis 5 metus (2003–2007 m.). Buvo atrinkti 18 šalies kelių ir tos jų atkarpos, kuriose yra rimtos saugaus eismo problemos. Juose pastatyta techninė įranga, reikalinga įdiegti kintančio greičio ribojimo sistemą. Kaip praktikoje atrodo kintamo greičio ribojimo sistema pavaizduota 17 paveiksle.



17 pav. Kintamo greičio ribojimo sistema, kai duomenys siunčiami į eismo priežiūros skyrių

Pasirinktuose kelio ruožuose sumontuota įranga su jutikliais, kurie registruoja pravažiuojančių transporto priemonių skaičių. Taip pat fiksuojamas laikas, kada transporto priemonė pravažiavo pro jutiklius. Oro sąlygų registravimo stotelė „stebi“ aplinkos temperatūrą, kritulius ir kelio sąlygas. Gauti duomenys apie kelio ir oro sąlygas yra apdorojami automatiškai. Kuomet transporto priemonė, važiuojanti šalutiniu keliu artėja prie sankryžos, greičio riba automatiškai sumažėja nuo 90 km/h iki 70 km/h abiem eismo kryptimis.

Eismo signalais sutartiniu būdu perduodama informacija, siekiant informuoti, atkreipti dėmesį ar įspėti. Tinkamai ir laiku naudojat šiuos signalus galima išvengti nelaimingo atsitikimo rizikos. Signalais laikoma:

- vizualiniai – spalviniai – šviesoforas, avarinė šviesos signalizacija;
- sutartiniai judesiai – eismo reguliuotojo, vairuotojo;
- garsiniai – pagalbos tarnybų įspėjamieji signalai, automobilių garso signalai.

Transporto srautus sankryžose sutartiniais signalais reguliuojantys šviesoforai yra viena seniausių ir svarbiausių eismo kontrolės priemonių. Be jų eismas būtų chaotiškas, neefektyvus ir žinoma nesaugus. Jau tapo įprasta, kad technologijos pavaduoja žmogų. Taip ir šviesoforai keitė eismo reguliuotojus ir dabar turime ištisas koordinuotas eismo reguliavimo sistemas. Tačiau tinkamam šių sistemų sureguliavimui ir priežiūrai vis dėlto reikalingas žmogaus įsikišimas. Šviesoforo signalų intervalų (laiko) nustatymui reikia turėti pakankamai informacijos apie eismo srautus sankryžoje, būdingus konfliktinius taškus. Tam yra speciali skaičiavimo metodika. Taigi eismo reguliavimo praktikoje priimamas kompromisinis sprendimas, priklausantis nuo konfliktinių situacijų pobūdžio ir transporto srautų pasiskirstymo krypčių sankryžoje. Sudėtingose sankryžose arba atskirais atvejais papildomais šviesoforais reguliuojamas ir pėsčiųjų eismas.

Prie eismo kontrolės priemonių galima priskirti stacionarius greičio matavimo prietaisus bei vaizdo stebėjimo kameras. Šios priemonės šalia savo tiesioginės paskirties atlieka ir eismo saugumo prevenciją.

Taigi žmogus ir visa supanti aplinka turi didelę įtaką eismui ir jo saugumui. Tiek žmogaus veikla, tiek nuo jo nepriklausantys faktoriai prisideda prie esamos situacijos keliuose. Žmogus negali pažaboti ir visada nuspėti oro sąlygų, gamtos veiksmų, tačiau turi pakankamai priemonių prie to prisitaikyti ir nemažą potencialą jas toliau vystyti.

3. AVARINGŲ RUOŽŲ ANALIZĖS METODAI

Avaringi ruožai ir „juodosios dėmės“ nustatomos pagal „Avaringų ruožų nustatymo valstybinės reikšmės keliuose metodiką“, patvirtintą Susisiekimo ministro 2004 m. liepos 22 d. įsakymu Nr. 3–390. Pagal šį įsakymą nustatyta, kad valstybinės reikšmės ir krašto keliuose avaringieji ruožai bei „juodosios dėmės“ turi būti nustatinėjami kiekvienais metais iki kitų metų gegužės 31 dienos, o valstybinės reikšmės rajoniniuose keliuose – kas keturi metai.

Avaringuoju ruožu laikoma kelio atkarpa (500 metrų), kurioje per 4 metus įvykusių eismo įvykių faktinis skaičius yra didesnis už minimalų eismo įvykių skaičių, t.y. trys įvykiai kelyje, kurių metu, dalyvaujant judančiai transporto priemonei, žuvo ar buvo sužeista žmonių. „Juodoji dėmė“ – tai avaringas ruožas, kuriame avaringumo koeficientas (AK) yra didesnis už nustatytą minimalią reikšmę konkrečiam kelio tipui. Avaringumo koeficientas apskaičiuojamas:

$$AK = \frac{A \cdot 10^6}{365 \cdot N \cdot L \cdot m}; \qquad (2)$$

čia: A – eismo įvykių skaičius nagrinėjamame kelio ruože per 4 metus;

N – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, aut./parą;

L – nagrinėjamo kelio ruožo ilgis, km;

m – metų skaičius (m=4).

Jau nustatytų avaringųjų ruožų ar „juodųjų dėmių“ (JD) pavojingumui įvertinti yra naudojamas eismo įvykių tankio (AT) rodiklis, kuris nustato eismo įvykių koncentraciją tam tikrame kelio ruože. Eismo įvykių tankis apskaičiuojamas:

$$AT = \frac{A}{L \cdot m}; \qquad (3)$$

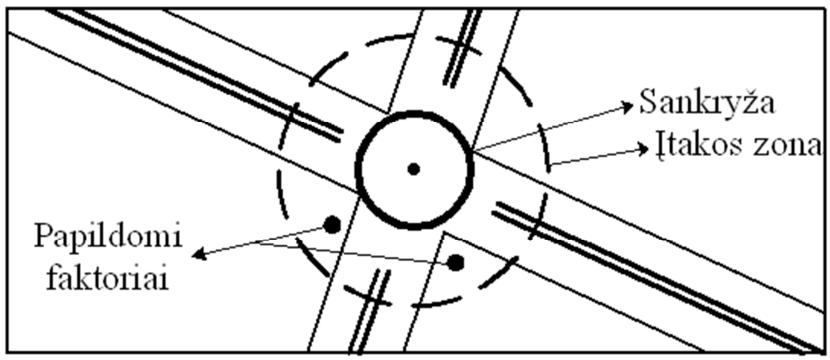
Avaringame ruože kelio avaringumo rodikliai dar nėra pasiekę ribinių reikšmių, tačiau tai jau yra ženklas, kad reikia imtis prevencinių priemonių. „Juodojoje dėmėje“ avaringumo rodikliai jau būna viršiję leistinas reikšmes ir būtina nedelsiant imtis priemonių saugaus eismo situacijai gerinti. Nustačius avaringą ruožą, seka tikslesnis vertinimas – kas galėjo sukelti tokią problemą. Kad užtikrinti tikslumą ir užbaigtumą bei išvengti skubotų išvadų veiksmai turi būti skirstomi į etapus. Yra du pagrindiniai tyrimo etapai: pačio eismo įvykio ir aplinkos analizės. Pirmame etape analizuojami paskutinių metų tam tikri charakteringi eismo įvykiai. Tai daroma lyginant tokio pačio tipo eismo įvykių skaičių tiriamame ruože su vidutiniu tokių įvykių skaičiumi kitoje

panašioje vietoje. Kitas metodas – aplinkos specifikos analizė, atliekama tiriant vietovę, konsultuojantis su kelių priežiūros tarnybomis, eismo specialistais, remiamasi vairuotojo apžvalgos kampu ir visais kitais galimais avaringumo veiksniais. Priklausomai nuo avaringumo nustatymo svarbos į analizę gali būti įtrauktos išsamesnės studijos remiantis vaizdo, eismo dalyvių apklausos ar kita papildoma medžiaga (Gordon ir Lovegrove 2007).

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2008/96/EB Lietuva įsipareigoja parengti ir įgyvendinti procedūras, susijusias su poveikiu kelių saugumui vertinimu, kelių saugumo auditu, kelių tinklo saugumo valdymu ir saugumo patikrinimais. Vykdant šias procedūras bus skiriamas didelis dėmesys eismo saugumui dar kelių projektavimo etape bei atliekami eksploatuojamų kelių reguliarūs patikrinimai.

Vienintelis radikalus būdas visiškai panaikinti avaringumą – atsisakyti kelių transporto paslaugų, bet tai sukels dar daugiau problemų kitose srityse. Remiantis dabar naudojamomis technologijomis, žmogiškojo faktoriaus sukeltomis klaidomis, kelių tinklo nepakankamu išvystymu ir pačių automobilių gedimais, bendra eismo situacija nėra linkusi sparčiai gerėti. Realios eismo problemų apimtys gali būti sumažintos ilgalaikėmis priemonėmis.

Eismo įvykių pobūdis kelių susikirtimuose ir tam tikrose jų atkarpose dažnai skiriasi, todėl į tai turi būti atkreiptas dėmesys dar tyrimo etape. Sankryžos plotas turi būti išplėstas iki zonos, kuri gali turėti įtakos avaringumo padidėjimui. Įvertinus laiką iki eismo įvykio, incidento vieta dažnai būna gerokai nutolusi nuo vietos, kurioje situacija lėmė tam tikrus įvykius kelyje. Tai vadinama eismo įvykio įtakos zona (18 pav.). Šios zonos dydis priklausomai nuo vietos savybių ir situacijos gali svyruoti nuo kelių dešimčių iki šimtų metrų. Didesnėse zonose sumažėja galimybė labiau išryškėti aktualioms problemoms, bet tuo pačiu padidėja tikimybė įvertinti tiesiogiai nesusijusius faktorius.



18 pav. Eismo įvykio įtakos zona

Dažnai analizuojama ne zona, bet tam tikra kelio atkarpa. Pasirinktos atkarpos ilgis turi įtakos tyrimui. Per ilgas atstumas gali trukdyti nustatant vietinių įvykių koncentraciją, tačiau labai trumpoje atkarpoje bus turima per mažai informacijos. Tiriamo ruožo ilgis yra ne didesnis kaip 1 kilometras.

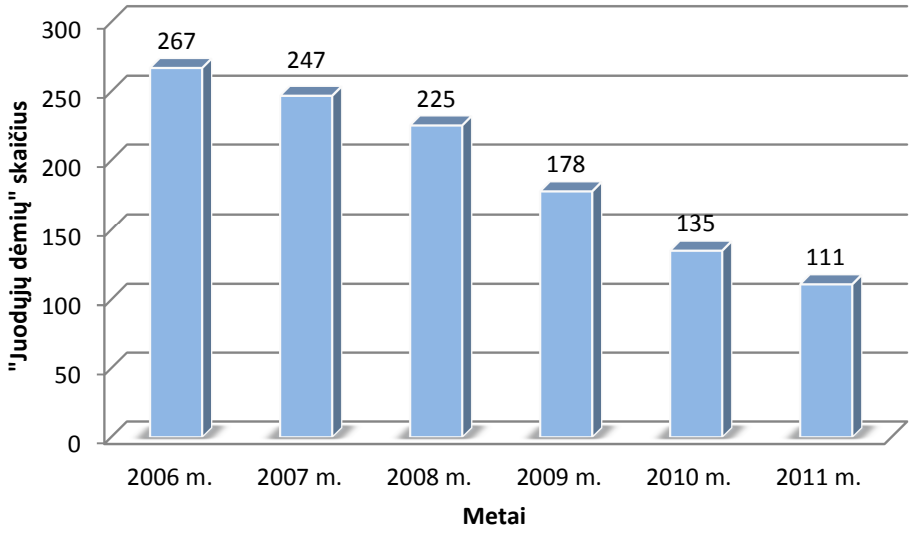
Saugumo keliuose nustatymas:

- Vertinama surinkta avaringumo informacija.
- Nustatomas vietoves (aplinkos) tipas.
- Eismo įvykių analizė.
- Vietos stebėjimas.

Iš šių keturių žingsnių gauta informacija dažnai yra tarpusavyje artimai susijusi. Pavyzdžiui, pavojingas kelio vingis gali būti nustatomas iš bendros informacijos (vertinant surinktą avaringumo informaciją) ir iš vietos stebėjimo (pavienis staigus vingis). Taip pat informacija gali viena kitą papildyti: analizuojant eismo įvykius pastebimas susidūrimų didėjimas tamsiu paros metu, kas turi būti įvertinta ir dieną. Todėl prieš imantis konkrečių veiksmų turi būti atlikta visapusiška analizė. Dabartinėje avaringųjų ruožų nustatymo metodikoje avaringų ruožų buvimo sąlyga tikrinama naudojant fiksuoto ilgio atkarpą, vadinamą slenkmeniu. Slenkmens ilgis pastovus ir lygus 500 metrų, tačiau toks nustatymas nėra lankstus ir negali tiksliai nustatyti avaringo ruožo taip, kad vėliau būtų galima visapusiškai analizuoti ir taikyti priemones. Prieš nustatant ruožo ribas turi būti įvardijami visi galimi avaringumo faktoriai, būdingi visam ruožo ilgiui. Tokiu atveju slenkmuo išsitęstų ir sprendžiant problemą būtų atsižvelgiama į visus įtakojančius veiksnius.

„Juodąja dėme“ įvardijama situacija kelyje, turinti priežastinį kelio ryšį su aplinka ir žmogaus prie vairo ar pėsčiojo eismo dalyvio elgesiu. Tokios ypač pavojingos vietos dažniausiai fiksuojamos vieno lygio sankryžose (ypač esant ribotam matomumui), riboto matomumo kelio ruožuose su mažo spindulio vertikaliomis ir horizontaliomis kreivėmis, taip pat kelio ruožuose, kur arti važiuojamosios dalies ir kelkraščių auga medžiai, kelio tęsiniuose per gyvenvietes ir kt. JD gali atsirasti ir netikėtose vietose – kelių sankryžoje, plytinčioje lygiame lauke, iš visų pusių gerai matomoje, neužgožtoje medžiais ar statiniais. Tokiomis sąlygomis eismo įvykis dažnai įvyksta tamsiu paros metu, kai vairuotojai viršija leistiną greitį, būna pavargę ir neatkreipia dėmesio į kelio ženklus. Todėl kiekvienam nelaimingam atsitikimui kelyje galima atrasti priežastis, kurias sprendžiant situacija keliuose pagerės.

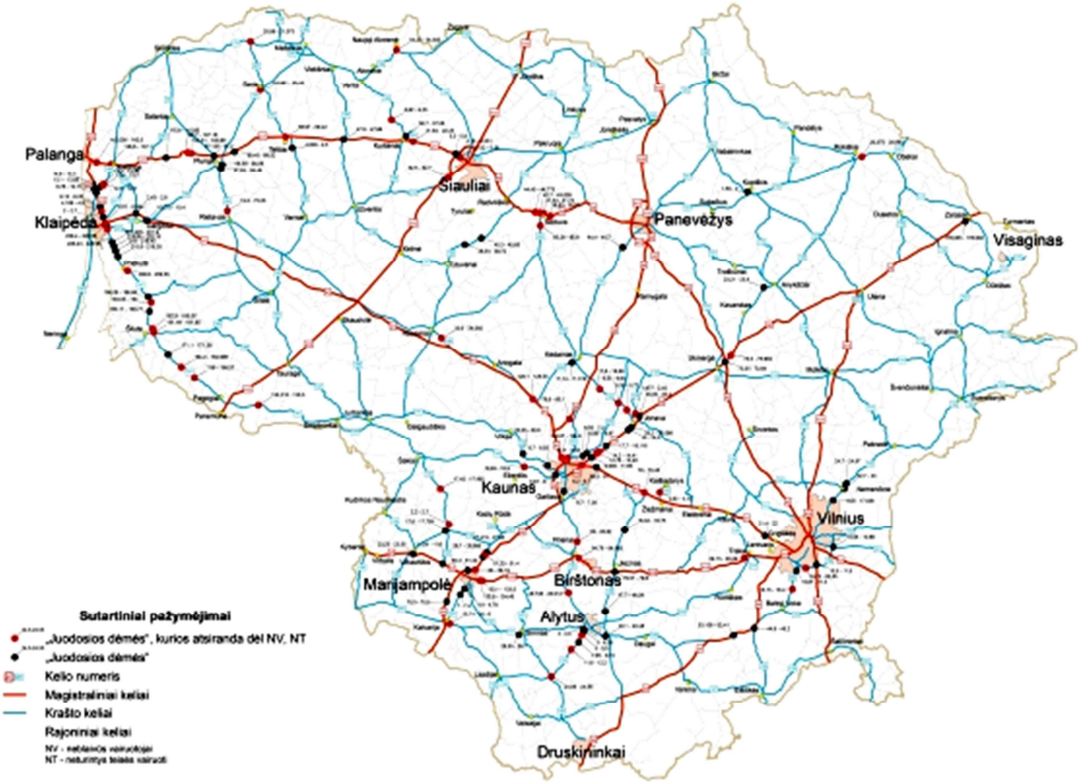
Avaringus kelių ruožus ir „juodąsias dėmes“ kiekvienais metais nustato Transporto ir kelių tyrimo institutas. Avaringumo duomenys gaunami iš Ryšių ir informatikos departamento prie Lietuvos vidaus reikalų ministerijos. Institutas sudaro avaringų vietų statistiką ir žemėlapius. Nuo 2006 metų, kai prie valstybinės reikšmės magistralinių ir krašto kelių stebėjimo buvo prijungti ir rajoniniai keliai, prasta avaringumo situacija ėmė keistis. Buvo užfiksuotas JD mažėjimas, kuris tęsiasi ir šiais metais (19 pav.). Per penkis metus JD skaičius sumažėjo 58 %.



19 pav. „Juodųjų dėmių“ skaičiaus kitimas 2006–2011 metais

Nors stebint avaringumo statistiką galima teigti, kad lėšos inžinerinėms eismo saugumo gerinimo priemonėms buvo prasmingos ir davė teigiamų rezultatų, tačiau kaimų teritorijose ir užmiesčių keliuose kasmet žūsta 75–80 % žmonių. Be to, per 2010 metus yra nustatytos 8 naujos „juodosios dėmės“ (per 2009 metus – 36), o 57 vietos yra pakitusios. Tai reiškia, kad avaringų vietų geografija nėra nusistovėjusi, o taikytos priemonės ne visiškai išsprendė avaringumo problemas, todėl būtina nuolat stebėti situaciją.

Magistralinių ir krašto kelių „juodųjų dėmių“ žemėlapiuose (20 pav.) nurodomas ne tik jų skaičius, vietos, bet ir kiekvienos dėmės ribos (pradžia ir pabaiga), sužymimi kelių numeriai. Atskirai kitokia spalva žymimi ruožai, kuriuose eismo įvykių kaltininkai buvo neblaivūs arba neturintys teisės vairuoti transporto priemonę asmenys. 2010 metų „juodųjų dėmių“ žemėlapyje yra 63 ruožai, kuriuose eismo įvykius sukėlė neblaivūs arba neturintys teisės vairuoti. Tai sudaro 46,7 % visų JD skaičiaus. Pagal minėtą metodiką, tokie eismo įvykiai turi būti nevertinami, tačiau ir jiems taip pat galima taikyti atsiradimo prielaidų analizę, o su šiurkščiais KET pažeidėjais kovoti tiek juos drausminant, tiek mažinant eismo įvykių atsiradimo tikimybę.



20 pav. Lietuvos „juodųjų dėmių“ žemėlapis (2010 m.)

Siekiant atlikti bendrą „juodųjų dėmių“ analizę, įvedami avaringumo faktoriai – kelio elementai, tam tikros jo vietos ar aplinka, galintys įtakoti didesnį kelio ruožo avaringumą. Pasirinkti avaringumo faktoriai ir jų įtaka avaringumui pateikta 4 lentelėje.

4 lentelė. „Juodųjų dėmių“ analizei pasirinkti avaringumo faktoriai

Avaringumo faktorius	**Pasirinktas žymėjimas**	**Įtaka avaringumui**
Keturšalė sankryža	**X**	Kelių susikirtimas, kuriame galimi 32 konfliktiniai taškai (11 pav.)
T formos sankryža	**T**	T formos kelių susikirtimas, kuriam galimi 9 konfliktiniai taškai (11 pav.)
Greitėjimo arba lėtėjimo juosta	**G, L**	Nors greitėjimo arba lėtėjimo juostos yra skirtos saugiam transporto priemonės įsiliejimui į tiesioginio eismo juostą arba išvažiavimui iš jo, dažnai šiomis juostomis nėra naudojamasi arba jos ne visiškai pritaikytos, ne pakankamai ilgos. Įsiliejimas į transporto srautą gali sukelti avarines situacijas dėl vairuotojų neatidumo ir prasto iš galo artėjančių automobilių matomumo
Papildoma eismo juosta	**K**	Posūkiui į kairę (apsisukimui) skirtoje juostoje stovinti

posūkiui į kairę (apsisukimui)		transporto priemonė įtakoja didesnį avaringumą, nes gali užstoti matomumą kitiems eismo dalyviams, vizualiai sumažinti erdvės pojūtį sankryžoje. Atliekant posūkį į kairę arba apsisukant ir neįvertinus kitų transporto priemonių greičio dažnai sukeliami eismo įvykiai.
Kelio nuovaža	**N**	Nuovažos į pakelės aikšteles, sodybas (kiemus) šalia kelių, miško ir laukų keliukus dažnai gali būti didesnio avaringumo kelio ruože priežastis.
Maršrutinio transporto sustojimo vieta	**A**	Maršrutinio transporto sustojimo vietos gali įtakoti avaringumą autobusų stabdymo įvažiuojant į sustojimo vietą arba greitėjimo įsiliejant į tiesioginio eismo juostą metu bei išlaipinus keleivius ir jiems nesaugiai kertant važiuojamąją dalį, einant šalikele ar tiesiog laukiant.
Degalinė arba kavinė šalia kelio	**D, K**	Degalinės, kavinės, moteliai ar paprastos stovėjimo aikštelės netoliese kelių yra didesnio avaringumo zonos, nes sukelia judėjimo netolygumus transporto sraute, kuris užmiesčio keliuose dažnai yra intensyvus. Šiose aikštelėse dažnai sustoja krovininės transporto priemonės, kurių dinaminės savybės ir gabaritai sąlygoja didesnę avaringumo tikimybę. Išvažiuojantys iš tokių aikštelių dažnai nebūna adaptavęsi prie iškart pasitaikančio intensyvaus eismo.
Pėsčiųjų perėja	**P**	Vietos, kur dažnas pėsčiųjų judėjimas yra didesnio avaringumo.
Pėsčiųjų ir (ar) dviračių takas	**PDt**	Šalie kelio besitęsiantis pėsčiųjų ir (ar) dviračių takas gali įtakoti avaringumą, nes juo judantys pėstieji (dviratininkai) dažnai kerta važiuojamąją dalį nebūtinai tam pritaikytose ir saugiose vietose. Pėstieji (dviratininkai) visada yra padidinto pavojaus šaltiniai, nes jie lengvai pažeidžiami.
Kelio vingis	**V**	Alavingumą kelio vingyje įtakoja nepasirinktas saugus greitis ir ribotas kelio matomumas.
Medžiai šalia kelio	**M**	Pavieniai medžiai, jų juostos arba miškai sukelia didesnį pavojų, nes riboja matomumą, susidūrimo atveju sukelia didelę žalą, ilgai važiuojant miške vairuotojas gali prarasti budrumą. Be to iš miškų dažnai išbėga laukiniai žvėrys.
Sodybos, namai šalia kelio	**S**	Iš sodybų ar namų dažnai iškart į pagrindinį kelia išvažiuoja transporto priemonės, didesnis pėsčiųjų judėjimas, gali pasitaikyti žaidžiančių vaikų.
Žemės ūkis šalia kelio	**Ž**	Iš dirbamos žemės plotų, esančių šalia kelių dažnai gali išvažiuoti lėtaeigė, didžiagabaritinė žemės ūkio technika, kuri dažnai važiuoja nedidelius atstumus, nori pervažiuoti į kitą kelio pusę.

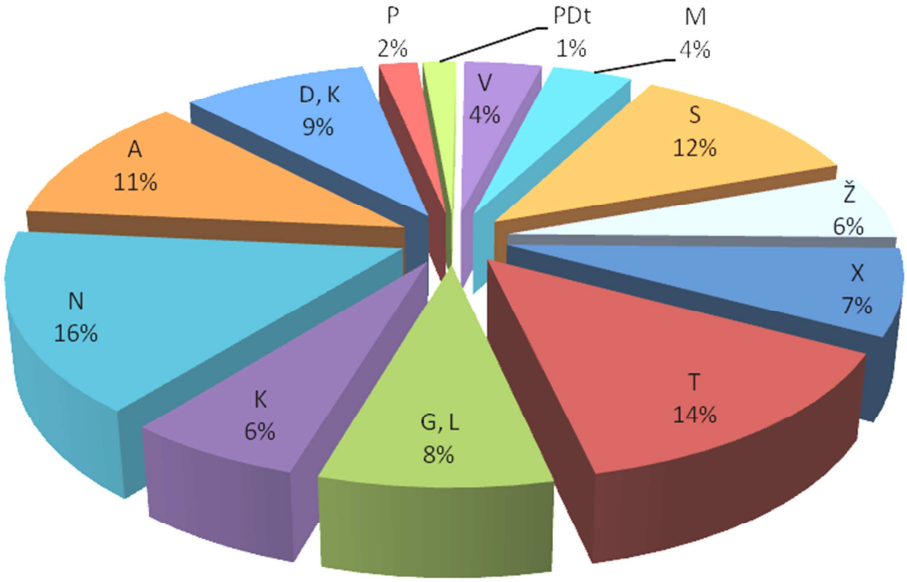
Analizė buvo atlikta pasinaudojus 2010 metų „juodųjų dėmių“ žemėlapiu (20 pav.). Kiekvienas ruožas buvo apžiūrimas internete esančiame ortofotografiniame žemėlapyje, sudarytame iš palydovinių nuotraukų, kurio mastelis 1:2000. Vaizde iš palydovo yra matoma kelio ruožo forma, sankryžų konfigūracija, juostų skaičius, eismo aplinka ir kiti kelio elementai (4 lentelė). Vieno iš ruožų palydovinė nuotrauka pateikta 21 paveiksle. Šiame ruože buvo pastebėti tokie veiksniai, galintys įtakoti didesnį avaringumą: keturšakė sankryža su greitėjimo ir lėtėjimo bei papildoma posūkiui į kairę juosta, maršrutinio transporto sustojimo vietos pagrindiniame kelyje, degalinė su dvejomis nuovažomis į aikštelę, sodybos su nuovažomis arti sankryžos ir nuovaža į dirbamus žemės ūkio plotus. Įvardijus šiuos veiksnius tampa aišku, kodėl toks kelio ruožas yra avaringas. Pagrindinio magistralinio kelio eismo intensyvumas 2009 metais siekė 6070 automobilių per parą, iš kurių 766 – krovininiai. Taigi tai yra pakankamai apkrautas kelias, prie kurio sankryžoje dar prisijungia krašto ir rajoninis kelias, todėl yra būtina taikyti eismo saugumo gerinimo priemones.



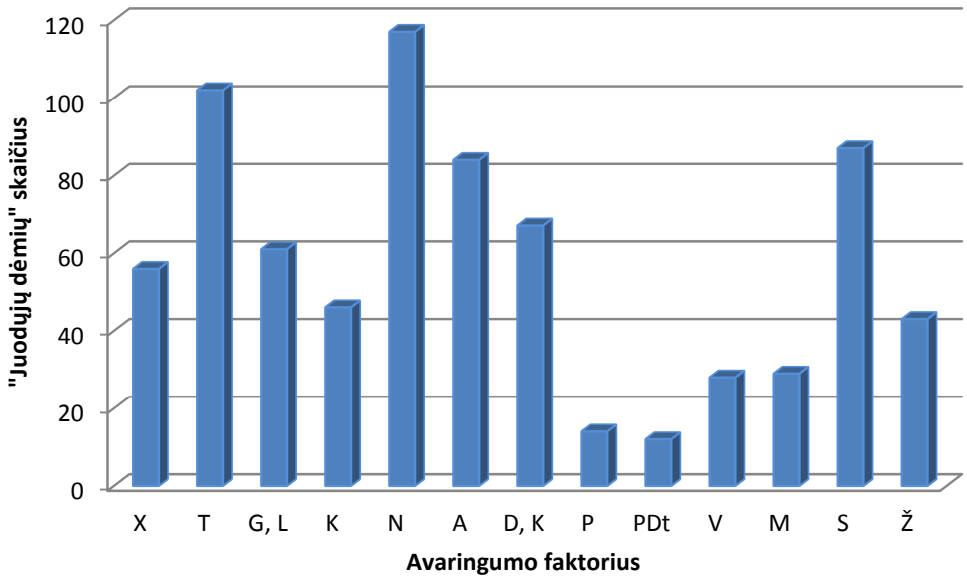
21 pav. „Juodosios dėmės“ palydovinė nuotrauka

Atlikus visų 135 „juodųjų dėmių“ analizę pagal 4 lentelėje pateiktus kriterijus, iš viso buvo surasta 746 veiksniai, galintys lemti didesnį avaringumą. Jų procentinis pasiskirstymas pateiktas 22 paveiksle. JD skaičius, kuriose nustatytas tam tikras avaringumo faktorius pateiktas 23 paveiksle. Pagal pateiktas diagramas galima teigti, kad dažniausiai nustatytose avaringose

vietose būna įvairios paskirties nuovažos, T formos sankryžos, sodybos ir namai šalia kelių, maršrutinio transporto sustojimo vietos ir pakelės degalinės arba kavinės.



22 pav. Prognozuojamų avaringumo faktorių procentinis pasiskirstymas



23 pav. Avaringumo faktoriaus nustatymas bendram „juodųjų dėmių“ skaičiui

Sprendžiant „juodųjų dėmių“ problemą Lietuvos keliuose pastaraisiais metais imamasi šių priemonių: žiedinių sankryžų, iškilių salelių, pėsčiųjų ir dviračių takų įrengimas, ruožų

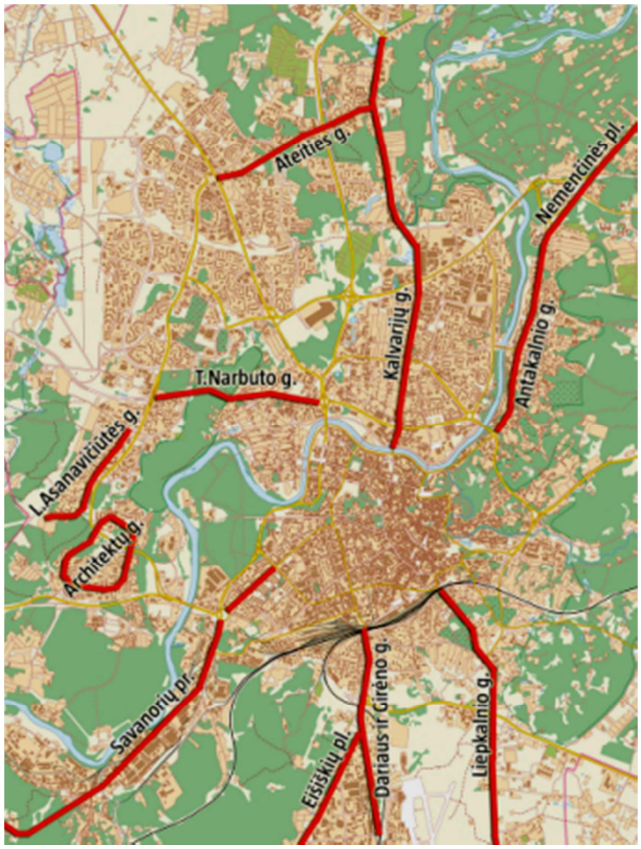
apšvietimas. Dažnai taikomos greito poveikio priemonės: įspėjamieji ar draudžiantys kelio ženklai, metaliniai apsauginiai atitvarai, keičiamas kelio dangos ženklinimas ir kt.

Atliktos „juodųjų dėmių“ analizės tikslas – išskirti svarbiausias avaringumo priežastis ir atkreipti dėmesį į kelio ir eismo aplinkos elementus, darančius didžiausią įtaką nelaimėms keliuose. Taikant inžinerines priemones taip pat būtina vykdyti prevencinę ir šviečiamąją veiklą bei nenustoti kontroliuoti situacijos. Pakankamai išsivysčius visuomenės sąmoningumui bus pasiekti užsibrėžti tikslai.

Nuo 2004 metų galiojanti avaringųjų ruožų nustatymo valstybinės reikšmės keliuose metodika nevisiškai tinka naudojant išsamius avaringumo analizės metodus. Keičiantis šalies avaringumo lygiui metodika turi įvertinti kuo daugiau galimų veiksnių, kad tolesni tyrimai ir veiksmai būtų tiesiogiai nukreipti į ilgalaikį avaringumo problemų sprendimą. Ruožuose, kur buvo imtasi priemonių, dažnai pastebimas dalykas – JD persislinkimas. Avaringa vieta kelyje pasislenka per maždaug 500 metrų. Tai įvyksta dėl to, kad situacija kelyje sprendžiama trumpame kelio ruože, o priežastys ir galimos avaringos kelio zonos yra išsidėstę plačiau nei pagal eismo įvykius nustatytame ruože. Be to metodika taikoma tik valstybinės reikšmės keliams, o miestų gatvėms atskiros patvirtintos metodikos nėra. Miestuose taip pat yra kaupiama išsami avaringumo statistika, tačiau kad ji būtų įrankis problemų sprendimui, reikalinga numatyti tinkamus vertinimo būdus ir kriterijus.

4. EISMO REGULIAVIMO IR ORGANIZAVIMO PROBLEMOS KONKREČIOSE VILNIAUS VIETOSE

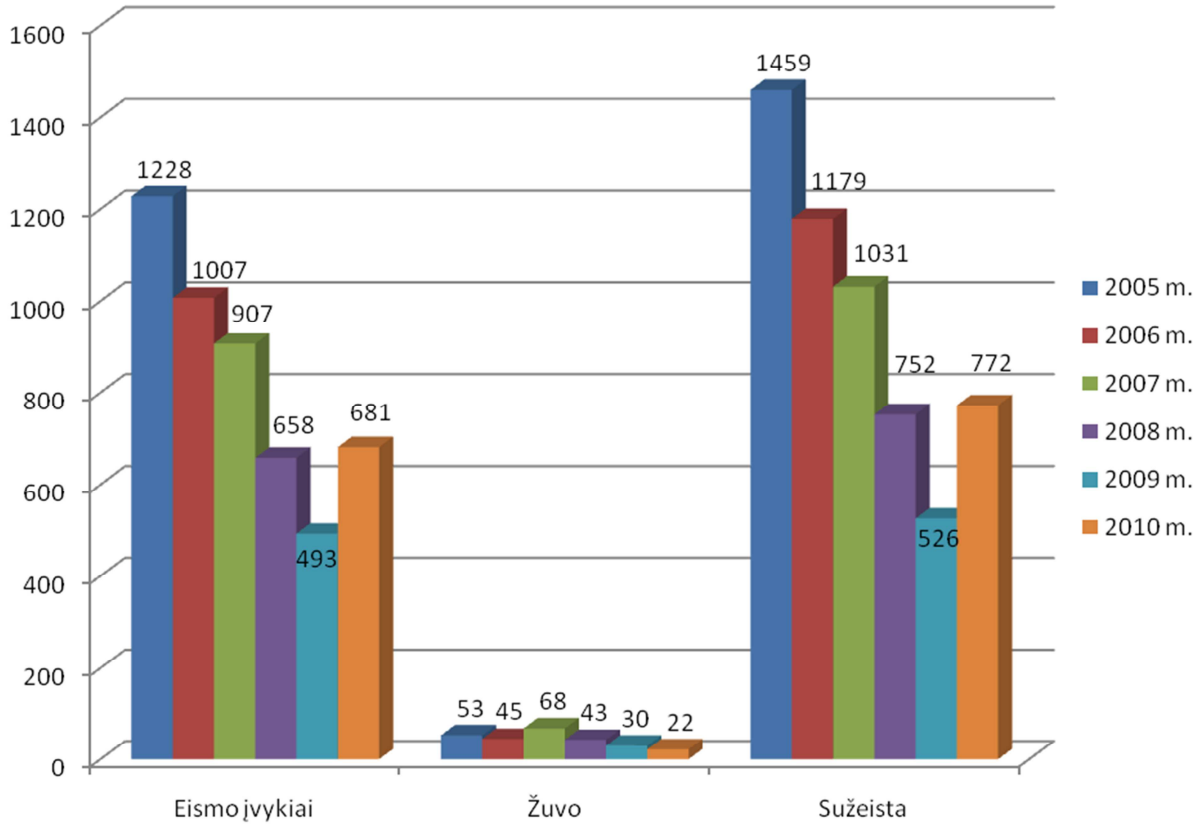
Miesto eismo sąlygos nuo užmiesčio skiriasi gerokai didesniu intensyvumu. Vilniuje per parą važiuoja iki 105 tūkstančių automobilių, užmiesčio teritorijose – iki 24 tūkst. (SĮ „Vilniaus planas“ informacija). Užmiestyje pagrindinė avaringumo priežastis yra viršytas greitis, o mieste – sankryžų tankis, įvairūs įvažiavimai, nedrausmingi pėstieji, stovintys automobiliai gatvėse. Septyniuose didžiuosiuose Lietuvos miestuose kasmet užfiksuojama pusė šalyje užregistruotų įskaitinių eismo įvykių. Vilniuje daugiausia eismo įvykių įvyksta ilgiausiose gatvėse, kur transporto priemonės važiuoja didesniais greičiais ir ten, kur arti judrių gatvių yra prekybos, sporto centrai, daug keturšakių sankryžų ir pėsčiųjų perėjų (24 pav.).



24 pav. Vilniaus miesto avaringiausios gatvės

Vilniaus miesto savivaldybės avaringumas 2005–2010 metais pateiktas 25 paveiksle. Kaip matyti diagramoje, iki 2009 metų avaringumo rodikliai mažėjo, tačiau 2010 metais eismo įvykių ir sužeistųjų juose skaičius padidėjo. Galima daryti prielaidą, kad ankstesniais metais taikytos

eismo saugumo priemonės tapo ne tokios veiksmingos. Vairuotojai ir kiti eismo dalyviai priprato prie sugriežtintų Kelių eismo taisyklių reikalavimų ir padidintų baudų, inžinerinės kelių saugumo priemonės taip pat prarado savo efektyvumą. Miestuose vairuotojai ir pėstieji dažnai vyksta tais pačiais maršrutais, įsimena jų konfigūraciją ir ilgainiui atsipalaiduoja, praranda dėmesingumą, pradeda važinėti greičiau. Kliūčiai atsiradus netikėtai arba tamsiuoju paros metu, esant prastoms oro sąlygoms įprastiniu maršrutu važiuojantis vairuotojas gali laiku nesureaguoti ir sukelti eismo įvykį.



25 pav. Avaringumo statistika Vilniaus m. sav. 2005–2010 m.

(Lietuvos kelių policijos tarnybos duomenys)

4.1. Šviesoforų išdėstymas ir reguliavimas

Miestų sankryžose eismas dažniausiai yra reguliuojamas šviesoforais. Pagal paskirtį šviesoforai yra skirstomi į transporto ir pėsčiųjų šviesoforus. Transporto šviesoforai yra sudaryti iš trijų sekcijų ir gali būti naudojamos papildomos sekcijos. Pėsčiųjų šviesoforai susideda iš dviejų sekcijų su raudonos ir žalios spalvos signalais su pėsčiojo siluetais. Pėsčiųjų šviesoforai yra

naudojami pėsčiųjų eismui reguliuoti pėsčiųjų perėjose ir reguliuojamose sankryžose (standartas LST 1405:1995).

Labai svarbų vaidmenį reguliuojant eismą atlieka šviesoforai. Tiriant jų signalų intervalus ir persijungimo momentus galima optimizuoti eismo srautų judėjimą išvengiant pavojingų momentų keičiant judėjimą leidžiančio signalo kryptį. Analizuojant šviesoforų veikimą daug dėmesio skirta važiavimo ir stabdymo zonų apskaičiavimui prieš sankryžą. Tai galima atlikti parienkant optimalius signalų intervalus, kad vairuotojai žinotų, kada būtina sustoti iki sankryžos, o kada galima suspėti saugiai pravažiuoti. Imituojant susidūrimą sankryžoje ir atitraukus automobilius iki momento, kai iškilo grėsmė eismo saugumui, galima nustatyti avaringos situacijos atsiradimo priežastį (Hong-bo, Sheng 2009).

Gerinant šviesoforų signalų veikimą būtina derinti transporto srautų laidumą su eismo saugumu. Apie 90 procentų eismo įvykių sankryžose įvyksta besibaigiant eismą leidžiančiam šviesoforo signalui arba draudžiamojo signalo pradžioje. Tyrimais ir atliktais skaičiavimais siekiama panaikinti galimą konfliktinio taško atsiradimą reguliuojamoje sankryžoje. Mirksintis žalias šviesoforo signalas gali padidinti sankryžos laidumą, tačiau tokiu atveju padidėja avaringumo tikimybė, todėl jo trukmė turi būti parinkta įvertinant visas galimas situacijas (Li, Dong ir kt. 2009).

Jeigu gatvių sankryžoje pėsčiųjų eismas nėra reguliuojamas pėsčiųjų šviesoforais ir pėstieji vadovaujasi transporto šviesoforų signalais, dažnai įrengiami papildomi transporto šviesoforai, kad pėstieji juos matytų iš priešingos važiuojamosios dalies, kurią jie pereina, pusės. Dažnai šie papildomi transporto šviesoforai yra mažesni už pagrindinius (mažesnis signalų lęšių skersmuo), tačiau jais rodomi signalai turi būti vienodi tiek tarpusavyje, tiek su pagrindiniais (26 pav.).



26 pav. Pagrindiniai ir papildomi transporto šviesoforai vienu metu rodo tą patį signalą

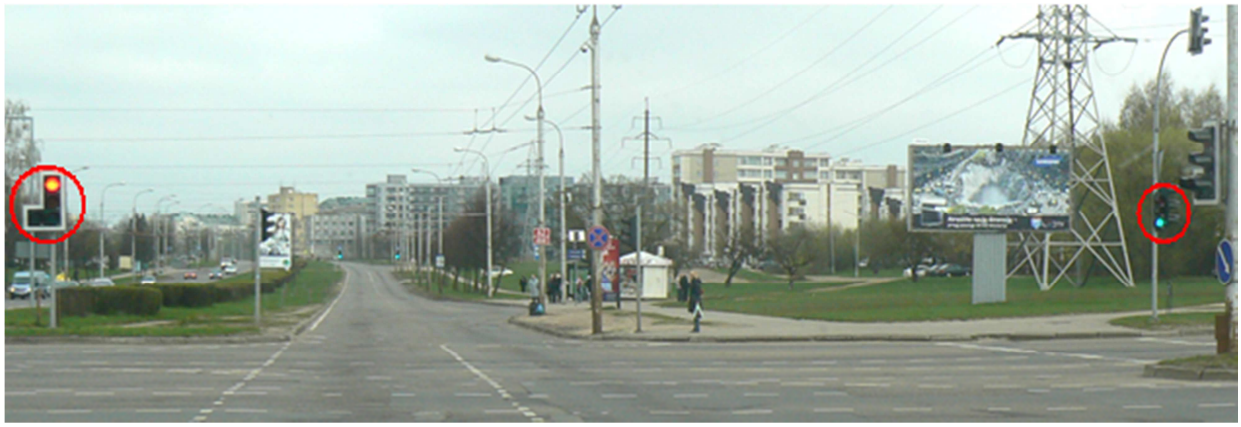
Įdėmiau pasidairius miestų gatvėse galima pamatyti nemažai eismo reguliavimo problemų. Įrengus papildomus šviesoforus supainiojama jų paskirtis. Šie šviesoforai pastatomi pėstiesiems matomose vietose tarsi jie reguliuotų tik jų eismą. Siekiant kuo optimaliau sureguliuoti eismo dalyvių judėjimą sankryža, šviesoforai sureguliuojami taip, kad minėtų papildomų šviesoforų rodomi signalai nesutampa su pagrindiniais, nors tai yra tie patys transporto šviesoforai (27 pav.). Toks rodomų signalų nesutapimas klaidina vairuotojus ir pėsčiuosius. Viename iš šviesoforų pamačius užsidegusį žalios spalvos signalą vairuotojas gali pradėti judėti ir susidurti su kertamu keliu dar pagal leidžiamą signalą judančiomis transporto priemonėmis. Todėl tokiais atvejais, kai papildomi transporto šviesoforai tam tikru momentu rodo leidžiamą signalą tik pėstiesiems, reikia šiuos šviesoforus pakeisti į dviejų signalų pėsčiųjų šviesoforus. Taip bus neklaidinami vairuotojai ir paprasčiau reguliuojamas pėsčiųjų judėjimas per reguliuojamą sankryžą.



a



b



c

27 pav. Pagrindinių ir papildomų transporto šviesoforų signalai nesutampa:
a. Laisvės pr.–Žemynos g-vių sankryža;
b. Žirmūnų–Minties–Šilo g-vių sankryža;
c. Laisvės pr.–Buivydiškių g-vės sankryža

Panašus atvejis yra kai pagrindiniame transporto šviesofore užsidega leidžiamas šviesoforo signalas (dažnai su papildoma žalia rodykle į kairę), o papildomas šviesoforas, pastatytas pėstiesiems patogioje vietoje, vis dar draudžia eismą. Šiuo atveju transporto srautas pajuda, nors ne visi judėjimui ta kryptimi skirti šviesoforai tai leidžia (28 pav.). Pėsčiųjų ir transporto priemonių judėjimo intervalai nesutampa, taigi saugumo požiūriu eismas organizuojamas teisingai, tačiau pėstiesiems skirti šviesoforai turėtų būti dviejų signalų su pėsčiojo siluetu taip išvengiant nesutapimų tarp tos pačios rūšies šviesoforų viena kryptimi rodomų signalų.

a



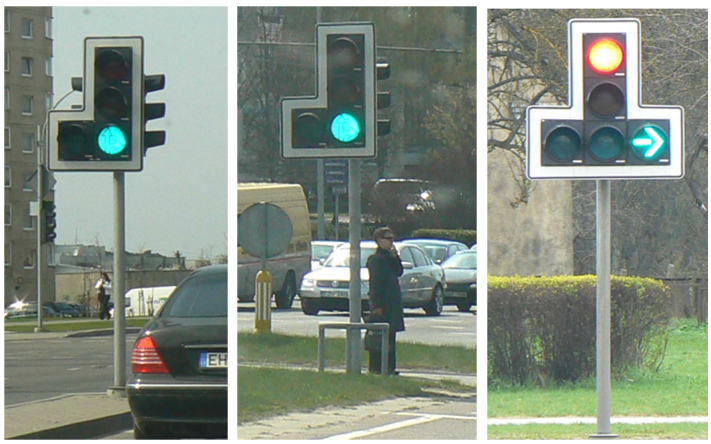
b



28 pav. Transporto šviesoforų signalų nesuderinimas:
a. Laisvės pr.–Viršuliškių g-vės sankryža;
b. Kalvarijų–Kazlausko g-vių sankryža

Analizuojant eismo reguliavimą šviesoforais, išryškėja dar viena problema. Tai papildomų sekcijų naudojimas eismo kryptims reguliuoti. Lietuvoje jau seniai nusistovėjusi

tvarka, kad papildomos šviesoforų sekcijos yra skirtos leisti eismą rodyklių kryptimi (standartas LST 1405:1995 „Kelio ženklų ir šviesoforų naudojimas“) bei drausti važiuoti, kai sekcija nešviečia. Vairuotojas, artėdamas prie sankryžos, iš toli pirmiausiai pamatys raudoną šviesoforo signalą, o ne nešviečiančią papildomą sekciją, kitaip sakant nedegantis signalas negali atstoti degančio raudono signalo (29 pav.). Vadovaujantis degančiu žaliu šviesoforo signalu ir nepastebėjus šalia esančios papildomos sekcijos, galima sukelti eismo įvykį. Taigi šviesoforas su papildoma sekcija, kuriai nešviečiant eismas draudžiamas, yra ne tik neracionalus, bet ir pavojingas eismo saugumo požiūriu. To paties signalo reikšmės dubliavimo problemos neišsprendžia aplink šviesoforą montuojami baltos spalvos skydai, skirti lengviau pastebėti šviesoforo signalus.



a b c

29 pav. Papildomų sekcijų naudojimas eismo kryptims reguliuoti

Dažnai šviesoforo signaluose yra juodo kontūro rodyklė, kuri turi įspėti, kad šviesoforas turi papildomą sekciją, tačiau rodyklių kontūro linijos yra plonos ir sunkiai pastebimos (29 pav. a, b). Pasaulyje įprasta, kad pvz.: posūkį į kairę draudžia trijų spalvų šviesoforo raudonas signalas su rodykle į kairę, o Lietuvoje tokioje situacijoje posūkį į kairę paprastai draudžia viena nešviečianti sekcija. Taigi sprendimas judrioje sankryžoje, kurioje skirtingomis kryptimis eismas reguliuojamas atskirai, yra kiekvienai atskirai reguliuojamai krypčiai įrengti trijų spalvų šviesoforą su rodyklėmis atitinkamomis kryptimis (30 pav.). Taip vairuotojas aiškiai matys koks signalas yra rodomas jam norima važiuoti kryptimi. Šviesoforus su rodyklėmis galima įrengti atskirai kiekvienai eismo juostai (30 a pav.) arba kabinti kartu (30 b pav.). Šalia paprastai kabinama kai juostų skaičius viena kryptimi yra ne daugiau trijų.



a b

30 pav. Tinkamas šviesoforų naudojimas eismo kryptims reguliuoti

Situacija, kai pėstiesiems ir transportui ta pačia kryptimi leidžiama judėti vienu metu gali sukelti keletą problemų. Vilniuje tai ypač aktualu T formos sankryžose, kur didelis transporto srautas ir daug pėsčiųjų (31 pav.).



a

b

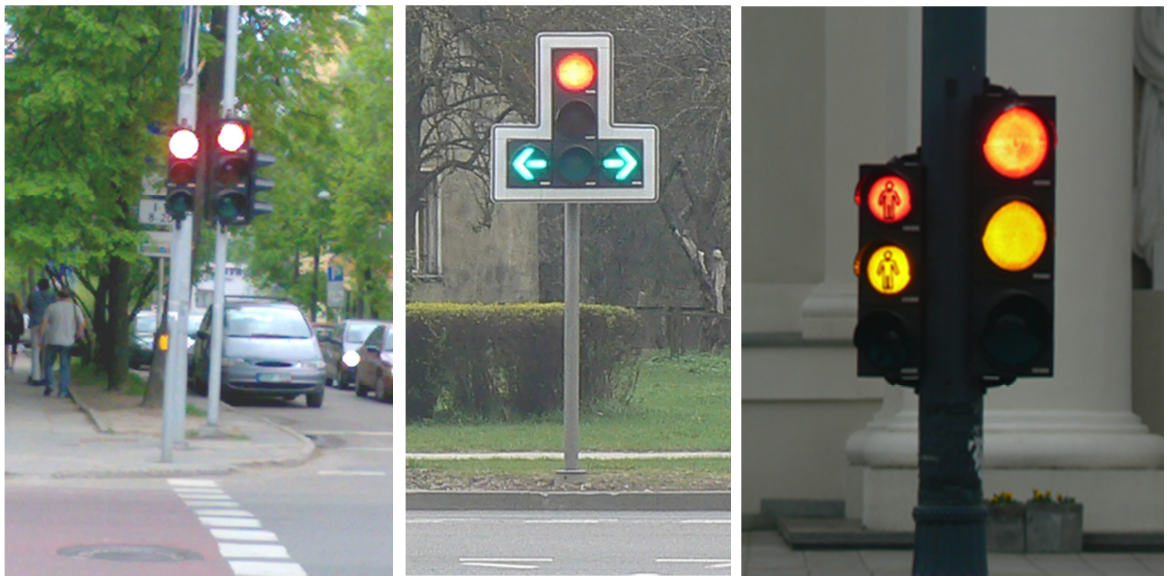
31 pav. Pėstiesiems ir transporto priemonėms leidžiama judėti vienu metu:
a. Saulėtekio al.–Nemenčinės pl. Sankryža;
b. Apkasų–Kalvarijų g-vių sankryža

Šiose sankryžose atsirandančios problemos:

1. pėstieji rizikuoja, nes gali būti nepastebėti taip pat pagal leidžiamą šviesoforo signalą važiuojančių vairuotojų. Konkrečioje situacijoje (žr. 31 pav.) vairuotojams dar sunkiau pastebėti pėsčiuosius, nes sukama į kairę ir vaizdą į pėsčiųjų perėją užstoja automobilio priekinis kairysis statramstis.
2. vairuotojai psichologiškai veikiami kitų, iš paskos laukiančių vairuotojų, kurie negali važiuoti nors dega leidžiamas šviesoforo signalas. Vairuotojai, sustoję praleisti pėsčiųjų, yra skubinami greičiau išvažiuoti iš sankryžos taip sukeliant dar didesnį pavojų mažiausiai apsaugotiems pėstiesiems.
3. dėl susikertančių pėsčiųjų ir automobilių judėjimo trajektorijų sankryžoje susidaro transporto priemonių grūstis, sumažėja pralaidumas.

Sprendimas kaip ir ankstesnėse situacijose: reikia įrengti atskirą pėsčiųjų šviesoforą, kuris neleis vienu metu judėti pėstiesiems ir automobiliams. Tinkamai sureguliavus šviesoforų veikimą išsispręstų pėsčiųjų saugumo problema, o transporto priemonių pralaidumas tokiu atveju nesumažėtų (Hang-bo 2009). Dabartiniu atveju (31 pav.), nors leidžiamas šviesoforo signalo intervalas yra pakankamai ilgas, tačiau automobiliai vis tiek turi praleisti pėsčiuosius stovėdami sankryžoje.

Svarbu, kad eismo dalyviams informacija apie eismo reguliavimą būtų pateikiama konkrečiai, aiškiai suprantama ir logiškai išdėstyta. Situacija, kai visai šalia vienas kito sustatyti šviesoforai visada rodo tą patį signalą vaizduojama 32 a paveiksle. Čia šviesoforai pritvirtinti ant atskirų stovų, didesnis skirtas vairuotojams, mažesnis, sprendžiant pagal pastatymą priešais pėsčiųjų perėją ir ženklinimą, skirtas pėstiesiems. Vienas bendras šviesoforas būtų tinkamesnis variantas – mažiau blaškomi eismo dalyviai, patogiau praeiviams. 32 b paveiksle matomas T formos sankryžoje eismą reguliuojantis šviesoforas su papildomomis sekcijomis į kairę ir į dešinę. Realiai eismą reguliuoja tik papildomos sekcijos, nes centre raudonas signalas dega visą laiką. Žalias signalas niekada neįsijungia, nes važiuoti tiesiai negalima, o posūkių intervalus reguliuoja papildomos sekcijos. 32 c paveiksle vaizduojami vienas prie kito kabantys transporto ir pėstiesiems skirti šviesoforai. Kairysis šviesoforas yra su pėsčiojo simboliais, tačiau trijų sekcijų pėsčiųjų šviesoforo nenumato nei KET, nei Kelio ženklų ir šviesoforų naudojimą reglamentuojantis standartas.



a b c

32 pav. Eismo dalyviams informacija ne visada pateikiama apgalvotai:
a. Švitrigailos–Vivulskio g-vių sankryža;
b. Laisvės pr.–Justiniškių g-vės T formos sankryža;
c. Gedimino pr.–Šventaragio g-vės T formos sankryža

4.2. Matomumas

Vienas iš saugaus eismo principų yra matyti ir būti matomam, todėl kelias ir jo aplinka turi ne tik nesukelti tam kliūčių, bet ir padėti. Deja dažnai siekiant pagerinti vienų eismo dalyvių matomumą nukenčia kitų interesai. 33 ir 34 paveiksluose matosi, kaip siekiant atkreipti vairuotojų dėmesį pastatomi ženklai, kurie uždengia už jų saugumo salelėje stovinčius pėsčiuosius. Masyvūs (600 mm skersmens) žmogaus lygyje pastatyti nukreipiamieji ženklai užstoja pėsčiuosius ir sumažina tikimybę, kad vairuotojai juos pastebės. Atsiranda pavojus, kad pėstysis bus staigi ir netikėta kliūtis ir vairuotojas nesuspės sureaguoti. Žvelgiant iš pėsčiojo pozicijos problema panaši. Pėstysis, norėdamas apsidairyti, šioje situacijoje privalo atsistoti saugumo salelės krašte, prie pat važiuojamosios dalies, nes stovint salelės viduryje ženklas užstoja artėjančias transporto priemones.



33 pav. Pėstieji Kalvarijų–Didlaukio gatvių sankryžos saugumo salelėje



a b

34 pav. Pėsčiuosius užstojantys kelio ženklai:

a. reguliuojama pėsčiųjų perėja Savanorių pr.; **b.** pėsčiųjų perėja šalia Olandų gatvės žiedo

Vienas iš šios problemos sprendimo variantų yra prailginta saugumo salelė ir jos priekyje pastatytas reikiamas ženklas (35 pav.). Priekyje iškiliosios saugumo salelės turi būti užbrūkšniuotas arba baltai uždažytas plotas, žymintis nukreipimo saleles, kurios atriboja priešingų krypčių transporto srautus arba žymi važiuojamojoje dalyje esančia kliūtį. Dalį šio užbrūkšniuoto

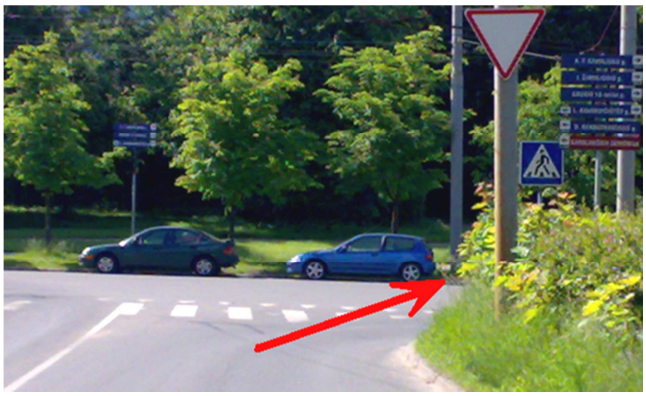
ploto pakeitus iškilia saugumo salele ir nuo pėsčiųjų stovėjimo vietos atitraukus ženklus matomumo problema išsispręstų.



35 pav. Ištęsta saugumo salelė Asanavičiūtės–Kavoliuko g-vių sankryžoje

Kita matomumo keliuose problema – želdiniai šalia gatvių. 36 paveiksle stebimas vaizdas iš vairuotojo pozicijos. Artėjant prie gana judrios pėsčiųjų perėjos, laukiančius pėsčiuosius užstoja iki pat perėjos auganti gyvatvorė. Per vėlai pamačius jau į važiuojamąją dalį įžengusius pėsčiuosius smarkiai padidėja eismo įvykio rizika. Sprendimas – šalia perėjos iškirsti augančius krūmus pagerinant matomumą vairuotojams ir pėstiesiems. Iki perėjos zonos besitęsianti gyvatvorė atlieka ir teigiamą funkciją: nesudaro galimybės pėstiesiems bet kur kirsti važiuojamosios dalies, atlieka aplinkosauginę funkciją.





36 pav. Želdiniai šalia kelio dažnai apsunkina matomumą eismo dalyviams (Rinktinės, Asanavičiūtės g-vės)

Miesto miegamuosiuose rajonuose dėl automobilių stovėjimo vietų trūkumo gatvėje palikti automobiliai dažnai apsunkina matomumą patiems vairuotojams išvažiuojant iš kiemų ir aikštelių (37 pav.). Tenka pavojingai išvažiuoti į gatvę neįsitikinus ar neartėja kliūtis.



37 pav. Gatvėje statomi automobiliai apsunkina matomumą

Atnaujinus sankryžose šviesoforus, tikslas dėl signalų gero matomumo išsprendžiamas tik iš dalies. Tamsiuoju paros metu šie šviesoforai šviečia ryškiai ir gali akinti vairuotojus (38 pav.). Kad išspręsti šią problemą, į šviesoforus yra montuojami šviesos stiprumo reguliavimo įtaisai, kurie pritaikytų signalo šviesos stiprumą pagal aplinkos apšviestumą.

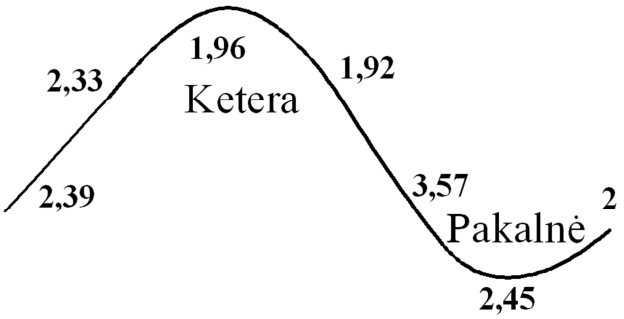


38 pav. Naujai įrengti šviesoforai tamsiuoju paros metu degantys per ryškiai

4.3. Vertikalūs kelių nelygumai

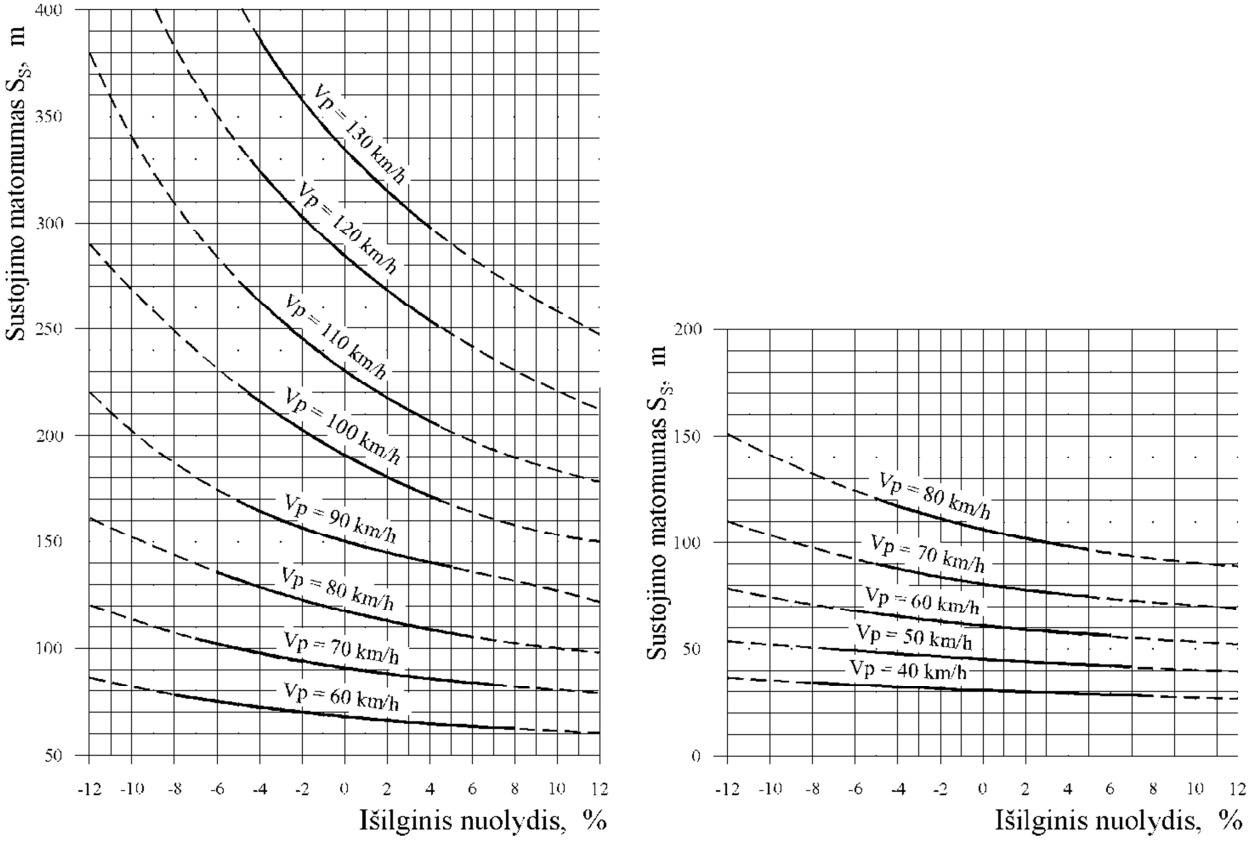
Geografinė Vilniaus padėtis išsiskiria savo reljefu aplinkinių teritorijų atžvilgiu. Tą sąlygoja šioje teritorijoje dėl ledynmečių susidariusios skirtingos geologinės zonos, Neries, Vilnios upės. Miesto architektūra ir infrastruktūra prisitaiko prie gamtinių sąlygų, tačiau neišvengiamai iškyla ir problemų. Net ir technologiškai moderni kelių statybos technika dažnai nepajėgi žemės paviršiaus pilnai pritaikyti saugiam ir patogiam judėjimui, todėl automobiliais dažnai tenka važiuoti tam tikromis įkalnėmis ar nuokalnėmis. Tokie vertikalūs kelių nelygumai įtakoja automobilių dinamines savybes. Stabdymo efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo važiavimo greičio, tačiau net ir esant tam pačiam greičiui, bet skirtingoms kelio sąlygoms, stabdymo charakteristikos gali labai skirtis (Sokolovskij 2007, Bogdevičius ir kt. 2004). Taigi kelio geometriniai parametrai yra išorinis faktorius labai įtakojantis automobilio stabdymą ir nors gamintojai nuolatos tobulina automobilių sistemas, tačiau natūralūs fizikos dėsniai nenustoja veikę.

Siekiant nuolatos gerinti eismo saugumą, būtina visą dėmesį skirti ne tik automobilio tobulinimui, bet ir kelio įvertinimui. 39 paveiksle vaizduojamas kelio zonų avaringumas esant vertikaliems nelygumams (Hauer 2001). Didžiausias avaringumas yra nuolydžio pabaigoje, prieš pat pakalnę.



39 pav. Avaringumo koeficientai kelio nelygumų zonose

Tiek miestuose, tiek užmiesčio keliuose tiesioginio eismo juostose turi būti garantuotas ant kelio esančių objektų matomumas sustojant prieš objektą (sustojimo matomumas) arba aplenkiant jį (aplenkimo matomumas). Mažiausias sustojimo matomumas priklausomai nuo kelio nuolydžio pavaizduotas 40 paveiksle. (Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008, Automobilių keliai)



a. **b.**

40 pav. Reikalingas sustojimo matomumas: **a.** valstybinės reikšmės keliuose;
b. valstybinė reikšmės keliuose (gyvenamųjų vietovių prieigose) ir vietinės reikšmės keliuose

Užmiesčio keliuose, kur nuolydis tęsiasi didesnius atstumus ir transporto priemonės važiuoja greičiau, susiduriama su nepakankamo matomumo problemomis važiuojant įkalne, o ilgose nuokalnėse, ypač krovininiam transportui, su stabdžių sistemos apkrovimu. Atliekant stabdymo tyrimus ilgose kelio atkarpose su nuolydžiu, buvo nustatyta iki trijų kartų didesnis avaringumas. Viena iš pagrindinių priežasčių yra labiau kaistantys stabdžių darbiniai paviršiai. Pasiekus 400–460 ^{o}C temperatūrą standartinių stabdžių efektyvumas sumažėja 20–25 %, o esant dar didesnei temperatūrai stabdymo jėga nukrenta iki pavojingos ribos. Tyrimų rezultatais siekta atkreipti kelių projektuotojų dėmesį į kelio nuolydžio įtaką eismo saugumui (Enhui ir kt. 2010).

Siekiant nustatyti, kuri dalis vairuotojų yra linkusi tam tikrais atvejais važiuoti per sankryžą degant geltonam arba raudonam šviesoforo signalui, buvo atliktas tyrimas. Fiksuojant taisykles pažeidžiančius vairuotojus ir vertinant jų buvimo atstumą iki sankryžos kai užsidega geltonas arba raudonas šviesoforo signalas buvo nustatyta, kad 50 % greitį viršijančių vairuotojų linkę važiuoti per sankryžą. Pastebėta, kad vairuotojo pasirinkimui įtakos turi eismo srautas: ar gatvė labai apkrauta, ar automobilių mažai (Elmitiny ir kt. 2010).

Mieste, kai pasitaiko vertikalūs kelio nelygumai, siekiant palaikyti saugų eismą dažniausiai yra ribojamas greitis. Kad kelio nelygumai būtų tinkamai įvertinti, reikia pritaikyti eismo reguliavimo sistemas. Vilniuje dažnai pasitaiko sankryžų kai iki jų viena ar dvejomis kryptims transporto priemonės artėja keliu su nuolydžiu.

Stabdymo efektyvumas geriausiai įvertinamas lėtėjimo pagreičiu. Įvairioje transporto priemonių dinaminių skaičiavimų literatūroje lėtėjimo pagreičiui skaičiuoti dažnai pateikiamos skirtingos formulės:

$$j' = j \pm i \cdot g; \tag{4}$$

$$j'' = g\left(\frac{\varphi}{k}\cos\alpha \pm \sin\alpha\right); \tag{5}$$

$$j''' = g\left(f\cos\alpha \pm \sin\alpha + \frac{P_{st}}{m \cdot g}\right); \tag{6}$$

čia: j – lėtėjimo pagreitis, esant lygiam kelio paviršiui, m/s^2 ;

i – kelio nuolydžio rodiklis, įkalnei su + ženklu, nuokalnei su – ;

g – laisvojo kritimo pagreitis, g=9,81 m/s^2;

φ – sukibimo koeficientas, sausam, lygiam asfaltui $\varphi = 0,85$;

k – stabdymo efektyvumo koeficientas, lengvajam automobiliui, kai stabdoma visais keturiais ratais $k = 1$;

α – kelio nuolydis laipsniais;

f – riedėjimo varžos koeficientas, lengvajam automobiliui ant sauso asfalto stabdymo metu parenku $f = 0,01$;

m – automobilio masė;

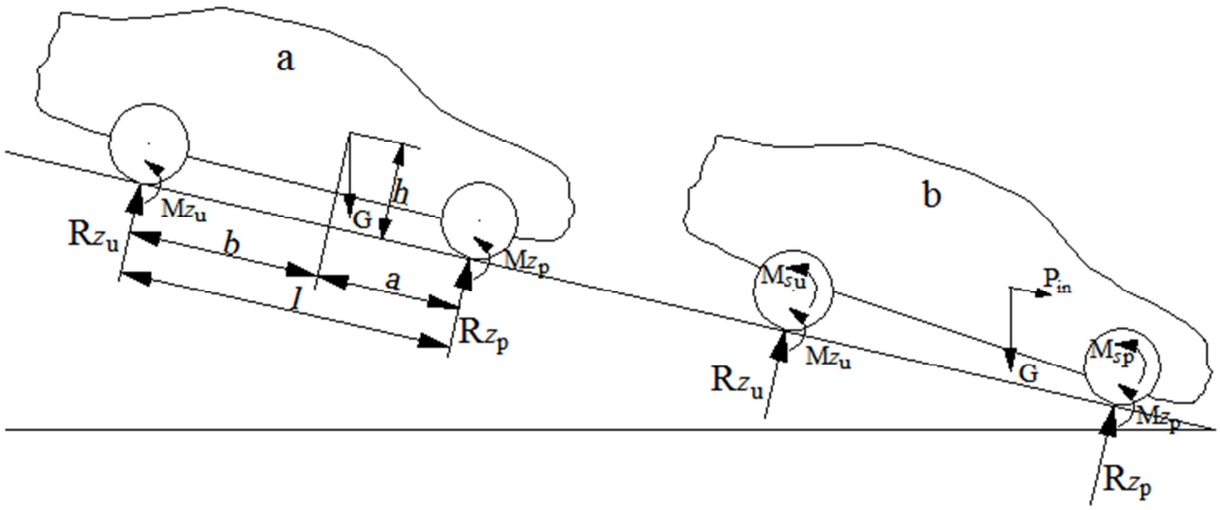
P_{st} – automobilio stabdymo jėga, susidedanti iš priekinės ir užpakalinės automobilio ašių stabdymo jėgų.

$$P_{st} = P_{st\,pr} + P_{st\,u}; \tag{7}$$

Stabdymo metu dėl inercijos jėgos (P_{in}), įkalnės varžos, pakabos standumo vyksta apkrovos persislinkimas nuo automobilio užpakalinės ašies į priekinę (41 pav.). Kelio nuokalnėje normalinės reakcijos priekiniams ratams ($R_{z\,p}$) dar padidėja. Automobilių stabdžių sistema yra pritaikyta svorio persislinkimui į priekinę dalį stabdymo metu – priekiniai ratai stabdomi efektyviau, juose lengvuosiuose automobiliuose montuojami diskiniai stabdžiai (dažnai diskai didesnio skersmens, geriau aušinami). Tačiau esant kelio nuolydžiui, kai automobilio lėtėjimo pagreitis keičiasi priklausomai nuo nuolydžio dydžio ir važiavimo krypties, stabdymo jėgos automobilio priekinėje ir galinėje ašyje turi būti paskirstytos proporcingai. Kelio sukibimo koeficiento sandauga su atitinkamos ašies apkrova yra lygi stabdymo jėgai (Wong 2008):

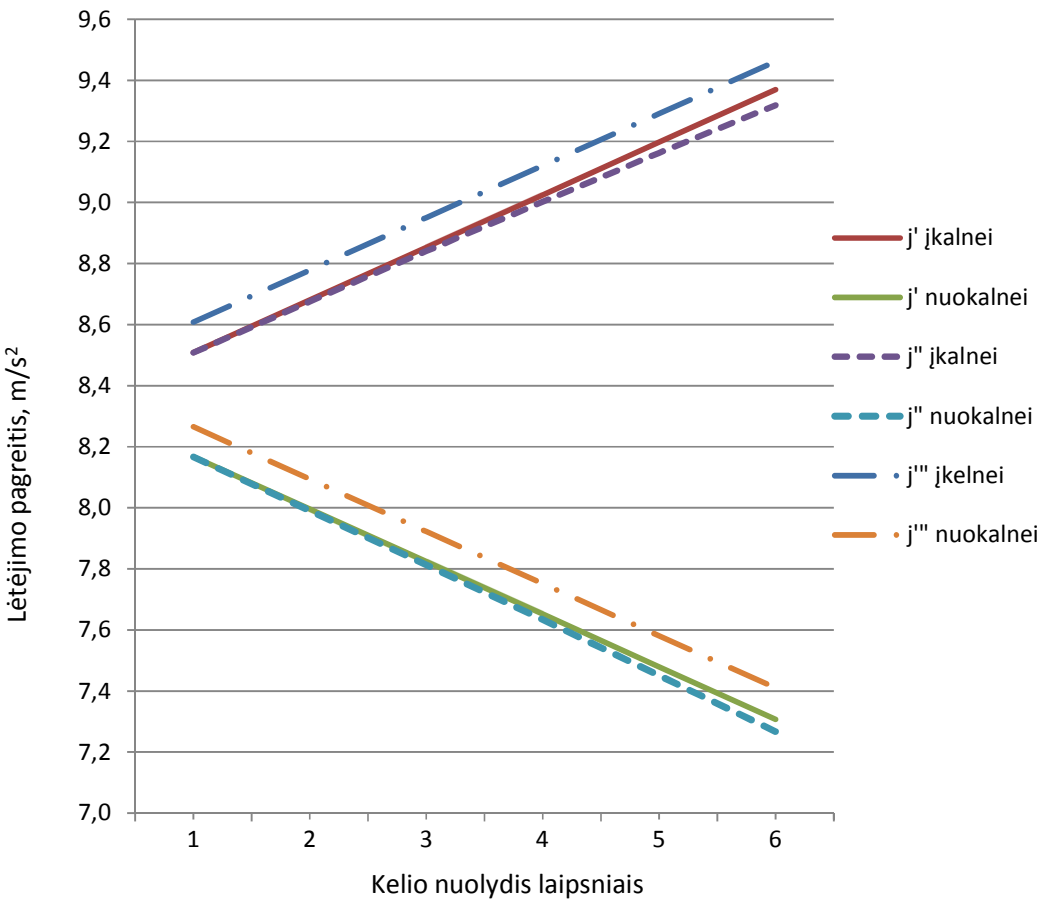
$$P_{st\,p} = \varphi \cdot R_{z\,p} = \varphi \cdot \frac{mg\left[a + h\left(\varphi + f\right)\right]}{l}; \tag{8}$$

$$P_{st\,u} = \varphi \cdot R_{z\,u} = \varphi \cdot \frac{mg\left[a - h\left(\varphi + f\right)\right]}{l}; \tag{9}$$



41 pav. Nuokalne važiuojantį (a) ir stabdomą (b) automobilį veikiančios jėgos

Atlikus palyginamuosius skaičiavimus formulėmis 1–3, didėjant kelio nuolydžiui gautas skirtumas pavaizduotas 42 paveiksle. 1 formulė yra paprasčiausia ir skaičiuojama pagal didžiausią galimą lėtėjimo pagreitį įvertinant kelio nuolydį. Trečioji formulė – tai išplėstinė antrosios forma papildomai dar įvertinant priekinei ir galinei automobilio ašims tenkančias stabdymo jėgas kelyje su nuolydžiu, kai įvyksta ženklesnis apkrovų persiskirstymas ašims.



42 pav. Lėtėjimo pagreičio skaičiavimo rezultatai, skaičiuojant skirtingomis formulėmis

Visomis trejomis formulėmis gauti rezultatai yra orientuoti ta pačia kryptimi, tačiau reikšmės skirias, o esant didesniam kelio nuolydžio kampui, gaunasi trys skirtingos reikšmės. Siekiant nustatyti tikrąją lėtėjimo pagreičio charakteristiką kintant kelio nuolydžiui, buvo atliktas tyrimas.

Užtikrinant saugų eismą keliuose išskirtinį dėmesį automobilių gamintojai skiria stabdžių sistemai. Tam yra diegiamos stabdžių antiblokavimo, stabdžių jėgos paskirstymo, elementų nusidėvėjimo kontrolės, stabdžių aktyvavimo prieš galimą avaringą situaciją ir kitos sistemos. Europos Sąjungoje registruojamoms naujoms transporto priemonėms yra taikomi Europos Tarybos direktyvos 71/320/EB reikalavimai. Ši direktyva reglamentuoja tam tikrų kategorijų motorinių transporto priemonių ir jų priekabų stabdžių sistemas. Pagrindiniai reikalavimai pateikti 4 lentelėje.

5 lentelė. Pagrindiniai reikalavimai transporto priemonių stabdžių sistemoms

Tikrinimo sąlygos		Transporto priemonės klasė					
		Keleivinės			Krovininės		
		M1	M2	M3	N1	N2	N3
Variklis atjungtas nuo transmisijos	Greitis, km/h	80	60	60	80	60	60
	Stabdymo kelias, m	50,7	36,7	36,7	61,2	36,7	36,7
	Stabdymo kelio skaičiavimo formulė	$0{,}1v + \frac{v^2}{150}$	$0{,}15v + \frac{v^2}{130}$				
	Vidutinis lėtėjimo pagreitis, m/s^2	5,8	5,0				
	Stabdžio nuspaudimo jėga, N	500	700				
Variklis sujungtas su transmisija	Greitis, km/h, $v = 80\ \% \cdot v_{max}$	160	100	90	120	100	90
	Stabdymo kelias, m	212,9	111,6	91,8	157,1	111,6	91,8
	Stabdymo kelio skaičiavimo formulė	$0{,}1v + \frac{v^2}{130}$	$0{,}15v + \frac{v^2}{103{,}5}$				
	Vidutinis lėtėjimo pagreitis, m/s^2	5,0	4,0				
	Stabdžio nuspaudimo jėga, N	500	700				

Kelio paviršius, kuriuo rieda automobilis, skiriasi dangos tipu, šiurkštumu ir geometriniais parametrais. Vienas tokių parametrų ženkliai įtakojančių stabdymo kelią yra vertikalūs nuolydžiai. Mus supanti gamtos didybė ir įvairumas nenorom verčia prie to taikytis. Net ir technologiškai moderni kelių statybos technika dažnai nepajėgi žemės paviršiaus pilnai pritaikyti saugiam judėjimui. O ir esant tokiai galimybei, investicijų kaina viršija galimas finansines galimybes. Todėl automobiliais dažnai tenka važiuoti tam tikromis įkalnėmis ar nuokalnėmis. Pirmoje lentelėje nurodyti tik pagrindiniai stabdžių sistemos tikrinimo būdai, tačiau yra atliekami tikrinimai ir esant kelio nuolydžiui. Tokie tikrinimai atliekami M3, N3 klasės transporto priemonėms ir O3 klasės priekaboms. Tikrinimas atliekamas važiuojant 30 km/h greičiu pakrauta transporto priemone stabdant 6 % nuolydžio 6 kilometrų kelio atkarpoje.

Keliuose pasitaikantys vertikalūs nuolydžiai (įkalnės ir nuokalnės) nėra didelė kliūtis įveikti automobiliu, tačiau tai yra didesnio pavojaus zona. Tiek įsibėgėjimo, tiek stabdymo

savybės įkalnėse ir nuokalnėse gerokai skiriasi, todėl yra būtinas greičio ribojimas (5 lentelė) (Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008; Automobilių keliai).

6 lentelė. Ribiniai kelio išilginio profilio elementų dydžiai

Kelio išilginio profilio elementai	Ribiniai dydžiai priklausomai nuo greičių *v*, km/h									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130
Didžiausias išilginis nuolydis, %	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	6,0	5,0	5,0	5,0	4,0
Mažiausias išilginis nuolydis, %	0,3									

Eismo saugumui užtikrinti svarbus stabdymas, todėl šio parametro įvertinimas minėtomis aplinkybėmis reikalauja specialaus tyrimo.

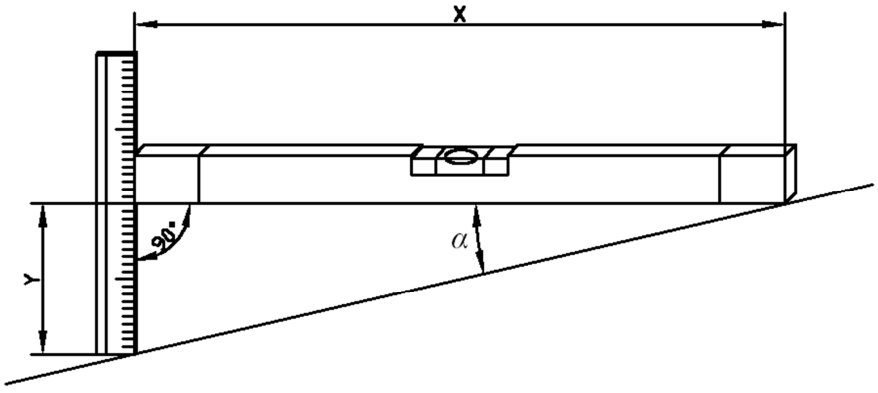
5. STABDYMO ĮKALNĖJE IR NUOKALNĖJE TYRIMAS

Atlikto tyrimo tikslas – įvertinti automobilio stabdymo kelio priklausomybę nuo vertikalaus kelio nelygumo ir gautą rezultatą pritaikyti eismo saugumui gerinti reguliuojamose sankryžose. Tikslui pasiekti reikalinga atlikti bandomuosius stabdymus automobiliu esant įvairiems kelio nuolydžiams. Išanalizavus gautus rezultatus parengti siūlymus eismo saugumui keliuose gerinti.

5.1. Tyrimo metodika

Tyrimai buvo atliekami dviem lengvaisiais techniškai tvarkingais automobiliais: „Toyota Avensis“ ir „Toyota Prius“. Abiejuose automobiliuose įmontuota stabdžių antiblokavimo sistema (ABS). Stabdymui pasirinkti du skirtingo išilginio nuolydžio neintensyvaus eismo kelio ruožai užmiestyje. Kelio nuolydis matuotas pasinaudojant gulsčiuku, matuojant keletą kartų per kelio plotį stabdymo zonoje (43 pav.). Išmatavus ir apskaičiavus vidutinę kelio pakilimo reikšmę *Y*, remiantis trigonometrine funkcija apskaičiuojamas nuolydžio kampas α:

$$\alpha = arctg\left(\frac{Y}{X}\right); \tag{10}$$



43 pav. Kelio nuolydžio matavimo schema

Pirmojo kelio ruožo gautas nuolydis 4,3 % (2,73°), antrosios – 7,8 % (4,47°).

Bandymų metu stabdymo parametrams fiksuoti buvo naudojamas prietaisas „XL Meter Pro“. Jis tvirtinamas automobilio salone prie priekinio stiklo (44 pav.). Kiekvieną kartą pritvirtinus prietaisą ir įjungus jis automatiškai susikalibruoja. Prieš bandymus prietaise

pakeičiami nustatymai: parenkamas stabdymo režimas, nustatoma matavimams pakankamas 50 Hz dažnis.

Stabdymo metu prietaisu „XL Meter Pro“ registruojami šie parametrai:

1. Važiavimo greitis prieš stabdymą, km/h.
2. Lėtėjimo pagreitis, m/s^2.
3. Stabdymo laikas, s.
4. Stabdymo kelias, m.



44 pav. Prietaisas „XL Meter Pro“ bandymų metu automobilyje

Pagrindinis parametras, pagal kurį buvo vertinama kelio nuolydžio įtaka stabdymo keliui, yra lėtėjimo pagreitis, kurį prietaisas automatiškai apskaičiuoja taip:

$$j = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92(s_e - s_b)}; \qquad (11)$$

čia: v_0 – pradinis automobilio greitis, km/h, tada:

$$v_b = 0,8 \cdot v_0;$$
$$v_e = 0,1 \cdot v_0;$$

s_e – atstumas, nuvažiuotas kol greitis sumažėja nuo v_0 iki v_e, m.

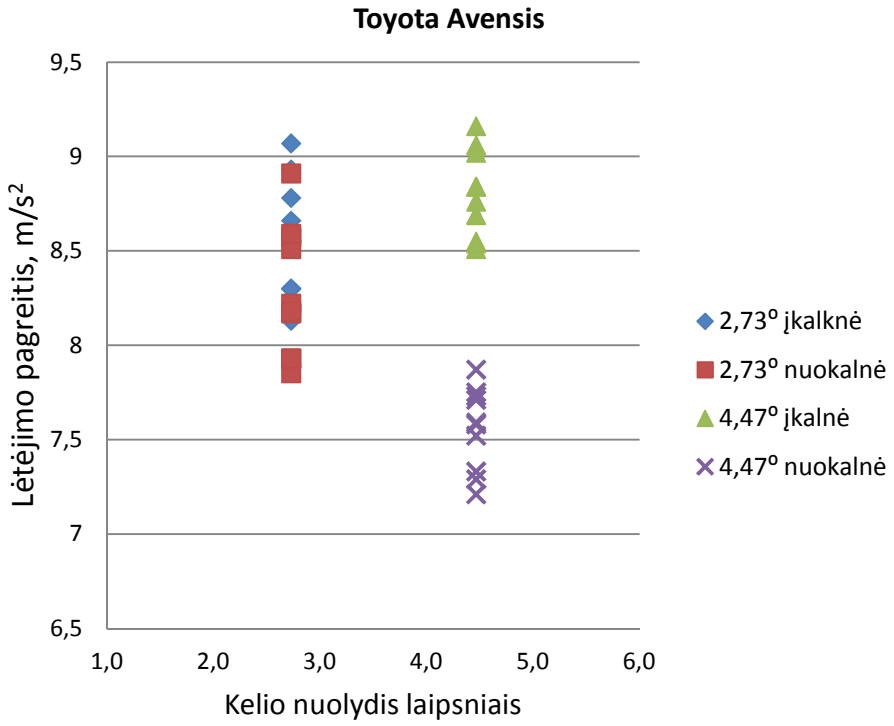
s_b – atstumas, nuvažiuotas kol greitis sumažėja nuo v_0 iki v_b, m;

Prietaiso matavimo paklaida ± 3 %.

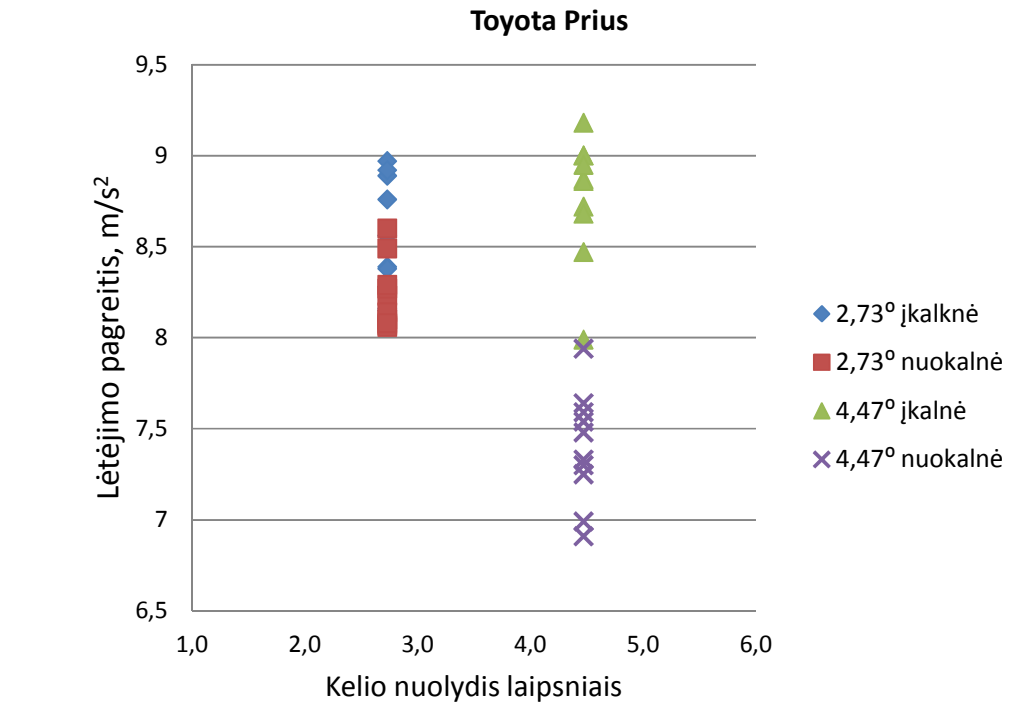
Stabdymai buvo atliekami įsibėgėjus iki 50 km/h ir greitai visa jėga nuspaudžiant stabdžių pedalą. Prietaiso parodyti duomenys užrašomi rezultatų lape ir stabdymai tokia tvarka kartojami. Vienu tyrimo etapu buvo atliekama po dešimt stabdymų važiuojant įkalnėje ir nuokalnėje po to tas pats kartojama kitu automobiliu. Vėliau bandymas kartojamas ir kitame kelio ruože. Kas penkis stabdymo bandymus buvo daroma pertraukėlė stabdžių diskams atvėsti. Visų bandymų metu kelio danga – sausas asfaltas, aplinkos oro temperatūra 15–20 ^{o}C.

5.2. Tyrimo rezultatai

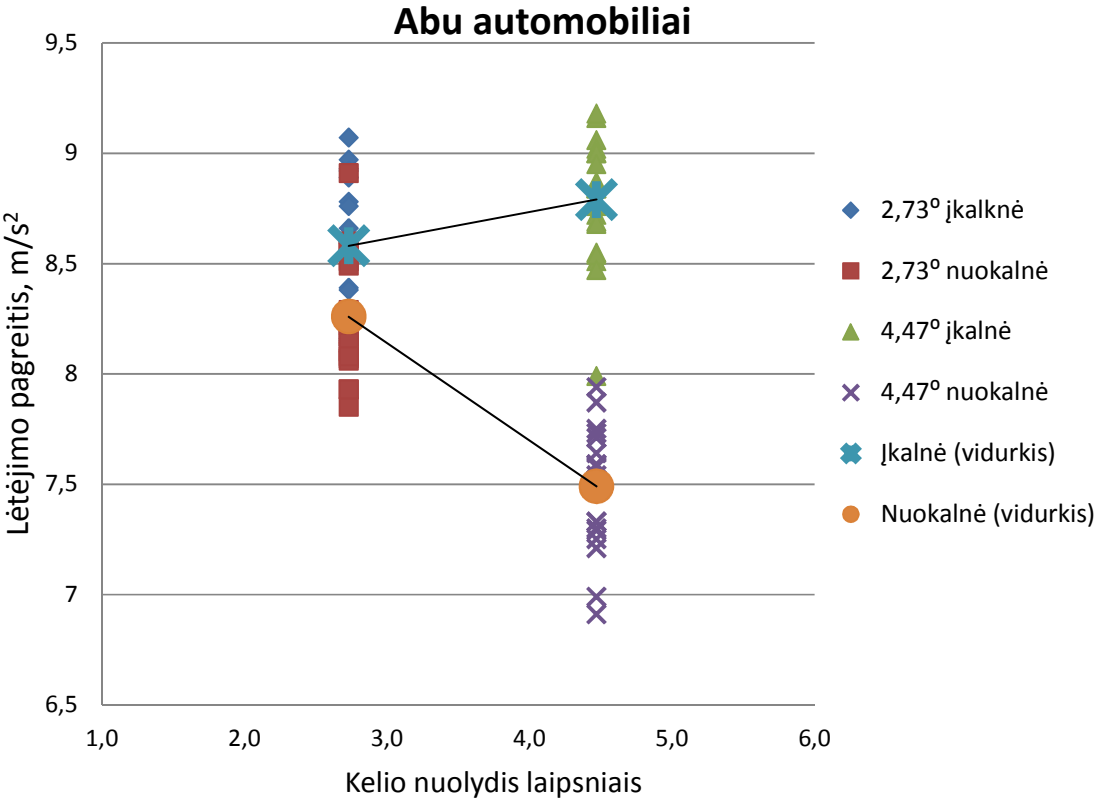
Atlikus tyrimus abiem automobiliais mažesnėje ir didesnėje kelio nuokalnėje ir įkalnėje iš viso buvo gauta 80-ties stabdymų rezultatai. Gauti lėtėjimo pagreičiai priklausomai nuo kelio nuolydžio pateikti 45 (a, b, c) paveiksle.



a



b



c

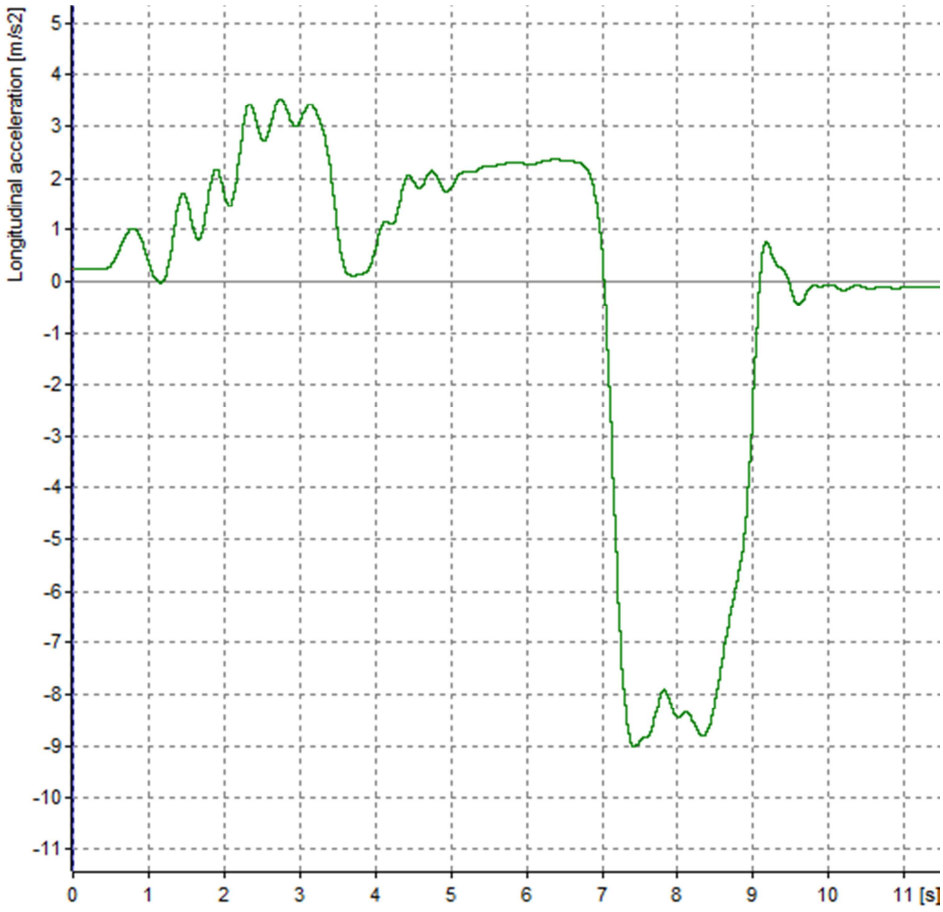
45 pav. Stabdymų metu gauti lėtėjimo pagreičiai

Rezultatai suvesti ir sugrupuoti bei apskaičiuotos lėtėjimo pagreičio vidutinės reikšmės (7 lentelė).

7 lentelė. Tyrimo metu gautos lėtėjimo pagreičio reikšmės

	Lėtėjimo pagreitis, m/s^2 **įkalnėje**		Lėtėjimo pagreitis, m/s^2 **nuokalnėje**	
Kelio nuolydis	4,3 % (2,73°)	7,8 % (4,47°)	4,3 % (2,73°)	7,8 % (4,47°)
„Toyota Avensis“	8,6	8,8	8,29	7,56
„Toyota Prius“	8,55	8,77	8,23	7,4
Vidurkis:	**8,58**	**8,79**	**8,26**	**7,48**

Kaip matyti iš gautų rezultatų, lėtėjimo pagreitis važiuojant įkalne (teigiamas kelio nuolydis) yra didesnis už pagreitį nuokalnėje (neigiamas kelio nuolydis). Didžiausios ir mažiausios lėtėjimo pagreičio reikšmės gautos stabdant kelyje su didesniu nuolydžiu (7,8 %). Matavimo prietaisą „XL Meter Pro“ prijungus prie kompiuterio, programos „XL Vision“ lange grafiniu vaizdu galima matyti kiekvieno bandymo metu gautą pagreičio charakteristiką (46 pav.). Joje aiškiai matyti pagreitėjimo zona ir staigus stabdymas.



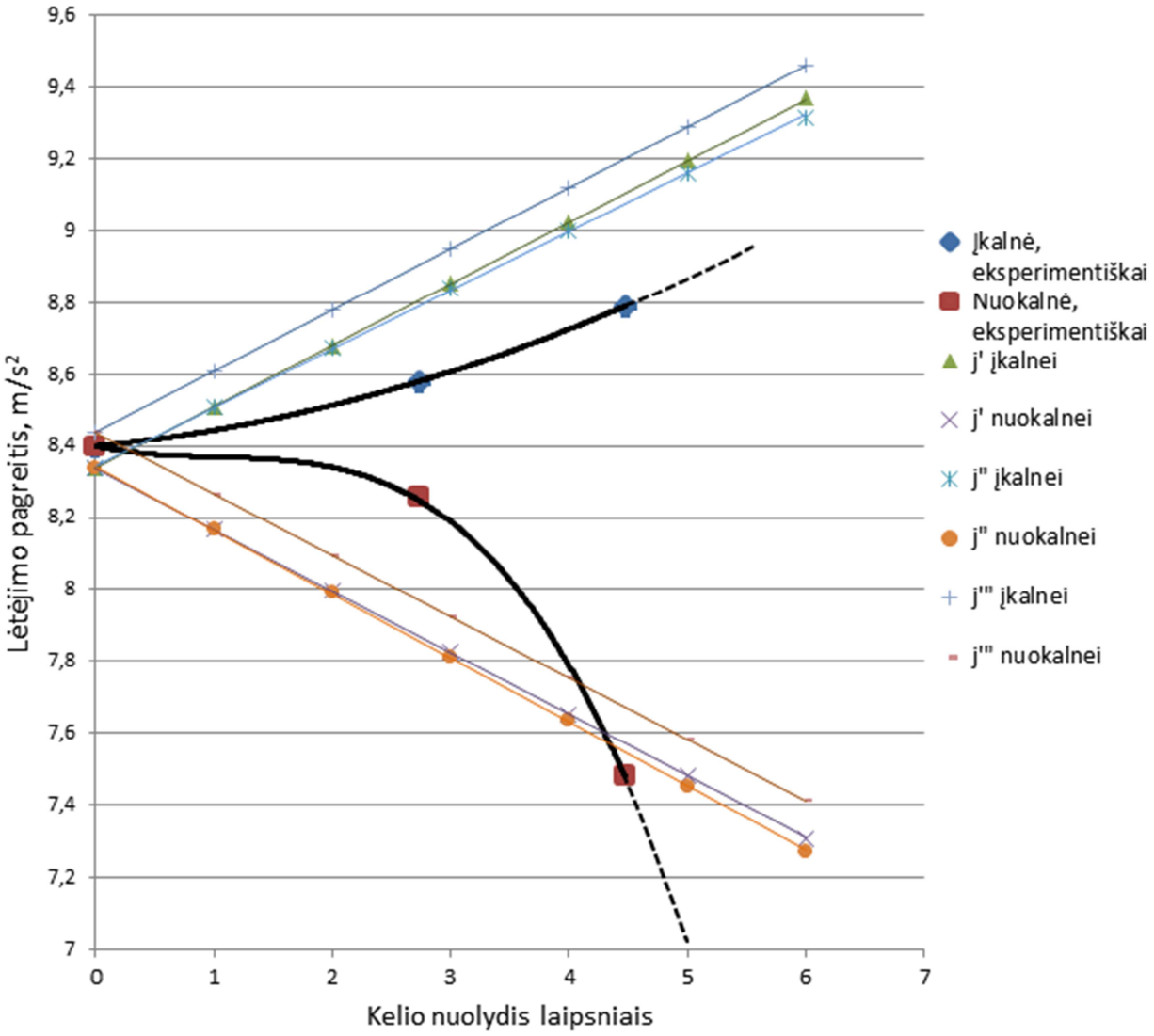
46 pav. Prietaisu „XL Meter Pro“ gautas pagreitis išilgine ašimi kompiuterio ekrane

Išmatuoto lėtėjimo pagreičio santykinis pokytis padidėjus kelio nuolydžiui nuo 2,73° iki 4,47°:

$$\text{įkalnėje: } \Delta = \frac{8,79 - 8,58}{8,79} \cdot 100 = 2,39\ \%;$$

$$\text{nuokalnėje: } \Delta = \frac{8,26 - 7,48}{8,26} \cdot 100 = 9,44\ \%.$$

Taigi pagal atlikto tyrimo rezultatus pastebima, kad lėtėjimo pagreičiui kelio nuolydžio dydis gerokai didesnę įtaką turi stabdant nuokalnėje. Stabdant įkalnėje, kai kelio nuolydis kinta nuo 2,73 iki 4,47 laipsnio, lėtėjimo pagreičio skirtumas yra tik 2,39 procento, o stabdant nuokalnėje, esant tokiam pačiam nuolydžio kitimui, lėtėjimo pagreičio skirtumas siekia 9,44 procento. Taigi padidėjus nuokalnei lėtėjimo pagreitis labiau sumažėja, o tai padidina nuokalnėje eismo įvykio tikimybę, nes padidėja stabdymo kelias. Važiuojant įkalnėje lėtėjimo pagreitis padidėja, todėl eismo saugumui neigiamo poveikio tai nesukelia.



47 pav. Teorinės ir eksperimentiškai gautos lėtėjimo pagreičio kreivės

47 paveiksle pavaizduota teorinių ir eksperimentinių lėtėjimo pagreičio reikšmių nesutapimai. Eksperimentiškai gautos kreivės (juoda stora linija grafike) parodo charakteristiką pagal tris taškus, tačiau to pakanka nesutapimams pastebėti. Punktyrais pratęstos kreivės rodo charakteristikos prognozavimą.

Eksperimentiškai gauta lėtėjimo charakteristika kelio nuokalnei priklausomai nuo nuolydžio kampo kinta pagal priklausomybę:

$$j_{nuok.}(\alpha) = -0,021\alpha^3 + 0,0641\alpha^2 - 0,0739\alpha + 8,4; \quad (12)$$

Lėtėjimo charakteristika kelio įkalnei kinta pagal priklausomybę:

$$j_{įk.}(\alpha) = 0,0122\alpha^2 + 0,0325\alpha + 8,4. \quad (13)$$

Bandymais nustatyta, kad didėjant kelio nuokalnei lėtėjimo pagreitis kinta eksponentiškai. Esant nedideliam nuolydžiui lėtėjimo pagreitis mažėja lėčiau nei pagal teorinius skaičiavimus, o kai kelio nuolydis didesnis kaip 3 laipsniai, pagreitis sparčiai mažėja ir viršijus 4 laipsnių nuolydį lėtėjimo pagreitis yra mažesnis nei teoriškai paskaičiuotas. Kelyje su įkalne bandymų metu gautas lėtėjimo pagreitis nepasiekia teorinių reikšmių. Taigi atliekant dinaminius skaičiavimus kur yra kelio nuolydis būtina papildomai įvertinti lėtėjimo pagreičio dydžius, nes galimas nesutapimas su teoriškai paskaičiuojamais dydžiais.

5.3. Įtaka eismo saugumui

Remiantis atliktu tyrimu bei skaičiavimais ir norint gautus rezultatus pritaikyti eismo saugumui gerinti reikia pagal nagrinėjamas kelio charakteristikas pakoreguoti eismo reguliavimo priemonių veikimą. Dėl miestams būdingos intensyvios veiklos, tankaus apstatymo ir didelio apkrovimo, gatvės būna nutiestos pagal esamą žemės paviršiaus reljefą. Esančios įkalnės ir nuokalnės dažnai lemia avaringų situacijų susidarymą. Viena iš labai svarbių priemonių valdant eismo srautus miestuose yra šviesoforai. Todėl jų veikimas turi būti suderintas atsižvelgiant ne tik į eismo sąlygas, bet ir į kelio parametrus. Šviesoforų, esančių prie didesnio nuolydžio gatvių, signalų trukmė turi būti pritaikyta didesniam automobilių sustojimo keliui.

Artėjant prie mirksinčio žalio šviesoforo signalo arba jau degančio geltonos spalvos signalo vairuotojas turi įvertinti ar jo valdomas automobilis suspės sustoti iki sankryžos ar jis bus priverstas važiuoti per sankryžą prieš pat užsidegant ar jau degant draudžiamam signalui. Vairuotojai važiuodami nuokalnėje ne visada įvertina tai, kad jų valdomai transporto priemonei sustoti prireiks ilgesnio atstumo, todėl eismo reguliavimo priemonės turi būti tam pritaikytos. Geltonos spalvos signalo trukmė važiuojantiems nuokalne turi būti pailginta, kad vairuotojai, nusprendę stabdyti, tai galėtų suspėti saugiai padaryti iki stop linijos. Vertinant įtaką eismo saugumui, į skaičiavimus svarbu įtraukti žmogiškąjį faktorių – vairuotojo reakcijos laiką.

Sustojimo laikas, o šiuo atveju ir geltono šviesoforo signalo trukmė skaičiuojama taip:

$$t_{sust} = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) + \frac{v_0}{7,2\,j}; \qquad (14)$$

čia: t_1 – reakcijos laikas, $t_1 = 1$ s;

t_2 – stabdžių suveikimo laikas, $t_2 = 0,2$ s;

t_3 – lėtėjimo pagreičio augimo laikas, $t_3 = 0,4$ s;

v_o – pradinis greitis, km/h;

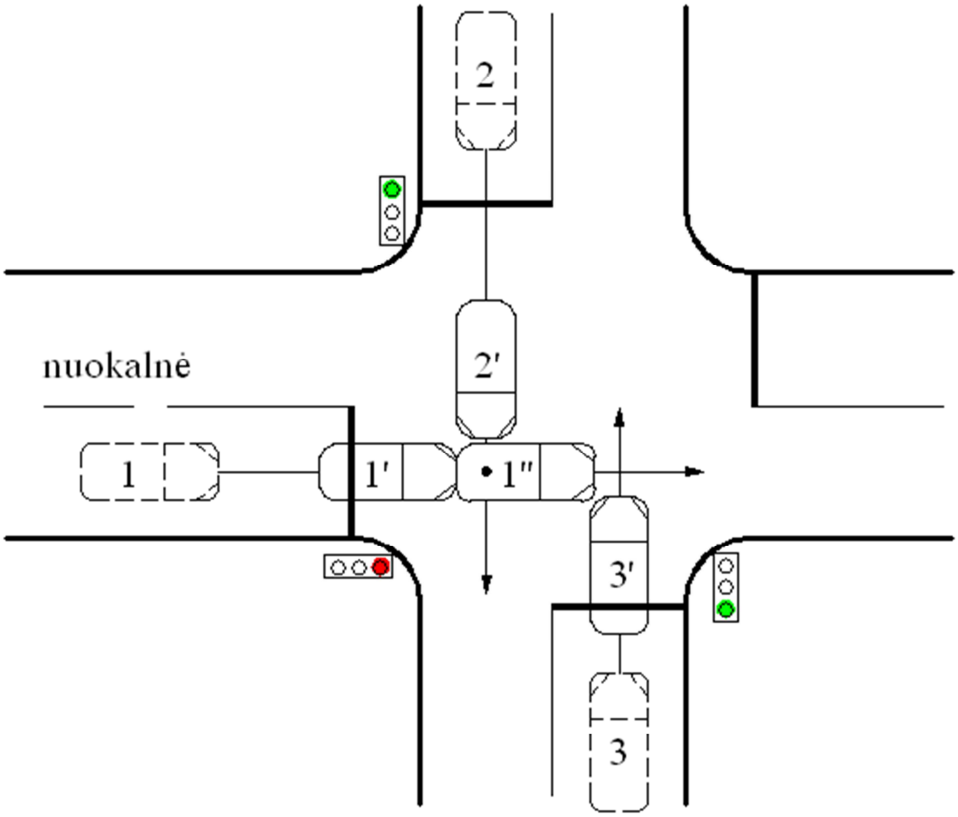
j – lėtėjimo pagreitis, m/s^2.

Sustojimo laikas esant lygiam keliui: $t_{sust} = (1 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,4) + \frac{50}{7,2 \cdot 8,40} = 2,23$ s;

Sustojimo laikas esant 4,3 % kelio nuolydžiui: $t_{sust} = (1 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,4) + \frac{50}{7,2 \cdot 8,26} = 2,24$ s;

Sustojimo laikas esant 7,8 % kelio nuolydžiui: $t_{sust} = (1 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,4) + \frac{50}{7,2 \cdot 7,48} = 2,33$ s;

Paskaičiuoti sustojimo laikai skiriasi nedaug, tačiau reikalinga įvertinti dar vieną atvejį. Reikia užtikrinti, kad jau degant draudžiamam signalui kertantis sankryžą automobilis spėtų pravažiuoti nesusidūrus su iš kairės arba dešinės jau pagal leidžiamą signalą judančiu automobiliu (48 pav. galimos automobilių susidūrimo pozicijos 1‘–2‘ ir 1“–3‘). Šiuo atveju vairuotojas užsidegus geltonam šviesoforo signalui nusprendė nebestabdyti (gal būt jausdamas, kad kelio nuolydis pailgins stabdymo kelią), o važiuoti per sankryžą, nors į ją įvažiuos jau degant raudonam signalui.



48 pav. Avaringa situacija reguliuojamoje sankryžoje

Avaringa situacija labai tikėtina, kai kertamuoju keliu važiuojantis automobilis 2 arba 3 (46 pav.) nebuvo sustojęs prie šviesoforo, ir sankryžoje jau juda įprastu greičiu (pvz. 50 km/h). Tokiu atveju atstumą nuo stop linijos iki galimo susidūrimo taško jis įveiks greičiau nei pradėdamas judėti nuo visiško sustojimo. Kad 46 paveiksle pavaizduotų galimų susidūrimų būtų išvengta t.y. automobilis 1 suspėtų pravažiuoti kelių susikirtimą dar iki į sankryžą įvažiuojant automobiliams 2 ir 3, turi būti pakankama raudono signalo trukmė visomis kryptimis. Tam turi būti įvertinta važiuojamųjų dalių pločiai ir vyraujantys važiavimo greičiai.

Taigi vertikalūs kelių nelygumai yra pavojingi ne tik dėl jais važiuojant kintančių automobilių dinaminių savybių, bet dažnai gali sukelti netiesiogiai su tuo susijusias avaringas situacijas. Dar važiuojant kelio zonoje su nuolydžiu vairuotojas priima sprendimus pagal esamą situaciją ir vėliau, jau tolesnėje kelio zonoje jo elgesys bus netikėtas ir pavojingas kitiems eismo dalyviams. Todėl kiekvieną kartą analizuojant eismo situaciją reikia žvelgti plačiau ir tik įvertinus visus galimus veiksnius pritaikyti reguliavimo ir kontrolės priemones. Atlikto stabdymo kelyje su nuolydžiu rezultatus galima pritaikyti ir automobilių tobulinimui sukuriant sistemas aktyvuojančias stabdžius užfiksavus važiavimą nuokalne arba automatinio pristabdymo sistemas.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Išanalizavus Lietuvos kelių eismo situaciją suformuluotos šios pagrindinės išvados:

1. Nors Lietuvoje pastaraisiais metais pagal avaringumo statistiką žmonių, žūstančių eismo įvykiuose, vis mažėja, tačiau lyginant su kitomis Europos valstybėmis, kurios daug dėmesio skiria eismo saugumui, nelaimės keliuose yra nuolatos atsakingos priežiūros ir tinkamų veiksmų reikalaujanti sritis.
2. Žmogiškasis faktorius tarp pagrindinių avaringumo veiksnių labiausiai įtakoja eismo įvykius. Net 91 % visų eismo įvykių priežasčių susijusios su vairuotojo veiksmais, todėl eismo dalyvių tinkamas švietimas ir visos visuomenės ugdymas įvairiomis priemonėmis turi būti neatsiejama ilgalaikio efekto siekiančių eismo saugumo programų dalis.
3. Šalyje kaupiama eismo įvykių statistika yra naudojama avaringiems ruožams nustatyti, tačiau dabartinės metodikos nėra pakankamai išsamios, kad visapusiškai įvertintų eismo problemas, po to turėtų sekti veiksmų pritaikymas esamai situacijai išspręsti.
4. Eismo saugumui gerinti daugiau dėmesio skiriama užmiesčio keliams, o miestuose didelės lėšos investuojamos grandiozinėms aplinkkelių ir viadukų statyboms, o tai nevisiškai užbaigus projektą sukelia papildomų eismo saugumo problemų. Miestuose gausu smulkių eismo reguliavimo ir organizavimo problemų, kurias net nedidelėmis lėšomis galima panaikinti. Apgyvendintose teritorijose didelis eismo intensyvumas ir pėsčiųjų skaičius verčia įvertinti kiekvieną detalę.
5. Atliktu automobilio stabdymo tyrimu kelyje su nuolydžiu siekta atkreipti dėmesį į kelio įtaką saugumui. Vertikalūs nelygumai turi būti įvertinami tiek miestuose, tiek užmiesčiuose reguliuojant eismą, nes eksperimentiškai gautos lėtėjimo pagreičio reikšmės neatitinka teorinių charakteristikų.
6. Didesnis lėtėjimo pagreičio neatitikimas su teoriniu nustatytas eismo saugumui pavojingesnėse kelio nuokalnėse. Didėjant kelio nuolydžiui lėtėjimo pagreitis mažėja sparčiau. Kelio nuolydžiui keičiantis nuo 2,73° iki 4,47° nuokalnėje lėtėjimo pagreitis skiriasi 9,44 %, o įkalnėje 2,39 %. Stabdant nuokalnėje labiau pasikeičia automobilio ašių apkrovimas, o ilgesniame kelio ruože stabdant padidėja temperatūra frikcinėse stabdžių sistemos detalėse.

LITERATŪRA

Bogdevičius, M.; Prentkovskis, O.; Vladimirov, O. 2004. Engineering solutions of traffic safety problems of road transport, *Transport* 19(1): 43–50.

Brabander, B.; Vereeck, L. 2006. Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users. Diepenbeek, Belgium 9: 591–-599 p.

Elmitiny, N.; Yan, X.; Radwan, E.; Russo, Ch.; Nashar, D. 2009. Classification Analysis of Driver's Stop/Go Decision and Red-light Running Violation. *Accident Analysis and Prevention* 42: 101–111.

Elvik, R.; Hoye, A.; Vaa, T.; Sorensen, M. 2009. *The Handbook of Road Safety Measures*. Amsterdam. 1128 p.

Enhui, X.; Yan, F.; Rui, W. 2010. Road Safety Analysis of Long Downgrade Highway Based on the Property of Vehicle Brakes Heat–Resistant, *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, p. 258–261.

Enhui, X.; Yan, F.; Rui, W. 2010. Road Safety Analysis of Long Downgrade Highway Based on the Property of Vehicle Brakes Heat–Resistant. *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*: 258–261.

Evans, L. 2004. *Traffic Safety*. Bloomfield, Mitchigan: Science Serving Society. 444 p.

Fastenmeier W., Gstalter H. Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. Miunchen: Institute for Applied Psychology, 2006. 28: 952-979 p.

Gerigh, P.; Bruhn, D.; Danner, D. ir kt. 2006. *Automobiliai*. Kaunas: Jotema. 607 p.

Hauer, D. 2001. Road Grade and Safety. *The Course of a Cpoject for UMA Engineering*, p. 18.

Hyden, Ch.; Varhelyi, A. 1999. The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. Lund, Sweden: 13 p.

Hong-bo, Q. 2009. The Influence of Intersection Transition Signal to Traffic Safety. Shanghai,China. 4 p.

Hong-Bo, Q.; Sheng, D. 2009. The Influence of Intersection Transition Signal to Traffic Safety, *International Conference on Services Sciences, Management and Engineering*, p. 144–147.

Inžinerinių eismo saugumo priemonių projektavimo ir naudojimo rokomendacijos R ESP 09. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2009. 77 p.

Yingxue, Z. Analysis of the Relation between Highway Horizontal Curve and Traffic Safety. China: 2009. 3 p.

Jurkauskas, A. 2001. *Automobilio eksploatacinės savybės*. Kaunas: Technologija. 144 p.

Li, K.; Dong, S.; Sun, J.; Yu, X. 2009. Study on the Influence of Signal Countdown Device on Traffic Safety of Intersections, *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, p. 602–606.

Lovegrove, G. R. 2007. *Road safety planning*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller. 218 p.

Marshall, W.E.; Garrick N.W. 2011. Does Street Network Design Affect Traffic Safety. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011): 789–761.

Nagurnas, S.; Garbinčius G. 2011. Evaluation of Spydometer Errors for Used Cars, in *Proceeding of the 7th International Conference „Transbaltica 2011“*, 131–135.

Paliulis, G. M. 2007. *Eismo inžinerija*. Vilnius: Technika. 120 p.

Peden, M. 2004. Global Collaboration on Road Traffic Injury Prevention. *Internetional Journal of Injury Control and Safety Promotion* (12) 2: 85–91.

Perez, I. 2005. Safety impact of engineering treatments on undivided rural roads. Coruna, Spain, 9 (2005): 192–200.

Road safety manual: recommendations from the World Road Association (PIARC). La Defence: R2ute Market, 2003. 602 p.

Roess, R. P.; Prassas, E. S.; McShane, W. R. 2004. *Traffic Engineering*. New Jersey: Pearson Education Int. 786 p.

Sadauskas, V.; Pukalskas. S. 2002. Automobilio greičio įtaka avaringumui, *Respublikinė konferencija „Transportas-2002“*. 145–152.

Sokolovskij, E. 2007. Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces, *Transport* 22(4): 275–278.

Suzan Abou-Raya, Leila Abd ElMeguid. 2009. Road traffic accidents and the elderly. *Egypt: Geriatr Gerontol Int:* 8 (2009): 290–297.

Wong, J. Y. 2008. *Theory of Ground Vehicles.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 4-th ed. 560 p.

Zhu, S., Xu, Y., Yan, Y. 2001. Study on Traffic Safety, Efficiency and Intervention in Weaving Area. China. 4 p.

2005–2010 m. ir 2011–2015 m. valstybinės eismo saugumo programos, prieiga per internetą: http://www.lpept.lt/lt/statistika/index.php

http://www.transp.lt/lt/veikla/veiklos_kryptys/saugus_eismas

Lietuvos automobilių kelių direkcija, prieiga per internetą: http://www.lakd.lt

Lietuvos kelių policijos tarnyba, prieiga per internetą: http://www.lpept.lt/lt

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, prieiga per internetą: http://www.transp.lt

Nacionalinė kelių eismo saugumo administracija (angl. NHTSA – National Traffic Safety Administration), prieiga per internetą: http://www-fars.nhtsa.dot.gov

Pasaulio sveikatos organizacija (angl. WSO – World Health Organization), prieiga per internetą: http://www.who.int

Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008, Automobilių keliai.

Standartas LST 1405:1995 „Kelio ženklų ir šviesoforų naudojimas"

PRIEDAI

Stabdymo įkalnėje ir nuokalnėje tyrimo prietaiso „XL–Meter“ parodymai

„Toyota Avensis“

Eil. Nr. (važiavimo sąlygos)	**pradinis greitis, v_o, km/h**	**lėtėjimo pagreitis, *MFDD*, m/s^2**	**stabdymo laikas, *Tbr*, s**	**stabdymo kelias, S_o, m**
1 (4,3% (2,73°) įkalnė)	42,36	**8,93**	1,31	7,86
2	42,76	**8,59**	1,41	8,37
3	48,04	**8,3**	1,77	10,77
4	50,99	**8,66**	1,9	12,25
5	48,3	**8,78**	1,82	14,6
6	51,64	**9,07**	1,6	11,62
7	40,64	**8,6**	1,35	8,11
8	47,05	**8,3**	1,54	9,79
9	47,78	**8,13**	2,38	19,55
10	48,74	**8,61**	1,79	13,23
vidurkis:	**46,83**	**8,60**	**1,69**	**11,62**
1 (4,3% (2,73°) nuokalnė)	40,83	**8,57**	1,42	8,09
2	53,19	**8,91**	1,74	13,1
3	51,21	**8,17**	1,88	13,11
4	51,53	**7,93**	1,95	13,42
5	52,82	**8,22**	1,91	13,79
6	41,95	**8,51**	1,56	9,59
7	51,75	**8,18**	1,83	13,08
8	49,98	**7,85**	1,89	12,8
9	49,32	**7,93**	1,89	12,22
10	51,19	**8,59**	1,79	12,79
vidurkis:	**49,38**	**8,29**	**1,79**	**12,20**

„Toyota Prius“

Eil. Nr. (važiavimo sąlygos)	**pradinis greitis, v_o, km/h**	**lėtėjimo pagreitis, *MFDD*, m/s^2**	**stabdymo laikas, *Tbr*, s**	**stabdymo kelias, S_o, m**
1 (4,3% (2,73°) įkalnė)	54,24	**8,89**	1,74	13,73
2	49,49	**8,28**	1,66	12,08
3	51,65	**8,16**	1,76	13,33
4	49,8	**8,56**	1,72	12,6
5	53,05	**8,39**	1,78	13,66
6	52,09	**8,76**	2,02	17,56
7	51,6	**8,15**	1,74	13,3
8	50,01	**8,38**	1,74	12,3
9	51,34	**8,97**	1,68	12,31
10	50,7	**8,92**	1,62	12,1

vidurkis:	**51,40**	**8,55**	**1,75**	**13,30**
1 (4,3% (2,73°) nuokalnė)	52,26	**8,23**	1,94	15,18
2	52,99	**8,6**	1,86	14,58
3	54,23	**8,1**	1,94	15,89
4	54,69	**8,07**	2,04	16,47
5	51,63	**8,06**	1,88	14,49
6	53,38	**8,14**	1,98	15,21
7	53,97	**8,08**	2,02	16,09
8	52,84	**8,27**	1,88	14,57
9	52,29	**8,29**	1,86	14,34
10	54,28	**8,49**	1,92	15,24
vidurkis:	**53,26**	**8,23**	**1,93**	**15,21**

„Toyota Avensis“

Eil. Nr. (važiavimo sąlygos)	**pradinis greitis, v_o, km/h**	**lėtėjimo pagreitis, *MFDD*, m/s^2**	**stabdymo laikas, *Tbr*, s**	**stabdymo kelias, S_o, m**
1 (7,8% (4,47°) įkalnė)	51,69	**9,06**	1,74	13,36
2	52,13	**8,51**	1,84	13,79
3	50,39	**9,02**	1,68	12,6
4	50,94	**8,84**	1,7	12,22
5	50,92	**8,55**	1,74	12,68
6	51,58	**8,54**	1,74	12,96
7	52,28	**9,16**	1,66	12,7
8	52,93	**8,69**	3,08	31,79
9	51,68	**8,84**	1,72	12,71
10	51,36	**8,76**	1,68	12,42
vidurkis:	**51,59**	**8,80**	**1,86**	**14,72**
1 (7,8% (4,47°) nuokalnė)	50,26	**7,33**	1,92	14,13
2	49,77	**7,75**	1,92	13,99
3	51,05	**7,87**	1,9	14,14
4	52,86	**7,73**	2	15,4
5	52,33	**7,29**	2,04	15,61
6	53,29	**7,52**	2,08	,16,10
7	53,82	**7,71**	2,04	15,91
8	49,2	**7,21**	1,9	13,56
9	50,82	**7,59**	1,98	14,58
10	51,41	**7,58**	1,98	14,86
vidurkis:	**51,48**	**7,56**	**1,98**	**13,22**

„Toyota Prius“

Eil. Nr. (važiavimo sąlygos)	pradinis greitis, v_o, km/h	lėtėjimo pagreitis, *MFDD*, m/s^2	stabdymo laikas, *Tbr*, s	stabdymo kelias, S_o, m
1 (7,8% (4,47°) įkalnė)	52,35	**8,72**	1,84	14,21
2	53,03	**9**	1,8	13,95
3	51,88	**8,47**	1,82	13,96
4	51,52	**8,87**	2,3	20,64
5	53,27	**8,68**	1,84	14,37
6	52,23	**9**	1,84	14,52
7	52,8	**8,86**	1,84	13,97
8	52,37	**8,95**	1,94	15,19
9	50,99	**7,99**	1,98	15,4
10	54,12	**9,18**	1,78	13,98
vidurkis:	**52,46**	**8,77**	**1,90**	**15,02**
1 (7,8% (4,47°) nuokalnė)	53,87	**7,25**	2,3	17,92
2	51,71	**7,64**	2,1	15,58
3	52,33	**7,3**	2,16	16,27
4	54,48	**7,94**	2,9	27,37
5	53,17	**7,54**	2,08	16,11
6	52,77	**7,59**	2,08	16,1
7	53,37	**6,91**	2,24	17,29
8	54,75	**6,99**	2,24	18,13
9	52,68	**7,48**	2,14	16,26
10	52,91	**7,33**	2,14	16,48
vidurkis:	**53,20**	**7,40**	**2,24**	**17,75**

ŠIUOLAIKINIŲ DYZELINIŲ AUTOMOBILIŲ VARIKLIŲ KIETŲJŲ DALELIŲ FILTRŲ REGENERACIJOS PROBLEMOS

The Regeneration Problems of DPF in Modern Car Powered by Diesel Engine

Saugirdas Pukalskas[1], Jonas Matijošius[2], Vidas Žuraulis[3], Vigilijus Sadauskas[4]

VGTU Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių transporto katedra[1,2,3,4]
saugirdas.pukalskas@vgtu.lt, jonas.matijosius@vgtu.lt[2], vidas.zuraulis@vgtu.lt[3], vigilijus.sadauskas@gmail.com[4]

Norint tenkinti EURO 5 aplinkosaugos standarto reikalavimus daugelis automobilių gamintojų savo gaminamuose dyzeliniuose automobiliuose montuoja kietųjų dalelių filtrą, sumažinantį suodžių kiekį išmetamosiose dujose. Automobilio eksploatacijos metu filtre prisikaupia kietųjų dalelių ir jis užsikemša. Išsivalo ši sistema automatiškai – vykstant savaiminei regeneracijai. Daugelio automobilių regeneracijos procesas vyksta tuomet, kai į variklio cilindrus degimo takto pabaigoje įpurškiama papildoma porcija dyzelino. Šis dyzelinas nesudega cilindre, bet patenka į išmetimo sistemą ir kietųjų dalelių filtrą, kuriame jis užsidega ir pakelia temperatūrą. Tačiau toks naudojamas būdas sukelia nepageidaujamus reiškinius – papildomai purškiamas dyzelinas, kai stūmoklis yra netoli apatinio rimties taško, patenka ant cilindro sienelių ir dalis jo nuteka į variklio karterį, atskiesdamas variklinę alyvą. Dėl to blogėja alyvos eksploatacinės savybės, trumpėja jos keitimo intervalas ir, savaime suprantama, didėja išlaidos automobilio aptarnavimui.

Šiame darbe atliktas dyzelinio automobilio Fiat Doblo, turinčio kietųjų dalelių filtrą, variklio alyvos kokybės eksploatacijos metu tyrimas, kurio metu nustatyta, kad įvykus regeneracijai variklinės alyvos pliūpsnio temperatūra staigiai sumažėja.

Įvadas

Dėl griežtėjančių aplinkosaugos reikalavimų dyzeliniams varikliams, šiuolaikiniai automobiliai aprūpinami moderniomis techninėmis sistemomis, kuriomis siekiama sumažinti išmetamąsias kenksmingas medžiagas iki nustatytų normatyvų (Lebedevas ir kt. 2009). Dyzelinio variklio išmetamosiose dujose viena pagrindinių kenksmingų medžiagų yra kietosios dalelės. Jos formuojasi dyzeliniame variklyje iš elementariosios anglies ir organinių komponentų, kurie daugiausiai susideda iš nesudegusios alyvos, dyzelino ir dalinai oksidavusių junginių degant alyvai ir degalams (Matijošius ir kt. 2009). Dėl kietųjų dalelių didėja susirgimų rizika, pasireiškianti mutageniniu ir kancerogeniniu efektu, plaučių ligomis, chroniškais viršutinių kvėpavimo takų uždegimais, astma ir alerginėmis reakcijomis (T. Barcnecht, 1983).

Šiuo metu gaminamiems ir parduodamiems ES automobiliams taikomos EURO 5 aplinkosaugos normos. Pagal jas kietųjų dalelių kiekiai neturi viršyti 5 mg/km. Gamintojai šias problemas sprendžia į dyzelinių variklių išmetimo sistemas montuodami kietųjų dalelių filtrus, kurie sumažina suodžių kiekį išmetamosiose dujose. Šie filtrai valosi regeneracijos būdu, kurio esmė yra susikaupusių kietųjų dalelių išdeginimas. Tačiau daugelio gamintojų sistemose naudojama tokia techno-

logija, kuomet vykstant regeneracijai variklinė alyva atsiskiedžia dyzelinu ir dėl to blogėja jos savybės. Be to sistemos aktyvavimui reikalingi tam tikri važiavimo režimai, kuriems nesant sistema veikia netinkamai (Matijošius ir kt, 2009; Brandenberger ir kt., 2005).

Literatūros apžvalga

Tiriant aktyviuosius ir pasyviuosius kietųjų dalelių filtro regeneracijos būdus suodžių kiekio sumažinimui išmetamosiose dujose buvo vykdoma kietųjų dalelių oksidacija deguonimi ir azoto dvideginiu. Tyrimai parodė, kad nesvarbu kokį iš minėtų būdų pasirinkus oksidacijos procesas žymiai pagerino kietųjų dalelių filtro regeneraciją (C. Gorsmann, 2005).

Optimalus kietųjų dalelių filtro purėtumas buvo 9 μm tiriant kietųjų dalelių filtre dalelių kaupiamąjį judėjimą Boltzmano metodu. Didėjant kietųjų dalelių dispersiškumui kietųjų dalelių filtro regeneracijos efektyvumas mažėdavo (K.Yamammoto ir kt., 2009).

Kietųjų dalelių filtro tyrimai parodė, kad didžiausias regeneracijos proceso efektyvumas pasiekiamas dyzeliniam varikliui dirbant pagal NEDC (New European Driving Cycle) metodiką (D. Finno ir kt., 2009).

Kietųjų dalelių filtro efektyvumo tyrimai nustatė, kad optimali regeneracijos temperatūra siekia 250ºC naudojant žematemperatūrinę plazmą ir regeneracijai prasidėjus didėja CO ir CO_2 kiekiai išmetamosiose dujose (M. Okubo ir kt., 2008).

Keramikinio filtro naudojimas didina regeneracijos efektyvumą iki 80%, o regeneracijos trukmė sumažėja iki 12 minučių (X. Xiaoguang ir kt., 2000).

Bandant dyzelinį variklį su kietųjų dalelių filtru pastebėta, kad vykstant filtro regeneracijos procesui variklinėje alyvoje 40-80% mažėja parafinų kiekis (S. Branderberger ir kt., 2005).

Tyrimų tikslas ir uždaviniai

Šio darbo tikslas – ištirti automobilio Fiat Doblo dyzelinio variklio (1,3 l darbinio tūrio, 55 kW galios) kietųjų dalelių filtro regeneracijos įtaką variklinės alyvos kokybei.

Tikslui pasiekti buvo sprendžiami tokie uždaviniai:

1. Paruošti tyrimo metodiką ir įrangą.
2. Atlikti bandomuosius važiavimus miesto režimu registruojant aplinkos ir važiavimo sąlygas, degalų sąnaudas bei atliekant sistemos elementų stebėseną (prietaisų skydelio rodmenys, bendras automobilių sistemų veikimas).
3. Atlikti laboratorinius alyvos kokybės rodiklių tyrimus (tankis, kinematinė klampa, pliūpsnio temperatūra).
4. Apdoroti gautus tyrimų rezultatus ir juos palyginti.

Tyrimų metodika

Tyrimai buvo atlikti Fiat Doblo automobiliu su 1,3 l darbinio tūrio dyzeliniu varikliu su kietųjų dalelių filtru. Važiavimai buvo atliekami dviem etapais: važiuojant miesto režimu Vilniuje (su dažnais pagreitėjimais ir stabdymais, vidutiniu 22-33 km/h greičiu) ir atliekant alyvos kokybės rodiklių laboratorinius bandymus (tankis, kinematinė klampa, pliūpsnio temperatūra).

Pirmu etapu buvo registruojami šie parametrai:

1. Degalų sąnaudos, l/100 km.
2. Rida, km
3. Aplinkos temperatūra, ^{o}C.
4. Važiavimo laikas ir trukmė, min.

Važiavimo sąlygos – miesto režimu (per valandą nuvažiuojant ~10 km, vidutiniškai per dieną ~75 km).

Antru etapu buvo registruojami šie parametrai:

1. Bandymų aplinkos temperatūra, ^{o}C.
2. Alyvos tankis, kg/m^{3}.
3. Alyvos kinematinė klampa, cSt.
4. Alyvos pliūpsnio temperatūra, ^{o}C.

Alyva laboratoriniams bandymams buvo imama prieš naują važiavimo etapą (po 12 val. pertraukos alyvai nusistovėti ir ataušti) po 100 ml ir nepapildant nauja, bet išlaikant lygį nežemiau minimalios ribos. Aplinkos temperatūra buvo matuojama technologiniu termometru TE 100, kurio matavimo ribos yra nuo 10 iki 300^{o}C (padalos vertė 1°C). Atliekant alyvos kinematinės klampos matavimus buvo remtasi VGTU Automobilių transporto katedros mokslininkų parengta naftos produktų kinematinės klampos nustatymo metodika, naudojant kapiliarinį viskozimetrą „Tamson ASTM D446“. Alyvos pliūpsnio temperatūra buvo matuojama remiantis VGTU Automobilių transporto katedros mokslininkų parengta naftos produktų pliūpsnio temperatūros nustatymo metodika, naudojant atviro tigelio prietaisą „NCL 120 Normalab Analis“. Bandymai buvo atliekami vienodomis sąlygomis, jeigu jų nepavykdavo išlaikyti, buvo įvedami pataisos koeficientai, atitinkantys nurodytose metodikose keliamus reikalavimus.

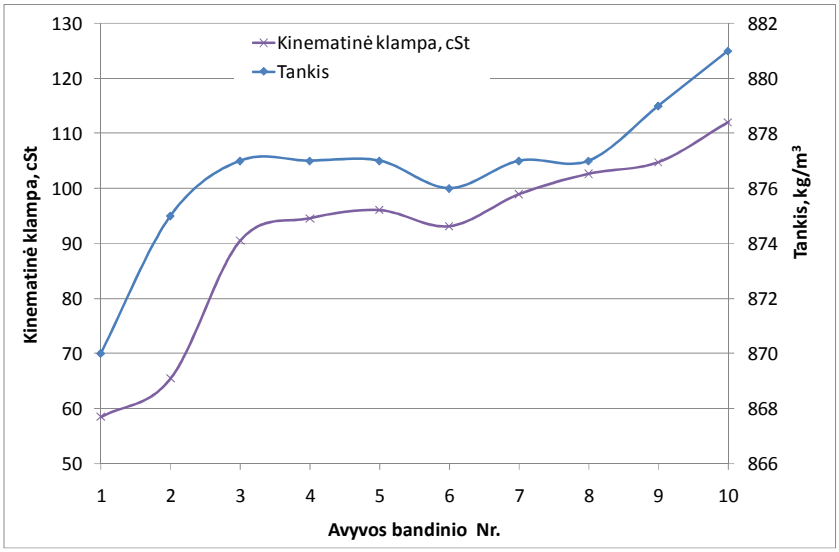
Tyrimų rezultatai

Bandymų metu automobilis buvo techniškai tvarkingas, po atliktos techninės priežiūros. Po dviejų dienų važiavimo, nuvažiavus 114 km miesto režimu prietaisų skydelyje užsidegė indikacinis rodmuo „įpurškimo sistemos gedimas“ („fuel injection system fault“), atsiradęs dėl užsikimšusio kietųjų dalelių filtro ir neįvykusio savaiminio regeneracijos proceso. Pasijuto mažesnė variklio trauka. Pagal gamintojo nurodytus reikalavimus siekta skatinti regeneracijos procesą 20 minučių važiuojant pastoviu 80 km/h greičiu, tačiau regeneracija neįvyko. Siekiant pašalinti šiuos gedimus buvo kreiptasi į specializuotą „Fiat“ automobilių servisą. Jame buvo atlikta priverstinė filtro regeneracija, po kurios automobilis be sutrikimų nuvažiavo 128

km. Po to prietaisų skydelyje užsidegė indikacijos rodmuo „užsikimšęs dyzelinių dalelių filtras“ („antipollution filter clugged“), kuris parodo, kad yra užsikimšęs kietųjų dalelių filtras, o važiavimo sąlygos neleidžia automatiškai aktyvuoti remonto procedūros. Kartu užsidegė indikacinis rodmuo „įpurškimo sistemos gedimas“, tai reiškia, kad filtro valymo procedūra negali būti atlikta. Pastebėtos didesnės degalų sąnaudos rodo, kad sistema bandė atlikti savaiminę regeneraciją papildomai tiekdama dyzeliną, reikalingą suodžių išdeginimui kietųjų dalelių filtre, tačiau regeneracijos procedūra neįvyko. Pakartotinai kreiptasi į specializuotą „Fiat“ automobilių servisą. Jame buvo pakartotinai atlikta priverstinė filtro regeneracija. Po to automobilis nuvažiavo dar 478 km ir įvyko savaiminė regeneracija: užsidegė indikacijos rodmuo „užsikimšęs dyzelinių dalelių filtras“, o nuvažiavus 5 km indikacinis rodmuo užgeso. Galima teigti, kad pakartotina specializuoto serviso priverstinė regeneracija buvo atlikta kokybiškai, o pirminė – ne.

Laboratorinio tyrimo metu buvo ištirta 10 alyvos mėginių, nustatant tankį, kinematinę klampą ir pliūpsnio temperatūrą. Charakteringi mėginiai būtų šie: pirmasis – šviežia alyva; trečiasis – užsidegus įspėjimui apie užsiteršusį kietųjų dalelių filtrą; ketvirtasis – po priverstinės regeneracijos; šeštasis – po pakartotinos priverstinės regeneracijos; devintasis – po savaiminės regeneracijos.

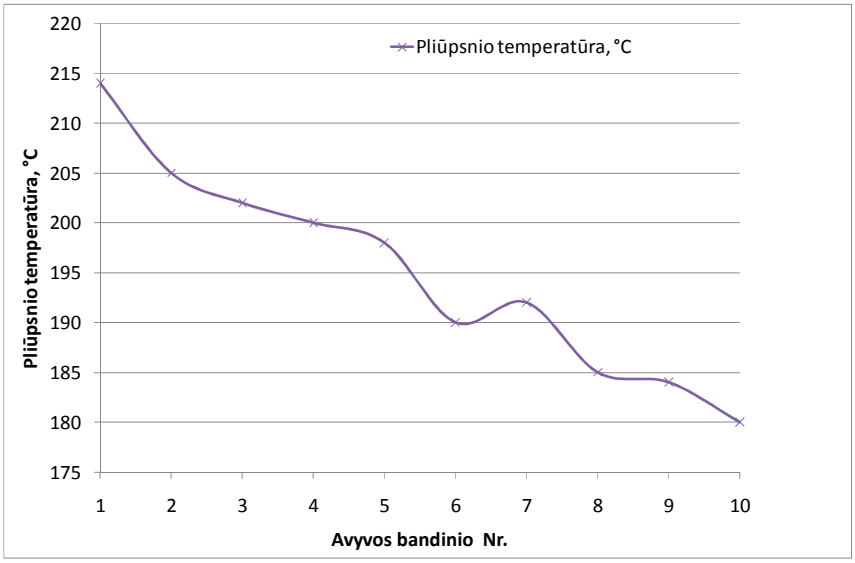
Atlikti tyrimai parodė, kad eksploatuojant automobilį su tokia kietųjų dalelių mažinimo technologija variklio alyvos tankis ir kinematinė klampa didėjo dėl į alyvą patenkančių suodžių (1 pav.).



1 pav. Alyvos kinematinės klampos ir tankio pokytis bandymų metu
Fig. 1 Variation of oil kinematic viscosity and density during investigation

Pliūpsnio temperatūros mažėjimas aiškinamas tuo, kad į alyvą patekęs dyzelinas praskiedžia alyvą, kurio pliūpsnio temperatūra yra žymiai mažesnė (65ºC), lyginant su alyvos (214ºC). Šią tendenciją aiškiai pastebime 2 paveiksle, kur matyti, kad

eksploatuojant automobilį alyvos pliūpsnio temperatūra nuolat mažėja, o ypač tai pastebima šeštajame taške – po sėkmingai atliktos pakartotinos priverstinės regeneracijos.



2 pav. Alyvos pliūpsnio temperatūros pokytis bandymų metu
Fig. 2 Variation of oil flash point during investigation

Kietųjų dalelių filtro regeneracijos metu į variklio cilindrus degimo takto pabaigoje įpurškiama papildoma porcija dyzelino. Šis dyzelinas nesudega cilindre, bet patenka į išmetimo sistemą ir kietųjų dalelių filtrą, kuriame jis užsidega ir pakelia jo temperatūrą. Tačiau toks naudojamas būdas sukelia nepageidaujamus reiškinius – papildomai purškiamas dyzelinas, kai stūmoklis yra netoli apatinio rimties taško, patenka ant cilindro sienelių, o kadangi dyzelinas yra labai skvarbus, jis pro tarpelį tarp stūmoklio ir cilindro patenka į variklio karterį, atskiesdamas variklinę alyvą. Tą akivaizdžiai įrodo šeštojo alyvos mėginio tyrimas. Dėl to blogėja alyvos eksploatacinės savybės, trumpėja jos keitimo intervalas ir, savaime suprantama, didėja išlaidos automobilio aptarnavimui.

Išvados

Atlikus eksperimentinius automobilio Fiat Doblo tyrimus buvo gautos šios išvados:

1. variklinės alyvos tankis nuvažiavus 380 km (5 alyvos mėginys) padidėjo 0,7 %, nuvažiavus 1200 km padidėjo 1,4 % (10 alyvos mėginys), lyginant su šviežios alyvos tankiu;
2. variklinės alyvos pliūpsnio temperatūra nuvažiavus 380 km (5 alyvos mėginys) sumažėjo 5,6 %, nuvažiavus 1200 km sumažėjo 15,9 % (10 alyvos mėginys), lyginant su šviežios alyvos pliūpsnio temperatūra;

3. variklinės alyvos klampa nuvažiavus 380 km (5 alyvos mėginys) padidėjo 38,9 %, nuvažiavus 1200 km padidėjo 47,7 % (10 alyvos mėginys), lyginant su šviežios alyvos klampa;
4. ankstesnės išvados leidžia daryti prielaidą, kad kietųjų dalelių filtro regeneracijos metu alyva yra skiedžiama dyzelinu, dėl ko trumpėja alyvos tarnavimo laikas, jos keitimo intervalas ir išlaidos automobilio aptarnavimui.

Literatūra

1. T. R. Barfknecht (1983) Toxicology of soot. *Progress in Energy and Combustion Science*, *Volume 9, Issue 3*, p. 199-237.
2. S. Brandenberger, M. Mohr, K. Grob, H. P. Neukom (2005) Contribution of unburned lubricating oil and diesel fuel to particulate emission from passenger cars, p 10-20.
3. D. Fino, V. Specchia (2008) Open issues in oxidative catalysis for diesel particulate abatement.*Powder Electronics* p. 63-75.
4. C. Gorsmann (2005) Catalytic coatings for active and passive diesel particulate filter regeneration. *Monatshefte fur Chemie* 136, p. 91–105.
5. K. Yamamoto, S. Oohori, H. Yamashita, S. Daido (2009) Simulation on soot deposition and combustion in diesel particulate filter *Thermal Issues in Emerging Technologies, ThETA 2, Cairo, Egypt, Dec 17-20th 2008* p. 231-236.
6. S. Lebedevas, G. Lebedeva (2009) The problems of using alcohol biofuel mixtures in the lithuanian transport system, *Transport*, p. 58-65.
7. J. Matijošius, E. Sokolovskij: (2009) Research into the quality of fuels and their biocomponents *Transport.* Vilnius : Vol. 24, no. 3, p. 212-217.
8. M. Okubo, T. Miyashita, T. Kuroki, S. Miwa and T. Yamamoto (2009) Regeneration of diesel particulate filter using nonthermal plasma without catalyst *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 45, NO. 5*, p.1568-1574.
9. X. Xiaoguang, L. Chengbin, G. Xiyan (2000) Study on microwave regeneration systemfor diesel emission particulate filter, ***2"d*** *International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings* p.1568-1574.

THE REGENERATION PROBLEMS OF DPF IN MODER CAR POWERED BY DIESEL ENGINE

Saugirdas Pukalskas[1], Jonas Matijošius[2], Vidas Žuraulis[3], Vigilijus Sadauskas[4]

In order to meet Euro 5 environmental standards, many car manufacturers produces diesel cars with particulate filter, witch reduces the amount of soot in the exhaust gases. During vehicle maintenance the particulate filter fouls because of hard particle. This system is cleared automatically – through self-regeneration. Many automobile regeneration processes when extra portion of diesel are injected in engine cylinders at the end of combustion stroke. This diesel does not burn in cylinder, but falls into the exhaust system and the particulate filter, where it ignites and raises filters temperature. However, such a method used causes adverse effects – extra injected diesel, when the piston is near bottom dead point,

falls on the cylinder wall and part of fuel gets into the crankcase, attenuating motor oil. As a result, the oil characteristics deteriorates, decreases the range of exchange and, of course, rise costs of vehicle maintenance.

In this research was investigated the variation of motor oil quality of diesel vehicle Fiat Doblo with a particulate filter during maintenance. It was found that after regeneration the flashpoint of motor oil sharply reduces.

ПРОБЛЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ФИЛЬТРА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЯХ

С. Пукалскас[1], Й. Матийошюс[2], В. Жураулис[3], В. Садаускас[4]

Многие производители пытаютса соответствовать требованиям стандарта окружаещей среды ЕВРО 5 для своих автомобилей их комплектируя с филтрами твердых частиц, которые снижают уровень сажи в выхлопных газах. При эксплуатации автомобиля в филтре происходит скопление твердых частиц, которыми он засоряетса. Система очисчаетса автоматически при соморегенерации филтра. У многих автомобилей процес регенерации происходит только тогда, когда в конце тракта сжигания в цилиндры двигателя впрыскиваетса дополнительная порция дизельного топлива. Оно не сжыгаетса в цилиндрах, а попадает в выхлопную систему и в филтр твердых частиц, где повышается температура и сжыгаетса сажа. Но использование токого метода приносит нежелательные последствия – дополнительная порция дизельного топлива, когда поршень находитса недалеко от НТД поступает на стенки цилиндра и часть дизельного топлива попадает в картер двигателя розбавляя тем самым моторное масло. За счет этого, ухудшаетса эксплуатацыонные своиства моторного масла, снижаетса интервал замены моторного масла, тем самым увеличеваетса расходы на содержания автомобиля.

В статье иследуетса параметры качетва моторного масла во время эксплуатации дизельного автомобиля Fiat Doblo имеющего филтр твердых частиц. Установлено что во время саморегенерации фильтра твердых частиц температура вспышки моторного масла уменьшаетса.