VILNIaUS GEDIMINo TECHNIkos UNIVERSITetas

Vilma JASIŪNIENĖ

eismo įvykių prognozavimo modelis lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams

Daktaro disertacija

technologijos mokslai,  
statybos inžinerija (02T)

Vilnius  2012

Disertacija rengta 2008–2012 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

**Mokslinis vadovas**

prof. dr. Donatas ČYGAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2048-M mokslo literatūros knyga

*http://leidykla.vgtu.lt*

ISBN 978-609-457-332-3

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

© Vilma Jasiūnienė, 2012

*vilma.jasiuniene@vgtu.lt*

VILNIUS GEDIMINas TECHNIcal UNIVERSITy

Vilma JASIŪNIENĖ

ROAD ACCIDENT PREDICTION MODEL FOR THE ROADS OF NATIONAL SIGNIFICANCE OF LITHUANIA

doctoral dissertation

technological sciences,  
civil Engineering (02T)

Vilnius  2012

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2008–2012.

**Scientific Supervisor**

Prof Dr Donatas ČYGAS (Vilnius Gediminas Technical University,

Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūros ir jų įgyvendinimo galimybės Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose. Pagrindinis tyrimo objektas ‒ eismo įvykių skaičiaus prognozavimas, eismo saugumo lygių nustatymas kelių tinkle. Pagrindinis disertacijos tikslas – panaudojant užsienio šalių patirtį, sudaryti ir įdiegti eismo įvykių prognozavimo modelį Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams.

Disertacijoje išspręsti šie pagrindiniai uždaviniai: atlikta eismo įvykių prognozavimo metodų analizė, sudarytas eismo įvykių prognozavimo algoritmas Lietuvos automobilių keliams, sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai homogeninėms kelių ir sankryžų grupėms, nustatyti eismo saugumo lygiai kelių tinkle bei išskirti potencialiai pavojingi kelių ruožai, realizuotas eismo įvykių prognozavimo modelis kompiuterinėje programoje, atlikti kompiuterinės programos bandomieji skaičiavimai.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir 6 priedai.

Įvadiniame skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje atlikta kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų ir jų įgyvendinimo analizė. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikta eismo įvykių prognozavimo modelių apžvalga ir jų sudarymo principai.

Trečiajame skyriuje sudarytas eismo įvykių prognozavimo algoritmas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams, sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai homogeninėms kelių ir sankryžų grupėms, nustatyti eismo saugumo lygiai kelių tinkle ir išskirti potencialiai pavojingi eismo saugumo požiūriu kelių ruožai.

Ketvirtajame skyriuje aprašytas programinės įrangos, skirtos įdiegti sudarytą eismo įvykių prognozavimo algoritmą, testavimas ir analizė.

Disertacijos tema paskelbti penki straipsniai: trys – periodiniame mokslo žurnale, įtrauktame į *Thomson ISI Web of Science* sąrašą, du – recenzuojamose tarptautinių konferencijų medžiagose. Disertacijos tema perskaityti 5 pranešimai tarptautinėse konferencijose.

Abstract

The dissertation studies road infrastructure safety management procedures and possibilities of their implementation on the roads of national significance of the Republic of Lithuania. The main objects of research ‒ accident prediction, road network safety ranking. The aim of the dissertation is by making use of the best practices of foreign countries to develop and introduce accident prediction model for the roads of national significance of Lithuania.

The following main tasks were solved in the dissertation: analysis of accident prediction methods, design of accident prediction algorithm for the roads of national significance of Lithuania, development of mathematical accident prediction models for homogenous groups of roads and junctions, classification of road network of national significance of Lithuania into homogenous road sections and junctions, realization of accident prediction model in a computer program, network safety ranking and determination of road sections road sections with a potentially high accident concentration, execution of test calculations of the program.

The dissertation consists of introduction, four chapters, general conclusions, the list of references and the list of author’s publications on the topic of the dissertation, 6 addenda.

Introduction describes the studied problem, topicality of the problem and the object of research, also the formulated aim and tasks, research methodology, scientific novelty, practical value of results and the defended propositions. Introduction is concluded with the author’s publications on the topic of the dissertation, the list of presentations made in the conferences, and the structure of dissertation.

Chapter 1 describes the analysis of road infrastructure safety management procedures and their implementation. The chapter ends with the formulated conclusions and the specified dissertation tasks.

Chapter 2 gives the overview of accident prediction models and the principles of their development.

Chapter 3 presents the designed accident prediction algorithm for the roads of national significance of Lithuania, the developed mathematical accident prediction models for homogenous groups of roads and junctions, the implemented network safety ranking and the determined road sections with a potentially high accident concentration.

Chapter 4 describes the testing and analysis of software intended for the implementation of accident prediction algorithm.

On the topic of the dissertation 5 scientific articles have been published: three – in a periodical scientific journal included into the list of Thompson ISI Web of Science, two – in the reviewed proceedings of international conferences. On the topic of the dissertation 5 presentations were made in international conferences.

Sąvokos

**Automobilis** – bet kokia motorinė transporto priemonė, skirta važiuoti keliu, vežti krovinius ir (ar) keleivius arba vilkti kitas transporto priemones. Prie automobilių taip pat priskiriami troleibusai, nebėginės elektrinės transporto priemonės, kurioms energija tiekiama elektros laidais. Prie automobilių nepriskiriami motociklai, lengvieji keturračiai motociklai, keturračiai motociklai, mopedai, traktoriai ir savaeigės mašinos.

**Avaringasis ruožas** ‒ kelio ruožas, kuriame padidėjęs avaringumas, tačiau avaringumo rodikliai dar nepasiekė ribinės reikšmės.

**Eismo dalyvis** – kelių eisme dalyvaujantis asmuo (vairuotojas, pėsčiasis, keleivis).

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

**Eismo saugumas** – kelių eismo ypatybių visuma, rodanti, kiek eismo dalyviai yra apsaugoti nuo eismo įvykių ir jų padarinių.

**„Juodoji dėmė“** ‒ kelio ruožas, kuriame yra padidėjęs avaringumas ir rodikliai yra pasiekę arba viršiję ribines reikšmes.

**Sankryža** – kelių susikirtimo, susijungimo arba atsišakojimo viename lygyje vieta, įskaitant atvirus plotus, kuriuos sudaro minėti kelių susikirtimai, susijungimai arba atsišakojimai. Sankryžomis nelaikomos vietos, kur išvažiuojama iš kelio į esančias šalia jo teritorijas arba įvažiuojama į kelią iš esančių šalia jo teritorijų.

**Skiriamoji kelio juosta** – konstrukcinis kelio elementas (apželdintas veja, želdiniais arba su kelio danga, kurioje įrengti apsauginiai atitvarai), skiriantis gretimas važiuojamąsias kelio dalis ir nenumatytas transporto priemonėms važiuoti arba sustoti (stovėti).

**Transporto priemonė** – priemonė žmonėms ir (arba) kroviniams, taip pat ant jos sumontuotai stacionariai įrangai vežti. Ši sąvoka taip pat apima traktorius, savaeiges mašinas ir eismui ne keliais skirtas transporto priemones.

**Vairuotojas** – asmuo, vairuojantis transporto priemonę. Vairuotojams gali būti prilyginami vadeliotojai, raiteliai, asmenys, varantys keliu gyvulius ar paukščius, taip pat asmenys, kurie moko vairuoti.

**Kelias** – inžinerinis statinys, skirtas transporto priemonių ir pėsčiųjų eismui. Kelią sudaro žemės sankasa, važiuojamoji dalis, kelkraščiai, skiriamoji juosta, kelio grioviai, sankryžos, autobusų sustojimo aikštelės, poilsio aikštelės, pėsčiųjų ir dviračių takai, kelio statiniai, techninės eismo reguliavimo priemonės, želdynai, esantys kelio juostoje, kelio oro sąlygų stebėjimo ir transporto eismo apskaitos, apšvietimo bei kiti įrenginiai su šių objektų užimama žeme.

Žymėjimai

Santrumpos

AEI ‒ aukštas eismo intensyvumas.

AK – avaringumo koeficientas, vienas iš kelio avaringumo laipsniui nustatyti naudojamų avaringumo rodiklių, rodantis eismo įvykių skaičių, tenkantį 1 mln. automobilių, pravažiuojančių vieno kelio ruožu per vienerius metus.

AT ‒ eismo įvykių tankis, vienas iš kelio avaringumo laipsniui nustatyti naudojamų avaringumo rodiklių, parodo eismo įvykių skaičių, tenkantį vieno kilometro kelio ruožui per metus.

BVP ‒ bendrasis vidaus produktas.

EĮ ‒ eismo įvykis.

ISEM ‒ interaktyvus saugaus eismo modelis.

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos.

LAKIS – Lietuvos automobilių kelių informacinė sistema.

STP ‒ sunkusis transportas.

TARVA – kelių saugaus eismo priemonių poveikį įvertinantis modelis.

TARVAL ‒ kelių saugaus eismo priemonių poveikį įvertinantis modelis, pritaikytas Lietuvos sąlygoms.

TARVA LT ‒ kompiuterinė programa, eismo įvykių prognozavimo modeliui realizuoti.

TP ‒ transporto priemonė.

VĮ TKTI ‒ Valstybės įmonė „Transporto ir kelių tyrimo institutas“.

VMPEI – transporto priemonių vidutinis metinis paros eismo intensyvumas.

VPEI ‒ transporto priemonių vidutinis paros eismo intensyvumas.

VEI ‒ transporto priemonių vidutinis valandos eismo intensyvumas.

VTT ‒ Suomijos techninių tyrimų centras.

ŽEI ‒ žemas eismo intensyvumas.

Pagrindiniai simboliai

*A* ‒ eismo įvykių skaičius.

*Aprog* ‒ prognozuojamas eismo įvykių skaičius.

*Aistor* ‒ istorinių eismo įvykių skaičius.

*L* ‒ kelio ruožo ilgis, km.

*m* ‒ nagrinėjamas laikotarpis, metais.

α ‒ svorinis koeficientas.

Turinys

[ĮVADAS 1](#_Toc336591899)

[Problemos formulavimas 1](#_Toc336591900)

[Darbo aktualumas 2](#_Toc336591901)

[Tyrimų objektas 4](#_Toc336591902)

[Darbo tikslas 4](#_Toc336591903)

[Darbo uždaviniai 4](#_Toc336591904)

[Tyrimų metodika 5](#_Toc336591905)

[Darbo mokslinis naujumas 5](#_Toc336591906)

[Darbo rezultatų praktinė reikšmė 5](#_Toc336591907)

[Ginamieji teiginiai 6](#_Toc336591908)

[Darbo rezultatų aprobavimas 6](#_Toc336591909)

[Disertacijos struktūra 7](#_Toc336591910)

1. [AUTOMOBILIŲ KELIŲ INFRASTRUKTŪROS SAUGUMO VALDYMO PROCEDŪRŲ ANALIZĖ 9](#_Toc336591911)

[1.1. Poveikio kelių saugumui vertinimas 10](#_Toc336591912)

[1.2. Kelių saugumo auditas 11](#_Toc336591913)

[1.3. Kelių saugumo patikrinimas 16](#_Toc336591914)

[1.4. „Juodųjų dėmių“ ir avaringų ruožų nustatymo metodika ir jų šalinimas 19](#_Toc336591915)

[1.5. Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas ir didelio avaringumo ruožų klasifikavimas 21](#_Toc336591916)

[1.6. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas 27](#_Toc336591917)

2. [EISMO ĮVYKIŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ APŽVALGA IR JŲ SUDARYMO PRINCIPAI 29](#_Toc336591919)

[2.1. Eismo įvykių prognozavimo modelių apžvalga 30](#_Toc336591920)

[2.2. Eismo įvykių prognozavimo modelio sudarymo principai automobilių   
keliams 41](#_Toc336591921)

[2.2.1. Matematinio eismo įvykių prognozavimo modelio kintamųjų   
nustatymas ir modelio sudarymas 43](#_Toc336591922)

[2.2.2. Informacijos surinkimas ir apdorojimas 44](#_Toc336591923)

[2.2.3. Modelio atitikimo kriterijus 45](#_Toc336591924)

[2.3. Eismo saugumą gerinančių priemonių parinkimo ir vertinimo metodikos 45](#_Toc336591925)

[2.4. Antrojo skyriaus išvados 50](#_Toc336591926)

3. [EISMO ĮVYKIO PROGNOZAVIMO MODELIO SUKŪRIMAS LIETUVOS VALSTYBINĖS REIKŠMĖS AUTOMOBILIŲ KELIAMS 51](#_Toc336591927)

[3.1. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių apžvalga 51](#_Toc336591928)

[3.2. Eismo įvykių prognozavimo modelis Lietuvos valstybinės reikšmės   
automobilių keliams 54](#_Toc336591929)

[3.2.1. Nepriklausomų kintamųjų parinkimas ir reikalingų   
duomenų surinkimas 56](#_Toc336591930)

[3.2.2. Kelių tinklo skaidymas į homogeninius ruožus 57](#_Toc336591931)

[3.2.3. Matematinių eismo įvykių modelių sudarymas 65](#_Toc336591932)

[3.2.4. Prognozuojamų eismo įvykių skaičiavimai 72](#_Toc336591933)

[3.3. Kelių tinklo saugumo lygių ir potencialiai pavojingų ruožų nustatymas 73](#_Toc336591934)

[3.4. Trečiojo skyriaus išvados 78](#_Toc336591935)

4. [PROGRAMINĖ ĮRANGA EISMO ĮVYKIŲ PROGNOZAVIMO MODELIUI REALIZUOTI 79](#_Toc336591936)

[4.1. Kompiuterinė programa Tarva LT 80](#_Toc336591937)

[4.1.1. Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas 81](#_Toc336591939)

[4.1.2. Tikėtinų eismo įvykių skaičiaus nustatymas, jeigu nebus diegiamos   
eismo saugumą gerinančios priemonės 82](#_Toc336591940)

[4.1.3. Tikėtinų eismo įvykių skaičiaus nustatymas, įdiegus pasirinktas   
eismo saugumą gerinančias priemones 83](#_Toc336591941)

[4.2. Kompiuterinės programos Tarva LT bandomieji skaičiavimai 86](#_Toc336591942)

[4.3. Ekonominis vertinimas 92](#_Toc336591943)

[4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados 93](#_Toc336591944)

[BENDROSIOS IŠVADOS 95](#_Toc336591945)

[LITERATŪRA IR ŠALTINIAI 97](#_Toc336591946)

[AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS 105](#_Toc336591947)

[PRIEDAI 107](#_Toc336591948)

A priedas. Interaktyvus saugaus eismo modelis 108

B priedas. Pradiniai duomenys matematinių modelių sudarymui 109

C priedas. Homogeniniai kelių ruožai ir sankryžos 110

D priedas. Prognozuojami eismo įvykiai kelių tinkle 111

E priedas. Potencialiai pavojingi kelių ruožai 112

F priedas. Bandomieji skaičiavimai kompiuterine programa Tarva LT 113

Contents

[INTRODUCTION 1](#_Toc336591899)

[Formulation of the problem 1](#_Toc336591900)

[Topicality of the problem 2](#_Toc336591901)

[The object of research 4](#_Toc336591902)

[The aim of dissertation 4](#_Toc336591903)

[The task of dissertation 4](#_Toc336591904)

[Methodology of research 5](#_Toc336591905)

[Scientific novelty 5](#_Toc336591906)

[The practical significance of dissertation 5](#_Toc336591907)

[Defended propositions 6](#_Toc336591908)

[Approval of the results of work 6](#_Toc336591909)

[The scope of disertation 7](#_Toc336591910)

1. [ANALYSIS OF ROAD INFRASTRUCTURE SAFETY MANAGEMENT PROCEDURES 9](#_Toc336591911)

[1.1. Road safety impact assessment 10](#_Toc336591912)

[1.2. Road safety audit 11](#_Toc336591913)

[1.3. Road safety inspection 16](#_Toc336591914)

[1.4. Methodology for the determination of black spot and high accident   
concentration sections and their elimination 19](#_Toc336591915)

[1.5. Network safety ranking and classification of high accident concentration   
sections 21](#_Toc336591916)

[1.6. Conclusions of chapter 1 and formulation of the tasks of dissertation 27](#_Toc336591917)

2. [OVERVIEW OF ACCIDENT PREDICTION MODELS AND PRINCIPLES   
OF THEIR DEVELOPMENT 29](#_Toc336591919)

[2.1. Overview of accident prediction models 30](#_Toc336591920)

[2.2. Principles of the development of accident prediction models for motor roads 41](#_Toc336591921)

[2.2.1. Determination of the variables of mathematical accident prediction   
model and model development 43](#_Toc336591922)

[2.2.2. Collection and processing of information 44](#_Toc336591923)

[2.2.3. Model compatibility 45](#_Toc336591924)

[2.3. Methodology for the selection and evaluation of safety improvements   
measures 45](#_Toc336591925)

[2.4. Conclusions of chapter 2 50](#_Toc336591926)

3. [DEVELOPMENT OF ACCIDENT PREDICTION MODEL FOR THE ROADS   
OF NATIONAL SIGNIFICANCE OF THE REPUBLIC OF LITHUANIA 51](#_Toc336591927)

[3.1. Overview of the roads of national significance of Lithuania 51](#_Toc336591928)

[3.2. Accident prediction model for the roads of national significance of Lithuania 54](#_Toc336591929)

[3.2.1. Selection of independed variables and collection of required data 56](#_Toc336591930)

[3.2.2. Road network classification into homogenous road sections   
and junctions 57](#_Toc336591931)

[3.2.3. Development of mathematical accident prediction models 65](#_Toc336591932)

[3.2.4. Calculations of the expected number of accidents 72](#_Toc336591933)

[3.3. Road network safety ranking and determination of road sections with a potential high accident concentration 73](#_Toc336591934)

[3.4. Conclusions of chapter 3 78](#_Toc336591935)

4. [SOFTWARE FOR THE REALIZATION OF ACCIDENT PREDICTION MODEL 79](#_Toc336591936)

[4.1. The Tarva LT software 80](#_Toc336591937)

[4.1.1. Determination of the levels of safety 81](#_Toc336591939)

[4.1.2. Determination of the predicted number of accidents if no safety improvement measures are implemented 82](#_Toc336591940)

[4.1.3. Determination of the predicted number of accidents having   
implemented the selected safety improvement measures 83](#_Toc336591941)

[4.2. Test calculation 86](#_Toc336591942)

[4.3. Economic evaluation 92](#_Toc336591943)

[4.4. Conclusions of chapter 4 93](#_Toc336591944)

[GENERAL CONCLUSIONS 95](#_Toc336591945)

[REFERENCES 97](#_Toc336591946)

[LIST OF AUTHOR‘S PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION 105](#_Toc336591947)

[ADDENDA 107](#_Toc336591948)

Addendum A. Interactive road safety model 108

Addendum B. Input data for the development of mathematical models 109

Addendum C. Homogenous road sections and junctions 110

Addendum D. Predicted accidents in the road network 111

Addendum E. Road sections with a potentially high accident concentration 112

Addendum F. Test calculations using the Tarva LT software 113

Įvadas

Problemos formulavimas

Transportas – viena pagrindinių šiuolaikinio ūkio sudėtinių dalių. Transporto sektoriuje plačiąja prasme sukuriama apie 7 % BVP ir užtikrinama daugiau kaip 5 % Europos Sąjungos darbo vietų. Transportas suteikia galimybę naudotis daugeliu mūsų laisvių: laisve dirbti ir gyventi įvairiose pasaulio šalyse, laisve mėgautis įvairiais produktais ir gauti įvairių paslaugų, taip pat laisve prekiauti ir megzti asmeninius ryšius (Komisijos Komunikatas. Darnusis ateities transportas... 2009). Automobilių kelių transportu vežama apie 50 % visų krovinių. Automobilių kelių transportas neabejotinai yra populiariausia keleivių susisiekimo priemonė. Šia transporto rūšimi vežama apie 98 % visų keleivių. Atsižvelgiant į tai, būtina užtikrinti saugią automobilių kelių infrastruktūrą.

Automobilizacijos pasiekimai XX a. sukėlė didžiausią šių dienų paradoksą. Automobilis, laikytas vienu pagrindinių technikos pažangos ir žmogaus laisvės rodiklių, virto viena didžiausių grėsmių žmogaus gyvybei ir sveikatai.

Pagrindiniai duomenys, iš kurių būtų galima spręsti apie važiavimo sąlygas ir eismo saugumą keliuose, yra eismo įvykių skaičius bei jų pasekmės. Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, keliuose kasmet žūsta daugiau kaip milijonas gyventojų, Europos Sąjungos šalių keliuose žūsta apie 40 tūkst. žmonių ir 1,7 mln. sužeidžiama. Skaičiuojama, kad eismo įvykių nuostoliai siekia 1–2 % Europos Sąjungos BVP. Lietuvoje kiekvienais metais užregistruojama apie 4–5 tūkst. eismo įvykių, kuriuose žūsta ar būna sužalojami žmonės, o visuomenė išgyvena socialines netektis. Dar daugiau eismo įvykių įvyksta, kai apgadinamos kelių transporto priemonės, transporto infrastruktūros objektai, padaroma žala aplinkai. Dėl per metus įvykusių eismo įvykių, šalies ūkis patiria apie 1,5 milijardo litų nuostolių. Kadangi kiekvienas visuomenės narys yra kelių eismo dalyvis, eismo saugumas yra visuotinė problema.

Tiek eismo įvykių statistika, tiek įvairių mokslininkų atlikti tyrimai rodo, kad dauguma eismo įvykių įvyksta dėl eismo dalyvio kaltės (t. y. žmogiškojo faktoriaus). Atsižvelgiant į tai, ir įvertinant tai, kad negalima nuspėti eismo dalyvio veiksmų konkrečioje situacijoje, būtina sukurti tokią kelio aplinką, kad eismo dalyvis turėtų galimybę padaryti kuo mažiau klaidingų veiksmų ir būtų priverstas pasirinkti teisingus sprendimus konkrečioje eismo situacijoje.

Projektuojant naujus kelius (kelio ruožus) ar rengiant kelio (kelio ruožo) rekonstrukcijos projektus, reikia priimti tokius sprendimus, susijusius su kelio infrastruktūros parametrais bei inžinerinėmis eismo saugumą gerinančiomis priemonėmis, kurie naujai projektuojamuose keliuose neleistų įvykti eismo įvykiams arba jų įvyktų kuo mažiau, o rekonstruojamuose keliuose – sumažintų eismo įvykių skaičių bei sušvelnintų jų pasekmes. Taip pat labai aktualu, parenkant inžinerines eismo saugumą gerinančias priemones, turėti galimybę įvertinti jų efektyvumą finansiniu požiūriu, t. y. kiek įmanoma mažiausiomis sąnaudomis pasiekti reikiamą rezultatą. Šioms problemoms išspręsti turėtų būti naudojami eismo įvykių prognozavimo modeliai, kurie leistų įvertinti prognozuojamą avaringumo situaciją, jeigu nebus diegiamos inžinerinės eismo saugumą gerinančios priemonės ir prognozuojamą avaringumą įdiegus vieną ar kitą priemonę.

Darbo aktualumas

Eismo saugumo gerinimas automobilių keliuose tiek Lietuvoje, tiek kitose Europos Sąjungos šalyse vis dar išlieka prioritetine sritimi. Didelis žuvusių ir sužeistų eismo dalyvių skaičius keliuose įpareigoja tiek specialistus, tiek mokslininkus skirti ypatingą dėmesį eismo saugumo problemoms spręsti.

Eismo įvykių metu patiriami ne tik dideli moraliniai, bet ir ekonominiai nuostoliai. Elvik (2000) atlikta analizė parodė, kad nuostoliai dėl eismo įvykių sudaro 1–2 % BVP.

Saugaus eismo sistemą sudaro trys komponentai: *Eismo dalyvis ‒ transporto priemonė ‒ kelias (aplinka)*. Eismo įvykis gali įvykti dėl neigiamos vieno iš sistemos veiksnio įtakos arba dėl keleto iš jų tarpusavio sąveikos, labai retai dėl visų veiksnių kartu (Jasiūnienė 2003; Pumputis 2006). Pašalinti kurį nors eismo įvykius sukeliantį veiksnį, t. y. tam tikrą rizikos faktorių, praktiškai neįmanoma – jį galima sumažinti iki minimumo, nes kad ir kokia būtų tobula eismo organizavimo bei valdymo sistema, visada egzistuoja tikimybė, kad gali įvykti eismo įvykis, kuriame bus nukentėjusiųjų (Pumputis 2006).

Nepaisant sėkmės vykdant ankstesnes Europos Sąjungos eismo saugumo programas, kurias įgyvendinus 2001–2010 m. keliuose buvo išsaugota 78 tūkst. gyvybių, Europos keliai vis dar nesaugūs: 2011 metais eismo įvykiuose žuvo 30 tūkst. žmonių. Europos Komisija ir toliau įvairiomis priemonėmis – šalių bendradarbiavimu, patirties mainais, moksliniais tyrimais ir studijomis, informavimo kampanijomis ir tam tikrais atvejais galbūt reguliavimu – siekia užtikrinti didesnį eismo dalyvių, transporto priemonių bei kelių infrastruktūros saugumą ir iki 2020 m. 50 % sumažinti žuvusiųjų skaičių Europos keliuose.

Nors Lietuvos automobilių keliuose eismo saugumo situacija nuo 2008 m. ženkliai gerėja, tačiau 2011 m. Lietuva vis dar buvo 24-oje vietoje iš 27 Europos Sąjungos valstybių pagal žuvusiųjų eismo įvykiuose skaičių. Blogesni rodikliai nustatyti Lenkijoje, Rumunijoje ir Graikijoje (Įskaitinių eismo įvykių... 2012).

Lietuvos Respublikos Vyriausybė, tęsdama darbus eismo saugumo gerinimo srityje, 2011 m. patvirtino Valstybinę saugaus eismo plėtros 2011‒2017 m. programą, kurios strateginis tikslas ‒ gerinant eismo saugumo būklę, pasiekti, kad pagal žuvusių eismo dalyvių skaičių, tenkantį 1 mln. šalies gyventojų, Lietuva atsidurtų tarp 10 geriausiais rezultatais pasižyminčių Europos Sąjungos valstybių (arba ne daugiau kaip 60 žuvusiųjų vienam milijonui gyventojų) (Valstybinė saugaus eismo... 2011). Strateginiam tikslui pasiekti nustatyti šie prioritetai:

* 1. Saugus eismo dalyvių elgesys.
  2. *Saugūs keliai*.
  3. Saugios transporto priemonės.
  4. Greita ir kokybiška pirmoji pagalba eismo dalyviams.
  5. Šiuolaikiškos informacinės technologijos.

Kelias ir jo infrastruktūra, kaip viena iš eismo saugumo sistemos sudedamųjų dalių, yra labai svarbi siekiant sumažinti eismo įvykių tikimybę keliuose. Jei, nepaisant prevencinių priemonių, eismo įvykis vis dėl to įvyko, tai, ar eismo dalyviai nukentės ir kiek sunkios bus eismo įvykių pasekmės, daugiausia priklauso nuo transporto priemonių ir eismo saugumo kelyje. Eismo dalyvių traumų sunkumas, atsižvelgiant į kelio infrastruktūrą, priklauso nuo to, kaip ir kur yra nutiestas kelias ir kokia kelio statinių konstrukcija (pvz., aukštas ir neatitvertas kelio pylimo šlaitas arba stori medžiai, augantys arti važiuojamosios dalies ir pan.).

Inžineriniai sprendimai automobilių keliuose gali ir apsaugoti eismo dalyvius nuo sužeidimų eismo įvykio metu, ir formuoti eismo dalyvių elgseną taip, kad eismo įvykis neįvyktų, pvz., dėl greičio mažinimo kalnelių važiavimo greitis yra mažesnis; pėsčiųjų takas nurodo, kad pėsčiasis turi eiti juo, o ne kelkraščiu; geometriniai kelio rodikliai dažnai lemia važiavimo greitį ir kitus vairuotojo sprendimus.

Paskutiniaisiais metais Lietuvos automobilių keliuose eismo saugumą gerinančios priemonės pagrindinai diegiamos nustatytose „juodosiose dėmėse“, tai reiškia, kad diegiamos tose vietose, kur *jau* įvyko eismo įvykiai ir žuvo žmonės (per 4 metus 500 metrų ruože įvyko 4 įskaitiniai eismo įvykiai). Suomijos mokslininkai jau keletą metų taiko eismo įvykių prognozavimo metodiką, leidžiančią prognozuoti eismo įvykius naujai tiesiamuose arba rekonstruojamuose kelių ruožuose. Tam panaudojami istoriniai eismo įvykių duomenys bei eismo įvykių prognozavimo modeliai.

Siekiant vykdyti eismo saugumo prevenciją ir nelaukti kol įvyks įskaitiniai eismo įvykiai bei susiformuos „juodoji dėmė“, būtina pritaikyti užsienio šalių patirtį ir sudaryti eismo įvykių prognozavimo modelį Lietuvos automobilių keliams. Sėkmingai prognozuojant eismo įvykių skaičių ir diegiant eismo saugumą gerinančias priemones potencialiai pavojinguose kelių ruožuose, galima išvengti naujų avaringų ruožų susidarymo.

Tyrimų objektas

Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliai, eismo įvykių skaičiaus prognozavimas, eismo saugumo lygių nustatymas kelių tinkle.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – panaudojant užsienio šalių patirtį, sudaryti ir įdiegti eismo įvykių prognozavimo modelį Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams.

Darbo uždaviniai

Siekiant užsibrėžto tikslo, buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. Susisteminti ir išanalizuoti mokslo darbus ir teisės aktus, skirtus kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų įgyvendinimui.
2. Atlikti eismo įvykių prognozavimo metodų analizę.
3. Sudaryti eismo įvykių prognozavimo algoritmą Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams.
4. Sudaryti matematinius eismo įvykių prognozavimo modelius homogeninėms kelių ir sankryžų grupėms.
5. Sudaryti eismo saugumo lygių nustatymo kelių tinkle metodiką.
6. Įdiegti eismo įvykių prognozavimo modelį kompiuterinėje programoje, atlikti jos testavimą bei bandomuosius skaičiavimus.

Tyrimų metodika

Darbe taikomos tyrimo metodikos pagrįstos užsienio šalių mokslininkų šios srities darbų analize. Darbe taikyti šie tyrimų metodai: statistinė analizė, duomenų lyginimas, grupavimas, detalizavimas.

Rengiant disertaciją remtasi Lietuvos ir užsienio autorių mokslinėmis publikacijomis, mokslo institucijų moksliniais ir informaciniais leidiniais.

Darbo mokslinis naujumas

Aprobuota užsienio šalių patirtis leido sudaryti eismo įvykių prognozavimo modelį Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams, taikant empirinį Bajeso metodą.

Pirmą kartą Lietuvoje paruošta, programiškai įdiegta ir bandomaisiais skaičiavimais patikrinta eismo įvykių prognozavimo metodika. Remiantis 2006‒2010 m. eismo įvykių, kelio geometrinių parametrų, eismo intensyvumo duomenimis, sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai homogeninėms kelių bei sankryžų grupėms.

Pirmą kartą Lietuvoje nustatyti eismo saugumo lygiai kelių tinkle pagal prognozuojamą eismo įvykių skaičių, t. y. nustatyti potencialiai pavojingi kelių ruožai, kuriuose tikėtinas didesnis eismo įvykių skaičius nei kituose savo aplinka panašiuose kelių ruožuose. Minėtų ruožų nustatymas ir tinkamų eismo saugumą gerinančių priemonių parinkimas bei diegimas juose leis išvengti eismo įvykių arba sušvelninti jų pasekmes.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbe pasiūlyti šie kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų ‒ poveikio kelių saugumui vertinimo ir kelių tinklo saugumo lygių nustatymo ‒ įgyvendinimo įrankiai leis iš anksto prognozuoti eismo įvykių skaičių Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose, diegti prevencines eismo saugumą gerinančias priemones ir išvengti eismo įvykių koncentracijos vietų ‒ „juodųjų dėmių“:

1. Sudarytas eismo įvykių prognozavimo algoritmas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams, atliktas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių suskaidymas į homogenines kelių ir sankryžų grupes, sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai homogeninėms kelių ir sankryžų grupėms, nustatyti eismo saugumo lygiai kelių tinkle ir išskirti potencialiai pavojingi eismo saugumo požiūriu kelių ruožai.

2. Eismo įvykių prognozavimui sukurta kompiuterinė programa Tarva LT suteiks galimybę vartotojui, atliekant nesudėtingus veiksmus bei neįvedant papildomos informacijos, prognozuoti tikėtiną eismo įvykių skaičių kelyje bei vertinti eismo saugumą gerinančių priemonių poveikį prognozuojamam avaringumui.

Darbo rezultatų pritaikymas turės įtakos eismo įvykių bei jų žalos mažinimui Lietuvos automobilių keliuose.

Ginamieji teiginiai

1. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose gali būti atliekamas eismo įvykių prognozavimas, taikant empirinį Bajeso metodą.
2. Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas turi būti paremtas prognozuojamų eismo įvykių skaičiumi tam tikrame kelio ruože, siekiant išskirti potencialiai pavojingus kelių ruožus iš viso kelių tinklo.
3. Inžinerinės eismo saugumą gerinančios priemonės turi būti diegiamos ne tik „juodosiose dėmėse“, bet ir potencialiai pavojinguose kelių ruožuose, siekiant užkirsti kelią naujų „juodųjų dėmių“ atsiradimui.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbti trys moksliniai straipsniai mokslo žurnaluose, įrašytuose į *Thomson ISI Web of Science* duomenų bazę ir turinčiuose citavimo indeksą (Čygas, Jasiūnienė 2001; Čygas *et al.* 2009; Jasiūnienė *et al.* 2012).

Disertacijos tema skaityti pranešimai penkiose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje:

* 12-ojoje Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis. Transportas“, 2009 m. Vilnius (Lietuva);
* Tarptautinėje konferencijoje „*XXVII International Baltic Road Conference“,* 2009 m. Ryga (Latvija);
* 7-ojoje tarptautinėje konferencijoje *„Наука* – *образованию, производству, экономике“*, 2009 m. Minskas (Baltarusija) (du pranešimai);
* 8-ojoje tarptautinėje konferencijoje *„Наука* – *образованию, производству, экономике“*, 2010 m. Minskas (Baltarusija);
* 8-ojoje tarptautinėje konferencijoje „*Environmental Engineering*“, 2011 m.Vilnius (Lietuva) (du pranešimai).

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios darbo išvados ir 6 priedai.

Darbo apimtis 123 puslapiai, 21 numeruota formulė, 35 paveikslai ir 16 lentelių. Rašant disertaciją panaudoti 98 literatūros šaltiniai.

1

Automobilių kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų analizė

Skyriuje pateikiama automobilių kelių (toliau ‒ kelių) infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų apžvalga bei teisinis jų reglamentavimas. Skyriaus tematika paskelbtas 1 mokslinis straipsnis ir skaityti 2 pranešimai konferencijose.

Europos Parlamentas ir Taryba 2008 m. priėmė direktyvą 2008/96/EB „Dėl kelių infrastruktūros saugumo valdymo“ (2008), kurioje reglamentavo keturias kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūras:

* kelių saugumo auditą;
* kelių saugumo patikrinimus;
* poveikio kelių saugumui vertinimą;
* kelių tinklo saugumo lygių nustatymą bei didelio avaringumo kelių ruožų klasifikavimą.

Ši direktyva turi būti taikoma visiems transeuropiniam kelių tinklui priklausantiems keliams, bet gali būti taikoma ir kitiems keliams.

Europos Komisija (2005) pažymėjo, kad minėtos direktyvos įgyvendinimas kiekvienais metais eismo įvykiuose išsaugos 600 gyvybių ir bus išvengta 7000 rimtų sužalojimų transeuropiniame kelių tinkle.



**1.1 pav.** Kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų grupės

**Fig. 1.1.** Groups of road infrastructure management procedures

Minėtos procedūros skirstomos į jau Europos Sąjungos šalyse nusistovėjusias dvi saugaus eismo veiklų grupės ‒ aktyviąją ir reaktyviąją (1.1 pav.). Aktyviajai grupei priklausančių procedūrų tikslas ‒ aptikti ir pašalinti priežastis, dėl kurių *gali* įvykti eismo įvykis. Reaktyviajai grupei priklausančios veiklos pasižymi tuo, kad jos remiasi *jau* įvykusių eismo įvykių informacija. Minėtos grupės veiklos skiriasi tiriamo objekto masteliu, pradedant trumpomis kelio atkarpomis ir baigiant atskirų tipų kelių grupėmis. Šių procedūrų įgyvendinimas užtikrina eismo saugumo gerinimą visą kelio tarnavimo laikotarpį, pradedant planavimu, baigiant eksploatavimu.

1.1. Poveikio kelių saugumui vertinimas

Poveikio kelių saugumui vertinimas yra prevencinė kelių saugumo procedūra, skirta nustatyti planuojamų projektų poveikį kelio ruožo ir greta esančių kelių tinklo saugumui. Tai strateginė palyginamoji naujo ar svarbaus esamo kelių tinklo pakeitimo poveikio greta esančio kelių tinklo saugumui analizė. Ši priemonė atliekama pradiniame planavimo etape prieš patvirtinant naujo kelio tiesimo ar esamo kelio rekonstrukcijos projektą.

Vertinimo metu lyginamos bent dvi alternatyvos: 1) įgyvendinti siūlomą projektą arba 2) pasirinkti „minimalaus įgyvendinimo (nieko nedarymo)“ alternatyvą atsisakant projekto įgyvendinimo. „Minimalaus įgyvendinimo“ alternatyva vadinamas toks sprendimas, kai nedaroma didelių investicijų, užtikrinant minimalius galiojančių standartų reikalavimus.

Poveikio kelių saugumui vertinimo procedūrą sudaro šie etapai:

1. Esamos situacijos analizė.
2. Avaringumo situacijos prognozavimas nediegiant eismo saugumą gerinančių priemonių.
3. Eismo saugumą gerinančių priemonių pasirinkimas bei jų poveikio skaičiavimas prognozuojamam avaringumui.
4. Naudos-sąnaudų skaičiavimas.
5. Alternatyvių projektų palyginimas, įskaitant avaringumo ir naudos-sąnaudų analizę.
6. Alternatyvių projektų reitingavimas ir optimistinio projekto nustatymas, atsižvelgiant į projekto įgyvendinimui numatytas lėšas bei pageidaujamą eismo saugumo lygį.

Kelių tiesimo ir rekonstrukcijos projektų vertinimas eismo saugumo požiūriu Lietuvoje yra naujas dalykas, tuo tarpu statyboje, ypač pastatų renovacijos srityje, jau eilę metų mokslininkai taiko atitinkamas rodiklių vertinimo metodikas, siekiant nustatyti efektyviausius renovacijos būdus (Zavadskas, Antuchevičienė 2007; Zavadskas *et al.* 2008a, 2008b).

1.2. Kelių saugumo auditas

**Kelio saugumo auditas** – nustatyta tvarka atliekamas išsamus techninis kelio projekto saugumo charakteristikų patikrinimas visais projekto rengimo ir įgyvendinimo etapais, pradedant nuo planavimo ir baigiant kelio priežiūros darbais, taip pat eksploatuojamo kelio būklės įvertinimas kelių eismo saugumo užtikrinimo požiūriu (Saugaus eismo... 2000)

Kelių saugumo audito pradininkai – Didžiosios Britanijos eismo inžinieriai. Idėja, taikyti kelių saugumo audito procedūrą, kilo tada, kai kelių eismo inžinieriai suprato, kad galima išvengti eismo įvykių, koreguojant kelių projektus eismo saugumo požiūriu. Taikant principą „prevencija geriau už gydymą“, eismo saugumo inžinieriai nusprendė perkelti savo patirtį į kelių projektus. Tokiu būdu, kelių saugumo auditą, kaip prevencinę saugaus eismo priemonę, D. Britanijos specialistai pradėjo vykdyti 1980 m. 1990 m. kelių eismo saugumo auditai pradėti atlikinėti ir Australijoje bei Naujojoje Zelandijoje. Audito taikymo geografija po truputį plėtėsi ir 1994 m. kelių saugumo auditas pradėtas vykdyti Danijoje. 1997 m., kaip prevencinė saugaus eismo priemonė, auditas buvo pradėtas taikyti ir Šiaurės Amerikoje (Belcher *et al.* 2008). Šiuo metu kelių saugumo auditas taikomas jau daugelyje šalių.

Lietuvoje kelių saugumo auditas buvo pradėtas taikyti nuo 2008 m. liepos 1 d. Šiai dienai mūsų šalyje kelių saugumo auditą reglamentuoja Lietuvos Respublikos saugaus eismo automobilių keliais įstatymas bei poįstatyminiai aktai – Kelių saugumo audito reikalavimai ir Kelių saugumo audito atlikimo tvarkos aprašas. Pikūnas ir Pumputis (2005) jau 2005 m. pažymėjo, kad kelių saugumo auditas labai naudinga ir efektyvi procedūra bei siūlė kelių saugumo auditą reglamentuoti įstatymiškai, įtraukti kaip eismo saugumą gerinančią priemonę į nacionalinę saugaus eismo programą bei vystyti procedūros vykdymą.

Pagrindiniai kelių saugumo audito tikslai yra:

* sumažinti eismo įvykių keliuose tikimybę, nukentėjusiųjų skaičių ir sužeidimų sunkumą;
* įvertinti kelio projektą kelių saugumo požiūriu visų eismo dalyvių (vairuotojų, pėsčiųjų, dviratininkų ir t. t.) atžvilgiu, nustatyti trūkumus ir pateikti rekomendacijas jiems pašalinti;
* siekti, kad eismo saugumo klausimai taptų kelio planavimo ir projektavimo dalimi.

Pagal Lietuvoje patvirtintus poįstatyminius teisės aktus (Kelių saugumo audito atlikimo... 2011; Kelių saugumo audito reikalavimai 2011), kelių saugumo auditas atliekamas, kai tiesiamas naujas kelias, kelias rekonstruojamas arba kapitališkai remontuojamas.

Kelių saugumo auditas turi būti planuojamas lygiagrečiai su kelių tiesimo, rekonstravimo, taisymo (remonto) ir eismo saugumą užtikrinančių inžinerinių priemonių įgyvendinimo projektų planavimu.

Kelių saugumo auditas gali būti atliekamas visais projekto etapais, pradedant nuo projekto planavimo iki jau prižiūrimo kelio. Kelių saugumo auditas atliekamas:

* teritorijų planavimo dokumentų;
* techninio projekto (ar jo dalies);
* kelio prieš pripažįstant jį tinkamu naudoti;
* kelio ankstyvaisiais jo priežiūros ir naudojimo etapais.

Labai svarbu kelių saugumo auditą atlikti kuo ankstesniame etape, kad būtų sutaupyti fiziniai ir finansiniais ištekliai, t. y. laikas ir lėšos, reikalingos projektui parengti ir įgyvendinti. Esant dideliam rekonstrukcijos projektui, kelių saugumo auditas pageidautinas visuose etapuose.

Kiekviena šalis kelia skirtingus reikalavimus kelių saugumo auditoriams ir jų komandoms (Matena *et al.* 2008). Auditorių komandoje turi būti ne tik kelių ar eismo saugumo inžinieriai, bet ir psichologas, policijos pareigūnas. Labai svarbu, kad auditoriai išmanytų eismo saugumo principus, nes priešingu atveju, kelių saugumo auditas gali tapti tiesiog projekto ekspertize.

Specialistai, atliekantys kelių saugumo auditą, turi būti nepriklausomi, t. y. negali būti audituojamo projekto vadovais, rengėjais ar kaip kitaip dalyvauti projektavimo procese. Tuo siekiama užtikrinti audito procedūros skaidrumą: audito metu nustatytų trūkumų ir pateiktų pasiūlymų nešališkumą.

Užsienio šalyse atliekamų kelių saugumo auditų analizė (Polidori *et al.* 2012) parodė, kad kai kuriose šalyse auditoriai naudoja kontrolinius eismo saugumo problemų sąrašus. Tokie sąrašai naudingi jauniems auditoriams ir gali būti naudojami kaip patarėjai-atmintinės.

Atlikdamas auditą, auditorius turi išnagrinėti kelio savininko pateiktus duomenis, prieš tai atliktų auditų (jeigu buvo) ataskaitas, apsilankyti audituojamame objekte bei nustatyti nesaugius kelio elementus ir problemas. Auditoriai turi atsižvelgti į visų eismo dalyvių saugumą (vairuotojai, pėstieji, dviratininkai ir pan.), priklausomai nuo jų amžiaus, t. y. pėstieji, vaikai, senyvo amžiaus pėstieji ir t. t.; įvertinti eismo sąlygas šviesiu/tamsiu paros metu, esant rūkui, lyjant lietui ir pan. Auditoriai taip pat turi įvertinti infrastruktūros objektus, esančius aplink projektuojamą kelią (geležinkelių pervažos, mokyklos, prekybos centrai, parkai, pramonės objektai ir pan.). Auditorių pateikiami pasiūlymai yra rekomendacinio pobūdžio ir galutinius sprendimus dėl auditorių pateiktų pasiūlymų įgyvendinimo priima kelio savininkas.

Informacija, susijusi su kelių saugumo audito nauda yra labai ribota. Danijoje 1995 m. buvo atlikta studija, kurioje nagrinėti 13-a kelio rekonstrukcijos projektų, kuriems buvo atliktas kelių saugumo auditas. Rezultatai parodė, kad įgyvendinus auditorių pateiktas rekomendacijas, tuose kelių ruožuose sumažėjo 25‒28 eismo įvykiais (sužeidimai ir eismo įvykiai, kuriuose patiriama žala nuosavybei (turtui)) per metus (Elvik 2004). Įvertinus tai, kad vidutiniškai kelių saugumo audito kaštai sudaro 0,5‒1 % viso projekto kainos, audito nauda yra akivaizdi.

Įvairių šalių kelių saugumo audito atlikimo principų, metodų bei patirties analizė parodė, kad daugelis šalių vadovaujasi panašiais principais ir metodais (1.1 lentelė). Daugumoje valstybių kelių saugumo audito procedūra yra teisiškai reglamentuota.

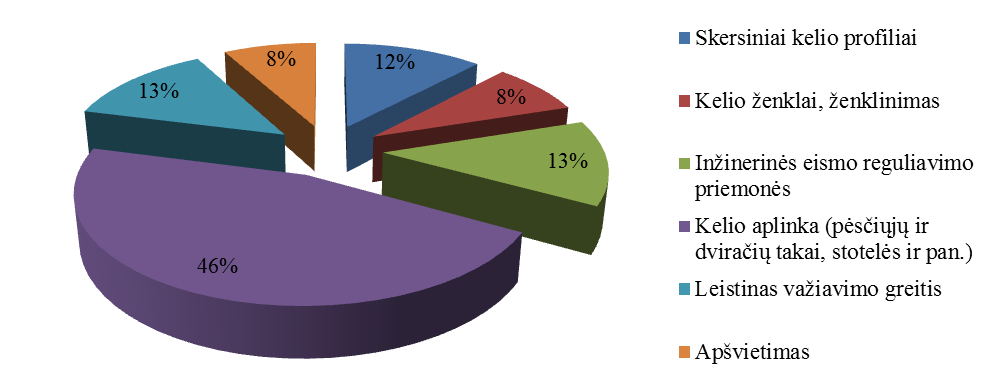
Vilniaus Gedimino technikos universiteto Kelių katedros specialistai išanalizavo 2008 m. II pusmetį Lietuvoje atliktų auditų ataskaitas ir nustatė pagrindines, pasikartojančias projektuotojų klaidas (ar trūkumus) saugaus eismo požiūriu (Čygas *et al.* 2009).

**1.1 lentelė.** Kelių saugumo auditas užsienio šalyse

**Table 1.1.** Road safety audit in foreign countries

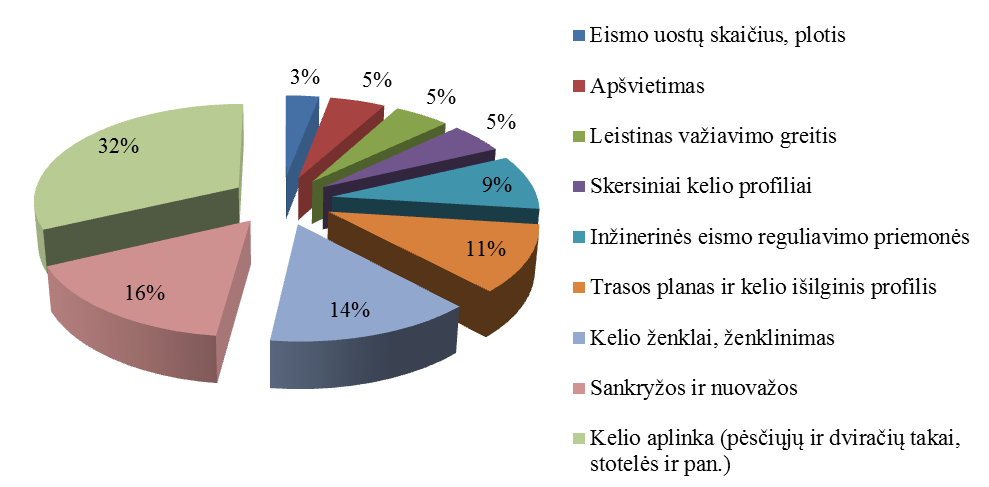
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Šalis** | **Audito taikymo etapai** | | | | | **Reikalavimai auditorių**  **komandai** |
| **1 etapas**  **Planavimas**  **(galimybių studijos)** | **2 etapas**  **Parengiamasis**  **projektas (specialiojo plano)** | **3 etapas**  **Detalus projektas (techninio projekto)** | **4 etapas**  **Statybos (objekto prieš pripažįstant jį tinkamu naudoti)** | **5 etapas**  **Kontrolės** |
| Norvegija |  | + | + | + | + | Mažiausia 2  specialistai |
| Australija | + | + | + | + | + | Mažiausia 2  specialistai |
| JAV | + | + | + | + | + | 4‒10 specialistų |
| Kanada | + | + | + | + | + | 2‒5 specialistų |
| Danija | + | + | + | + | + | Mažiausia 2  specialistai |
| Prancūzija | + | + | + | + |  | Mažiausia 2  specialistai |
| Olandija | + | + | + | + | + | Mažiausia 2  specialistai |
| Didžioji Britanija |  | + | + | + | + | Mažiausia 2  specialistai |
| Lietuva |  | + | + | + | + | Mažiausia 2  specialistai |

Rengdami specialiuosius planus ar automobilių kelių tiesimo ir rekonstrukcijos techninius projektus, projektuotojai vadovaujasi standartais, įvairiais normatyviniais dokumentais, patirtimi ir nuojauta, kad suprojektuotų objektą esamomis aplinkybėmis, kurias dažniausia riboja projektinių sprendimų įgyvendinimo kaina bei žemių nusavinimo galimybės. Dėl šių priežasčių, projektavimo metu priimti sprendimai ne visada yra geriausi eismo saugumo požiūriu. Siekiant įvertinti projektavimo metu dažniausiai iškylančias eismo saugumo problemas, buvo pasirinkti magistralinių ir krašto kelių 6 specialieji planai ir 17 techninių projektų, prie kurių rengimo prisidėjo tos pačios projektuotojų grupės specialistai.



**1.2 pav.** Eismo saugumo trūkumų, specialiuosiuose planuose, pasiskirstymas pagal vertinimo kriterijus (Čygas *et al.* 2009)

**Fig. 1.2.** Distribution of traffic safety deficiencies in special plans based on the assessment criteria



**1.3 pav.** Eismo saugumo trūkumų, techniniuose projektuose, pasiskirstymas pagal vertinimo kriterijus (Čygas *et al.* 2009)

**Fig. 1.3.** Distribution of traffic safety deficiencies in technical designs based on the assessment criteria

Atliekant kelių saugumo auditų analizę, buvo vadovautasi šiais vertinimo kriterijais: kelio aplinka (eismo dalyviams skirti aptarnavimo statiniai, pėsčiųjų ir dviračių takai, kelio statiniai, želdynai, kiti įrenginiai ir t. t.); leistinas važiavimo greitis; eismo juostų skaičius, plotis; sankryžų tipai ir atstumai tarp jų, nuovažos; trasos planas ir išilginis kelio profilis; skersiniai kelio profiliai; kelio ar sankryžos apšvietimas; kelio ženklai ir dangos ženklinimas; inžinerinės eismo reguliavimo priemonės (atitvarai, aptvarai, salelės ir t. t.).

Atlikus eismo saugumo trūkumų specialiuosiuose ir techniniuose planuose pasiskirstymo analizę, galima teigti, kad beveik pusę trūkumų yra susiję su kelio aplinka (1.2‒1.3 pav.). Dažniausia nėra reikiamai užtikrintas pėsčiųjų ir dviratininkų saugumas. Atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje daugiau negu trečdalį eismo įvykių sudaro užvažiavimai ant pėsčiųjų, ypatingas dėmesys turi būti skiriamas jų saugumui užtikrinti. Pėsčiųjų saugumo užtikrinimas aktualus ne tik Lietuvai. Ši eismo įvykių rūšys dominuoja daugelyje šalių (Čygas *et al.* 2009).

1.3. Kelių saugumo patikrinimas

**Kelių saugumo patikrinimas** ‒ tai periodinis patikrinimas, ar kelias ir jo elementai atitinka teisės aktų saugiam eismui keliamus reikalavimus ir ar nėra kitų trūkumų, dėl kurių pašalinimo reikia atlikti papildomus darbus (Kelių saugumo patikrinimo... 2010). Tai prevencinė kelių saugumo procedūra, kurios tikslas – tikrinti eksploatuojamą kelią eismo saugumo požiūriu, nustatyti galimą eismo pavojų kelyje ir pasiūlyti eismo saugumą gerinančias priemones jiems likviduoti.

Skirtumas tarp kelių saugumo audito ir kelių saugumo patikrinimų yra tas, kad auditas suteikia galimybę atlikti nepriklausomą naujų kelių tiesimo ar rekonstruojamų kelių techninių projektų patikrinimą saugaus eismo požiūriu, o patikrinimų atveju ‒ tikrinami jau eksploatuojami keliai.

Kelių saugumo patikrinimo procedūroje dalyvauja du dalyviai – kelio savininkas ir eismo saugumo inspektoriai (specialistai). Šiai dienai daugumoje šalių nėra specialių mokymų eismo saugumo inspektoriams. Inspektorius turi turėti didelę patirtį eismo saugumo ir kelių projektavimo srityje.

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (2008) įpareigoja Europos Sąjungos valstybes vykdyti kelių saugumo patikrinimus transeuropiniam kelių tinklui priklausantiems keliams. Direktyva nereglamentuoja saugumo patikrinimų atlikimo procedūros, t. y. nenumato jų tipų, periodiškumo ir pan. Kiekviena šalis, atsižvelgdama į kelių tinklo būklę, eismo saugumo situaciją ir kt., turi patvirtinti dokumentus, reglamentuojančius minėtos procedūros atlikimą.

Daugelio saugaus eismo specialistų (Elvik 2006; Mocsari, Holló 2006) supratimu, kelių saugumo patikrinimas yra:

* prevencinė priemonė, atliekama ne tik tuose kelio ruožuose, kuriuose yra eismo saugumo problemų;
* reguliarus, sistemingas viso kelių tinklo patikrinimas, atliekamas kvalifikuotų eismo saugumo specialistų;
* eismo saugumo požiūriu pavojingų kelio ruožų/vietų nustatymas.

Įvairiose šalyse kelių saugumo patikrinimo taikymas ir patirtis yra labai skirtingi. Lutschounig ir Nadler (2005) atliko studiją, kurios pagrindinis tikslas, išanalizavus šalių (Austrija, Belgija, Čekija, Vokietija, Vengrija, Italija, Olandija, Norvegija, Portugalija, Šveicarija ir Turkija) patirtį šioje srityje, pateikti atlikimo rekomendacijas. Analizė parodė, kad ne visose šalyse vykdomi KSP, o tose, kuriose ši procedūra vykdoma, egzistuoja skirtumai. 1.2 lentelėje pateikiami analizės rezultatai.

**1.2 lentelė.** Kelių saugumo patikrinimas užsienio šalyse (Lutschounig, Nadler 2005)

**Table 1.2.** Road safety inspection in foreign countries

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Šalis** | **Teisinė bazė** | **Procedūros privalomumas** | **Objektas** | **Periodiškumas** | **Užsakovas** |
| Austrija | Nėra | Ne | Magistraliniai keliai | Nenustatytas | Kelio savininkas |
| Belgija | Nėra | Ne | Pagal pareikalavimą | Nenustatytas | Kelio priežiūrą vykdanti organizacija |
| Vokietija | Yra | Taip | Visas kelių tinklas | Kas 2 metai | Eismo organizavimą vykdanti institucija |
| Vengrija | Taip | Taip | Valstybinės reikšmės keliuose | Kas 2 metai | Kelio priežiūrą vykdanti organizacija |
| Olandija | Ne | Ne | Valstybinės reikšmės keliuose | Nenustatytas | Kelio savininkas ir eismo įvykių tarnyba |
| Norvegija | Ne | Taip | Avaringuose kelių ruožuose | Nenustatytas | Kelio priežiūrą vykdanti organizacija |
| Portugalija | Ne | Taip | Valstybinės reikšmės keliuose | Kas 2 metai | Kelio priežiūrą vykdanti organizacija |
| Šveicarija | Ne | Ne | Keliuose, kuriuose įvertintas eismo saugumo lygis | Nenustatytas | Kelio savininkas |

Lutschounig ir Nadler (2005) Europoje pristatė kelių saugumo patikrinimų koncepciją ir jos veikimo principus (1.4 pav.).

Kelių saugumo patikrinimai skirti likviduoti rizikos veiksnius keliuose, kurie gali sukelti eismo įvykius, taikant koreguojamąsias priemones eksploatuojamame

kelyje.

Kelių saugumo patikrinimo ataskaitose turi būti įvardinti pavojingi kelio ruožai, kuriuose gali įvykti eismo įvykiai ir pateikti pasiūlymai jiems likviduoti.

Užtikrinti, kad siūlomos eismo saugumą gerinančios priemonės bus tiksliai ir teisingai įgyvendintos ir neleis susidaryti naujiems rizikos veiksniams.

**1.4 pav.** Kelių saugumo patikrinimų koncepcija

(Lutschounig ir Nadler (2005))

**Fig.** **1.4.** Concept of road safety inspections

(Lutschounig ir Nadler (2005))

Kelių saugumo patikrinimo metu dažniausiai nustatomi kelio infrastruktūros ar eismo organizavimo trūkumai eismo saugumo požiūriu, kurių likvidavimui reikalingos mažai kainuojančios eismo saugumą gerinančios priemonės.

Patikrinimai gali būti dviejų tipų: periodiniai ir tiksliniai. Periodiniai patikrinimai atliekami tam tiktu periodiškumu, naudojant atitinkamus klausimynus. Tiksliniai patikrinimai vykdomi atliekant konkrečias užduotis.

Užsienio šalių patirtis rodo, kad patikrinimų metu dažniausiai pateikiami pasiūlymai susiję su:

* kliūčių, esančių netoli kelio važiuojamosios dalies, šalinimu;
* kelio pakelėje įrengtomis saugų eismo gerinančiomis priemonėmis;
* apsauginių kelio atitvarų montavimas kelio pylimuose;
* apsauginių priemonių įrengimas kelio atitvarų galuose;
* nebrangių priemonių diegimas kelio horizontaliosiose kreivėse;
* kelio ženklų koregavimas.

Lietuvoje patikrinimų periodiškumas priklauso nuo kelio reikšmės ir patikrinimo tipo (1.3 lentelė).

**1.3 lentelė.** Patikrinimų periodiškumas Lietuvoje

**Table 1.3.** Periodicity of road safety inspections in Lithuania

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Patikrinimo tipas** | **Kelių tipai** | **Periodiškumas** |
| Periodinis patikrinimas | Magistraliniai keliai  A ir B kategorijų gatvės | Ne rečiau kaip 3 metai |
| Krašto keliai  C kategorijos gatvės | Ne rečiau kaip 5 metai |
| Rajoniniai keliai  D kategorijos gatvės | Ne rečiau kaip 7 metai |
| Naktinis patikrinimas | Magistraliniai keliai  A ir B kategorijų gatvės | Ne rečiau kaip 5 metai |
| Tikslinis patikrinimas | Visi keliai (gatvės) | Pagal poreikį |

Lietuvoje atliekami kelių saugumo patikrinimai pagal atlikimo pobūdį ir tikslus skirstomi į tris tipus:

* periodiniai patikrinimai – tokie patikrinimai, kurie atliekami periodiškai pagal nustatytą grafiką. Patikrinimas atliekamas šviesiu paros metu. Tikrinama, ar teisingai įrengti kelio (gatvės) ženklai, paženklinta danga, ženklinimas, ar sankryžose tinkamai organizuojamas eismas, ar užtikrinamas matomumas ruožuose ir sankryžose, tikrinamas šalikelių saugumas, apsauginiai atitvarai, pėsčiųjų ir dviračių eismo sąlygos, ar užtikrinamas maršrutinis orientavimas ir kt.;
* naktiniai patikrinimai – tamsiu paros metu atliekami patikrinimai siekiant nustatyti kelio (gatvės) saugumo trūkumus tamsoje. Pagrindinis dėmesys skiriamas kelio ir jo elementų matomumui tamsoje. Tikrinami kelio ženklai, dangos ženklinimas, eismo įrenginiai, kelio trasa, apšvietimas ir kt.;
* tiksliniai patikrinimai – tam tikrų kelių (gatvių) ar jų ruožų elementų patikrinimai pagal nustatytus reikalavimus.

1.4. „Juodųjų dėmių“ ir avaringų ruožų nustatymo metodika ir jų šalinimas

Lietuvoje avaringo ruožo ir „juodosios dėmės“ sąvokas bei nustatymą reglamentuoja Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro 2011 m. birželio 7 d. įsakymu Nr. 3-342 patvirtinta Avaringų ruožų nustatymo valstybinės reikšmės keliuose metodika (Avaringų ruožų nustatymo... 2011), kurios pagrindinis tikslas ‒ apibrėžti padidinto avaringumo kelio ruožo sąvoką ir, atsižvelgiant į tam tikrus transporto eismo srautų parametrus ir atsitikusius eismo įvykius, įvertinti tokių ruožų pavojingumo laipsnį.

Kelio avaringumo laipsniui nustatyti naudojami avaringumo rodikliai (Avaringų ruožų nustatymo... 2011):

* **eismo įvykių tankis *AT***, kuris parodo eismo įvykių skaičių, tenkantį vieno kilometro kelio ruožui per metus, ir apskaičiuojamas pagal formulę:

, (1.1)

čia: *A* ‒ eismo įvykių skaičius nagrinėjamame kelio ruože per 4 metus; *L* ‒ nagrinėjamo kelio ruožo ilgis, m; *m* ‒ nagrinėjamas laikotarpis, metais (*m* = 4);

* **avaringumo koeficientas *AK***, kuris rodo, eismo įvykių skaičių, tenkantį 1 milijonui automobilių, pravažiuojančių vieno kilometro kelio ruožu per vienerius metus, ir apskaičiuojamas pagal formulę:

, (1.2)

čia: *VMPEI* ‒ vidutinis metinis paros eismo intensyvumas per nagrinėjamą laikotarpį, TP/parą; *L* ‒ nagrinėjamo kelio ruožo ilgis, km; *m* ‒ nagrinėjamas laikotarpis, metais (*m* = 4).

Priešingai nei avaringumo koeficientas *AK*, eismo įvykių tankis *AT* nelemia avaringo ruožo ar ,,juodosios dėmės“ nustatymo sąlygų. Kadangi eismo įvykių tankio *AT* skaitinė išraiška nustato eismo įvykių koncentraciją atitinkamame kelio ruože, šis rodiklis naudojamas jau nustatytų avaringų ruožų ar ,,juodųjų dėmių“ pavojingumo lygiui įvertinti.

Avaringi ruožai nustatomi naudojant slenkmenį, kurio ilgis *L* pastovus ir lygus 500 m. Slenkmuo yra slenkamas nuo vieno eismo įvykio vietos prie kitos eismo įvykio vietos. Jei slenkmens ilgyje per 4 metus įskaitinių eismo įvykių įvyko daugiau nei , ruožas įtraukiamas į avaringų ruožų sąrašą:

, (1.3)

čia: ‒ eismo įvykių skaičius, kuris gali įvykti kelio ruože per 4 metus;  ‒ minimalus eismo įvykių skaičius, lygus 3.

Avaringojo ruožo ilgis yra atstumas tarp pirmosios ir paskutinės eismo įvykio vietos, patenkančios į slenkmens ilgį. Toliau slenkmuo perkeliamas į kitą eismo įvykio vietą ir tikrinama sąlyga (1.3). Tuo atveju, jeigu avaringi ruožai persidengia, jie yra sujungiami. Sudarius avaringų kelių ruožų sąrašą, pagal (1.2) formulę apskaičiuojamas avaringumo koeficientas ir nustatomos „juodosios dėmės“. „Juodoji dėmė“ yra avaringas ruožas, kurio avaringumo koeficientas *AK* yra didesnis už  ir yra lygus didžiausiai tame avaringame ruože nustatytai *AK* reikšmei:

, (1.4)

čia: *AK* ‒ avaringumo koeficientas, apskaičiuojamas pagal (1.2) formulę;  keliams su skiriamąją juosta ‒ 0,5; keliams be skiriamosios juostos ‒ 0,8.

Nustačius „juodąsias dėmes“ keliuose, sudaromas „juodųjų dėmių“ žemėlapis. 2012 m. Lietuvos keliuose nustatytos 58 „juodosios dėmės“, iš jų: magistraliniuose keliuose ‒ 27, krašto keliuose – 25, rajoniniuose keliuose ‒ 6 „juodosios dėmės“. 2012 m. lyginant su 2008 m. „juodųjų dėmių“ šalies keliuose sumažėjo 76 %. Efektyviai dirbant su „juodosiomis dėmėmis“ ir avaringais ruožais, ilgainiui jų nelieka ir kelių tinklo saugumo lygių nustatymas (1.5 poskyris) lieka vienintele reaktyvia saugaus eismo veikla.

1.5. Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas ir didelio avaringumo ruožų klasifikavimas

**Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas** – tai esamo kelių tinklo ruožų nustatymo, tyrimo ir klasifikavimo, atsižvelgiant į galimybes padidinti saugumą ir sumažinti eismo įvykių skaičių ir jų pasekmes šiuose ruožuose, metodas (Europos Komisijos ir Tarybos... 2008). Tai prevencinė kelių saugumo procedūra.

Kelių tinklo saugumo valdymas ‒ reaktyvioji eismo saugumo veikla, skirta nustatyti ir reitinguoti homogeninius kelių ruožus, kuriuose pritaikius atitinkamas eismo saugumą gerinančias priemones, galima pasiekti geresnį, nei taikant kitur, avaringumo sumažėjimą, lyginant su įdiegtų priemonių kaina. Kelių tinklo saugumo valdymas nėra griežtai apibrėžta saugaus eismo veikla. Tai vienas iš lanksčiai taikomų būdų nustatyti, kur nukreipti eismo saugumui skirtas lėšas, siekiant gauti kuo geresnį rezultatą ‒ eismo įvykių ir aukų sumažėjimą kuo mažesne kaina. Ši veikla daugiau išvystyta ir plačiau taikoma tose šalyse, kuriose saugaus eismo situacija pakankamai gera ir kur nėra arba beveik nėra „juodųjų dėmių“ (VĮ TKTI... 2008). Sørensen (2006) išskyrė pagrindinius skirtumus tarp „juodųjų dėmių“ valdymo ir kelių tinklo saugumo valdymo (1.4 lentelė).

Eksploatuojamų kelių saugumas turi būti didinamas nukreipiant investicijas į didžiausio avaringumo kelio ruožus ir (arba) į tuos kelio ruožus, kuriuose yra didžiausios eismo įvykių mažinimo galimybės.

Tuo tikslu, kelių tinklas skirstomas į tam tikras grupes, t. y. valstybinės reikšmės automobilių keliai yra skaidomi į homogeninius ruožus pagal su eismo saugumu susijusius veiksnius, tokius kaip kelio kategorija ir geometriniai parametrai, leistinas važiavimo greitis, eismo sudėtis ir intensyvumas, aplinka ir pan. Ruožų ilgis yra nevienodas ir priklauso nuo ruožo aplinkos, įtakojančios eismo įvykių skaičiui.

Nustačius eismo saugumo lygius kelių tinkle, sudaromas prioritetinis kelių ruožų, kuriuose pagerinus infrastruktūrą tikėtini geri rezultatai, sąrašas.

**1.4 lentelė.** „Juodųjų dėmių“ ir kelių tinklo saugumo valdymų skirtumai

**Table 1.4.** Differences in black spots and road network safety management

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **„Juodųjų dėmių“ valdymas** | **Kelių tinklo saugumo valdymas** |
| Filosofija | „Gydomoji“ priemonė, paremta informacija apie jau įvykusius eismo įvykius | Prevencinė priemonė, paremta eismo įvykių prognozavimu |
| Eismo įvykių pasekmės | Neįvertinamos | Įvertinamos |
| Ruožo ilgis | iki 0,5 km | 2‒10 km |
| Dažnumas | Kiekvienais metais | 2‒4 metus |

Sørensen ir Elvik (2008) pateikė 4 pagrindinius kelių ruožų skaidymo principus:

* Ruožų principas;
* Taškų principas;
* Eismo įvykių principas;
* Kombinuotas.

Pirmieji du principai yra paremti informacija apie kelią ir eismą jame. Pagal pirmąjį principą, kelių tinklas skirstomas į homogeninius kelių ruožus pagal eismo sudėtį ir kelio parametrus, įtakojančius eismo įvykių skaičiui. Pagal antrąjį principą, sankryžos, miestai ar kiti „taškai“ naudojami kaip suskaidymo taškai (taškinis ruožas).

Trečiasis principas paremtas informacija apie įskaitinius eismo įvykius per tam tikrą laiko tarpą. Pagal šį principą, kelių tinklas skaidomas arba pagal tam tikrą eismo įvykių skaičių kiekviename ruože, arba pagal vienodas eismo įvykių rūšis.

Paskutinis, kombinuotas, principas apjungia aukščiau minėtus tris principus.

Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas ir didelio avaringumo ruožų klasifikavimo procedūra susideda iš 5 etapų (1.5 lentelė).

**1.5 lentelė.** Kelių tinklo saugumo lygių nustatymo ir didelio avaringumo ruožų klasifikavimo etapai

**Table 1.5.** Stages of network safety ranking and classification of high accident concentration sections

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. | Duomenų rinkimas | Duomenų apie istorinius eismo įvykius, kelių geometrinius parametrus, eismo intensyvumą rinkimas |
| 2. | Kelių ir sankryžų grupių sudarymas | Kelių ruožų ir sankryžų grupių sudarymas pagal pasirinktus kriterijus |
| 3. | Kelių tinklo skaidymas | Kelių tinklo skaidymas į homogeninius ruožus ir sankryžas |
| 4. | Pavojingų ruožų identifikavimas | Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas ir padidinto avaringumo kelio ruožų išskyrimas |
| 5. | Analizė ir tyrimas | Nustatytų padidinto avaringumo kelių ruožų ir sankryžų analizė |

2008 m. VĮ „Transporto ir kelių tyrimo institutas“ pateikė pasiūlymus dėl Lietuvos valstybinės reikšmės magistralinių ir krašto kelių tinklo skaidymo į homogeninius kelių ruožus.

**Kelių skaidymas į ruožus.** Magistraliniai ir krašto keliai skaidomi į ruožus pagal žemiau išvardintus kriterijus:

* ruožo riba yra sankryža su magistraliniu arba krašto keliu, arba svarbiu rajoniniu keliu. Manoma, kad už sankryžos gali reikšmingai keistis eismo intensyvumas ir sudėtis;
* ruožo riba yra žymus kelio skersinio profilio pasikeitimas. Ruožo riba laikoma vieta, kai kelias iš vienos važiuojamosios dalies pereina į dvi važiuojamąsias dalis;
* ruožo riba yra gyvenvietės pradžia (kelio ženklas Nr. 550) ir pabaiga (kelio ženklas Nr. 551). Vertinamos tos gyvenvietės, per kurias kelio ruožo ilgis ne mažesnis kaip 2 km;
* trumpesni nei 2 km ilgio ruožai apjungiami su gretimu ruožu.

**Kelių ruožų grupavimas į homogeniškas grupes.** Kelio ruožai grupuojami į homogeniškas grupes pagal keturis kriterijus:

* **kelio reikšmę:**
* automagistralių ruožų grupės, kuriai priskiriami automagistralių, greitkelių ir kitų panašaus tipų kelių ruožai. Pagrindiniai šios grupės požymiai ‒ kelias su skiriamąją juosta ir skirtingų lygių sankryžomis;
* magistralinių kelių ruožų grupė;
* krašto kelių ruožų grupė.
* **kelio kategoriją:**
* aukštos kategorijos ruožų su skiriamąja juosta grupė;
* II ir III kategorijos ruožų grupė;
* IV ir žemesnės kategorijos ruožų grupė.

Automagistralių ruožų grupė pagal kelio kategoriją neskaidoma, nes visi šios grupės ruožai turi pagal eismo sąlygas panašią kelio kategoriją.

* **eismo intensyvumo lygį:**
* aukšto eismo intensyvumo ruožų grupė;
* žemo eismo intensyvumo ruožų grupė.

Siekiant suskirstyti ruožų grupes pagal intensyvumą, reikia nustatyti vidutinius eismo intensyvumo lygius automagistralių, magistralinių ir krašto kelių ruožuose. Aukšto eismo intensyvumo ruožų grupei priskiriami tie ruožai, kurių eismo intensyvumas didesnis už vidutinį to kelių tipo eismo intensyvumą. Atitinkamai žemo eismo intensyvumo ruožų eismo intensyvumas yra žemesnis už vidutinį.

* **eismo sudėtį:**
* ruožų grupė su daug sunkiojo transporto;
* ruožų grupė su mažai sunkiojo transporto.

Siekiant suskirstyti ruožų grupes pagal eismo sudėtį, turi būti nustatytas vidutinis sunkiojo transporto kiekis bendrame eismo sraute automagistralių, magistralinių ir krašto kelių ruožuose. Ruožų grupėje su daug sunkiojo transporto, minėto transporto kiekis yra didesnis už vidutinį to kelių tipo sunkiojo transporto kiekį. Atitinkamai antros grupė ruožų sunkiojo transporto kiekis yra mažesnis už vidutinį.

Tiek magistralinių, tiek krašto kelių ruožų grupėse yra ruožų, einančių per gyvenvietes. Šie ruožai dažnai turi netipines kelio kategorijas, juose dažniausiai nematuojamas eismo intensyvumas ir eismo sudėtis. Atsižvelgiant į tai, kelių ruožai, einantys per gyvenvietes skaidomi į dvi grupes:

* magistralinių kelių ruožų per gyvenvietes grupė;
* krašto kelių ruožų per gyvenvietes grupė.

Grupės, į kurias sugrupuojami magistralinių ir krašto kelių tinklo ruožai pavaizduoti 1.5 pav.

Pagal aukščiau aprašytą metodiką magistraliniai ir krašto keliai buvo suskirstyti į 545 kelių ruožus. Tačiau atsiradus tokioms grupėms, į kurias nebuvo įtrauktas nė vienas ruožas, arba mažai kelių ruožų (iki 5), jos buvo apjungtos su artimiausiomis pagal eismo sąlygas grupes. Po tokio apjungimo grupių skaičius sumažėjo iki 14 grupių.

Kiekvienoje grupėje esantys kelio ruožai surūšiuojami (reitinguojami) pagal avaringumo koeficiento dydį – nuo didžiausią iki mažiausią koeficiento *AK* reikšmę turintį kelio ruožą. Taigi, kuo aukščiau kelio ruožas grupėje, tuo pavojingesnis jis yra. Dėl to, sąrašo viršuje esantys ruožai turėtų būti analizuojami pirmiausiai. Tiriant ruožą, reikia nustatyti pagrindinę problemą, kurią pašalinus tinkamai parinktais sprendiniais, avaringumas ženkliai sumažėtų. Jeigu tokia problema nenustatoma, tuomet parenkami sprendiniai gali būti mažai efektyvūs.



**1.5 pav.** Homogeninės magistralinių ir krašto kelių grupės (VĮ TKTI... 2008)

**Fig. 1.5.** Homogenous groups of main and national roads (VĮ TKTI... 2008)

Skaičiuojant avaringumo koeficientą buvo pasiūlyta įvertinti eismo įvykių pasekmių sunkumą, įvedant atitinkamus koeficientus: mirtinas eismo įvykis – 5; eismo įvykis, kai sužeistasis gydomas stacionariai – 3; eismo įvykis, kai sužeistasis gydomas ambulatoriškai – 1. Parenkant koeficientus pasinaudota užsienio šalių patirtimi.

Aukščiau aprašytas eismo saugumo lygių nustatymas paremtas tik informacija apie istorinius, t. y. *jau* įvykusius eismo įvykius. Jo pagalba negalima išskirti ateityje potencialiai pavojingų eismo saugumo požiūriu kelio ruožų.

Latvijos mokslininkai Lazda ir Smirnovs (2009) atliko Latvijos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo avaringumo vertinimą. Šiame darbe buvo taikytas avaringumo koeficiento ir eismo įvykių tankio nustatymo metodas, kuris suteikė galimybę atlikti pavojingų kelio ruožų analizę visame kelių tinkle.

Pagal (1.1) formulę buvo apskaičiuotas eismo įvykių tankis kiekvienam valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo kilometrui. Vėliau panašių geometrinių parametrų kelio ruožai buvo sugrupuoti, apskaičiuotas vidutinis grupės eismo įvykių tankis ir palygintas su ribiniu eismo įvykių tankiu. Apskaičiuojant ribinį eismo įvykių tankį, Lazda ir Smirnovs (2009) vadovavosi Road safety manual(2003) rekomendacijomis:

. (1.5)

Kelių ruožai, kurių eismo įvykių tankis didesnis už ribinį eismo įvykių tankį, buvo priskiriami pavojingų kelių ruožų grupei.

Siekiant nustatyti eismo dalyvių riziką patekti į eismo įvykį tam tikrame kelio ruože, buvo skaičiuojamas avaringumo koeficientas *AK* pagal (1.2) formulę.

Vadovaudamiesi Road safety manual(2003) rekomendacijomis, Lazda ir Smirnovs (2009) pagal (1.6) formulę apskaičiavo avaringumo koeficiento  kritinę reikšmę. Tuo atveju, jeigu tam tikro ruožo avaringumo koeficientas *AK* yra didesnis už , tas ruožas priskiriamas avaringų ruožų grupei.

, (1.6)

čia:  ‒ avaringumo koeficiento kritinė reikšmė; ‒ avaringumo koeficiento vidutinė reikšmė visam kelių tinklui; *m* – nagrinėjamas laikotarpis, metais; *L* ‒ kelio ruožo ilgis, 1 km; *VMPEI* – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas per nagrinėjamą laikotarpį, TP/parą; *C*‒ konstanta, kai patikimumo lygis 95 %, C = 1,645.

Lazda ir Smirnovs (2009), remdamiesi aukščiau aprašytais skaičiavimais, naudodamiesi 2005–2007 m. eismo įvykių bei eismo intensyvumo duomenimis, atliko Latvijos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo, kurio ilgis 1740,8 km, avaringumo vertinimą ir nustatė, kad avaringumo tankis didžiausias kelyje A4 Baltezers‒Sauskalne (*AT* = 5,74, tuo tarpu kai viso kelių tinklo vidutinis avaringumo tankis lygus 3,34), o avaringumo koeficientas ‒ kelyje A12 Jēkabpils – Rēzekne – Ludza – Russian border (Terehova).

Šiuo metu Lietuvoje kelių infrastruktūros gerinimas ir inžinerinių eismo saugumą gerinančių priemonių įgyvendinimas pagrindinai vykdomas „juodosiose dėmėse“, t. y. tose vietose, kur jau įvyko eismo įvykiai ir žuvo eismo dalyviai. Aukščiau aprašyti eismo saugumo lygių nustatymai taip pat paremti tik duomenimis apie istorinius eismo įvykius. Atsižvelgiant į tai, kad eismo saugumo lygių nustatymas yra prevencinė priemonė, todėl minėtas lygių nustatymas ir avaringų ruožų išskyrimas turi būti paremtas eismo įvykių prognozavimu, suteikiančiu galimybę išskirti potencialiai pavojingus eismo saugumo požiūriu ruožus kelių tinkle.

1.6. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūros yra būtinas įrankis siekiant užtikrinti eismo saugumą kelyje visą jo tarnavimo laikotarpį, pradedant planavimu, projektavimu ir baigiant eksploatavimu.
2. Poveikio kelių saugumui vertinimo bei kelių tinklo saugumo valdymo procedūrų įgyvendinimas turi būti paremtas eismo įvykių prognozavimu.
3. Šiai dienai Lietuvoje atliktas eismo saugumo lygių nustatymas magistraliniuose ir krašto keliuose paremtas duomenimis apie istorinius eismo įvykius.
4. Esant ribotoms finansinėms galimybėms, eismo saugumą gerinančias priemones būtina diegti pačiuose pavojingiausiuose kelių ruožuose ir tuose ruožuose, kur mažiausiomis sąnaudomis galima pasiekti didžiausią avaringumo mažėjimą. Tuo tikslu, būtina taikyti metodiką, leidžiančią nustatyti potencialiai pavojingus eismo saugumo požiūriu ruožus kelių tinkle.

Uždaviniai

1. Susisteminti ir išanalizuoti mokslo darbus ir teisės aktus, skirtus kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūrų įgyvendinimui.
2. Atlikti eismo įvykių prognozavimo metodų analizę.
3. Sudaryti eismo įvykių prognozavimo algoritmą Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams.
4. Sudaryti matematinius eismo įvykių prognozavimo modelius homogeninėms kelių ir sankryžų grupėms.
5. Sudaryti eismo saugumo lygių nustatymo kelių tinkle metodiką.
6. Įdiegti eismo įvykių prognozavimo modelį kompiuterinėje programoje, atlikti jos testavimą bei bandomuosius skaičiavimus.

2

Eismo įvykių prognozavimo modelių apžvalga ir jų sudarymo principai

Eismo įvykis gali įvykti dėl eismo saugumo sistemos *Eismo dalyvis ‒ transporto priemonė ‒ kelias (aplinka)* tam tikrų sutrikimų. Kaip jau buvo minėta, eismo įvykis dažniausiai įvyksta dėl neigiamo vieno iš sistemos veiksnio arba keleto iš jų tarpusavio sąveikos. Daugelis tyrimų (Elvik 2011a; Salmon *et al.* 2010; Road safety manual 2003; Türker, Lajunen 2005; Wierwille *et al.* 2002) rodo, kad eismo dalyvis (jo elgesys) yra pagrindinė eismo įvykio priežastis, tačiau tai nereiškia, kad kiti sistemos elementai neturi būti nagrinėjami. Eismo saugumo problemas būtina spręsti kompleksiškai, apimant visus tris sistemos elementus (Burinskienė *et al.* 2011; Grislis 2010; Jakimavičius, Burinskienė 2010; Jarašiūnienė, Jakubauskas 2007; Keršys *et al.* 2011; Nævestad, Bjørnskau 2012; Orfila *et al.* 2010; Pešić *et al.* 2012; Prentkovskis *et al.* 2010; Schulze, Koßmann 2010; Vaidogas 2006). Pakeisti eismo dalyvio elgesį ir vairavimo kultūrą kelyje reikia daug laiko, tuo tarpu diegiant inžinerines priemones galima tikėtis greitesnių rezultatų eismo saugumo gerinimo srityje. Inžineriniai sprendimai keliuose gali ne tik apsaugoti eismo dalyvius nuo sužeidimų eismo įvykio metu, bet ir formuoti eismo dalyvių elgseną taip, kad eismo įvykis neįvyktų.

Siekiant parinkti tinkamus inžinerinius sprendimus tiek atliekant kelių projektavimo, tiek rekonstravimo darbus, tikslinga žinoti prognozuojamą eismo įvykių skaičių kelyje bei parinkti ir diegti tinkamas eismo saugumą gerinančias priemones. Tai yra tokias priemones, kurios padėtų išvengti skaudžių eismo įvykių pasekmių bei sumažintų klaidingus eismo dalyvių elgesio atvejus. Atsižvelgiant į tai, būtina vertinti siūlomų eismo saugumą gerinančių priemonių poveikį saugiam eismui. Įvairios šalys naudoja skirtingas eismo saugumą gerinančių priemonių pagrindimo metodikas.

Šiame skyriuje pateikta eismo įvykių prognozavimo modelių apžvalga, jų sudarymo principai bei šiuo metu Lietuvoje naudojama eismo saugumą gerinančių priemonių pagrindimo metodika.

2.1. Eismo įvykių prognozavimo modelių apžvalga

Terminas „prognozavimas“ kilęs iš graikų kalbos žodžio „*gnosis*“, reiškiančio žinias. Kalbant apie jo ištakas, dažnai minimos demografijos prognozės. Nemažai dabartinių prognozavimo metodų sukurta arba pradėta naudoti per keletą pastarųjų dešimtmečių (Budrevičius 2007). Budrevičius (2007) prognozavimo metodą apibrėžia kaip visumą taisyklių, įgyvendinančių konkretų ateities numatymo būdą.

Daugelis mokslininkų (Budrevičius 2007; Pabedinskaitė 2006; Makridakis *et al.* 1998) prognozavimo metodus klasifikuoja į kiekybinius ir kokybinius (2.1 pav.).

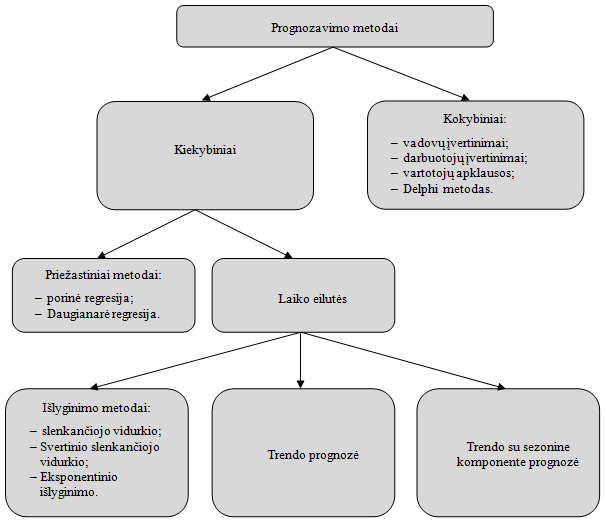
Kiekybinio prognozavimo metodai skirstomi į dvi kategorijas: laiko eilučių analizės ir priežastiniai modeliai. Laiko eilučių analizė leidžia pagal praeities įvykius projektuoti ateitį. Priežastinis modeliavimas – tai bandymas praeities įvykių (eigos) priežastis paversti būdais ateičiai projektuoti (Ramanauskienė 2007).

Kiekybiniai prognozavimo metodai taikytini esant pakankamai kiekybinės informacijos apie prognozuojamą reiškinį. Kiekybinės prognozės pradedamos nuosekliai pateikiant praeities duomenų reikšmes, po to naudojamas tam tikras matematinių taisyklių, kuriomis nuspėjamos būsimos reikšmės, rinkinys (Ramanauskienė 2007).

Taikant kokybinius prognozavimo metodus, prognozėms sudaryti paprastai naudojamos ekspertų nuomonės (Pabedinskaitė 2006). Šie metodai grindžiami padėties logine analize, žmogaus sprendimų nagrinėjimu, apskritai – racionalia analize (Budrevičius 2007). Kiekybiniai metodai yra labiau formalizuoti ir objektyvūs nei kokybiniai metodai.

Kiekvienas prognozavimo metodas turi pranašumų ir trūkumų. Galima išskirti keletą pagrindinių prognozavimo metodų ypatybių (Štuopytė 2004): 1) dauguma prognozavimo metodų pagrįsti prielaida, jog tam tikras priežastinis ryšys, egzistavęs praeityje, išliks ir ateityje; 2) prognozės tikslumas, naudojant bet kokį prognozavimo metodą, mažėja, ilgėjant prognozės laikotarpiui.

Prognozės tikslas – tiriamojo objekto racionalus panaudojimas ateityje bei prognozuojamų neigiamų pasekmių išvengimas. Prognozė gali būti atliekama laiko ir erdvės atžvilgiais. Patikima prognozė galima tik sukaupus didelį duomenų banką ir duomenis apdorojus pagal prognostikos reikalavimus bei metodus. Būtina atsiminti, kad kuo ilgesnė prognozė, tuo jos tikslumas mažesnis. Vienas iš dažniausiai taikomų prognozės metodų – įvairaus tipo matematinių modelių taikymas. Prognozės patikimumas labai priklauso nuo modelių kokybės: būtina, kad regresiniai – koreliaciniai ryšiai būtų statistiškai reikšmingi; kad stebėjimų trukmė, kuria remiamasi atliekant prognozę, būtų bent 2–3 kartus ilgesnė už prognozuojamą laikotarpį. Atlikus prognozę, būtina periodiškai patikrinti jos patikimumą, nustatant klaidų priežastis ir mėginant jas pašalinti, remiantis naujais duomenimis. Šis procesas vadinamas prognozės verifikacija.



**2.1 pav.** Prognozavimo metodų klasifikacija (Pabedinskaitė 2006)

**Fig. 2.1.** Classification of prediction methods (Pabedinskaitė 2006)

Prognozuojant tam tikrą procesą, reikia eliminuoti mažiausiai svarbius reiškinius ir nustatyti pagrindines tiriamojo proceso savybes. Kiekvienas modelis sudaromas atsižvelgiant į objekto tyrimo tikslą. Taigi pirmiausia reikia išskirti svarbiausius veiksnius, darančius įtaką tiriamam objektui, ir nustatyti tarp kokių veiksnių bus ieškoma priklausomybės (Štuopytė 2004).

Eismo saugumo specialistai, priimantys sprendimus dėl vienokių ar kitokių eismo saugumą gerinančių priemonių diegimo automobilių keliuose, siekia, kad minėtų priemonių dėka mažėtų eismo įvykių ir aukų skaičius keliuose. Todėl labai svarbu žinoti ateityje prognozuojamą eismo įvykių skaičių bei įvertinti eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą. Taip pat labai svarbu turėti galimybę įvertinti minėtų priemonių įtaką eismo įvykių skaičiui finansiniu požiūriu, t. y. sumažinti eismo įvykių ir aukų skaičių kuo mažesnėmis sąnaudomis. Tuo tikslu kuriami eismo įvykių prognozavimo modeliai, nustatantys ateityje tikėtiną eismo įvykių skaičių kelyje. Eismo įvykių prognozavimo modelis yra matematinė formulė, aprašanti ryšį tarp saugumo lygio kelyje (t. y. eismo įvykiai, žuvusieji, sužeistieji) ir kintamųjų, paaiškinančių šį lygį (kelio ruožo ilgis, plotis, eismo srautai ir pan.) (Eenink *et al.* 2005).

Eismo įvykių modeliavimo raida buvo tokia greita, kad kai kurie modeliai, kurie dar prieš dešimt metų buvo laikomi pačiais moderniausiais, šiandien atrodo šiek tiek primityvūs. Kaip įvardijo Jungtinių Amerikos Valstijų mokslininkai D. Lord, S. P. Washington ir J. N. Ivan (2005), šiuo metu kyla pavojus, nukrypti per giliai į matematines įmantrybes ir idealų modelių atitikimą. Eismo įvykis yra itin kompleksinis reiškinys, todėl modeliai taip pat turi būti kompleksiniai, tiksliai atspindintys pagrindinius realybės požymius. Tačiau modelių sudarymo menas yra ir visuomet bus menas teisingai supaprastinti. Geras modelis nebūtinai yra tas, kuris nepaprastai sudėtingas ir idealiai atitinka net ir detaliausius duomenis. Geras modelis tai greičiau pats paprasčiausias modelis koks tik gali būti, atitinkantis reikiamus duomenis, pateikiantis plačiai taikomas priklausomybes (Elvik 2007).

Literatūros apžvalga rodo, kad eismo įvykių prognozavimo modeliai dažniausiai prognozuoja tik eismo įvykių arba eismo įvykių su žuvusiaisiais skaičių, o ne žuvusiųjų ar sužeistųjų skaičių, nes pastarųjų saugumas eismo įvykio metu daugeliu atvejų priklauso ir nuo kitų faktorių, t. y. nuo keleivių skaičiaus, nuo transporto priemonės saugumo (pvz., oro pagalvės, stabdžių antiblokavimo sistema, saugos diržų naudojimas ir pan.), vairuotojo patirties ir t. t.

Eismo įvykių prognozavimo modeliai buvo kuriami naudojant keturis pagrindinius metodus, t. y. *daugiamatę analizę (Multivariate Analysis)*, *empirinį Bajeso metodą* (Hauer *et al.* 2002; Ozbay, Noyan 2006; Persaud *et al.* 1999; Xie *et al.* 2007), *aibės logiką* (Fuzzy Logic) (Adeli, Karim 2000; Hsiao *et al.* 1994; Sayed *et al.* 1995) ir neuralinius tinklus (*Neural Network*) (Abdelwahab, Abdel-Aty 2001; Chiou 2006; Delen *et al.* 2006) (Caliendo *et al.* 2007). Caliendo *et al.* (2007) pažymi, kad vienas šių metodų ‒ daugiamatė analizė ‒ sėkmingai taikomas jau daugelį metų. Kiti minėtieji statistiniai metodai, nors yra puikiai tinkami eismo įvykių prognozavimui, pradėti naudoti visai neseniai.

Pirmuosius eismo įvykių prognozavimo modelius keleto eismo juostų keliams sukūrė [Persaud ir Dzbik (1993)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib31). Jie pasiūlė priklausomybes tarp eismo įvykio duomenų ir eismo srauto, abu rodiklius išreiškiant vidutiniu paros eismo intensyvumu (*VPEI*) ir valandos eismo intensyvumu (*VEI*). Analizės pagrindas ‒ apibendrintieji tiesiniai modeliai. Rezultatai parodė, kad avaringumo koeficientas didėja didėjant eismo srautui, išreikštam ir vidutiniu paros eismo intensyvumu (*VPEI*) ir valandos eismo intensyvumu. Nustatyta, kad eismo įvykio tikimybė keturių juostų greitkelyje yra mažesnė nei greitkelyje su daugiau kaip 4 juostomis, tai reiškia, kad greitkelyje su daugiau nei 4 eismo juostomis, esant tokiam pačiam eismo intensyvumui, vyrauja laisvojo srauto sąlygos, todėl vairuotojai turi didesnę manevravimo laisvę, kuri yra susijusi su didesne eismo įvykio tikimybe. Taigi, pasirodo, norint paaiškinti eismo įvykių reiškinius, eismo srautas, išreikštas *VEI*, yra labiau priimtinas nei išreikštas *VPEI*, kadangi valandos eismo intensyvumo atveju atsižvelgiama ir į grūsties ir į laisvo srauto eismo sąlygas eismo įvykio metu. Deja, gauti tikslius valandos eismo intensyvumo duomenis nėra lengva, todėl eismo įvykių prognozavimo modeliuose dažniausiai naudojamas vidutinis paros eismo intensyvumas.

[Knuiman](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib25) *[et al.](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib25)* [(1993)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib25) tyrinėjo keturių eismo juostų kelio skiriamosios juostos pločio įtaką avaringumo koeficientui naudojant neigiamąjį binominį skirstinį. Tyrimų rezultatai parodė, kad avaringumo koeficientas mažėja didėjant skiriamosios juostos pločiui. Be to, platesnės skiriamosios juostos ženkliai sumažina eismo įvykių dėl išvažiavimo į priešingą eismo juostą skaičių, tame tarpe ir priešinga kryptimi važiuojančių automobilių susidūrimų skaičių. Todėl manoma, kad skiriamosios juostos plotis turi daug didesnę teigiamą įtaką įskaitiniams eismo įvykiams nei techniniams eismo įvykiams.

[Fridstrøm](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib13) *[et al.](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib13)* [(1995)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib13) eismo įvykius susiejo su keturiais kintamaisiais, t. y. eismo srautas, leistinas greitis, oro ir apšvietimo sąlygos. Taikyta neigiamoji binominė regresija. Didžiausią susidomėjimą šių mokslininkų darbe sukėlė taip vadinamas adekvatiškumo (atitikimo) kriterijus (*goodness-of-fit measure*). Kadangi adekvatiškumo kriterijai pagrįsti paaiškintos variacijos dalimi, lyginant su pilnąja variacija ( arba ), yra gana žemi ar prieštaringi, sukurtas naujas metodas, kuriame paaiškinta variacija  yra lyginama su sistemine variacijos komponente , bet ne su pilnąja variacija. Naudodami aukščiau minėtus keturis kintamuosius, autoriai sugebėjo paaiškinti 85‒95 % sisteminės variacijos komponentės.

[Hadi](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib17) *[et al.](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib17)* [(1995)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib17) pasiūlė keletą eismo įvykių prognozavimo modelių dviejų eismo juostų keliams tiek miesto, tiek užmiesčio teritorijose. Priklausomais kintamaisiais buvo bendras avaringumo koeficientas arba avaringumo su sužeidimais koeficientas. Šių avaringumo rodiklių reikšmės apskaičiuotos kaip *VMPEI* ir kelio aplinkos faktorių funkcija. Taikyti Puasono ir neigiamos binominės regresijos modeliai. Nagrinėjant eismo srauto įtaką avaringumo koeficientui, padarytos išvados, kad avaringumo koeficientas didėja didėjant *VMPEI* keliuose, kuriuose eismo lygis yra didesnis, ir kad avaringumo koeficientas mažėja priklausomai nuo *VMPEI* keliuose, kuriuose eismo intensyvumas yra mažesnis. Šie rezultatai rodo, kad esant mažam eismo intensyvumui, egzistuoja laisvo srauto sąlygos, todėl didėjant *VMPEI*, vis labiau ribojama vairuotojų manevravimo laisvė, kuri susijusi su mažesne eismo įvykio tikimybe.

[Persaud](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib33) *[et al.](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib33)* [(2000)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib33) vienas iš pirmųjų atliko atskirą kelio kreivės ir tiesaus ruožo analizę, nors skirtą tik dviejų eismo juostų keliams. Priklausomas kintamasis buvo eismo įvykių dažnis, nepriklausomi kintamieji – eismo srautas ir kelio geometrija. Atliktas regresijos modelių kalibravimas naudojant apibendrintąjį tiesinį modeliavimą. Taip pat panaudotas fiktyvusis kintamasis „lygiai“ ar „kalvotai“ vietovei. Nustatyta, kad kreivėse eismo įvykių dažnis didėja priklausomai nuo *VMPEI*, ruožo ilgio ir vingiuotumo. Tiesiuose ruožuose metinis eismo įvykių skaičius didėja priklausomai nuo *VMPEI* ir ruožo ilgio. Nustatyta, kad kalvotose vietovėse įvyksta daugiau eismo įvykių nei lygiose vietovėse.

[Abdel-Aty ir Essam Radwan (2000)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib1) panaudojo neigiamąjį binominį skirstinį prognozuodami eismo įvykių dažnį kaip *VMPEI*, horizontaliosios kreivės laipsnio, ruožo ilgio, eismo juostos, kelkraščio ir skiriamosios juostos pločio, miesto/užmiesčio paskirties funkciją. Rezultatai parodė, kad eismo įvykių dažnis didėja priklausomai nuo *VMPEI*, horizontaliosios kreivės laipsnio ir ruožo ilgio. Ir priešingai, eismo įvykių dažnis mažėja priklausomai nuo eismo juostos, kelkraščio ir skiriamosios juostos pločio.

Tirdamas Prancūzijos tarpmiestines magistrales, [Martin (2002)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib27) nustatė priklausomybę tarp avaringumo koeficiento ir valandos eismo intensyvumo (*VEI*) bei eismo įtaką eismo įvykio pasekmėms. Panaudotas neigiamasis binominis skirstinys. Modeliuojant bent vieno eismo įvykio su sužalojimais tikimybę, panaudota ir logistinė regresija su atsitiktine komponente, turinčia binominį skirstinį. Dėmesio vertas dalykas šioje studijoje yra tai, kad nustatyta priklausomybė tarp avaringumo koeficiento ir *VEI* buvo netiesinė. Kai *VEI* buvo mažesnis nei 400 TP/h, tiek techniniams eismo įvykiams, tiek įvykiams su sužalojimais nustatytos didesnės avaringumo koeficiento reikšmės. Avaringumo koeficientas sparčiai mažėjo didėjant *VEI* (maždaug 1000 ir 1500 TP/h atitinkamai dviejų ir trijų juostų keliuose). Po to, avaringumo koeficientas palaipsniui didėjo didėjant eismo intensyvumui.

[Golob ir Recker (2003)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib14) tiesinės ir netiesinės daugiamatės statistinės analizės pagalba nustatė, kaip eismo įvykių tipas susijęs su eismo srautu, oro ir apšvietimo sąlygomis. Tyrimui atlikti taikyta pagrindinių komponenčių analizė, kurios pagalba iš eismo srauto pradinių kintamųjų aibės nustatyti patys reikšmingiausi kintamieji, taip pat panaudota kanoninės koreliacijos analizė, kuri padėjo susieti pagrindines komponentes su oro ir apšvietimo sąlygomis.

[Hauer (2004a)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib19) sukūrė statistinį saugaus eismo modeliavimą naudojant neigiamąjį binominį skirstinį. Priklausomas kintamasis buvo eismo įvykių skaičius per metus, nepriklausomi kintamieji – geometrinės kelio charakteristikos ir eismo srautas. Pirmiausia, Hauer rekomendavo suteikti funkcinę formą kiekvienam modelio kintamajam ir pažymėjo, kad modelio lygtis turi turėti abi, t. y. multiplikacinę ir adityviąją komponentę. Multiplikacinė komponentė atspindi nuolatinių kelio kintamųjų įtaką (tokių kaip eismo juostos plotis ar kelkraščio tipas), adityvioji komponentė atspindi pavojingų vietų buvimą (tokių kaip įvažiavimai ar siauri tiltai). Pažangiausias šio tyrimo aspektas buvo alternatyvaus metodo sukūrimas adekvatiškumo kriterijų nustatymui prognoziniuose modeliuose. Tai taip vadinamas kumuliacinių netikčių (KN) metodas. Pagal šį metodą braižomas kumuliacinių netikčių, kaip nagrinėjamo nepriklausomo kintamojo funkcijos, grafikas; geras KN grafikas yra tas, kuris svyruoja apie nulį. Tolimesniuose tyrimuose [Hauer (2004b)](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V5S-4MCWB08-1&_user=986143&_coverDate=07%2F31%2F2007&_alid=1527154241&_rdoc=42&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5794&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=157&_acct=C000049865&_version=1&_urlVersion=0&_userid=986143&md5=f02e94375cc4e8b6a739610bec333273&searchtype=a" \l "bib20) pritaikė minėtą statistinį modelį eismo įvykių dažniui apskaičiuoti keturių eismo juostų keliuose be skiriamosios juostos. Pasiūlyti modeliai leido įvertinti eismo įvykių skaičių per metus ir kelio važiuojamąją dalį kaip funkciją šių nepriklausomų kintamųjų: *VMPEI*, sunkiojo transporto procentinė dalis, horizontaliųjų kreivių laipsnis ir ilgis, tiesių ruožų nuolydis ir vertikaliųjų kreivių ilgis, eismo juostos plotis, kelkraščio plotis ir tipas, pakelės pavojingumo klasė, leistinas važiavimo greitis, privažiavimo vietos (šviesoforu reguliuojamos sankryžos, „stop“ ženklu reguliuojamos sankryžos, komercinės paskirties įvažiavimai ir kiti įvažiavimai), automobilių stovėjimo juostų bei dviejų krypčių kairiojo posūkio juostų buvimas ir jų tipas. Tyrimų rezultatai parodė, kad reikšmingi kintamieji buvo šie: *VMPEI*, įvažiavimų skaičius ir leistinas važiavimo greitis.

Ezra Hauer pirmasis pritaikė empirinį Bajeso metodą eismo saugumo srityje (Elvik 2007). Šis pritaikymas suteikė galimybę objektyviai įvertinti tikėtinų eismo įvykių skaičių atskiriems kelių sistemos elementams, tokiems kaip pvz. sankryžoms, kelio ruožams, kreivėms ir pan.

Pirmiausia šis metodas buvo pradėtas taikyti siekiant įvertinti eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą. Šiai dienai šis metodas jau taikomas siekiant nustatyti pavojingus kelių ruožus bei tobulinti daugiakriterinius eismo įvykių prognozavimo modelius bei jų skaičiavimus, siekiant apskaičiuoti prognozuojamą eismo įvykių skaičių (Elvik 2008). Daugybė atliktų studijų (Elvik 2007; Hauer 1995; Hauer *et al.* 2002; Cheng, Washington 2005; Persaud 1999; Persaud, Lyon 2007; Persaud *et al.* 2010) parodė, kad, empirinis Bajeso metodas yra labiausiai rekomenduojamas metodas, siekiant apskaičiuoti prognozuojamą eismo įvykių skaičių tam tikrame kelio ruože, o Elvik (2008) ir Montela (2010) padarė išvadą, kad empirinis Bajeso metodas turi būti taikomas, kaip *standartinis* metodas nustatyti potencialiai pavojingus eismo saugumo požiūriu ruožus kelyje.

Elvik (2007) pabrėžia, kad eismo įvykio proceso neįmanoma stebėti tiesiogiai, galima stebėti tik jo pasekmes. Dažniausiai naudojamų modelių forma yra pagrįsta prielaida, kad eismo įvykiai įvyksta pastoviu dažniu per laiko vienetą duotajame laikotarpyje.

Jungtinėse Amerikos Valstijose, Transporto departamento Federalinėje kelių administracijoje (*U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*) 2000 m. buvo sukurtas Interaktyvus saugaus eismo modelis (toliau ‒ ISEM) (Harwood *et al.* 2000), kuris naudojamas įvertinti esamų ir projektuojamų kelių geometrinių parametrų įtaką eismo saugumui ir yra skirtas dviejų eismo juostų užmiesčio keliams, tačiau eismo įvykių prognozavimo modelis gali būti pritaikytas ir kitiems keliams bei magistralinėms miestų gatvėms.

ISEM sudaro 5 moduliai:

**Eismo įvykių prognozavimo modulis.** Šis modulis apskaičiuoja eismo įvykių dažnumą kelio ruože, įvertindamas kelio geometrinius parametrus ir vidutinį metinį paros eismo intensyvumą (A priedas).

**Kelio pastovumo modulis.** Šis modulis apskaičiuoja eismo saugumo projektinį lygį kelyje, įvertindamas srauto greičio *V*85 skirtumą tarp dviejų gretimų kreivių (horizontaliosiose, vertikaliosiose, ir horizontaliųjų ir vertikaliųjų kreivių deriniuose).

**Sankryžų matomumo modelis.** Šis modulis apskaičiuoja matomumo laukus kreivėse bei reikalingą sustojimo matomumą pastebėjus kliūtį įvairiose sankryžose ir kelio ruožuose.

**Eismo analizės modelis.** Šiame modulyje, kompiuterinės eismo modeliavimo programos *TWOPAS* pagalba, apskaičiuojamas transporto priemonės momentinis greitis įkalnėse, nuokalnėse, horizontalios kreivės pradžioje ir pabaigoje. Remiantis gautais rezultatais yra sprendžiama ar reikalinga papildoma eismo juosta kelio atkarpoje.

**Vairuotojo ir automobilio modulis.** Šis modulis apskaičiuoja leistiną ribinį automobilio važiavimo greitį ir trajektoriją. Viršijus ribines reikšmes automobilis praranda sukibimą su kelio danga ir išvažiuoja iš saugios važiavimo trajektorijos ribų.

Eismo įvykių prognozavimo modulį, taikomą dviejų eismo juostų užmiesčio keliams, sudaro atskiri algoritmai kelio atkarpoms ir sankryžoms. Šie algoritmai (2.2‒2.3 pav.) gali būti naudojami kartu, norint prognozuoti eismo įvykius visam keliui. Tuo tikslu, nagrinėjamas kelio ruožas suskaidomas į sankryžas ir tam tikrus kelio ruožus. Išsamus interaktyvaus eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmo aprašymas pateiktas A priede.

**Kelio ruožas**

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius per metus kelio ruože

Pagalbinis modulis

Eismo juostos pločio *AMV*

Kelkraščio pločio ir dangos *AMV*

Kelio vertikalaus nuolydžio *AMV*

Viražo *AMV*

*AMV* = 1, kai VNS < 1%;

*AMV* = 1,0+6(VNS‒0,01), kai 1% ≤ VNS <2%;

*AMV* = 1,06+3(VNS‒0,02), kai VNS ≥ 2%.

Kelio ruožo *AMV*

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius per metus visuose kelio ruožuose įvertinus *AMV*

**2.2 pav.** Interaktyvaus eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmas

kelio ruožui (Harwood *et al.* 2000)

**Fig.** **2.2.** Interactive algorithm of accident prediction model for road section (Harwood *et al.* 2000)

**Sankryža**

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius per metus sankryžoje

Pagalbinis modulis

Trišalėje sankryžoje su pagrindiniu keliu

Keturšalėje sankryžoje su pagrindiniu keliu

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius per metus visose sankryžose įvertinus *AMV*

Sankryžų *AMV*

Kelių susikirtimo kampo *AMV*

*AMV* = exp(0,004*KSK*), trišalei sankryžai su pagr. keliu

*AMV* = exp(0,0054*KSK*), keturšalei sankryžai su pagr. keliu

Sankryžų matomumo *AMV*

**2.3 pav.** Interaktyvaus eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmas sankryžai (Harwood *et al.* 2000)

**Fig.** **2.3.** Interactive algorithm of accident prediction model for junction

(Harwood *et al.* 2000)

Mokslinėje literatūroje aprašomi tik keli atvejai, kai eismo įvykių skaičių buvo bandoma prognozuoti Lietuvoje.

Ratkevičiūtė (2009) eismo įvykių skaičiui prognozuoti Lietuvos magistraliniuose keliuose taikė laiko eilučių statistinį matematinį modelį. Eismo įvykių skaičius buvo padalintas į ketvirčius ir apskaičiuotos tiesinių regresijų lygtys kiekvienam iš jų. Eismo įvykių prognozavimas buvo atliekamas remiantis informacija apie praeityje įvykusius eismo įvykius ir kelio aplinka (tiesūs kelio ruožai, vieno ir dviejų lygio sankryžos).

Nagrinėjant statistinius duomenis apie eismo įvykių skaičių laiko eilutėje buvo pastebėti ryškūs sezoniniai kitimai, todėl buvo ieškoma regresinės kreivės, kuri atspindėtų sezoninis kitimus:

, (2.1)

čia: ŷ ‒ prognozuojama vidutinė *Y* reikšmė, *Y* – eismo įvykių skaičius per 3 mėnesius; *t* ‒ trendo kintamasis; *t*1 ‒ kintamasis, įgyjantis reikšmę 1 *i*-tajame metų ketvirtyje ir reikšmę 0 kituose ketvirčiuose (ketvirtąjį metų ketvirtį atitinka kintamųjų reikšmės).

Ratkevičiūtė (2009), remiantis 1997‒2008 m. statistiniais avaringumo duomenimis, aprašė sezoninius svyravimus žemiau pateiktomis regresijos lygtimis (naudojant *Microsoft Excel* įrankį *Data Analysis*):

, (1997‒2006), (2.2)

, (1997‒2007), (2.3)

, (1997‒2008). (2.4)

2.4 paveiksle pateikta stebimųjų (1997‒2008) ir prognozuojamų (naudojant 1997‒2006 m. duomenis) *Y* reikšmių priklausomybė nuo laiko. 2007 metams prognozuojamos reikšmės buvo gana tikslios, palyginti su tais metais stebėtomis, o prognozuojamos 2008 metams buvo visai neteisingos, nes būtent 2008 m. Lietuvoje įvyko ženklus eismo įvykių sumažėjimas (32,57 % lyginant su 2007 m.).

Ratkevičiūtė (2009) nustatė, kad norint prognozuoti avaringumo situaciją tiek naujai tiesiamuose, tiek rekonstruojamuose automobilių kelių ruožuose, reikia atlikti išsamią eismo įvykių ir eismo intensyvumo kitimo analizę, suskaidyti Lietuvos automobilių kelius į homogeninius kelių ruožus ir pritaikyti matematinės statistikos bei optimizavimo metodus.

Šliupas (2011) atliko eismo įvykių skaičiaus prognozavimą Lietuvos magistraliniuose ir krašto keliuose naudojant 1) *išskaidymo metodą;* 2) *regresinių lygčių taikymo metodą*.



2.4 pav. *Y* įverčiai gaunami pagal (2.1) regresijos lygtį (Ratkevičiūtė 2009)

Fig. 2.4. *Y*-values obtained by regression equation (2.1) (Ratkevičiūtė 2009)

Taikant išskaidymo metodą buvo vertintos šios pagrindinės veiksnių grupės: 1) eismo intensyvumas kelio ruože, 2) eismo įvykio tikimybė kelio ruože, ir 3) tikimybė būti sužeistam eismo įvykio metu. Šliupas (2011) naudodamasis 2002‒2009 m. duomenimis apie *VMPEI* kitimą magistraliniuose ir krašto keliuose bei įskaitinius eismo įvykius, nustatė, kad įskaitinių eismo įvykių skaičių Lietuvos magistraliniuose ir krašto keliuose galima apskaičiuoti pagal lygtį:

, (2.5)

čia: *i* ‒ kelio ruožo eilės numeris;  – esamas vidutinis metinis paros eismo intensyvumas *i* kelio ruože;  – prognozuojamas vidutinis metinis paros eismo intensyvumas *i* kelio ruože;  – eismo įvykio rizika *i* kelio ruože važiuojant 1 km atstumą; *li*‒ ruožo ilgis.

Metodo paklaidą taikant aukščiau aprašytą lygtį sudaro 155 %.

Įskaitinių eismo įvykių prognozavimui naudojant regresinių lygčių taikymo metodą, Šliupas (2011) magistralinių ir krašto kelių tinklą suskaidė į 341 homogeninį kelio ruožą bei susistemino 2007‒2009 m. eismo įvykių, *VMPEI*, bei kitų turinčių įtakos veiksnių (gyventojų skaičius kintamo spindulio kreivės ribojamame plote, kelio kategorijos balas, vidutinis dangos svertinis plotis nagrinėjamame kelio ruože, vieno lygio sankryžų skaičius kelio ruože, visų tipų aikštelių skaičius kelio ruože, pėsčiųjų, dviračių takų ilgis tenkantis vienam nagrinėjamo kelio ruožo kilometrui ir pan.) reikšmės kiekvienam ruožui atskirai.

Atrinkus stipriausias Pirsono koreliacijos priklausomybes su įskaitiniais 2007‒2009 m. eismo įvykiais magistraliniuose ir krašto keliuose turinčius veiksnius, Šliupas (2011) sudarė regresinę lygtį, prognozuojančią įskaitinių eismo įvykių skaičių:

, (2.6)

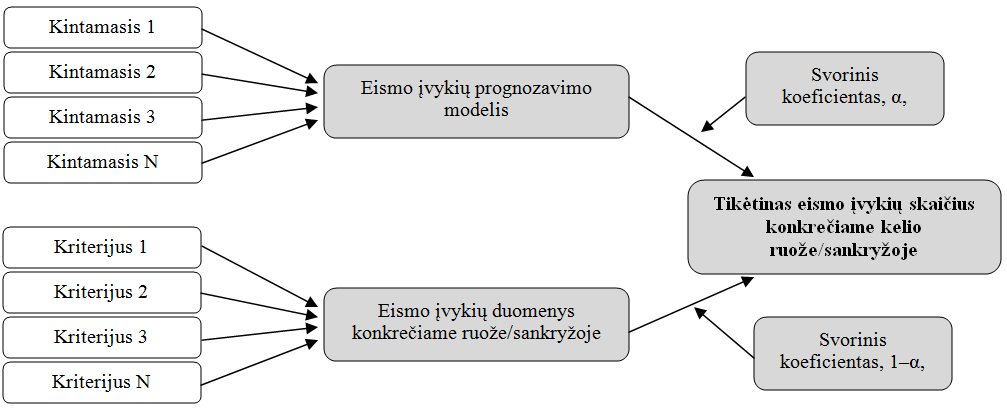
čia:  – prognozuotas įskaitinių eismo įvykių skaičius nagrinėjamų metų *i* kelio ruože; *Ai*‒ *i* kelio ruože esančių visų tipų aikštelių skaičius;  – *i* kelio ruožo, *j* metų vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, TP/parą; *Di*‒ gyventojų skaičius 17 km spindulio kreivėje aplink kelio *i* kelio ruožą; *Ci*‒ *i* kelio ruožo kategoriją įvertinantis kintamasis; *Si*‒ *i* kelio ruože esančių vieno lygio sankryžų skaičius; *Wi*‒ *i* kelio ruožo plotį įvertinantis kintamasis, m.

Šios lygties vidutinė absoliutinė paklaida sudaro 246 %, kai prognozavimui naudojami trijų metų duomenys; tuo tarpu prognozavimą atlikus su vienerių metų duomenimis, vidutinė absoliutinė paklaida sudaro 200 %. Šliupas (2011) padarė išvadą, kad ilgesnio laikotarpio duomenys yra labiau iškraipomi įvairių socialinių, ekonominių, kultūrinių bei kitų veiksnių, kurie veikia avaringumą bei jo prognozavimui naudojamų kintamųjų reikšmes nei vienerių metų duomenys.

2.2. Eismo įvykių prognozavimo modelio sudarymo principai automobilių keliams

Terminas „Eismo įvykių prognozavimo modelis“ dažniausiai reiškia modelį, parodantį ryšį tarp eismo įvykių skaičiaus ir veiksnių, įtakojančių eismo įvykių atsiradimą.

Daugelis mokslininkų (Elvik 2008; Hauer *et al.* 2002) pažymi, kad empirinis Bajeso metodas yra gerai išvystytas ir plačiai naudojamas eismo saugumo srityje. Šis metodas remiasi prielaida, kad panašioje aplinkoje, kurioje vyrauja panašios eismo sąlygos, yra panaši eismo įvykių rizika. Naudojant empirinį Bajeso metodą (2.5 pav.), tikėtinas eismo įvykių skaičius nustatomas, apjungiant du informacijos šaltinius: 1) istorinius eismo įvykius tam tikrame kelio elemente; ir 2) matematinį eismo įvykių prognozavimo modelį, nusakantį eismo įvykių riziką savo aplinka panašiuose kelio elementuose.



**2.5 pav.** Empirinio Bajeso metodo taikymo skaičiuojant prognozuojamą eismo įvykių skaičių, iliustracija (Sørensen, Elvik 2008)

**Fig.** **2.5.** Example of the use of empirical Bayes method to calculate the predicted number of accidents (Sørensen, Elvik 2008)

Patikimas eismo įvykių įvertinimas kiekviename homogeniniame kelio ruože atliekamas bendrai vertinant vidutinį avaringumo lygį, transporto priemonių nuvažiuotų kilometrų skaičių bei eismo įvykių statistiką praeityje. Taikant empirinį Bajeso metodą, į bendrą formulę (2.7‒2.8 formulės) (Sørensen, Elvik 2008) sujungiama informacija apie eismo įvykius praeityje, tinkamiausią matematinį eismo įvykio modelį ir atsitiktinį eismo įvykių pakitimą. Kuo didesnis atsitiktinis eismo įvykių pakitimas, tuo matematinis eismo įvykių modelis yra reikšmingesnis už eismo įvykių statistiką:

, (2.7)

Svorinis koeficientas: , (2.8)

čia:  – prognozuojamas eismo įvykių skaičius tam tikrame kelio ruože/sankryžoje; λ ‒ bendras tikėtinas eismo įvykių skaičius visai homogeniškų ruožų grupei, nustatytas matematiniais eismo įvykių prognozavimo modeliais; *r* ‒ istorinių eismo įvykių skaičius konkrečiame ruože; *k* ‒ modelio atitikimo kriterijus*.* Parametras α reiškia svorį, suteikiamą homogeninės kelių ar sankryžų grupės matematiniam eismo įvykių modeliui, derinat jį su istorinių eismo įvykių skaičiumi.

2.2.1. Matematinio eismo įvykių prognozavimo modelio kintamųjų nustatymas ir modelio sudarymas

Eismo įvykių dažnumą įtakoja daug kintamųjų, kurie dažniausiai būna susiję su eismo srautu, ruožo ilgiu, kelio infrastruktūros geometriniais parametrais, kelio dangos būkle, apšvietimu, oro sąlygomis ir vairuotojo elgesiu (Kirchera, Thorslunda 2009; Peltola, Kulmala 2000; Šliupas 2009). Kai kurių kintamųjų reikšmę sunku nustatyti, be to, ne visų kintamųjų įtaka eismo įvykių atsiradimui yra vienoda. Todėl ne visi kintamieji yra įtraukiami į matematinius eismo įvykių prognozavimo modelius (Caliendo *et al.* 2007).

Elvik (2007) pažymėjo, kad nei vienas matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis negali būti „pilnas“, t. y. apimantis visus įmanomus kintamuosius, kurie gali įtakoti eismo įvykių atsiradimą.

Sudarant matematinį modelį, pirmiausia turi būti parenkami priklausomi ir nepriklausomi kintamieji bei funkcinė priklausomybė tarp jų.

Parenkant priklausomus kintamuosius, yra keletas alternatyvų:

* naudoti *eismo įvykių skaičių* kaip priklausomą kintamąjį;
* naudoti *žuvusiųjų ir sužeistųjų eismo įvykiuose skaičių* kaip priklausomą kintamąjį; arba
* naudoti *avaringumo koeficientą* kaip priklausomą kintamąjį.

Elvik (2007) nerekomenduoja priklausomu kintamuoju pasirinkti žuvusių ir sužeistų eismo dalyvių skaičiaus, kadangi pastarųjų skaičius gali būti pasekmė veiksnių, kurie nesusiję su keliu, t.y. keleivių skaičius transporto priemonėje, saugos diržų ar šalmų naudojimas, vairuotojo patirtis ir pan. Todėl žuvusiųjų ir sužeistųjų skaičius kaip priklausomas kintamasis gali duoti klaidingus rezultatus.

Elvik (2011b) pažymi, kad matematiniuose prognozavimo modeliuose pirmenybė turi būti teikiama avaringumo koeficientui, kaip priklausomam kintamajam.

Nepriklausomi kintamieji, naudojami eismo įvykių prognozavimo modeliuose, dažniausia yra susiję su kelio infrastruktūra, eismo sąlygomis kelyje ir pan.:

* kintamieji, susiję su kelio reikšme;
* kintamieji, susiję su skersiniu kelio profiliu (eismo juostų skaičius, juostų plotis, skiriamoji juosta ir pan.);
* kintamieji, susiję su *VMPEI*;
* kintamieji, susiję su eismo kontrolę (greičio ribojimai, greičio matavimo įrenginiai ir pan.).

Modeliavimui turi būti pasirinktas metodas. Kyla klausimas, ar modelis turi būti sudarytas kaip kombinuota kategorijos ir regresijos analizė ar daugelio kintamųjų regresijos analizė bei kokia prielaida turi būti padaryta apie likutinių sąlygų pasiskirstymą. Modelio likutinė sąlyga yra standartinio nuokrypio ir atsitiktinio nuokrypio, kurio modelis nepaaiškina, suma. Elvik (2008) pažymi, kad tais atvejais, kai modelis paaiškina standartinį nuokrypį, kuris yra duomenų imtyje, tuomet atsitiktinis nuokrypis apima tik atsitiktinius pokyčius ir gali būti apibūdinamas kaip turintis Puasono skirstinį. Praktika rodo, kad dažniausiai modelis negali paaiškinti visų standartinių nuokrypių, tuomet atsitiktinis nuokrypis apima dalį perteklinės dispersijos, kuri dažniausiai paaiškinama neigiamu binominiu skirstiniu. Be abejo, ir kiti tikimybiniai skirstiniai yra tinkami eismo įvykių duomenims, bet dažniausiai naudojami ‒ Puasono ir neigiamų binomų skirstiniai.

Mokslinėje literatūroje pažymima (Eenink *et al.* 2005; Elvik 2008; Gaudry, Lassarre 2000; Greibe 2003), kad pagrindinė formulė, kuria remiasi dauguma eismo įvykių prognozavimo modelių, yra daugelio kintamųjų regresijos analizė:

. (2.9)

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius *E*(λ) yra eismo intensyvumo, *Q*, ir rizikos faktorių, *xi* (*i* = 1, 2, 3, ..., *n*), funkcija. Įvairūs rizikos veiksniai, turintys įtakos eismo įvykių tikimybei, paprastai modeliuojami kaip eksponentinė funkcija, pakelta koeficientų *γi* ir kintamųjų *xi*, nurodančių rizikos faktorius, suma (Hauer 1995).

Eismo įvykių prognozavimo modeliai sankryžoms paremti formule (Miaou, Lord 2003; Persaud *et al.* 2003):

, (2.10)

čia:  ‒ transporto priemonių, įvažiuojančių į sankryžą iš pagrindinio kelio, skaičius, ‒ transporto priemonių, įvažiuojančių į sankryžą iš šalutinio kelio, skaičius.

Kelių ruožams ir sankryžoms naudojami skirtingi matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai. Eismo įvykių kelio ruožuose prognozavimo modelis paremtas eismo įvykių skaičiumi transporto priemonių nuvažiuotam atstumui, o sankryžose ‒ eismo įvykių skaičiumi įvažiuojančioms transporto priemonėms.

Svarbu pažymėti, kad matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis apskaičiuoja prognozuojamą eismo įvykių skaičių kelio elementui, turinčiam tam tikras vienodas savybes. Atsižvelgiant į tai, kelių tinklas turi būti suskaidomas į grupes, turinčias vienodas savybes, įvertinant pasirinktus nepriklausomus kintamuosius.

2.2.2. Informacijos surinkimas ir apdorojimas

Pradinės informacijos surinkimas labai svarbus etapas siekiant prognozuoti eismo įvykius.

Daugumoje matematinių modelių vyrauja duomenys (nepriklausomi kintamieji), kuriais disponuoja valstybinės institucijos (eismo įvykių registras, kelių bankas, transporto priemonių registras ir pan.). Taip yra užtikrinamas duomenų, reikalingų prognozavimui, prieinamumas.

Eismo įvykių prognozavimui reikalinga informacija apie istorinius eismo įvykius, kelio infrastruktūrą ir eismo organizavimą.

Informaciją apie eismo įvykius įprastai registruoja ir kaupia policija, tuo tarpu apie kelio infrastruktūrą ir eismą ‒ kelius administruojančios institucijos.

Eismo įvykių modeliavimui įprastai naudojami 3‒5 metų laikotarpio duomenys. Šis laikotarpis rekomenduojamas dėl dviejų priežasčių:

1. dėl didesnio eismo įvykio skaičiaus gaunamas patikimesnis modeliavimas;
2. per tokį laikotarpį dar nepasireiškia bendrosios tendencijos ir pokyčiai.

2.2.3. Modelio atitikimo kriterijus

Tolimesniame etape vertinamas matematinio prognozavimo modelio atitikimas (*k*‒reikšmė) turimiems duomenims.

Matematinio eismo įvykių prognozavimo modelio atitikimui įvertinti literatūroje (Elvik 2008; Lovegrove 2007) siūloma keletą priemonių.

* dispersija;
* Puasono skirstinys ();
* determinacijos svorinis koeficientas ();
* Freeman-Tukey determinacijos koeficientas ();
* Elviko indeksas ().

2.3. Eismo saugumą gerinančių priemonių parinkimo ir vertinimo metodikos

Sudaryti eismo įvykių prognozavimo metodai suteikia galimybę apskaičiuoti prognozuojamą eismo įvykių skaičių kelyje, jeigu nebus diegiamos inžinerinės eismo saugumą gerinančios priemonės. Tinkamas tokių priemonių parinkimas rengiant kelio tiesimo ar rekonstrukcijos projektus, yra svarbi projekto dalis, užtikrinanti eismo saugumą ateityje.

Lietuvoje šiuo metu naudojama Suomijoje sukurta eismo saugumą gerinančių priemonių vertinimo metodikos TARVA adaptuota lietuviškoji versija TARVAL bei jos pagrindu sukurta kompiuterinė programa „Saugaus eismo priemonių vertinimas“, kuri įvertina avaringame ruože arba „juodojoje dėmėje“ numatomų diegti inžinerinių eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą, taikant priemonių poveikio, elastingumo, eismo intensyvumo bei prevencijos priemonių kainų augimo prognozių koeficientus (Ratkevičiūtė 2009).

TARVA programą kuriantys specialistai nustatė, eismo saugumą gerinančių priemonių efektas gali būti apskaičiuojamas remiantis atliktais patikimais skaičiavimais, naudojant matematinius eismo įvykių modelius kartu su istoriniais eismo įvykių duomenimis konkrečiame kelio ruože, įvertinant prognozuojamą eismo įvykių skaičių be saugų eismo gerinančių priemonių ir tų priemonių duodamą efektą jas įdiegus (Ratkevičiūtė 2009).

1) Tinkamas esamos eismo saugumo situacijos įvertinimas

2) Pavyzdžiui, transporto eismo ar kelio aplinkos pasikeitimas

Įskaitinių eismo įvykių skaičius kelio ruože

(5 metų)

Vidutinis avaringumas ir jo kitimas kelio ruože

Esamas eismo įvykių skaičius 1)

Esamas eismo saugumo situacijos pasikeitimas 2)

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius

Eismo saugumo gerinimo priemonė ir jos poveikio koeficientas

Išvengtų eismo įvykių skaičius

Vidutinis eismo įvykių padarinių sunkumas ir jo pokytis

Įskaitinių eismo įvykių skaičiaus sumažėjimas

2.6 pav. Eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumo skaičiavimo etapai naudojant programą TARVA (Ratkevičiūtė... 2009; TARVA 2008)

Fig. **2.6.** Stage for calculating the effect of road safety improvement measures with TARVA software (Ratkevičiūtė... 2009; TARVA 2008)

Nustačius išvengtų įskaitinių eismo įvykių skaičių per metus, įdiegus eismo saugumą gerinančias priemones, galima nesunkiai apskaičiuoti nuostolių, patiriamų dėl eismo įvykių, sumažėjimą. Žinant eismo saugumą gerinančios priemonės įdiegimo sąnaudas, apskaičiuojama kuri priemonė yra efektyviausia (Peltola 2000, 2012). Atliekant skaičiavimus TARVA programa, reikalingi duomenys apie kelio, transporto eismo, avaringumo situaciją bei eismo saugumą gerinančių priemonių įrengimo kainas. Visa ši informacija suvedama į specialią duomenų bazę, kurioje ji apdorojama. Eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumo nustatymo procesą sudaro keturi etapai (2.6 pav.) (Ratkevičiūtė... 2009; TARVA... 2008).

Eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumas išreiškiamas jų poveikio koeficientais. Šie koeficientai gauti įvairiose šalyse atlikus daugelį mokslinių tyrimų, atsižvelgiant į nagrinėtų šalių skirtumus organizuojant eismą bei skirtingą eismo dalyvių elgesį. Poveikių koeficiento reikšmės pavyzdys: žiedinės sankryžos įrengimas 15 % sumažina eismo įvykių su pėsčiaisiais ir dviratininkais skaičių, 50 % sumažina eismo įvykius su automobiliais skaičių, tačiau eismo įvykiams su gyvūnais neduoda jokio efekto.

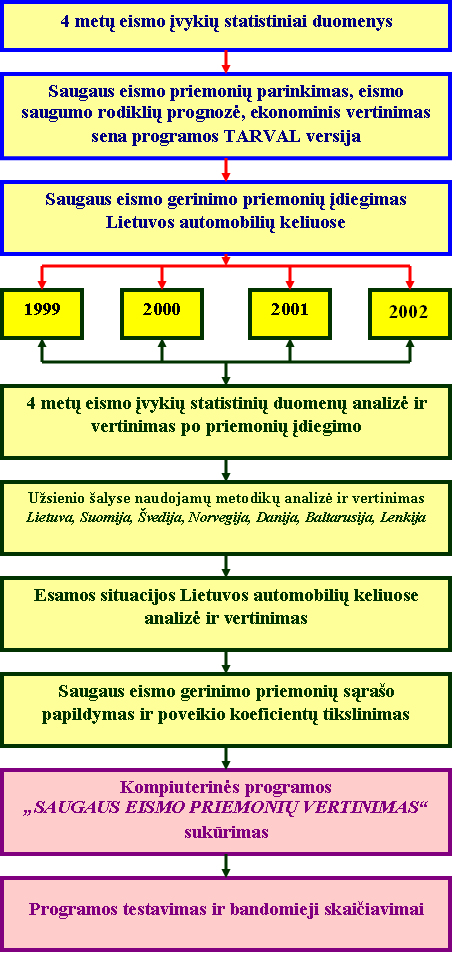
Įdiegus eismo saugumą gerinančią priemonę ne tik sumažėja eismo įvykių skaičius, bet ir eismo įvykių pasekmės būna lengvesnės. Naudojant TARVA programą galima nustatyti, kiek sumažės prognozuojamų eismo įvykių padariniai. Naudojant apskaičiuotą įskaitinių eismo įvykių procentinį sumažėjimą ir žinant vidutines eismo įvykių pasekmes (mirtys/100 įskaitinių eismo įvykių) ir jų pokytį, TARVA programa apskaičiuoja, kiek kasmet išvengiama eismo įvykių su mirtinomis pasekmėmis.

Programa TARVA buvo tobulinta daug kartų. Paskutinės šios programos versijos leidžia ne tik parinkti eismo saugumą gerinančias priemones avaringuose kelių ruožuose, bet ir prognozuoti eismo įvykius naujai tiesiamuose bei rekonstruojamuose automobilių keliuose. Tai leidžia iš anksto parinkti reikiamas eismo saugumą gerinančias priemones ir vykdyti eismo įvykių prevenciją.

Pagal apskaičiuotą metinį išvengtų eismo įvykių su sužeistaisiais ir žuvusiaisiais skaičių, įdiegus eismo saugumą gerinančias priemones, lengvai apskaičiuojamos eismo įvykių kaštų santaupos. Žinant priemonių įdiegimo kaštus taip pat lengva apskaičiuoti, kurios priemonės yra pačios efektyviausios saugaus eismo požiūriu ir kur šios priemonės labiausiai atsipirktų.

1998 m. Suomijos techninių tyrimų instituto VTT specialistai, atlikę kelio A1 Vilnius‒Kaunas‒Klaipėda avaringumo analizę, pasiūlė eismo saugumą gerinančių priemonių koeficientus ir adaptavo Suomijoje taikomo modelį TARVA Lietuvai, pavadinę jį TARVAL. Minėtoje metodikoje kiekviena eismo saugumą gerinanti priemonė (viso aštuonios priemonių grupės; 72 priemonės) turi tam tikrą poveikio koeficientą, kuris rodo, kiek galėtų sumažėti avaringumas, įdiegus tam tikrą priemonę. Poveikio koeficientai skirstomi į tris grupes: 1. Eismo įvykiams su TP. 2. Eismo įvykiams su pėsčiaisiais ir dviratininkais. 3. Eismo įvykiams su gyvūnais.

2006‒2009 m. Ratkevičiūtė išanalizavo užsienio šalyse naudojamas eismo saugumą gerinančių priemonių pagrindimo metodikas, atliko avaringumo rodiklių analizę po priemonių įdiegimo, taip pat išanalizavo tik iš dalies pasiteisinusias eismo saugumą gerinančias priemones, ir nustatė, kad Lietuvoje naudojama eismo saugumą gerinančių priemonių pagrindimo metodika TARVAL neleidžia gana tiksliai parinkti eismo saugumą gerinančias priemones avaringuose kelių ruožuose (Ratkevičiūtė 2009). Atsižvelgiant į per 12 metų Lietuvoje įgyvendintų inžinerinių eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumo analizės rezultatus, buvo patobulinta TARVAL metodika (2.7 pav.), t. y. papildytas eismo saugumą gerinančių priemonių sąrašas (dvi naujos priemonių grupės; 59 naujos priemonės), perskaičiuoti poveikio koeficientai, sukurta kompiuterinė programa „Saugaus eismo priemonių vertinimas“. Kompiuterinė programa „Saugaus eismo priemonių vertinimas“ įvertina *avaringame ruože arba „juodojoje dėmėje“* numatomų diegti inžinerinių eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą.



**2.7 pav.** Lietuvoje taikomos eismo saugumą gerinančių priemonių pagrindimo metodikos tobulinimo etapai (Ratkevičiūtė 2009)

**Fig.** **2.7.** Stages for the improvement of methodology used for the substantiation of road safety measures in Lithiania (Ratkevičiūtė 2009)

Eismo saugumą gerinančių priemonių vertinimo kompiuterinę programą sudaro dvi pagrindinės dalys:

* normatyvinės lentelės;
* duomenys ir skaičiavimai.

Į normatyvines lenteles suvesti duomenys reikalingi tolimesniems skaičiavimams (Ratkevičiūtė 2009):

* eismo įvykio kaina;
* eismo saugumą gerinančios priemonės ir jų poveikio koeficientai;
* eismo intensyvumo ir eismo įvykio kainos prognozė.

Skaičiavimų dalį sudaro trys etapai:

* duomenų įvedimas;
* eismo įvykių ir eismo įvykių nuostolių prognozės skaičiavimai;
* ekonominiai skaičiavimai. Ekonominis projektų vertinimas atliekamas apskaičiuojant ekonominius rodiklius. Vertinant nustatoma, ar tikslinga įgyvendinti projektą ekonominiu požiūriu. Jei nagrinėjamos kelios alternatyvos, nustatoma, kuri iš jų yra priimtiniausia. Pagrindiniai įverčiai, naudojami projekto ekonominėje analizėje yra: grynoji dabartinė vertė; vidinė grąžos norma bei naudos ir sąnaudų santykis N/S (projekto rentabilumas). Šiame etape pateikiami apibendrinti prognozuojamo efektyvumo duomenys įdiegus eismo saugumą gerinančias priemones. Programa pagal ekonominius rodiklius bei prognozuojamą avaringumo koeficientą įvertina projekto patrauklumą, kuris gali būti: 1. Nepatenkinamas. 2. Patenkinamas. 3. Geras. 4. Labai geras.

Švedijoje naudojama metodika *Traffic Conflict Technique* leidžia nustatyti transporto priemonių eismo konfliktines situacijas, kylančias tarp atskirų eismo dalyvių, kelio ruože arba sankryžoje, dar prieš įvykstant eismo įvykiams. Turint tokius duomenis galima parinkti eismo saugumą gerinančias priemones, kurios padėtų užkirsti kelią galimiems eismo įvykiams (Hydén 1987; Ratkevičiūtė 2009). Ši metodika paremta stebėjimo metodu, kai pavojingos situacijos kelyje bei rimti eismo konfliktai užfiksuojami stebėtojo sekančio realią situaciją. Remiantis šia metodika, galima stebėti pavojingas situacijas, vadinamas „beveik eismo įvykis“, jas išanalizuoti ir imtis tam tikrų prevencinių priemonių. Eilę metų stebėjimo tyrimus atlikdavo specialiai parengti ir apmokyti specialistai, tačiau 2010 m. Lundo universiteto mokslininkai sukūrė automatinę vaizdo analizės sistemą, kuri stacionaria vaizdo kamera fiksuoja konfliktines situacijas kelyje, atstumus iki galimo susidūrimo taško bei transporto priemonių greičius (Laureshyn 2010).

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Literatūros analizė parodė, kad eismo įvykių prognozavimui gali būti naudojami įvairūs metodai, tačiau empirinis Bajeso metodas pripažintas kaip labiausiai tinkamas eismo įvykių prognozavimo metodas.
2. Eismo įvykių prognozavimo modeliai negali įvertinti visų veiksnių, įtakojančių eismo įvykių atsiradimui. Būtina išskirti pagrindinius ir didžiausią įtaką turinčius veiksnius.
3. Matematinių eismo įvykių prognozavimo modelio sudarymui reikalingi duomenys apie *VMPEI*, istorinius eismo įvykius, kelio geometrinius parametrus ir eismo sąlygas.

3

Eismo įvykio prognozavimo modelio sukūrimas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams

Skyriuje pateiktas eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams, sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai, nustatyti valstybinės reikšmės automobilių kelių saugumo lygiai bei išskirti potencialiai pavojingi eismo saugumo požiūriu kelių ruožai.

Skyriaus tematika paskelbtas mokslinis straipsnis (Jasiūnienė *et al.* 2012).

3.1. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių apžvalga

Lietuvos keliai, atsižvelgiant į transporto priemonių eismo pralaidumą, socialinę ir ekonominę jų reikšmę, skirstomi į valstybinės reikšmės ir vietinės reikšmės kelius.

Valstybinės reikšmės keliai, kuriais vyksta tarptautinis, tranzitinis, turistinis ir vietinis intensyvus transporto priemonių eismas, skirstomi į (Kelių įstatymas 1995):

1) magistralinius kelius. Tai pagrindiniai Lietuvos keliai ir jų tęsiniai – gatvių važiuojamoji dalis, kuriais vyksta intensyviausias transporto priemonių eismas. Jiems priskiriami ir visi į Europos tarptautinį kelių tinklą įtraukiami valstybinės reikšmės keliai;

2) krašto kelius. Jie sudaro pagrindinio kelių tinklo dalį. Tai keliai ir jų tęsiniai – gatvių važiuojamoji dalis, kuriais vyksta intensyvus transporto priemonių eismas tarp Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų centrų, taip pat tranzitinio ir turistinio transporto priemonių eismas;

3) rajoninius kelius. Tai keliai, naudojami Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų teritorijose esančių juridinių ar fizinių asmenų susisiekimo reikmėms ir jungiantys miestų ir kaimų gyvenamąsias vietoves su pagrindinių kelių tinklu.

Vietinės reikšmės keliai naudojami vietiniam susisiekimui ir skirstomi į:

1) viešuosius kelius. Tai keliai, jungiantys rajoninius kelius, gyvenamąsias vietoves, sąvartynus, rekreacijos objektus, lankomus gamtos, kultūros paminklus, bei gatvės gyvenamosiose vietovėse ir kiti keliai, nepriskirti valstybinės reikšmės keliams;

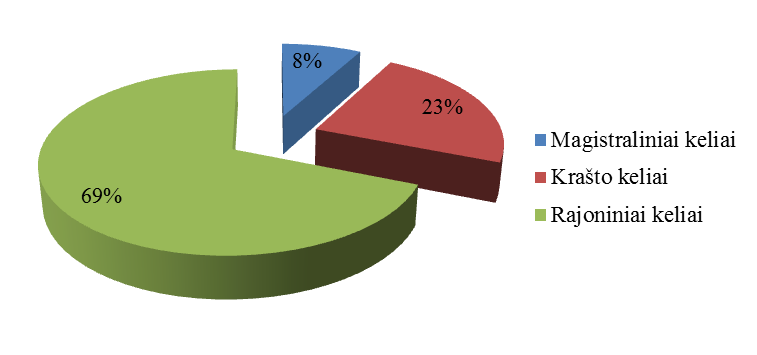
2) vidaus kelius. Tai juridinių ir (ar) fizinių asmenų reikmėms naudojami keliai (miškų, nacionalinių parkų, valstybės saugomų teritorijų, pasienio, karjerų, privažiavimo prie hidrotechninių įrenginių, ribotų teritorijų – kiemų keliai ir visi kiti keliai, nepriskirti viešiesiems keliams).

LAKD 2012 m. sausio 1 d. duomenimis, valstybinės reikšmės kelių tinklą sudarė 21 268,4 km (3.1 pav.), iš jų:

* magistraliniai keliai ‒ 1738,5 km;
* krašto keliai ‒ 4939,3 km;
* rajoniniai keliai ‒ 14 590,6 km.

Valstybinės reikšmės automobilių kelių sąrašą, patvirtintą Lietuvos Respublikos Vyriausybės 1999 m. birželio 9 d. nutarimu Nr. 757 „Dėl valstybinės reikšmės automobilių kelių sąrašo patvirtinimo“ (Žin., 1999, Nr. 52-1691), sudaro 18 magistralinių kelių, 132 krašto keliai ir 1632 rajoniniai keliai.

Eismo intensyvumas automobilių keliuose kinta proporcingai šalies ekonominiai raidai. Ekonominio pakilimo laikotarpiu šalyje augo pragyvenimo lygis, plėtėsi tarptautiniai ir ekonominiai ryšiai, didėjo tranzitinis transporto srautas, kilo automobilizacijos lygis. Atėjus ekonominiam sunkmečiui spartus eismo intensyvumo augimas stabilizavosi. Didžiausias eismo intensyvumas, tiek jo pokytis stebimas magistraliniuose keliuose. Dėl didesnių važiavimo greičių valstybinės reikšmės keliuose, eismo įvykių pasekmės yra sunkesnės. Eismo įvykių analizė rodo, kad 2011 m. apie 40 % visų Lietuvoje įvykusių eismo įvykių įvyko valstybinės reikšmės automobilių keliuose, tačiau žuvusieji valstybiniuose keliuose sudaro net 71 % visų žuvusiųjų eismo įvykiuose (3.2 pav.).



**3.1 pav.** Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo struktūra (LAKD, 2012)

**Fig.** **3.1.** Structure of the road network of national significance of the Republic of Lithuania (LAKD, 2012)



**3.2 pav.** Eismo intensyvumo bei avaringumo kitimas valstybinės reikšmės keliuose pagal kelių paskirtį 2006–2011 m. (LAKD, 2012)

**Fig.** **3.2.** Change in the traffic volume and the number of accidents on the roads of national significance by the road function (LAKD, 2012)

Eismo įvykių analizė pagal eismo įvykių rūšis parodė, kad magistraliniuose ir krašto keliuose vyrauja susidūrimai ‒ atitinkamai 45,84 % ir 37,10 %, o krašto keliuose didžiąją eismo įvykių dalį sudaro apvirtimai ‒ 33,25 %.

Valstybinės reikšmės automobilių kelių avaringumo rodikliai 2010 m. pateikti 3.1 lentelėje.

**3.1 lentelė.** Valstybinės reikšmės automobilių kelių avaringumo rodikliai 2010 m. (LAKD...2011)

**Table 3.1.** Accident indices on the roads of national significance (LAKD...2011)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kelių ilgis, km** | **Eismo įvykiai** | **Žuvo** | **Dalis nuo bendro žuvusiųjų skaičiaus, %** | **Žuvo 100 eismo įvykių** | **Žuvusiųjų sk./km** | **Sužeista** | **Dalis nuo bendro sužeistųjų skaičiaus, %** | **Sužeista 100 eismo įvykių** | **Sužeistųjų sk./km** |
| Magistraliniai keliai | | | | | | | | | |
| 1738,5 | 318 | 62 | 28,97 | 19,5 | 0,04 | 427 | 26,70 | 134,3 | 0,25 |
| Krašto keliai | | | | | | | | | |
| 4939,3 | 537 | 92 | 42,99 | 17,13 | 0,02 | 676 | 42,25 | 125,9 | 0,14 |
| Rajoniniai keliai | | | | | | | | | |
| 14590,6 | 396 | 60 | 28,04 | 15,15 | 0,004 | 496 | 31,02 | 125,25 | 0,03 |

LAKD duomenimis, žala Lietuvos ekonomikai dėl eismo įvykių, įvykusių valstybinės reikšmės keliuose 2011 m. siekė 645,98 mln. Lt. Didžiausius nuostolius Lietuvos ekonomikai sukelia susidūrimai ir užvažiavimai ant pėsčiųjų. 2011 m. susidūrimai sudarė 35,72 %, o užvažiavimai ant pėsčiųjų 31,42 % visų dėl eismo įvykių valstybei padarytų nuostolių.

3.2. Eismo įvykių prognozavimo modelis Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams

Remiantis antrajame skyriuje atlikta eismo įvykių prognozavimo modelių sudarymo analizę, sudarytas eismo įvykių prognozavimo modelio Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams algoritmas (3.3 pav.). Modelis sudarytas empirinio Bajeso metodo pagrindu, kuomet prognozuojamas eismo įvykių skaičius nustatomas apjungiant du informacijos šaltinius:

1) istorinių eismo įvykių skaičių tam tikrame kelio elemente;

2) matematinį eismo įvykių prognozavimo modelį, nusakantį eismo įvykių riziką panašios aplinkos kelio elementuose.



**3.3 pav.** Eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmas

**Fig. 3.3.** Algorithm of accident prediction model

Detalus eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmo įgyvendinimas aprašytas žemiau esančiuose poskyriuose.

3.2.1. Nepriklausomų kintamųjų parinkimas ir reikalingų duomenų surinkimas

Nepriklausomų kintamųjų parinkimas yra svarbus prognozavimo modelio sudarymo etapas, kadangi nuo jų priklauso kokie veiksniai bus įvertinti prognozavimo modelyje. Be to, nuo nepriklausomų kintamųjų parinkimo priklauso kokia informacija bus reikalinga prognozavimui atlikti. Iš kitos pusės, reikia įvertinti ir tai, ar reikiama informacija yra kaupiama valstybės mastu ir ar bus garantuotas jos prieinamumas.

Važiuojant skirtingais kelio ruožais tikimybė patekti į eismo įvykį yra skirtinga dėl skirtingų kelio geometrinių parametrų, skirtingų eismo sąlygų, skirtingos kelio aplinkos ir kitų veiksnių.

Pasirenkant nepriklausomus kintamuosius matematiniams eismo įvykių prognozavimo modeliams, atsižvelgta į mokslinėje literatūroje pateiktas rekomendacijas. Pagrindiniai kintamieji įtraukti į matematinį prognozavimo modelį yra:

* kelio funkcinė paskirtis/reikšmė;
* kelią supanti aplinka;
* kelio skersinis profilis;
* *VMPEI*;
* leistinas važiavimo greitis.

Matematinių eismo įvykių prognozavimo modelių sudarymui gali būti naudojami ir kiti kintamieji, pvz. kreivės, tačiau kintamasis ‒ kelio funkcinė paskirtis/reikšmė ‒ aiškiai apibrėžia eismo sąlygas kelyje (eismo juostų skaičius, kreivių spinduliai, kelkraščių pločiai ir pan.), todėl naudoti papildomus kintamuosius matematinių modelių sudarymui nėra būtina.

Informacija apie kelio geometrinius parametrus ir kelių transporto priemonių eismo intensyvumą kaupiama Lietuvos automobilių kelių informacinėje sistemoje *LAKIS*, kurią administruoja LAKD.

Lietuvoje informaciją apie kelių eismo įvykius tvarko, kaupia, apibendrina ir analizuoja Lietuvos kelių policijos tarnyba. Duomenys apie eismo įvykius kaupiami *Kelių eismo taisyklių pažeidimų ir eismo įvykių registro duomenų bazėje*. Kiekvienam įskaitiniam eismo įvykiui pildoma eismo įvykio kortelė, kurioje pateikiama informacija apie: eismo įvykių dalyvių skaičių (dalyvavo, žuvo, sužeista); transporto priemonių skaičių (dalyvavo, apgadinta); eismo įvykio rūšį; datą, laiką; vietą kelyje (kelio numeris, kilometras, kelio reikšmė) ar gyvenvietėje (savivaldybė, miestas, kaimas, pagrindinė gatvė, šalutinė gatvė); eismo sąlygas (dangos rūšis ir būklė, apšvietimas, meteorologinės sąlygos, sankryžos tipas, atitvarai ir pan.); informacija apie transporto priemones (valstybinis numeris, tipas, markė, pagaminimo metai, gedimai, nulėmę eismo įvykį ir pan.). Duomenys iš eismo įvykio kortelės ne vėliau kaip per 3 darbo dienas nuo eismo įvykio datos įvedami į duomenų bazę (Lietuvos policijos... 2007).

Eismo įvykių prognozavimo modelio sudarymui naudojami 5 metų laikotarpio stebėjimo duomenys. Šis laikotarpis pasirinktas dėl dviejų priežasčių. Pirma, mokslinėje literatūroje prognozavimui siūloma naudoti 3‒5 metų duomenis. Antra ‒ didesnis kiekis stebėjimo duomenų leidžia įvertinti duomenų dinamiką ir atlikti patikimesnę prognozę.

Lietuvos automobilių kelių tinklo analizei bei matematinių modelių sudarymui, Lietuvos automobilių kelių informacinėje sistemoje *LAKIS* sukaupti 2006‒2010 duomenys buvo susisteminti į 16 grupių (B priedas): kelių skersiniai profiliai, sankryžos, geležinkelių pervažos, avaringi kelių ruožai ir „juodosios dėmės“, kelio ženklai, duomenys apie įskaitinius eismo įvykius (atskirai pateikti eismo įvykiai, kurie priskiriami sankryžoms), apšviesti kelių ruožai, greičio matavimo įrenginiai, pėsčiųjų takai, apsauginės tvoros nuo žmonių ir laukinių gyvūnų, kelių ruožai su įrengtomis apsauginėmis atitvarų sistemomis, techninės kelių kategorijos, vidutinis metinis paros eismo intensyvumas kelių ruožuose ir sankryžose, važiavimo greičio apribojimai kelių ruožuose.

3.2.2. Kelių tinklo skaidymas į homogeninius ruožus

Matematiniai eismo įvykių modeliai, kurie naudojami taikant empirinį Bajeso metodą, nustato bendrą tikėtiną eismo įvykių skaičių panašioje aplinkoje. Atsižvelgiant į tai, visas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklas suskaidytas į homogeninius ruožus pagal pasirinktus nepriklausomus kintamuosius.

Skirtingo tipo kelio sankasos elementams sudaromi skirtingi matematiniai prognozavimo modeliai. Atsižvelgiant į tai, ir naudojantis aukščiau aprašytais duomenimis, Lietuvos automobilių kelių tinklas buvo skaidomas atskirai į kelių ruožų bei sankryžų grupes.

Kelio ruožu vadinama kelio dalis tarp sankryžų. Kelių ruožų ilgis yra nepastovus dydis ir priklauso nuo kelio parametrų, turinčių įtakos eismo įvykių skaičiui.

Sankryžos zonai priskiriama sankryžos dalis į visas sankryžos puses nutolusi 200 m atstumu. Sankryžos zona yra taškinis objektas (ruožas), neturintis ilgio.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 200 m |

**3.4 pav.** Kelio ruožo ir sankryžos zonos schema

(Road Safety Manual 2003)

**Fig.** **3.4.** Scheme of the road section and junction zone

(Road Safety Manual 2003)

Kelių ruožų grupės sudarytos pagal 4 žemiau pateiktus kriterijus:

Pirmasis kriterijus ‒ *Kelio reikšmė*. Vadovaujantis šiuo kriterijumi visas kelių tinklas suskirstomas į 4 grupes:

1. Keliai su skiriamąja juosta.

2. Magistraliniai keliai.

3. Krašto ir rajoniniai keliai.

4. Keliai, einantys per gyvenvietę.

Lietuvoje valstybinės reikšmės keliai suskirstyti į magistralinius, krašto ir rajoninius kelius. Tačiau šis grupavimas vienareikšmiškai nenusako eismo sąlygų ir važiavimo komforto. Svarbu išskirti kelius, kuriuose yra sukurtos tranzitinio eismo sąlygos. Tai keliai su saugiai atskirtais priešpriešiniais srautais, su skirtingų lygių arba reguliuojamomis sankryžomis ir su dideliu leistinu važiavimo greičiu. Į šią grupę patenka artimi greitkeliams keliai, greitkeliai ir automagistralės. Likusius kelių ruožus tikslinga suskirstyti į atskiras grupes pagal kelio reikšmę.

Antrasis kriterijus ‒ *Kelio skersinis profilis*. Vadovaujantis šiuo kriterijumi keliai skirstomi pagal skirtingą važiuojamosios dalies plotį.

Trečiasis kriterijus ‒ *Leistinas važiavimo greitis*. Vadovaujantis šiuo kriterijumi grupės skirstomos į mažesnes grupes pagal leistiną važiavimo greitį:

1. 50 km/h.

2. 70 km/h.

3. 80 km/h.

4. 90 km/h.

5. 100 km/h.

6. 110 km/h.

7. 130 km/h.

Numatyti leistino važiavimo greičio intervalai nustatyti vadovaujantis Kelių eismo taisyklių, patvirtintų Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. gruodžio 11 d. nutarimu Nr. 1950 „Dėl Kelių eismo taisyklių patvirtinimo“ (Žin., 2003, Nr. 7-263), 175 punktu, reglamentuojančiu leistiną transporto priemonių važiavimo greitį ne gyvenvietėse.

Ketvirtasis kriterijus ‒ *Eismo intensyvumas*. Vadovaujantis šiuo kriterijumi grupės skirstomos į dar mažesnes grupes pagal skirtingą eismo intensyvumą.

Pagal pirmąjį kriterijų nustatytos grupės skaidomos į smulkesnes grupes pagal antrąjį kriterijų ir t. t. Atlikus skaidymą pagal visus kriterijus, gaunamas galutinis grupių skaičius.

3.2 lentelėje pateiktos Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklo grupės, sudarytos remiantis aukščiau aprašytais kriterijais.

Pagal sudarytą homogeninių kelių ruožų grupavimo schemą (3.5 pav.), naudojant 2006‒2010 m. duomenis, atliktas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo skaidymas į homogenines kelių ruožų grupes.

**3.2 lentelė.** Homogeninės kelių tinklo grupės

**Table 3.2.** Homogenous groups of road network

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kelių grupės** | | ***VMPEI*,**  **TP/parą** |
| **1** | | **2** |
| **1. Keliai su skiriamąja juosta** | | |
|  | 111. Automagistralės  112. Automagistralės  113. Automagistralės | < 9000 |
| 9000–12000 |
| ≥ 12000 |
|  | 121. Keliai su skiriamąja juosta, ≤ 90 km/h  122. Keliai su skiriamąja juosta, ≤ 90 km/h  123. Keliai su skiriamąja juosta, ≤ 90 km/h | < 9000 |
| 9000–12000 |
| ≥ 12000 |
| 130. Keliai su skiriamąja juosta, 100 km/h |  |
|  | 140. Keliai su skiriamąja juosta, 110 km/h |  |
| **2. Magistraliniai keliai** | | |
|  | 211. Magistraliniai keliai, 9 m  212. Magistraliniai keliai, 9 m  213. Magistraliniai keliai, 9 m | < 3000 |
| 3000–6000 |
| ≥ 6000 |
| 221. Magistraliniai keliai, 8 m  222. Magistraliniai keliai, 8 m | < 4500 |
| ≥ 4500 |
| 231. Magistraliniai keliai, ≤ 7 m  232. Magistraliniai keliai, ≤ 7 m | < 4500 |
| ≥ 4500 |
| **3. Krašto ir rajoniniai keliai** | | |
|  | 311. Krašto ir rajoniniai keliai, 9 m  312. Krašto ir rajoniniai keliai, 9 m | < 4500 |
| ≥ 4500 |
| 321. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m  322. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m  323. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m | < 1500 |
| 1500–4500 |
| ≥ 4500 |
| 331. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m  332. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m  333. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m | < 1500 |
| 1500–4500 |
| ≥ 4500 |

3.2 lentelės pabaiga

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **1** | | **2** |
|  | 341. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m  342. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m  343. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m | < 1500 |
| 1500–4500 |
| ≥ 4500 |
| 351. Keliai su žvyro danga  352. Keliai su žvyro danga  353. Keliai su žvyro danga | < 150 |
| 150–300 |
| ≥ 300 |
| **4. Keliai, einantys per gyvenvietę** | | |
|  | 411. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h  412. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h  413. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h | < 3000 |
| 3000–6000 |
| ≥ 6000 |
| 420. Keliai, einantys per gyvenvietę, 70 km/h |  |
| 430. Keliai, einantys per gyvenvietę, 80 km/h |  |



**3.5 pav.** Kelių ruožų skaidymo į homogenines grupes schema

**Fig.** **3.5.** Scheme of the classification of road sections

into homogenous groups

Valstybinės reikšmės Lietuvos automobilių kelių tinklas suskaidytas į 34 homogenines kelių grupes, kurias sudaro 13 254 homogeniniai kelių ruožai. Vidutinis vieno homogeninio kelio ruožo ilgis – 2,31 km. Didžiausia homogeninių kelių ruožų grupė yra 3-oji, kuriai priskiriami krašto ir rajoninės reikšmės keliai bei žvyrkeliai. Bendras 3-osios grupės kelių ilgis yra 16 266,99 km, šie keliai suskirstyti į 7770 atskirus homogeninius ruožus, kurių vidutinis ilgis yra 2,06 km. Šios grupės kelių vidutinis metinis paros eismo intensyvumas yra mažiausias lyginant su kitomis kelių grupėmis – 2950,86 TP/parą.

Pagrindiniai homogeninių kelių grupių duomenys pateikti 3.3 lentelėje.

**3.3 lentelė.** Pagrindiniai homogeninių kelių grupių duomenys

**Table 3.3.** Main data of homogenous road groups

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Grupė** | **Kelių ilgis, km** | **Homogeninių ruožų skaičius** | **Vidutinis homogeninių ruožų ilgis, km** | ***VMPEI*, TP/parą** | **Sunkiojo transporto dalis, nuo bendro *VMPEI*, %** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | ***5*** | **6** |
| 111. Automagistralės | 160,01 | 23 | 6,96 | 7856,35 | 14,96 |
| 112. Automagistralės | 92,34 | 14 | 6,60 | 10052,64 | 17,29 |
| 113. Automagistralės | 59,11 | 16 | 3,69 | 17637,44 | 13,06 |
| 121. Keliai su skiriamąja juosta, ≤ 90 km/h | 40,00 | 36 | 1,11 | 2059,97 | 10,17 |
| 122. Keliai su skiriamąja juosta, ≤ 90 km/h | 57,40 | 19 | 3,02 | 10548,21 | 6,95 |
| 123. Keliai su skiriamąja juosta, ≤ 90 km/h | 52,70 | 29 | 1,82 | 19860,72 | 14,62 |
| 130. Keliai su skiriamąja juosta, 100 km/h | 59,24 | 17 | 3,48 | 21240,41 | 15,24 |
| 140. Keliai su skiriamąja juosta, 110 km/h | 14,05 | 3 | 4,68 | 19042,00 | 16,00 |
|  | **534,85** | **157** | **3,92** | **13537,22** | **13,54** |
| 211. Magistraliniai keliai, 9 m | 103,14 | 43 | 2,40 | 2237,56 | 17,56 |
| 212. Magistraliniai keliai, 9 m | 381,32 | 113 | 3,37 | 4474,74 | 14,83 |
| 213. Magistraliniai keliai, 9 m | 244,51 | 95 | 2,57 | 8600,38 | 22,99 |
| 221. Magistraliniai keliai, 8 m | 269,07 | 85 | 3,17 | 2861,72 | 15,02 |

3.3 lentelės pabaiga

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| 222. Magistraliniai keliai, 8 m | 39,22 | 27 | 1,45 | 6842,26 | 14,22 |
| 231. Magistraliniai keliai, ≤ 7 m | 45,98 | 36 | 1,28 | 2975,44 | 15,33 |
| 232. Magistraliniai keliai, ≤ 7 m | 37,83 | 27 | 1,40 | 6395,82 | 11,59 |
|  | **1121,07** | **426** | **2,23** | **4912,56** | **15,93** |
| 311. Krašto ir rajoniniai keliai, 9 m | 173,44 | 182 | 2,12 | 4009,65 | 26,80 |
| 312. Krašto ir rajoniniai keliai, 9 m | 89,93 | 43 | 2,02 | 7384,70 | 11,81 |
| 321. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m | 232,27 | 166 | 1,40 | 801,95 | 11,90 |
| 322. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m | 598,04 | 238 | 2,51 | 2615,67 | 12,19 |
| 323. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m | 98,52 | 49 | 2,01 | 6116,37 | 9,18 |
| 331. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m | 2054,54 | 1119 | 1,84 | 579,14 | 12,24 |
| 332. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m | 752,46 | 303 | 2,48 | 2476,08 | 11,11 |
| 333. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m | 97,11 | 65 | 1,49 | 6552,22 | 9,18 |
| 341. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m | 5242,27 | 3116 | 1,68 | 364,38 | 11,13 |
| 342. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m | 610,57 | 265 | 2,30 | 2376,40 | 10,68 |
| 343. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m | 14,70 | 16 | 0,92 | 7225,50 | 8,50 |
| 351. Keliai su žvyro danga | 3633,82 | 1245 | 2,92 | 86,34 | 10,90 |
| 352. Keliai su žvyro danga | 2015,21 | 662 | 3,04 | 206,19 | 11,73 |
| 353. Keliai su žvyro danga | 654,11 | 301 | 2,17 | 517,51 | 11,58 |
|  | **16266,99** | **7770** | **2,06** | **2950,86** | **12,07** |
| 411. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h | 3067,83 | 4568 | 0,67 | 559,02 | 1,06 |
| 412. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h | 174,09 | 222 | 0,78 | 4113,57 | 10,58 |
| 413. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h | 82,30 | 100 | 0,82 | 8615,66 | 7,83 |
| 420. Keliai, einantys per gyvenvietę, 70 km/h | 3,99 | 4 | 0,99 | 23501,75 | 14,00 |
| 430. Keliai, einantys per gyvenvietę, 80 km/h | 12,42 | 7 | 1,77 | 30370,57 | 14,57 |
|  | **3340,63** | **4901** | **1,01** | **13432,11** | **9,61** |

Sankryžų grupės sudaromos atsižvelgiant į tris kriterijus:

Pirmasis kriterijus ‒ *Sankryžos tipas*.Vadovaujantis šiuo kriterijumi sankryžos skirstomos į grupes:

1. Trišalės sankryžos.

2. Keturšalės sankryžos.

3. Žiedinės sankryžos.

4. Skirtingų lygių sankryžos.

Antrasis kriterijus ‒ *Kelio reikšmė*.Vadovaujantis šiuo kriterijumi sankryžos suskirstomos į grupes, atsižvelgiant į tai, kokiam keliui pagal reikšmę priklauso pagrindinis sankryžos kelias.

Trečiasis kriterijus ‒ *Eismo intensyvumas sankryžoje.* Vadovaujantis šiuo kriterijumi sankryžos suskirstomos į grupes pagal iš šalutinio kelio į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių proporciją nuo visų į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių.

Sankryžų skaidymo į homogenines grupes schema pateikta 3.6 pav.

3.4 lentelėje pateiktos sankryžų grupės, sudarytos pagal aukščiau aprašytus kriterijus bei jų skaičius.



**3.6 pav.** Sankryžų skaidymo į homogenines grupes schema

**Fig. 3.6.** Scheme of the classification of junctions into homogenous groups

3.4 lentelė. Homogeninės sankryžų grupės

**Table 3.4.** Homogenous groups of junctions

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sankryžos tipas** | | **Homogeninių sankryžų**  **skaičius** | **Iš šalutinio kelio į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių proporcija\*** |
| 1.T formos  sankryža | 11. Magistraliniame kelyje  12. Magistraliniame kelyje  13. Magistraliniame kelyje | 100  47  25 | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 |
| 21. Krašto arba rajoniniame kelyje  22. Krašto arba rajoniniame kelyje  23. Krašto arba rajoniniame kelyje | 266  265  195 | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 |
| 2. X formos sankryža | 11. Magistraliniame kelyje  12. Magistraliniame kelyje  13. Magistraliniame kelyje | 60  47  40 | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 |
| 21. Krašto arba rajoniniame kelyje  22. Krašto arba rajoniniame kelyje  23. Krašto arba rajoniniame kelyje | 38  84  199 | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 |
| 3. Skirtingo lygio sankryžos | 10. VĮ „... regiono keliai“  20. VĮ „Automagistralė“ | 37  51 |  |
| **Viso:** | | **1454** |  |
| \* ‒ proporcijos dydžiai pasirinkti remiantis užsienio šalyse atliktų tyrimų duomenimis. | | | |

Pagal 3.5 pav. ir 3.6 pav. pateiktas schemas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklas buvo suskaidytas į homogeninius kelių ruožus ir sankryžas. Homogeninių kelių ruožų ir sankryžų sąrašas pateiktas C priede. Kiekvienoje kelių/sankryžų grupėje yra *n* kelio ruožų/sankryžų. Apie kiekvieną iš jų sukaupta išsami informacija (eismo įvykių skaičius, ilgis, *VMPEI* ir pan.), leidžia sudaryti matematinį eismo įvykių prognozavimo modelį kiekvienai homogeninei grupei.

3.2.3. Matematinių eismo įvykių modelių sudarymas

Matematinis eismo įvykio prognozavimo modelis yra konstanta kiekvienai homogeninei grupei, sudarytai pagal pirmame modeliavimo etape pasirinktus nepriklausomus kintamuosius, ir yra lygi vidutiniam grupės avaringumo koeficientui.

Eismo įvykių prognozavimui sudaryti atskiri matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai *bendram* eismo įvykių skaičiui prognozuoti ir prognozuoti *mirtinų* eismo įvykių skaičiui, t. y. tokių eismo įvykių, kuriuose bus žuvusiųjų, nepriklausomai nuo jų skaičiaus. Pastarasis prognozavimas leidžia įvertinti eismo įvykių pasekmių sunkumą. Abiejų matematinių modelių sudarymas yra analogiškas, skiriasi tik pradiniai eismo įvykių duomenys, naudojami modelio sudarymui.

Bendram eismo įvykių skaičiui prognozuoti sudaromame matematiniame eismo įvykių prognozavimo modelyje naudojami kelio ruožui/sankryžai priklausantys įskaitiniai eismo įvykiai, t. y. tokie eismo įvykiai, kurių metu žuvo ar buvo sužeista žmonių. Tuo tarpu, sudarant mirtinų eismo įvykių matematinį modelį naudojami tik tie eismo įvykiai, kuriuose buvo žuvusiųjų.

Matematiniai modeliai sudaryti trims eismo įvykių rūšių grupėms. Lietuvoje išskiriamos 7 eismo įvykių rūšys, kurios sugrupuotos į tris grupes (3.7 pav.).

Eismo įvykių rūšių grupavimas reikalingas tam, kad eismo saugumą gerinančių priemonių poveikio koeficientai, kurie vėliau bus naudojami vertinant minėtų priemonių, diegiamų tam tikrame kelyje, poveikį prognozuojamam eismo įvykių skaičiui, yra skirtingi priklausomai nuo eismo įvykių rūšies.

**Eismo įvykiai su transporto priemonėmis**

1. Susidūrimas

4. Užvažiavimas ant kliūties

5. Apvirtimas

6. Susidūrimas su stovinčia TP

**Eismo įvykiai su pėsčiaisiais ir dviratininkais**

**Eismo įvykiai su gyvūnais**

2. Susidūrimas su dviračiu

3. Užvažiavimas ant pėsčiojo

7. Užvažiavimas ant gyvūno

**3.7 pav.** Eismo įvykių grupės

**Fig.** **3.7.** Road accident groups

Kiekvienai homogeninei grupei sudaryti matematiniai eismo įvykio prognozavimo modeliai (3.5 lentelė) trims eismo įvykių grupėms:

, (3.1)

, (3.2)

čia:  ‒ matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis homogeninei grupei *j*; *Aj* – eismo įvykių skaičius per nagrinėjamą laikotarpį homogeninėje grupėje *j*;  ‒ *kelių ruožų grupėms*: bendras homogeninės grupės *j* ruožų ilgis, km; *sankryžų grupėms*: ilgis priklauso nuo sankryžoje susikertančių kelių skaičiaus, ir apskaičiuojamas susikertančių kelių skaičių padauginus iš 0,2, km; *m* – nagrinėjamas laikotarpis, metais;  – *kelių ruožų grupėms*: vidutinis metinis paros eismo intensyvumas per nagrinėjamą laikotarpį, TP/parą; *sankryžų grupėms*: į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių vidutinis metinis paros eismo intensyvumas per nagrinėjamą laikotarpį, TP/parą; *e* ‒ elastingumo koeficientas, parodantis avaringumo priklausomybės laipsnį nuo eismo intensyvumo, žemės paskirties pasikeitimo ir pan. Pavyzdžiui, prognozuojamas 2 % vidutinis metinis paros eismo intensyvumo augimas, tada elastingumo koeficientas bus lygus 1,02. Sudarant matematinį prognozavimo modelį, iš jo eliminuojami tie kelio ruožai, kuriuose bent vienas iš kintamųjų (eismo įvykių skaičius, *VMPEI*) yra lygus 0.

Atlikti skaičiavimai parodė, kad didžiausias avaringumo laipsnis yra krašto ir rajoniniuose keliuose (3.8 pav.). Šiuose keliuose tikimybė patekti į „Eismo įvykį su transporto priemone“, yra 3,68 karto didesnė negu patekti į „Eismo įvykį su pėsčiaisiais ir dviratininkais“. Tuo tarpu, keliuose, einančiuose per gyvenvietes, rizika patekti į „Eismo įvykį su pėsčiaisiais ir dviratininkais“ yra beveik lygi tikimybei patekti į „Eismo įvykį su transporto priemone“. Lyginant avaringumo laipsnius tarp kelių grupių, pastebimas didelis svyravimas tiek tarp „Eismo įvykių su transporto priemone“, tiek tarp „Eismo įvykių su pėsčiaisiais ir dviratininkais“.

Tuo tarpu, mirtinų eismo įvykių avaringumo laipsnio skirtumai nėra tokie dideli lyginant kelių grupes (3.9 pav.). Didžiausia tikimybė patekti į mirtiną „Eismo įvykį su transporto priemone“ yra krašto ir rajoniniuose bei magistraliniuose keliuose. Keliuose su skiriamąja juosta tikimybė patekti į minėtų eismo įvykių grupę yra mažiausia iš visų kelių grupių, todėl, kad šiuose keliuose, nors ir vyrauja dideli leidžiami važiavimo greičiai, yra fizinis priešpriešinių srautų atskyrimas. Tuo tarpu, tikimybė patekti į mirtiną „Eismo įvykį su pėsčiaisiais ir dviratininkais“ šioje kelių grupėje yra didesnė nei tikimybė aptekti į „Eismo įvykį su transporto priemone“. Tai paaiškinama tuo, kad dėl minėtos grupės keliuose vyraujančių didelių važiavimo greičių, eismo įvykiai su pėsčiaisiais ir dviratininkais dažniausiai turi mirtinas pasekmes.

**3.5 lentelė.** Matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai homogeninėms kelių grupėms (2006‒2010 m. duomenimis)

**Table 3.5.** Mathematical accident prediction models for homogenous groups of roads (based on 2006‒2010 data)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kelių grupės** | **Matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis**  **Įskaitiniai eismo įvykiai/100 mln. pravažiuotų km** | | | | | |
| **Visi**  **EĮ** | **Eismo įvykių grupė** | | | | |
| **EĮ**  **su TP** | **EĮ su pėsč./dvirat.** | | **EĮ su gyvūnais** | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | | **5** | |
| **1. Keliai su skiriamąja juosta** | | | | | | |
| 111. Automagistralė  112. Automagistralė | **5,3** | 4,18 | 0,71 | | 0,445 | |
| **6,4** | 5,14 | 0,93 | | 0,350 | |
| 113. Automagistralė | **5,2** | 3,51 | 1,59 | | 0,057 | |
| 12. Keliai su skiriamąja juosta,  ≤ 90 km/h | **9,8** | 4,90 | 4,90 | | 0,000 | |
| **11,8** | 9,65 | 2,09 | | 0,091 | |
| **7,8** | 5,06 | 2,69 | | 0,105 | |
| 13. Keliai su skiriamąja juosta,  100 km/h | **6,1** | 3,66 | 2,41 | | 0,000 | |
| 14. Keliai su skiriamąja juosta,  110 km/h | **4,1** | 2,66 | 1,23 | | 0,205 | |
| **2. Magistraliniai keliai** | | | | | | |
| 21. Magistraliniai keliai, 9 m | **15,7** | 12,24 | | 3,28 | | 0,219 |
| **12,5** | 9,65 | | 2,67 | | 0,193 |
| **11,0** | 8,52 | | 2,46 | | 0,000 |
| 22. Magistraliniai keliai, 8 m | **14,7** | 10,92 | | 3,66 | | 0,150 |
| **12,2** | 10,38 | | 1,81 | | 0,000 |
| 23. Magistraliniai keliai, ≤ 7 m | **14,2** | 10,87 | | 3,29 | | 0,000 |

3.5 lentelės pabaiga

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
|  | **15,8** | 11,45 | 4,14 | 0,244 |
| **3. Krašto ir rajoniniai keliai** | | | | |
| 31. Krašto ir rajoniniai keliai, 9 m | **17,3** | 11,43 | 5,72 | 0,133 |
| **13,1** | 10,08 | 2,95 | 0,102 |
| 32. Krašto ir rajoniniai keliai, 8 m | **20,5** | 12,99 | 7,22 | 0,241 |
| **17,8** | 13,50 | 3,98 | 0,282 |
| **19,8** | 14,71 | 5,03 | 0,097 |
| 33. Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m | **28,6** | 22,07 | 6,38 | 0,174 |
| **20,0** | 14,21 | 5,60 | 0,151 |
| **17,2** | 13,93 | 3,13 | 0,165 |
| 34. Krašto ir rajoniniai keliai, ≤ 6 m | **32,4** | 25,71 | 6,34 | 0,326 |
| **20,9** | 15,93 | 4,92 | 0,039 |
| **23,3** | 15,16 | 8,16 | 0,000 |
| 35. Keliai su žvyro danga | **59,6** | 52,58 | 6,85 | 0,171 |
| **36,2** | 31,24 | 4,99 | 0,000 |
|  | **21,9** | 19,11 | 2,84 | 0,000 |
| **4. Keliai, einantys per gyvenvietę** | | | | |
| 41. Keliai, einantys per gyvenvietę, 50 km/h | **29,7** | 17,05 | 12,56 | 0,097 |
| **22,7** | 10,32 | 12,34 | 0,000 |
| **23,0** | 10,19 | 12,85 | 0,000 |
| 42. Keliai, einantys per gyvenvietę, 70 km/h | **11,6** | 7,91 | 3,65 | 0,000 |
| 43. Keliai, einantys per gyvenvietę, 80 km/h | **8,2** | 6,01 | 2,14 | 0,000 |

Minėta analizė leidžia įvertinti rizikos pobūdį kelių tinkle ir dominuojančias eismo įvykių rūšis. Tokia analizė suteikia galimybę eismo saugumo specialistams parinkti atitinkamas, labiausiai tam tikrai homogeninei kelių grupei tinkančias inžinerines eismo saugumą gerinančias priemones.



**3.8 pav.** Avaringumo laipsnis Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinkle

**Fig. 3.8.** Accident rate in the road network of national significance

of Lithuania



**3.9 pav.** Mirtinų eismo įvykių avaringumo laipsnis Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinkle

**Fig.** **3.9.** Rate of fatal accidents in the road network of national significance of Lithuania

Atlikti skaičiavimai parodė, kad didžiausias avaringumo laipsnis yra trečioje kelių ruožų grupėje – „Krašto ir rajoniniai keliai“ (3.10 pav.). Ypatingai išsiskiria pogrupis „Keliai su žvyro danga“. Šiame pogrupyje yra 2208 homogeniniai kelio ruožai, kurių ilgis 6303,14 km, t. y. šis pogrupis sudaro 30 % viso valstybinės reikšmės kelių tinklo. Vidutinis šio pogrupio avaringumo koeficientas siekia net 39,23, kai vidutinis viso valstybinės reikšmės kelių tinklo avaringumo koeficientas yra 15,56. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad šiame pogrupyje esančiuose kelių ruožuose vyrauja nedidelis eismo intensyvumas ir sąlyginai įvyksta daug eismo įvykių.



**3.10 pav.** Avaringumo laipsnis homogeninėse kelių grupėse

**Fig.** **3.10.** Accident rate in the homogenous groups of roads

Matematiniai eismo įvykio prognozavimo modeliai sankryžoms apskaičiuoti pagal (3.1) ir (3.2) formules, pateikti 3.6 lentelėje.

Pažymėtina tai, kad 3.6 lentelėje eliminuotos žiedinės sankryžos, kadangi jose yra įvykę per mažai eismo įvykių, kad būtų galima sudaryti matematinį eismo įvykių modelį.

Didžiausia rizika patekti į eismo įvykį nustatyta keturšalėse vieno lygio sankryžose – 16,64. Keturšalės vieno lygio sankryžos sudaro 32 % nuo visų valstybinės reikšmės keliuose esančių sankryžų. Mažiausia rizika nustatyta skirtingo lygių sankryžų grupėje – 4,65.

Visų tipų sankryžose vyrauja rizika patekti į eismo įvykį su TP. Rizika patekti į eismo įvykį su pėsčiaisiais ir dviratinkais sankryžos zonoje yra 2‒3 kartus mažesnė nei patekti į eismo įvykį su TP. Tokiam rizikos pasiskirstymui įtakos turi papildomų eismo saugumą gerinančių priemonių įrengimas sankryžose (pvz.: kryptinis perėjos apšvietimas, kelio elementai su šviesą atspindinčiomis medžiagomis ir pan.).

**3.6 lentelė.** Matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai homogeninėms sankryžų grupėms (2006‒2010 m. duomenimis)

**Table 3.6.** Mathematical accident prediction models for homogenous groups of junctions (based on 2006‒2010 data)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sankryžų grupė** | **Šalutinis kelias,**  **%** | **Matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai**  **Įskaitiniai eismo įvykiai/100 mln. pravažiuojančių TP** | | | |
| **Visi EĮ** | **Eismo įvykių grupė** | | |
| **EĮ**  **su TP** | **EĮ su pėsč./dvirat.** | **EĮ su**  **gyvūnais** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| T formos sankryža, pagrindinis kelias | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 | **9,9** | 7,3 | 2,62 | 0,00 |
| **12,5** | 8,9 | 3,63 | 0,00 |
| **15,3** | 10,3 | 5,00 | 0,00 |
| T formos sankryža,  šalutinis kelias | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 | **11,4** | 8,4 | 3,05 | 0,00 |
| **12,8** | 10,4 | 2,41 | 0,00 |
| **16,4** | 11,1 | 5,28 | 0,00 |
| X formos sankryža, pagrindinis kelias | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 | **11,9** | 7,9 | 4,08 | 0,00 |
| **12,8** | 9,6 | 3,19 | 0,00 |
| **17,8** | 13,9 | 3,86 | 0,00 |
| X formos sankryža,  šalutinis kelias | 0–5.9  6.0–15.9  ≥ 16 | **18,2** | 16,5 | 1,65 | 0,00 |
| **16,7** | 12,7 | 3,75 | 0,29 |
| **22,4** | 16,8 | 5,54 | 0,00 |
| Skirtingų lygių sankryža |  | **5,2** | 3,9 | 1,27 | 0,00 |
|  | **4,1** | 2,8 | 1,27 | 0,00 |



**3.11 pav.** Avaringumo laipsnis homogeninėse sankryžų grupėse

**Fig.** **3.11.** Accident rate in the homogenous groups of junctions

Rizikos patekti į eismo įvykių sankryžose histograma (3.11 pav.) tik patvirtina faktą, kad skirtingų lygių sankryžos yra saugiausios lyginat su X ir T tipo sankryžomis.

3.2.4. Prognozuojamų eismo įvykių skaičiavimai

Lietuvos automobilių kelių tinklo suskaidymas į homogeninius kelių ruožus ir sankryžas bei matematinių eismo įvykių prognozavimo modelių sudarymas (3.5‒3.6 lentelės) suteikia galimybę prognozuoti eismo įvykių skaičių kiekvienam homogeniniam kelio ruožui ar sankryžai, taikant empirinį Bajeso metodą:

, (3.3)

čia: ‒ prognozuojamas eismo įvykių skaičius kelio ruože *i*; ‒ svorinis koeficientas;  ‒ matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis homogeninei grupei *j*,kuriai priklauso kelio ruožas *i*; ‒ istorinių eismo įvykių skaičius kelio ruože *i*.

Svorinis koeficientas apskaičiuotas pagal (2.8) formulę. Matematinių eismo įvykių prognozavimo modelių ir jų atitikimo reikšmės homogeninių kelių ruožų ir sankryžų grupėms apskaičiuotos naudojant 2006‒2010 metų duomenis. Modelių atitikimo reikšmės apskaičiuotos naudojant *SPSS* programų paketą.

Naudojant 2006‒2010 m. duomenis bei taikant (3.3) formulę buvo apskaičiuoti prognozuojami eismo įvykiai valstybinės reikšmės automobilių kelių tinkle.

Prognozavimo rezultatai pateikti D priede (Prognozuojami eismo įvykiai kelių tinkle).

3.3. Kelių tinklo saugumo lygių ir potencialiai pavojingų ruožų nustatymas

Minėtas prognozavimo metodas suteikia galimybę iš viso kelių tinklo išskirti potencialiai pavojingus eismo saugumo požiūriu kelio ruožus, kuriuose prognozuojamas eismo įvykių skaičius yra didesnis negu kituose savo aplinka panašiuose kelių ruožuose.

Potencialiai pavojingais ruožais laikomi tie kelio ruožai, kuriuose prognozuojamų eismo įvykių reikšmės yra didesnės už kritinę homogeninės grupės prognozuojamų eismo įvykių reikšmę.

Pasaulinė kelininkų asociacija PIARC leidinyje Road Safety Manual (2003)pateikė rekomendacijas potencialiai pavojingų ruožų nustatymui naudojant avaringumo koeficientą. Šiame darbe buvo pritaikytos šios rekomendacijos, vietoje avaringumo koeficiento naudojant prognozuojamą eismo įvykių skaičių (3.12 pav.).

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius kelio ruože yra mažesnis už prognozuojamą eismo įvykių vidurkį homogeninėje grupėje

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius kelio ruože yra *didesnis* už prognozuojamų eismo įvykių vidurkį homogeninėje grupėje, bet *mažesnis* už kritinę prognozuojamų eismo įvykių reikšmę xxxxxxxxxxxxxxx

Prognozuojamas eismo įvykių skaičius kelio ruože yra didesnis už kritinę prognozuojamų eismo įvykių reikšmę

Nepavojingas

Nepavojingas

Pavojingas

Kritinė reikšmė

Vidurkis

**3.12 pav.** Potencialiai pavojingų eismo saugumo požiūriu kelių ruožų nustatymo schema (Road Safety Manual 2003)

**Fig.** **3.12.** Scheme for the determination of road sections with a potentially high accident concentration

Kritinė prognozuojamų eismo įvykių reikšmė apskaičiuojama pagal formulę:

, (3.4)

čia:  – prognozuojamų eismo įvykių kritinė reikšmė homogeninėje grupėje *j*;  ‒ vidutinė homogeninės grupės *j* prognozuojamų eismo įvykių reikšmė; *K* ‒ konstanta: kai patikimumo lygis 85 % ‒ 1,036; kai patikimumo lygis 90 % ‒ 1,282; kai patikimumo lygis 95 % ‒ 1,645; kai patikimumo lygis 99 % ‒ 2,326; rekomenduojama konstanta ‒ 1,645; *m* ‒ prognozavimui naudojamas laikotarpis, metais; *Lj* ‒ homogeninės grupės *j* ilgis, km; *VMPEIj* ‒ homogeninės grupės *j* vidutinio metinio eismo intensyvumo vidurkis per nagrinėjamą laikotarpį, TP/parą.

Pagal (3.4) formulę apskaičiuota kiekvienos homogeninės grupės kritinė prognozuojamų eismo įvykių reikšmė ir nustatytas potencialiai pavojingų ruožų skaičius kiekvienoje grupėje (3.7 lentelė).

Potencialiai pavojingų ruožų sąrašas pateiktas E priede.

**3.7 lentelė.** Potencialiai pavojingų ruožų skaičius valstybinės reikšmės kelių tinkle

**Table 3.7.** Number of road sections with a potentially high accident concentration   
in the road network of national significance

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Homogeninės grupės**  **numeris** | **Ruožų skaičius** | **Prognozuojamų eismo įvykių grupėje** | | **Potencialiai pavojingų ruožų skaičius** |
| **vidurkis** | **kritinė reikšmė** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| 111 | 23 | 1,09 | 1,47 | 6 |
| 112 | 14 | 1,63 | 2,17 | 4 |
| 113 | 16 | 1,19 | 1,63 | 6 |
| 121 | 36 | 0,25 | 0,89 | 3 |
| 122 | 19 | 1,46 | 2,10 | 3 |
| 123 | 29 | 1,07 | 1,97 | 6 |
| 130 | 17 | 1,65 | 2,12 | 7 |
| 140 | 3 | 1,38 | 2,35 | 0 |
| **Viso grupėje:** | | | | **35** |
| 211 | 43 | 0,34 | 0,93 | 4 |

3.7 lentelės pabaiga

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| 212 | 113 | 0,71 | 0,97 | 32 |
| 213 | 95 | 0,81 | 1,06 | 31 |
| 221 | 85 | 0,48 | 0,82 | 17 |
| 222 | 27 | 0,42 | 1,00 | 3 |
| 231 | 36 | 0,25 | 0,96 | 3 |
| 232 | 27 | 0,50 | 1,16 | 3 |
| 311 | 182 | 0,14 | 0,49 | 15 |
| **Viso grupėje:** | | | | **108** |
| 312 | 43 | 0,64 | 1,06 | 8 |
| 321 | 166 | 0,10 | 0,53 | 8 |
| 322 | 238 | 0,44 | 0,66 | 56 |
| 323 | 49 | 0,89 | 1,40 | 12 |
| 331 | 1119 | 0,15 | 0,60 | 69 |
| 332 | 303 | 0,45 | 0,66 | 71 |
| 333 | 65 | 0,66 | 1,10 | 17 |
| 341 | 3116 | 0,09 | 0,29 | 290 |
| 342 | 265 | 0,42 | 0,64 | 58 |
| 343 | 16 | 0,52 | 1,63 | 2 |
| 351 | 1245 | 0,06 | 0,31 | 8 |
| 352 | 662 | 0,09 | 0,33 | 5 |
| 353 | 301 | 0,08 | 0,35 | 4 |
| **Viso grupėje:** | | | | **608** |
| 411 | 4568 | 0,04 | 0,12 | 279 |
| 412 | 222 | 0,30 | 0,58 | 26 |
| 413 | 100 | 0,69 | 1,10 | 14 |
| 420 | 4 | 0,99 | 2,53 | 0 |
| 430 | 7 | 1,85 | 2,78 | 1 |
| **Viso grupėje:** | | | | **320** |
| **Viso tinkle:** | **13254** |  |  | **1071** |



**3.13 pav.** Prognozuojamų eismo įvykių sklaida 1-os kelių grupės „Keliai su skiriamąja juosta“ homogeninėje kelių grupėje 111

**Fig.** **3.13.** Distribution of road sections with a potentially high accident concentration in the homogenous groups 111 of the road group 1   
“Separated driving directions“

****

**3.14 pav.** Prognozuojamų eismo įvykių sklaida 2-os kelių grupės „Magistraliniai keliai“ homogeninėje kelių grupėje 212

**Fig.** **3.14.** Distribution of road sections with a potentially high accident concentration in the homogenous groups 212 of the road group 2   
“Main roads“



**3.15 pav.** Prognozuojamų eismo įvykių sklaida 3-os kelių grupės „Krašto ir rajoniniai keliai“ homogeninėje grupėje 342

**Fig.** **3.15.** Distribution of road sections with a potentially high accident concentration in the homogenous groups 342 of the road group 3

“Minor roads“



**3.16 pav.** Prognozuojamų eismo įvykių sklaida 4-os kelių grupės „Keliai, einantys per gyvenvietę“ homogeninėje grupėje 412

**Fig. 3.16.** Distribution of road sections with a potentially high accident concentration in the homogenous groups 412 of the road group 4

“Urban roads“

3.13‒3.16 paveiksluose pateikta 4-iose pagrindinėse kelių grupėse esančių ruožų prognozuojamų eismo įvykių sklaida. Virš kritinės eismo įvykių prognozavimo reikšmės (raudona linija) esantys kelio ruožai laikomi potencialiai pavojingais eismo saugumo požiūriu kelio ruožais. Visų 34-iose homogeninėse grupėse esančių ruožų sklaida pateikta F priede.

Potencialiai pavojingų ruožų sąrašą sudaro 1071 kelio ruožas, kurių bendras ilgis 5345,98 km, t. y. 25,14 % viso Lietuvos kelių tinklo. Daugiausiai pavojingų ruožų yra 3-oje kelių grupėje, t.y. grupėje, kurioje yra didžiausias rizikos laipsnis patekti į eismo įvykį valstybinės reikšmės automobilių kelių tinkle. Šie skaičiai rodo, kad net ¼ viso kelių tinklo yra potencialiai pavojingi kelių ruožai, kuriuos būtina rekonstruoti arba diegti juose inžinerines eismo saugumą gerinančias priemones. Kadangi tokių ruožų yra pakankamai daug, siūloma išrinkti pavojingiausius ruožus iš pavojingiausių ruožų sąrašo, taikant tą patį kritinės reikšmės principą. Pavojingiausių kelių ruožų sąraše kritinė eismo įvykių prognozavimo reikšmė lygi 0,89. Virš jos esantys 389 kelio ruožai sudaro 2668,99 km. Potencialiai pavojingų kelių ruožų sąrašo viršuje yra valstybinės reikšmės automobilių keliai, einantys per gyvenvietes. Potencialiai pavojingiausiomis sankryžomis nustatytos magistraliniuose keliuose esančios X tipo sankryžos, kuriose vyrauja didelis į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių skaičius.

3.4. Trečiojo skyriaus išvados

1. Sudarytas eismo įvykių prognozavimo algoritmas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams, taikant empirinį Bajeso metodą.
2. Atliktas eismo įvykių prognozavimas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose parodė, kad Lietuvoje kaupiami ir prieinami visi prognozavimui reikalingi duomenys.
3. Sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai 34-ioms homogeninėms kelių ruožų grupėms ir 14-ai homogeninių sankryžų grupių.
4. Taikant empirinį Bajeso metodą ir naudojant 2006‒2010 m. duomenis apie eismo įvykius, eismo intensyvumą, kelių tinklo geometrinius parametrus, nustatytas prognozuojamas eismo įvykių skaičius atitinkamame kelio ruože.
5. Nustatyti eismo saugumo lygiai valstybinės reikšmės automobilių keliuose, išskirti potencialiai pavojingi kelių ruožai eismo saugumo požiūriu. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose yra 389 potencialiai pavojingi kelio ruožai, kurių bendras ilgis sudaro 2668,99 km.

4

Programinė įranga eismo įvykių prognozavimo modeliui realizuoti

Siekiant įdiegti trečiame skyriuje pasiūlytą eismo įvykių prognozavimo algoritmą Lietuvos valstybinės reikšmės keliams, sukurta kompiuterinė Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT. Programa sukurta bendradarbiaujant su VĮ Transporto ir kelių tyrimo instituto, Suomijos techninių tyrimų centru VTTbei kompiuterinės įrangos kompanija *Simsoft Oy* specialistais.

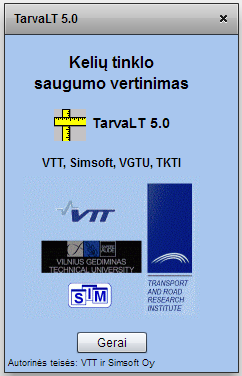
Eismo įvykių prognozavimui naudojamas labai didelis kiekis atitinkamo laikotarpio duomenų apie kelio geometrinius parametrus, *VPMEI*, istorinius eismo įvykius ir pan. Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT leidžia vartotojui atliekant nesudėtingus veiksmus, neįvedant papildomos informacijos prognozuoti tikėtiną eismo įvykių skaičių tam tikrame kelyje ar kelio ruože bei vertinti eismo saugumą gerinančių priemonių įtaką avaringumui.

Skyriaus tematika paskelbtas mokslinis straipsnis (Jasiūnienė *et al.* 2012).

4.1. Kompiuterinė programa Tarva LT

Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT ‒ kompiuterinė programa skirta (4.1 pav.):

1. Nustatyti eismo saugumo lygius kelių tinkle.
2. Suteikti išsamią informaciją apie kelių ruožus/sankryžas atliekant jų vertinimą.
3. Parinkti tinkamiausias eismo saugumą gerinančias priemones.
4. Įvertinti siūlomų eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą.
5. Įvertinti eismo įvykių pokytį bei pasekmes, įdiegus eismo saugumą gerinančias priemones.
6. Apskaičiuoti eismo įvykių kaštų santaupas.



**4.1 pav.** Kompiuterinė programos Tarva LT pagrindinis langas

**Fig. 4.1.** Main window of the Tarva LT software

Tarva LT duomenų bazę sudaro duomenys apie valstybinės reikšmės automobilių kelių geometrinius parametrus, eismo sąlygas, *VMPEI*, eismo įvykių duomenis ir pan.

Tarva LT turi internetinę kompiuterinės programos versiją, prie kurios prisijungiama turint vartotojo vardą bei slaptažodį. Tarva LT parengta lietuvių, anglų ir suomių kalbomis. Kalba pasirenkama prisijungimo metu.

Tarva LT programą sudaro trys dalys:

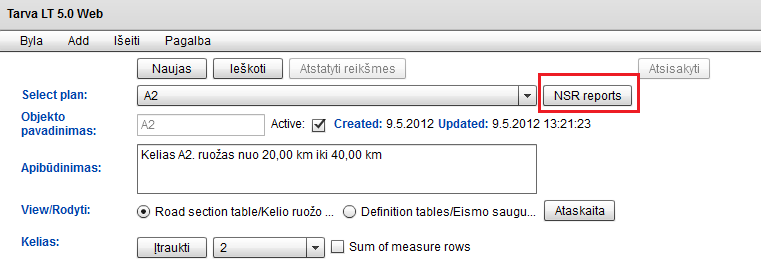
1. Programinis paketas, leidžiantis nustatyti eismo saugumo lygius kelių tinkle.
2. Programinis paketas, leidžiantis apskaičiuoti tikėtiną eismo įvykių skaičių tam tikrame kelyje.
3. Programinis paketas, vertinantis eismo saugumą gerinančių priemonių, diegiamų tam tikrame kelyje, poveikį tikėtinam eismo įvykių skaičių.

4.1.1. Kelių tinklo saugumo lygių nustatymas

Tarva LT suteikia galimybę peržiūrėti kiekvieno valstybinės reikšmės kelio eismo saugumo lygius bei išskirti avaringiausius kelių ruožus/sankryžas (4.2 pav.).

Tarva LT programoje pateikiami Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių eismo saugumo lygiai nustatyti pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką, naudojant 3 skyriuje pateiktus duomenis.

Ataskaita pateikiama *Excel* aplanke, kuriame pateikiama išsami informacija apie pasirinkto kelio homogeninius ruožus, t. y. kiekvieno ruožo pradžia; pabaiga; ilgis; *VMPEI*; rida; leistino važiavimo greičio apribojimai; sunkiojo transporto procentinė dalis; kelio kategorija, homogeninių kelių grupė, kuriai priskiriamas tam tikras ruožas; informacija apie istorinius eismo įvykius tame ruože ir tikėtiną eismo įvykių skaičių.



**4.2 pav.** Eismo saugumo lygių kelyje ataskaitų langai

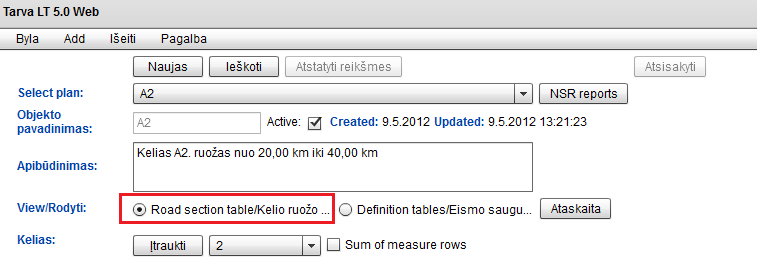
**Fig.** **4.2.** Windows to select the reports on road safety levels

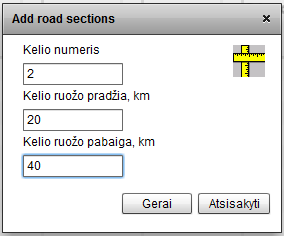
Minėta informacija leidžia išskirti pavojingiausius eismo saugumo požiūriu kelių ruožus pagal tikėtiną eismo įvykių skaičių ir inicijuoti kelio ruožų rekonstravimą. Pavojingiausių ruožų nustatymas, ištyrimas ir analizė suteikia galimybę tikslingai nukreipti eismo saugumui skiriamas lėšas ir vykdyti prevenciją, siekiant išvengti „juodųjų dėmių“ susidarymo.

4.1.2. Tikėtinų eismo įvykių skaičiaus nustatymas, jeigu nebus diegiamos eismo saugumą gerinančios priemonės

Tarva LT skaičiuoja tikėtiną eismo įvykių skaičių kelyje ar kelio ruože/sankryžoje, jeigu nebus diegiamos eismo saugumą gerinančios priemonės.

Skaičiuojant tikėtiną eismo įvykių skaičių, pasirenkamas dominantis kelio ruožas. Pasirinkti galima bet kurio kelio bet kokio ilgio ruožą (4.3 pav.).



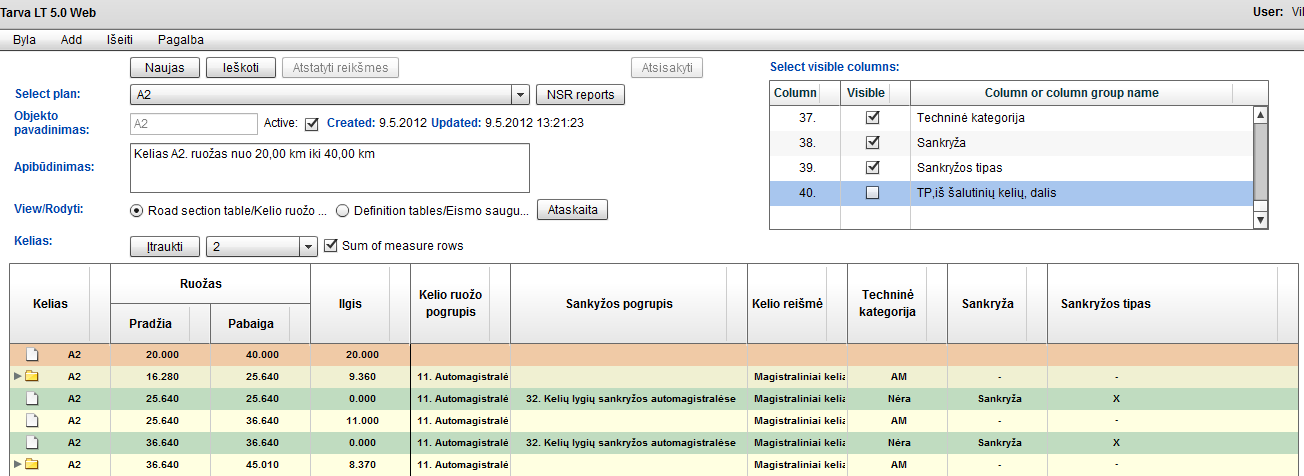


**4.3 pav.** Kelio/kelio ruožo pasirinkimo langai

**Fig.** **4.3.** Windows to select the road/road section

Pasirinkus atitinkamą kelio ruožą, pateikiami minėtą kelio ruožą sudarantys homogeniniai kelio ruožai/sankryžos bei išsami informacija apie kiekvieną iš jų (4.4 pav.):

* geltona spalva pažymėtose eilutėse pateikiama informacija apie tiesius homogeninius kelio ruožus (t. y. kelio ruožai tarp sankryžų);
* žalia spalva pažymėtose eilutėse pateikiama informacija apie sankryžas, esančias pasirinktame kelio ruože;
* oranžine spalva pažymėtose eilutėse pateikiama bendra informacija apie visą pasirinktą kelio ruožą.



**4.4 pav.** Homogeniniai kelio ruožai/sankryžos Tarva LT programoje

**Fig.** **4.4.** Homogenous road sections/junctions in the Tarva LT software

Tikėtinas eismo įvykių skaičius parodo, kiek eismo įvykių tikimasi per prognozuojamą laikotarpį. Tarva LT prognozuoja eismo įvykių skaičių ateinantiems vieneriems metams. Pvz.: į Tarva LT suvesti 2006‒2010 m. duomenys leis prognozuoti tikėtinų eismo įvykių skaičių 2011 m. Norint sužinoti tikėtiną eismo įvykių skaičių, jeigu nebus diegiamos eismo saugumą gerinančios priemonės, pasirenkama priemonė „0. Esamas saugumas“ (*Present Safety*), kurios poveikio koeficientas lygus 1 visoms eismo įvykių grupėms.

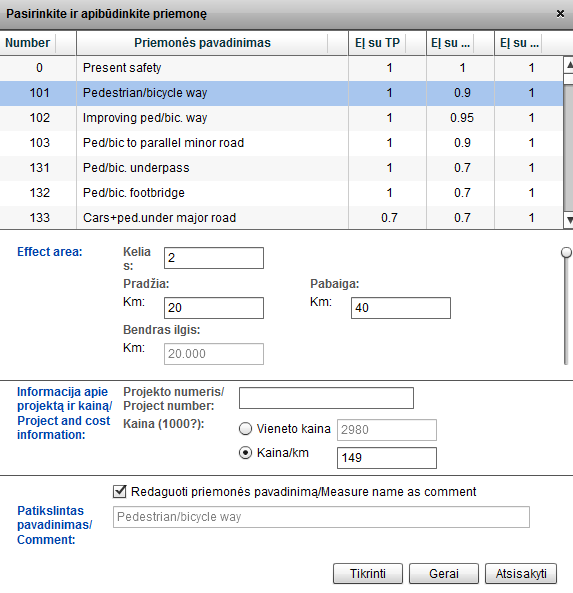
4.1.3. Tikėtinų eismo įvykių skaičiaus nustatymas, įdiegus pasirinktas eismo saugumą gerinančias priemones

Eismo įvykių priežasčių analizė bei tinkamas eismo saugumą gerinančių priemonių parinkimas lemia tiek eismo įvykių sumažėjimą, tiek lengvesnes eismo įvykių pasekmes. Tarva LT programa leidžia apskaičiuoti kaip pasikeis tikėtinas eismo įvykių ir eismo įvykių su žuvusiaisiais skaičius, įdiegus pasirinktas eismo saugumą gerinančias priemones, ir kiek kainuos tų priemonių įrengimas.

Eismo saugumą gerinančios priemonės gali būti standartinės arba individualios.

Į Tarva LT programą įkeltas Saugaus eismo priemonių ir jų poveikių koeficientų sąrašas (standartinės priemonės), kurį 2009 m. atnaujino Ratkevičiūtė (2009) ir kuris šiuo metu naudojamas eismo saugumą gerinančių priemonių vertinimo kompiuterinėje programoje „Saugaus eismo priemonių vertinimas“. Priemonių sąrašą sudaro 10 eismo saugumą gerinančių priemonių grupių, iš viso 131 priemonė:

1. Pėsčiųjų ir dviratininkų eismo gerinimas.
2. Kelio rekonstravimas.
3. Kelio aplinkos tobulinimas.
4. Priemonės sankryžose.
5. Greičio apribojimas.
6. Ženklų įrengimas, ženklinimas.
7. Priemonės mieste.
8. Apsauginės priemonės nuo gyvūnų.
9. Priemonės kelio sankirtoje su geležinkeliu.
10. Kitos priemonės.

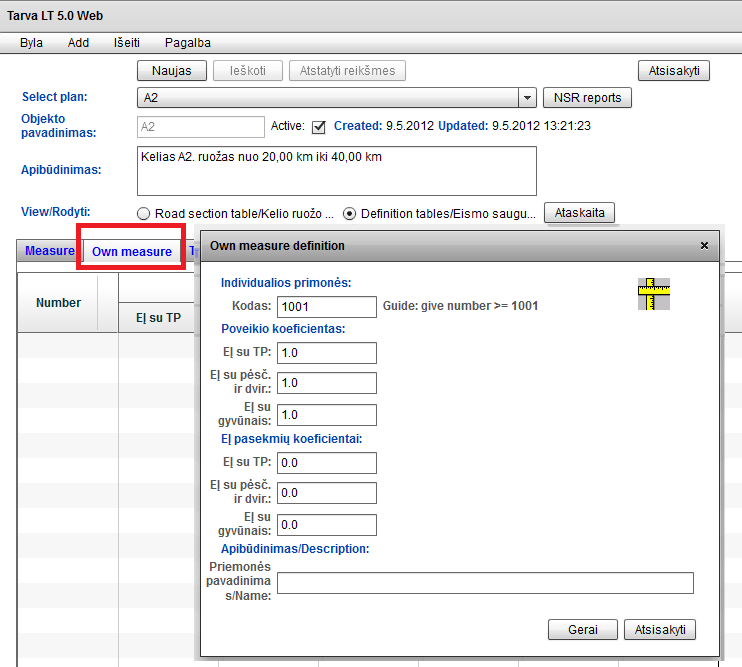


**4.5 pav.** Eismo saugumą gerinančių priemonių pasirinkimo langai

Tarva LT programoje

**Fig.** **4.5.** Windows to select the safety improvement measures

in the Tarva LT software

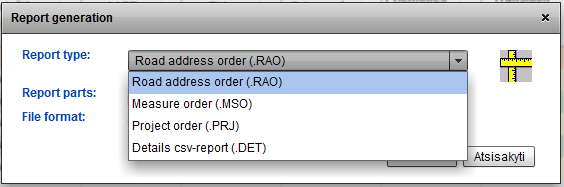


**4.6 pav.** Naujos (individualios) priemonės įvedimo langas

**Fig.** **4.6.** Window for the input of new (own) measure

Tarva LT leidžia įvesti individualią priemonę (4.5‒4.6 pav.), kurios nėra standartiniame priemonių sąraše. Įvedant individualią priemonę, turi būti įvedamas priemonės pavadinimas ir kodas bei jos poveikio koeficientai.

Tarva LT pateikia keturių tipų ataskaitas (4.7 pav.). Ataskaitos viena nuo kitos skiriasi jose pateikiama informacija. Ataskaitos gali būti suvestinės ir detalios, pateikiamos *Adobe pdf* arba *Excel* aplankuose.



**4.7 pav.** Ataskaitų pasirinkimo langas

**Fig.** **4.7.** Windows to select the reports

Vienas iš darbo su Tarva LT privalumų yra tas, kad mažomis laiko sąnaudomis galima parengti keletą scenarijų tam pačiam kelio ruožui, t. y. išanalizavus kelio ruože įvykusių eismo įvykių priežastis, parinkti kelis variantus eismo saugumą gerinančių priemonių ar jų grupių bei įvertinti jų poveikį tikėtinam eismo įvykių skaičiui. Be to, Tarva LT suteikia galimybę palyginti eismo įvykių kaštų santaupas įdiegus vienas ar kitas priemones. Tokiu būdu suteikiama galimybė sudaryti optimistinį projektą, atsižvelgiant į projekto įgyvendinimui numatytas lėšas bei pageidaujamą eismo saugumo lygį.

4.2. Kompiuterinės programos Tarva LT bandomieji skaičiavimai

Kompiuterinės programos testavimo tikslas ‒ demonstruoti kompiuterinės programos Tarva LT veikimą bei įsitikinti, ar visi programiniai moduliai veikia nepriekaištingai.

**Ruožų atranka bandomiesiems skaičiavimams.**

Programinei įrangai testuoti buvo parinkti skirtingų eismo sąlygų kelių ruožai iš keturių pagrindinių homogeninių kelių grupių (3.5 pav.):

1. Kelio A2 ruožas 46,00‒126,00 km (grupė „Keliai su skiriamąją juosta“);
2. Kelio A4 ruožas 77,00‒104,00 km (grupė „Magistraliniai keliai“);
3. Kelio 4717 Vievis‒Kazokiškės‒Paparčiai‒Žasliai ruožas 5,00‒20,00 km (grupė „Krašto ir rajoniniai keliai“);
4. Kelio 159 Užventis–Šaukėnai–Kuršėnai ruožas 32,51‒36,96 km (grupė „Keliai einantys per gyvenvietę“).

**1. Kelio A2 Vilnius–Panevėžys ruožas 46,00‒126,00 km.**

Kelio A2 Vilnius–Panevėžys ruožas 46,00‒126,00 km priklauso 111 homogeniniam kelių pogrupiui. Kelio ruožą sudaro 13 homogeninių kelių ruožų ir 12 sankryžų, iš jų 7 skirtingų lygių (32 sankr. pogrupis) ir 5 X tipo sankryžos (21 sankr. pogrupis). Šioje kelio atkarpoje leidžiamas važiavimo greitis 130 km/h (vasaros sezono metu), *VMPEI* svyruoja nuo 5847 TP/parą iki 8681 TP/parą, sunkiojo transporto priemonių dalis nuo bendro intensyvumo svyruoja nuo 12 iki 15 %.

Nagrinėjamame ruože įvykusių eismo įvykių analizė parodė, kad šiame ruože 2006‒2010 m. įvyko 49 eismo įvykiai, kurių metu 16 eismo dalyvių žuvo ir 51 buvo sužeistas. Šiame ruože vyrauja apvirtimai ir užvažiavimai ant pėsčiųjų.

**2. Kelio A4 Vilnius–Varėna–Gardinas ruožas 77,00‒104,00 km.**

Kelio A4 Vilnius–Varėna–Gardinas ruožas 77,00‒104,00 km priklauso 211 homogeniniam kelių pogrupiui. Kelio ruožą sudaro 6 homogeniniai kelio ruožai ir 5 sankryžos, iš jų 4 X tipo (21 sankr. pogrupis) ir 1 T tipo sankryža (11 sankr. pogrupis). Šioje kelio atkarpoje leidžiamas važiavimo greitis 90 km/h, *VMPEI* svyruoja nuo 1810 TP/parą iki 2757 TP/parą, sunkiojo transporto priemonių dalis nuo bendro intensyvumo svyruoja nuo 6 iki 14 %.

Nagrinėjamame ruože įvykusių eismo įvykių analizė parodė, kad šiame ruože 2006‒2010 m. įvyko 15 eismo įvykių, kurių metu 7 eismo dalyvių žuvo ir 34 buvo sužeisti. Šiame ruože vyrauja susidūrimai.

**3. Kelio 2303 Kretinga–Kūlupėnai ruožas 2,50‒16,60 km.**

Kelio 2303 Kretinga–Kūlupėnai ruožas 2,50‒16,60 km priklauso 332 homogeniniam kelių pogrupiui „Krašto ir rajoniniai keliai, 7 m“. Kelio ruožą sudaro 2 homogeniniai kelio ruožai. Šioje kelio atkarpoje leidžiamas važiavimo greitis 90 km/h, *VMPEI* ‒ 2072 TP/parą, sunkiojo transporto priemonių dalis nuo bendro intensyvumo svyruoja nuo 7 iki 13 %.

Nagrinėjamame ruože įvykusių eismo įvykių analizė parodė, kad šiame ruože 2006‒2010 m. įvyko 13 eismo įvykių, kurių metu 3 eismo dalyviai žuvo ir 20 buvo sužeisti. Šiame ruože vyrauja susidūrimai, apvirtimai ir užvažiavimai ant pėsčiojo.

**4. Kelio 159 Užventis–Šaukėnai–Kuršėnai ruožas 32,51‒36,96 km.**

Kelio 159 Užventis–Šaukėnai–Kuršėnai ruožas 32,51‒36,96 km priklauso 412 homogeniniam kelių pogrupiui „Keliai, einantys per gyvenvietę“. Kelio ruožas eina per Kuršėnų gyvenvietę. Kelio ruožą sudaro 5 homogeniniai kelio ruožai ir 1 T tipo sankryža (12 sankr. pogrupis). Šioje kelio atkarpoje leidžiamas važiavimo greitis 50 km/h, sunkiojo transporto priemonių dalis nuo bendro intensyvumo ‒ 10 %.

Nagrinėjamame ruože įvykusių eismo įvykių analizė parodė, kad šiame ruože 2006‒2010 m. įvyko 8 eismo įvykiai, kurių metu nežuvo nei vienas eismo dalyvis, tačiau 11 buvo sužeisti.

**Bandomųjų skaičiavimų rezultatai ir vertinimas.**

Pasirinktiems keturiems kelio ruožams buvo sudaryta po du eismo saugumą gerinančių priemonių diegimo planus ir kompiuterinės programos Tarva LT pagalba apskaičiuotas kiekvieno jų poveikis avaringumui bei reikalingos investicijos 1-am eismo įvykiui išvengti. Žemiau esančiose 4.1‒4.4 lentelėse pateikiami bandomųjų skaičiavimų rezultatai. Detalūs bandomųjų skaičiavimo rezultatai pateikiami F priede.

**4.1 lentelė.** Bandomųjų skaičiavimų kelio A2 Vilnius–Panevėžys 46,00‒126,00 km ruože rezultatai

**Table 4.1.** Results of test calculations of the road A2 Vilnius–Panevėžys 46,00‒126,00 km section

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Duomenys apie objektą** | | |
| **Pavadinimas** | **Reikšmė** | |
| **1** | **2** | |
| Kelio Nr. | A2 | |
| Kelio pavadinimas | Vilnius–Panevėžys | |
| Ruožo pradžia, km | 46,00 | |
| Ruožo pabaiga, km | 126,00 | |
| Ruožo ilgis, km | 80,00 | |
| *VMPEI*, TP/parą | 7159 | |
| Avaringumas per laikotarpį (nuo‒iki) | 2006‒2010 | |
| Istoriniai eismo įvykiai/metus | 11,10 | |
| Tikėtini eismo įvykiai/metus | **13,95** | |
| **Siūlomos įgyvendinti eismo saugumą gerinančios priemonės** | | |
|  | Eismo įvykių  sumažėjimas/metus | |
|  | 1 variantas | 2 variantas |
| Kelio apšvietimo įrengimas ant lanksčių atramų | 0,258 | 0,258 |
| Ilgos tinklo tvoros nuo gyvūnų įrengimas (≥ 5 km) | 0,091 |  |
| Plieninių atitvarų įrengimas kelkraščiuose | 0,090 |  |
| Tinklo tvoros nuo žmonių kelkraščiuose įrengimas | 0,131 |  |
| Automatizuotos greičio kontrolės sistemos diegimas |  | 1,242 |
| Investicijos, reikalingos 1-am eismo įvykiui išvengti, tūkst. Lt | **142 534** | **42 466** |
| **Viso:** | **0,570** | **1,500** |

**4.2 lentelė.** Bandomųjų skaičiavimų kelio A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 77,00‒104,00 km ruože rezultatai

**Table 4.2.** Results of test calculations of the road A4 Vilnius–Varėna–Gardinas 77,00‒104,00 km section

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Duomenys apie objektą** | | |
| **Pavadinimas** | **Reikšmė** | |
| **1** | **2** | |
| Kelio Nr. | A4 | |
| Kelio pavadinimas | Vilnius–Varėna–Gardinas | |
| Ruožo pradžia, km | 77,00 | |
| Ruožo pabaiga, km | 104,00 | |
| Ruožo ilgis, km | 27,00 | |
| *VMPEI*, TP/parą | 2036 | |
| Avaringumas per laikotarpį (nuo‒iki) | 2006‒2010 | |
| Istoriniai eismo įvykiai/metus | 3,70 | |
| Tikėtini eismo įvykiai/metus | **4,15** | |
| **Siūlomos įgyvendinti eismo saugumą gerinančios priemonės** | | |
|  | Eismo įvykių  sumažėjimas/metus | |
|  | 1 variantas | 2 variantas |
| Kelio apšvietimo įrengimas ant standžių atramų | 0,049 |  |
| Trumpos tinklo tvoros nuo gyvūnų įrengimas | 0,001 |  |
| Ašinės linijos ženklinimas | 0,207 |  |
| Priešingų eismo srautų atskyrimas |  | 0,173 |
| Kliūčių kelkraščiuose šalinimas |  | 0,023 |
| Plieninių atitvarų įrengimas kelkraščiuose |  | 0,068 |
| Ašinės ir šoninių linijų ženklinimas |  | 0,428 |
| **Viso:** | **0,256** | **0,692** |
| Investicijos, reikalingos 1-am eismo įvykiui išvengti, tūkst. Lt | **272 330** | **160 874** |

**4.3 lentelė.** Bandomųjų skaičiavimų kelio 2303 Kretinga–Kūlupėnai 2,50‒16,60 km ruože rezultatai

**Table 4.3.** Results of test calculations of the road 2303 Kretinga–Kūlupėnai 2,50‒16,60 km section

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Duomenys apie objektą** | | |
| **Pavadinimas** | **Reikšmė** | |
| **1** | **2** | |
| Kelio Nr. | 2303 | |
| Kelio pavadinimas | Kretinga–Kūlupėnai | |
| Ruožo pradžia, km | 2,50 | |
| Ruožo pabaiga, km | 16,60 | |
| Ruožo ilgis, km | 14,10 | |
| *VMPEI*, TP/parą | 2072 | |
| Avaringumas per laikotarpį (nuo‒iki) | 2006‒2010 | |
| Istoriniai eismo įvykiai/metus | 2,70 | |
| Tikėtini eismo įvykiai/metus | **2,39** | |
| **Siūlomos įgyvendinti eismo saugumą gerinančios priemonės** | | |
|  | Eismo įvykių  sumažėjimas/metus | |
|  | 1 variantas | 2 variantas |
| Kliūčių kelkraščiuose šalinimas | 0,083 |  |
| Automatizuotos greičio kontrolės sistemos diegimas | 0,207 |  |
| Kelių priežiūros žiemą tobulinimas | 0,046 | 0,046 |
| Priešingų eismo srautų atskyrimas |  | 0,044 |
| Kelio važiuojamosios dalies ašinės ir/arba kraštinės linijos ženklinimas medžiagomis, sukeliančiomis mechaninį akustinį efektą |  | 0,051 |
| **Viso:** | **0,335** | **0,142** |
| Investicijos, reikalingos 1-am eismo įvykiui išvengti, tūkst. Lt | **176 136** | **509 515** |

**4.4 lentelė.** Bandomųjų skaičiavimų kelio 159 Užventis–Šaukėnai–Kuršėnai 32,51‒36,96 km ruože rezultatai

**Table 4.4.** Results of test calculations of the road 159 Užventis–Šaukėnai–Kuršėnai 32,51‒36,96 km section

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Duomenys apie objektą** | | |
| **Pavadinimas** | **Reikšmė** | |
| **1** | **2** | |
| Kelio Nr. | 159 | |
| Kelio pavadinimas | Užventis–Šaukėnai–Kuršėnai | |
| Ruožo pradžia, km | 32,51 | |
| Ruožo pabaiga, km | 36,96 | |
| Ruožo ilgis, km | 4,45 | |
| *VMPEI*, TP/parą | 3896 | |
| Avaringumas per laikotarpį (nuo‒iki) | 2006‒2010 | |
| Istoriniai eismo įvykiai/metus | 2,00 | |
| Tikėtini eismo įvykiai/metus | **1,918** | |
| **Siūlomos įgyvendinti eismo saugumą gerinančios priemonės** | | |
|  | Eismo įvykių  sumažėjimas/metus | |
|  | 1 variantas | 2 variantas |
| Pėsčiųjų/dviračių tako įrengimas | 0,081 |  |
| Esamų šviesoforų modernizavimas | 0,089 |  |
| Kelio apšvietimo atramų pakeitimas plastiškomis | 0,049 | 0,047 |
| Kliūčių kelkraščiuose šalinimas | 0,049 | 0,047 |
| Horizontalaus kelio ženklinimo atnaujinimas | 0,089 |  |
| Saugumo salelės įrengimas važiuojamosios dalies ašyje |  | 0,088 |
| Greičio mažinimo įrenginių plato ar kitų greičio ribojimo priemonių įrengimas |  | 0,529 |
| **Viso:** | **0,358** | **0,711** |
| Investicijos, reikalingos 1-am eismo įvykiui išvengti, tūkst. Lt | **185 170** | **63 543** |

Atlikti bandomieji skaičiavimai parodė, kad programa Tarva LT skaičiuoja prognozuojamą eismo įvykių skaičių pasirinktame kelio ruože bei įvertina pasirinktų eismo saugumą gerinančių priemonių įtaką jam. Pažymėtina, tai, kad šios programos pagalba mažomis laiko sąnaudomis galima parengti keletą planuojamų diegti eismo saugumą gerinančių priemonių variantų, ir pasirinkti tas priemones, kurių įdiegimui reikalingos mažesnės investicijos 1-am eismo įvykiui išvengti. Pasirenkant eismo saugumą gerinančias priemones, labai svarbu išanalizuoti kelio ruožo eismo sąlygas, istorinių eismo įvykių rūšis bei jų priežastis, kelią supančią aplinką ir pan.

Pažymėtina tai, Tarva LT duomenų bazė reikalauja kasmetinio atnaujinimo. Duomenų bazę sudaro penkerių metų stebėjimų duomenys, kurie leidžia prognozuoti tikėtiną eismo įvykių skaičių sekantiems vieneriems metams. Todėl, efektyviam eismo įvykių prognozavimui, kiekvienais metais turi būti įvertinti pakitimai kelių tinkle, t. y. *VMPEI* pokyčiai, leistino važiavimo greičio apribojimų pakeitimai, įgyvendinti kelių rekonstrukcijos projektai ir pan. Minėti faktoriai gali pakoreguoti homogeninių grupių sudėtį, ko pasėkoje, atsižvelgus į paskutinių kalendorinių metų istorinių eismo įvykių duomenis, turi būti sudaryti nauji matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai kiekvienai homogeninei kelių ir sankryžų grupei.

4.4. Ekonominis vertinimas

Eismo saugumą gerinančių priemonių parinkimas kelių tiesybos ar rekonstravimo projektuose priklauso ne tik nuo planuojamo priemonės poveikio avaringumui, bet ir nuo lėšų, reikalingų priemonei įdiegti. Priemonės, kurių įdiegimas prognozuoja avaringumo padidėjimą, turi būti atmestos ir nesvarstytinos.

Tarva LT programoje ekonominis eismo saugumą gerinančios priemonės poveikis išreiškiamas įvertinus investicijas, reikalingas vieno eismo įvykio sumažėjimui ir apskaičiuojamas pagal formulę:

 (4.1)

čia:  – eismo saugumą gerinančios priemonės įdiegimo kaina, Lt;  ‒ eismo įvykių skaičiaus sumažėjimas dėl eismo saugumą gerinančios priemonės įdiegimo; *m* ‒ eismo saugumą gerinančios priemonės poveikio (tarnavimo) laikas, metais.

Naudojantis minėta programa galima sudaryti eismo saugumą gerinančių priemonių, planuojamų diegti naujai tiesiamame ar rekonstruojamame kelyje, alternatyvius variantus ir palyginti, kuris variantas priimtinesnis tiek avaringumo mažinimo, tiek priemonių įdiegimo kainomis.

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Sukurtas eismo įvykių prognozavimo modelis bei kompiuterinė programa Tarva LT leidžia skaičiuoti tikėtiną eismo įvykių skaičių valstybinės reikšmės keliuose, nustatyti didelio avaringumo ruožus kelių tinkle pagal prognozuojamą eismo įvykių skaičių, (o ne pagal *jau* įvykusius eismo įvykius), vertinti eismo saugumą gerinančių priemonių poveikį tikėtinam eismo įvykių skaičiui ir išrinkti efektyviausias eismo saugumą gerinančias priemones.
2. Efektyviam eismo įvykių prognozavimui, kiekvienais metais turi būti įvertinti pakitimai kelių tinkle, pakoreguota homogeninių grupių sudėtis, sudaryti nauji matematiniai eismo įvykių modeliai kiekvienai homogeninei grupei.
3. Rekomenduojama nuolat atnaujinti eismo saugumą gerinančių priemonių sąrašą, naudojamą vertinant priemonių efektyvumą, tikslinti esamų, nustatyti naujų priemonių poveikio koeficientus.

Bendrosios išvados

1. Kelių infrastruktūros saugumo valdymo procedūros yra būtinas įrankis užtikrinant eismo saugumą kelyje visą jo tarnavimo laikotarpį, pradedant planavimu, projektavimu ir baigiant eksploatavimu. Siekiant mažinti eismo įvykių skaičių ir švelninti įvykių pasekmes, būtina nustatyti eismo saugumo lygius kelių tinkle, išskirti potencialiai pavojingus eismo saugumo požiūriu kelių ruožus ir būtent juose diegti didžiausią efektyvumą duodančias eismo saugumą gerinančias priemones. Siekiant išvengti naujų avaringų ruožų susidarymo, eismo saugumo lygių nustatymo ir poveikio kelių saugumo vertinimo procedūros turi būti įgyvendinamos remiantis ne duomenimis apie įvykusius eismo įvykius, o eismo įvykių prognozavimu.
2. Atlikta pasaulinės praktikos analizė rodo, kad eismo įvykių prognozavimo modeliai buvo kuriami naudojant keturis pagrindinius metodus ‒ daugiamatę analizę, empirinį Bajeso metodą, aibės logiką ir neuralinius tinklus. Empirinis Bajeso metodas labiausiai rekomenduojamas metodas eismo įvykių skaičiaus prognozavimui panašių eismo sąlygų, panašios aplinkos kelio ruože ar sankryžoje. Taikant šį metodą, turi būti sudarytos homogeninės kelių ir sankryžų grupės, kelių tinklas suskaidytas į homogeninius ruožus ir sudaryti matematiniai eismo įvykių prognozavimo modeliai kiekvienai homogeninei grupei.
3. Taikant empirinį Bajeso metodą, sudarytas eismo įvykių prognozavimo modelio algoritmas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams. Šio modelio įgyvendinimas suteikia galimybę nustatyti eismo saugumo lygius kelių tinkle ir išskirti potencialiai pavojingus kelių ruožus.
4. Eismo įvykių prognozavimo modeliui realizuoti sukurta ir bandomaisiais skaičiavimais patikrinta kompiuterinė programa Tarva LT, kuri leidžia skaičiuoti tikėtiną eismo įvykių skaičių valstybinės reikšmės automobilių keliuose, nustatyti potencialiai pavojingus kelių ruožus, vertinti eismo saugumą gerinančių priemonių poveikį prognozuojamam avaringumui, išrinkti tinkamiausias eismo saugumą gerinančias priemones tiek eismo saugumo, tiek finansiniu požiūriu. Šią programinę įrangą rekomenduojama naudoti siekiant mažinti eismo įvykių skaičių keliuose.
5. Rekomenduojama kiekvienais metais atnaujinti kompiuterinės programos Tarva LT duomenų bazę. Efektyviam eismo įvykių prognozavimui turi būti įvertinti pakitimai kelių tinkle, pakoreguota homogeninių grupių sudėtis, sudaryti nauji matematiniai eismo įvykių modeliai kiekvienai homogeninei grupei.

Literatūra ir šaltiniai

Abdel-Aty, M. A.; Essam Radwan, E. A. 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement, *Accident Analysis and Prevention* 32(5): 633–642. http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00094-9.

Abdelwahab, H. T.; Abdel-Aty, M. A. 2001. Development of artifical neural network models to predict driver injury severity in traffic accident at signalized intersection, *Transportation Research Record* 1746: 6‒13. http://dx.doi.org/10.3141/1746-02.

Adeli, H.; Karim, A. 2000. Fuzzy-wavelet RBFNN model for freeway incident detection, *Journal of Transportation Engineering* 126(6): 464‒471. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2000)126:6(464).

*Avaringų ruožų nustatymo valstybinės reikšmės keliuose metodika*. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro 2011 m. birželio 7 d. įsakymas Nr. 3-342 „Dėl Avaringų ruožų nustatymo valstybinės reikšmės keliuose metodikos patvirtinimo“.

Belcher, M.; Proctor, S.; Cook, P. 2008. *Practical road safety auditing*. 2nd edition. London. Thomas Telford Ltd. 172 p. ISBN 978-0-7277-3515-7.

Budrevičius, A. 2007. *Prognozavimo metodai vadyboje*. Vilniaus universiteto leidykla. 64 p.

Burinskienė, M.; Ušpalytė-Vitkūnienė, R.; Tuminienė, F. 2011. Public transport integration into urban planning, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(2): 84‒90. doi:10.3846/bjrbe.2011.11.

Caliendo, C.; Guida, M.; Parisi, A. 2007. A Crach-prediction model for multilane roads, *Accident Analysis and Prevention* 39(4): 657‒670. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.10.012.

Cheng,W.; Washington, S. P. 2005. Experimental evaluation of hotspot identification methods, *Accident Analysis and Prevention* 37(5): 870–881. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.04.015.

Chiou, Y. C. 2006. An artificial network-based expert system for appraisal of two-car crash accidents, *Accident Analysis and Prevention* 38(4): 777–785. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.02.006.

Čygas, D.; Jasiūnienė, V.; Bartkevičius, M. 2009. Assessment of special plans and technical designs with regard to traffic safety, *Journal of Civil Engineering and Management* 15(4): 411–418. doi:10.3846/1392-3730.2009.15.411-418.

Delen, D.; Sharda, R.; Besson, M. 2006. Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks, *Accident Analysis and Prevention* 38(3): 434–444. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.06.024http://www.sciencedirect.com/scidirimg/clear.gif.

Eenink, R.; Reurings, M.; Elvik, R.; Cardoso, J.; Wichert, S.; Stefan, Ch. 2005. *Accident prediction models and road safety impact assessment: Recommendations for using these tools*. Report No. 506184, Ripcord-Iserest. 20 p.

*Eismo įvykių apskaitos aprašo ir eismo įvykio kortelių pildymo taisyklės*. Lietuvos policijos generalinio komisaro 2007 m. spalio 23 d. įsakymas Nr. 5-V-706 „Dėl eismo įvykių apskaitos aprašo ir eismo įvykio kortelių pildymo taisyklių patvirtinimo“.

Elvik, R. 2011a. A framework for a critical assessment of the quality of epidemiological studies of driver health and accident risk, *Accident Analysis and Prevention* 43(6): 2047–2052. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.024.

Elvik, R. 2011b. Assessing causality in multivariate accident models, *Accident Analysis and Prevention* 43(1): 253‒264. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.018.

Elvik, R. 2008. The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety, *Accident Analysis and Prevention* 40(6): 1964‒1969. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2008.07.007.

Elvik, R. 2007. *State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks*. Report No. 883. Institute of Transport Economics, Oslo.

Elvik, R. 2006. *Road safety inspections: Safety effects and best practice guidelines*. Report of WP 5 of Ripcord-Iserest.

Elvik, R.; Vaa, T. 2004. *The Handbook of road safety measures*. 1st edition. Amsterdam. Elsevier. 1090 p. ISBN 0080440916.

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/96/EB „Dėl kelių infrastruktūros saugumo valdymo“, 2008 m. lapkričio 19 d.

Fridstrøm, L.; Ifver, J.; Ingebrigtsen, S.; Kumala, R.; Krogsgård Thomsen, L.; 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts, *Accident Analysis and Prevention* 27(1): 1–20. http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(94)E0023-E.

Gaudry, M.; Lassarre, S. 2000. *Structural road accident models*. 1st edition. Emerald Group Publishing Limited. 368 p. ISBN 0080430619.

Golob, T. F.; Recker, W. W. 2003. Relationship among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions, *Journal of Transportation Engineering* 129(5): 342–353. http://www.sciencedirect.com/scidirimg/clear.gif http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(342).

Greibe, P. 2003. Accident prediction models for urban roads, *Accident Analysis and Prevention* 35(2): 273–285. <http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00005-2>.

Grislis, A. 2010. Longer combination vehicles and road safety, *Transport* 25(3): 336‒343. http://dx.doi.org/10.3846/transport.2010.41.

Hadi, M. A.; Aruldhas, J.; Chow, L.; Wattleworth, J. A. 1995. Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression, *Transportation Research Record* 1500: 169‒177.

Harwood, D. W.; Council, F. M.; Hauer, E.; Hughes, W. E.; Vogt, A. 2000. *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*. Reseach Report FHWA-RD-99-207. Federal Highway Administration, Washington, DC, USA. 200 p.

Hauer, E. 2004a. Statictical road safety modeling, in *Proc. of the 83rd TRB Annual Meeting*. January 11‒15, 2004, Washington, DC, USA.

Hauer, E. 2004b. Safety models for urban four-lane undivided road segnebts, in *Proc. of the 83rd TRB Annual Meeting*. January 11‒15, 2004, Washington, DC, USA.

Hauer, E.; Harwood, D. W.; Council, F. M.; Griffith, M. S. 2002. Estimating safety by the empirical Bayes method. A Tutorial, *Transportation Research Record* 1784: 126–131. http://dx.doi.org/10.3141/1784-16.

Hauer, E. 1995. On exposure and accident rate, *Traffic Engineering and Control* 36(3): 134‒138.

Hydén, C. 1987. The development of a method for traffic safety evaluation: the Swedish traffic conflict technique. Doctoral thesis. Lund University, Department of Traffic Planning and Engineering.

Hsiao, C. H.; Lin, C. T.; Cassidy, M. 1994. Application of Fuzzy logic and Neural networks to automatically detect freeway traffic incidents, *Journal of Transportation Engineering* 120(5): 753‒772. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1994)120:5(753).

*Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje 2007‒2010 m*. 2011. Lietuvos automobilių kelių direkcija. Vilnius, 25‒100.

*Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje 2008‒2011 m*. 2012. Lietuvos automobilių kelių direkcija. Vilnius, 55‒60.

Jakimavičius, M.; Burinskienė, M. 2010. Route planning methodology of an advanced traveller information system in Vilnius city, *Transport* 25(2): 171‒177. http://dx.doi.org/10.3846/transport.2010.21.

Jarašūnienė, A.; Jakubauskas, G. 2007. Improvement of road safety using passive and active intelligent vehicle safety systems, *Transport* 22(4): 284–289.

Jasiūnienė, V.; Čygas, D.; Ratkevičiūtė, K. Peltola, H. 2012. Safety ranking of the Lithuanian road network of national significance, *The Baltic Journal of Road And Bridge Engineering* 7(2): 129–136. doi:10.3846/bjrbe.2012.18.

Jasiūnienė, V. 2003. Žmogus ‒ silpniausia eismo saugumo grandis, *Keturi ratai* 7: 38‒39.

Kasnauskienė, G. 2010. *Statistika verslo sprendimams: vadovėlis*. Vilniaus universiteto leidykla 300 p. ISBN 978-9955-33-613-6.

*Kelių saugumo patikrinimo metodika*. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2010 m. lapkričio 30 d. įsakymas Nr. V-378 „Dėl kelių saugumo patikrinimo metodikos patvirtinimo“. Žin., 2010, Nr. 144–7392.

*Kelių saugumo audito atlikimo tvarkos aprašas*. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2011 m. vasario 25 d. įsakymas Nr. V-63 “Dėl Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2008 m. birželio 26 d. įsakymo Nr. V-130 „Dėl kelių saugumo audito atlikimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ pakeitimo”. Žin, 2011, Nr. 35–1692.

*Kelių saugumo audito reikalavimai*. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2011 m. vasario 25 d. įsakymas Nr. V-65 „Dėl Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2008 m. birželio 12 d. įsakymo Nr. V-123 „Dėl kelių saugumo audito reikalavimų patvirtinimo“ pakeitimo“. Žin., 2011, Nr. 35–1694.

Keršys, A.; Pakalnis, A.; Lukoševičius, V. 2011. Investigation of occupant fatalities and injuries during the impact of vehicle and road safety barrier, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 5–11. doi:10.3846/bjrbe.2011.01.

Kirchera, K.; Thorslunda, B. 2009. Effects of road surface appearance and low friction warning systems on driver behaviour and confidence in the warning system, *Ergonomics* 52(2): 165‒176. doi:10.1080/00140130802277547.

Knuiman, M. W.; Council, F. M.; Reinfurt, D. W. 1993. Association of median width and highway accident rates, *Transportation Research Record* 1401: 70‒82.

Komisijos Komunikatas. 2009. *Darnusis ateities transportas. Siekis sukurti integruotą, technologiškai pažangią ir vartotojams patogią transporto sistemą*.

Laureshyn, A. 2010. *Application of automated video analysis to road user behaviour*. Doctoral thesis, Lund University. 118 p.

Lazda, Z.; Smirnovs, J. 2009. Evaluation of road traffic safety level in the state main road Network of Latvia, *The Baltic Journal of Road And Bridge Engineering* 4(4): 156‒160. doi:10.3846/1822-427X.2009.4.156-160.

Lord, D.; Washington, S. P.; Ivan, J. N. 2005. Poisson, Poisson-gamma and Zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: Balancing statistical fit and theory, *Accident Analysis and Prevention* 37(1): 35–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2004.02.004>.

Lovegrove, R. G. 2007*. Road Safety Planning. New Tools for Sustainable Road Safety and Community Development*. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, Germany. 218 p. ISBN 978-3-8364-2465-3.

Lutschounig, S.; Nadler, H. 2005. *State of the Practice RSI*. Report of WP 5 of Ripcord-Iserest.

Makridakis, S. G.; Wheelwright, S. C.; Hyndman, R. J. 1998. *Forecasting: Methods and Applications.* 3rd edition. Wiley. 656 p. ISBN 0471532339.

Martin, J. L. 2002. Relationship crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways, *Accident Analysis and Prevention* 34(5): 619–629. http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00061-6.

Matena, S.; Weber, R.; Huber, A. C.; Hruby, Z.; Pokorny, P.; Gaitanidou, E.; Vannerdewegh, P.; Strnad, B.; Cardoso, J.; Schermers, G.; Elvik, R. 2008. *Road safety audit ‒ best practice guidelines, qualification for auditors and programming*. Report of WP 4 of Ripcord-Iserest.

Miaou, S.-P.; Lord, D. 2003. Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: Dispersion parameter, functional form, and Bayes versus empirical Bayes methods, *Transportation Research Record* 1840: 31‒40. <http://dx.doi.org/10.3141/1840-04>.

Mocsári, T.; Holló, P. 2006. *Common understanding on road safety inspections*. Report of WP 5 of Ripcord-Iserest.

Montela, 2010. A comparative analysis of hotspot identification methods, *Accident Analysis and Prevention* 42(2): 571–581. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.09.025.

Nævestad, T.-O.; Bjørnskau, T. 2012. How can the safety culture perspective be applied to road trafﬁc? *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 32(2): 139‒154. <http://dx.doi.org/10.1080/01441647.2011.628131>.

*Nuostolių dėl autoavarijų skaičiavimo metodika*. VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas. 1995. Nuostolių dėl autoavarijų skaičiavimo metodika. Darbo ataskaita. Kaunas.

Orfila, O.; Coiret, A.; Do, M.T.; Mammar, S. 2010. Modeling of dynamic vehicle–road interactions for safety-related road evaluation, *Accident Analysis and Prevention* 42(6): 1736–1743. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.014.

Ozbay, K.; Noyan, N. 2006. Estimation of incident clearance times using Bayesian network approach, *Accident Analysis and Prevention* 38(3): 542‒555. http://www.sciencedirect.com/scidirimg/clear.gifhttp://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.11.012.

Pabedinskaitė, A. 2006. *Kiekybiniai sprendimų metodai. I dalis. Koreliacinė regresinė analizė. Prognozavimas*. Vilnius: Technika, 104 p.

Peltola, H.; Rajamäki, R.; Luoma, J. 2012. Tools needed for enhancing transferability of cost-effective road safety measures, *Procedia ‒ Social and Behavioral Sciences* 48: 1234‒1243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1099>.

Peltola, H.; Kulmala, R. 2000. Weather related intelligent speed adaptation ‒ experience from a simulator, in *The 7th World Congress on Intelligent Transport Systems.* November 6–9, 2000, Turin, Italy. Brussels: ERTICO, ITS Congress Association.

Persaud, B.; Lan, B.; Yon, C.; Bhim, R. 2010. Comparison of empirical Bayes and full Bayes Approaches for before–after road safety evaluations, *Accident Analysis and Prevention* 42(1): 38‒43. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.028.

Persaud, B.; Lyon, C. 2007. Empirical Bayes before–after studies: lessons learned from two decades of experience and future directions, *Accident Analysis and Prevention* 39(3): 546–555. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.09.009.

Persaud, B.; McGee, H.; Lyon, C.; Lord, D. 2003. Development of a procedure for estimating expected safety effects of a contemplated traffic signal installation, *Transportation Research Record* 1840: 96‒103. http://dx.doi.org/10.3141/1840-11.

Persaud, B.; Retting, R. A.; Lyon, C. 2000. Guidelines for the identification of hazardous highway curves, *Transportation Research Record* 1717: 14–18. http://dx.doi.org/10.3141/1717-03.

Persaud, B.; Lyon, C.; Nguyen, T. 1999. Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement, *Transportation Research Record* 1665: 7‒12. http://dx.doi.org/10.3141/1665-02.

Persaud, B.; Dzbik, L. 1993 B. Accident prediction models for freeways, *Transport Research Record*: 1401: 55–60.

Pešić, D.; Vujanić, M.; Lipovac, K.; Antić, B. 2012. An integrated method of identifying and ranking danger spots for pedestrians on microlocation, *Transport* 27(1): 49‒59. http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2012.664826.

Pikūnas, A.; Pumputis, V. 2005. Road safety audit – possibility to avoid a dangerous road section, *Transport* 20(5): 181–185.

Polidori, C.; Adesiyun, A.; Cocu, X.; Saleh, P.; Lemke, K. 2012. European common standardized certification methodology for road safety experts, *Procedia ‒ Social and Behavioral Sciences* 48: 85‒94. http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.990.

Prentkovskis, O.; Sokolovskij, E.; Bartulis, V. 2010. Investigating traffic accidents: A collision of two motor vehicles, *Transport* 25(2): 105–115. doi:10.3846/transport.2010.14.

Pumputis, V. 2006. *Saugaus eismo sistemos „Eismo dalyvis ‒ transporto priemonė ‒ kelias (eismo aplinka)“ elementų sąveikos tyrimas*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 108 p.

Ramanauskienė, J. 2007. *Planavimo ir prognozavimo teorija*. Kaunas: Akademija, 256 p.

Ratkevičiūtė, K. 2009. *Eismo saugumo gerinimo priemonių pagrindimo modelis Lietuvos automobilių keliams*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 110 p.

*Road safety manual.* 2003. 2nd edition. Worl Road Asociacion PIARC. R2utemarket. 602 p. ISBN 2840601583.

Salmon, P. M.; Lenné, M. G.; Stanton, N. A.; Jenkins, D. P.; Walker, G. H. 2010. Managing error on the open road: the contribution of human error models and methods, *Safety Science* 48(10): 1225–1235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.004>.

*Saugaus eismo automobilių keliais įstatymas*. Lietuvos Respublikos saugaus eismo automobilių keliais įstatymas. Žin., 2000, Nr. 92–2883.

Sayed, T.; Abdelwahab, W.; Navin, F. 1995. Identifying accident-prone location using Fuzzy pattern recognition, *Journal of Transportation Engineering* 121(4): 352‒358. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1995)121:4(352).

Schulze, H.; Koßmann, I. 2010. The role of safety research in road safety management, *Safety Science* 48(9): 1160–1166. http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.009.

Šliupas, T. 2011. *Įskaitinių eismo įvykių tyrimas ir prognozavimas Lietuvos magistraliniuose ir krašto keliuose*. Daktaro disertacija. Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija, 117 p.

Šliupas, T. 2009. The impact of road parameters and the surrounding area on traffic accidents, *Transport* 24(1): 42‒47. http://dx.doi.org/10.3846/1648-4142.2009.24.42-47.

Štuopytė, Ž. 2004. *Valstybės skolinimosi poveikio verslo aplinkai prognozavimas*. Kaunas: Technologija. 104 p. doi:10.5755/e01.9786090202074.

Sørensen, M.; Elvik, R. 2008. *Black spot management and safety analysis of road networks – best practice guidelines and implementations steps*. Ripcord-Iserest.

Sørensen, M. 2006. Grey road sections on main roads in rural areas ‒ development, application and assessment of a category based identification method, in *The Annual Transport Conference.* Aalborg University.

Türker, Ö.; [Lajunen](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136984780500046X), T. 2005. A new addition to DBQ: Positive driver behaviours scale, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8(4‒5): 355–368. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.018>.

*Valstybinė saugaus eismo plėtros 2011–2017 metų programa*. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2011 m. kovo 2 d. nutarimas Nr. 257 „Dėl valstybinės saugaus eismo plėtros 2011–2017 metų programos patvirtinimo“ (Žin., 2011, Nr. 29‒1368)

Wierwille, W. W.; Hanowski, R. J.; Hankey, J. M.; Kieliszewski, C. A.; Lee, S. E.; Medina, A.; Keisler, A. S.; Dingus, T. A. 2002. *Identification and evaluation of drives errors: Overview and recommendations*. Report No. FHWA-RD-02-003. US Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008a. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2): 85–93. doi:10.3846/1392-3730.2008.14.3.

Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Kazlauskas, A. 2008b. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case, *Energy and Buildings* 40(4): 573–587. doi:10.1016/j.enbuild.2007.04.015.

Zavadskas, E. K.; Antuchevičienė, J. 2007. Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives, *Building and Environment* 42(1): 436–451. doi:10.1016/j.buildenv.2005.08.001.

Vaidogas, E. R. 2006. Simulation-based forecasting effects of an accidental explosion on the road. Part II: Case study, *Transport* 21(4): 231‒238. http://dx.doi.org/10.1080/16484142.2006.9638072.

VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas. 2008. *Valstybinės reikšmės automobilių keliuose „juodosiose dėmėse“ įgyvendintų eismo saugą gerinančių priemonių efektyvumo tyrimas, pasiteisinusių priemonų analizė*. 1 tomas. Kaunas, 158 p.

[Xie](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457507000073), Y.; [Lord](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457507000073), D.; [Zhang](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457507000073), Y.2007. Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis, [*Accident Analysis and Prevention*](http://www.sciencedirect.com/science/journal/00014575) 39(5): 922‒933. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.12.014.

Autoriaus publikacijų   
disertacijos tema sąrašas

**Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose**

Čygas, D.; Jasiūnienė, V. 2001. Lietuvos automobilių kelių eismo saugumo reikalavimų ir Europos Sąjungos normatyvų atitikimas, *Transport* 16(4): 146‒153. ISSN 1392-1533.

Čygas, D.; Jasiūnienė, V.; Bartkevičius, M. 2009. Assessment of special plans and technical designs with regard to traffic safety, *Journal of Civil Engineering and Management* 15(4): 411–418. doi:10.3846/1392-3730.2009.15.411-418. ISSN 1392-3730 (ISI Web of Science).

Jasiūnienė, V.; Čygas, D.; Ratkevičiūtė, K. Peltola, H. 2012. Safety ranking of the Lithuanian road network of national significance, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 7(2): 129–136. doi:10.3846/bjrbe.2012.18 ISSN 1822-427X (ISI Web of Science).

**Straipsniai kituose leidiniuose**

Ratkevičiūtė, K.; Jasiūnienė, V.; Čygas, D. 2011. Methodology for the substantiation of road safety improvement measures on the roads of Lithuania, in *The 8th International Conference „Environmental Engineering“:**selected papers*, vol 3. Ed. by Čygas, D.; Froehner, K. D. May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1200‒1204. ISSN 2029-7106.

Ratkevičiūtė, K.; Vakrinienė,S.; Jasiūnienė, V.; Čygas, D. 2011. Analysis of accident prediction feasibility on the roads of Lithuania, in *The 8th International Conference „Environmental Engineering“:**selected papers*, vol 3. Ed. by Čygas, D.; Froehner, K. D. May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1205‒1209. ISSN 2029-7106.

Priedai

Priedai pateikiami elektroninėje laikmenoje.

**A priedas.** Interaktyvus saugaus eismo modelis.

**B priedas.** Pradiniai duomenys matematinių modelių sudarymui.

**C priedas.** Homogeniniai kelių ruožai ir sankryžos.

**D priedas.** Prognozuojami eismo įvykiai kelių tinkle.

**E priedas.** Potencialiai pavojingi kelių ruožai.

**F priedas.** Bandomieji skaičiavimai kompiuterine programa Tarva LT.

Vilma JASIŪNIENĖ

EISMO ĮVYKIŲ PROGNOZAVIMO MODELIS LIETUVOS VALSTYBINĖS REIKŠMĖS AUTOMOBILIŲ KELIAMS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,   
statybos inžinerija (02T)

ROAD ACCIDENT PREDICTION MODEL FOR THE ROADS OF NATIONAL SIGNIFICANCE OF LITHUANIA

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,   
Civil Engineering (02T)

2012 11 19. 10,25 sp. l. Tiražas 20 egz.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto   
leidykla „Technika“,

Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,

*http://leidykla.vgtu.lt*

Spausdino UAB „Ciklonas“

J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius