



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Tomas Jurevičius

**POVEIKIO KELIŲ SAUGUMUI VERTINIMO METODIKOS
SISTEMINIS TYRIMAS IR TOBULINIMAS**

**SYSTEMIC RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY
IMPACT ASSESSMENT METHODOLOGY**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių eismo saugumo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H22001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Tomas Jurevičius

**POVEIKIO KELIŲ SAUGUMUI VERTINIMO METODIKOS
SISTEMINIS TYRIMAS IR TOBULINIMAS**

**SYSTEMIC RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY
IMPACT ASSESSMENT METHODOLOGY**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių eismo saugumo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H22001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Vytautas Grigonis

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Aušra Žemienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Kelių eismo saugumo inžinerijos studijų programa,

valstybinis kodas 621H22001

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Tomui Jurevičiui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Poveikio kelių saugumui vertinimo metodikos sisteminis tyrimas ir tobulinimas

Patvirtinta 2018 m. kovo 19 d. dekanų potvarkiu Nr. 83ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201...m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS: Atlikti poveikio kelių saugumui vertinimo metodikos bendrąją apžvalgą nustatyti procedūros paskirtį, atlikti pasaulinės patirties tyrimą. Nustatyti reikalingų duomenų poreikį, kuris yra būtinas sprendžiant eismo saugumo problemas ir kuriant poveikio kelių saugumui vertinimo sistemą. Išnagrinėti Lietuvoje taikomą programinę įrangą. Išanalizuoti ir detalios apžvelgti baigiamajame darbe naudojamų įrankių pagrindinius veikimo principus bei paketų taikymo galimybes. Atlikti demonstracinį pasirinktų objektų, poveikio kelių saugumui vertinimo sistemos pagrindu, bandymą, palyginti gautus skirtingų įrankių rezultatus ir pateikti išvadas, pasiūlymus programinės įrangos tobulinimui. Remiantis eksperimento rezultatais pateikti pasiūlymus dėl poveikio kelių saugumui vertinimo sistemos kūrimo bei Lietuviškos metodikos tobulinimo.

Vadovas
(Parašas)

doc. dr. Vytautas Grigonis
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau Tomas Jurevičius
(Parašas) (Vardas, pavardė) (Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

ISBN ISSN
Egz. Sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Kelių eismo saugumo inžinerijos** programos magistro
baigiamasis darbas

Pavadinimas **Poveikio kelių saugumui vertinimo metodikos sisteminis
tyrimas ir tobulinimas**

Autorius **Tomas Jurevičius**

Vadovas **Vytautas Grigonis**

Kalba: **Lietuvių**

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe atlikta poveikio kelių saugumui vertinimo bendroji apžvalga, nustatyta procedūros paskirtis ir apžvelgta pasaulinė patirtis. Darbe yra nustatomas reikalingų duomenų poreikis, kuris būtinas sprendžiant eismo saugumo problemas ir kuriant poveikio kelių saugumui vertinimo sistemą. Baigiamajame darbe analizuojami ir detaliai apžvelgiami Tarva LT, Visum Safety ir Vissim įrankių pagrindiniai veikimo principai bei paketų taikymo galimybės. Demonstraciniu objektu, testuojant įrankį Tarva LT, buvo pasirinktas magistralinis kelias A11. Naudojant eismo srautų mikroskopinio modeliavimo programą PTV Vissim buvo pasirinktas Kaune esantis mazgas, kuris yra centrinėje dalyje, Vilijampolės mikrorajone ties Petro Vileišio tiltu. Eksperimento metu, naudojant makroskopinio modeliavimo įrankį PTV Visum Safety, buvo pasirinkta Kėdainių miesto esamo gatvių tinklo ir plėtros analizė.

Darbą sudaro 4 dalys: apžvalginė (teorinė) dalis, analitinė dalis, eksperimentinė dalis, darbo išvados ir pasiūlymai.

Darbo apimtis – 84 puslapiai be darbo priedų, 20 lentelių, 65 paveikslai.

Prasminiai žodžiai: eismo įvykių prognozavimas, eismo modeliavimas, poveikio kelių saugumui vertinimas, transporto priemonių judėjimo trajektorijos, Tarva LT, PTV Vissim, SSAM, PTV Visum Safety

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Roads

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

Master Degree Studies	Road Safety Engineering	study programme	Master Graduation
Thesis			
Title	Systematic Research and Development of Road Safety Impact Assessment Methodology		
Author	Tomas Jurevičius		
Academic supervisor	Vytautas Grigonis		

Author **Tomas Jurevičius**
Academic supervisor **Vytautas Grigonis**

Thesis language: **Lithuanian**

Annotation

In the master's thesis a general overview of road safety impact assessment has been made, the purpose of the procedure has been determined and global experience reviewed. The work identifies the need for the necessary data, which is essential for solving traffic safety problems and developing a system for road safety impact assessment. In the final work, the main principles of operation of the Tarva LT, Visum Safety and Vissim tools are analysed and in detail overviewed, as well as the possibilities of application of the packages. The demonstration object, testing the tool Tarva LT, was chosen a highway A11. The node located in Kaunas city, located in the central part of the Vilijampole mosque near Petras Vileisis bridge, was selected for the microscopic modelling using PTV Vissim. Analysis of the existing network of streets and development of Kedainiai city was done using macroscopic modelling tool PTV Visum Safety.

The work consists of 4 parts: review (theoretical) part, analytical part, experimental part, conclusions and suggestions.

Thesis consist of 84 p. text, 20 tables and 65 pictures.

The work consists of 4 parts: review (theoretical) part, analytical part, experimental part, conclusions and suggestions.

Thesis consist of 84 p. text, 20 tables and 65 pictures.

Keywords: traffic accident forecasting, traffic modelling, road safety impact assessment, vehicle trajectories, Tarva LT, PTV Vissim, SSAM, PTV Visum Safety

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Tomas Jurevičius, 20122474

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Kelių eismo saugumo inžinerija, KSImf-16

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. gegužės d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Poveikio kelių saugumui vertinimo metodikos sisteminis tyrimas ir tobulinimas“ patvirtintas 2018 m. kovo 19 d. dekanų potvarkiu Nr. 83ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Vytautas Grigonis.

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

(Parašas)

Tomas Jurevičius
(Vardas, pavardė)

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	10
ĮVADAS	12
1. APŽVALGINĖ DALIS	13
1.1. PKSV bendroji apžvalga ir paskirtis	13
1.2. Pasaulinės patirties apžvalga	16
1.3. Lietuvos duomenų bazės reikalingos eismo saugumo problemoms spręsti	23
1.3.1. Eismo įvykiai.....	23
1.3.2. Eismo srautai	24
1.3.3. Eismo infrastruktūros duomenys.....	26
1.4. Programinės įrangos taikymas saugumo klausimams spręsti Lietuvoje	27
2. ANALITINĖ DALIS	29
2.1. Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT	29
2.2. Mikroskopinio modeliavimo programa PTV Vissim	34
2.2.1. Sistemos architektūra	34
2.2.2. Fundamentiniai pagrindiniai programinės įrangos modeliai.....	39
2.2.3. Saugumo vertinimo modelis (SSAM)	41
2.3. Makroskopinio modeliavimo programa PTV Visum	44
2.3.1. Tinklo modelis.....	44
2.3.2. Poreikio modelis.....	46
2.3.3. Poveikio modeliai.....	48
2.3.4. Modelio išvesties duomenys	48
2.3.5. Eismo saugumo poveikio įvertinimo modulis Visum Safety.....	49
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	52
3.1. Magistralinio kelio A11 ruožo analizė Tarva LT programa.....	52
3.1.1. Magistralinio kelio A11 apžvalga	52
3.1.2. Eismo saugumo požiūriu pavojingiausio ruožo nustatymas	53

3.1.3.	Bendra informacija apie nagrinėjamą kelio ruožą.....	56
3.1.4.	Inžinerinių eismo saugumo gerinimo priemonių parinkimas.....	58
3.2.	Kauno miesto mazgo analizė mikroskopinio modeliavimo programa Vissim ir SSAM modeliu	62
3.2.1.	Bendroji informacija – eismo tyrimas.....	62
3.2.2.	Modeliuoti scenarijai bei rezultatai eismo laidumo požiūriu.....	65
3.2.3.	Scenarijų vertinimas eismo saugumo požiūriu.....	69
3.3.	Kėdainių miesto esamo gatvių tinklo ir plėtros analizė makroskopinio modeliavimo programa Visum	71
3.3.1.	Miesto eismo srautų modelis.....	71
3.3.2.	Eismo įvykių prognozė.....	76
	IŠVADOS	79
	LITERATŪROS SĄRAŠAS	83

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. PKSV atlikimas CEDR šalyse narėse, 2007 metais	17
1.2 lentelė. Apskaičiuotas ir faktinis eismo įvykių sumažėjimas	20
1.3 lentelė. Nagrinėto plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai	27
2.1 lentelė. Eismo įvykių koeficientai tipiniuose keliuose ir gatvėse.....	50
2.2 lentelė. Eismo įvykių koeficientai tipinėse sankryžose	51
2.3 lentelė. Siūlomų įrankių panaudojimas Lietuvoje	51
3.1 lentelė. Nagrinėjamo kelio ruožų atributai	55
3.2 lentelė. Nagrinėjamo kelio pavojingiausi ruožai	55
3.3 lentelė. Įskaitiniai eismo įvykiai nagrinėjamame ruože per 2010 – 2014 metus.....	57
3.4 lentelė. 1-ojo plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai.....	59
3.5 lentelė. 2-ojo plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai.....	59
3.6 lentelė. Projektų ataskaita. Bendras efektyvumas	60
3.7 lentelė. Duomenys apie nagrinėjamą objektą ir eismo saugumo planus	61
3.8 lentelė. Eismo kokybės rodikliai skirtingose sankryžose	67
3.9 lentelė. Bendri sankryžos modeliavimo rezultatai – eismo kokybės lygiai.....	68
3.10 lentelė. Bendri sankryžos modeliavimo rezultatai – eismo kokybės lygiai.....	68
3.11 lentelė. Bendri sankryžos modeliavimo rezultatai – maksimalūs eilių ilgiai	68
3.12 lentelė. Bendri variantų modeliavimo rezultatai – konfliktiniai taškai	70
3.13 lentelė. Transporto zonų atributai	72
3.14 lentelė. Bendri eismo įvykių prognozavimo rezultatai.....	78

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav.	PKSV procedūros struktūrinė schema	14
1.2 pav.	Eismo saugumo procedūros ir jų neatlikimo priežastys	16
1.3 pav.	Eismo įvykių atvaizdavimas skaitmeniname žemėlapyje, PTV Vistad.....	18
1.4 pav.	PTV Visum Safety paketo veikimo principas	19
1.5 pav.	Ciuricho aplinkkelio planas	19
1.6 pav.	PKSV modulis, atliekant eismo saugumo efektyvumo funkcijas.....	20
1.7 pav.	TransCAD modelis gatvių jungtys ir mazgai	21
1.8 pav.	Užduoties rezultatų langas, ONHA LT	23
1.9 pav.	2018 metų „juodosios dėmės“ Lietuvoje.....	24
1.10 pav.	Valandinis eismo intensyvumas	25
1.11 pav.	2017 metų VMPEI žemėlapis magistraliniuose ir krašto keliuose.....	25
1.12 pav.	Šviesoforo valdymo programa, Vilniaus sankryžoje.....	26
1.13 pav.	Didžiausių susidarančių eilių ilgis (automobiliais), skirtinguose scenarijuose	28
1.14 pav.	Eismo kokybės lygis (LOS) ir susidarančių eilių ilgiai	28
2.1 pav.	Eismo saugumo priemonių poveikio įvertinimas TARVA LT programa	30
2.2 pav.	Kelių ruožų skaidymo į homogenines grupes schema.....	31
2.3 pav.	Sankryžų skaidymo į homogenines grupes schema.....	32
2.4 pav.	Modelio kūrimo blokų schema	34
2.5 pav.	Modelio tinklo segmentas.....	35
2.6 pav.	Prioriteto taisyklės koncepcija.....	37
2.7 pav.	Šviesoforais reguliuojama sankryža su tramvajais	38
2.8 pav.	Animacijos pavyzdys.....	39
2.9 pav.	Wiedemann psichofizinis suvokimo modelis	39
2.10 pav.	Vairuotojų reakcijos laiko įtaka laidumui.....	40
2.11 pav.	SSAM modelio veikimo principas.....	41
2.12 pav.	Konfliktų klasifikavimas į tipus.....	42
2.13 pav.	Konfliktų vizualizacija pagal tipus žiedinėje sankryžoje	43
2.14 pav.	Įvairios vizualizacijos pavyzdžiai	43
2.15 pav.	Miesto zonų pavyzdys	44
2.16 pav.	Miesto gatvių tinklo mazgai ir grandys	45
2.17 pav.	Viešojo transporto stotelės.....	45
2.18 pav.	Kelionių pasiskirstymas tarp transporto zonų.....	46
2.19 pav.	4 pakopų poreikio modelis.....	47

2.20 pav. Eismo srautų kartograma	48
2.21 pav. Standartiniai eismo įvykių tipai	49
2.22 pav. Eismo įvykių atributai.....	49
2.23 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas mieste	50
3.1 pav. Magistralinis kelias A11 Lietuvoje.....	52
3.2 pav. Eismo įvykiai ir nukentėjusieji magistraliniuose keliuose 2016 m.	52
3.3 pav. Juodųjų dėmių skaičius magistraliniuose keliuose 2017 m.	53
3.4 pav. Potencialiai pavojingų kelio ruožų nustatymo schema.....	55
3.5 pav. Nagrinėjamo pavojingo ruožo vieta – Kretingos mieste	56
3.6 pav. Įskaitinių eismo įvykių išsidėstymo ruože schema.....	57
3.7 pav. 1-ojo eismo saugumą gerinančių priemonių plano schema.....	58
3.8 pav. 2-ojo eismo saugumą gerinančių priemonių plano schema	58
3.9 pav. Tiriamos vietos planas	62
3.10 pav. HCM 2010 pateikti tyrimo metodai.....	63
3.11 pav. Planuojamo „Kėdainių“ tilto bei nagrinėjamo objekto vietų schema.....	64
3.12 pav. Planuojamo „Kėdainių“ tilto bei nagrinėjamo objekto vietų schema.....	64
3.13 pav. Projektinio varianto Nr. 1 planinė schema	65
3.14 pav. Projektinio varianto Nr. 2 planinė schema	66
3.15 pav. Prastovų ir automobilių eilių ilgio matavimo krypčių numeracijos schema	68
3.16 pav. Kauno gatvės eismo srautų pasiskirstymas paros metu.....	69
3.17 pav. Projektinio varianto Nr. 1 – žiedinės sankryžos konfliktiniai taškai	69
3.18 pav. Projektinio varianto Nr. 2 – šviesoforinės sankryžos konfliktiniai taškai	70
3.19 pav. Kėdainių miesto transporto zonų schema	71
3.20 pav. Modelio patikimumo grafikas.....	73
3.21 pav. Esamos būklės eismo srautų kartograma.....	73
3.22 pav. Analizuojami projektiniai scenarijai	74
3.23 pav. Projektinio varianto Nr. 1 eismo srautų kartograma.....	75
3.24 pav. Projektinio varianto Nr. 2 eismo srautų kartograma.....	75
3.25 pav. Įskaitiniai eismo įvykiai Kėdainiuose 2013 – 2016 metai.....	76
3.26 pav. Esamos būklės eismo įvykių prognozės modelis.....	77
3.27 pav. Projektinio varianto Nr. 1 eismo įvykių prognozės modelis	77
3.28 pav. Projektinio varianto Nr. 2 eismo įvykių prognozės modelis	78

IVADAS

Viena iš svarbiausių valstybės sistemų yra susisiekimo sistema. Šios sistemos infrastruktūros modernizavimas yra gyvybiškai svarbus šalies ekonominiam, socialiniam ir technologiniam funkcionalumui. Susisiekimo infrastruktūros efektyvumas turi tiesioginę įtaką tiekiamų paslaugų kokybei, transporto sąnaudoms, eismo kokybei ir saugumo lygiui bei poveikiui aplinkai.

Dėl šios priežasties eismo saugumo lygio tyrimas kelių infrastruktūroje yra svarbi **problema** ir todėl yra nagrinėjama baigiamajame darbe. Remiantis naujausiais 2016 m. statistiniais duomenimis, žuvusiųjų skaičius, tenkantis 1 mln. Lietuvos gyventojų buvo 66. Nors šis statistinis rodiklis lyginant su 2015 m. yra 20,5 % mažesnis, jis išlieka didesnis už Europos Sąjungos vidurkį, kuris yra 50 žuvusių eismo dalyvių. Šis avaringumo rodiklis netenkina 2018 metais paskelbtos Lietuvos saugaus eismo strategijos iki 2030 m. – „Vizija 0“. Strateginis tikslas siekia, kad Lietuvoje iki 2030 m. būtų 50 % mažiau žūčių, o iki 2050 m. žūčių keliuose neįvyktų.

Darbo tyrimo objektas yra poveikio kelių saugumui vertinimo procedūra (toliau PKSV), jos metodikos sisteminis tyrimas bei tobulinimas.

Darbo tikslas – detalizuoti poveikio kelių ir gatvių saugumui vertinimo metodiką, atlikti sisteminį užsienio patirties tyrimą ir analizę, parengti demonstracinę pasirinktų darbo objektų analizę.

Suformuotam tikslui pasiekti būtina įgyvendinti šias užduotis:

1. Atlikti PKSV metodikos bendrąją apžvalgą, nustatyti procedūros paskirtį, atlikti pasaulinės patirties tyrimą.
2. Nustatyti reikalingų duomenų poreikį, kuris yra būtinas sprendžiant eismo saugumo problemas ir kuriant PKSV sistemą.
3. Išnagrinėti Lietuvoje taikomą programinę įrangą.
4. Išanalizuoti ir detaliai apžvelgti baigiamajame darbe naudojamų įrankių pagrindinius veikimo principus ir paketų taikymo galimybes.
5. Atlikti demonstracinį pasirinktų objektų, PKSV sistemos pagrindu, bandymą, palyginti gautus skirtingų įrankių rezultatus ir pateikti išvadas, pasiūlymus programinei įrangai tobulinti.
6. Remiantis eksperimento rezultatais pateikti pasiūlymus dėl PKSV sistemos kūrimo ir Lietuviškos metodikos tobulinimo.

1. APŽVALGINĖ DALIS

Šiame skyriuje yra atliekama PKSV proceso ir paskirties bendroji apžvalga, pasaulinės patirties tyrimas, įvertinamas šiai procedūrai reikalingų duomenų poreikis bei analizuojama kokios priemonės šiuo metu naudojamos Lietuvoje, sprendžiant eismo saugumo klausimus.

1.1. PKSV bendroji apžvalga ir paskirtis

Siekiant pagerinti eismo saugumo situaciją, sumažinti eismo įvykiuose žuvusiųjų skaičių, 2008 m. lapkričio 19-ąją buvo išleista Europos Sąjungos 2008/96/EC direktyva, kurioje išdėstytos eismo saugumo gairės ir kelių infrastruktūros saugumo valdymas. Dokumentas buvo išleistas tik atlikus išsamius eismo saugumo tyrimus ir remiantis pasauliniu lygiu pripažintų eismo saugumo specialistų tyrimais. Direktyva iš viso išskiria keturias procedūras: kelių saugumo auditą, didelio avaringumo ruožų klasifikavimą ir tinklo saugumo lygių nustatymą, kelių saugumo patikrinimą bei **PKSV**, kuris šiame darbe detalai nagrinėjamas.

Europos parlamento ir tarybos direktyva išskiria 6 pagrindinius elementus, atliekant PKSV procedūrą infrastruktūros projektams:

1. Problemos apibūdinimas;
2. Esama padėtis ir scenarijus „nesiimti jokių veiksmų“;
3. Kelių saugumo tikslai;
4. Siūlomų alternatyvių sprendimų poveikio kelių saugumui analizė;
5. Alternatyvių sprendimų palyginimas, įskaitant sąnaudų ir naudos santykio analizę;
6. Galimų sprendimų pateikimas.

Dokumente taip pat pateikiama informacija į kurią reikia atsižvelgti atliekant eismo saugumo procedūrą:

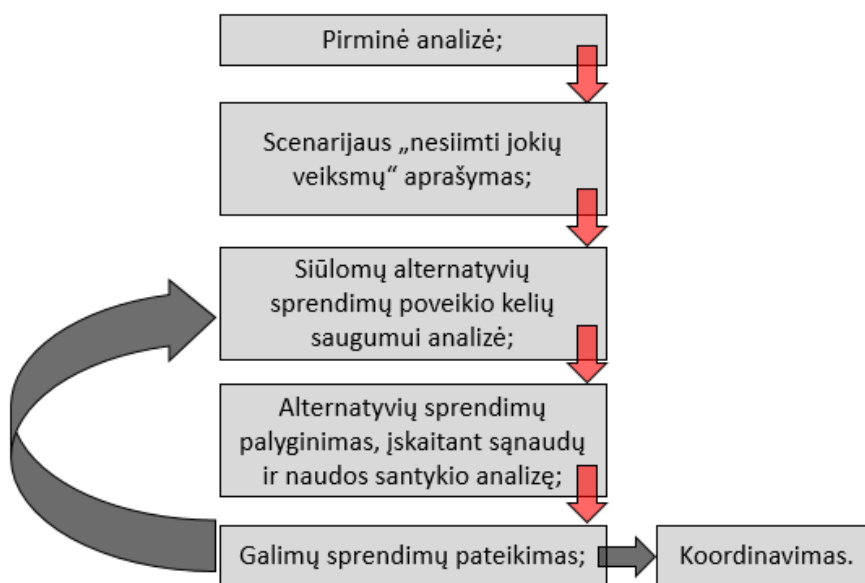
1. Eismo įvykiai, kuriuose žūva ir yra sunkiai sužalojami žmonės, tokių įvykių skaičiaus sumažinimo tikslai, palyginti su „nesiimti jokių veiksmų“ scenarijumi;
2. Pasirinktas maršrutas ir eismo schema;
3. Galimas poveikis esantiems tinklams (pvz., išvažiavimai, sankryžos, pervažos);
4. Eismo dalyviai, įskaitant pažeidžiamus eismo dalyvius (pvz., pėstieji, dviratininkai, motociklininkai);
5. Eismas (pvz., eismo intensyvumas, transporto tipų kategorijos);
6. Sezoninės ir klimato sąlygos;
7. Pakankamo saugių stovėjimo aikštelių skaičiaus buvimas;
8. Seisminis aktyvumas.

Leidinio 3 straipsnyje nurodoma, kad PKSV turi būti atliekamas pradiniam planavimo etape prieš patvirtinant infrastruktūros projektą. Procedūros metu pateikiamos kelių saugumo

aplinkybės, dėl kurių buvo nuspręsta pasirinkti tam tikrą siūlomą priemonę, taip pat turi būti suteikta informacija, būtina įvairių alternatyvų sąnaudų ir naudos analizei atlikti.

Lietuvos Respublikoje PKSV procedūrą reglamentuoja 2011 metais vasario 25 dienos Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus įsakymu Nr. V-62 priimtas „Poveikio kelių saugumui vertinimo tvarkos aprašas“. Remiantis reglamentu PKSV – tai strateginė palyginamoji naujo kelio tiesimo ar esamo kelio rekonstrukcijos poveikio greta esančio kelių tinklo saugumui analizė. Procedūros dokumente išskiriamos dvi minimalaus įvertinimo alternatyvos: įgyvendinti projektą arba pasirinkti „nesiimti jokių veiksmų“ alternatyvą atsisakant projekto įgyvendinimo. Tolimesnė vertinimo tvarka yra iš principo analogiška Europos Sąjungos 2008/96/EC direktyvoje pateiktiems pagrindiniams PKSV elementams ir nustatyta reikalingai informacijai.

2011 metais tarptautinis projektas BALTRIS išleido leidinį „Poveikio kelių eismo saugumui rekomendacijos“, kuriame išskiriamos ir išsamiai detalizuojamos pagrindinės šios procedūros dalys (žr. 1.1 pav.).



1.1 pav. PKSV procedūros struktūrinė schema (Laurinavičius *et al.* 2012)

Pirminė analizė. Jos metu aprašomas nagrinėjamas objektas, aktualumas, problemos, atliekamas esamos dokumentacijos ir parengtų planų vertinimas.

Scenarijaus „nesiimti jokių veiksmų“ aprašymas. Šis scenarijus yra pagrindas, kuriuo vertinamos įvairios projektavimo ir planavimo alternatyvos. Iškeliamas pagrindinis klausimas: „Kas atsitiks su eismo saugumo lygiu esamoje infrastruktūroje neatliekant jokių esminių sprendinių“.

Siūlomų alternatyvių sprendimų poveikio kelių saugumui analizė. Jos metu suformuojami pagrindiniai eismo saugumo vertinimo tikslai, kurie gali būti vertinami ekonominiu pagrindu. Turi

būti mažiausiai 2 sprendiniai (kartu su scenarijumi „nesiimti jokių veiksmų“). Kiekvienam scenarijui atliekamas eismo saugumo elementų prognozavimas, kuris gali būti atliktas darant įvairias studijas, modeliavimą, remiantis statistika ir kt.

Alternatyvių sprendimų palyginimas, įskaitant sąnaudų ir naudos santykio analizę. Šis etapas apima sąnaudų ir naudos analizę skirtingais scenarijais, duomenų vertinimą ir aiškinimą.

Galimų sprendimų pateikimas. Ši dalis apima duomenų santraukos ir ekonominės naudos analizės aiškinimą ir interpretavimą (visų nagrinėtų scenarijų). PKSV komanda šiame etape turi teisę siūlyti papildomus naujus scenarijus, jei rezultatai nėra patenkinami ir iškelti tikslai nėra įgyvendinti. Šiuo atveju grįžtama į praeitas proceso stadijas, kurių metu vertinami ir tarpusavyje lyginami visi galimi variantai.

Projekto Ripcord-Iserest 2008 metais išleistoje ataskaitoje „Eismo įvykių prognozavimo modeliai ir poveikio kelių saugumui vertinimas: įrankių panaudojimo rekomendacijos“ yra minimi 4 preliminarūs PKSV atlikimo metodai:

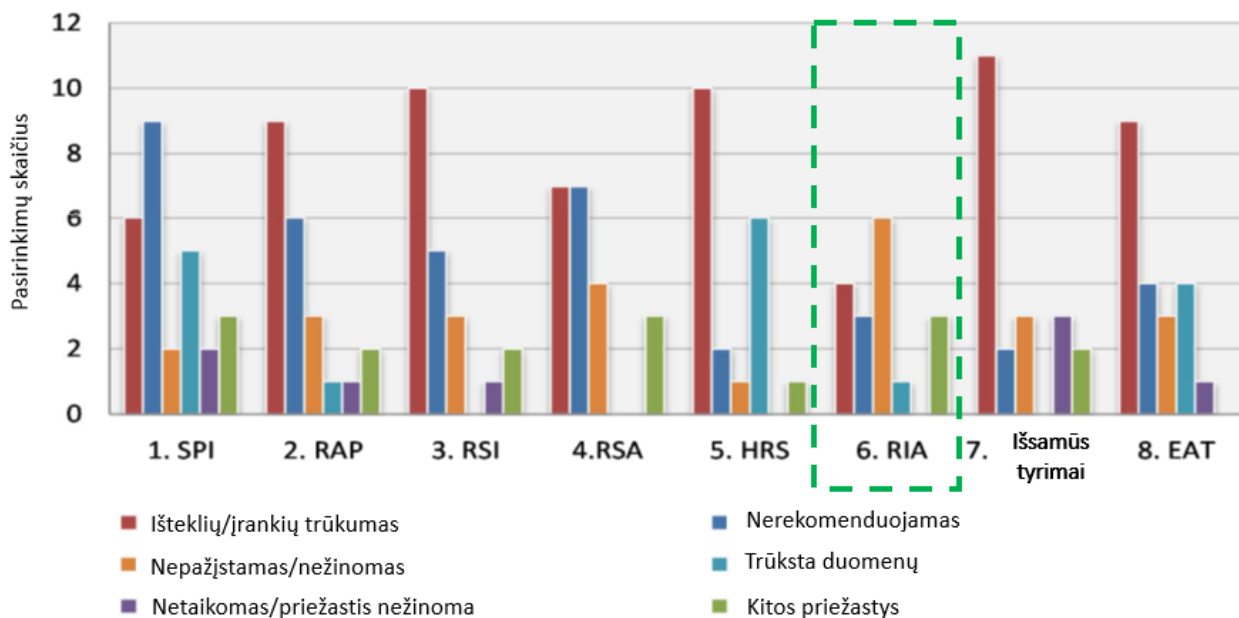
1. Specialisto nuomonė. Tai yra kokybinis ekspertų vertinimas, kuris gali suteikti kiekvienam eismo saugumo klausimui tam tikrą neigiamą, teigiamą, arba neutralų įvertinimą. Šio metodo taikymas yra lengvas ir garantuoja rezultatą, tačiau patikimumas ir įvertinimo kokybė yra abejotina.
2. Žinybai. Kelių eismo saugumo priemonių poveikis vertinamas naudojant nacionalinius žinybus. Šis metodas moksliskai vertinamas kaip pagrįstas, tačiau jis turi gan platų patikimumo intervalą t.y. poveikio reikšmės itin priklauso nuo konkrečios situacijos.
3. Nagrinėjant gatvių/kelių tinklą. Šis metodas naudojamas kartu su 2 metodu, skirtumas tik tas, kad analizuojamas objektas – poveikis gretimam infrastruktūros tinklui. Dažniausiai atliekamas naudojant eismo srautų modeliavimą ir kelių/gatvių tipo eismo saugumo rodiklius. Atliekama analizė dažnai būna efektyvi, tačiau dažniausiai yra palyginus brangi.
4. Išlaidų ir naudos analizė. Tai gali būti 1-3 metodų dalis atsižvelgiant į galimą poveikį aplinkai, pasiekiamumui, teritorijų planavimui ir t.t. Šis metodas gali būti nenaudingas, kai taikomos eismo saugumo priemonės turi neigiamą poveikį aplinkai, ar pasiekiamumui.

Šiuo metu minėti metodai nėra plačiai nagrinėti mokslinėje literatūroje, jų efektyvumas dar nėra tiksliai išnagrinėtas, dažnai pasikliaunama konstruktyvia specialistų nuomone bei preliminarie išlaidų ir naudos analize. Tačiau didžiausią potencialą turi 3 metodas, kuriame naudojamos automatizuotos skaičiavimo ir eismo įvykių prognozavimo programos, leidžiančios išvengti žmogiškojo faktoriaus ir kurti tam tikrą tendencingą sistemą.

Vis dėl to norint pasiekti geriausią rezultatą vieno metodo taikymas nėra teisingas pasirinkimas, verta kompleksiskai taikyti metodus, žinant jų gerąsias puses.

1.2. Pasaulinės patirties apžvalga

Italų profesoriaus Luca'os Persia'os ir kt. išleistame pranešime „Kelių infrastruktūros saugumo valdymas“ apžvelgiamos įvairios šiuo metu naudojamos eismo saugumo procedūros. Šiame pranešime atlikta eismo saugumo procedūroms kylančių kliūčių analizė (žr. 1.2 pav.).



1.2 pav. Eismo saugumo procedūros ir jų neatlikimo priežastys

Pastaba: čia SPI – eismo saugumo charakteristikų indikatoriai, RAP – kelių įvertinimo programa, RSI – eismo saugumo patikrinimas, RSA – eismo saugumo auditas, HRS – didelės rizikos ruožai, RIA – PKSV, EAT – kelių eismo saugumo priemonių efektyvumo vertinimo įrankiai (Persia *et al.* 2016)

Paveiksle galima pastebėti, kad dažniausiai eismo saugumo procedūros neatliekamos, dėl išteklių bei tam tikrų įrankių trūkumo, tačiau PKSV procedūros pagrindinė neatlikimo priežastis yra tai, kad ji yra nepažįstama ir nežinoma.

Ši analizė gan tiksliai apibūdina PKSV procedūros problemą – aiškos metodikos ir patikrintų, patikimų metodų trūkumas, dėl to procedūra nėra lengvai atpažįstama ir atliekama retai.

Remiantis CEDR projekto ataskaita „Poveikio kelių saugumui vertinimas, faktai ir bendrosios išvados“, kuri buvo išleista 2007 metais iš tuo metu buvusių 24 šalių narių tik 11 atlikinėjo PKSV procedūrą, o likusios 13 neturėjo planų įgyvendinti šios procedūros artimiausioje ateityje (1.1 lentelė). Šiame pranešime pabrėžiama PKSV procedūros nauda kelių eismo saugumui ankstyvajame projektavimo etape, kuri užtikrina logiškus kelio savininko sprendimus pasirenkant statomo, ar rekonstruojamo kelio/gatvės variantą.

1.1 lentelė. PKSV atlikimas CEDR šalyse narėse, 2007 metais (CEDR 2007)

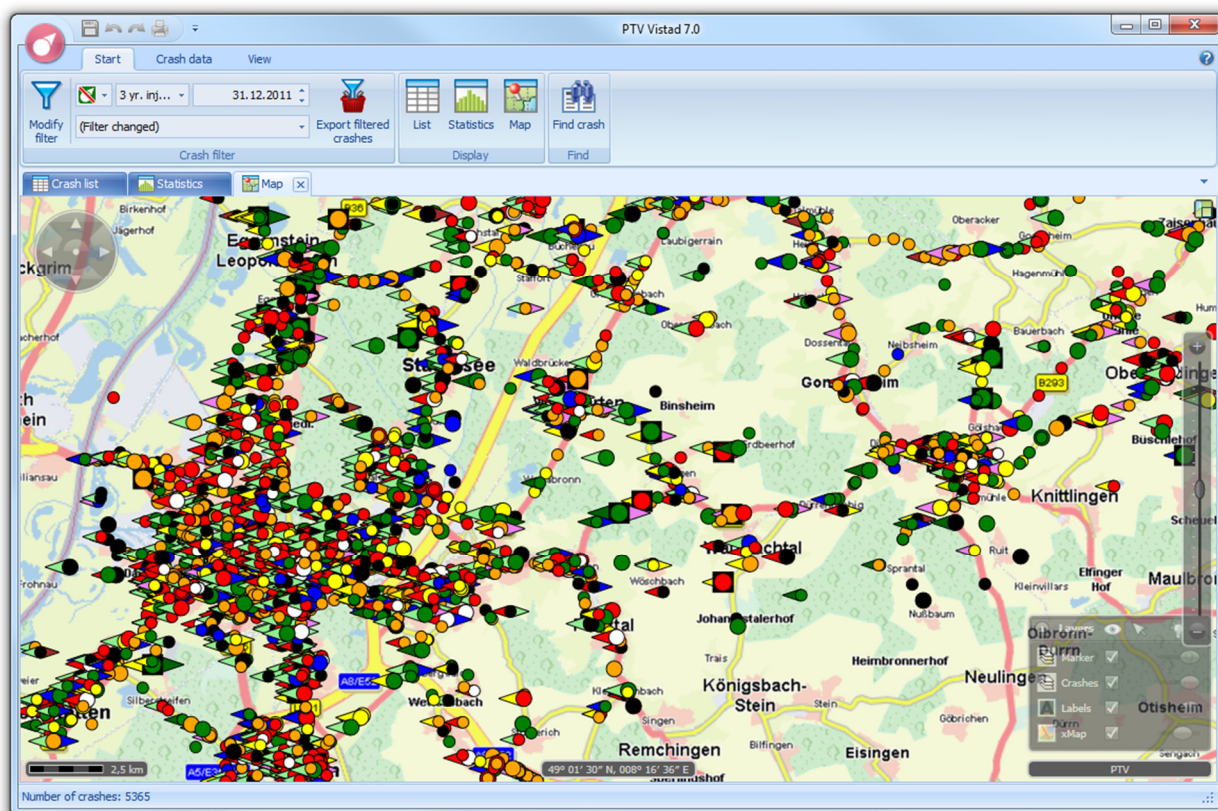
PKSV procedūra CEDR šalyse narėse			
CEDR valstybė	Atlikimas [Taip/Ne]	Privaloma/Savanoriška [P/S]	Reglamentai [Taip/Ne]
Austrija	Taip	P	Ne
Belgija	Ne	-	-
Danija	Taip	M	Taip
Estija	Ne	-	-
Suomija	Taip	S	Taip
Prancūzija	Ne	-	-
Vokietija	Taip	P	Taip
Graikija	Ne	-	-
Vengrija	Ne	-	-
Islandija	Ne	-	-
Airija	Taip	P	Taip
Italija	Taip	P	Taip
Latvija	Ne	-	-
Lietuva	Taip	P	Taip
Liuksemburgas	Ne	-	-
Olandija	Taip	P	Taip
Norvegija	Taip	P	Taip
Lenkija	Ne	-	-
Portugalija	Ne	-	-
Slovėnija	Ne	-	-
Švedija	Taip	P	Taip
Šveicarija	Ne	-	-
Ispanija	Ne	-	-
Jungtinė Karalystė	Taip	P	Taip

Šiuo metu viena iš Europos Sąjungos neabejotinų lyderių transporto infrastruktūros bei kelių eismo saugumo vystymo srityje yra Vokietija, kurioje naudojami inovatyvūs, pažangūs ir efektyvūs programinės įrangos paketai.

Vienas iš pavyzdžių programa PTV Vistad (dar kitaip žinoma kaip Euska), kuri yra naudojama policijos, valdžios organų, eismo įvykių komitetų, kelių statybos bei projektavimo institucijų. Tai yra įrankis optimaliai surenkantis bei analizuojantis eismo įvykių statistiką.

Didžiausias šios programinės įrangos privalumas aptikti eismo įvykių tendencijas bei prognozuoti tikėtiną eismo saugumo lygį. PTV Vistad naudotojai gali lengvai sukurti platų spektrą standartizuotų pranešimų, filtruoti eismo įvykius pagal geografinę padėtį bei gausius požymius tokius kaip amžius, lytis ar sužalojimo laipsnis. Analizės metu galima išvesti tam tikrus eismo saugumo rodiklius, ypač vertinant labiausiai pažeidžiamus eismo dalyvius – pėsčiuosius ir dviratininkus.

Jei suvesti eismo įvykio duomenys atitinka patikimumo patikrinimą, jie įtraukiami į duomenų bazę ir tiksliai atvaizduojami skaitmeniniame žemėlapyje (1.3 pav.).



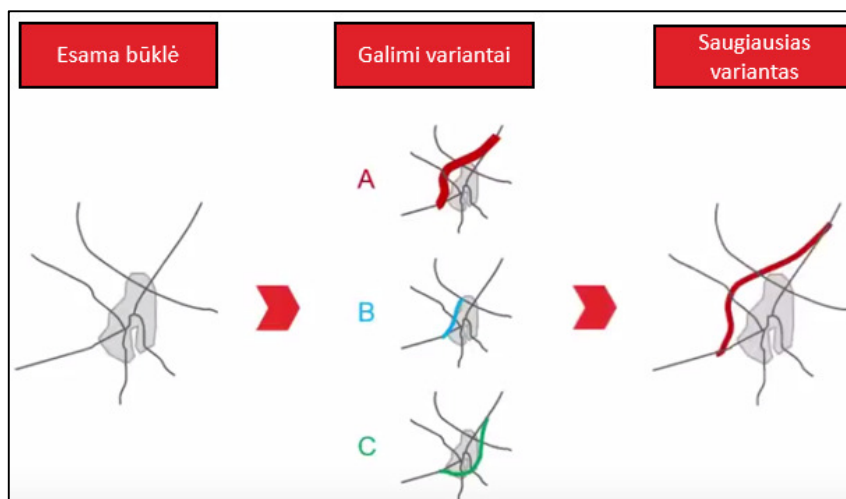
1.3 pav. Eismo įvykių atvaizdavimas skaitmeniname žemėlapyje, PTV Vistad (PTV Group 2017)

Tam, kad būtų galima palyginti duomenis, programinė įranga gali pateikti istorinių eismo įvykių lyginamuosius statistinius duomenis, kurie dažniausiai yra naudojami sekant eismo įvykių skaičiaus tendenciją. Dėl to Policijos institucijos, ar kitos suinteresuotos institucijos gali sudaryti nacionalines ataskaitas kas mėnesį, ketvirtį, ar metus.

Atsižvelgiant į modernų kelių infrastruktūros planavimo ir vystymo poreikį reikalingas programinės įrangos sprendinys atliekant PKSV procedūrą, kuris leistų strategiškai įvertinti naujo kelio ar rekonstruojamos jungties įtaką. Sukurtas PTV Vistad įrankis yra efektyvus mikrolygio mastelyje ir leidžia atlikti neblogas analizės galimybes (Ulrich Brannolte *et al.* 2009).

Šiuo metu Vokietijoje be ilgą laikotarpį naudotos PTV Vistad programos yra sukurtas programinės įrangos paketas PTV Visum Safety, veikiantis panašiu eismo įvykių analizės principu. Ši programa nagrinėja 3 pagrindines procedūras: juodųjų dėmių valdymą, infrastruktūros tinklo eismo saugumo valdymą bei PKSV.

Paprasti eismo įvykių prognozavimo modeliai įvairiems kelių tipams yra įtraukti į PTV Visum Safety paketą. Kombinuojant šiuos modelius su eismo srautų duomenimis, eismo planuotojai gali kritiškai įvertinti atsiradusią avaringumo situaciją atskirose gatvės/kelio dalyje, ar vertinant visą analizuojamą tinklą. Šios programos pagalba sukalibravus esamos būklės modelį nesudėtingai sukuriama galimi infrastruktūros pokyčiai, variantai ir skaičiavimo pagalba išrenkamas saugiausias scenarijus (1.4 pav.).



1.4 pav. PTV Visum Safety paketo veikimo principas (PTV Group 2017)

Wojciech'as Kustra ir kt. patvirtina programos paketo efektyvumą, tačiau taip pat išskiria ir pagrindinius trūkumus:

- Paketas negali įvertinti užstatytų teritorijų tankio, sunkiasvorio transporto kiekio ir sankryžų tankio.
- Įrankis neskaičiuoja eismo saugumo rodiklių – sužeistųjų ir žuvusiųjų skaičiaus, preliminarinių patiriamų sąnaudų dėl eismo įvykių.

PTV Visum Safety įrankio potencialą ir efektyvumą patvirtina Julian Laufer atlikta eismo saugumo studija Ciuricho pietiniame aplinkkelyje, schema pateikta 1.5 pav.



1.5 pav. Ciuricho aplinkkelio planas (Laufer 2014)

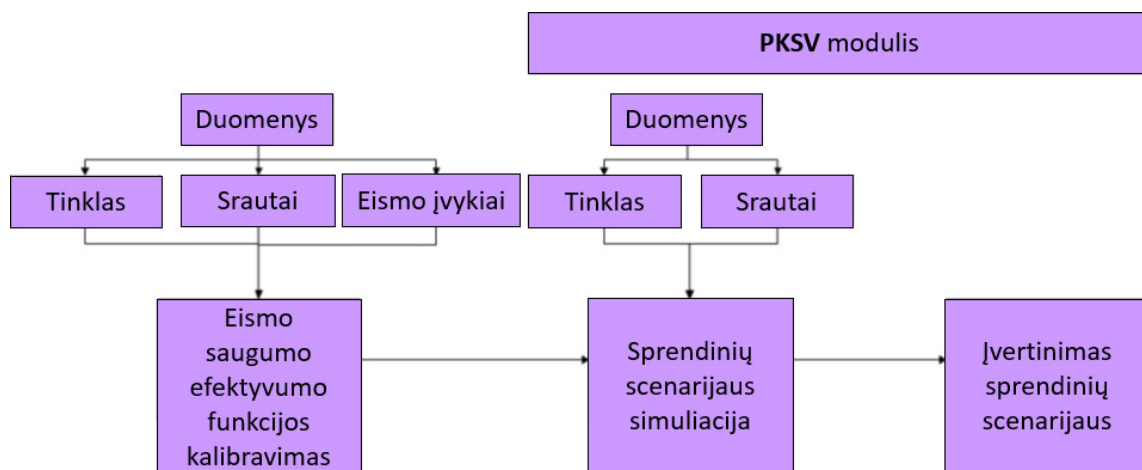
Pastaba: čia žalias, oranžinis ir violetinis punktyras nurodo 2006–2009 metais statytą aplinkkėlį

Atlikus modeliavimą ir eismo įvykių prognozavimą, taip pat palyginus faktinius duomenis gautus iš policijos institucijų buvo nustatyta, kad priemonės pateikta prognozė turėjo labai nedidelę 1,2 % santykinę paklaidą, tuo tarpu absoliuti paklaida siekė 6 eismo įvykius (1.2 lentelė).

1.2 lentelė. Apskaičiuotas ir faktinis eismo įvykių sumažėjimas (Laufer 2014)

Eismo įvykių sumažėjimas		Skirtumas	
Apskaičiuotas	Faktinis	Absoliutus	Santykinis
512	506	6	1.2%

Italijoje vienas iš siūlomo PKSV atlikimo metodų – eismo saugumo efektyvumo funkcijos. Tai yra modelis, kuris atlieka eismo įvykių ir jų pasekmių prognozavimą remiantis įvairiais duomenų elementais tokiais kaip eismo srautai, greitis kelių/gatvių tinkle. Principinė schema pateikta 1.6 paveiksle.



1.6 pav. PKSV modulis, atliekant eismo saugumo efektyvumo funkcijas (Basile *et al.* 2012)

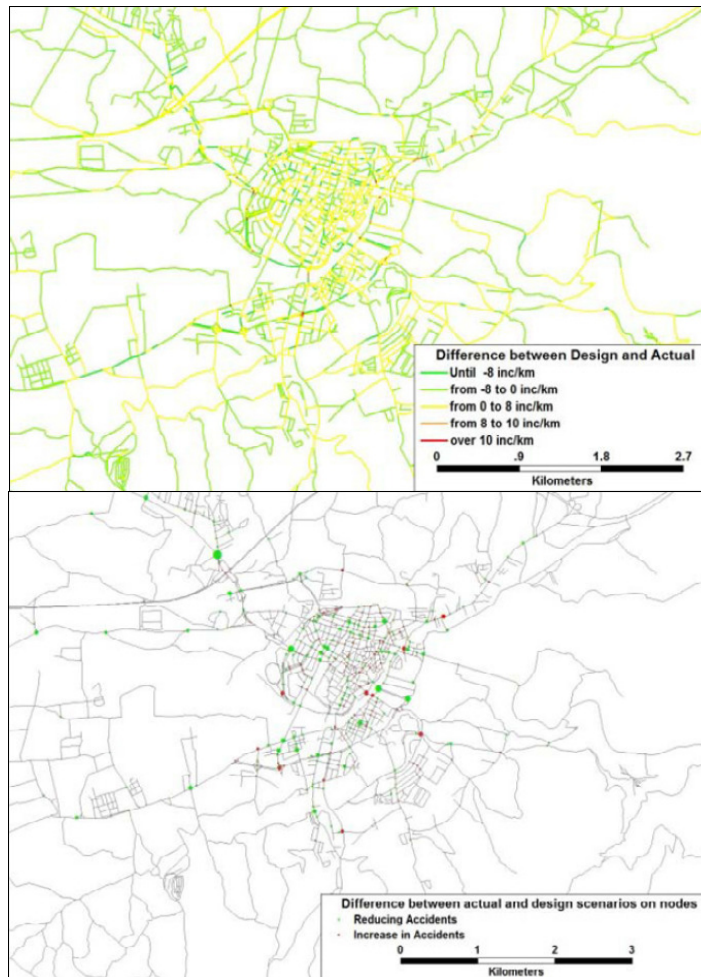
PKSV modulis naudoja įvesties duomenis, tokius kaip kelių tinklo duomenys, eismo srautai bei eismo įvykiai, eismo saugumo efektyvumo funkcijos kalibruoja šį variantą taip pat lygina su atliktų sprendinių scenarijumi ir pateikia galutinį poveikio įvertinimą (Olga Basile *et al.* 2012).

Skaičiavimo algoritmas įdiegtas programiniame pakete TransCAD, kuris yra sukurtas JAV. Ši programinė įranga yra pirmoji sukurta geografinės informacijos sistemos (GIS) pagrindu, tai leidžia transporto specialistams lengvai išsaugoti, atvaizduoti, valdyti bei analizuoti įvairius eismo duomenis. TransCAD sujungia GIS ir transporto modeliavimo sistemas vienoje integruotoje platformoje, suteikiant unikalias galimybes. Programinė įranga pasižymi universalumu ir gali būti naudojama bet kokio masto ar detalumo lygiu. Įrankio pagrindiniai privalumai:

- Pažangus GIS variklis, kuris turi transporto analizės plėtinį;
- Žemėlapių sudarymo, vizualizavimo ir analizės įrankiai, skirti transportavimo programoms;

- Programų moduliai, skirti maršrutų, kelionių prognozavimui, viešojo tranzito bei, logistikos ir kitų paralelių sričių valdymui.

B. Olga ir kt. straipsnyje „Įrankiai skirti įvertinti įtaką kelių eismo saugumui“ atlieka PKSV bandymą Ternio mieste ir Lazio regione. Įvertinamas galimas tinklo variantas ir jo įtaka gatvių jungtims bei mazgams (1.7 pav.).



1.7 pav. TransCAD modelis gatvių jungtys ir mazgai (Basile *et al.* 2012)

Vis dėl to straipsnio autoriai darbo išvadose teigia, kad dėl trūkstančių duomenų kiekio ir tikslumo atlikta eismo įvykių prognozė yra preliminarinė bei rekomenduoja atlikti detalesnius tyrimus. Taip pat išskiriamos pagrindinės problemos atliekant PKSV:

- Eismo saugumo efektyvumo funkcijų patikimumas priklauso nuo duomenų kiekio ir jų kokybės, ką užtikrinti yra labai sudėtinga.
- Eismo saugumo efektyvumo funkcijos yra analizuotos ir kalibruotos tik JAV infrastruktūrai, Italijoje, kaip ir visoje Europoje šis metodas nagrinėtas tik preliminariai.
- Sudėtingas dviejų modelių suderinamumas t.y. eismo srautų modeliavimo ir eismo įvykių prognozavimo.

Suomijoje naudojama statistikos pagrindu veikianti programa TARVA, kuri gali būti ypatingai efektyvi PKSV procedūroje analizuojant transporto infrastruktūros rekonstravimo projektus, diegiant įvairias inžinerines saugaus eismo priemones.

Programinis paketas naudoja empirinį Bajeso metodą, daugelis mokslininkų pažymi, kad tai vienas iš labiausiai išvystytų ir plačiai naudojamų metodų eismo saugumo srityje. Empirinis Bajeso metodas remiasi prielaida, kad panašioje aplinkoje, kurioje vyrauja panašios eismo sąlygos, yra panaši eismo įvykių rizika, tikėtinas eismo įvykių skaičius nustatomas, apjungiant du informacijos šaltinius:

- Istorinius eismo įvykius tam tikrame kelio elemente;
- Matematinį eismo įvykių prognozavimo modelį, nusakantį eismo įvykių riziką savo aplinka panašiuose kelio elementuose.

Eismo sprendinių poveikį kelių eismo saugumo lygiui įvertina 4 etapų procesas:

1. Kiekvienam infrastruktūros tinklo segmentui eismo įvykių skaičius yra įvertinimas remiantis jau įvykusių eismo įvykių skaičiumi statistikoje, transporto priemonių rida bei vidutiniu avaringumo lygiu. Informacija apie eismo įvykius yra sujungiama matematinėje formulėje, kurioje atsižvelgiama į modelio patikimumą bei atsitiktinumą faktorių.
2. Norint atlikti tikslią eismo įvykių prognozę eismo įvykių skaičius be kelio tobulinimų apskaičiuojamas didinant eismo srautus.
3. Priemonių poveikis eismo įvykių pasekmėms aprašomas poveikio koeficiento reikšmėmis.
4. Taikant apskaičiuotą eismo įvykių pasekmių sumažinimo poveikio koeficientą bei ir turimas žinias apie jų sudėtingumą, TARVA pateikia metinį išvengtų eismo įvykių skaičių. (Harri Peltola 2000).

Norvegijoje PKSV taikomas nuo 1980 m. ir yra platesnio poveikio vertinimo dalis. Procedūra yra privaloma visiems dideliems projektams.

Nyderlanduose Transporto ministerija nustato PKSV, taip pat nuo 1980 didesniems kelių projektams. Jie naudoja visų aspektų, susijusių su kelių projektais, metodą „Ekonominės įtakos apžvalga“. Nuo 2000 m. visiems dideliems infrastruktūros projektams (specialiems valstybės projektams) taikomos gairės, aprašytos „Infrastruktūros efektų apžvalga“ (Overzicht Effecten Infrastructure - OEI). Nuo 2004 m. PKSV procedūra taip pat buvo priimta transporto ir infrastruktūros planavimo projektams.

Minėtų valstybių reglamentai nepateikia išskirtino ir efektyvaus PKSV procedūros sprendimo ar rekomenduojamos programinės įrangos.

1.3. Lietuvos duomenų bazės reikalingos eismo saugumo problemoms spręsti

Šiame poskyryje apžvelgiami pagrindiniai duomenys, kurie reikalingi sukuriant PKSV sistemą. Kaupiamos duomenų bazės ir registrų sistema atliekanti eismo saugumo klausimus turi įvertinti statistinius eismo įvykius, eismo srautus bei kelių/gatvių infrastruktūros duomenis.

1.3.1. Eismo įvykiai

Atliekant eismo saugumo procedūrą – PKSV, tiek programine įranga automatizuotais įrankiais, tiek remiantis eismo saugumo ekspertų nuomone, reikalingi eismo įvykių duomenys, kuriuos dažniausiai sudaro:

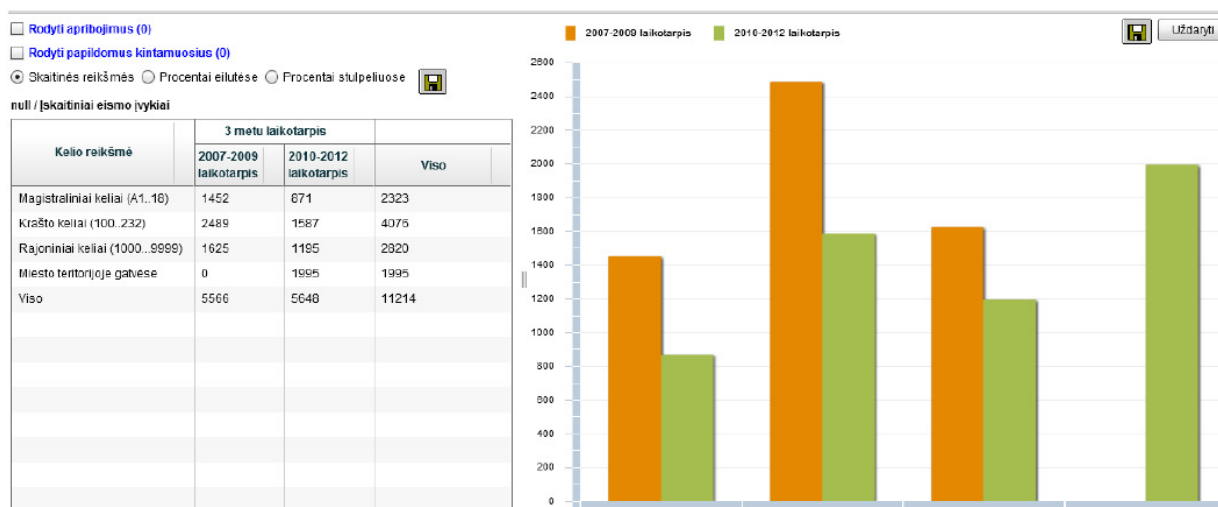
- Įskaitinių eismo įvykių skaičius;
- Sužeistųjų skaičius;
- Žuvusiųjų skaičius.

Norint sudaryti eismo saugumo procedūros sistemą šie statistiniai duomenys turi turėti atributinę informaciją – laiko, vietos bei pagrindines su eismo įvykiu susijusias charakteristikas.

Šiuo metu Lietuvoje eismo įvykių analizė atliekama ONHA LT programa, įrankio duomenų bazė sudaryta apjungus tris atskiras duomenų bases:

- Eismo įvykių ir jų aplinkybių;
- Eismo dalyvių, dalyvavusių eismo įvykiuose;
- Transporto priemonių, dalyvavusių eismo įvykiuose duomenų bazę.

Pagrindinis ONHA LT programos tikslas yra sudaryti galimybę vartotojui nagrinėti norimus eismo įvykių duomenis įvairias pjūviais (ONHA LT vartotojo vadovas). 1.8 paveiksle pateikta programos vizualizacija – eismo įvykių analizė magistraliniuose, krašto ir rajoniniuose keliuose bei miesto teritorijos gatvėse.

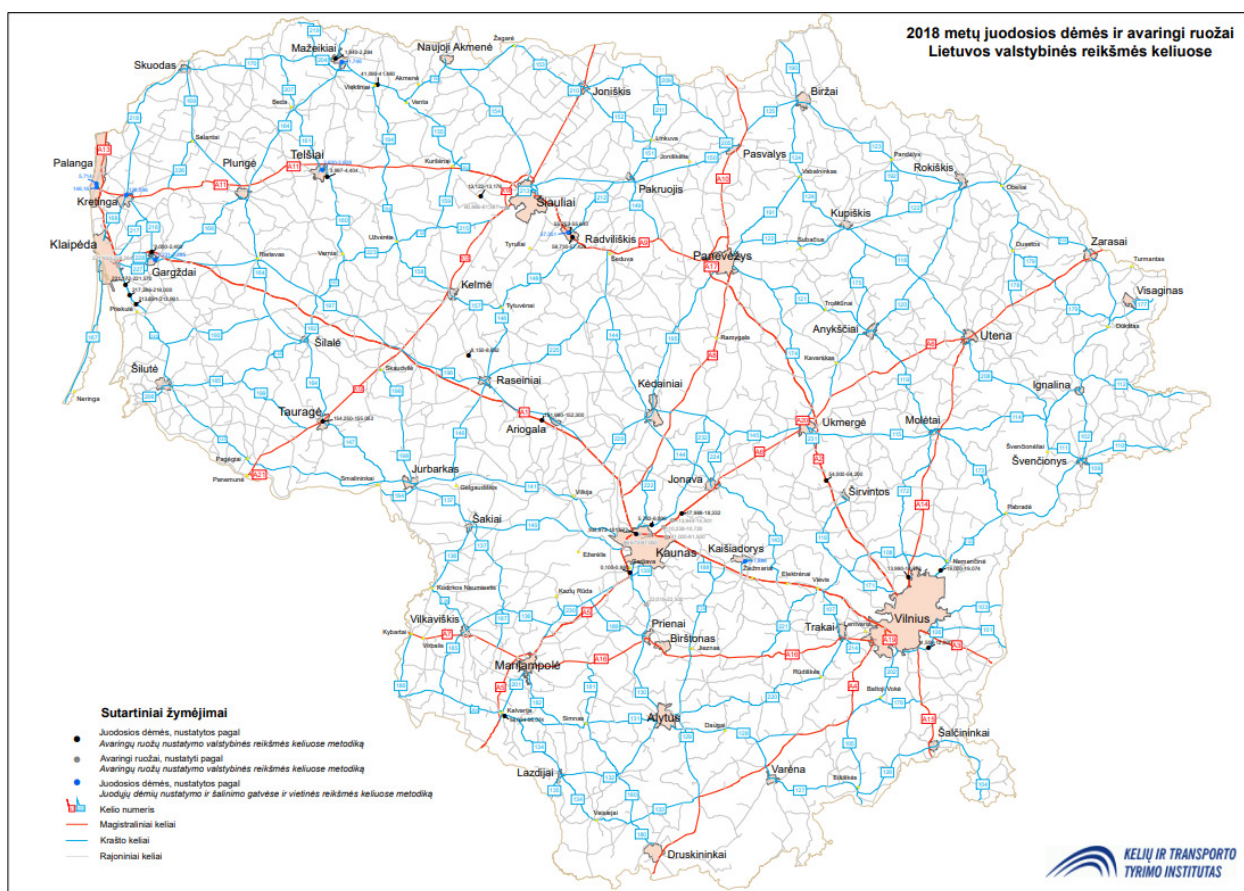


1.8 pav. Užduoties rezultatų langas, ONHA LT (Vilniaus Gedimino technikos universitetas 2013)

Neapdorotus eismo įvykių duomenis skelbia policijos elektroninių paslaugų sistema, kuri pateikia eismo įvykių, įvykusių Lietuvos Respublikoje, kurių metu žuvo ir (ar) buvo sužeisti žmonės, duomenis apie eismo įvykių vietą, datą, laiką, meteorologines ir eismo sąlygas, priežastis, dalyvius ir jų sužalojimus, transporto priemones ir jų apgadinimus bei kitus duomenis.

Lietuvos automobilių kelių direkcija išleidžia leidinį „Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje“, kuriame pateikiami pagrindiniai avaringumo rodikliai, apibūdinantys saugaus eismo situaciją šalies keliuose.

Dar vienas naudingas Viešosios įstaigos Kelių ir transporto tyrimo instituto pateikiamas „juodųjų dėmių“ žemėlapis Lietuvos keliuose (1.9 pav.).

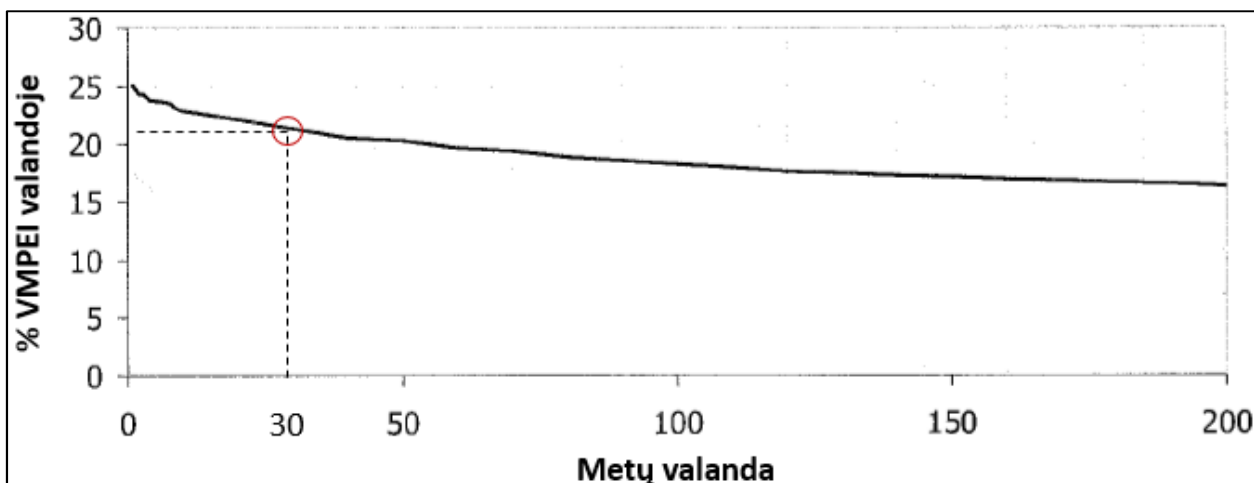


1.9 pav. 2018 metų „juodosios dėmės“ Lietuvoje (Kelių ir transporto tyrimo institutas 2018)
Lietuvoje egzistuojančios eismo įvykių bazės yra pakankamos norint sudaryti PKSV sistemą.

1.3.2. Eismo srautai

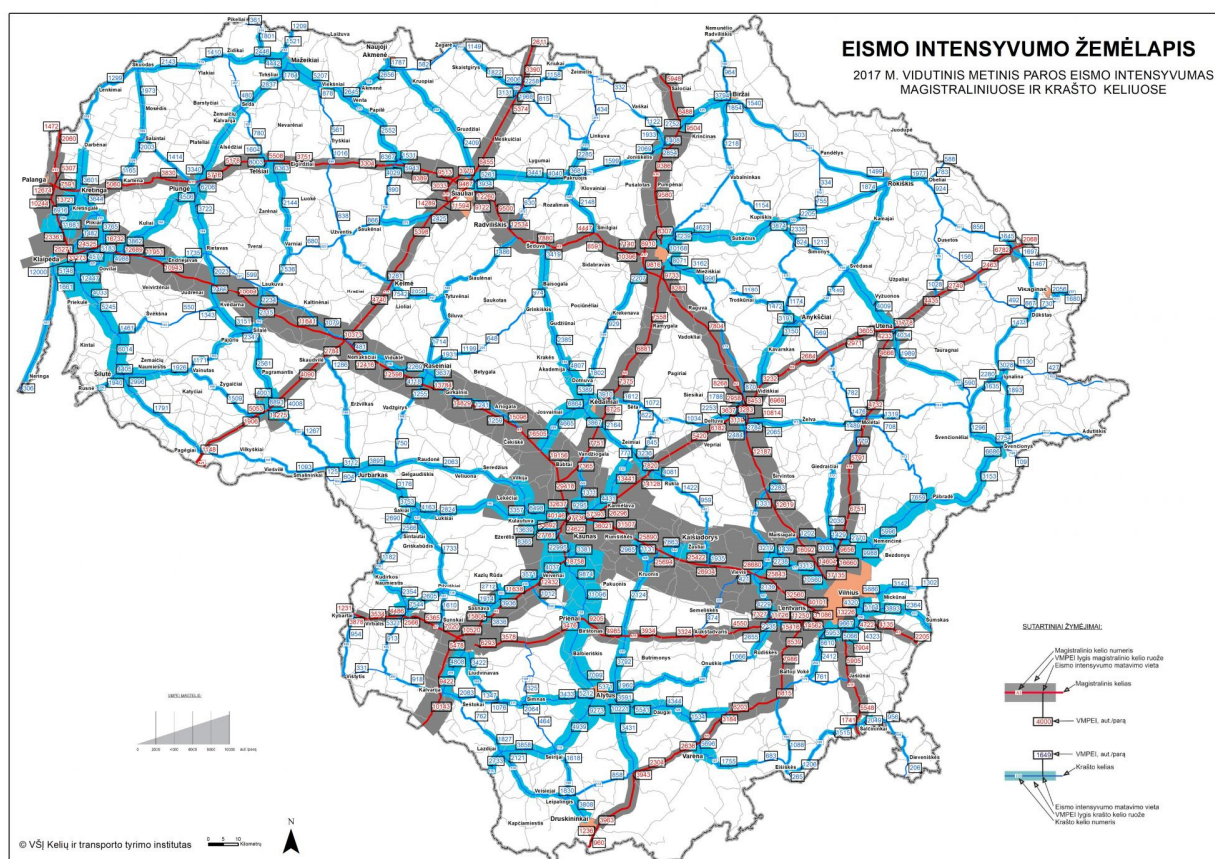
Eismo srautų duomenys yra labai svarbi PKSV sistemos dalis, kadangi dažniausiai intensyvumo dydis turi tiesioginę įtaką eismo įvykių skaičiui.

Remiantis tarptautiniu mastu pripažintu JAV leidiniu „Highway Capacity Manual 2010“ eismo infrastruktūros projektuose, kuriuose vertinamas eismo intensyvumas, rekomenduoja infrastruktūrą planuoti pagal 30 (iš 200) intensyviausios valandos duomenis (1.10 pav.).



1.10 pav. Valandinis eismo intensyvumas (*Transportation Research Board 2010*)

Lietuvoje eismo intensyvumo duomenis galima rasti Lietuvos automobilių kelių direkcijos pateiktame eismo intensyvumo žemėlapyje – VMPEI magistraliniuose ir krašto keliuose (1.11 pav.).



1.11 pav. 2017 metų VMPEI žemėlapis magistraliniuose ir krašto keliuose (*Lietuvos automobilių kelių direkcija 2018*)

Taip pat direkcija teikia detalesnius magistralinių, krašto ir rajoninių kelių duomenis atskirais ruožais bei transporto sudėtį tuose ruožuose.

Vis dėl to gaunamos informacijos kiekis, norint atlikti kelių/gatvių infrastruktūros projektus, yra per mažas ir ne pakankamai tikslus – trūksta detalaus eismo pasiskirstymo automobilių

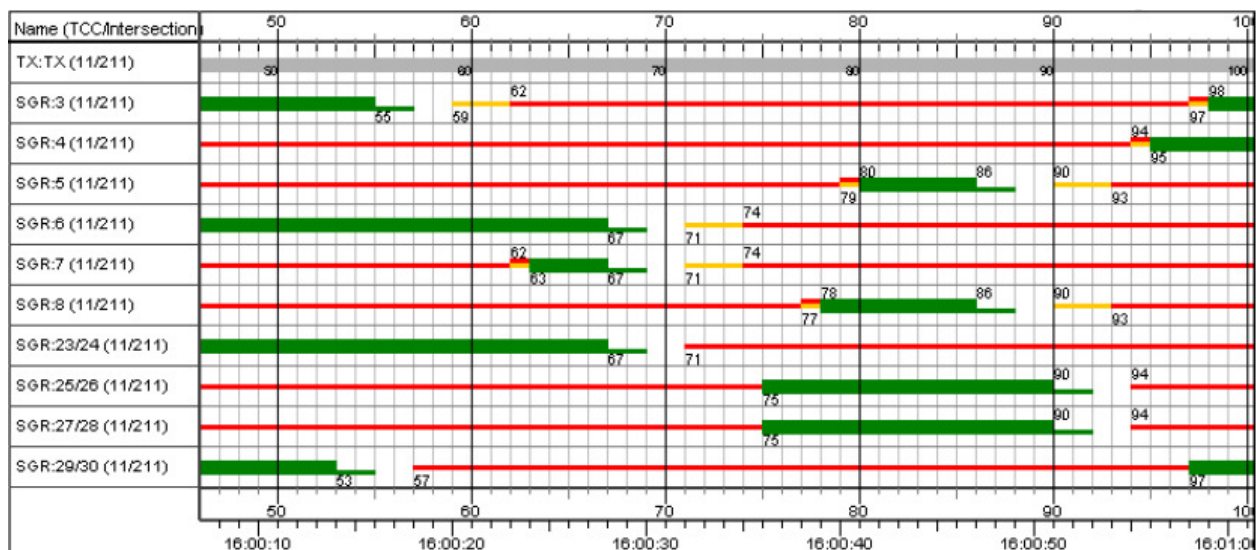
sankryžose, eismo intensyvumo duomenų miesto teritorijose bei skirtingomis metų dienomis kelių tinkle. Dažniausiai dėl jau minėtų duomenų trūkumo ir kitų specifinių priežasčių atliekami papildomi eismo srautų tyrimai.

1.3.3. Eismo infrastruktūros duomenys

Taip pat svarbi PKSV sistemos sudarymui duomenų rūšis – eismo infrastruktūros informacija, kurią sudaro eismo organizavimas, vertikalus, horizontalus ženklimas, numatytas greitis, ruožų ilgiai, eismo juostų skaičius ir plotis, šviesoforų valdymo programos.

Šios informacijos bazių ir registrų nėra, reikalingi duomenys, atliekant eismo planavimo projektus, surenkami ir užfiksuojami vaizdinės stebėsenos būdu.

Iš paminėtos eismo infrastruktūros informacijos yra žinoma, kad yra naudojamos centralizuota šviesoforų valdymo programų Lietuvos didžiuosiuose miestuose – Vilniuje, Kaune, pavyzdys pateiktas 1.12 paveiksle.



1.12 pav. Šviesoforo valdymo programa, Vilniaus sankryžoje

Tačiau šviesoforų valdymo programų informacija nėra viešai prieinama.

Taip pat sudarant PKSV sistemą reikia atsižvelgti į meteorologinių sąlygų poveikį eismo saugumui, nes reikia atsižvelgti į užtvindymo, kelio dangos nusidėvėjimo ir sniego, ledo susidarymo galimas grėsmes eismo saugumo lygiui analizuojamoje teritorijoje.

1.4. Programinės įrangos taikymas saugumo klausimams spręsti Lietuvoje

Pagrindinis Lietuvoje naudojamas įrankis sprendžiant eismo saugumo klausimus yra programinė įranga TARVA LT, kuri yra sukurta Suomijos techninių tyrimo centro sistemos pagrindu, remiantis Lietuvoje užfiksuotais duomenimis.

Didžiausios šios programinės įrangos privalumas – gebėjimas lyginti ir nustatyti efektyviausias inžinerines eismo saugumo priemones, remiantis statistikos duomenimis. 1.3 lentelėje pateikti mokslo uždaviniuose skaičiuotų eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai.

1.3 lentelė. Nagrinėto plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai

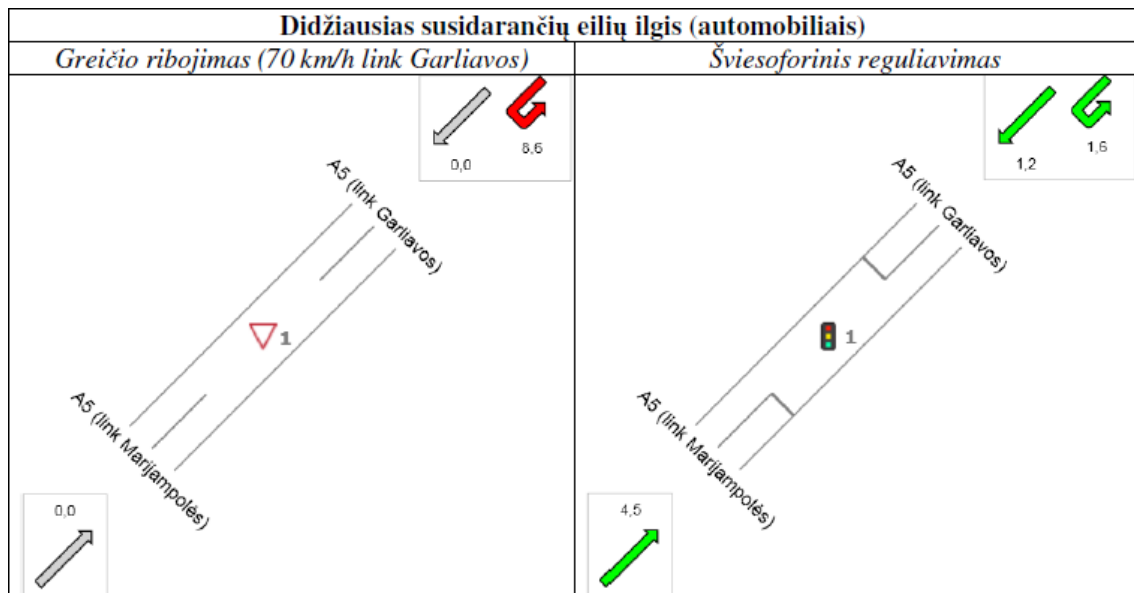
Nr.	Priemonės pavadinimas	Rida, mln. TP km/metus	Bendras tikėtinų EĮ pokytis/metus	Bendras EĮ pokytis/metus	Bendras tikėtinų mirtinų EĮ sk./metus	Bendras mirtinų EĮ pokytis/metus	Investicijos 1-am EĮ išvengti, 1000 €
105	Tinklo tvoros nuo pėsčiųjų/dviratininkų kelkraščiuose įrengimas (abejose pusėse)	0.73	0.29773	0.063	0.02152	0.0053	10
110	Iškilios pėsčiųjų perėjos įrengimas (50 km/h)	0.02	0.0096	0.001	0.00069	0.0001	694
414	X tipo sankryžos rekonstravimas į žiedinę	0.21	0.08644	0.028	0.00625	0.0030	517
Viso		0.94	0.38416	0.093	0.02777	0.0085	180

Šioje nagrinėtoje eismo infrastruktūros situacijoje, dėl didelio kiekio eismo įvykių nutinkančių dėl pėsčiųjų kaltės efektyviausias sprendimas, remiantis investicijomis, yra tinklo tvoros nuo pėsčiųjų/dviratininkų kelkraščiuose įrengimas.

Be jau minėtos TARVA LT, kitos tiesiogiai sprendžiančios eismo saugumo klausimus programos nėra naudojamos.

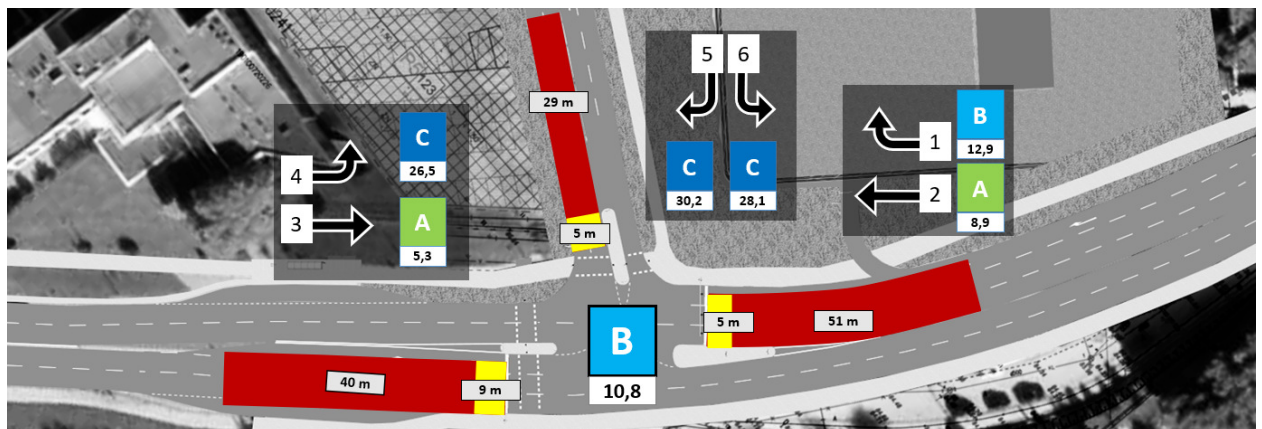
Netiesiogiai yra naudojami eismo mikromodeliavimo įrankiai, kurie padeda nustatyti susidarančias eismo laidumo sąlygas, galimus kamščius, eilių ilgius, ar kitas nedėkingas eismo sąlygas.

Viena iš paprastesnių mikromodeliavimo programų yra Sidra Intersection. Tai naujos kartos mikro analizės įrankis su pagrindinėmis inovatyviomis funkcijomis, įskaitant eismo juostomis pagrįsto tinklo modeliavimą. Įrankis apima visų tipų sankryžų analizę šviesoforu valdomas sankryžas, žiedines sankryžas bei kelio ženklais valdomas sankryžas viename tinkle. Sidra Intersection leidžia atskirų transporto klasių modeliavimą su skirtingomis priemonių savybėmis. Dėl aiškiai ir suprantamai sukuriamų rezultatų, eismo specialistai gali lengvai įvertinti eismo sąlygas laidumo bei saugumo atžvilgiais. 1.13 paveiksle pateiktas programinės įrangos sukurtas analizės formatas.



1.13 pav. Didžiausių susidarančių eilių ilgis (automobiliais), skirtinguose scenarijuose

Labiau kompleksinėms problemos šiuo metu naudojama pasaulyje pripažinta eismo modeliavimo programa PTV Vissim. Atliekant modeliavimą yra sukuriama tiksliai esamą (bei planuojamą) situaciją atkartojantis gatvių tinklas. Naudojamas realus eismo intensyvumas bei eismo sudėtis. Gali būti sumodeliuoti visi viešo transporto maršrutai, įtrauktas pėsčiųjų eismas siekiant sudaryti kuo panašesnes į realias eismo sąlygas, šviesoforų darbas simuliuojamas naudojant šviesoforinio valdymo programas. Atlikus simuliacijas yra apskaičiuojamos vidutinės automobilių prastovos sekundėmis, vidutinės bei maksimalios susidarančios eilės (žr. 1.14 pav.).



1.14 pav. Eismo kokybės lygis (LOS) ir susidarančių eilių ilgiai

Apibendrinus apžvalginės dalies informaciją:

1. PKSV procedūra Lietuvoje yra privaloma, tačiau dėl reto procedūros taikymo yra mažai žinoma;
2. Atliekant nagrinėjamą procedūrą ne tik Lietuvoje, bet ir kitose Europos šalyse nėra aiškios priemonės ir metodikos – šiuo metu jos yra vystomos;
3. Rekonstruojant Lietuvos kelių tinklo ruožus galima taikyti eismo įvykių prognozavimo bei inžinerinių saugaus eismo priemonių efektyvumo vertinimo programą Tarva LT.

2. ANALITINĖ DALIS

Baigiamojo darbo analitinėje dalyje yra koncentruojamasi į kompleksiausias ir įvairiais metodais atliekamą PKSV procedūros dalį – sprendinių vertinimą.

Skyriuje yra analizuojami ir detaliai apžvelgiami 3 įrankių pagrindiniai veikimo principai, paketų taikymo galimybės: eismo įvykių prognozavimo ir inžinerinių saugaus eismo priemonių efektyvumo vertinimo programa **Tarva LT**, eismo srautų mikroskopinio modeliavimo programa **PTV Vissim** ir eismo srautų makroskopinio modeliavimo programa **PTV Visum**.

2.1. Kelių tinklo saugumo vertinimo programa Tarva LT

Lietuvoje šiuo metu naudojama programa Tarva LT, kurios funkcijos yra šios:

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 (Jasiūnienė 2012).

Tarva LT duomenų bazę sudaro duomenys apie valstybinės reikšmės automobilių kelių geometrinius parametrus, eismo sąlygas, VMPEI, eismo įvykių duomenis ir pan. Programa 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 (Jasiūnienė 2012).

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 skaičiui (Jasiūnienė 2012).

Tarva LT programoje yra atliekamas keturių fazių procesas (2.1 pav.):

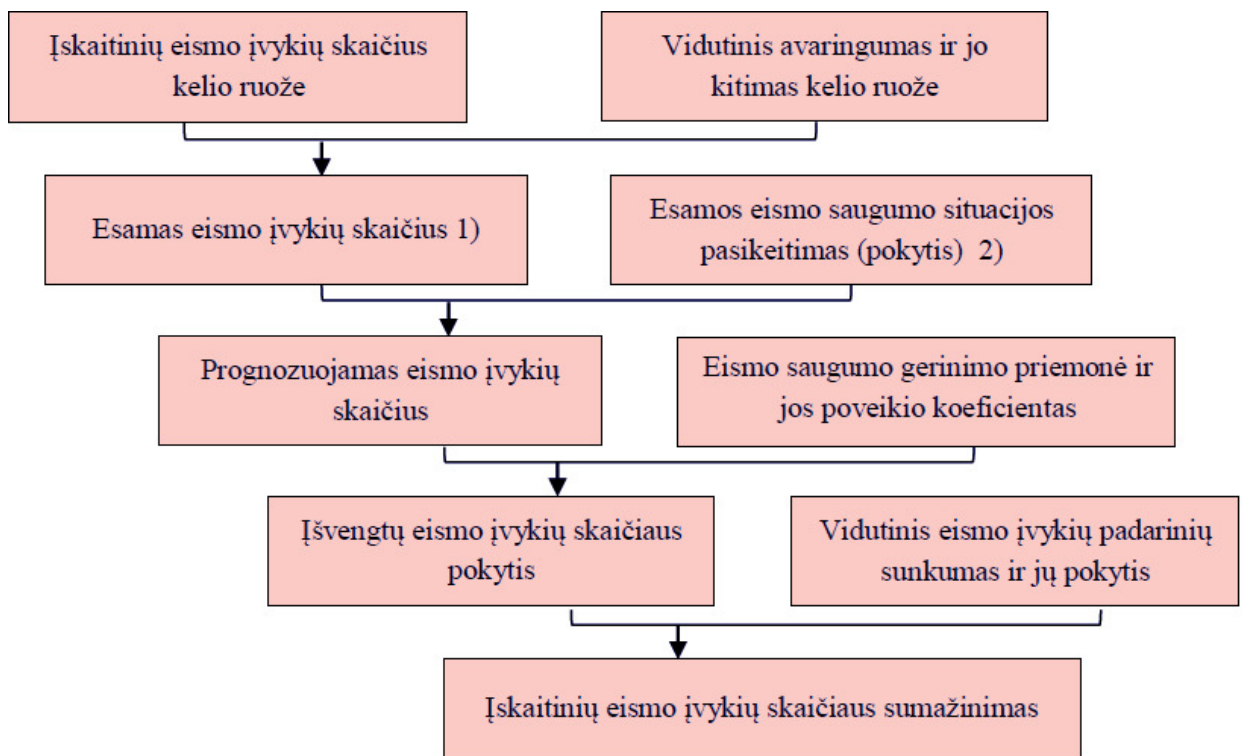
1. Kiekviename homogeniniame kelio ruože apskaičiuojamas tikėtinasis eismo įvykių skaičius remiantis istoriniais eismo įvykiais, transporto priemonių rida arba atvažiuojančių transporto priemonių skaičiumi, bei vidutiniu avaringumo lygiu panašiose sąlygose. Į bendrą formulę sujungiami istoriniai eismo įvykiai ir tikėtinų eismo įvykių modelis ir atsitiktinių eismo įvykių pokytis. Nelaimingų eismo įvykių reikšmės, lyginant su eismo įvykių prognozės modelio reikšmėmis, priklauso nuo sisteminio pakitimo proporcijos. Sankryžų bei kirtimų įvertinimas atliekamas panašiu principu, šiuo atveju naudojamas tik

atvažiuojančių transporto priemonių skaičius. Eismo įvykių skaičiavimuose modelis naudojamas 3 skirtingoms eismo įvykių rūšims:

- Tik su motorinėmis transporto priemonėmis;
- Nukentėję pėstieji arba dviratininkai;
- Su gyvūnais.

Šis išskirstymas atliekamas, kadangi skirtingos eismo saugumo priemonės dažniausiai turi skirtingą poveikį aprašytoms eismo įvykių rūšims.

2. Norint atlikti tikslų eismo įvykių prognozavimą, neatliekant jokių pakitimų, reikia įvertinti eismo intensyvumo didėjimą. Taip pat tam tikru koeficientu reikia įvertinti, jeigu reikia, pasikeičiančią žemės panaudojimo funkciją.



2.1 pav. Eismo saugumo priemonių poveikio įvertinimas TARVA LT programa (Peltola 2012)

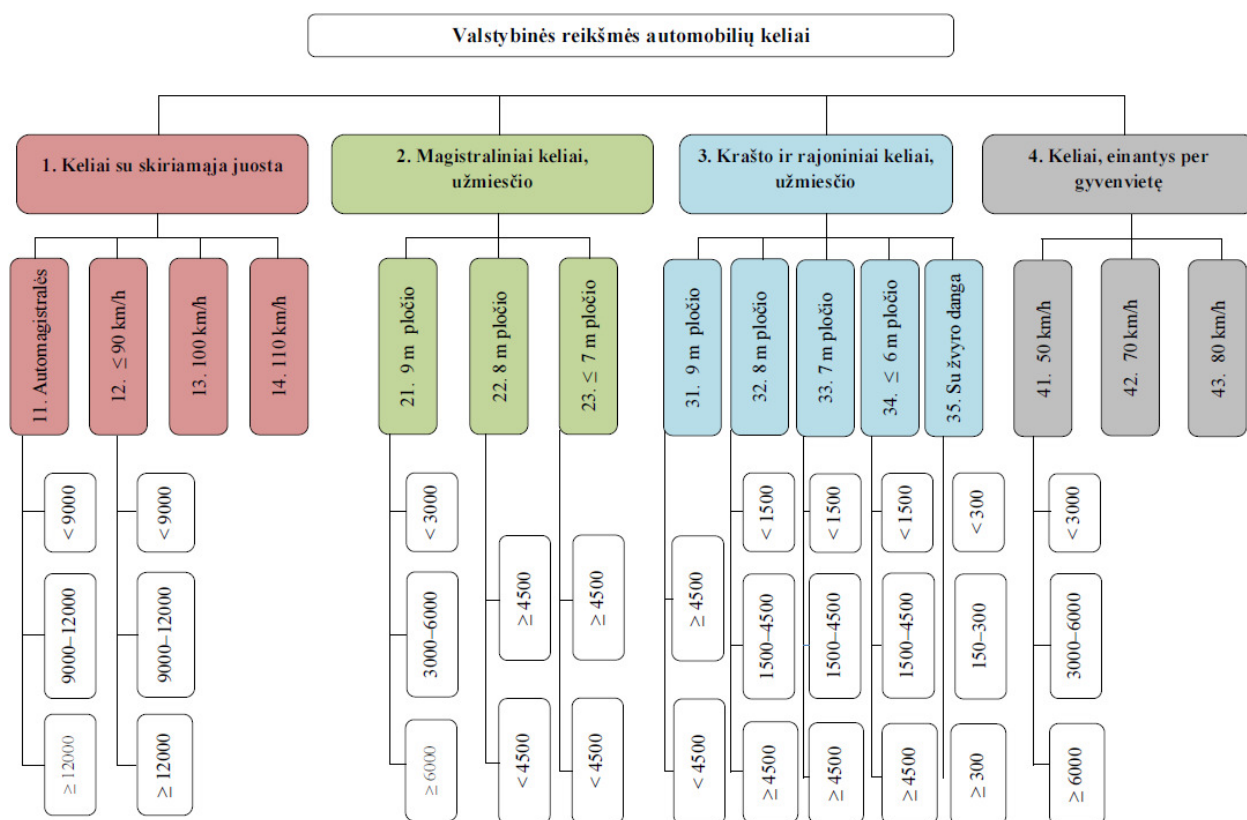
Pastaba: čia 1) – tinkamas esamos eismo saugumo situacijos įvertinimas

2) – pavyzdžiui, eismo ar kelio aplinkos pasikeitimas

3. Eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumas išreiškiamas poveikio koeficientais (angl. *CMF*). Poveikio koeficientai gauti atlikus daugelį mokslinių tyrimų įvairiose šalyse, atsižvelgiant į skirtumus tarp eismo organizavimo ir eismo dalyvių elgesio. Kaip pavyzdį galima pateikti eismo saugumo priemonės įgyvendinimą – žiedinės sankryžos įdiegimą, kuris neturi įtakos eismo įvykiams su gyvūnais, tačiau sumažina 15 % eismo įvykių tikimybę su pėsčiaisiais arba dviratininkais, o tik tarp motorinių transporto priemonių net iki 50 %;

4. Įdiegus eismo saugumą gerinančias priemones gali ir toliau įvykti eismo įvykiai, tačiau sumažėti jų pasekmės. Programa šiuos pokyčius įvertina naudojant kiekvieną eismo saugumo priemonę. 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 (Peltola 2012).

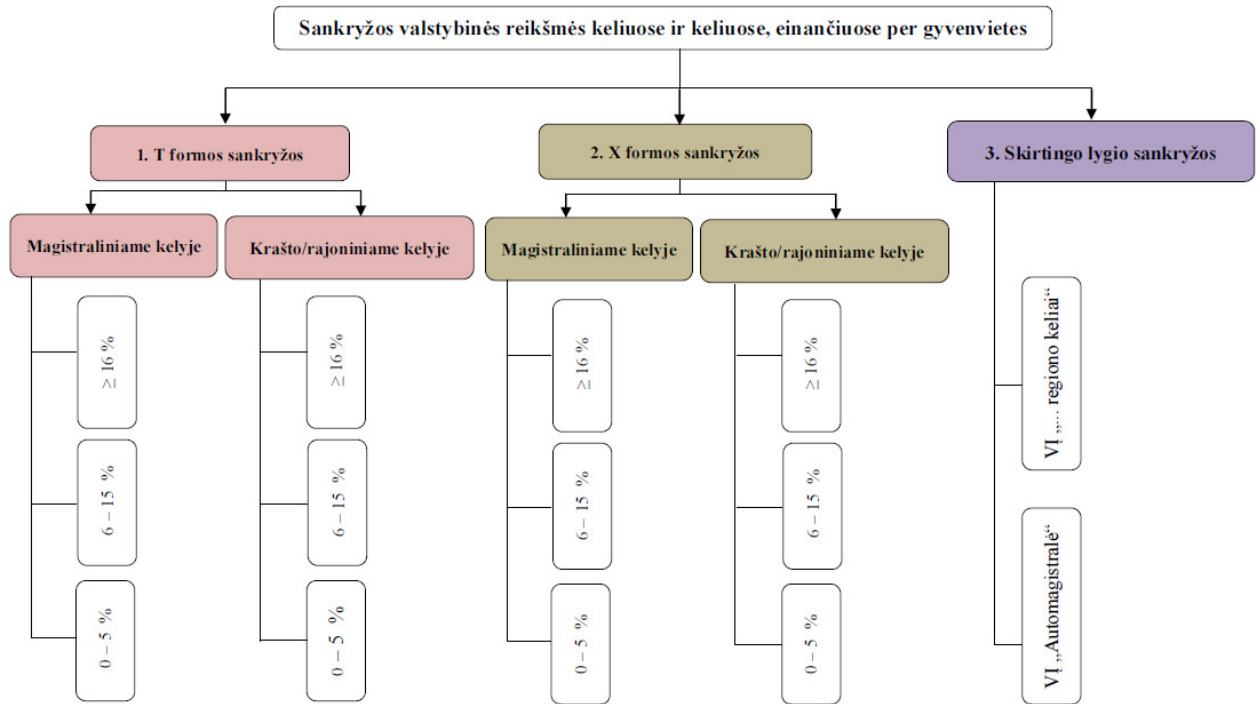
Tarva LT programoje kelių ruožų homogeninės grupės yra sudarytos naudojant 4 kriterijus: kelio reikšmę, kelio skersinį profilį, leistiną važiavimo greitį ir eismo intensyvumą (2.2 pav.).



2.2 pav. Kelių ruožų skaidymo į homogenines grupes schema (Jasiūnienė 2012)

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 (Jasiūnienė 2012).

Sankryžų grupės yra sudarytos remiantis trimis kriterijais: sankryžos tipu, kelio reikšme ir eismo intensyvumu sankryžoje (iš šalutinio kelio į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių proporcija nuo visų į sankryžą įvažiuojančių transporto priemonių) (2.3 pav.).



2.3 pav. Sankryžų skaidymo į homogenines grupes schema (Jasiūnienė 2012)

Visame kelių tinkle yra 1454 sankryžos, iš kurių 898 sankryžos yra „T“ formos, 468 sankryžos yra „X“ formos bei likusios 88 yra skirtingo lygio sankryžos.

Kiekvienai homogeninei grupei sudaryti matematiniai eismo įvykio prognozavimo modeliai trimis eismo įvykių grupėms:

$$\text{Matematinis_EIPM}_{gr_j} = AK_{gr_j} = \lambda = \frac{A_j \times 10^8}{365 \times m \times L_{gr_j} \times VMPEI_{gr_j}}, \quad (2.1)$$

$$VMPEI_{gr_j} = \frac{(L_1 \times VMPEI_1) + (L_2 \times VMPEI_2) + (...) + (L_i \times VMPEI_i)}{\Sigma L} e, \quad (2.2)$$

čia: $\text{Matematinis_EIPM}_{gr_j}$ – matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis homogeninei grupei j ; A_j – eismo įvykių skaičius per nagrinėjamą laikotarpį homogeninėje grupėje j ; L_{gr_j} – kelių ruožų grupėms: bendras homogeninės grupės j ruožų ilgis, km; sankryžų grupėms: ilgis priklauso nuo sankryžoje susikertančių kelių skaičiaus padauginus iš 0,2, km; m – nagrinėjamas laikotarpis, metais; $VMPEI_{gr_j}$ – 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 (Jasiūnienė 2012).

Pasitelkus empirinį Bajeso metodą galima apskaičiuoti kiekvieno ruožo arba sankryžos prognozuojamą eismo įvykių skaičių:

$$A_{prog_i} = (\alpha \times Matematinis_EIPM_{gr_j}) + ((1 - \alpha) \times A_{istor_i}), \quad (2.3)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \lambda/k}, \quad (2.4)$$

čia: A_{prog_i} – prognozuojamas eismo įvykių skaičius kelio ruože i ; α – svorinis koeficientas; $Matematinis_EIPM_{gr_j}$ – matematinis eismo įvykių prognozavimo modelis homogeninei grupei j , kuriai priklauso kelio ruožas i ; A_{istor_i} – istorinių eismo įvykių skaičius kelio ruože; λ – bendras tikėtinas eismo įvykių skaičius visai homogeniškų ruožų grupei, nustatytas matematiniais eismo įvykių prognozavimo modeliais; k – modelio atitikimo kriterijus (Jasiūnienė 2012).

Turint tam tikro ruožo prognozuojamą eismo įvykių skaičių, kuris yra paremtas matematiniais modeliais, galima įvertinti potencialių eismo saugumą gerinančių priemonių naudą pagal formulę:

$$\begin{aligned} &\text{Prognozuojami EI po priemonės įdiegimo} = \\ &\text{Prognozuojami EI} \times \text{Priemonės poveikio koeficientas}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

čia: prognozuojami EI – prognozuojamas eismo įvykių skaičius nagrinėjamame kelyje ar kelio ruože, jeigu nebus diegiamos eismo saugumą gerinančios priemonės.

Priemonės poveikio koeficientas – koeficientas, rodantis kiek kinta prognozuojamų eismo įvykių skaičius, įdiegus eismo saugumą gerinančią priemonę.

Priemonės poveikio koeficientas yra esminis rodiklis atliekant ekonomines analizes ir nustatant efektyviausias eismo saugumo priemones (Jasiūnienė 2015).

Priemonės poveikio koeficiento reikšmė, kuri yra mažesnė už 1.0, nurodo, kad eismo saugumo priemonė turi potencialą sumažinti eismo įvykių skaičių.

Pavyzdys: koeficiento reikšmė įdiegus eismo saugumo kalnelį urbanizuotoje teritorijoje yra 0.86. Ši reikšmė nurodo, kad atliktas sprendinys sumažina eismo įvykių skaičių 14 %.

Taip pat reikšmė gali būti didesnė nei 1.0, tai reiškia, kad eismo saugumo priemonė turi potencialą padidinti eismo įvykių skaičių.

Pavyzdys: koeficiento reikšmė įdiegus eismo saugumo kalnelį dviračių perėjime per motorizuoto transporto gatvę yra 1.15. Ši reikšmė nurodo, kad šis sprendimas padidina bendrą eismo įvykių skaičių 15 %.

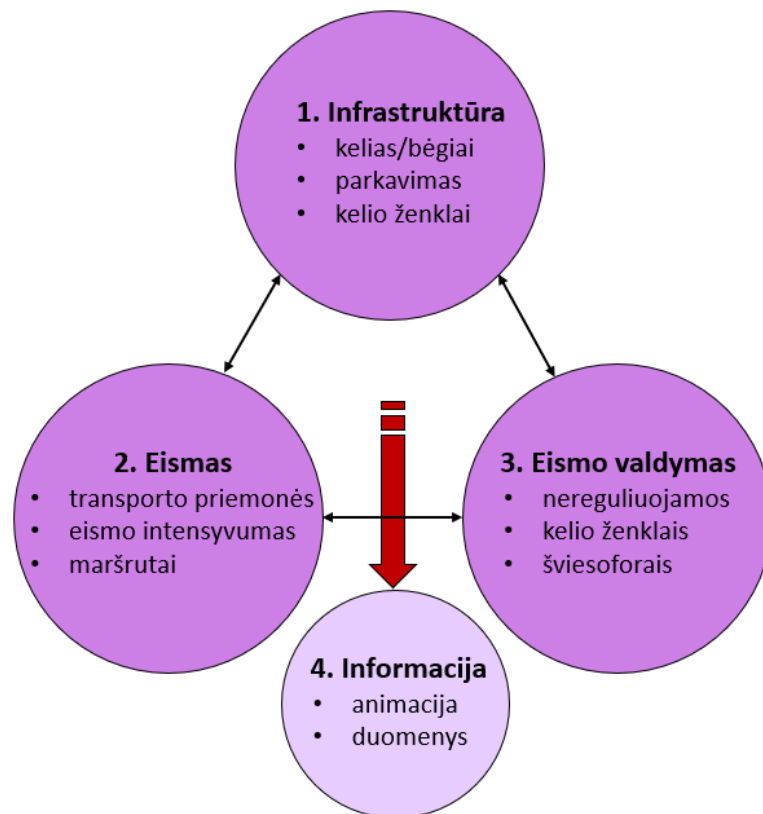
2.2. Mikroskopinio modeliavimo programa PTV Vissim

Vissim yra viena iš pažangiausių mikroskopinio modeliavimo programinių įrangų visame pasaulyje, kuri skirta atlikti įvairaus transporto – lengvųjų automobilių, krovininio transporto, traukinių, tramvajų, autobusų, taip pat pėsčiųjų, dviratininkų detalią simuliaciją bei analizę. Programinis paketas pasižymi realistiškumu ir tikslumu atkuriant eismo sąlygas, tai leidžia įvertinti įvairius eismo pakitimo scenarijus prieš jų realizavimą. PTV Vissim šiuo metu naudojamas globaliu mastu tiek viešojo sektoriaus, tiek privataus sektoriaus – konsultavimo įmonių.

2.2.1. Sistemos architektūra

Bet kokia eismo simuliacija naudoja matematinius modelius, kurie atitinka transporto pasiūlos sistemą, imituojančią techninius ir organizacinius fizinio transporto aprūpinimo aspektus. Taip pat modelis turi būti sugeneruotas taip, kad atliktų eismo dalyvių paklausos keliones transporto pasiūlos sistemoje. Priešingai nei makroskopiniuose transporto modeliuose, eismo valdymas turi būti labai tiksliai atkuriamas. Dėl to modeliavimo programą sudaro 3 pagrindiniai kūrimo blokai ir vienas papildomas blokas, kuris sugeneruoja atliekamos simuliacijos uždavinio rezultatus.

3 pagrindiniai blokai yra infrastruktūra, eismas ir eismo valdymas, papildomas blokas – informacija. Visi blokai tarpusavyje vienas nuo kito yra priklausomi (2.4 pav.).



2.4 pav. Modelio kūrimo blokų schema (Barcelo 2010)

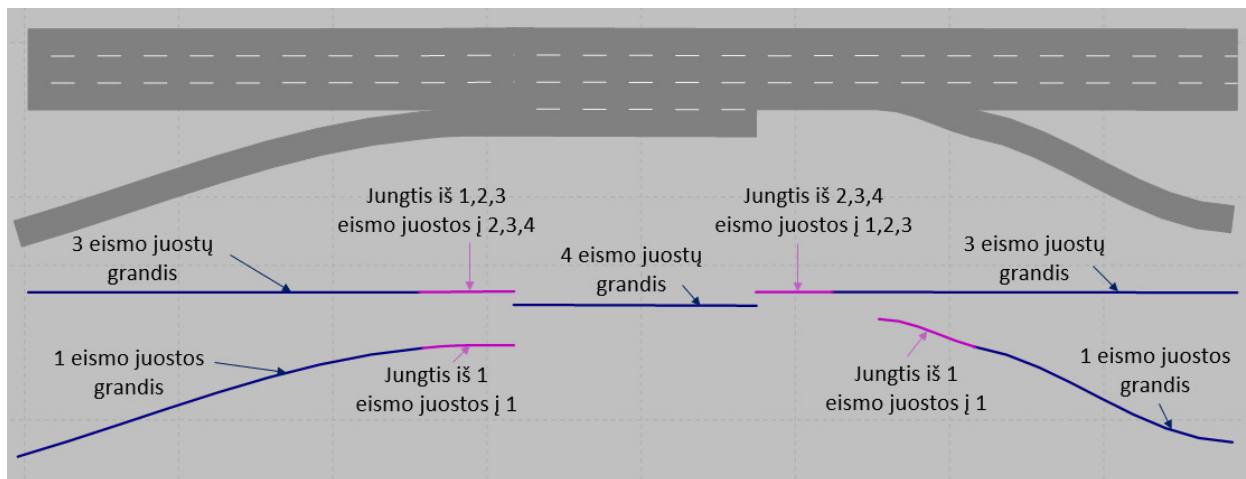
Atliekant eismo srautų modeliavimo simuliaciją transporto priemonės (blokas Nr. 2) galimai aktyvuotų kelyje esančius detektorius (blokas Nr. 1), kurie turėtų įtaką veikiančiam adaptyviam šviesoforiniam valdymui (blokas Nr. 3). Taigi eismo simuliacijos metu visi blokai nuolat tarpusavyje sąveikauja (Barcelo 2010).

1) Infrastruktūros modeliavimas

Dažniausiai bet koks kelio ar gatvių tinklas vaizduojamas mazgais ir grandimis, kurios apjungia mazgus. Programinis paketas Vissim naudoja lankstesnį metodą ir naudoja tik grandis. Vis dėl to, papildomai šias grandis papildo jungtys, kurios naudojamos sujungti, perkirsti ir padalinti esamą kelio ar gatvių tinklą. Jungtys gali būti įterptos tik tarp dviejų grandžių, taip pat jos turi įvairius parametrus ir pasirinkimus tokius kaip kokias grandžių eismo juostas tai sujungia, ar kokios transporto priemonės gali naudotis jungtimi ir kt.

Kiekviena tinklo dalis turi tam tikras savybės kaip unikalus identifikacijos numeris, koordinatės plokštumoje, eismo juostų skaičius bei kiekvienos juostos plotis ir t.t. Taip pat gali būti įvestos šalutinės savybės nestandartiniuose eismo simuliacijų užduotyse kaip z-koordinatės reikšmė, infrastruktūros naudojimosi kaina, draudžiamų manevrų įvedimas.

Jei grandžių savybės nesikeičia, jos yra pratęsiamos iki tol, kol jas reikia pakeisti. Žemiau pateiktame 2.5 paveiksle parodoma 1 eismo juostos grandies prisijungimas prie 3 eismo juostos grandies.



2.5 pav. Modelio tinklo segmentas

Tinklą sudaro dvi 3 eismo juostų grandys, viena 4 eismo juostų grandis, dvi 1 eismo juostos grandys bei keturios jungtys, kurios susieja visas grandis.

Taip pat verta paminėti ir kitus svarbius infrastruktūros elementus:

- Greičio ribojimo ženklai. Kai transporto priemonės pravažiuoja kelio ženklą, jų greitis koreguojamas į nurodytą kelio ženkle.

- Pirmumo ženklai Nr. 203 „Duoti kelią“ ir Nr. 204 „Stop“ priverčia transporto priemones važiuojančias iš šalutinio kelio praleisti automobilius važiuojančius pagrindiniu keliu.
- Šviesoforo signalai dažniausiai sudedami ant fizinės sustojimo juostos ir indikuoja žalią bei raudoną šviesoforo signalą.
- Viešojo transporto sustojimo vietos nurodo vietas, kur turi sustoti ir išleisti, įlaipinti keleivius.
- Greičio zonos dažniausiai naudojamos posūkių manevruose, laikinai sumažinant transporto priemonių greitį.
- Automobilių stovėjimo vietos neprivalomas elementas, kuris naudojamas kelionės kilmės ir tikslo sudarymui, norint atlikti simuliaciją su dinamiškai kelionės maršrutais.

2) Eismo modeliavimas

Po fizinio infrastruktūros plano apibrėžimo modeliavimo sistemoje, transporto priemonės važiuojančios šiame tinkle turi būti apibūdintos. Tuo tarpu kai privatus transportas galimai ieškos trumpiausio galimo maršruto, viešasis transportas naudosis iš anksto numatytais maršrutais bei sustojimais. Autobusai, kurie važiuoja nereguliariu maršrutu, turėtų būti modeliuojami kaip privatus transportas.

Tipinės privataus transporto klasės yra sunkiasvoris transportas, lengvieji automobiliai, dviratininkai bei pėstieji. Kiekviena klasė turi skirtingas technines ypatybes kaip ilgis, plotis, greitėjimo ir lėtėjimo pagreičio reikšmės, maksimalus greitis. Tinkamas transporto priemonių pasiskirstymas turi įtaką modeliuojamoms eismo sąlygoms bei rezultatams – prastovoms, eilių ilgiams ir kt. Daugumoje modeliavimo studijų transporto priemonių plotis neturi jokios įtakos, tačiau jų ilgis yra labai svarbi charakteristika. Skirtingų transporto klasių naudojimas kartais būna labai svarbus surenkant specifinius duomenis tokius kaip sunkiasvorio transporto kelionės ilgis modeliuojamame tinkle.

Automobiliai yra sugeneruojami atsitiktine seka grandžių pradžiose bei automobilių stovėjimo vietose, kurios gali būti bet kuriame tinklo taške. Atvažiuojančių transporto priemonių kiekis kiekviename laiko intervale $[0, t]$ remiasi Poisson'o pasiskirstymu, kiekio vidurkis $= \lambda \cdot t$, „ λ “ reikšmė yra išreiškiama transporto priemonių per valandą matu. Laiko tarpas „ x “ tarp dviejų atsirandančių automobilių yra išreiškiamas eksponentiniu pasiskirstymu, kurio vidurkis yra $1 / \lambda$. Tiksliai laiko tarpo reikšmė gali būti apskaičiuota žemiau pateikta formule:

$$f(x, \lambda) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (2.6)$$

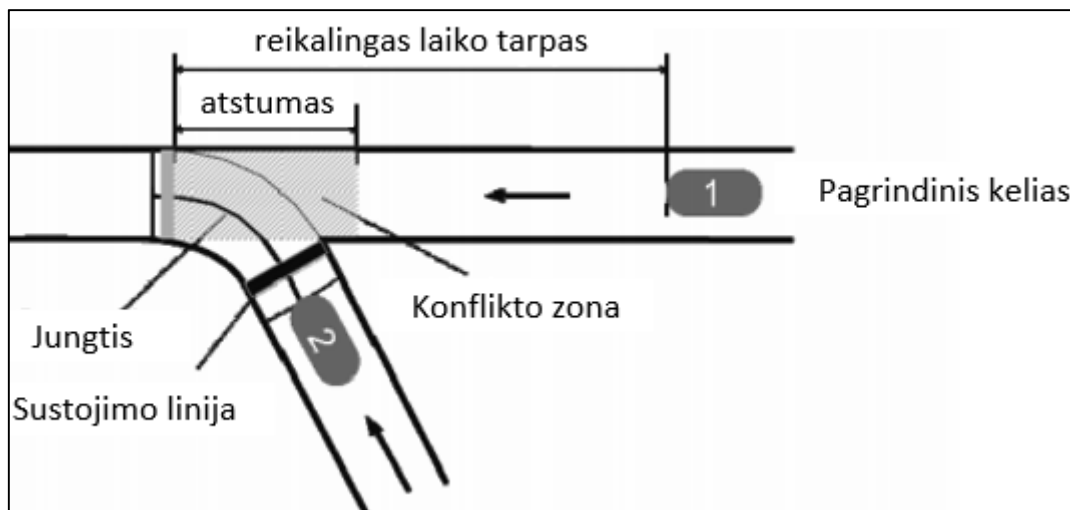
Jeigu eismo kiekis viršija grandies laidumą, tada automobiliai susikaupia tinklo išorėje iki tol, kol atsiranda laisva vieta (Barcelo 2010).

3) Eismo valdymas

Sankryžos, kurios yra reguliuojamos ne šviesoforais, yra modeliuojamos naudojant prioritetų taisykles. Šios taisyklės yra naudojamos modeliuojant:

- Nereguliuojamas sankryžas, kuriose eismas vyksta dešinės rankos taisykle.
- Reguluojamas kelio ženklais sankryžas, kuriose šalutiniu keliu važiuojantis transportas turi praleisti automobilius važiuojančius pagrindiniu keliu.
- Sankryžas, kuriose yra kelio ženklai Nr. 204 „Stop“.
- Žiedinės sankryžos, kuriose automobiliai įvažiuojantys į žiedą turi praleisti transporto priemonės jau važiuojančias žiedu.
- Susiliejančias eismo juostas, kuriose šalutiniu keliu važiuojantis transportas turi prisitaikyti prie pagrindiniu keliu važiuojančio srauto.
- Pusiau suderinamus manevrus šviesoforinėse sankryžose tokius kaip kairiojo posūkio manevro konfliktas su priešais atvažiuojančiu srautu arba pėsčiųjų perėja einančiais pėsčiaisiais ir kt.
- Taip pat daugelis kitų nestandartinių eismo situacijų, kaip užtrauktuko principo modeliavimas, unikalios-netipinės sankryžos ir t.t.

Paveiksle 2.6 pavaizduota prioriteto taisyklių koncepcija.



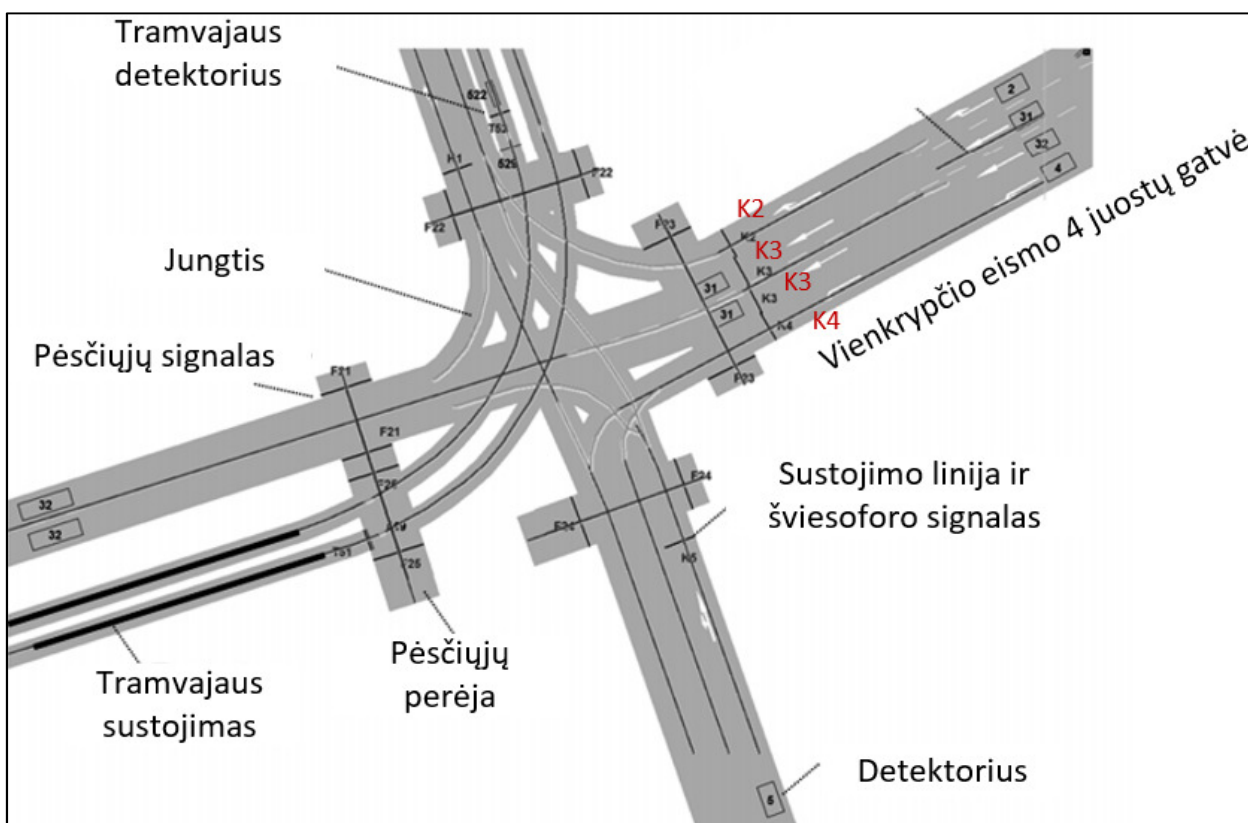
2.6 pav. Prioriteto taisyklės koncepcija (Barcelo 2010)

Prioriteto taisyklę sudaro sustojimo linija, kuri apibrėžia laukimo vietą automobiliui Nr. 2 šalutiniame kelyje. Šioje vietoje automobilis Nr. 2 stebi ar atstumo zonoje nėra kito automobilio pagrindiniame kelyje. Atstumas prasideda konflikto zonos pabaigoje. Taip pat šalutiniame kelyje esantis automobilis apskaičiuoja per kiek laiko pagrindiniame kelyje esantis automobilis Nr. 1 atvažiuos iki konflikto zonos, jei šis laikas yra mažesnis už reikalingą laiko tarpą pravažiuoti

nesusiduriant abejoms transporto priemonėms automobilis Nr. 2 manevro neatlikinės bei toliau lauks tinkamo momento.

Kaip jau anksčiau minėta šviesoforo signalai yra infrastruktūros dalis, tačiau pats programos valdymas priklauso eismo valdymo blokui. Dalis infrastruktūros šviesoforo signalų gali priklausyti taip pačiai valdymo programos grupei.

2.7 paveiksle pateikta šviesoforais reguliuojamos sankryžos su tramvajais pavyzdys. Rytinėje sankryžos dalyje 2 eismo juostose, kuriose leidžiamas manevras „tiesiai“ yra reguliuojamas signalo K3, manevras į dešinę – K2, o į kairę – K4. Esant skirtingam eismo srautų pasiskirstymui sankryžoje šviesoforo valdymo programa gali būti pakeičiama ir optimizuota.



2.7 pav. Šviesoforais reguliuojama sankryža su tramvajais (Barcelo 2010)

4) Informacija

Eismas gali būti animuojamas tiek dvejose, tiek trijose dimensijose (2.8 pav.). Ši funkcija leidžia programos naudotojams sukurti realistišką vaizdinę medžiagą AVI formatu. Vaizdinė medžiaga gali būti detalizuojama pasitelkiant orto fotografines nuotraukas, CAD brėžinius, pastatų modelius arba net atliekant specialia vizualizacijos programa Autodesk 3DS Max.

Vaizdinė medžiaga naudinga atliekant įvairius infrastruktūros projektus, komunikuojant tarp inžinierių, užsakovų bei infrastruktūros valdytojo.



2.8 pav. Animacijos pavyzdys

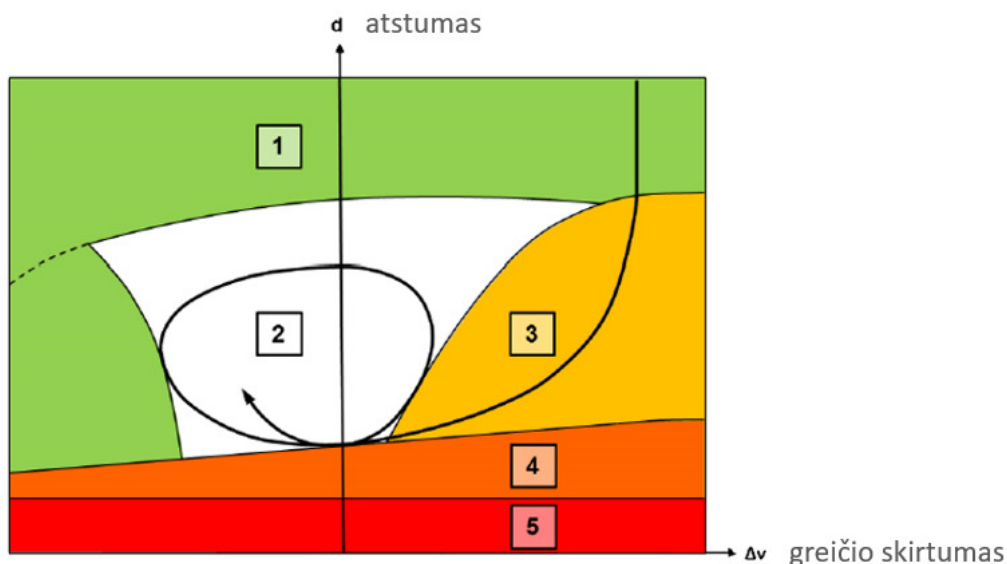
Taip pat be minėtos vizualizacijos gali būti inžineriniu aspektu svarbesni infrastruktūros efektyvumo rodikliai: gaišties laikas (angl. *delay*), maksimalus eilės ilgis (angl. *maximum queue length*), vidutinis važiavimo greitis (angl. *average travel speed*) ir kt.

2.2.2. Fundamentiniai pagrindiniai programinės įrangos modeliai

Aptarti matematiniai kūrimo blokai apibrėžia sistemos architektūrą, tačiau šių modelių nepakanka, kad programoje būtų atkurtos realios eismo sąlygos užfiksuotos tyrimų metu.

Labai svarbus aspektas atkuriant realistiškas eismo srautų sąlygas yra transporto priemonių tarpusavio sąveika, kuri programoje yra aprašyta kaip psichofizinis suvokimo modelis Wiedemann. Šis modelis sukuria vairavimo elgesio (angl. *driving behaviour*) simuliaciją – transporto priemonių judėjimo atkartojimą, remiantis 3 matematiniais modeliais.

- Sekimo modelis, kurį sudaro 5 būsenos (žr. į 2.9 pav.):



2.9 pav. Wiedemann psichofizinis suvokimo modelis (PTV Group 2018)

1. Laisvas judėjimas. Vairuotojas juda pageidaujamu greičiu, nesant jokioms fizinėms kliūtims (šviesoforo signalams, kitoms transporto priemonėms).
2. Sekimas. Vairuotojas stengiasi išlaikyti saugų atstumą tarp kitos transporto priemonės.
3. Priartėjimas. Vairuotojas pastebi lėčiau judančią transporto priemonę ir sumažina greitį.

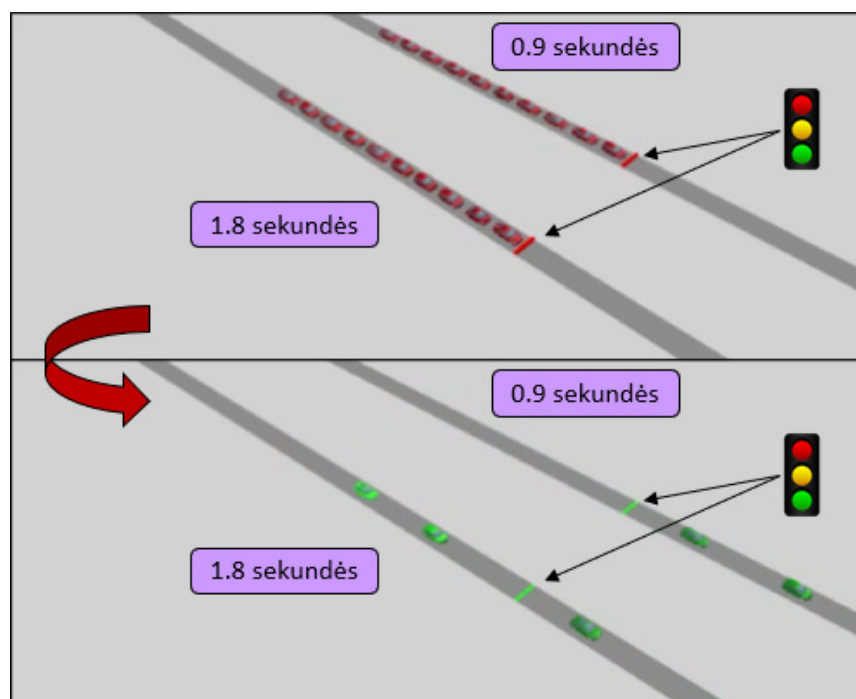
4. Stabdymas. Vairuotojas pastebi dėl tam tikrų priežasčių stabdančią transporto priemonę ir taip pat sumažina greitį.
5. Susidūrimas. Hipotetinė būseną, kuri pasireiškia esant tam tikroms sukurto modelio architektūros klaidoms (PTV Group 2018).

Kintant atstumui tarp transporto priemonių ir greičio skirtumui eismo modelyje nuolat keičiasi kiekvieno eismo dalyvio būseną.

- Eismo juostos keitimo modelis, kurį sudaro 2 būsenos:
 1. Laisvas persirikiavimas. Pasireiškia, kai greitesnė transporto priemonė turi galimybę kitoje eismo juostoje aplenkti lėčiau važiuojančią.
 2. Priverstinis persirikiavimas. Transporto priemonė važiuodama tam tikru maršrutu yra priversta pakeisti eismo juostą.
- Šoninis eismo juostos elgsenos modelis. Padėtis eismo juostoje svarbi, norint vienai transporto priemonei aplenkti kitą. Šis atvejis gali būti naudojamas analizuojant dviračių gatves.

Atliekant eismo srautų modeliavimą ir remiantis eismo srautų tyrimų medžiaga, kiekvienas iš šių 3-jų modelių yra kalibruojamas, t.y. – keičiami įvairūs parametrai tokie kaip: minimalus atstumas tarp transporto priemonių, reakcijos laikas, laikinas dėmesio stygius, vairuotojų stebėjimo atstumas į priekį ir atgal, transporto priemonių stebėjimo skaičius t.t.

Šie parametrai lemia pralaidumo, persirikiavimo greičio, išvažiavimo iš šalutinio kelio laikus. Žemiau pateiktame pavyzdyje pateikta skirtingos (0,9 s ir 1,8 s) vairuotojų reakcijos įtaka eismo laidumui, važiuojant pro šviesoforą.



2.10 pav. Vairuotojų reakcijos laiko įtaka laidumui

2.2.3. Saugumo vertinimo modelis (SSAM)

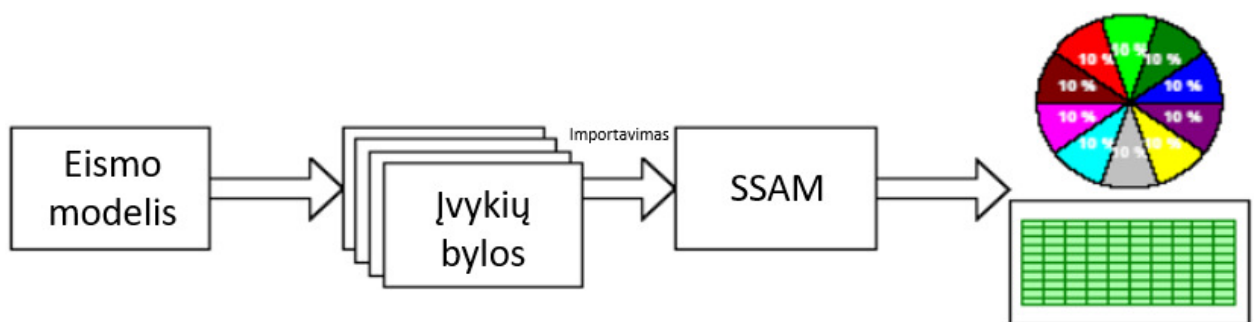
Modelis SSAM (angl. *Surrogate Safety Assessment Model*) yra JAV transporto departamento (FHWA) plėtojama technologija, kurios esmė yra naudojant eismo modeliavimo įrankius, skirtus įvertinti eismo laidumo charakteristikas, atlikti eismo saugumo analizę.

Programa naudoja įvykstančius transporto priemonių konfliktus simuliacijų metu. Pagrindinis įrankio tikslas automatizuoti konfliktų analizę. Programinės įrangos vystymo metu buvo iškelti šie pagrindiniai uždaviniai:

- Nustatyti duomenų reikalavimus bei sukurti universalų duomenų formatą, trajektorijų bylos formatą, kuris lengvai būtų palaikomas naudojamose eismo modeliavimo programose.
- Sukurti algoritminį metodą, kuris apibrėžtų duomenų reikalavimus, atliktų efektyvų identifikavimą bei klasifikavimą bei pateiktų apibendrintus eismo saugumo rodiklius.
- Pateiktų aiškia vizualizaciją bei apibendrintus eismo saugumo rodiklius.
- Bendradarbiaujant su didžiausiais eismo srautų modeliavimo vystytojais įdiegti SSAM modulį į jų programas (Aimsun, Paramics, Texas, **Vissim**) (Gettman *et al.* 2008).

Skyriuje 2.2.1 aprašytame informacijos bloke, kurio esmė yra įvairių duomenų gavimas iš esančio eismo modelio yra galimybė gauti trajektorijų bylos formatą – „trj“.

SSAM apdoroja duomenis apibūdinančius transporto priemonių trajektorijas užfiksuotas infrastruktūros dalyje (pvz. sankryža) ir identifikuoja konfliktus. Modelis apskaičiuoja eismo saugumo rodiklius tarp kiekvienos transporto priemonių sąveikos bei nustato, kurie rodikliai yra kritiniai ir gali būti traktuojami kaip konfliktas. Paveiksle 2.11 pateiktas preliminarinė veikimo schema.



2.11 pav. SSAM modelio veikimo principas (Gettman *et al.* 2008)

Programa naudoja du pagrindinius eismo saugumo rodiklius, nustatant ar tarp transporto priemonių susidarė konfliktas:

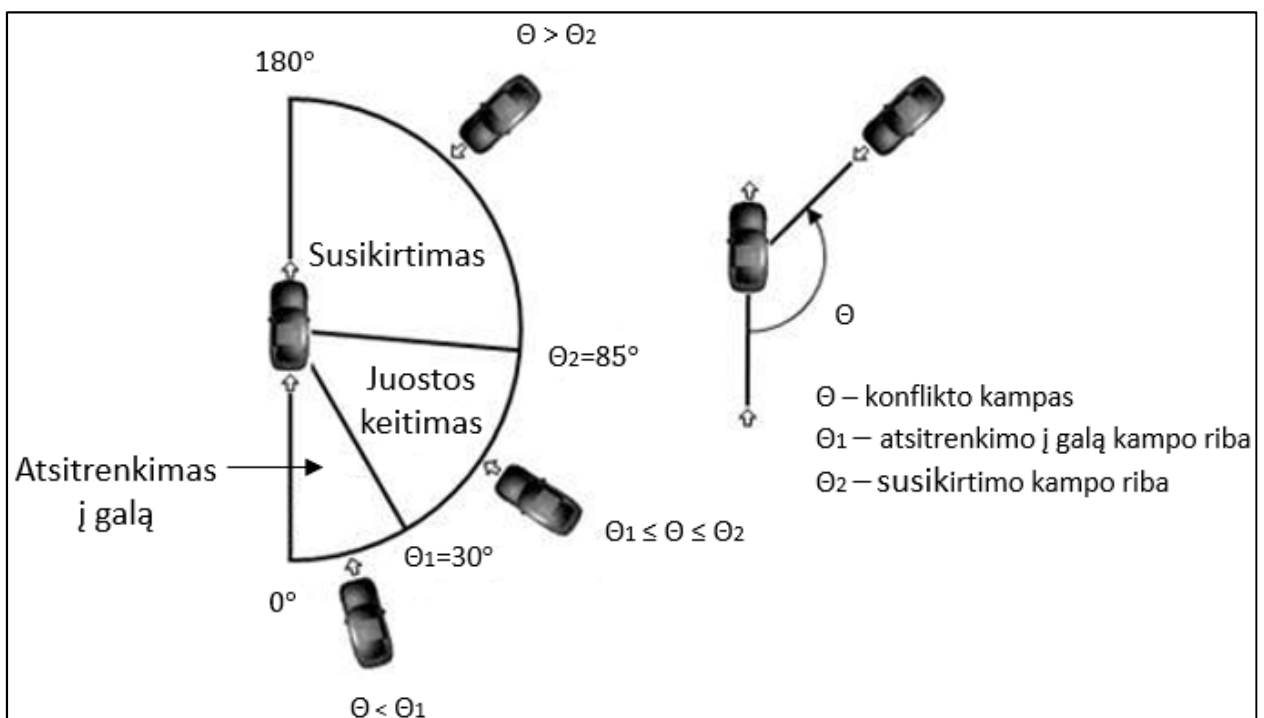
- Laikas iki susidūrimo - TTC (angl. *time-to-collision*). Tai laikas iki tariamo automobilių susidūrimo ir priklauso nuo esamos vietos, greičio, judėjimo krypčių.

- Laikas po įvažiavimo – PET (angl. *post-encroachment time*). Tai laikas tarp pirmos transporto priemonės, kuri paskutinį kartą užėmė poziciją, ir antrosios transporto priemonės, vėliau atvykusios į tą pačią padėtį. Jeigu PET reikšmė lygi „0“, tai reiškia, kad įvyko susidūrimas (Gettman *et al.* 2008).

Atliekant eismo konfliktų analizę, FHWA rekomenduoja naudoti TTC reikšmes ne didesnes nei 1,5 s, PET reikšmes ne didesnes nei 5 m.

Konfliktų analizėje TTC reikšmės klasifikuojamos į 4 konflikto sunkumo laipsnius priklausomai nuo reikšmių: $TTC = 0$, $TTC \leq 0,5$, $TTC \leq 1,0$ ir $TTC \leq 1,5$. Kuo mažesnė TTC reikšmė, tuo konfliktas yra pavojingesnis.

Taip pat visi konfliktai gali būti klasifikuojami pagal 3 tipus (žr. į 2.12 pav.).



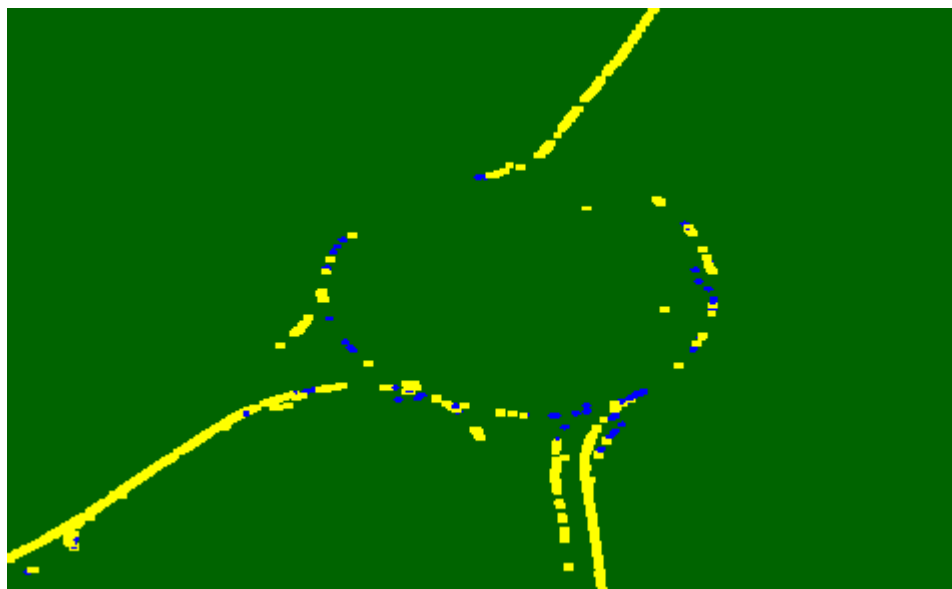
2.12 pav. Konfliktų klasifikavimas į tipus (Gettman *et al.* 2008)

SSAM paketas duomenų pagalba nustato sąveikaujančių automobilių konflikto kampą bei apibūdina jo tipą, kuris gali būti atsitrenkimas į galą, juostos keitimas ir susikirtimas.

Be šių esminių duomenų galima taip pat nagrinėti konfliktų konkrečias vietas, sąveikaujančių transporto priemonių geometrinius parametrus, sąveikaujančių automobilių kampas išreikštas valandomis ir kt.

Taip pat duomenys gali būti vizualizuojami pateikiant visus konflikto tipus arba konfliktų sunkumo laipsnius eismo modelio tinklo pavidalu. Kiekvienam tipui galima priskirti skirtingas spalvas ir geometrines figūras (2.13 pav.).

Esant poreikiui fono gali būti importuojamas fono paveikslėlis orto fotografijos arba brėžinio pavidalu.



2.13 pav. Konfliktų vizualizacija pagal tipus žiedinėje sankryžoje

Pastaba: čia geltona spalva – atsitrenkimas į galą, mėlyna spalva – juostos keitimas

Analizuojant rezultatus SSAM programa galima atlikti įvairių konfliktų vizualizaciją – panaudojant tinklėlį, kuriame kiekviena jo dalis turi išskirtas konfliktų tipų arba konfliktų sunkumo laipsnio reikšmes, kontūrinius žemėlapius bei šilumos žemėlapius. (2.14 pav.).



2.14 pav. Įvairios vizualizacijos pavyzdžiai (Gettman *et al.* 2008)

Konfliktai ir atributai gali būti naudojami įvairiuose eismo įvykių prognozavimo modeliuose vieną iš galimų pateikia programos kūrėjai – regresijos modelį, kuris buvo sukurtas remiantis prielaida, kad tiek realaus gyvenimo avarijos, tiek realaus gyvenimo konfliktai įvyksta kaip atsitiktiniai įvykiai su netolygia paklaida. Todėl eismo įvykiai įvyksta pagal neigiamą binominį pasiskirstymą, o konfliktai pagal Poisson'o pasiskirstymą. Nelinijinio regresinio modelio rezultatas pateiktas formulėje Nr. 2.7 (Gettman *et al.* 2008).

$$\text{Eismo įvykiai} = 0.119 \cdot \text{Konfliktų skaičius}^{1.419}, \quad (2.7)$$

2.3. Makroskopinio modeliavimo programa PTV Visum

Visum programinė įranga yra vienas pažangiausių programinių paketų skirtų atlikti eismo ir transporto sistemos analizę, prognozuoti įvairius scenarijus ir jų sukeltus laidumo, eismo saugumo bei ekonominius pokyčius. Šiuo įrankiu taip pat galima pritaikyti įvairius geografinės informacinės sistemos (GIS) duomenis privačiojo ir viešojo transporto sistemos analizėje.

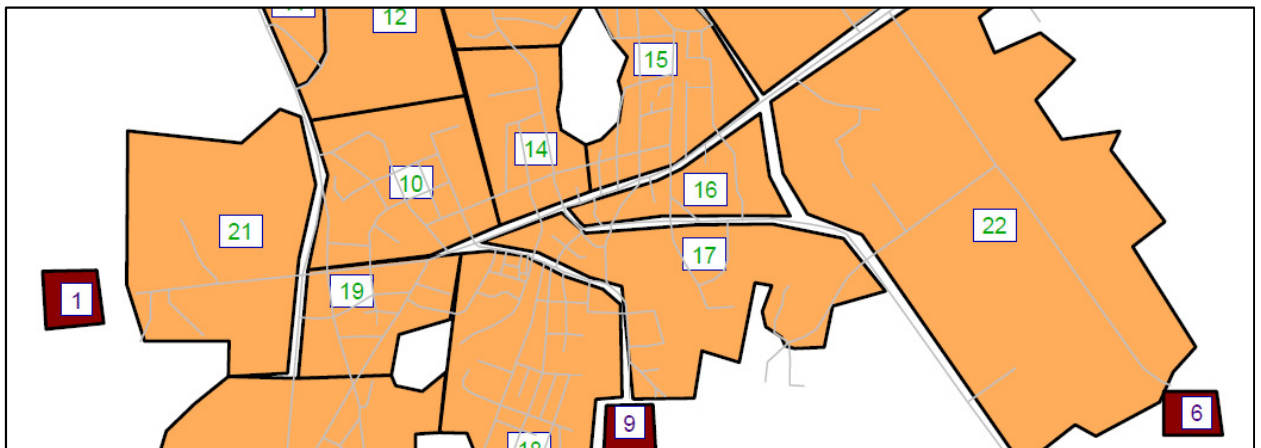
Makroskopinis modeliavimas dažniausiai atliekamas miesto dydžio apimtimi, bet gali apsiriboti ir miesto rajono dalimi, išimtiniais atvejais modeliavimas gali išsiplėsti iki visos šalies, arba kelių šalių transporto tinklo.

Transporto modelis dažniausiai susideda iš tinklo modelio, poreikio modelio ir įvairių poveikio modelių.

2.3.1. Tinklo modelis

Tinko modelis atvaizduojantis išsamią transporto sistemą turi apibūdinti transporto aprūpinimo erdvės ir laiko struktūrą. Dėl to modelį sudaro keletas objektų, kurie sudaryti iš tam tikrų duomenų paketų apie patį tinklą, eismo zonas, viešojo transporto linijas, grafikus. Pagrindiniai tinklo modelio objektai:

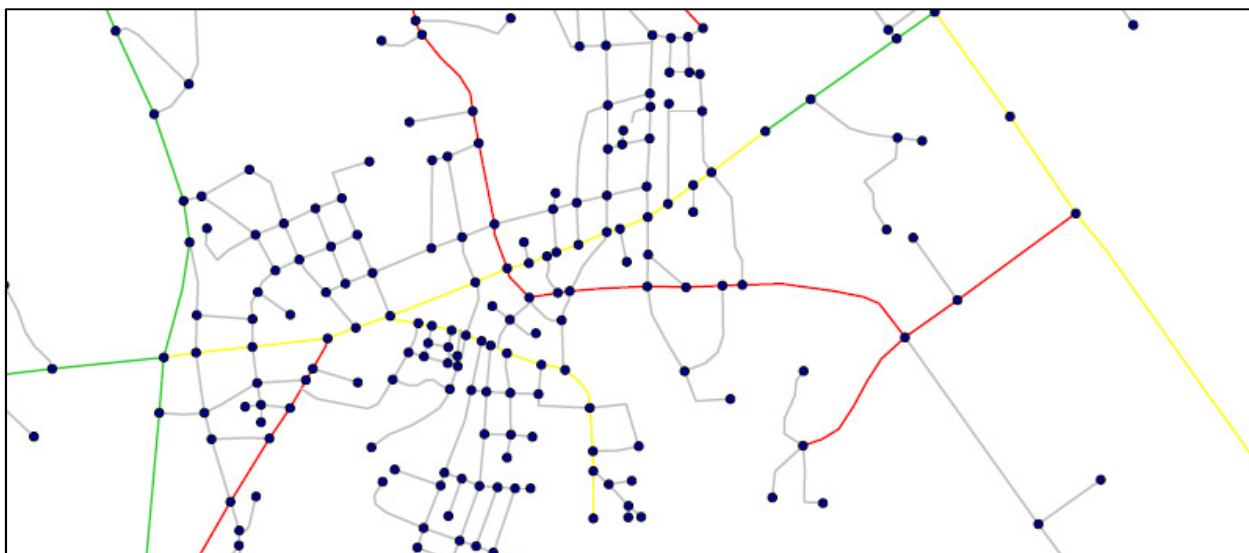
1. Zonos, kurios apibūdina plotus su tam tikru žemės panaudojimu ir jų vieta tinkle (2.15 pav.). Kaip pavyzdys tai gali būti gyvenamoji zona, komercinė zona, mokslo kvartalas ir kt. Šios zonos yra kelionių išvykimo ir atvykimo objektas ir modelyje tarpusavyje sąveikauja matricos išraiška.



2.15 pav. Miesto zonų pavyzdys

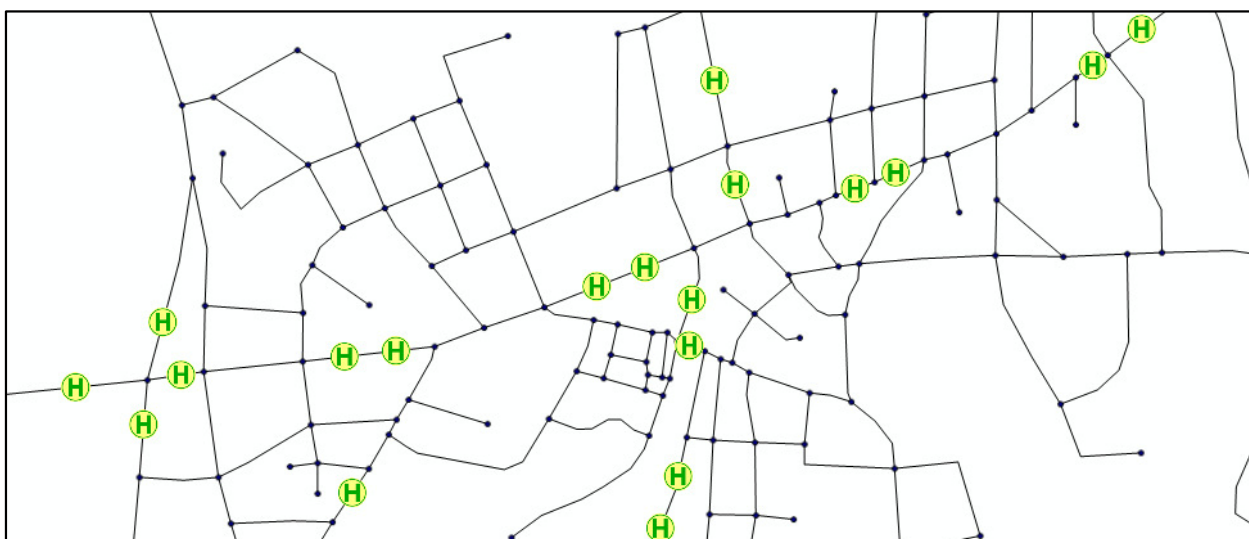
Pastaba: oranžinė spalva – vidinės miesto zonos, raudona – išorinės zonos

2. Mazgai tai objektai, kurie apibūdina tinkle esančių sankryžų vietą ir geležinkelio tinklo jungtis.
3. Grandys sujungia mazgus ir tam tikrais parametrais išreiškia tinklo dalį – eismo juostų skaičius, leistinas greitis, dvikryptis, vienkryptis eismas, gatvės arba kelio kategorija (2.16 pav.).



2.16 pav. Miesto gatvių tinklo mazgai ir grandys

4. Posūkiai indikuoja leistinus manevrus mazguose ir nustato šiems manevrams reikalingą atlikti laiką.
5. Jungtys sujungia zonas su mazgų-grandžių tinklu.
6. Stotelės – tam tikros tinklo vietos, kuriose viešojo transporto keleiviai gali įlipti arba išlipti (2.17 pav.).



2.17 pav. Viešojo transporto stotelės

7. Linijos, kurios turi konkrečius pavadinimus ir joms būdingus laiko tvarkaraščius, atitinkančios tam tikro transporto maršrutus.
8. Teritorijos yra tinklo objektais kurie gali būti naudojami iliustruoti miesto rajonus, arba šalies apskritis (PTV Group 2017).

Kiekvienas aprašytas modelio objektas turi unikalius atributus: vienas iš jų yra įvesties duomenys, kurie gali atitikti tokią informaciją kaip grandies ilgis, numeris, koordinatės, zonos gyventojų skaičius, darbuotojų skaičius, kiti atributai yra apskaičiuojami atlikus modeliavimą – eismo intensyvumas, viešojo transporto keleivių skaičius.

Visi tinklo objektai taip pat gali būti apibrėžti modeliuotojo sukurtais nestandartiniais atributais, kaip pavyzdys atlikus eismo intensyvumo tyrimą modelio tinklo grandyse įvedamos užfiksuotos reikšmės, kurios vėliau gali būti naudojamos kaip efektyvus eismo modelio kalibravimo metodas.

2.3.2. Poreikio modelis

Kelionės poreikis atsiranda kai tam tikros veiklos kaip namų, darbo, apsipirkimo, negali būti atliekamos toje pačioje vietoje, todėl atsiranda kelionė. Tokių kelionių informacija yra užfiksuojama matematinės matricos pavidalu, kuriose eilutes ir stulpelius atitinka zonas, o skaitinės reikšmės tarp zonų atitinka kelionių skaičių (2.18 pav.).

7x7			1	2	3	4	5	6	7
	Name								
		Sum	431.00	1151.00	1450.00	797.00	499.00	322.00	239.00
1		1175.00	0.00	300.00	410.00	230.00	210.00	20.00	5.00
2		1091.00	3.00	0.00	500.00	320.00	120.00	75.00	73.00
3		373.00	55.00	176.00	0.00	95.00	12.00	3.00	32.00
4		999.00	130.00	360.00	300.00	0.00	73.00	115.00	21.00
5		541.00	174.00	89.00	150.00	75.00	0.00	10.00	43.00
6		402.00	52.00	94.00	70.00	67.00	54.00	0.00	65.00
7		308.00	17.00	132.00	20.00	10.00	30.00	99.00	0.00

2.18 pav. Kelionių pasiskirstymas tarp transporto zonų

Kelionių poreikis gali būti nustatytas keliais būdais:

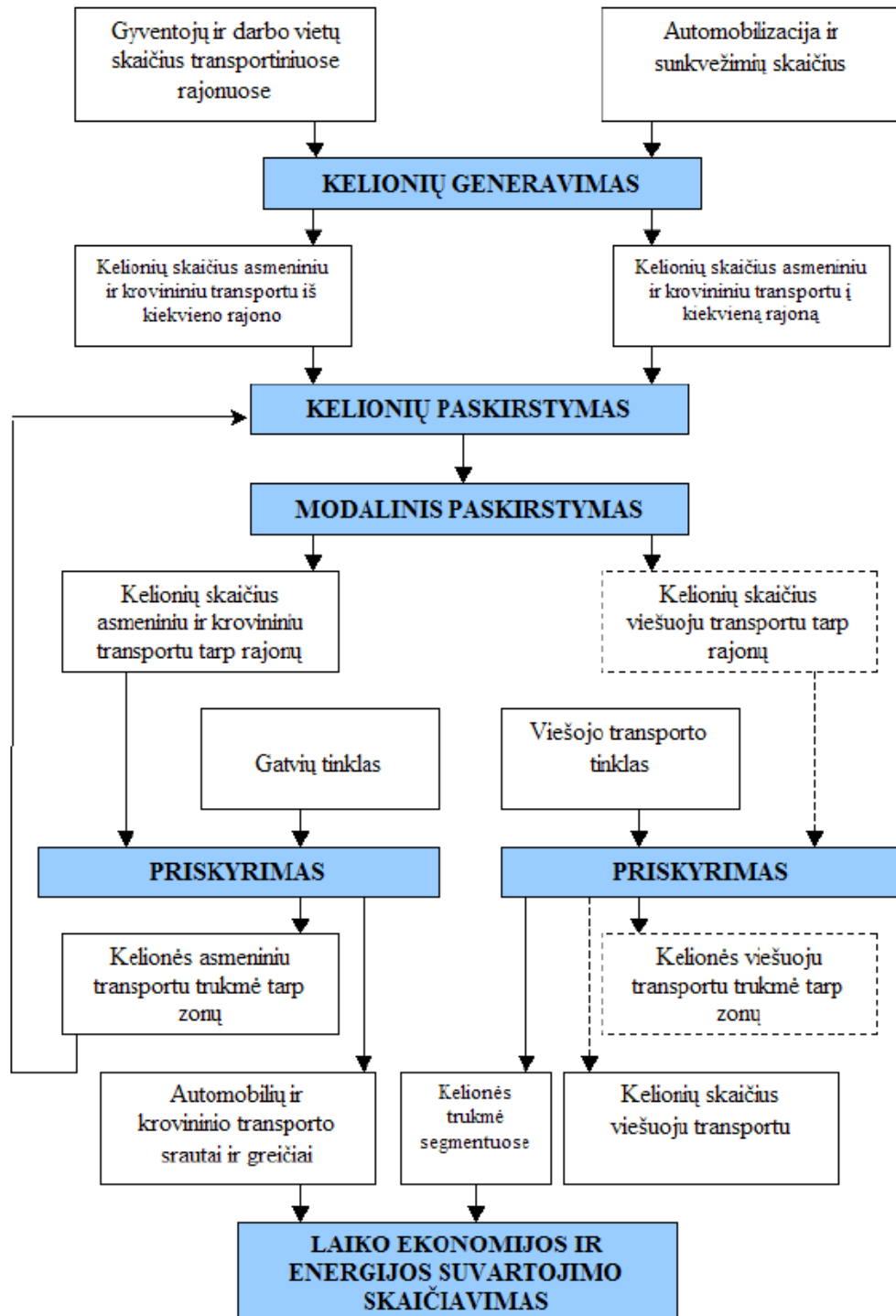
1. Apklausos būdas, kuris apibrėžia atliekamų kelionių skaičių ir jų pasiskirstymą tam tikru laiko intervalu egzistuojančioje transporto sistemoje. Metodo rezultatai yra momentiniai ir negalėtų būti antrą kartą pakartoti, kadangi apklausos kelionių dalyviai turėtų būti apklausiami lygiai tuo pačiu metu, toje pačioje vietoje. Dėl to dažniausiai apklausos atliekamos parenkant kokybiškai tikslinę žmonių grupę, o rezultatai atitinkamai koreguojami.
2. Apskaičiuotas kelionių poreikis, kuris apima prielaidas apie kelionių skaičių ir jų pasiskirstymą. Norint apskaičiuoti kelionių poreikį yra naudojami poreikio modeliai, kurių naudojimas priklauso nuo turimų įvesties duomenų.

Dažniausiai yra naudojamas 4 pakopų poreikio modelis (žr. 2.19 pav.), kurį sudaro:

- Kelionių generavimas – šios pakopos metu yra nustatomas atliekamų kelionių skaičius iš tam tikrų nustatytų zonų - generavimas, taip pat nustatoma ir trauka, dėl darbo vietų, laisvalaikio ir pramogų centrų, šie duomenys gali būti nustatyti jau minėtos apklausos metu.
- Kelionių paskirstymas – tai procedūra, kurios metu sudaroma matematinė kelionių matrica tarp visų modeliavimo metu naudojamų transporto zonų.
- Modalinis pasiskirstymas – tai pakopa, kurios metu nustatoma koku būdu atliekamos kelionės, pavyzdžiui lengvuju automobiliu, viešuoju transportu, pėsčiomis ir kt.

- Priskyrimas – procedūra, kurios metu kelionės laiko ir ekonomijos atžvilgiu paskirstomos modeliuojamame gatvių ar kelių tinkle.

Tuo atveju, jei poreikiai tampa didesni nei transporto infrastruktūros laidumas, - susidaro grūstys, didėja laiko sąnaudos. Šios išaugusios laiko sąnaudos kai kuriose atkarpose, verčia gyventojus persvarstyti: ar kelionė būtina (generavimas), pasirinkti kitą zoną (kelionių paskirstymas), susisiekimo būdą (modalinis pasiskirstymas) ar kitą maršrutą (priskyrimas) (Grigonis 2011).



2.19 pav. 4 pakopų poreikio modelis (Grigonis 2011)

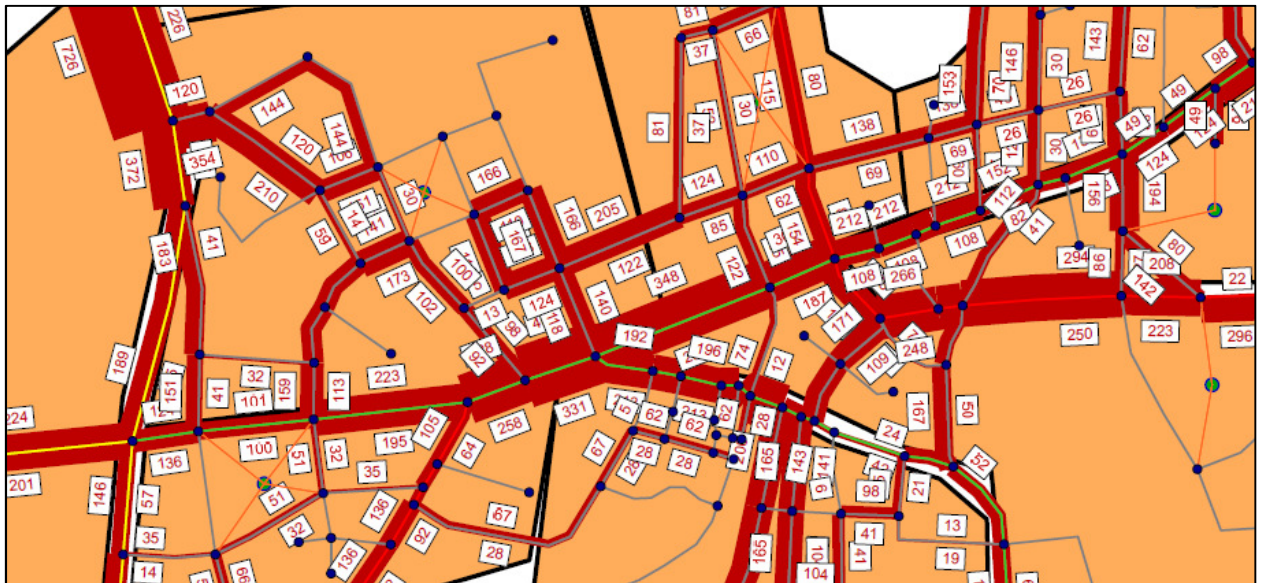
2.3.3. Poveikio modeliai

Poveikio modeliai – tai metodai, kurie skirti apskaičiuoti transporto poveikį. Transporto paklausos sistema turi įvairių poveikių, kurie gali pasikeisti priklausomai nuo sistemoje atsirandančių priemonių, pavyzdžiui naujos tramvajaus linijos statybos, aplinkkelio įgyvendinimo, viešojo transporto kainų pokyčio. Poveikis gali būti sukuriamas:

1. Tam tikros transporto sistemos naudotojui.
2. Operatoriams, kuriems priklauso transporto paslaugos.
3. Visuomenei, kuri turi naudą iš transporto infrastruktūros, tačiau taip pat turi ją išlaikyti.
4. Viešojo transporto rangovams.
5. Gamtai, kuriai gali būti pakenkta dėl padidėjusios taršos (PTV Group 2017).

2.3.4. Modelio išvesties duomenys

Makromodeliavimo programinis paketas yra galingas įrankis, kuriuo galima pateikti įvairius grafinius brėžinius, koreguoti tam tikrų objektų žymėjimą išryškinant esminius inžinerine prasme svarbius aspektus, taip pat rezultatai gali būti pateikiami ir skaitinėmis reikšmėmis. Priklausomai nuo modeliavimo tikslų gali būti gaunami įvairūs išeities duomenys, kaip greičių kartogramos, eismo intensyvumo kartogramos kiekvienoje gatvės ar kelio ruože (2.20 pav.), vidutinė kelionės ilgio tarp transporto zonų matrica ir kt.



2.20 pav. Eismo srautų kartograma

Dažniausiai modeliavimo metu svarbiausia yra grafinė analizė ir jos pateikimas, kuris padeda konstruktyviai atlikti tam tikrus sprendinius, komunikuojant tarp inžinierių, užsakovų bei visuomenės.

2.3.5. Eismo saugumo poveikio įvertinimo modulis Visum Safety

Visum Safety yra pagrindinio programinio paketo papildinys, kurio dėka galima atlikti eismo įvykių analizę, nustatyti tinkle esančias juodąsias dėmes bei prognozuoti eismo įvykius remiantis atliktu eismo srautų modeliavimu bei esančių sankryžų, kelių ir gatvių parametrais.

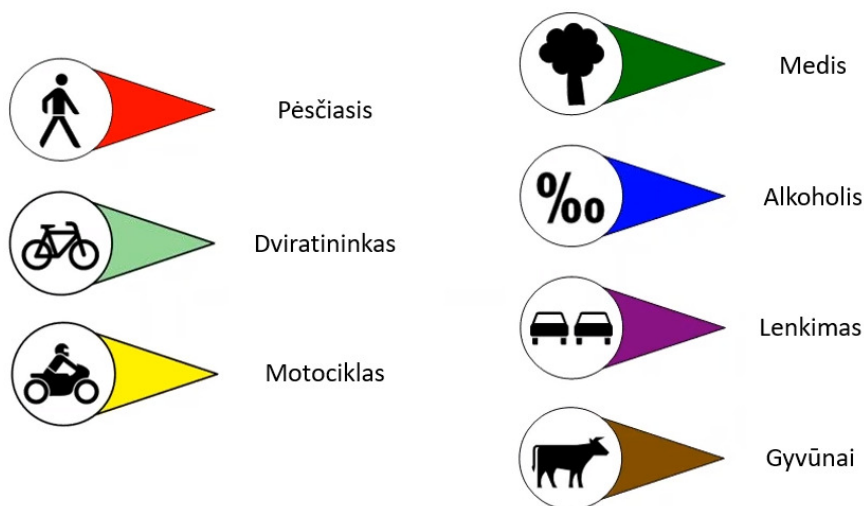
Esamų eismo įvykių analizė programoje atliekama naudojant eismo įvykių duomenis, įskaitant ir techninius įvykius, kuriuose aprašomos įvairios aplinkybės – vieta, laikas, eismo įvykio tipas, dalyvių skaičius, sužeistųjų skaičius, žuvusiųjų skaičius ir kt.

Programoje yra įdiegti 6 numatyti eismo įvykių tipai, kurie vaizduojami tam tikra grafine priemone – spalva (2.21 pav.).



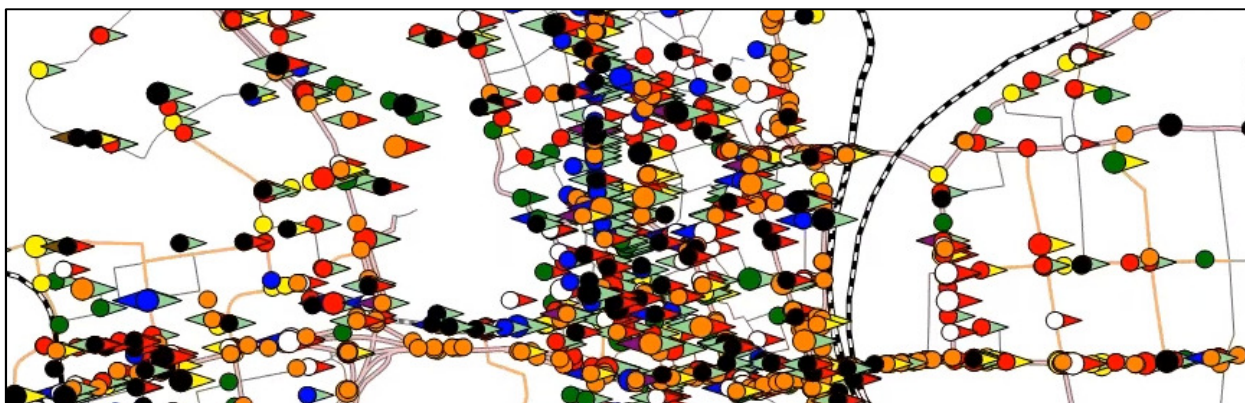
2.21 pav. Standartiniai eismo įvykių tipai (PTV Group 2018)

Taip pat grafinėje sistemoje kartu su eismo įvykio tipu vaizduojami eismo įvykio atributai, kurie gali būti iš viso 7 (2.22 pav.)



2.22 pav. Eismo įvykių atributai (PTV Group 2018)

2.23 paveiksle pateiktas gatvių tinklas, kuriame vaizduojami įvykų techniniai eismo įvykiai kelių metų laikotarpyje. Šie duomenys gali būti filtruojami pagal reikiamas užklausas, taip pat kiekvienas eismo įvykis gali būti detalčiai analizuojamas gaunant visus policijos užfiksuotus duomenis.



2.23 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas mieste (PTV Group 2018)

Remiantis šiais duomenimis galima nustatyti pavojingiausias tinkle esančias sankryžas, kelio ar gatvių ruožus.

Eismo saugumo įrankiu taip pat galima prognozuoti eismo įvykių skaičių, numatytasis eismo įvykių prognozavimo modelis remiasi eismo įvykių reikšme, kuri priklauso nuo sankryžos tipo ir gatvės arba kelio tipo, paros eismo intensyvumo apskaičiuoto modeliavimo metu bei ruožų ilgio, sankryžose ilgis nėra vertinamas (2.8 formulė) (PTV Group 2018).

$$\text{Prognozuojamų eismo įvykių skaičius} = \text{koeficientas} \cdot \text{eismo intensyvumas} \cdot \text{ruožo ilgis}, \quad (2.8)$$

Eismo įvykių koeficientai, eismo įvykių skaičius milijonui transporto priemonių viename kilometre, gatvėse ir keliuose pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Eismo įvykių koeficientai tipiniuose keliuose ir gatvėse (PTV Group 2018)

Kelio ar gatvės tipas	Kitos sąlygos	Eismo įvykių koeficientas
Pagrindinis greitkelis	≤ 2 eismo juostos	0.46
	> 2 eismo juostos	0.55
Šalutinis greitkelis	1 eismo juostas	0.48
	> 1 eismo juosta	0.57
Tunelis		0.53
Pagrindinis tarpmiestinis kelias		0.78
Pagrindinė miesto gatvė	Fizinis atskyrimas	1.85
	Nėra fizinio atskyrimo	3.49
Pagrindinė komercinė miesto gatvė	Fizinis atskyrimas	2.69
	Nėra fizinio atskyrimo	5.10
Šalutinė miesto gatvė	Su eismo saugumo priemonėmis	1.50
	Be eismo saugumo priemonių	3.00

Eismo įvykių koeficientai, eismo įvykių skaičius milijonui pravažiuojančių transporto priemonių, sankryžose pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Eismo įvykių koeficientai tipinėse sankryžose (PTV Group 2018)

Kelio arba gatvės	Eismo valdymo tipas	Susikirtimų skaičius	Eismo įvykių koeficientas
Tarpmiestinis kelias	Nereguliuojama	> 3	0.97
		3	0.65
	Šviesoforas	> 3	0.41
		3	0.27
	Žiedinė sankryža	> 3	0.53
		3	0.36
Miesto gatvė	Nereguliuojama	> 3	1.20
		3	0.64
	Šviesoforas	> 3	0.25
		3	0.71
	Žiedinė sankryža	> 3	0.45
		3	0.27

Taip pat verta paminėti, kad eismo įvykių prognozavimo modelis gali būti koreguojamas, naudojant sudėtingesnius eksponentinės priklausomybės modelius, gali būti sudaromi tik tam tikroje šalyje naudojami gatvių ir kelių tipai, redaguojami eismo įvykių koeficientai, remiantis statistiniais duomenimis.

Gautus eismo įvykių rezultatus galima išreikšti pinigine reikšme, kaip pavyzdys pateikiama šveicariška metodika, kuri numato, kad iš visų eismo įvykių:

- 86 % eismo įvykių bus techniniai eismo įvykiai, kuriuose žala bus atlikta tik eismo dalyvių nuosavybei ir bus lygi apie 37 553 € už eismo įvykį.
- 12 % eismo įvykių bus nesunkūs eismo dalyvių sužalojimai. Šių įvykių žala – 76 370 €.
- 2 % eismo įvykių bus sunkūs eismo dalyvių sužalojimai, šių eismo įvykių vidutinė žala būtų 844 650 € (PTV Group 2018).

Šiame skyriuje analizuotų įrankių panaudojimas pateiktas 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Siūlomų įrankių panaudojimas Lietuvoje

Statybos rūšis	Miesto teritorija (gatvės)	Užmiestis (keliai)
Nauja statyba	Nėra priemonių, siūloma naudoti makro projektuose VISUM Safety, mikro projektuose SSAM	Nėra priemonių, siūloma naudoti makro projektuose VISUM Safety, mikro projektuose SSAM
Rekonstrukcija	Nėra priemonių, siūloma naudoti makro projektuose VISUM Safety, mikro projektuose SSAM	Naudojama Tarva LT, siūloma naudoti makro projektuose VISUM Safety, mikro projektuose SSAM

Atliekant naujos statybos ir rekonstravimo projektus miesto gatvėse ir užmiestio keliuose siūloma naudoti Visum Safety arba SSAM įrankį, priklausomai nuo projekto mastelio. Tarva LT panaudojimas galimas analizuojant eismo saugumo priemones, kai atliekamas užmiestio kelių rekonstravimas.

3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

3.1. Magistralinio kelio A11 ruožo analizė Tarva LT programa

3.1.1. Magistralinio kelio A11 apžvalga

Nagrinėjamas kelias A11 Šiauliai – Palanga yra Lietuvos šiaurės vakaruose ir jungia Šiaulius su Palanga (3.1 pav.).

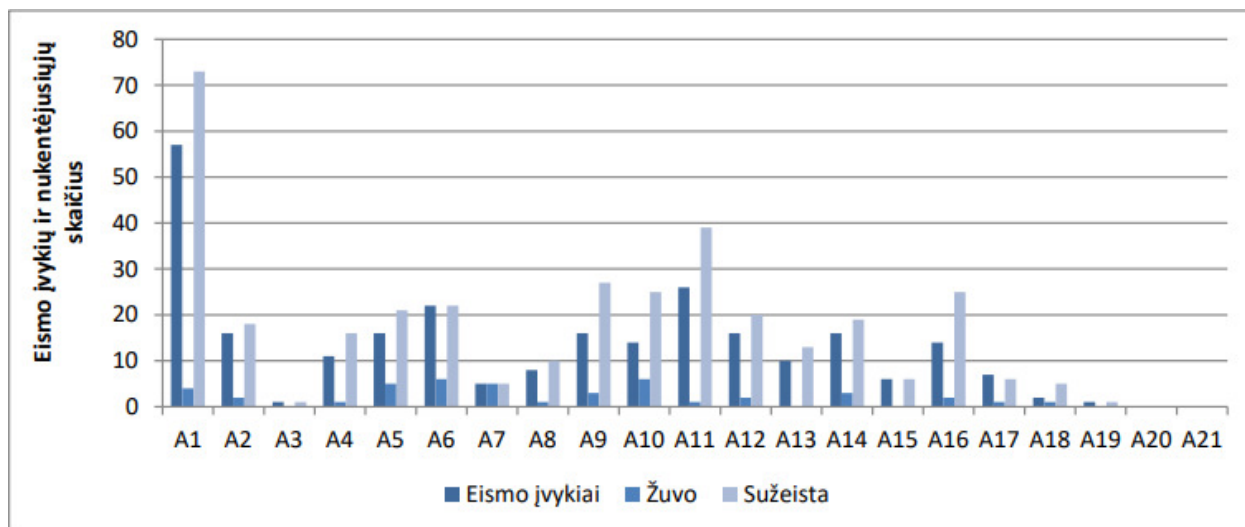


3.1 pav. Magistralinis kelias A11 Lietuvoje

Kelio ilgis – 146,85 kilometro, ir jis eina per Šiaulių miesto, Šiaulių rajono, Telšių rajono, Plungės rajono, Kretingos rajono ir Palangos savivaldybes.

A11 priklauso tarptautiniam Europos kelių tinklui, kurį vysto Jungtinių Tautų Ekonominė Komisija Europai (JTAEKE). Kelias priklauso B kategorijai ir jam suteiktas E272 numeris.

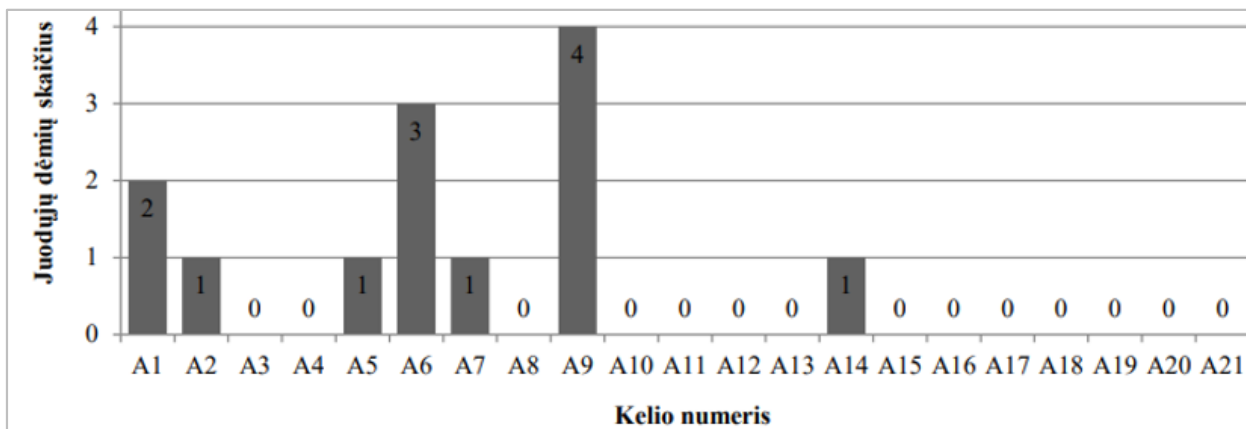
Remiantis leidiniu „Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje, 2013-2016 m.“ A11 kelias yra vienas avaringiausių magistralinių kelių po kelio A1 Vilnius-Kaunas-Klaipėda (3.2 pav.).



3.2 pav. Eismo įvykiai ir nukentėjusieji magistraliniuose keliuose 2016 m. (*Lietuvos automobilių kelių direkcija* 2017)

Sužeistųjų skaičius A11 kelyje tenkantis vienam kilometrui yra 0,18 ir tai yra didesnis negu visų magistralinių kelių vidurkis 0,15.

Kelyje turi būti taikoma pasyvi eismo saugumo gerinimo koncepcija, kadangi 2017 metais nagrinėjamame kelyje juodųjų dėmių nebuvo užfiksuota (3.3 pav.).



3.3 pav. Juodųjų dėmių skaičius magistraliniuose keliuose 2017 m. (*Lietuvos automobilių kelių direkcija* 2017)

Eksperimente taikomos prevencinio pobūdžio eismo saugumo gerinimo priemonės, kuriomis būtų siekiama identifikuoti potencialiai pavojingas vietas, kur galėtų įvykti eismo įvykiai.

3.1.2. Eismo saugumo požūriu pavojingiausio ruožo nustatymas

- Nustatomas kiekvieno kelio ruožo avaringumo koeficientas, naudojant formulę (3.1)

$$AK_1 = \frac{A_1 \times 10^8}{365.2 \times m \times L_1 \times VMPEI_1} = \frac{2 \times 10^8}{365.2 \times 5 \times 0.482 \times 8584} = 26.47, \quad (3.1)$$

čia: A_1 – įskaitinių eismo įvykių skaičius kelio ruože, per nagrinėjamą laikotarpį (5 metus);

10^8 – 100 milijonų transporto priemonių;

365,2 – dienų skaičius metuose (kadangi nagrinėjame 5 metų laikotarpį, tai vidutinis dienų skaičius metuose apskaičiuojamas $(365+365+365+366+365)/5=365,2$);

m – metų skaičius (mūsų atveju nagrinėjame 5 metus);

L_1 – ruožo ilgis, km;

$VMPEI_1$ – ruožo VMPEI, TP/parą.

- Apskaičiuojamas kelio vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, naudojant formulę (3.2)

$$\begin{aligned} VMPEI &= \frac{(L_1 \times VMPEI_1) + (L_2 \times VMPEI_2) + (...) + (L_n \times VMPEI_n)}{L} = \\ &= \frac{(0.482 \times 8584) + (1.268 \times 8584) + (...) + (0.17 \times 12918)}{143.76} = \\ &= 4552 \text{ aut./parą} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Čia: L_1, L_2, L_n – 1-ojo, 2-ojo ir n-tojo ruožo ilgis, km;

$VMPEI_1, VMPEI_2, VMPEI_n$ – 1-ojo, 2-ojo ir n-tojo ruožo eismo intensyvumas, TP/parą;

L – kelio ilgis, km;

n – kelių ruožų skaičius grupėje.

- Nustatomas kelio avaringumo koeficientą AK . Naudojama formulė (3.3)

$$AK = \frac{A \times 10^8}{365.2 \times m \times L \times VMPEI} = \frac{102 \times 10^8}{365.2 \times 5 \times 143.76 \times 4552} = 8.54, \quad (3.3)$$

čia: A – įskaitinių eismo įvykių skaičius kelyje, per nagrinėjamą laikotarpį, 5 metus;;

10^8 – 100 milijonų transporto priemonių;

365,2 – dienų skaičius metuose (kadangi nagrinėjame 5 metų laikotarpį, tai vidutinis dienų skaičius metuose apskaičiuojamas $(365+365+365+366+365)/5=365,2$);

m – metų skaičius (mūsų atveju nagrinėjame 5 metus);

L – kelio ilgis, km;

$VMPEI$ – kelio vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, TP/parą.

- Nustatomas kritinis kiekvieno ruožo avaringumo koeficientas AK_{kr-j} , formulė (3.4)

$$\begin{aligned} AK_{kr-j(1)} &= AK + K \times \sqrt{\frac{AK \times 10^8}{365.2 \times m \times L_j \times VMPEI_j}} + \frac{10^8}{730.4 \times m \times L_j \times VMPEI_j} = \\ &= 8.54 + 1.645 \times \sqrt{\frac{8.54 \times 10^8}{365.2 \times 5 \times 0.482 \times 8584}} + \frac{10^8}{730.4 \times 5 \times 0.482 \times 8584} \\ &= 32.64, \end{aligned} \quad (3.4)$$

čia: AK – nagrinėjamo kelio avaringumo koeficientas, apskaičiuotas pagal formulę (3.3);

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**;

10^8 – 100 milijonų transporto priemonių;

365,2 – vidutinis dienų skaičius metuose;

m – metų skaičius;

L_j – kelio ruožo j ilgis, km;

$VMPEI_j$ – kelio ruožo j vidutinis metinis paros eismo intensyvumas, TP/parą.

- Tikrinama sąlyga:

$$AK_j > AK_{kr_j}, \quad (3.5)$$

$$AK_1 > AK_{kr_j(1)}, \text{ jei kelio ruožas pavojingas}$$

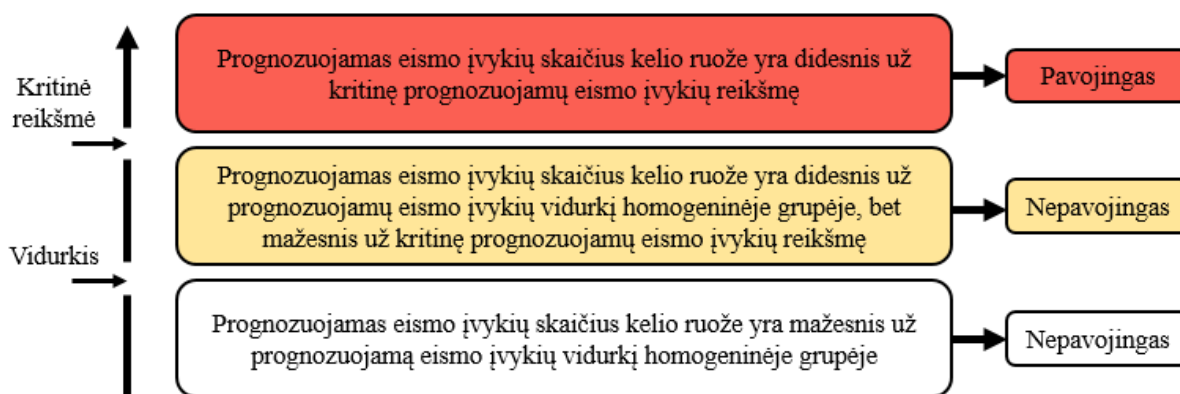
Kadangi $26.47 < 32.64$, kelio ruožas yra **nepavojingas** (3.1 lentelė)

3.1 lentelė. Nagrinėjamo kelio ruožų atributai

Kelio Nr.	Ruožo Nr.	Ruožo pradžia	Ruožo pabaiga	Ruožo ilgis, km	VMPEI TP/parą	EĮ sk. per 5 metus	Ruožo AK	Ruožo AK_{kr_j}	$AK > AK_{kr_j}$
A11	1	2,65	3,132	0,482	8584	2	26,47	32,64	Nepavojinga
A11	2	3,132	4,4	1,268	8584	1	5,03	21,83	Nepavojinga
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
A11	102	146,24	146,41	0,170	12918	2	49,88	45,01	Pavojinga

Pastaba: pilna visų ruožų lentelė pateikta priede Nr. 1

Pavojingų eismo saugumo požiūriu ruožų nustatymo schema pagal prognozuojamus eismo įvykius, analogiškai tinka nagrinėjant ir su istoriniais eismo įvykiais (3.4 pav.).



3.4 pav. Potencialiai pavojingų kelio ruožų nustatymo schema (*Road Safety Manual* 2003)

Atlikus 102 kelio ruožų analizę buvo nustatyta, kad 8 ruožai iš 102 yra pavojingi. 3.2 lentelėje pateikti 4 pavojingiausi ruožai.

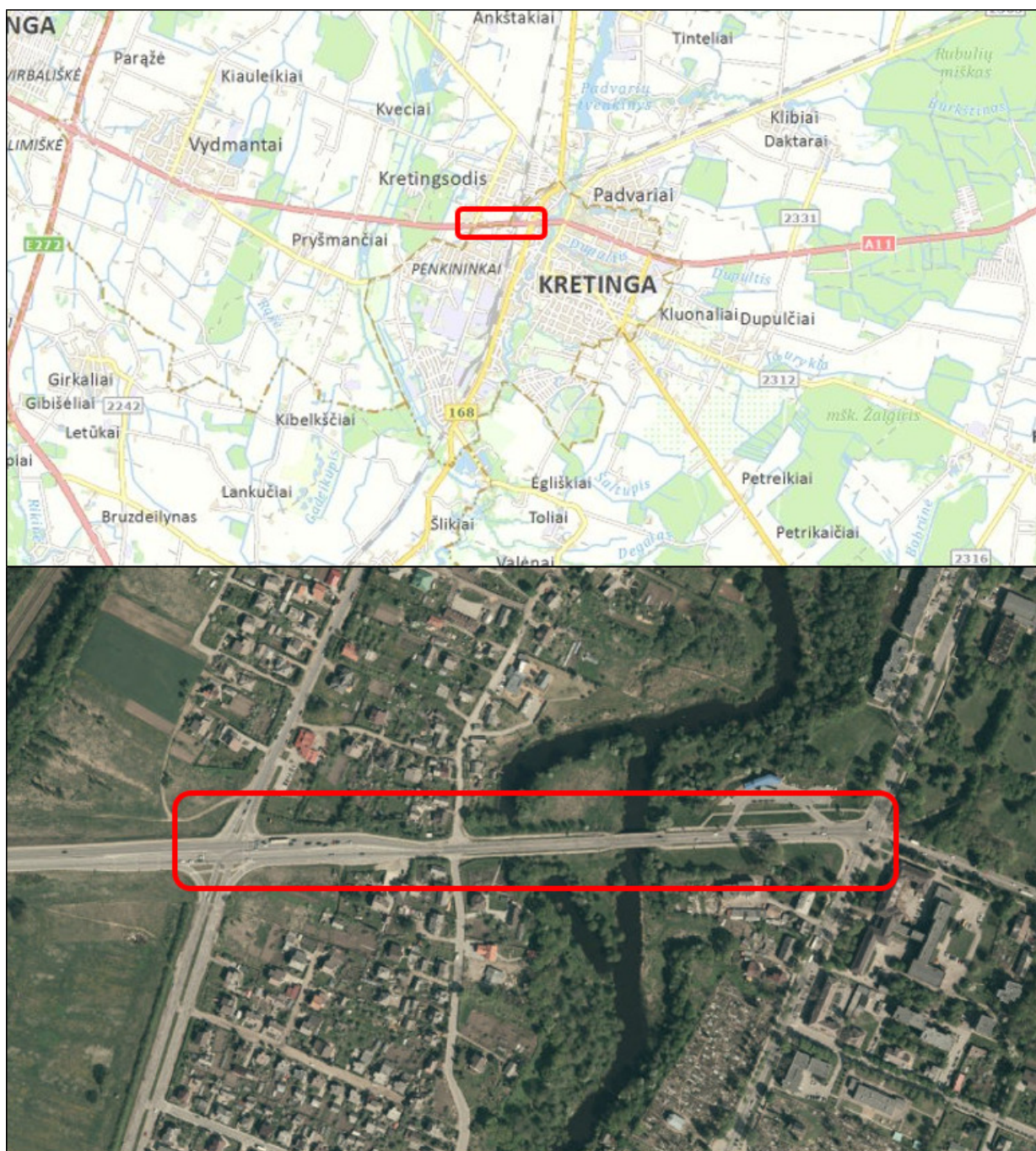
3.2 lentelė. Nagrinėjamo kelio pavojingiausi ruožai

Kelio Nr.	Ruožo Nr.	Ruožo pradžia	Ruožo pabaiga	Ruožo ilgis, km	VMPEI TP/parą	EĮ sk. per 5 metus	Ruožo AK	Ruožo AK_{kr_j}	$AK > AK_{kr_j}$
A11	29	47,88	47,909	0,029	3392	1	556,73	400,31	Pavojinga
A11	81	135,486	136,094	0,608	6464	7	97,54	33,45	Pavojinga
A11	80	133,854	135,486	1,632	6464	8	41,53	22,08	Pavojinga
A11	39	67,091	69,463	2,372	4590	6	30,18	21,83	Pavojinga

Remiantis AK ir AK_{kr_j} reikšmių skirtumu ir eismo įvykių skaičiumi per 5 metus kelio ruožuose buvo pasirinktas ruožas Nr. 81. AK ir AK_{kr_j} skirtumas yra 64,10 (2 pagal dydį visų pavojingų ruožų), eismo įvykių skaičius per 5 metus – 7. Nustatytas nagrinėjamas ruožas yra 608 metrų ilgio ir yra gyvenvietės teritorijoje.

3.1.3. Bendra informacija apie nagrinėjamą kelio ruožą

Ruožas yra magistraliniame kelyje Nr. A11 Šiauliai – Palanga 135.486 - 136.094 km, Kretingos mieste (3.5 pav.).



3.5 pav. Nagrinėjamo pavoingo ruožo vieta – Kretingos mieste

Nagrinėjamo ruožo ilgis 608 metrai. A11 kelio atkarpa priklauso homogeninei grupei 41. Keliai, kertantys gyvenvietes, 50 km/h. Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas – 6464 TP/parą. Sunkiasvorio transporto dalis yra 10 %.

Atliekant įskaitinių eismo įvykių analizę buvo nagrinėjami eismo įvykiai, įvykę per 2010 – 2014 metus. Per tą laikotarpį nagrinėjamajame ruože įvyko 7 įskaitiniai eismo įvykiai, kurių metu žuvusių nebuvo, sužeisti 8 asmenys.

Nagrinėjant įskaitinius eismo įvykius pagal rūšis: 71 % įvykių t.y. – 5 iš 7 buvo užvažiavimas ant pėsčiojo, likę 29 % įvykių, 2 iš 7, buvo transporto priemonių susidūrimas.

Detalūs įskaitinių eismo įvykių duomenys pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Įskaitiniai eismo įvykiai nagrinėjamame ruože per 2010 – 2014 metus

Eil. Nr.	Data	Laikas	Vieta, km	Eismo įvykio rūšis	Žuvo	Sužeista
1	2010.11.09	18:14	135.830	Užvažiavimas ant pėsčiojo	0	1
2	2011.05.18	17:03	135.830	Susidūrimas	0	1
3	2011.08.09	14:32	135.830	Užvažiavimas ant pėsčiojo	0	1
4	2011.11.05	17:53	135.830	Užvažiavimas ant pėsčiojo	0	1
5	2014.03.28	19:57	135.894	Užvažiavimas ant pėsčiojo	0	1
6	2014.12.04	12:51	135.895	Užvažiavimas ant pėsčiojo	0	1
7	2011.04.18	10:11	136.050	Susidūrimas	0	2

3.6 paveiksle pateiktas eismo įvykių išsidėstymas. Daugiausia eismo įvykių užfiksuota sankryžoje su J. Basanavičiaus gatve – 4.

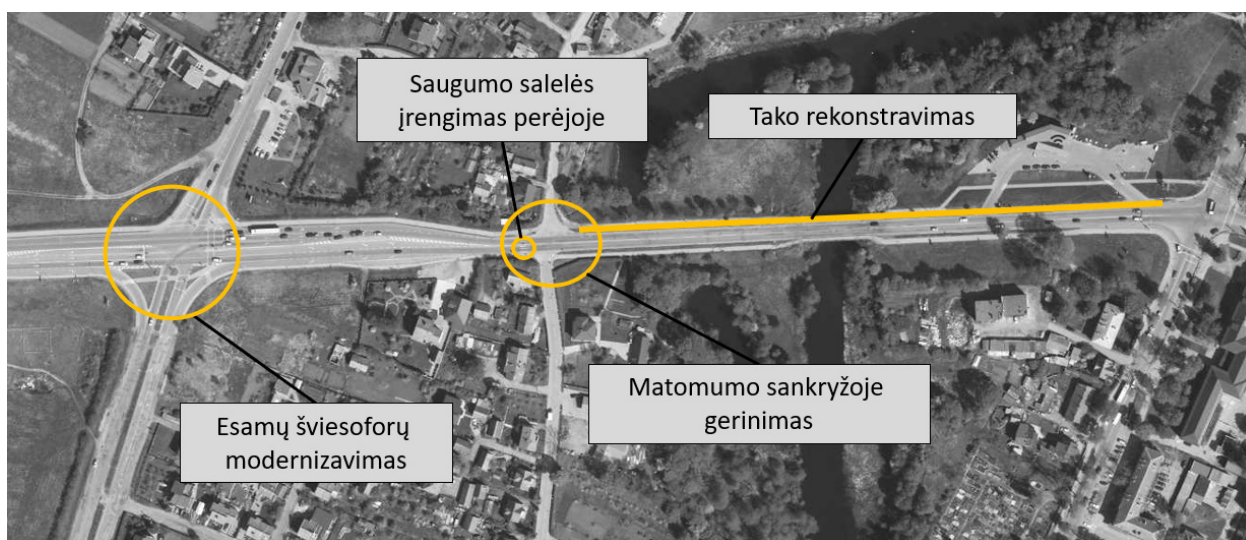


3.6 pav. Įskaitinių eismo įvykių išsidėstymo ruože schema

3.1.4. Inžinerinių eismo saugumo gerinimo priemonių parinkimas

1-jį planą sudaro 4 eismo saugumo gerinimo priemonės:

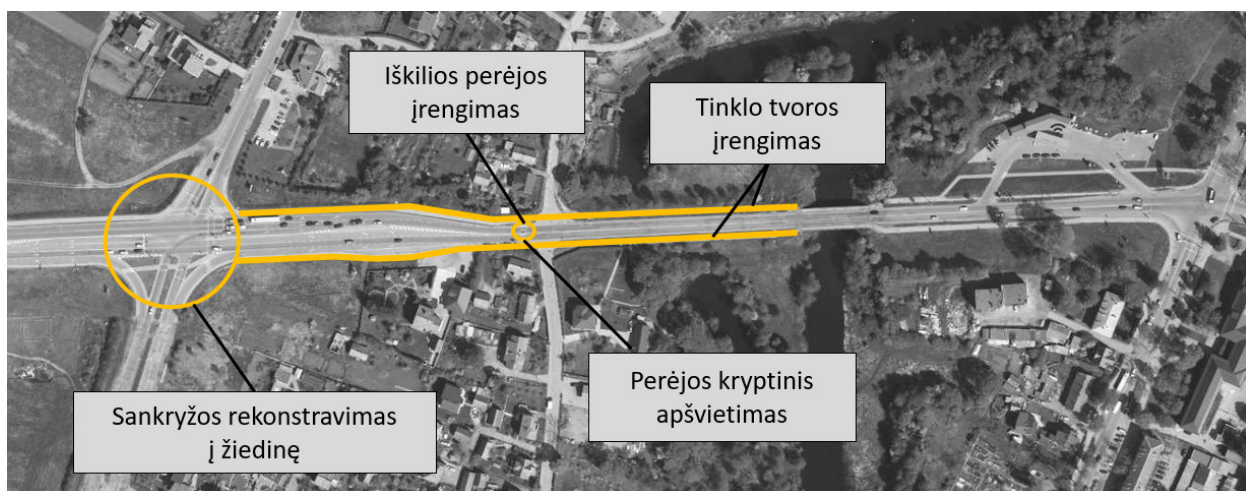
1. 104. Pėsčiųjų/dviračių tako rekonstravimas (135.490 km – 135.850 km);
2. 117. Saugumo salelių įrengimas pėsčiųjų/dviratininkų perėjoje (135.850 km);
3. 408. Esamų šviesoforų modernizavimas (136.400 km);
4. 409. Matomumo sankryžoje gerinimas (135.850 km) (3.7 pav.).



3.7 pav. 1-ojo eismo saugumą gerinančių priemonių plano schema

2-jį planą sudaro 4 eismo saugumo gerinimo priemonės::

1. 105. Tinklo tvoros nuo pėsčiųjų/dviratininkų kelkraščiuose įrengimas (abiejose pusėse) (135.690 km – 136.000 km);
2. 110. Iškilios pėsčiųjų perėjos įrengimas (50 km/h) (135.850 km);
3. 114. Pėsčiųjų/dviratininkų perėjos kryptinis apšvietimas (135.850 km);
4. 414. X tipo sankryžos rekonstravimas į žiedinę (136.400 km) (3.8 pav.).



3.8 pav. 2-ojo eismo saugumą gerinančių priemonių plano schema

3.4 lentelėje pateikta 1-ojo plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai. Didžiausią pokytį tikėtiniems eismo įvykiams sudarytų priemonė Nr. 104.

3.4 lentelė. 1-ojo plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai

Nr.	Priemonės pavadinimas	Ilgis, km	TP/parą	Rida, mln. TP km/metus	Bendras tikėtinų EĮ pokytis/metus	Bendras EĮ pokytis/metus	Bendras tikėtinų mirtinų EĮ sk./metus	Bendras mirtinų EĮ pokytis/metus	Investicijos 1-am EĮ išvengti, 1000 €
104	Pėsčiųjų/dviračių tako rekonstravimas	0.36	6464	0.85	0.34575	0.025	0.02499	0.0021	54
117	Saugumo salelių įrengimas pėsčiųjų/dviratininkų perėjoje	0.01	6464	0.02	0.00960	0.001	0.00069	0.0001	367
408	Esamų šviesoforų modernizavimas	0.09	6464	0.21	0.08644	0.008	0.00625	0.0008	194
409	Matomumo sankryžoje gerinimas	0.04	6464	0.09	0.03842	0.002	0.00278	0.0001	1399
Viso		0.45	6464	1.06	0.43218	0.036	0.03124	0.0031	112

3.5 lentelėje pateikta 2-ojo plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai. Didžiausią pokytį tikėtiniems eismo įvykiams sudarytų priemonė Nr. 105.

3.5 lentelė. 2-ojo plano eismo saugumo gerinimo priemonių rodikliai

Nr.	Priemonės pavadinimas	Ilgis, km	TP/parą	Rida, mln. TP km/metus	Bendras tikėtinų EĮ pokytis/metus	Bendras EĮ pokytis/metus	Bendras tikėtinų mirtinų EĮ sk./metus	Bendras mirtinų EĮ pokytis/metus	Investicijos 1-am EĮ išvengti, 1000 €
105	Tinklo tvoros nuo pėsčiųjų/dviratininkų kelkraščiuose įrengimas (abejose pusėse)	0.31	6464	0.73	0.29773	0.063	0.02152	0.0053	10
110	Iškilios pėsčiųjų perėjos įrengimas (50 km/h)	0.01	6464	0.02	0.0096	0.001	0.00069	0.0001	694
114	Pėsčiųjų/dviratininkų perėjos kryptinis apšvietimas	0.01	6464	0.02	0.0096	0.001	0.00069	0.0001	1735
414	X tipo sankryžos rekonstravimas į žiedinę	0.09	6464	0.21	0.08644	0.028	0.00625	0.0030	517
Viso		0.4	6464	0.94	0.38416	0.093	0.02777	0.0085	180

3.6 lentelėje pateikta detali nagrinėtų projektų ataskaita.

3.6 lentelė. Projektų ataskaita. Bendras efektyvumas

Projekto numeris	Rida, mln. TP km/metus	Bendras tikėtinų EĮ pokytis/metus	Bendras EĮ pokytis/metus	Bendras tikėtinų mirtinų EĮ sk./metus	Bendras mirtinų EĮ pokytis/metus	Tikėtinų EĮ rizika/metus	Esama mirtinų EĮ rizika/metus	Bendras tikėtinų EĮ tankis/metus	Kaina, 1000 €	Investicijos 1-am EĮ išvengti, 1000 €	1. metinė nauda %
0	141.56	0.576	0	0.0417	0	0.407	0.0294	960.4	0	0	0
1	106.04	0.432	0.036	0.0312	0.0031	0.407	0.0294	960.4	71	112	1
2	0.944	0.384	0.093	0.0278	0.0085	0.407	0.0294	960.4	333	180	0
Viso	141.56	0.576	0.128	0.0417	0.0116	0.407	0.0294	960.4	404	292	0

0 – projektas, esama eismo saugumo situacija ruože. Jei ruože nebus nieko daroma, tai bendras tikėtinas eismo įvykių skaičius per metus – 0,58 vnt.

1 – projektas. Po eismo saugumo gerinimui, numatytų priemonių įdiegimo, bendras tikėtinas eismo įvykių skaičius per metus – 0.43 vnt., bendras eismo įvykių pokytis per metus – 0.036 vnt., bendras mirtinų eismo įvykių pokytis per metus – 0.003 vnt. Projekto kaina 71 tūkst./ €, investicijos vienam eismo įvykiui išvengti – 112 tūkst./€.

2 – projektas. Po eismo saugumo gerinimui, numatytų priemonių įdiegimo, bendras tikėtinas eismo įvykių skaičius per metus – 0.38 vnt., bendras eismo įvykių pokytis per metus – 0.093 vnt., bendras mirtinų eismo įvykių pokytis per metus – 0.009 vnt. Projekto kaina 333 tūkst./ €, investicijos vienam eismo įvykiui išvengti – 180 tūkst./€.

Atlikus siūlomų eismo saugumą gerinančių priemonių investicinius skaičiavimus ir įvertinus būsimą įtaką eismo saugumo pagerėjimui nustatyta, kad:

- Įgyvendinus pirmojo plano sprendinius, eismo įvykių sumažėjimas per metus bus mažesnis 0.036, lyginant su atrojo plano sprendiniais – 0.093.
- Atrojo plano investicijos vienam eismo įvykiui išvengti yra didesnės negu pirmojo. Atitinkamai 180 ir 112 tūkst. €.
- Įgyvendinant 1-ąjį planą investicijos mažesnės ir nauda atitinkamai mažesnė, o įgyvendinus 2-ąjį planą investicijos yra didesnės ir nauda didesnė (žr. į 3.7 lentelę).

3.7 lentelė. Duomenys apie nagrinėjamą objektą ir eismo saugumo planus

Duomenys apie objektą		
Pavadinimas		Reikšmė
1		2
Kelio Nr.		A11
Kelio pavadinimas		Šiauliai - Palanga
Ruožo pradžia, km		135.486
Ruožo pabaiga, km		136.094
VMPEI, TP/parą		6464
Avaringumas per laikotarpį (nuo-iki)		2010-2014
Istoriniai eismo įvykiai/metus		1.4
Tikėtini eismo įvykiai/metus		0.58
Siūlomos įgyvendinti eismo saugumą gerinančios priemonės		
	Eismo įvykių sumažėjimas/metus	
	I planas	II planas
Pėsčiųjų/dviračių tako rekonstravimas	0.025	
Saugumo salelių įrengimas pėsčiųjų/dviratininkų perėjoje	0.001	
Esamų šviesoforų modernizavimas	0.008	
Matomumo sankryžoje gerinimas	0.002	
Tinklo tvoros nuo pėsčiųjų/dviratininkų kelkraščiuose įrengimas (abejose pusėse)		0.063
Iškilios pėsčiųjų perėjos įrengimas (50 km/h)		0.001
Pėsčiųjų/dviratininkų perėjos kryptinis apšvietimas		0.001
X tipo sankryžos rekonstravimas į žiedinę		0.028
Viso:	0.036	0.093
Investicijos 1-am EJ išvengti, 1000 €	112	180

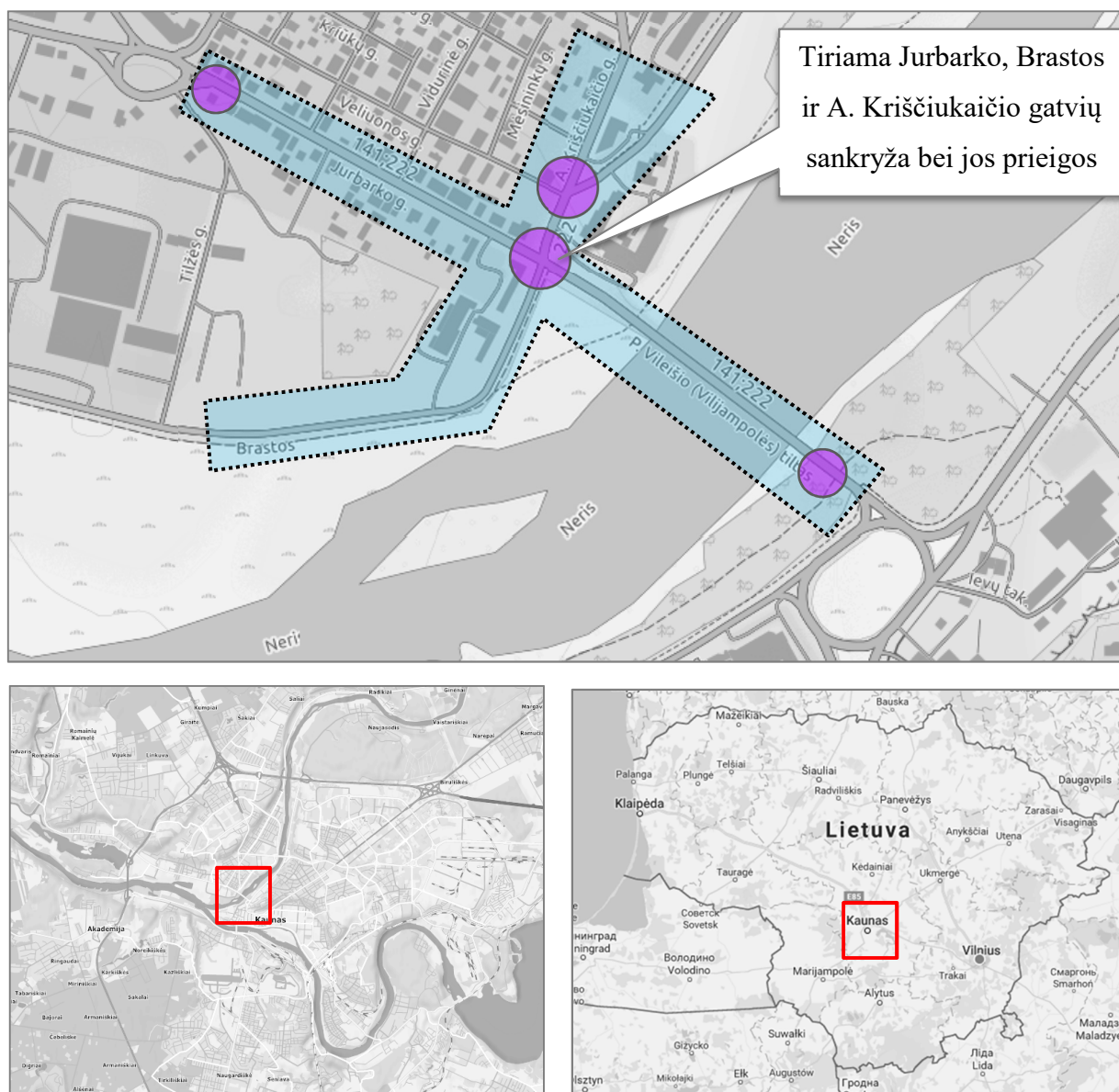
Atliktoje demonstracinėje analizėje galima išvelgti įvairių eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą. Nagrinėjant panašius potencialiai pavojingus kelio ruožus būtų galima sudaryti ekonomiškai efektyviausius sprendinius, kurių įgyvendinimui būtų skiriamos mažiausios lėšos, bet pasiekiamas geriausias rezultatas – eismo įvykių skaičiaus arba sunkių eismo įvykių pasekmių sumažėjimas.

Vis dėl to verta pabrėžti, kad norint išlaikyti šios sistemos veiksmingumą, reikalingi nuolatiniai duomenų atnaujinimai bei pačių modelių korekcijos, kadangi esantis kelių tinklas nuolat yra keičiamas, taip pat eismo saugumą gerinančių priemonių rodikliai tam tikrame laikotarpyje ir ruožuose gali keistis.

3.2. Kauno miesto mazgo analizė mikroskopinio modeliavimo programa Vissim ir SSAM modeliu

3.2.1. Bendroji informacija – eismo tyrimas

Tiriamasis objektas yra Kauno miesto centrinėje dalyje, Vilijampolės mikrorajone ties Petro Vileišio tiltu. Tiriami Jurbarko, Brastos ir A. Kriščiukaičio gatvių sankryža bei jos prieigos (žr. 3.9 pav.). Šiuo metu nagrinėjama sankryža yra valdoma šviesoforo postu kuriame veikia fiksuoto laiko šviesoforinio valdymo programa. Rytinio ir vakarinio piko metu ties minėta sankryža formuojasi didelės spūstys.



3.9 pav. Tiriamos vietos planas

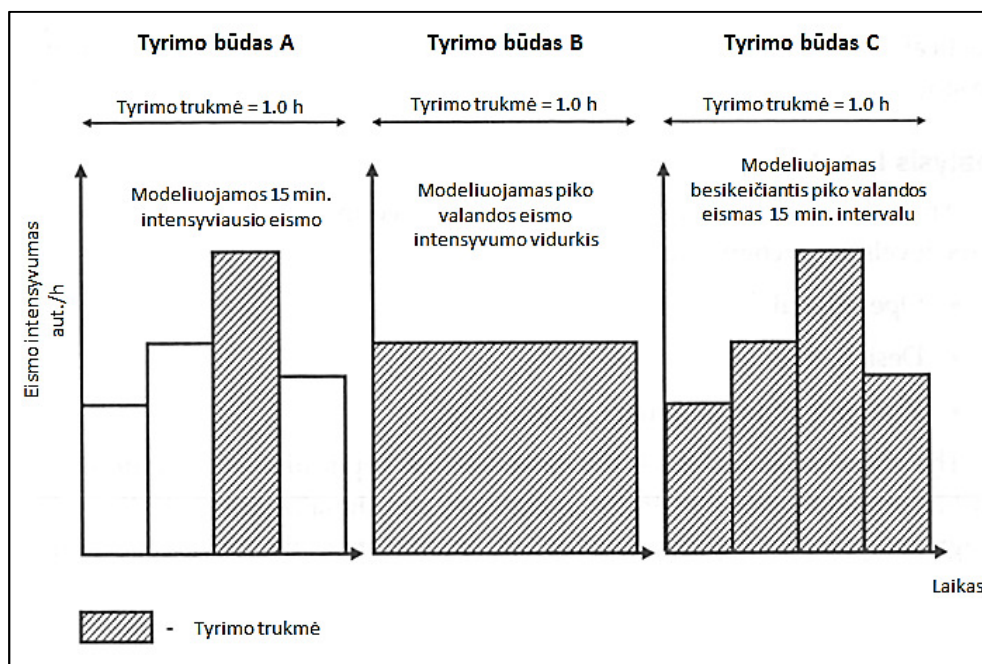
Brastos ir Jurbarko g. (nuo sankryžos link tilto) gatvės yra B2 kategorijos, o A. Kairiūkščio ir Jurbarko g. (nuo sankryžos link Raudondvario pl.) D1 kategorijos. Nagrinėjama zona yra tankiai

apstatyta - vyrauja mažaaukštė gyvenamųjų statyba. Dėl P. Vileišio tilto didžioji dalis transporto yra tranzitinio pobūdžio (važiuojančio iš ir į Kauno miesto centrą).

Eksperimento metu buvo atliktas eismo srautų tyrimas vakarinio piko metu ties nagrinėjamu objektu: Jurbarko, Brastos ir A. Kriščiukaičio gatvių bei A. Kriščiukaičio, Veliuonos ir Neries Krantinės gatvių sankryžose Kauno mieste.

Eismo modeliavimas atliktas 1h laikotarpiui vakarinio (16:45-17:45) piko metu. Didžiausias transporto srautas pasiekiamas minėtu laikotarpiu. Jo metu gatvėse yra sudėtingiausios eismo sąlygos.

Tyrimui pasirinktas Highway Capacity Manual 2010 aprašytas tyrimo metodas „C“ (3.10 pav.), kai eismo intensyvumas per piko valandą (aut./val.) yra dalinamas į ketvirčius po 15 min. Toks metodas tiksliausiai atspindi piko valandos eismo pokyčius bei susidarančias eismo situacijas.



3.10 pav. HCM 2010 pateikti tyrimo metodai (*Transportation Research Board* 2010)

Atliekant eismo analizę buvo atliktas natūrinis eismo tyrimas – eismo filmavimas. Remiantis filmuota vaizdo medžiaga buvo suskaičiuotas automobilių eismo intensyvumas, sudarytos eismo pasiskirstymo schemas nagrinėjamuose gatvių ruožuose ir sankryžose.

Eismo tyrimai atlikti 2017 metų spalio mėnesį, kai yra fiksuojami vieni didžiausių eismo srautų metuose. Tai užtikrina, kad būsimos eismo sąlygos bus vertinamos sudėtingu laikotarpiu, ko ir reikalauja tyrimo metodika.

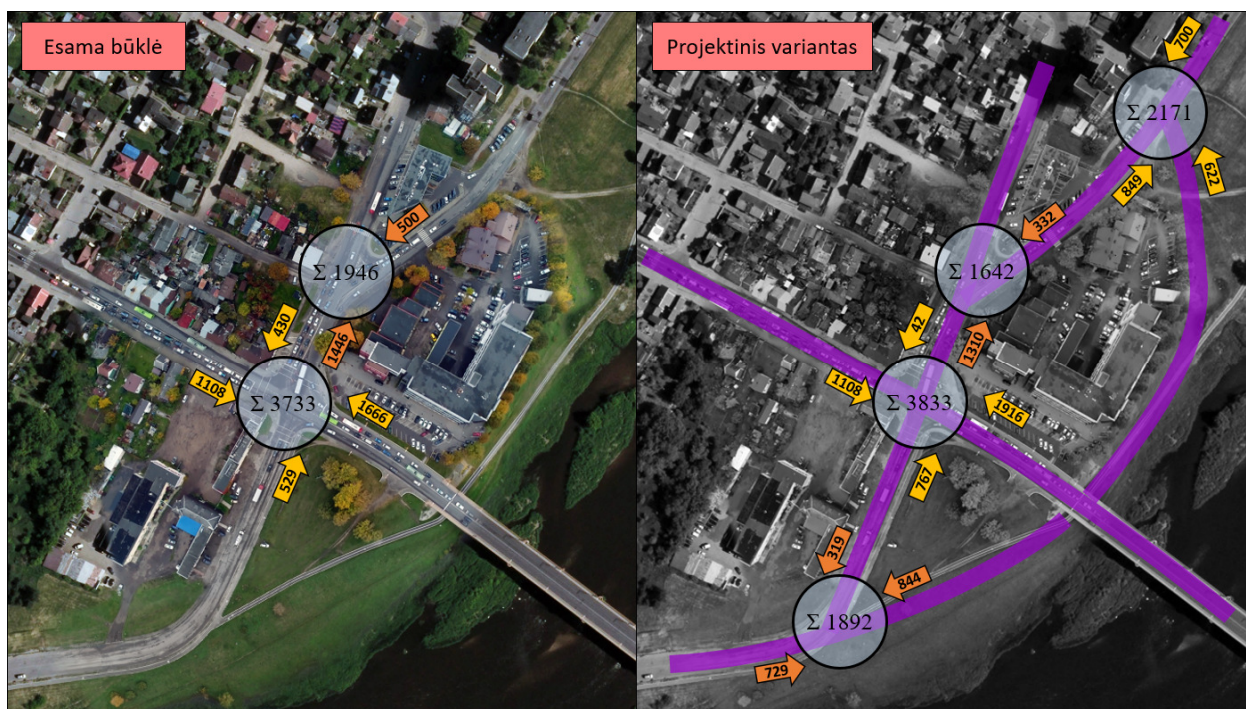
Studijoje taip pat buvo atsižvelgta į planuojamą „Kėdainių tiltą“, dėl kurio tiriamame mazge eismo srautai gali pasikeisti (3.11 pav.).



3.11 pav. Planuojamo „Kėdainių“ tilto bei nagrinėjamo objekto vietų schema

Įvertinus dabartinį srautą, planuojamos infrastruktūros techninius parametrus, gatvių tinklą bei funkcinis susisiekimo koridorius bei kitas prielaidas buvo prognozuotas galimas papildomas transporto srautas po „Kėdainių“ tilto atidarymo.

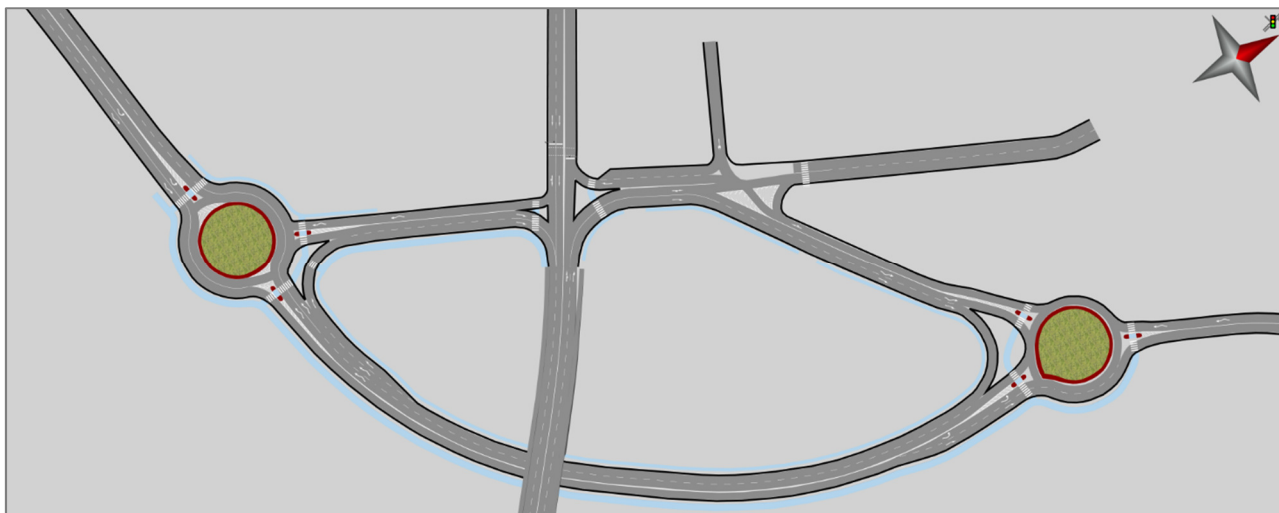
Taip pat dėl nagrinėjamo mazgo geometrijos pokyčio buvo atliktas eismo srautų persiskirstymas. 3.12 paveiksle pateiktas esamas ir prognozuojamas eismo intensyvumas vakarinio piko metu mazgo sankryžose.



3.12 pav. Planuojamo „Kėdainių“ tilto bei nagrinėjamo objekto vietų schema

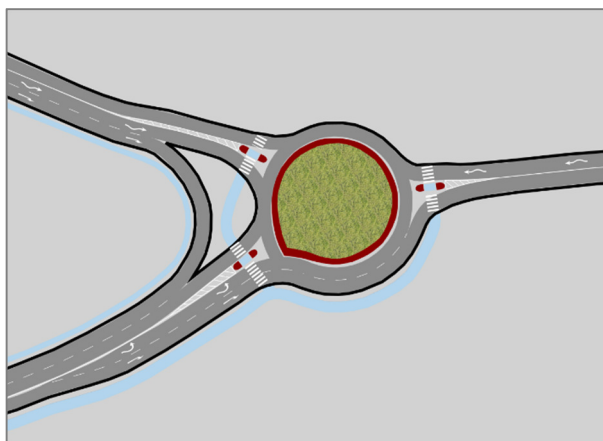
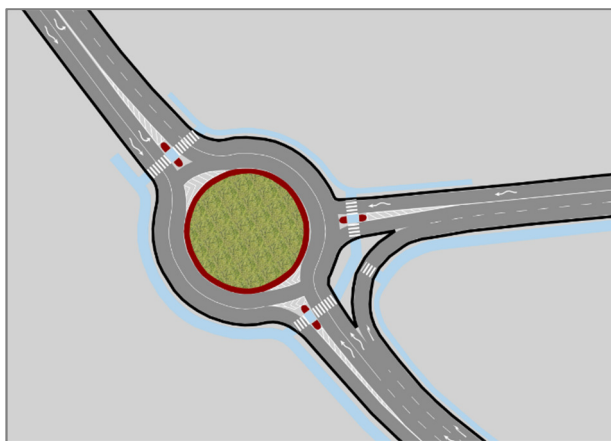
3.2.2. Modeliuoti scenarijai bei rezultatai eismo laidumo požiūriu

- Projektinis variantas Nr. 1 – žiedinės sankryžos



Brastos gatvės sankryža

Nėries krantinės sankryža



3.13 pav. Projektinio varianto Nr. 1 planinė schema

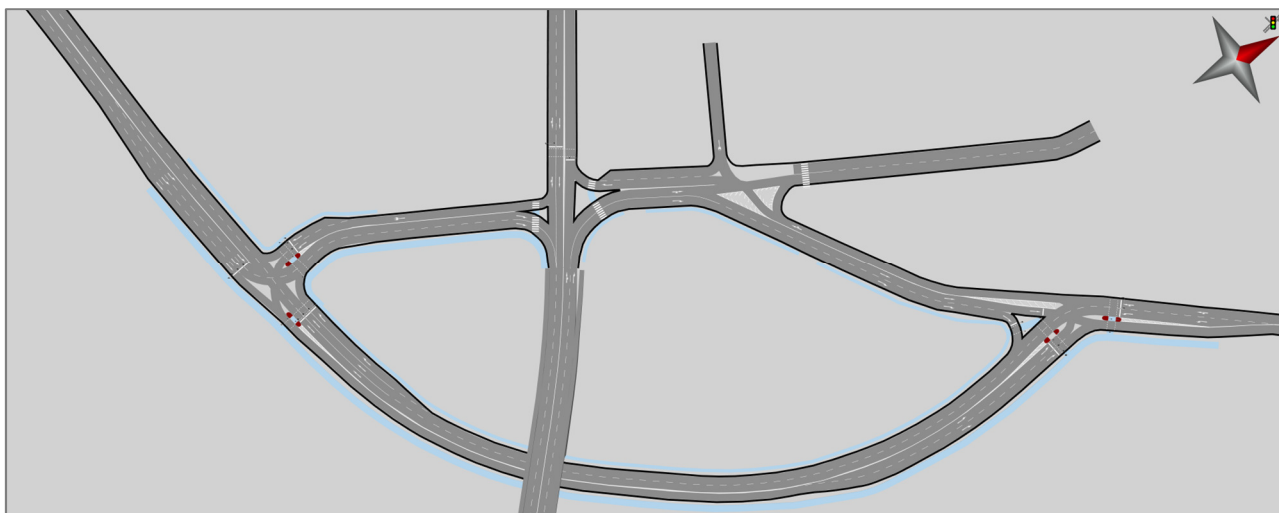
Projektinio scenarijaus privalumai:

- Užtikrinamas aukštas laidumo lygis visomis kryptimis.
- Kelio ženklais reguliuojama sankryža reikalauja mažiau techninės priežiūros lyginant su šviesoforais reguliuojama sankryža.
- Kiekvienai kryptčiai skirtos eismo juostos užtikrins sklandų eismą ir mažesnį konfliktinių taškų skaičių.
- Aiškus eismo organizavimas užtikrina geresnes ir saugesnes eismo sąlygas lyginant su dviejų eismo juostų žiedu (Nėries krantinės sankryžoje).

Šios schemos trūkumai (galimos grėsmės):

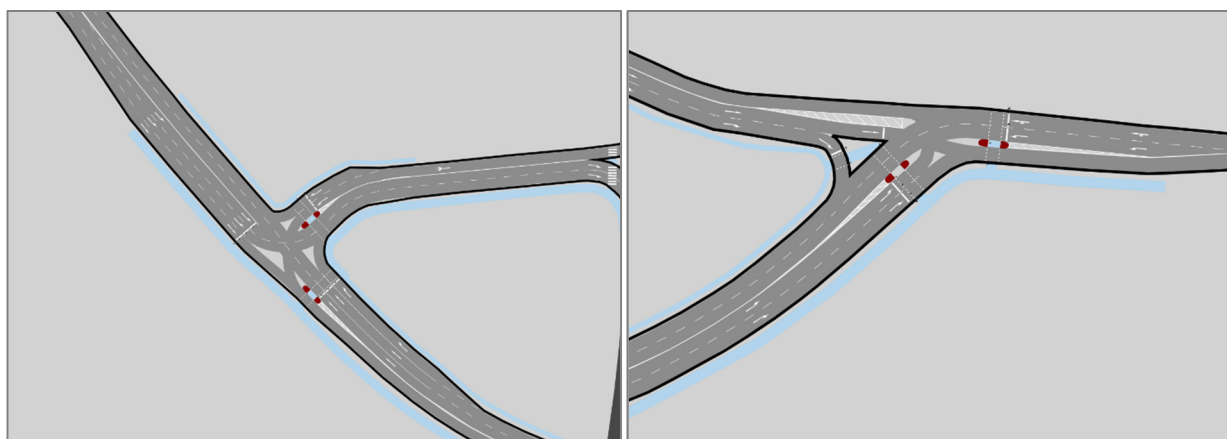
- Pėsčiųjų perėjos yra reguliuojamos kelio ženklais – mažiau saugios nei šviesoforu reguliuojamoje sankryžoje, tačiau žiedinių sankryžų prieigose esančios perėjos yra laikomos saugiomis.

- Projektinis variantas Nr. 2 – šviesoforinės sankryžos



Brastos gatvės sankryža

Nėries krantinės sankryža



3.14 pav. Projektinio varianto Nr. 2 planinė schema

Projektinio scenarijaus privalumai:

- Šviesoforais reguliuojamų sankryžų valdymas gali būti koordinuojamas, todėl kai kurie eismo srautai projektuojamą gatvę gali pravažiuoti be, arba su minimaliu sustojimų kiekiu.
- Šviesoforais reguliuojamos sankryžos yra saugesnės pėsčiųjų atžvilgiu, nes visi sankryžų manevrai yra apsaugoti.

Šios schemos trūkumai (galimos grėsmės):

- Vidutinis šviesoforais reguliuojamos sankryžos eismo kokybės lygis LOS „C“, todėl yra prastesnis nei žiedinių sankryžų.

Eismui sankryžose apibūdinti naudojamas eismo kokybės rodiklis, LOS (angl. *level of service*), kuris charakterizuoja eismo sąlygų būklę bei vertinamas raidėmis A, B, C, D, E ir F, kur LOS A – puikios eismo sąlygos, LOS F – labai sudėtingos eismo sąlygos. LOS yra tarptautinis eismo kokybę apibūdinantis rodiklis. Skaičiavimai atliekami pagal HCM 2010 (leidžiamas nacionalinės Amerikos mokslo akademijos transporto instituto) rekomendacijas ir metodiką. Nustatant eismo kokybės lygį yra vertinamas važiavimo greitis, kelionės laikas, manevro laisvė, laiko gaištys, važiavimo komfortas ir patogumas — veiksniai, darantys įtaką bendram prastovos laikui.

3.8 lentelė. Eismo kokybės rodikliai skirtingose sankryžose (*Transportation Research Board 2010*)

LOS	Prastova sekundėmis žiedinėse arba kelio ženklais reguliuojamose sankryžose	Prastova sekundėmis šviesoforais reguliuojamose sankryžose
A	≤10 sec	≤10 sec
B	10–15 sec	10–20 sec
C	16–25 sec	21–35 sec
D	26–35 sec	36–55 sec
E	36–50 sec	56–80 sec
F	>50 sec	>80 sec

Vertinant eismo sąlygas nagrinėjamame transporto mazge eismo kokybės lygis nustatytas remiantis vidutine automobilio prastova, vidutiniu judėjimo greičiu bei susidarančių eilių ilgiu.

Eismo kokybės rodikliai nagrinėti ties:

- Brastos gatvės sankryža;
- Neries krantinės sankryža;
- Jurbarko – Brastos – A. Kriščiukaičio gatvių sankryžos šalutinėmis kryptimis;
- A. Kriščiukaičio – Neries krantinės gatvių sankryžos šalutinėmis kryptimis.

Minėtose sankryžose ir ruožuose vertinti šie eismo rodikliai: gaištis laikas (angl. *delay*), maksimalus eilės ilgis (angl. *queue length*), vidutinis važiavimo greitis (angl. *avg. travel speed*).

Kiekvienam scenarijui atlikta po 10 simuliacijų su skirtingais atsitiktinai sugeneruotais transporto priemonių rinkiniais. Visu skirtingų rinkinių modeliavimo rezultatai yra palyginami, tai leidžia išvengti klaidų jei jų yra bei gauti patikimesnius rezultatus, nes vertinama vidutine reikšme, bei galimu nuokrypiu nuo jos.

Eismo kokybės rodikliai tiriamoms sankryžoms yra vertinti lokaliai. Tai leidžia nustatyti ar suplanuota infrastruktūra: sankryžų tipas, geometrija ir eismo organizavimas jose yra pakankamas vykti skandžiam eismui. Susidarius kamščiams greta esančiuose mazguose bei jiems nusitęsus iki minėtų sankryžų eismo sąlygos nagrinėjamose sankryžose prastės.

3.15 paveiksle pateikta prastovų (iš viso 16) ir automobilių eilių (iš viso 9), matavimo krypčių numeracijos schema.



3.15 pav. Prastovų ir automobilių eilių ilgio matavimo krypčių numeracijos schema

Abiejuose modeliuotuose variantuose eismo sąlygos vakarinio piko metu būtų patenkinamos, blogiausios eismo sąlygos turėtų susidaryti 13 bei 14 manevro kryptimis įgyvendinus projektinį variantą Nr. 2 – šviesoforinės sankryžos. Taip pat transporto priemonių maksimalios eilės susidarytų ilgesnės prie šviesoforinių sankryžų (žr. į žemiau pateiktas lenteles).

3.9 lentelė. Bendri sankryžos modeliavimo rezultatai – eismo kokybės lygiai

Matavimo kryptis	1	2	3	4	5	6	7	8
Projektinis variantas Nr. 1	A	A	A	A	A	A	A	B
Projektinis variantas Nr. 2	C	C	B	C	B	C	A	B

3.10 lentelė. Bendri sankryžos modeliavimo rezultatai – eismo kokybės lygiai

Matavimo kryptis	9	10	11	12	13	14	15	16
Projektinis variantas Nr. 1	A	A	C	A	A	A	A	A
Projektinis variantas Nr. 2	A	A	C	A	D	D	C	C

3.11 lentelė. Bendri sankryžos modeliavimo rezultatai – maksimalūs eilių ilgiai

Matavimo kryptis	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
Projektinis variantas Nr. 1	68	56	32	43	22	46	122	85	72
Projektinis variantas Nr. 2	96	91	75	73	23	65	136	139	101

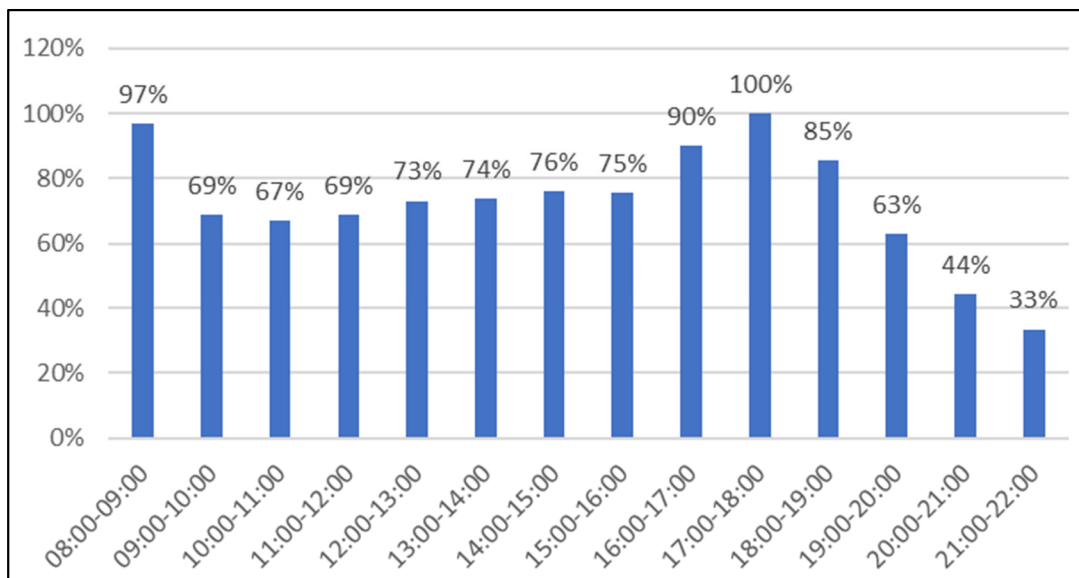
Projektinis variantas Nr. 1 – žiedinės sankryžos yra pranašesnis už projektinį variantą Nr. 2 – šviesoforinės sankryžos eismo laidumo požiūriu, dauguma krypčių prastovos yra labai mažos.

3.2.3. Scenarijų vertinimas eismo saugumo požiūriu

Atliekant eismo saugumo analizę buvo naudoti 3 eismo srautų skirstiniai:

1. 100 % eismas piko metu – intensyviausias eismas.
2. 79 % eismas vidutinio apkrovimo eismas.
3. 58 % eismas mažo apkrovimo eismas.

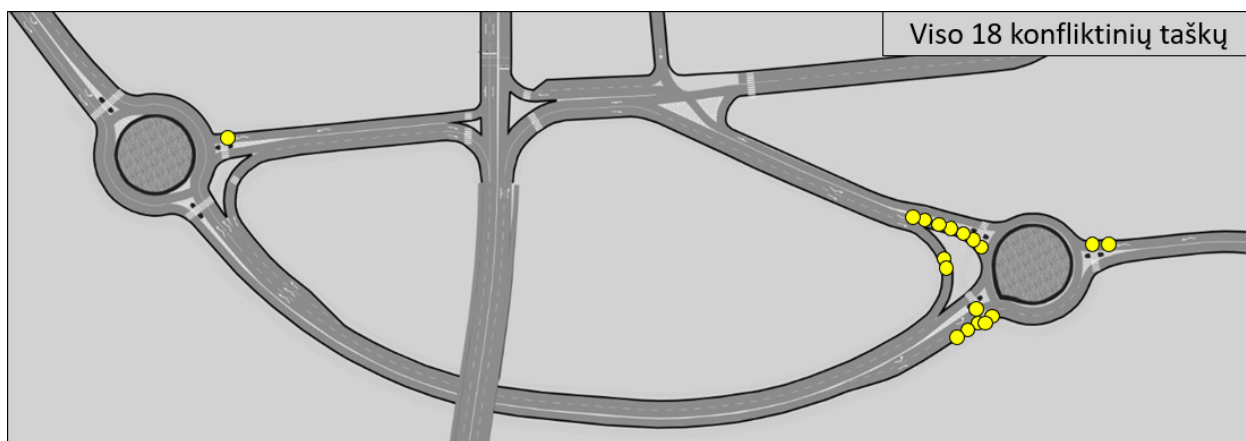
Šie skirstiniai buvo sudaryti remiantis atlikus vienos iš Kauno gatvių visos paros eismo srautų matavimą (3.16 pav.).



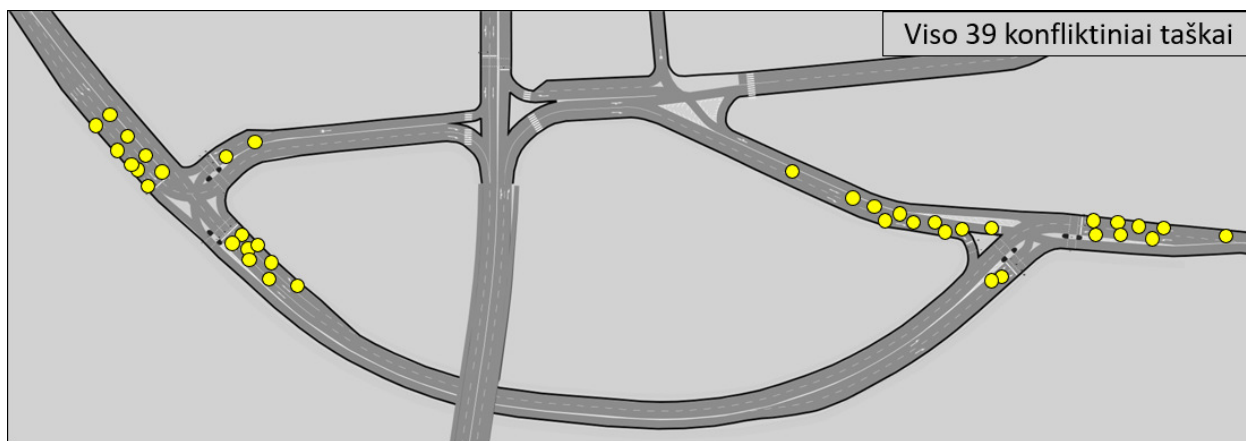
3.16 pav. Kauno gatvės eismo srautų pasiskirstymas paros metu

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad intensyviausias paros metas yra vakarinis pikas tarp 17 ir 18 valandos. Kitų laiko tarpų valandinės išraiškos pateikiamos procentais atitinkančiais intensyviausią jau minėta vakarinio piko laikotarpį.

Pateiktuose 3.17 ir 3.18 paveiksluose pavaizduoti modeliavimo metu nustatyti konfliktiniai taškai, kai naudotas žemo intensyvumo apkrovimo eismas.



3.17 pav. Projektinio varianto Nr. 1 – žiedinės sankryžos konfliktiniai taškai



3.18 pav. Projektinio varianto Nr. 2 – šviesoforinės sankryžos konfliktiniai taškai

Gauti rezultatai rodo, kad esant neintensyviai eismui žiedinės sankryžos eismo saugumo rodikliai yra geresni lyginant su šviesoforo signalu valdoma sankryža.

Didžiosios daugumos užfiksuotų konfliktinių taškų tipas yra atsitrenkimas į galą, mažesnė dalis yra eismo juostų persirikiavimas. Kadangi šviesoforinės sankryžos valdymas yra sukurtas naudojant apsaugotų posūkių fazes, sankryžose nėra susikertančių konfliktinių taškų.

Tokia pat analizė buvo atlikta naudojant ir intensyvesnio vidutinio ir aukšto intensyvumo apkrovą. Apibendrinti modeliavimo rezultatai pateikti 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. Bendri variantų modeliavimo rezultatai – konfliktiniai taškai

Scenarijus/Eismo intensyvumas	58% - žemas	79% - vidutinis	100% - aukštas
Scenarijus Nr. 1 - žiedinės sankryžos	18	67	221
Scenarijus Nr. 2 - šviesoforinės sankryžos	39	83	108

Rezultatai rodo, kad žiedinės sankryžos efektyvumas yra didesnis esant žemam ir vidutiniam eismo intensyvumui, šviesoforu valdomos sankryžos saugesnės tampa esant aukštam eismo intensyvumui - piko metu.

Verta paminėti, kad panašūs eismo laidumo rezultatai gaunami, atliekant šviesoforinių ir žiedinių sankryžų efektyvumo studijas, kai esant labai intensyviai eismui dažniausiai planuojamos šviesoforu valdomos sankryžos, o esant vidutiniam ar mažam eismo intensyvumui parenkamos įvairių konfigūracijų žiedinės sankryžos.

Eksperimento metu panaudotas eismo saugumo įvertinimo įrankis taip pat gali būti naudojamas ne tik sankryžose, bet ir analizuojant tam tikrus kelių ar gatvių ruožus, kuriuose galima lyginti skirtingo greičio, papildomų eismo juostų skaičiaus, eismo organizavimo pakeitimo pokyčius.

3.3. Kėdainių miesto esamo gatvių tinklo ir plėtros analizė makroskopinio modeliavimo programa Visum

3.3.1. Miesto eismo srautų modelis

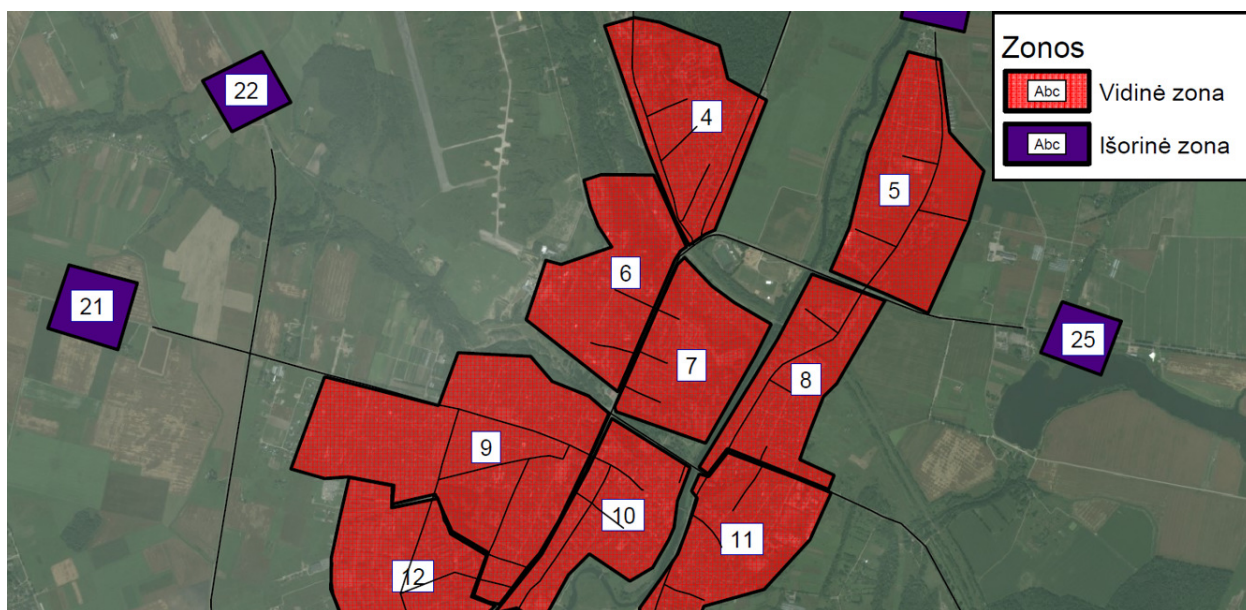
Modeliavimo metu, remiantis ortofoto nuotrauka, buvo sukurti 128 mazgai, kurie imituoja mieste esančias sankryžas, šie mazgai sujungti 265 jungtimis. Kiekviena jungtis turi tam tikrus laidumo ir greičio parametrus, kurie priklauso nuo gatvių kategorijos, eismo juostų skaičiaus. Visas gatvių ir aplink miestą modeliuojamų kelių tinklas sudaro 134 kilometrus.

Modeliuojant buvo sukurtos transporto zonos, plotiniai objektai, vaizduojantys miesto teritorijas. Zonose nurodyti traukos objektai – centroidai, kurie yra visų kelionių iš tos zonos pradžia ir visų kelionių į tą zoną pabaiga. Visos zonos su gatvių tinklu yra sujungiamos jungiamaisiais elementais.

Zonos buvo kuriamos atsižvelgiant į:

- Gyventojų skaičių;
- Darbo vietų skaičių;
- Vienodą teritorijų dydį;
- Rajono vienalytiškumą, kuris pasireiškia dominuojančia žemės paskirtimi;
- Rajono ribas, kurios gali sutapti su gamtinėmis (upės, vandens telkiniai) arba antropogeninėmis ribomis (geležinkeliai, gatvės, keliai).

Kėdainių miestas buvo suskirstytas į 17 vidinių zonų, kurios apibrėžia gyventojų ryšius miesto teritorijoje. Taip pat miestui buvo priskirta 8 išorinės zonos, kurios apibūdina miesto gyventojų ryšius su užmiesčio teritorijomis (3.19 pav.).



3.19 pav. Kėdainių miesto transporto zonų schema

Pastaba: pilnas brėžinys pateiktas priede Nr. 2

Visoms zonoms remiantis statistiniais duomenimis buvo suvesti atributiniai gyventojų skaičiaus ir darbo vietų skaičiaus duomenys (3.13 lentelė).

3.13 lentelė. Transporto zonų atributai

Zonos numeris	Gyventojų skaičius	Darbo vietų skaičius
1	120	110
2	1040	105
3	220	0
4	1480	910
5	1300	50
6	260	400
7	3540	150
8	1880	105
9	2150	360
10	3430	1810
11	550	40
12	11620	770
13	0	795
14	300	0
15	0	610
16	0	570
17	0	1100
18	1560	195
19	513	22
20	2620	1610
21	120	150
22	2156	270
23	780	98
24	352	44
25	616	77
Viso:	36094	10329

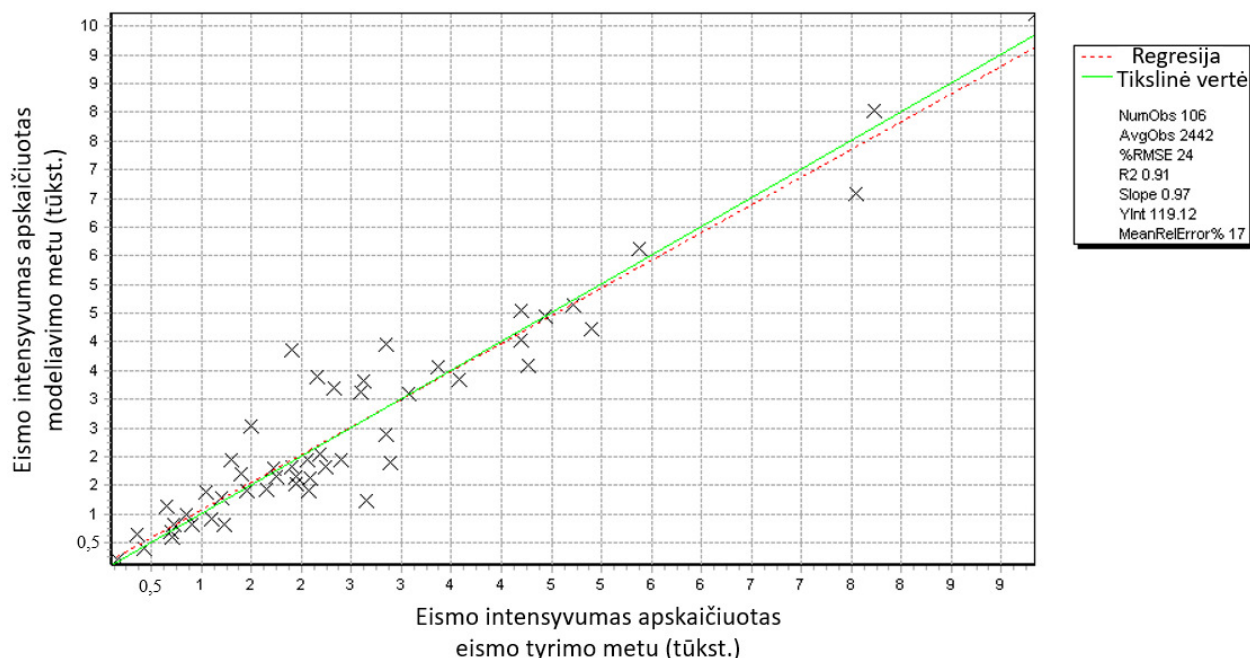
Remiantis 4 pakopų eismo poreikio modeliu buvo sukurtas privataus transporto eismo modelis, kuris buvo kalibruojamas remiantis atliktu eismo srautų tyrimu tam tikruose gatvių ir kelių ruožuose.

Sukurto modelio patikimumas įvertinamas lyginant automobilių srautų stebėjimų užfiksuotas reikšmes, kurių iš viso yra 106, su eismo modeliavimo metu apskaičiuotomis reikšmėmis. Lyginant reikšmes gaunamas determinacijos koeficientas $R^2=0,91$ (žr. 3.20 pav.). Šis koeficientas matematiškai aprašomas formule:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.6)$$

kur y_i stebimos reikšmės, $\hat{y}_i$ prognozuojamos reikšmės, $\bar{y}$ vidurkis. Jeigu $R^2=1$, tai reiškia, kad

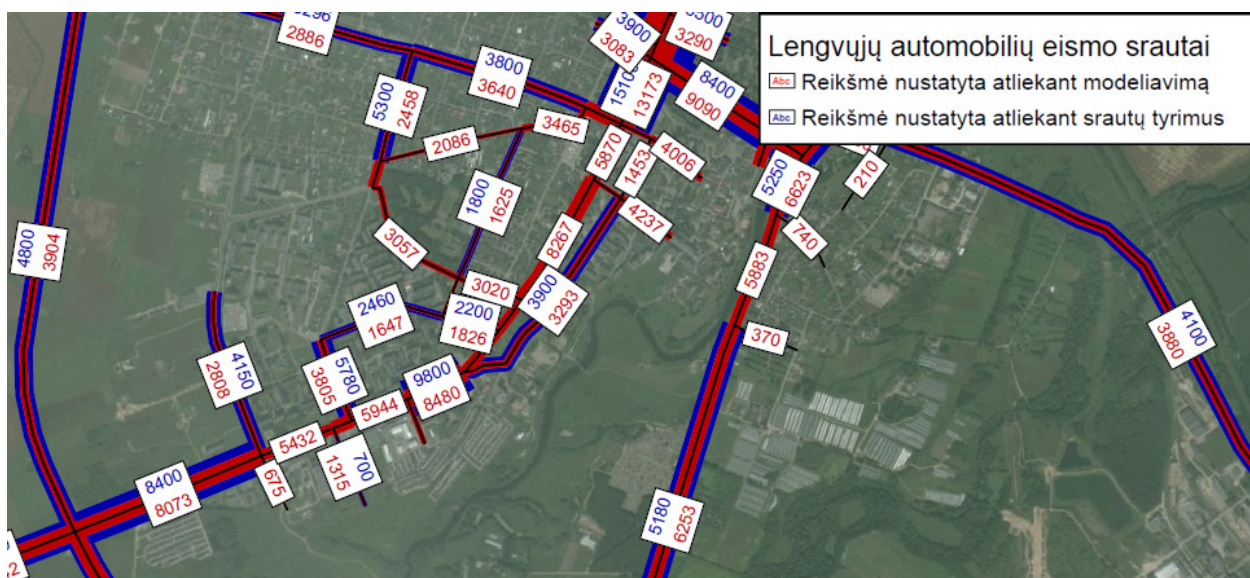
$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = 0$ ir modelis idealiai atitinka stebėtus transporto srautus. Kuo R^2 mažesnis už 1 tuo labiau prognozuojamos reikšmės skiriasi nuo stebimų reikšmių.



3.20 pav. Modelio patikimumo grafikas

Sukurto esamos būklės modelio patikimumą galima vertinti kaip labai tikslų, o esanti 9 % paklaida vertinama kaip neesminė ir tolimesniems rezultatams didelės įtakos neturės.

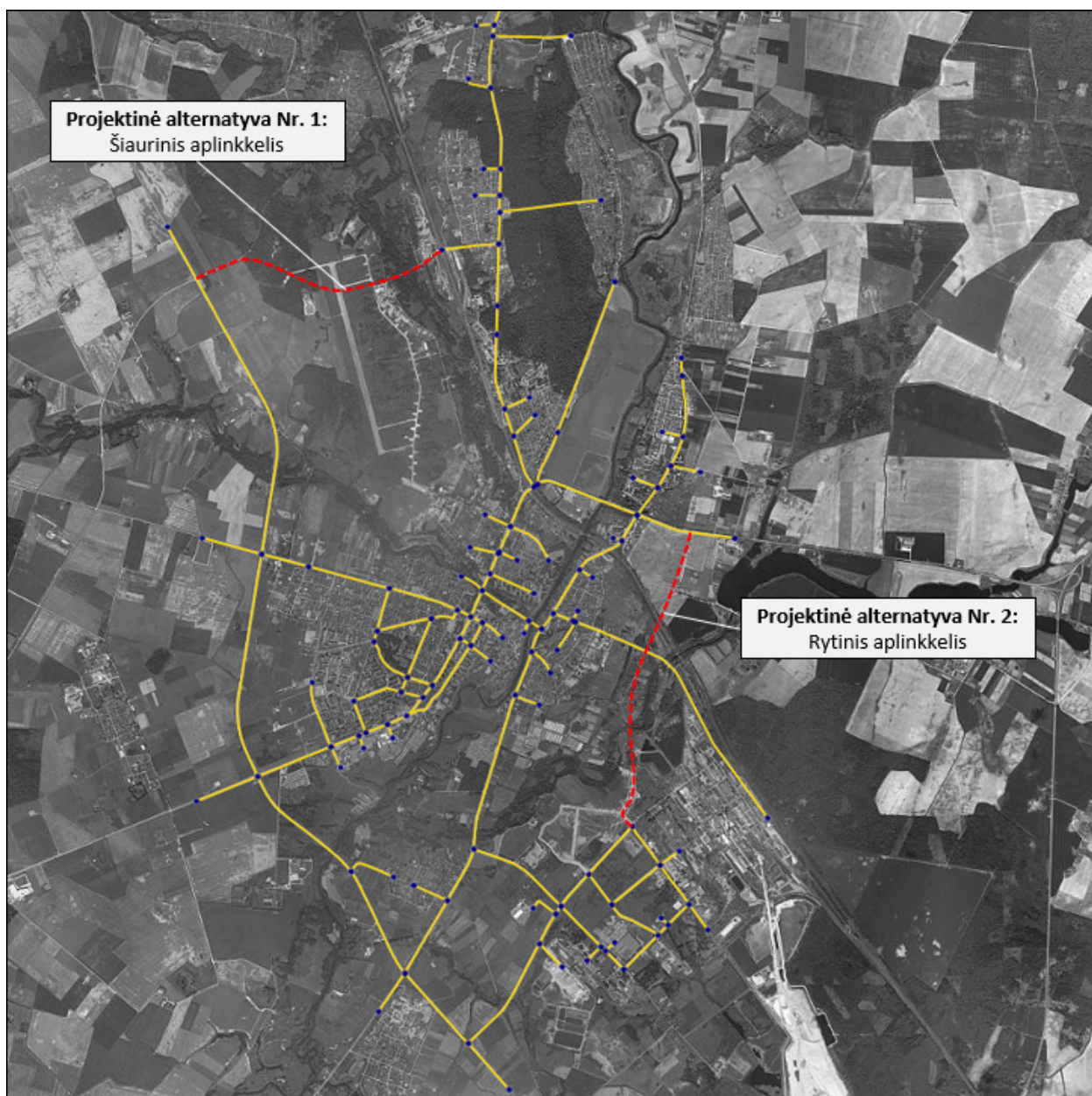
3.21 paveiksle pateikiama eismo srautų kartograma, kurioje yra pavaizduotos eismo intensyvumo reikšmės apskaičiuotos eismo tyrimo metu bei modeliavimo metu.



3.21 pav. Esamos būklės eismo srautų kartograma

Pastaba: pilnas brėžinys pateiktas priede Nr. 3

Atkūrus esamos būklės situaciją eksperimento metu buvo nuspręsta analizuoti šiuos du ateities scenarijus, kurių metu Kėdainių miestas įgyvendina projektinę alternatyvą Nr. 1 – šiaurinis aplinkkelis arba projektinę alternatyvą Nr. 2 – rytinis aplinkkelis (3.22 pav.).



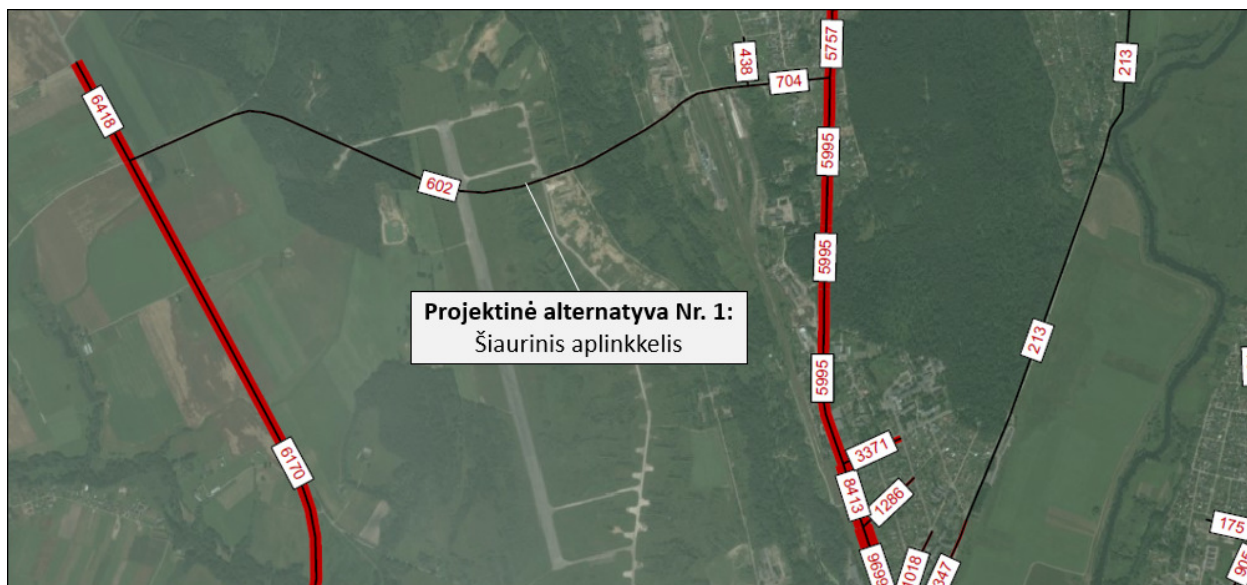
3.22 pav. Analizuojami projektiniai scenarijai

Atliekant projektinių alternatyvų eismo srautų modeliavimą, buvo sukuriama nauji mazgai – sankryžos ir grandys – aplinkkeliai, esamos situacijos gatvių ir kelių tinkle.

Taip pat išlaikomos esamoje būklėje sukurtos vidinės ir išorinės transporto zonos bei naudotas poreikių modelis. Tai reiškia, kad nauja infrastruktūra naudosis gyventojai, jei savo kelionės tikslą galės pasiekti greičiau.

Abu variantai buvo analizuojami atskirai, dėl to galima įvertinti kiekvienos alternatyvos daromą poveikį eismo srautų persiskirstymui.

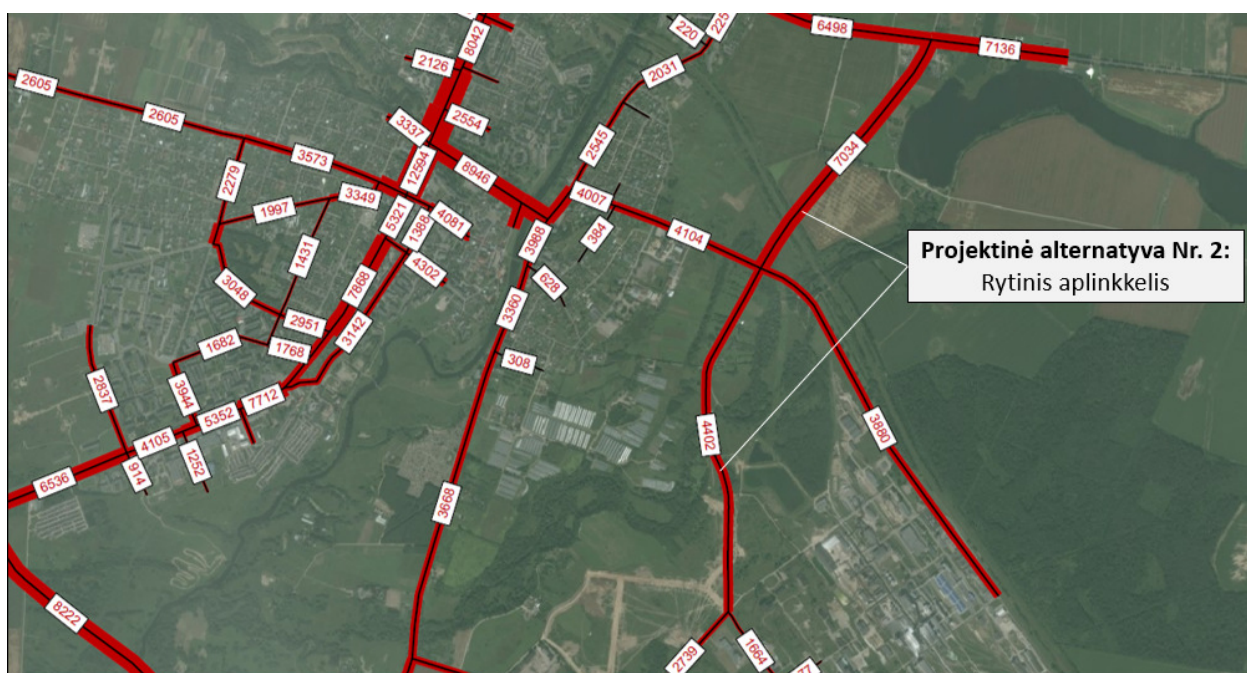
Projektinės alternatyvos Nr. 1 – šiaurinio aplinkkelio ilgis apie 3 km, gatvės kategorija C₁, kurios projektinis greitis yra 60 km/h ir 2 eismo juostos. Modeliavimo metu buvo nustatyta, kad šia jungtimi naudotųsi nedidelė dalis miesto gyventojų – prognozuojama, kad gatve per parą pravažiuotų 602 automobiliai (3.23 pav.).



3.23 pav. Projektinio varianto Nr. 1 eismo srautų kartograma

Pastaba: pilnas brėžinys pateiktas priede Nr. 4

Projektinės alternatyvos Nr. 2 – vakarinio aplinkkelio ilgis apie 3.2 km, gatvės kategorija B₂, kurios projektinis greitis yra 60 km/h ir 2 eismo juostos. Eismo srautų modeliavimas parodė, kad vakariniu aplinkkelio per parą pravažiuotų iki 7000 automobilių (3.24 pav.).



3.24 pav. Projektinio varianto Nr. 2 eismo srautų kartograma

Pastaba: pilnas brėžinys pateiktas priede Nr. 5

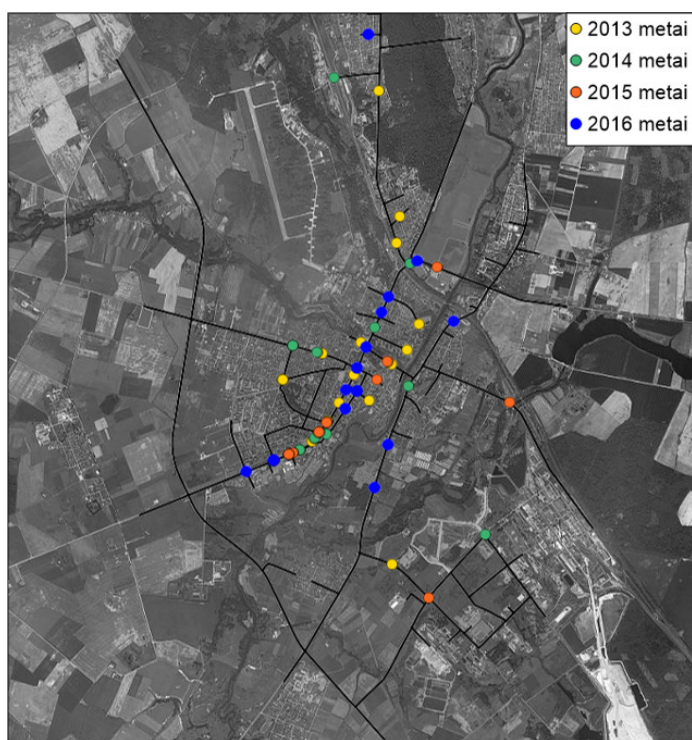
3.3.2. Eismo įvykių prognozė

Remiantis programoje įdiegtu eismo įvykių prognozavimo modeliu, kuris detalai aprašytas analitinėje dalyje Kėdainių mieste esančioms gatvėms ir šalia miesto esantiems keliams priskyriau šias reikšmes:

- Krašto ir rajoniniams keliams – pagrindinis tarpmiestinis kelias;
- B kategorijos gatvėms – pagrindinė miesto gatvė;
- C kategorijos gatvėms – pagrindinė komercinė miesto gatvė;
- D kategorijos gatvėms – šalutinė miesto gatvė.

Svarbu pabrėžti, kad eismo įvykiai šiame prognozės modelyje atitinka ne tik nelaimingus atsitikimus, kuriuose eismo dalyviai yra sužalojami arba žūsta, bet ir įvykius, kurių metu žala atliekama tik eismo dalyvių nuosavybei. Prognozuojamas eismo įvykių skaičius apima ir potencialius techninius eismo įvykius.

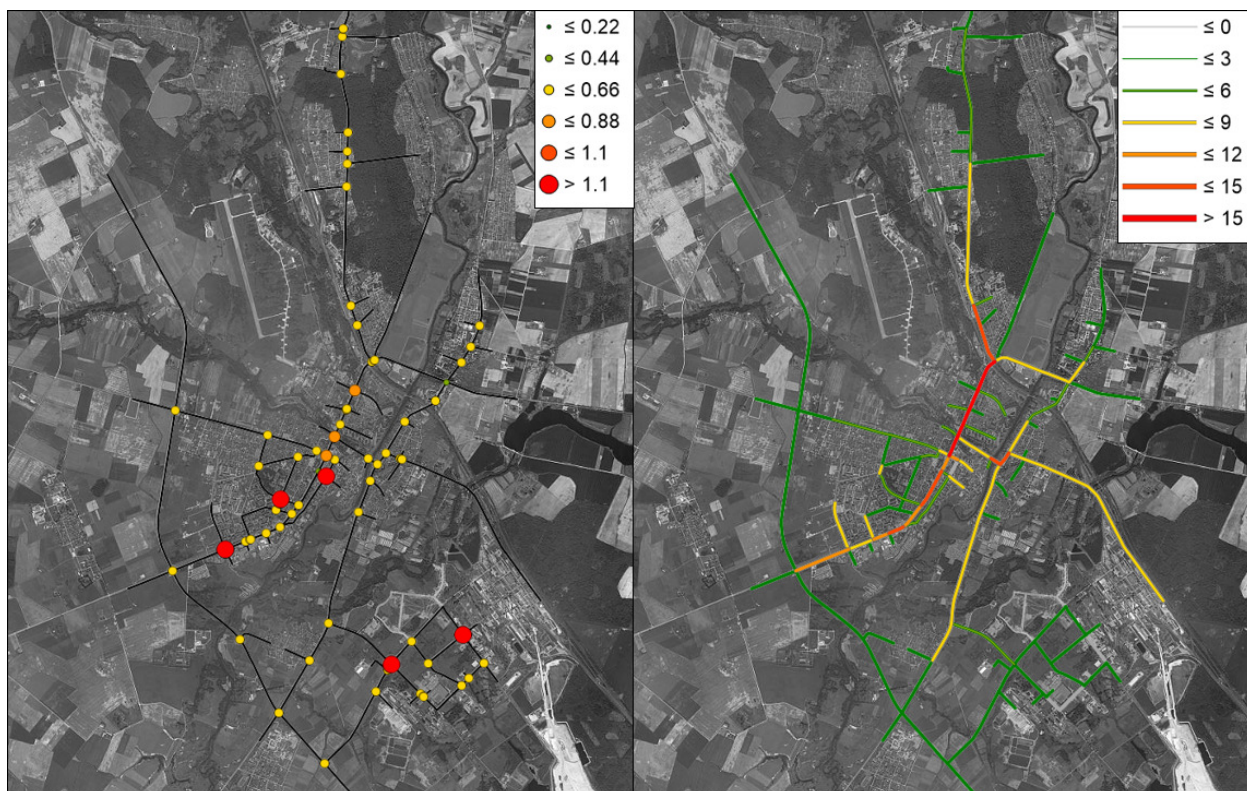
Per 2013 – 2016 metų laikotarpį Kėdainių mieste iš viso įvyko 58 įskaitiniai eismo įvykiai, kurių metu žuvo 3 eismo dalyviai, o 61 buvo sužalotas. 2013 metais įvyko 20 eismo įvykių, 2014 metais – 14, 2015 metais – 10 ir 2016 metais – 14 (3.25 pav.).



3.25 pav. Įskaitiniai eismo įvykiai Kėdainiuose 2013 – 2016 metai

Daugiausiai nelaimingų eismo įvykių buvo užfiksuota centrinėje J. Basanavičiaus gatvėje, kuri driekiasi per didžiąją dalį miesto.

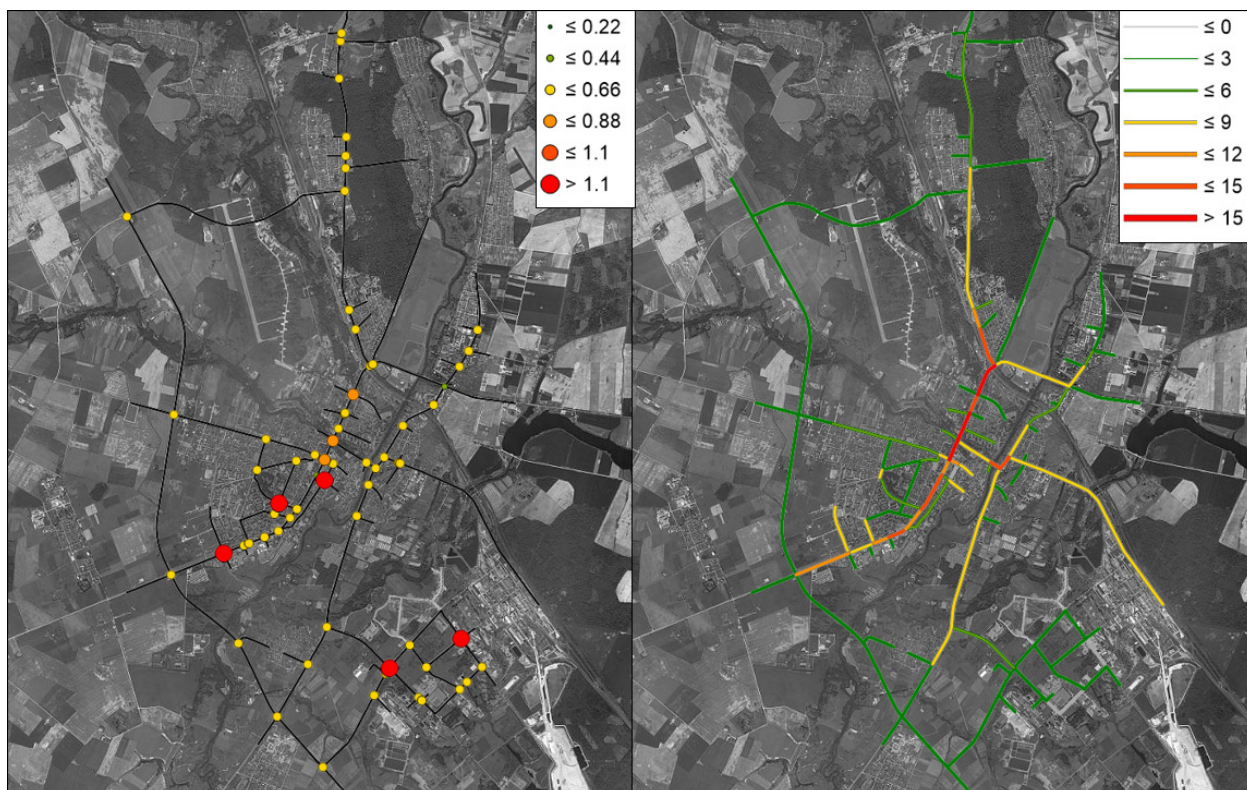
Pagal 2015 metų policijos duomenis Kėdainių mieste iš viso įvyko 382 eismo įvykiai įskaitant ir techninius eismo įvykius. Esamos būklės eismo įvykių prognozės modelis nurodo, kad per metus turėtų įvykti 361 eismo įvykis (3.26 pav.).



3.26 pav. Esamos būklės eismo įvykių prognozės modelis

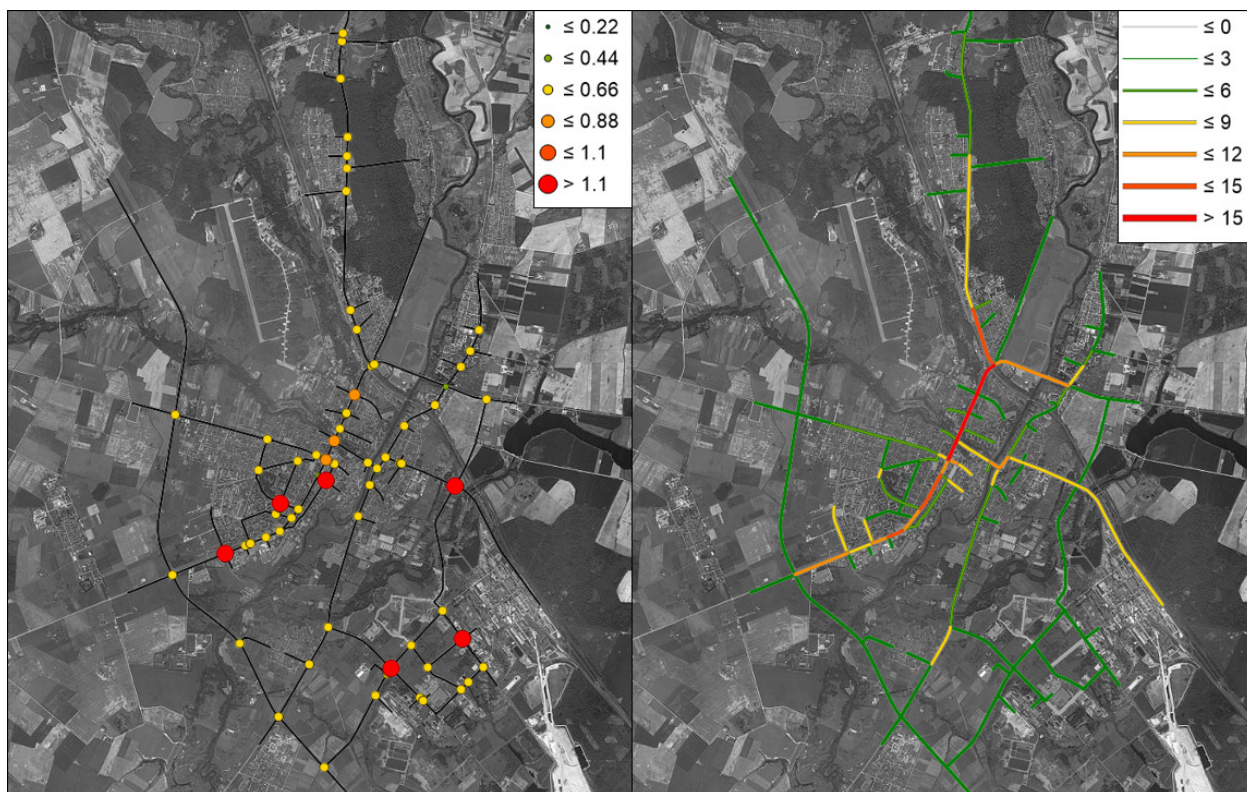
Šių reikšmių absoliutus skirtumas yra 21 eismo įvykis ir tai atitinka 5 % paklaidą, kuri gali būti vertinama kaip labai maža.

Igyvendinus projektinę alternatyvą Nr. 1 – šiaurinę aplinkkelį eismo saugumo situacija mieste tik nežymiai pagerėtų, prognozuojama, kad įvyktų 355 eismo įvykiai (3.27 pav.).



3.27 pav. Projektinio varianto Nr. 1 eismo įvykių prognozės modelis

Igyvendinus projektinę alternatyvą Nr. 2 – Rytinį aplinkkelį, prognozuojama, kad įvyktų 347 eismo įvykiai (3.28 pav.).



3.28 pav. Projektinio varianto Nr. 2 eismo įvykių prognozės modelis

Nauja miesto jungtis dalyje gatvių sumažintų eismo įvykių tikimybę, vis dėl to iš esmės eismo saugumo situacijos nepagerintų, kadangi didelė dalis eismo vis tiek naudotųsi pagrindine centrine miesto gatve.

3.14 lentelėje pateikti subendrinti eismo įvykių prognozavimo rezultatai.

3.14 lentelė. Bendri eismo įvykių prognozavimo rezultatai

Scenarijus	Eismo įvykių skaičius
Esama situacija 2015 metų duomenys	382
Esamos situacijos prognozė	361
Projektinės alternatyvos Nr. 1 – šiaurinio aplinkkelio prognozė	355
Projektinės alternatyvos Nr. 2 – vakarinio aplinkkelio prognozė	347

Vertinant projektinių alternatyvų naudą tiek laidumo, tiek eismo saugumo požiūriu naudingesnė būtų projektinė alternatyva Nr. 2 – vakarinis aplinkkelis.

Eksperimento metu naudotas makromodeliavimo įrankis galėtų būti naudojamas ne tik tam tikro miesto apimtyje, vertinant naujų jungčių poveikį, bet ir analizuojant visos šalies kelių tinklą, nustatant strateginius tinklo plėtros planus.

IŠVADOS

1. PKSV yra viena iš keturių eismo saugumo gerinimo priemonių reglamentuotų Europos Sąjungos 2008/96/EC direktyvoje. Procedūros paskirtis – strateginis naujo kelio tiesimo ar esamo kelio rekonstrukcijos palyginimas eismo saugumo požiūriu. Atliekant PKSV pagrindinės dalys turėtų būti: pirminė analizė, scenarijaus „nesiimti jokių veiksmų“ aprašymas, siūlomų alternatyvių sprendimų poveikio kelių saugumui analizė, alternatyvių sprendimų palyginimas ir galimų sprendimų pateikimas. Iš šių dalių sudėtingiausia ir labiausiai kompleksinė dalis yra alternatyvių sprendimų palyginimas, kuris gali būti atliekamas remiantis eismo saugumo specialistų išvada, įvairių žinynų rodikliais bei eismo saugumo poveikio rezultatais paremtais programine įranga.

Atlikus pasaulinės patirties apžvalgą buvo nustatyta, kad šiuo metu procedūros atlikimo metodai įvairiose šalyse yra skirtingi. Labiausiai pažengusiose šalyse yra plėtojama programinė įranga skirta eismo saugumo klausimams spręsti, naudojant šiuos įrankius galima atlikti įvairias kompleksines užduotis. Vis dėl to įvairūs įrankis yra skirti tik tam tikroms specifinėms užduotims atlikti.

2. Sprendžiant eismo saugumo problemas ir kuriant poveikio kelių saugumui vertinimo sistema yra reikalingi šie duomenys:
 - Įskaitiniai eismo įvykiai. Duomenys turi būti atributinė informacija – sužeistųjų skaičius, žuvusiųjų skaičius, laiko, vietos bei pagrindinės su eismo įvykiu susijusios charakteristikos.
 - Eismo srautai. Dažniausiai eismo intensyvumo dydis turi tiesioginę įtaką eismo įvykių skaičiui. Priklausomai nuo sprendžiamų užduočių reikalingas arba metinis paros eismo intensyvumas arba tipinis piko metu užfiksuojamas eismas.
 - Eismo infrastruktūros duomenys. Informaciją sudaro eismo organizavimas, vertikalus, horizontalus ženklavimas, numatytas greitis, ruožų ilgiai, eismo juostų skaičius ir plotis, šviesoforų valdymo programos.
3. Šiuo metu Lietuvoje tiesiogiai eismo saugumo klausimams taikoma eismo įvykių prognozavimo bei inžinerinių saugaus eismo priemonių efektyvumo vertinimo programa TARVA LT. Netiesiogiai yra naudojami eismo mikromodeliavimo įrankiai, kurie padeda nustatyti susidarančias eismo laidumo sąlygas, galimus kamščius, eilių ilgį, ar kitas nedėkingas eismo sąlygas. Dažniausiai PKSV atliekamas remiantis eismo saugumo ekspertų vertinimu, kuris gali suteikti kiekvienam eismo saugumo klausimui tam tikrą neigiamą, teigiamą, arba neutralų įvertinimą. Šio metodo taikymas yra lengvas ir

garantuoja rezultatą, tačiau patikimumas ir įvertinimo kokybė priklauso nuo eksperto kompetencijos.

4. Baigiamajame darbe analizuojami ir detaliai apžvelgiami 3 įrankių pagrindiniai veikimo principai, paketų taikymo galimybės:
 - Eismo įvykių prognozavimo bei inžinerinių saugaus eismo priemonių efektyvumo vertinimo programa Tarva LT. Eismo įvykių prognozavimui naudojamas labai didelis kiekis atitinkamo laikotarpio duomenų apie kelio geometrinius parametrus, VPMEI, istorinius eismo įvykius, taip pat viskas kelių tinklas yra suskirstytas į homogeninius ruožus. Įrankio veikimo principas paremtas Bajeso metodu, kuris teigia, kad panašioje aplinkoje, kurioje vyrauja panašios eismo sąlygos, yra panaši eismo įvykių rizika;
 - Eismo srautų mikroskopinio modeliavimo programa PTV Vissim. Įrankio veikimo architektūrą sudaro trys pagrindiniai blokai:, kurie tarpusavyje sąveikauja: infrastruktūros, eismo ir eismo valdymo. Realų eismo sąlygų atkūrimą užtikrina fundamentiniai pagrindiniai programinės įrangos modeliai: sekimo modelis, eismo juostos keitimo modelis, šoninis eismo juostos elgsenos modelis. Sukūrus eismo srautų modelį galima gauti įvairius išvesties duomenis tokius kaip prastovos ar automobilių eilės, o eismo saugumo įvertinimui naudojamos simuliacijos metu užfiksuotos automobilių trajektorijos. Modulis SSAM apdoroja visus trajektorijų duomenis ir nustato potencialiai pavojingus konfliktinius taškus tinkle;
 - Eismo srautų makroskopinio modeliavimo programa PTV Visum. Įrankio architektūrą sudaro 8 pagrindiniai objektai: zonos, mazgai, grandys, posūkiai, jungtys, stotelės, linijos ir teritorijos. Sukuriant esamos miesto situacijos eismo srautų modelį naudojamas 4 pakopų poreikio modelis, kuris paremtas kelionių pasiskirstymu tarp transporto zonų. Modeliavimo metu apskaičiuoti eismo srautai naudojami eismo įvykio prognozavimui atlikti, kuris atliekamas dar papildomai įvertinus kiekvienos sankryžos valdymo tipą, susikirtimų skaičių, kelio ir gatvės tipą bei eismo juostų skaičių;
5. Demonstraciniu objektu, testuojant įrankį Tarva LT, buvo pasirinktas magistralinis kelias A11. Naudojant potencialiai pavojingų ruožų metodika, buvo nustatytas pavojingiausias ruožas, kuris yra Kretingos mieste magistraliniame kelyje Nr. A11 Šiauliai – Palanga 135.486 - 136.094 km. Atlikus ruožo analizę, buvo nuspręsta sudaryti 2 inžinerinių eismo saugumo gerinimo priemonių planus. Naudojant Tarva LT programą buvo nustatyta, kad jei ruože nebus nieko daroma, tai bendras tikėtinas eismo įvykių skaičius per metus – 0,58 vnt. Įgyvendinus siūlomus projektus tikėtiną eismo įvykių skaičių per metus būtų galima

sumažinti iki 0,43 vnt. jei būtų įgyvendintas projektas Nr. 1 arba 0,38 vnt. jei būtų įgyvendintas projektas Nr. 2. Lyginant ekonominiu aspektu pranašesnis yra projektas Nr. 1, kurio investicijos 1 eismo įvykiui išvengti yra lygios 112 000 €. Norint išlaikyti šios sistemos veiksmingumą, reikalingi nuolatiniai duomenų atnaujinimai bei pačių modelių korekcijos, kadangi esantis kelių tinklas nuolat yra keičiamas, taip pat eismo saugumą gerinančių priemonių rodikliai tam tikrame laikotarpyje ir ruožuose gali kisti.

Naudojant eismo srautų mikroskopinio modeliavimo programą PTV Vissim buvo pasirinktas Kaune esantis mazgas, kuris yra centrinėje dalyje, Vilijampolės mikrorajone ties Petro Vileišio tiltu. Tirama Jurbarko, Brastos ir A. Kriščiukaičio gatvių sankryža bei jos prieigos. Eksperimento metu buvo atliktas eismo srautų tyrimas piko metu. Iš viso nagrinėjami buvo 2 projektiniai variantai: žiedinės sankryžos ir šviesoforinės sankryžos. Eismo modeliavimo rezultatai parodė, kad piko metu laidesnis yra variantas, kuriame numatomos žiedinės sankryžos. Vertinant eismo saugumo poveikį buvo naudojami skirtingi eismo srautų skirstiniai: intensyviausias eismas, vidutinio apkrovimo eismas ir mažo apkrovimo eismas. Rezultatai parodė, kad žiedinės sankryžos efektyvumas yra didesnis esant žemam ir vidutiniam eismo intensyvumui, šviesoforu valdomos sankryžos saugesnės tampa esant aukštam eismo intensyvumui - piko metu. Eismo saugumo įvertinimo įrankis taip pat gali būti naudojamas ne tik sankryžose, bet ir analizuojant tam tikrus kelių ar gatvių ruožus, kuriuose galima lyginti skirtingo greičio, papildomų eismo juostų skaičiaus, eismo organizavimo pakeitimo pokyčius.

Eksperimento metu, naudojant makroskopinio modeliavimo įrankį PTV Visum, buvo pasirinkta Kėdainių miesto esamo gatvių tinklo ir plėtros analizė. Remiantis atliktu eismo intensyvumo tyrimu eismo srautų modelis buvo sukurtas 91 % tikslumu, esanti 9 % paklaida yra neesminė ir tolimesniems rezultatams didelės įtakos neturėjo. Atkūrus esamos būklės situaciją eksperimento metu buvo nuspręsta analizuoti šiuos du ateities scenarijus, kurių metu Kėdainių miestas įgyvendina projektinę alternatyvą Nr. 1 – šiaurinę aplinkkelį arba projektinę alternatyvą Nr. 2 – rytinę aplinkkelį. Modeliavimo metu buvo nustatyta, kad šiauriniu aplinkkeliu naudotųsi apie 600 automobilių, o rytiniu aplinkkeliu iki 7000 automobilių per parą. Įvertinus esamą ir planuojamą gatvių ir kelių tinklą Kėdainių mieste buvo atlikta eismo įvykių prognozė, kuri rodo, kad šiuo metu per metus turėtų įvykti 361 eismo įvykis, įskaitant ir techninius eismo įvykius, 2015 metais įvyko 382 eismo įvykiai, ir tai atitinka 6 % paklaidą. Įgyvendinus projektinę variantą Nr. 1 – šiaurinę aplinkkelį eismo saugumo situacija mieste tik nežymiai pagerėtų, prognozuojama, kad įvyktų 355 eismo įvykiai. Įgyvendinus projektinę alternatyvą Nr. 2 – rytinę aplinkkelį, prognozuojama, kad įvyktų 347 eismo įvykiai. Vertinant projektinių alternatyvų naudą tiek

laidumo, tiek eismo saugumo požiūriu naudingesnė būtų projektinė alternatyva Nr. 2 – vakarinis aplinkkelis. Eksperimento metu naudotas makromodeliavimo įrankis galėtų būti naudojamas ne tik tam tikro miesto apimtyje, vertinant naujų jungčių poveikį, bet ir analizuojant visos šalies kelių tinklą, nustatant strateginius tinklo plėtros planus.

6. Remiantis atliktų eksperimentų rezultatais, norint atlikti PKSV bei sukurti šios procedūros sistemą reikalingi vieši ir detalūs eismo įvykių, eismo srautų ir eismo infrastruktūros duomenys. Tobulinant lietuvišką metodiką siūloma dokumentą „Poveikio kelių saugumui vertinimo tvarkos aprašas“ papildyti žemiau pateiktu punktu:

„Poveikio kelių saugumui vertinimą galima atlikti pateiktais metodais:

- Specialisto nuomonė. Tai yra kokybinis ekspertų vertinimas, kuris gali suteikti kiekvienam eismo saugumo klausimui tam tikrą neigiamą, teigiamą, arba neutralų įvertinimą.
- Žinynai. Kelių eismo saugumo priemonių poveikis vertinamas naudojant nacionalinius žinynus.
- Eismo srautų modeliavimas. Analizuojamas objektas – poveikis keičiamam ir priklausomai nuo nagrinėjamo mastelio gretimam infrastruktūros tinklui.
- Išlaidų ir naudos analizė. Tai gali būti 1-3 metodų dalis atsižvelgiant į galimą poveikį aplinkai, pasiekiamumui, teritorijų planavimui ir t.t.“

7. Remiantis atlikta įrankių analize ir testavimu naujos statybos ir rekonstravimo projektuose miesto gatvėse ir užmiesčio keliuose siūloma naudoti Visum Safety programą makro mastelio projektuose arba SSAM įrankį mikro mastelio projektuose. Tarva LT panaudojimas galimas analizuojant eismo saugumo priemones, kai atliekamas užmiesčio kelių rekonstravimas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Barcelo, J. 2010. *Fundamentals of Traffic Simulation*. New York: Springer.
2. Basile, O., Persia, L. 2012. Tools for Assessing the Safety Impact of Interventions on Road Safety. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 682-691 p.
3. Brannolte, U., Munch, A., Vos, H. 2009. Software-based road safety analysis in Germany. *4th IRTAD Conference*. Seoul. 207-218 p.
4. Eenink, R., Reurings, M., Elvik, R., Cardoso, J., Wichert, S., Stefan, C. 2008. *Accident prediction models and road safety impact assessment: recommendations for using these tools*. Leidschendam: Institute for Road Safety Research.
5. *EU law and publications*. 2008. *Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/96/EB dėl kelių infrastruktūros saugumo valdymo*. Access to European Union law [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0096>>.
6. Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., Shelby, S. G. 2008. *Surrogate safety assessment model and validation*. Georgetown Pike: U. S. Department of Transportation.
7. Grigonis, V. 2011. *Miestų transporto srautų modeliavimas: metodikos nurodymai namų darbams atlikti*. Vilnius: Technika.
8. Jasiūnienė, V. 2012. *Eismo įvykių prognozavimo modelis Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams: daktaro disertacija*. Vilnius: Technika.
9. Jasiūnienė, V. 2015. *Eismo įvykių analizės sistema ONHA LT*. Eismo įvykių prognozavimo bei inžinerinių saugaus eismo priemonių efektyvumo vertinimo programa TARVA LT [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vgtu.lt/files/914/45/2/10_0/Eismo%20%C4%AFvyki%C5%B3%20analiz%C4%97s%20sistema%20ONHA%20LT%20.pdf>.
10. Kelių ir transporto tyrimo institutas. 2018. *2018 metų juodosios dėmės ir avaringi ruožai Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.ktti.lt/wp-content/uploads/2018/04/2018-m.-juodosios-demes-ir-avaringi-ruozai.pdf>>.
11. Kustra, W., Jamroz, K., Budzynski, M. 2016. Safety PL – A Support Tool for Road Safety Impact Assessment. *Transportation Research Procedia*. Gdansk: Elsevier B. V. 3456-3465 p.
12. Laufer, J. 2014. Network management and the forecast of accident blackspot locations. *ARRB Conference, 26th*. Sydney: Australian road research board.
13. Laurinavičius, A., Grigonis, V., Užpalytė-Vitkūnienė, R., Ratkevičiūtė, K., Čigaitė, L., Skrodenis, E., Babrovaitė-Jurkonė, B. 2012. Policy instruments for managing EU road safety

- targets: road safety impact assessment. *The Baltic journal of road and bridge engineering*. 60-67 p.
14. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2011. *Poveikio kelių saugumui vertinimo tvarkos aprašas, įsakymas Nr.V-62* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/acc/legalAct.html?documentId=TAR.436A9A46B68D>>.
 15. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2018. *Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas 2017 m* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <<https://lakd.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/eismo-intensyvumas/vidutinis-metinis-paros-eismo-intensyvumas-2017-m>>.
 16. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Eismo saugumo skyrius. 2017. *Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje, 2013–2016 m.* Vilnius.
 17. Peltola, H. 2000. Background and principles of the Finnish safety evaluation tool, TARVA. *13th ICTCT Workshop*. Corfu: International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety association. 67-79 p.
 18. Peltola, H., Virkkunen, M. 2012. *Lithuanian Tarva. User Manual*. Espoo: VTT Technology.
 19. Persia, L., Usami, D. S., De Simone, F., De La Baumelle, V., Yannis, G., Laiou, A., Salathe, M. 2016. Management of road infrastructure safety. *Transportation Research Procedia*. 3436-3445 p.
 20. PIARC - World road association. 2003. *Road Safety Manual*. Quebec: Route market.
 21. PTV Group. 2017. *Internetinis seminaras: eismo įvykių prognozavimo modeliai naudojant PTV Visum Safety programą* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.youtube.com/watch?v=91LIdy5z1Wc>>.
 22. PTV Group. 2017. *VISUM 16 User Manual*. Karlsruhe: PTV Group.
 23. PTV Group. 2018. *VISSIM 10 User Manual*. Karlsruhe: PTV Group.
 24. Transportation research board. 2010. *Highway Capacity Manual 2010 (HCM2010)*. Washington, DC: National Research Council.
 25. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Kelių tyrimo institutas, VŠĮ Kelių ir transporto institutas Suomijos techninių tyrimų centras VTT, Simsoft Ltd. 2013. *ONHA LT vartotojo vadovas*. Vilnius: Technika.
 26. Wegman, F. C., Roszbach, R., Mulder, J. A., Schoon, C. C., Poppe, F. 1994. *Road Safety Impact Assessment: RIA*. Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research.