



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

MIESTŲ STATYBOS KATEDRA

Robert Markovski

**ANTAKALNIO IR ŽIRMŪNŲ ŽIEDINIŲ SANKRYŽŲ SISTEMOS
REKONSTRAVIMO GALIMYBĖS
RECONSTRUCTION POSSIBILITIES OF ANTAKALNIO AND ŽIRMŪNŲ
ROUNDBABOUTS' SYSTEM**

Baigiamasis Magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Miesto transporto sistemų specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

MIESTŲ STATYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. dr. Marija Burinskienė

(Vardas, pavardė)

(Data)

Robert Markovski

**ANTAKALNIO IR ŽIRMŪNŲ ŽIEDINIŲ SANKRYŽŲ SISTEMOS
REKONSTRAVIMO GALIMYBĖS**

**RECONSTRUCTION POSSIBILITIES OF ANTAKALNIO AND ŽIRMŪNŲ
ROUNDBABOUTS' SYSTEM**

Baigiamasis Magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Miesto transporto sistemų specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Regina Žukienė
(Moksl. laipsnis, vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
MIESTŲ STATYBOS KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Miesto transporto sistemų specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Marija Burinskiene
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Robertui Markovskii.

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Antakalnių ir žirmūnų žiedinių
santykių sistemos rekonstrukcijos
optimizacija

patvirtinta 2013 m. lapkričio 21 d. dekanų potvarkiu Nr. 418ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. gegužės 28 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Darbo struktūra: Apžvalginė dalis, Analitinė dalis,
Eksperimentinė dalis. Darbo išvados ir pasiūlymai.
Mokslinis aparatinis darbas atliktas / užsienio
šaltinių / mokslinių / literatūros / suformuluojamų problemų
Analitinėje dalyje atliktas žiedinių santykių
sistemos analitinis modelio transporto
sistemos modelio ir jo bendrinio modelio
viena rezultatų ir pateiktas išvados.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

Užduotį gavau

(Parašas)

Robert Markovski

(Vardas, pavardė)

2013 m. lapkričio 26 d.

(Data)

doc dr. Vytautas Grigonis

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Miestų statybos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Civilinės inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Antakalnio ir Žirmūnų žiedinių sankryžų sistemos rekonstravimo galimybės**

Autorius **Robert Markovski**

Vadovas **doc. dr. Vytautas Grigonis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe apžvelgiama Lietuvos ir užsienio patirtis žiedinių sankryžų projektavimo srityje. Analizuojamas įvairių tipų sankryžų laidumas, įtaką laidumui darantys veiksniai, aprašomi srauto laidumo skaičiavimo metodai. Apžvelgiami aptarnavimo lygmenys (ang. Level Of Service), priklausomai nuo sankryžoje uždelsto laiko. Analizuojama Antakalnio (Antakalnio g. – Olandų g. – T. Kosciuškos g.) ir Žirmūnų (Žirmūnų g. – Šeimyniškių g. – Tuskulėnų g.) žiedinių sankryžų sistema. Tiriama šios sistemos transportiniai mazgai ir supantis gatvių tinklas. Pateikiami siūlymai dėl žiedinės sankryžos rekonstrukcijos galimybių. Panaudojant transporto srautų modeliavimo programinę įrangą atliktas eksperimentinis variantinis modeliavimas. Išsamiai aprašomi visi modeliuoti variantai ir scenarijai. Pasiūlyti variantai suranguoti pasirinktų kriterijų pagrindu. Po teorinių bei praktinių aspektų aptarimo pateikiamos išvados ir pasiūlymai sankryžoms rekonstruoti.

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

Darbo apimtis - 61 puslapis be darbo priedų, 16 lentelių ir 26 paveikslai.

Prasminiai žodžiai: žiedinė sankryža, šviesoforais reguliuojama sankryža, sankryžos laidumas, transporto srautų modeliavimas, sankryžos rekonstrukcija

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Urban Engineering

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

Master Degree Studies **Civil Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Reconstruction Possibilities of Antakalnio and Žirmūnų Roundabouts' System**
Author **Robert Markovski**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Vytautas Grigonis**

Thesis
language: Lithuanian

Annotation

The master's thesis reviews foreign experience in projection of roundabouts. Capacity of different types of junctions, factors that influence their capacity are analysed, methods of calculating the capacity of traffic are described. Levels of service are overviewed, depending on the time spent in the junction. The streets around roundabout system of Antakalnis (Antakalnio str. - Olandų str. - T.Kosciuškos str.) and Žirmūnai (Žirmūnų g. - Šeimyniškių g. - Tuskulėnų g.) are analysed. Suggestions for possible reconstructions are given. By using the software of traffic modeling a possible experimental modeling is made. All possible variations of the modeling are described in detail. All the suggested variations are ranked on the basis of chosen criteria. After the observation of theoretical and practical aspects, conclusions and suggestions for the reconstruction of the roundabouts system are made.

Thesis consist of: 61 p. text, 16 tables and 26 pictures.

Keywords: roundabout, traffic lights, traffic flow modeling, reconstruction of the intersection

Turinys

Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas.....	10
Naudojamos sąvokos ir trumpiniai	11
IVADAS	12
1. Apžvalginė dalis.....	14
1.1. Miestų susisiekimo sistemų plėtros tendencijos ir problematika	14
1.2. Žiedinių sankryžų projektavimą ir įrengimą reglamentuojantys dokumentai	19
1.3. Pagrindinės žiedinių sankryžų projektavimo nuostatos.....	21
1.4. Projektiniai žiedinių sankryžų elementai	22
1.5. PTV VISION modeliavimo paketo apžvalga.....	25
2. Analitinė dalis	27
2.1. Žiedinių sankryžų laidumo analizė.....	27
2.2. Antakalnio ir Žirmūnų žiedinių sankryžų sistemos gatvių tinklo analizė	33
2.3. Ekonominis vertinimas.....	36
2.3.1. Ekonominio vertinimo modelis ir kriterijai.....	39
2.3.2. Šviesoforais reguliuojamos sankryžos įrengimo išlaidos.....	40
2.3.3. Kelionės laiko santaupos	41
2.3.4. Papildomi kaštai dėl avaringumo padidėjimo.....	43
2.3.5. Ekonominiai įverčiai	44
3. Eksperimentinė dalis.....	47
3.1. Antakalnio žiedinės sankryžos makro modelio parengimas VISUM aplinkoje.....	47
3.1.1. Modeliavimo scenarijaus aprašymas.....	47
3.2. Antakalnių ir Žirmūnų sankryžų sistemos apkrovos variantų modeliavimas	50
3.2.1. Pirmasis modeliavimo variantas	50
3.2.2. Antrasis modeliavimo variantas.....	51
3.2.3. Trečiasis modeliavimo variantas	53
3.3. Palyginimo kriterijų aprašymas.....	54
IŠVADOS	57
NAUDOTA LITERATŪRA.....	59
PRIEDAI.....	61

Lentelių sąrašas

1 lentelė. <i>Highway Capacity Manual</i> 2004 rekomendacijose nurodyti aptarnavimo lygiai skirtingiems sankryžų tipams	16
2 lentelė. <i>Highway Capacity Manual</i> 2010 rekomendacijose nurodyti aptarnavimo lygiai žiedinėje sankryžoje	16
3 lentelė. <i>Highway Capacity Manual</i> 2010 rekomendacijose nurodyti aptarnavimo lygiai žiedinėje sankryžoje	27
4 lentelė. 2014 m. balandžio 10 d. transporto srautai Antakalnio žiedinėje sankryžoje.....	35
5 lentelė. 2014 m. balandžio 10 d. transporto srautai Žirmūnų žiedinėje sankryžoje.....	36
6 lentelė. Eismo intensyvumo priaugio prognozė.....	38
7 lentelė. Lėšų poreikis šviesoforinės sankryžos įrengimui	40
8 lentelė. Paskolos grąžinimas anuiteto būdu.....	41
9 lentelė. Vidutinė kelionės ir laiko vertė, 2013 metų pradžios kainomis (LAKD duomenys).....	41
10 lentelė. Ekonomijos skaičiavimas po šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimo	42
11 lentelė. Vienoje autoavarijoje patiriama žala.....	44
12 lentelė. Transporto priemonių ryšių matrica	48
13 lentelė. Pėsčiųjų ryšių matrica	50
14 lentelė. Kelių eismo taisyklių KET 410 ženklo paaiškinimas (<i>Kelių eismo taisyklės</i> , 2014-10-10).....	51
15 lentelė. KET 201 ir KET 203 kelio ženklų paaiškinimai (<i>Kelių eismo taisyklės</i> , 2014-10-10).....	52
16 lentelė. Modeliavimo variantų rezultatai	56

Paveikslų sąrašas

1 pav. Eismo įvykių statistika Lietuvoje 2005 – 2013 (Lietuvos statistikos departamentas)	17
2 pav. Konfliktiniai taškai keturšalėje ir žiedinėje sankryžoje (Modern Roundabouts 101)	18
3 pav. CO ₂ emisijos priklausomybė nuo transporto priemonės greičio	19
4 pav. Ryšys su kitais norminiais dokumentais	20
5 pav. Pagrindiniai projektiniai žiedinių sankryžų elementai	22
6 pav. „Sunkvežimio prijuostė“, JAV (U.S. Department of Transportation, 2000)	23
7 pav. Žiedinių sankryžų skersmuo užstatytose teritorijose (R ISEP 10).....	23
8 pav. Žiedinių sankryžų skersmuo neužstatytose teritorijose (R ISEP 10)	24
9 pav. „PTV Vision“ apimami modeliavimo lygmenys (PTV Vision 2006).....	25
10 pav. Pakankamos eismo kokybės priklausomybė nuo bendrojo žiedinės sankryžos eismo intensyvumo, sankryžos tipo ir išorinio skersmens.....	28
11 pav. Įvažų pralaidumas (Klibavičius, 2008)	29
12 pav. Mažėjimo koeficientai f_f kelių (gatvę) kertančių pėsčiųjų poveikiui įvertinti vienos eismo juostos įvažose su vienos eismo juostos žiedine važiuojamąja dalimi (Klibavičius, 2008).....	31
13 pav. Mažėjimo koeficientai f_f kelių (gatvę) kertančių pėsčiųjų poveikiui įvertinti dviejų eismo juostų įvažose su dviejų eismo juostų žiedine važiuojamąja dalimi (Klibavičius, 2008).....	31
14 pav. Vidutinio laukimo laiko priklausomybė nuo pralaidumo rezervo R_i ir pralaidumo C_i	32
15 pav. Nagrinėjamų žiedinių sankryžų sistemos geografinė padėtis (www.google.com/maps)	33
16 pav. Nekontroliuojamos ir pavojingos eismo sąlygos Antakalnio žiedinėje sankryžoje	34
17 pav. Susisiekimo tinklo kategorijos (Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 m.)	35
18 pav. Lengvųjų automobilių VMPEI kitimo grafikas	39
19 pav. Viešojo transporto ir krovininių automobilių VMPEI kitimo grafikas	39
20 pav. Transportinės zonos (www.maps.lt)	48
21 pav. Pėsčiųjų zonos (www.maps.lt)	49
22 pav. Pirmasis modeliavimo variantas. Konceptinis esamos situacijos modelis (iš PTV Vissim modeliavimo programos)	50
23 pav. Esamos situacijos modelis su transporto ir pėsčiųjų apkrova (iš PTV Vissim modeliavimo programos).....	51
24 pav. Antrasis modeliavimo variantas. Sistema, susidedanti iš Žirmūnų žiedinės ir Antakalnio šviesoforais reguliuojamos sankryžos	52
25 pav. Trečiasis modeliavimo variantas. Keturšalė šviesoforais reguliuojama Žirmūnų sankryža	53
26 pav. Trečiasis modeliavimo variantas. Keturšalė šviesoforais reguliuojama Antakalnio sankryža	54

Naudojamos sąvokos ir trumpiniai

Antakalnio sankryža – transporto mazgas, kuriame susikerta Olandų g., T. Kosciuškos g. ir Antakalnio g.

DKV – dabartinė kaštų vertė

DNV – dabartinė naudos vertė

EI – eismo intensyvumas

GDV – grynoji dabartinė vertė

HCM – *Highway Capacity Manual*, JAV

Intergreen – laiko intervalas, užtikrinantis saugų konfliktuojančių eismo srautų manevrų atlikimą

KET – kelių eismo taisyklės

LOS – aptarnavimo lygis, ang. Level Of Service

MN ŽSP – žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai

N/K – naudos ir kaštų santykis

Offset – išlyginamasis laikas, skirtas gretimų sankryžų sujungimui į žalą koridorių

PEI – paros eismo intensyvumas

PTV VISSIM, PTV VISUM – transporto ir pėsčiųjų srautų modeliavimo programos

SG – signalinė šviesoforų grupė

VGN – vidinė gražos norma

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas

VSPEI – vidutinis savaitės paros eismo intensyvumas

Žirmūnų sankryža – transporto mazgas, kuriame susikerta Žirmūnų g., Šeimyniškių g. ir Tuskulėnų g.

IVADAS

Transporto spūstys ir toliau trukdo ekonominiam ir socialiniam vystymuisi, taip pat turi neigiamo poveikio aplinkai. Po to kai 2010 metais Vilniuje buvo įrengta centralizuoto eismo valdymo sistema, situacija pagerėjo - sutrumpėjo grūstys, sumažėjo eismo įvykių ir žuvusiųjų skaičius. **Temos aktualumą** patvirtina faktas, kad vos po kelių metų srautai vėl išaugo ir šiuo metu yra keli transporto mazgai, kurie piko metu nesugeba efektyviai organizuoti eismo srautų. Kasmet didėjantis automobilizacijos lygis Vilniuje (2015 m. pradžioje 634 aut./1000 gyv. *Euromonitor International*) sukelia vis daugiau problemų susisiekimo sistemoje. Viena opiausių Vilniaus susisiekimo sistemos problemų šiandien - tai Antakalnio ir Žirmūnų žiedinių sankryžų sistema.

Pagrindinės **problemos** analizuojamoje žiedinių sankryžų sistemoje:

- Antakalnio žiedinė sankryža yra antra avaringiausia žiedinė sankryža Vilniuje;
- Šios žiedinės sankryžos laidumas yra tik apie 3600 transp. priem./val., o piko metu srautas viršija 4400 transp. priem./val.;
- Antakalnio žiedinės sankryžos grūstys turi įtakos Žirmūnų žiedo efektyviam veikimui;
- Įvykus eismo įvykiui arba sugedus troleibusui žiedinių sankryžų sistemoje paralyžiuojamas eismas;
- Vairuotojai žiedais važiuoja nesilaikydami KET.

Lietuvos keliuose pavojingas sankryžas vis dažniau keičia žiedinės sankryžos, kurios yra laikomos pačiomis saugiausiomis. Vienapus jų saugumą galima įvertinti konfliktiniais taškais – vietomis, kuriose dažniausiai galimi eismo įvykiai. Apskaičiuota, kad keturšalėje sankryžoje yra net 32 konfliktiniai taškai. „T“ formos sankryžoje tokių taškų yra 9, o žiedinėje sankryžoje jų yra vos 8.

Tačiau kitapus, Antakalnio žiedinė sankryža patenka tarp dešimties avaringiausių Vilniaus sankryžų. Ši žiedinė sankryža yra suprojektuota taip, kad žmonės problematiškai supranta srautų judėjimą šiame mazge, nors judėjimas žiedu vyksta dviem eismo juostomis, pasitaiko atvejų, kai į vieną juostą nori įvažiuoti trys transporto priemonės.

Darbo **naujumas** pasireiškia tuo, kad Lietuvoje didžiųjų sankryžų analizės beveik nebuvo atliekamos, o užsienio šalyse keturšalės šviesoforais reguliuojamos sankryžos yra rekonstruojamos į žiedines arba modernias žiedines sankryžas. Pabrėžtina, kad analizuojama didžiųjų žiedinių sankryžų sistema, o ne pavienė sankryža. Šiuo atveju bus siūloma žiedinę sankryžą rekonstruoti į keturšalę šviesoforais reguliuojamą sankryžą. Išsivysčiusiose pasaulio šalyse, kuriose eismo saugumui skiriamas didelis dėmesys, modernios žiedinės sankryžos

patvirtino savo naudą beveik visais aspektais. Olandija, Australija, Didžioji Britanija – šalys, kurios sukaupė daugiausiai patirties šioje srityje.

Pagrindinės baigiamojo magistro **darbo užduotys** - pateikti siūlymus dėl Antakalnio (Antakalnio g. - Olandų g. - T. Kosciuškos g.) ir Žirmūnų (Žirmūnų g. - Šeimyniškių g. - Tuskulėnų g.) žiedinių sankryžų sistemos rekonstrukcijos galimybių, panaudojant transporto srautų modeliavimo programinę įrangą sukurti skirtingus sistemos modelius, modeliavimo variantus suranguoti pasirinktų kriterijų pagrindu ir pasiūlyti efektyviausią sprendimą.

Darbe naudoti tyrimų metodai:

- natūriniai tyrimai;
- eksperimentinis variantinis modeliavimas;
- naudos - kaštų analizės metodas;
- palyginamoji analizė.

Darbo aprobavimas ir rezultatų panaudojimas: tyrimai ir modeliavimo rezultatai 2014 m. spalio 24 dieną buvo aptarti respublikinėje mokslinėje konferencijoje „Miestų inžinerija ir geodezija“.

1. APŽVALGINĖ DALIS

1.1. Miestų susisiekimo sistemų plėtros tendencijos ir problematika

Miesto susisiekimo sistema suprantama kaip pėsčiųjų, keleivių ir transporto priemonių visuma, skirta pėsčiųjų eismui, keleiviams ir kroviniams vežti miesto teritorijoje ir už jos ribų bei specialiosios paskirties transporto eismui.

Bėgant metams, susisiekimo sistema ženkliai keitėsi, transportas tapo neatsiejama žmogaus gyvenimo dalimi, kuri padeda tenkinti poreikius bei kuria naujus. Susisiekimo galimybė dažnai apsprendžia, kur žmogus gali gyventi, dirbti, mokytis ar poilsiauti - tai jo gyvenimo kokybės galimybės. Mobilumas turi esminę reikšmę žmogaus vietai visuomenėje, kaip piliečiui, darbuotojui, vartotojui, ar tiesiog visuomenės nariui.

Mobilumo poreikis smarkiai išaugo, visuomenė tapo priklausoma nuo susisiekimo priemonių. Didėja automobilizacijos lygis, auga miestai, susisiekimo atstumai didėja.

Nors miesto transporto priemonių parko ir automobilizacijos lygio augimas užtikrina gyventojų mobilumą bei norimos transporto rūšies pasirinkimą, tačiau didėjantys eismo srautai sukuria ir eismo kamščių, gaišaties sankryžose problemas, gatvėse eismas tampa vis intensyvesnis bei sudėtingesnis, todėl kiekvienais metais didėja eismo įvykių, ir juose žuvusių ar sužeistųjų skaičius.

Susisiekimo sistemos funkcionavimas, funkcionavimo pasekmės ir kaina – tai visuma, kuri gali apibūdinti susisiekimo sistemos kokybę. Kokybė gali būti: normatyvinė (kokybės rodiklius nustato valstybė, savivaldybės) ir jeigu esamos susisiekimo sistemos kokybės rodikliai atitinka normatyvinius, tai formaliai problemų nėra. Tokiu atveju bendrasis tikslas formuluojamas kaip noras išlaikyti tam tikro periodo esamą sistemos būklę. Praktiškai problemų būna visada, ir dažniausiai jų aštrumas priklauso nuo to, kaip ir kokiais rodikliais apibūdinama kokybė, t. y. priklauso nuo susitarimo, kada funkcionavimas yra kokybiškas, o kada ne. Tam, kad funkcionuojančios susisiekimo sistemos būklė atitiktų normatyvinę ar kitokią kokybę, reikia pastangų. Todėl tikslai dažnai formuluojami kaip procesas – minimizuoti, maksimizuoti, išlaikyti nustatytus sistemos parametrus ir pan. Planavimo tikslai apima daugybę aspektų ir įvairiausių interesų. (Juškevičius, 2003).

E. K. Zavadskas ir kt. (2007) siūlo kelių, gatvių ir sankryžų atributus vertinti naudojant COPRAS metodą. Infrastruktūros atributų analizė yra populiarus įrankis sprendžiant ekonomines, konstrukcines, vadybines ir kitas problemas. Šis metodas ypatingas tuo, kad tyrimo metu yra sukuriama daugiaatributiniai vertinimo kriterijai ir sprendžiamos įvairiapusės alternatyvos. Ši metodika yra taikoma turint bent kelis scenarijus su atskiromis (arba pasikartojančiomis) problemomis. Tiriant konkretų atvejį parodomas kelios galimos

alternatyvos, įverinami jų kaštai, nauda, patogumai ir kiti svarbūs kriterijai ir galiausiai pasirenkama geriausia infrastruktūros koncepcija. Tyrimų metu nustatyta, kad COPRAS metodas yra tinkamas naudojimui.

A. Beljatynskij ir kt. (2009) pastebi, kad vis dažniau problematiškai gebama priimti tinkamą sprendimą dėl transporto infrastruktūros rekonstrukcijos. Rekonstrukcija suvokiama kaip kelio (gatvės) pakeitimas į aukštesnę kategoriją, pakeičiant geometrinius parametrus ir gerinant kelio dangos kokybę. Rekonstruojant magistralinę gatvę būtina sustiprinti visus jos elementus. Sankryžų ir gatvių matmenys turi būti projektuojami atsižvelgiant į galimą transporto srautų augimą – tam reikia analizuoti pastarųjų metų tendencijas bei numatyti intensyvumo augimo lygį. Gatvės tampa vis reikšmingesnės, todėl būtina griežtinti ir reikalavimus. Rekonstruojant transporto infrastruktūrą labai svarbu atsižvelgti į projektinį greitį, eismo įvykių skaičių ir jų kainą, atlikti išsamius intensyvumo skaičiavimus, įvertinti atskirų transporto priemonių nuostolius dėl gaiščių ir gatvių dangos kreivumo, bei atlikti kitus reikalingus ekonominius skaičiavimus. Viena iš rekonstrukcijos priežasčių taip pat gali būti labai pablogėjusi ekologinė būklė gatvių zonoje.

Norint pasiekti maksimalius rezultatus rekonstrukcijos metu, problemas reikiai spręsti kompleksiskai.

Pargindiniai tikslai rekonstruojant transporto infrastruktūros objektus:

- padidinti pajėgumus (laidumą);
- didinti eismo saugumą;
- sumažinti aplinkos taršą;
- taupyti degalus (mažinti laiko sąnaudas sankryžose);
- efektyviai panaudoti išteklius;
- padidinti kelių transporto komfortą.

Investicijos į transporto infrastruktūrą yra labai rizikingos. Šis rinkos sektorius reikalauja didelių finansinių įnašų, o pelnas nėra gaunamas greitai. Todėl galima teigti, kad transportas yra kapitalo reikalaujantis verslas, o investicijų atsiperkamumas galimas tik ilgalaikėje perspektyvoje.

A. Klibavičius (2008) pastebi, kad Lietuvos standartuose (STR) nėra jokios metodikos, kuri tikėtų žiedinių sankryžų projektavimo ir funkcionavimo kokybės vertinimui. ES valstybėse ir visame pasaulyje trūksta normatyvinių dokumentų aprašančių metodikų, kurias taikant galima būtų apskaičiuoti žiedinių sankryžų pajėgumus. Straipsnyje analizuojami metodai leidžia apskaičiuoti spūsčių ilgį ir transporto laiko nuostolius.

Projektuojant ar rekonstruojant sankryžas į žiedines, didžiausias dėmesys yra atkreipiamas į saugumą: eismas vyksta viena kryptimi, mažas konfliktinių taškų skaičius,

mažesnis judėjimo greitis, švelnesnės eismo įvykio pasekmės. Tačiau Lietuvos miestuose atlikti tyrimai parodė, kad pakilus prisistotinio lygiui iki 0,85 bei esant bent 200 pėsčiųjų / val. srautui, sankryžos laidumas ženkliai sumažėja, įvažiuojant ir išvažiuojant iš žiedo susidaro transporto laiko nuostoliai, laukiančiųjų eilės ilgėja iki 20 transporto priemonių ir pagal HCM rekomendacijas pasiekiamas tik D-E aptarnavimo lygis (AL, ang. Level Of Service). 2004 m. HCM rekomendacijose (1 lentelė) nurodomi skirtingų aptarnavimo lygių laiko palyginimai šviesoforais reguliuojamose sankryžose ir nereguliuojamose (reguliuojamose kelio ženklais). Be to, lyginant su klasikine šviesoforais reguliuojama sankryža, žiedinės sankryžos transporto judėjimo laikas yra ilgesnis, o nuvažiuotas atstumas didesnis. Žiedinės sankryžos reikalauja didesnių žemės sklypų ($F_{\text{sank}} = 5000 - 7200 \text{ m}^2$), o tai ženkliai padidina ir statybos kainą, nes centrinėse miesto dalyse žemė yra labai brangi (~ 200, 000 LTL už arą).

1 lentelė. *Highway Capacity Manual* 2004 rekomendacijose nurodyti aptarnavimo lygiai skirtingiems sankryžų tipams

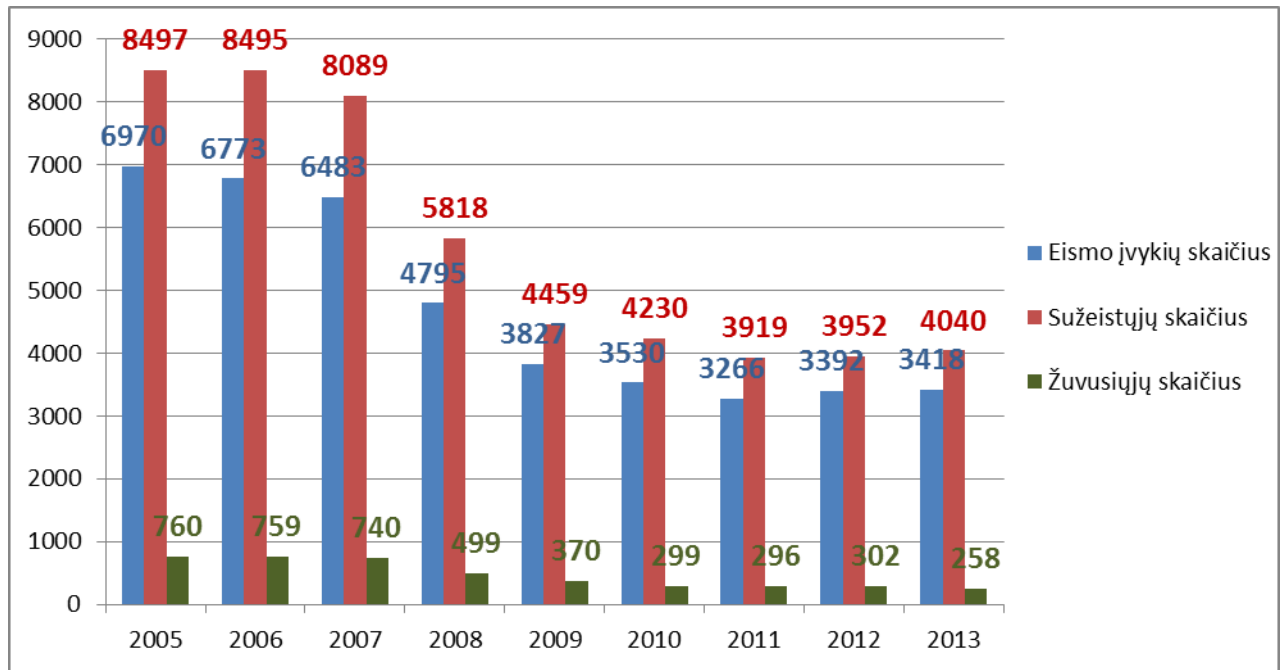
AL	Šviesoforinėse sankryžose	Nereguliuojamose sankryžose
A	$\leq 10 \text{ s}$	$\leq 10 \text{ s}$
B	10-20 s	10-15 s
C	20-35 s	15-25 s
D	35-55 s	25-35 s
E	55-80 s	35-50 s
F	$\geq 80 \text{ s}$	$\geq 50 \text{ s}$

Naujausias *The Highway Capacity Manual* 2010 dokumentas nurodo šiek tiek pakeistą, atskirai žiedinių sankryžų aptarnavimo lygius (AL) aprašančią lentelę (2 lentelė).

2 lentelė. *Highway Capacity Manual* 2010 rekomendacijose nurodyti aptarnavimo lygiai žiedinėje sankryžoje

Laukimo laikas	AL pagal transporto srauto - laidumo santykį (s/l)	
	$s/l \leq 1.0$	$s/l \geq 1.0$
$\leq 10 \text{ s}$	A	F
10-15 s	B	F
15-25 s	C	F
25-35 s	D	F
35-50 s	E	F
$\geq 50 \text{ s}$	F	F

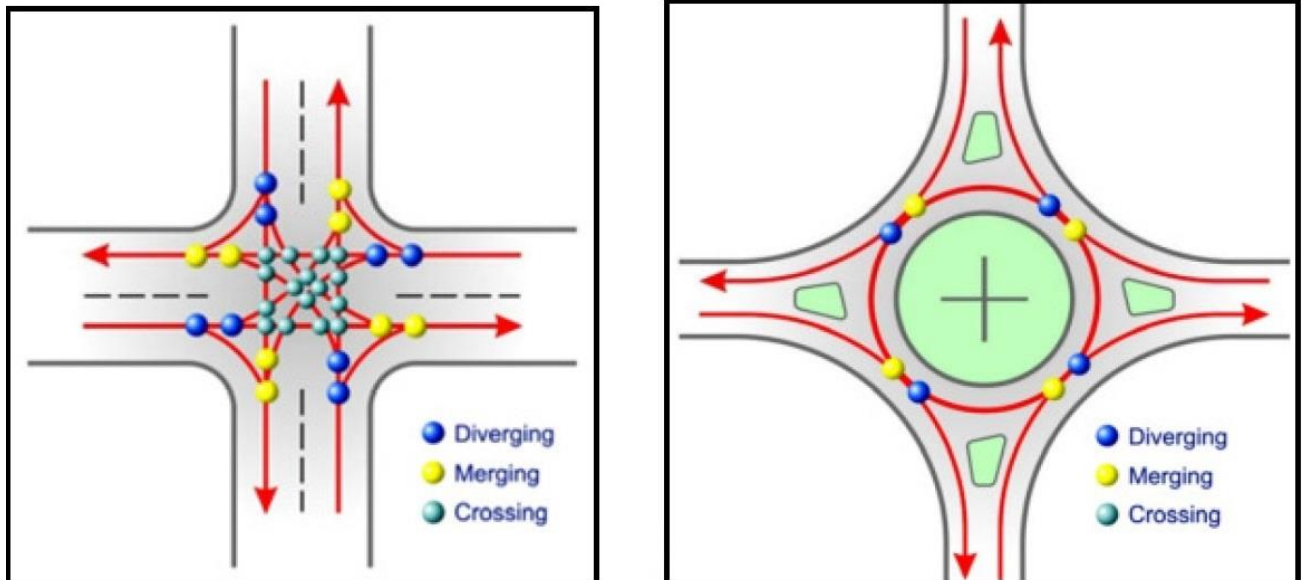
E. Skrodenis ir kiti (2011) nagrinėja pastarojo dešimtmečio žiedinių sankryžų įrengimo efektyvumą. Po įstojimo į Europos Sąjungą Lietuva buvo viena iš blogiausių šios unijos šalimi pagal eismo saugumo keliuose statistiką. Pavojingų mazgų rekonstrukcija į žiedines sankryžas buvo viena svarbiausių įgyvendinamų priemonių, kuri atnešė daug teigiamų rezultatų šioje srityje. Nuo 1998 metų, kai Lietuvoje buvo pastatyta pirmoji moderni žiedinė sankryža, įrengta dar virš 40 šių inžinerinių statinių.



1 pav. Eismo įvykių statistika Lietuvoje 2005 – 2013 (Lietuvos statistikos departamentas)

Skrodenis lygina 2009 ir 2008 metų eismo įvykių statistiką. Žuvusiųjų skaičius Lietuvos keliuose sumažėjo daugiau nei 26 %. 2009 m. eismo įvykiuose buvo 3827 sužeistųjų, t.y. 29,4 % mažiau nei 2008 m. 370 žmonių žuvo – 26,3 % mažiau nei 2008 m. Autorius teigia, kad įvertinus eismo įvykių, sužeistųjų ir žuvusiųjų skaičių, 2009 m. palyginti su 2008 m., finansiniai nuostoliai sumažėjo daugiau nei 700 mln litų (maždaug 200 mln eurų). Daugiausia tam įtakos turėjo modernių inžinerinių eismo saugumo priemonių įvedimas ir gerinimas

Remiantis Lietuvos Statistikos Departamento duomenimis, nuo 2010 m. eismo įvykių, sužeistųjų bei žuvusiųjų skaičiaus mažėjimo tendencijos suletėjo, o nuo 2011 m. iki 2013 m. netgi pastebimas neženklaus šių rodiklių augimas. 2013 m. palyginus su 2011 m. matome, kad 4,7 % padidėjo eismo įvykių skaičius, o sužeistųjų skaičius didėjo 3,1 %. Taip pat 2013 m. pasiektas mažiausias po įstojimo į Europos Sąjungą žuvusiųjų skaičius – 258. Palyginus su 2005 m. žuvusiųjų skaičius sumažėjo beveik 3 kartus.



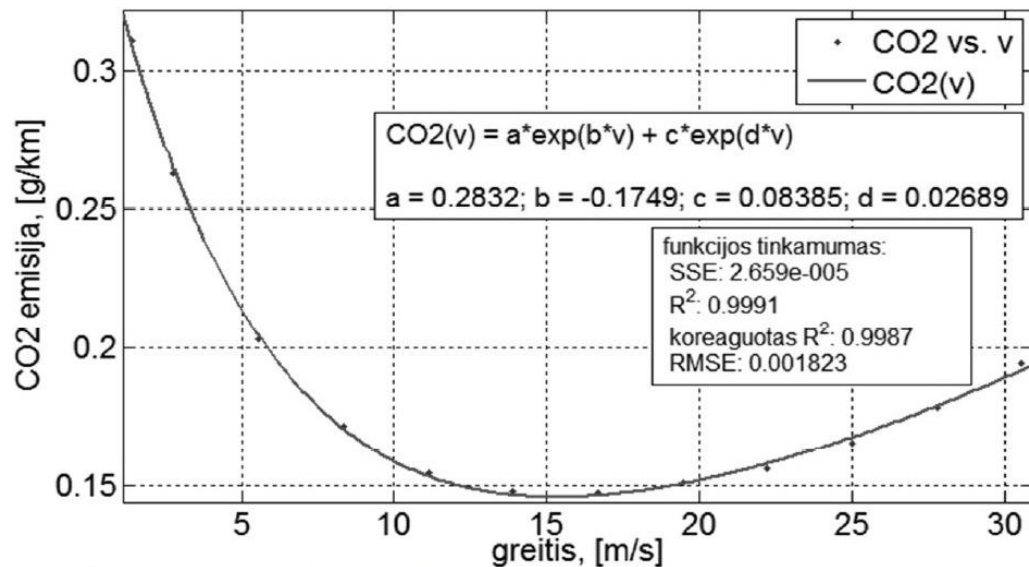
2 pav. Konflikciniai taškai keturšalėje ir žiedinėje sankryžoje (Modern Roundabouts 101)

Paprasta trišalė sankryža turi 9 vadinamuosius konfliktinius taškus, kuriuose eismo srautai susikerta, susilieja arba atsiskiria. Paprasta keturšalė sankryža (nepriklausomai nuo to, ar eismas reguliuojamas šviesoforais ar ženklais) turi net 32 tokius taškus. Moderni žiedinė sankryža su keturiais įvažiavimais ir išvažiavimais tikių taškų turi tik aštuonis konfliktinių taškų (2 pav.). Moderni trišalė žiedinė sankryža turi vos šešis tokius konfliktinius taškus. Mažesnis konfliktinių taškų kiekis reiškia mažesnę eismo įvykių tikimybę, o kadangi žiedinėse sankryžose nėra besikertančių srautų – todėl ir tų eismo įvykių pasekmės bus švelnesnės.

Grabys ir kiti (2011) ištyrė Vilniaus miesto užterštumo lygį, nustatė transporto priemonių poveikį ekologinei sistemai. Dažniausiai vidaus degimo varikliuose naudojami degalai – dyzelinas, benzinas ir suskystintos naftos dujos. Degant degalams į atmosferą išmetami azoto oksidai (NO_x), angliavandeniliai (CH), anglies monoksidas (CO), kietosios dalelės (KD). Taip pat, kaip ir kiekvieno degimo proceso metu, išmetamos ir šiltnamio efektą sukeliančios dujos – anglies dioksidas (CO₂).

Junevičius (2011) daktaro disertacijoje tiria transporto priemonių užterštumo priklausomybę nuo važiavimo greičio. Sukurtas sutelktųjų parametrų matematinis modelis

naudojamas prognozuojant ir tiriant kelių užterštumo dinamika. Programinės įrangos Fortran pagalba apskaičiuotos anglies dioksido (CO₂, 3 pav.), azoto oksido (NO_x), angliavandenilio (CH), anglies monoksido (CO), funkcijų reikšmės esant skirtingam greičiui.



3 pav. CO₂ emisijos priklausomybė nuo transporto priemonės greičio

Kakooza R. 2005 metais atliko skirtingų tipų sankryžų modeliavimą. Taikydamas matematinius modelius jis išanalizavo skirting tipų žiedines, reguliuojamas šviesoforais ir nereguliuojamas sankryžas. Analizės rezultatai parodė, kad esant mažoms žiedinėms sankryžoms ir persotintam srautui, efektyviau srautus suvaldo šviesoforais reguliuojamos sankryžos.

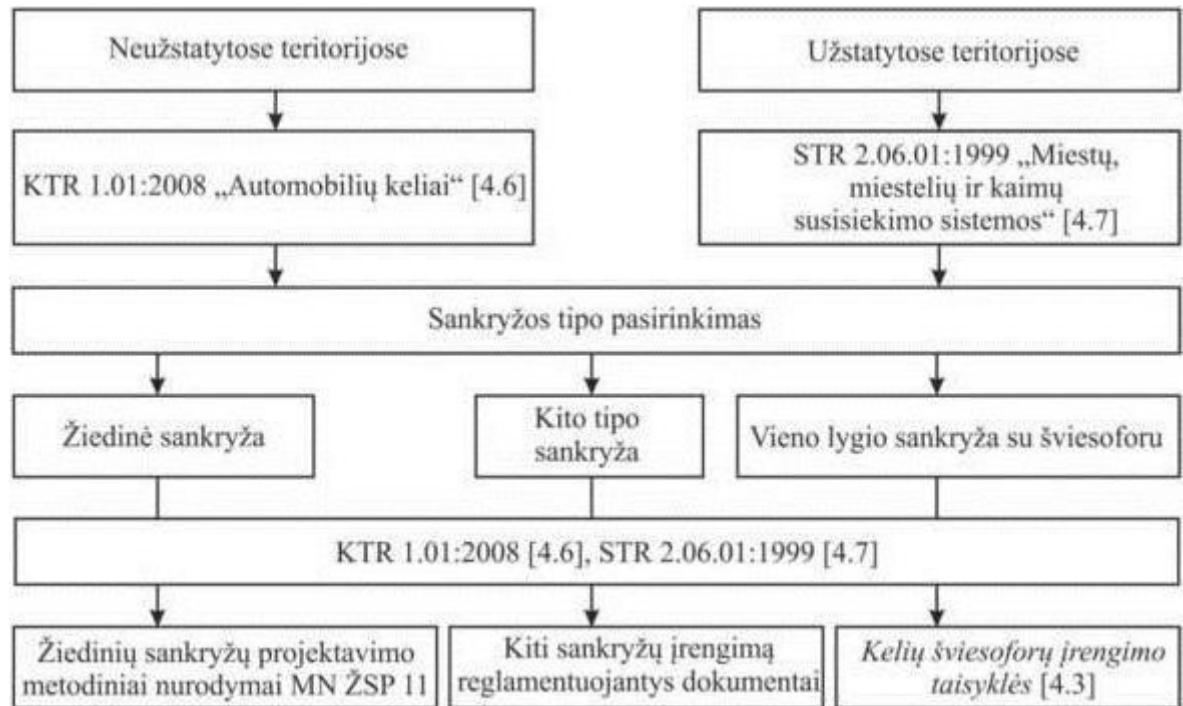
Brilon W. pastebi, kad Olandijoje, Vokietijoje, D. Britanijoje vis dažniau šviesoforinės sankryžos keičiamos žiedinėmis sankryžomis, ypač dėl saugumo, o Fortujin B. išnagrinėjo, kad Danijoje ir Olandijoje labai efektyviai dirba modernios Turbo žiedinės sankryžos, bet jos yra labiau pritaikytos užmiesčiui, kur maži pėsčiųjų srautai.

1.2. Žiedinių sankryžų projektavimą ir įrengimą reglamentuojantys dokumentai

Kelių ir gatvių projektiniai elementai aprašomi KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“ ir STR 2.06.01:1999 „Miestų, miestelių ir kaimų susisiekimo sistemos“. Šie techniniai reglamentai taip pat yra svarbūs pasirenkant tinkamą sankryžos tipą (žr. 4 pav.). Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai MN ŽSP 12 papildoma aukščiau minėtus techninius reglamentas. Metodiniuose nurodymuose išsamiau aptariamos detalės, į kurias reikia atsižvelgti, kai nusprendžiama įrengti žiedinę sankryžą. Čia taip pat pateikiami galimi projektinių elementų ir konstrukcijos variantai. Metodiniuose nurodymuose pateiktomis

nuostatomis privaloma vadovautis, net jei jos ir nukrypsta nuo Inžinerinių saugaus eismo priemonių projektavimo ir naudojimo rekomendacijų RISEP 10 nuostatų.

Metodiniuose nurodymuose pateiktos nuostatos apima reikalavimus žiedinių sankryžų įrangimui užstatytose teritorijose ir neužstatytose teritorijose.



4 pav. Ryšys su kitais norminiais dokumentais

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2012 m. gegužės 7 d. įsakymu Nr. V-106 patvirtino naujus naujus Žiedinių sankryžų projektavimo metodinius nurodymus MN ŽSP 12. Skyrius nr. 1 pateikia tokias bendrąsias nuostatas:

1. Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai MN ŽSP 12 (toliau – Metodiniai nurodymai) nustato automobilių kelių naujai įrengiamų, rekonstruojamų ir remontuojamų žiedinių sankryžų naudojimo kriterijus, projektinius elementus, projektinius ir konstrukcinius įrengimo ypatumus, pėsčiųjų eismo, dviračių eismo, maršrutinio transporto priemonių eismo bei specialiųjų inžinerinių priemonių saugiam eismui užtikrinti reikalavimus.

2. Metodiniai nurodymai taikomi projektuojant žiedines sankryžas ir jas įrengiant valstybinės reikšmės keliuose. Metodiniai nurodymai gali būti taikomi ir vietinės reikšmės keliuose (gatvėse).

3. Metodiniai nurodymai parengti atsižvelgiant į Vokietijos kelių tiesimo techninių specifikacijų Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV 242) ir Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Ausgabe 2001 Fassung 2005 (FGSV 299) nuostatas.

1.3. Pagrindinės žiedinių sankryžų projektavimo nuostatos

Nustatant žiedinės sankryžos tipą ir projektuojant žiedinės sankryžos elementus bei dangą, reikia atsižvelgti į 20 metų projektinį žiedinės sankryžos naudojimo laikotarpį. Ekonominiu ir techniniu požiūriu pagrindus, danga gali būti projektuojama 30-ies metų naudojimo laikotarpiui.

Saugiam eismui užtikrinti turi būti laikomasi šių pagrindinių projektavimo principų:

- įvažos turi būti įrengiamos kuo statesniu kampu žiedinei važiuojamajai daliai;
- jungiamųjų kelių (gatvių) ašys turėtų būti nukreiptos į žiedinės sankryžos centrą, tačiau jas galima ir šiek tiek pastumti į kairę;
- akivaizdus tiesiai važiuojančių transporto priemonių trajektorijos iškreivinimas aplink vidinę salą;
- išvažos turi būti tik vienos eismo juostos.

Turi būti vykdomi keturi pagrindiniai eismo saugos reikalavimai, t. y. sankryžos atpažįstamumas, apžvelgiamumas, suvokimas ir tinkamas pravažiuojamumas. Siekiant užtikrinti gerą žiedinės sankryžos atpažįstamumą ir apžvelgiamumą, svarbūs žemiau pateikti projektavimo principai:

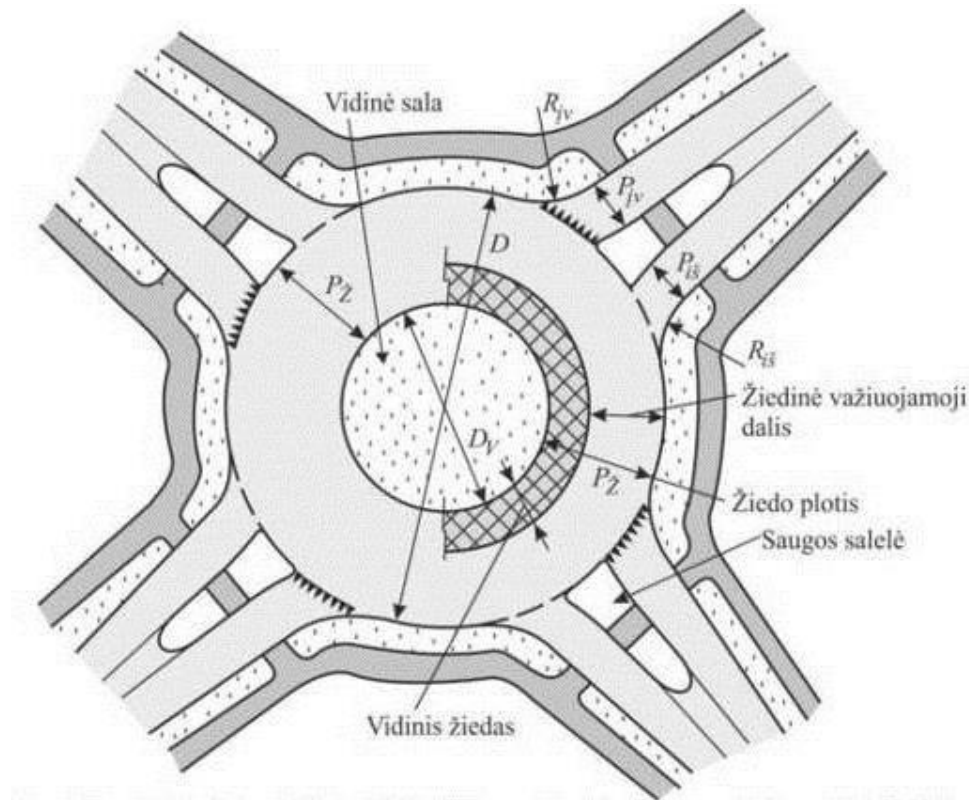
- žiedinė sankryža turi būti įrengta taip, kad vairuotojai ją laiku pastebėtų tiek dieną, tiek naktį. Svarbu, ypač neužstatytose teritorijose, vairuotojus laiku informuoti, kad artėjama prie žiedinės sankryžos, įrengiant atitinkamą vertikalųjį ženklumą.
- neturi būti apribotas eismo dalyvių (vairuotojų, pėsčiųjų ir dviratininkų) matomumas, nepriklausomai nuo pirmumo teisės. Nebūtina matyti priešais esančią įvažą, nes tai pablogina žiedinės sankryžos atpažįstamumą. Ypač tai svarbu neužstatytose teritorijose.

Dėl toliau pateikiamų atskirų žiedinės sankryžos elementų matmenų laikomasi šių reikalavimų:

- tipinis dydis reiškia įprastais atvejais geriausią variantą;
- mažesnių nei nurodyta dydžių taikymas yra negalimas (išimtis taikoma tik tuomet, kai dėl ploto panaudojimo apribojimų nėra įmanoma įrengti posūkių pagal minimalius spindulius, leidžiama rengti mažesnius. Šiuo atveju žiedinės sankryžos pravažiuojamumas patikrinamas specialiomis kompiuterinėmis programomis tam, kad būtų išsiaiškinta, ar jomis galės pravažiuoti projektinės transporto priemonės.);
- didesnius dydžius galima taikyti tik išsamiai pagrindžiant.

1.4. Projektiniai žiedinių sankryžų elementai

Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniuose nurodymuose MN ŽSP 12 reglamentuojami žiedinėse sankryžose taikomi elementai pateikti 11.1–11.11 punktuose, o jų vieta žiedinėje sankryžoje parodyta 5 pav. Projektuojamoje žiedinėje sankryžoje kai kurių elementų gali ir nebūti, taip pat gali būti koreguojami parametrai atsižvelgiant į eismo intensyvumą ir sudėtį.



5 pav. Pagrindiniai projektiniai žiedinių sankryžų elementai

Metodinių nurodymų 11 punkte aprašomi šie projektiniai žiedinės sankryžos elementai ir jų apibūdinimas:

Žiedo plotis ($P_{\text{ž}}$) – matmuo, kuris apima žiedinę važiuojamąją dalį ir vidinį žiedą. Žiedo plotis neapima kraštinės saugos juostos, kurios gali prireikti. Kraštinės saugos juostos plotis susijęs su pagrindinio tiesioginio kelio (gatvės) kraštinės saugos pločiu.

Žiedinė važiuojamoji dalis – tai važiuojamoji dalis, kuria apvažiuojama vidinė sala. Tuo atveju, jei žiedinėje sankryžoje įrengiamas vidinis žiedas, jis nelaikomas žiedinės važiuojamosios dalies sudedamąja dalimi ir nuo jos atskiriamas bordiūru arba horizontaliuoju ženklinimu pagal Kelių horizontaliojo ženklinimo taisykles.

Vidinis žiedas – žiedinės sankryžos dalis, ant kurios, esant būtinybei, galima užvažiuoti. Vidinis žiedas gali būti grįstas arba negrįstas. Vidinio žiedo įrengimas priklauso nuo to, kokioje teritorijoje (užstatytoje arba neužstatytoje) įrengta žiedinė sankryža.



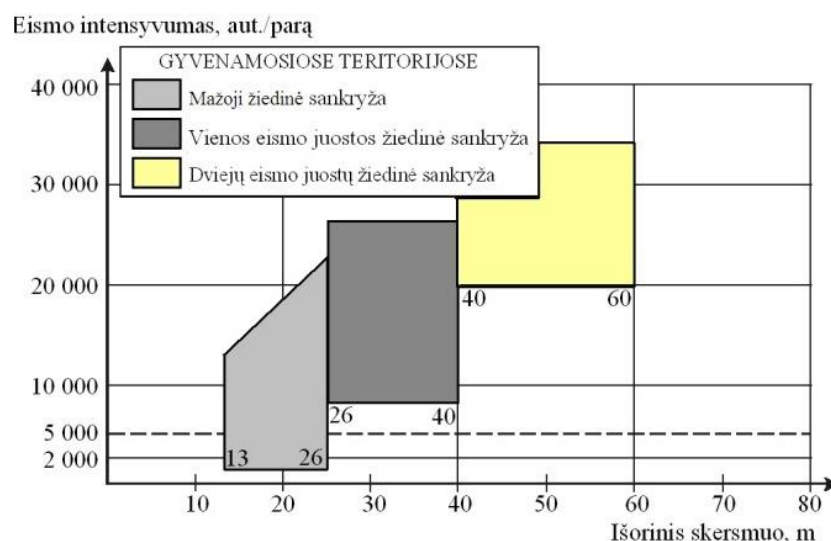
6 pav. „Sunkvežimio prijuostė“, JAV (U.S. Department of Transportation, 2000)

Vidinė sala – žiedinės sankryžos centre esanti sala, kurią apvažiuoja transporto priemonės. Labai mažoje žiedinėje sankryžoje vidinė sala yra užvažiuojama.

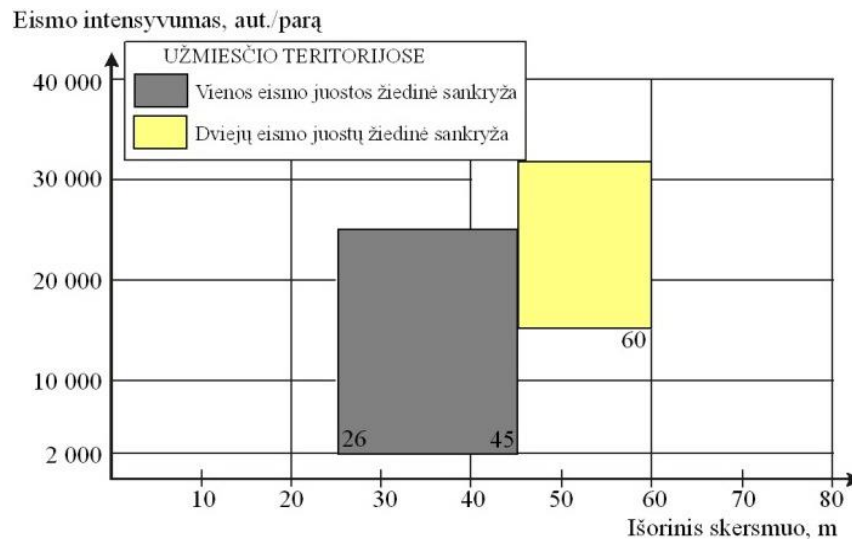
Vidinė salelė yra žiedo centre, kurią apvažiuoja transporto priemonės. „Mini“ žiedinėje sankryžoje salelė gali būti pervažiuojama. Vidinė salelė yra eismo kliūtis ir todėl svarbu, kad ji būtų atpažįstama iš būtino sustojimo matomumo atstumo. Daugelyje šalių rekomenduojama tyčia trukdyti matomumą per vidinę salelę, pvz., apželdinant ją (MN ŽSP 12).

Išorinis skersmuo (D) – tai atstumas tarp žiedinės važiuojamosios dalies kraštų. Tai pagrindinis žiedinės sankryžos dydžio matmuo. Jeigu žiedinės važiuojamosios dalies kraštai įrengiami su bordiūrais, bordiūrų plotis į išorinį skersmenį neįskaičiuojamas, o vidinės salos bordiūrų plotis įskaičiuojamas.

Lietuvoje išorinis žiedinės sankryžos diametras, pagal R ISEP 10 rekomendacijas, priklauso nuo to ar sankryža yra gyvenamoje teritorijoje ar ne (7 pav., 8 pav.).



7 pav. Žiedinių sankryžų skersmuo užstatytose teritorijose (R ISEP 10)



8 pav. Žiedinių sankryžų skersmuo neužstatytose teritorijose (R ISEP 10)

Saugos salelė – tai salelė tarp prisijungiančio kelio (gatvės) įvažos į žiedinę sankryžą ir išvažos iš jos. Ji skirta atskirti įvažą į žiedinę sankryžą ir išvažą iš jos bei eismui nukreipti, taip pat kaip kelio (gatvės) kirtimo pagalbinė priemonė pėstiesiems ir dviratininkams.

Įvažos eismo juostos plotis (P_{iv}) – tai atstumas tarp įvažos kraštų. Matuojamas posūkio iš įvažos į žiedinę važiuojamąją dalį spindulio pradžioje.

Išvažos eismo juostos plotis ($P_{iš}$) – tai atstumas tarp įvažos kraštų. Matuojamas posūkio iš žiedinės važiuojamosios dalies į išvažą spindulio pabaigoje.

Įvažos posūkio spindulys (R_{iv}) – tai posūkio dešiniajame kelio (gatvės) krašte iš įvažos į žiedinę važiuojamąją dalį spindulys. Sudėtinės apskritiminės kreivės, susidedančios iš trijų skirtingų spindulių, atveju R_{iv} yra vidurinės kreivės spindulys. Projektuojant važiuojamosios dalies kraštą, remiantis automobilio važiavimo trajektorija, R_{iv} yra mažiausias važiuojamosios dalies krašto spindulys.

Išvažos posūkio spindulys ($R_{iš}$) – tai posūkio dešiniajame kelio (gatvės) krašte iš žiedinės važiuojamosios dalies į išvažą spindulys. Sudėtinės apskritiminės kreivės, susidedančios iš trijų skirtingų spindulių, atveju $R_{iš}$ yra vidurinės kreivės spindulys. Projektuojant važiuojamosios dalies kraštą, remiantis automobilio važiavimo trajektorija, $R_{iš}$ yra mažiausias važiuojamosios dalies krašto spindulys.

Atlikus didelių žiedinių ir šviesoforais reguliuojamų sankryžų analizę galima aprašyti panašumus ir skirtumus

Didelės žiedininės sankryžos: saugesnės, patogesnės neprisotintam srautui, mažiau taršios, estetiškesnės.

Šviesoforais reguliuojamos sankryžos: laidesnės (ypač naudojant „žaliuosius koridorius“), patrauklesnės pėstiesiems ir dviratininkams, lengvesnis manevravimas, aiškus

eismo organizavimas, mažesnis teritorijos poreikis, eismo įvykio atveju mažesnės gaištys, viešojo transporto prioritetas prieš kitus eismo dalyvius, psichologiškai paktrauklesnės.

Panašumai: panašus vidutinis greitis, vidutinis laukimo laikas.

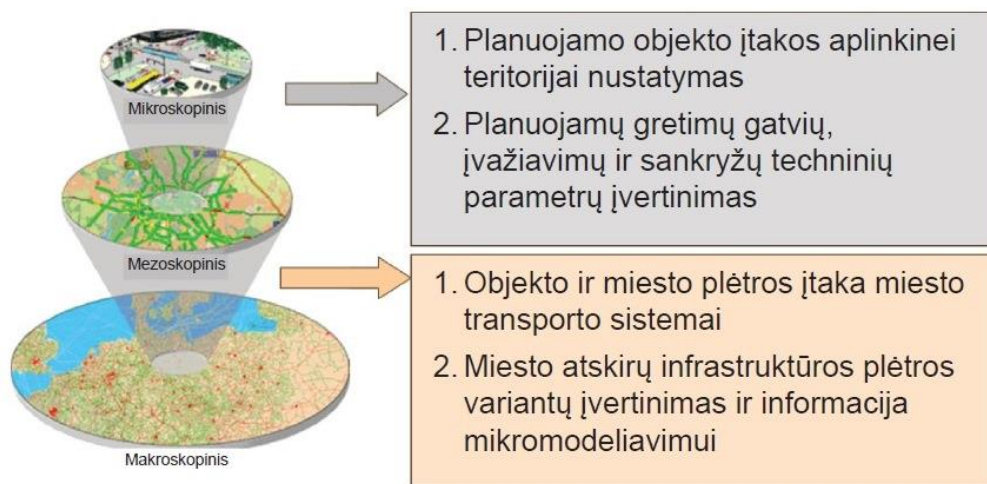
JAV mokslininkas Johnson M. nustatė, kad esant persotintam srautui efektyvesnės yra šviesoforais reguliuojamos sankryžos.

1.5. PTV VISION modeliavimo paketo apžvalga

PTV VISION modeliavimo paketas glaustai aprašytas doc. dr. V. Grigonio mokomojoje knygoje „Miestų transporto srautų modeliavimas“ (2011).

„PTV Vision“ – vienas iš plačiausiai pasaulyje naudojamų transporto srautų modeliavimo paketų, kuris apima visus tris modeliavimo lygmenis: sankryžą, atskiros teritorijos gatvių tinklą ar viso miesto gatvių tinklą, rajono ar šalies transporto sistemą (9 pav.). Šis programų paketas sėkmingai pritaikytas daugiau kaip 75 pasaulio šalyse, tarp jų ir ES šalyse, pvz., Čekijoje (Praha), su ja dirba Vokietijos, Švedijos mokslininkai bei miestų planuotojai.

Programinis paketas „PTV Vision“ yra sukurtas Vokietijoje, „PTV AG“ kompanijoje. Šis paketas išsiskiria iš kitų tuo, kad visi lygiai suderinti tarpusavyje ir duomenys importuojami bei eksportuojami iš vieno į kitą, tai ypač svarbu modeliuojant įvairius miesto susisiekimo sistemos plėtros variantus.



9 pav. „PTV Vision“ apimami modeliavimo lygmenys (PTV Vision 2006)

„PTV vision“ paketas vartotojui siūlo (PTV Vision 2006):

- vertikalią ir horizontalią transporto planavimo integraciją;
- aprūpinimą, vykdymą ir kontrolę;
- viešojo transporto planavimą ir priežiūros optimizavimą;
- alternatyvų simuliaciją;
- sąsajas, paramą ir paslaugų teikimą.

Programinis paketas yra sudarytas iš trijų pagrindinių programų: „VISUM“, „VISIM“ ir „CROSSIG“. „VISUM“ yra strateginio lygmens asmeninio ir viešojo transporto planavimo sistema, skirta miestų transporto srautams modeliuoti, susisiekimo sistemoms analizuoti, vertinti, prognozuoti ir sistemų poveikiui aplinkai vertinti. „VISIM“ programa yra skirta mikroskopiniams transporto srautams miesto lygmeniu modeliuoti, analizuoti ir vizualizuoti (sankryža, mazgas). „CROSSIG“ programa modeliuoja ir optimizuoja šviesoforų darbo ciklus.

Metodiniuose nurodymuose bus aptartas darbas su „VISUM“ programiniu paketu, kurį naudodami studentai gali paruošti pasirinkto miesto bendrojo plano susisiekimo dalies sprendinius: įvertinti atskirų modelio elementų dinamiką ir sąveiką, nustatyti susisiekimo sistemos poreikius ir galimybes, pateikti siūlymus.

Programa labai lengvai įsisavinama dėl paprastos sąsajos ir visuotinai priimtų koncepcijų naudojimo. Programoje įdiegta daug priemonių, suteikiančių galimybę vartotojams perkelti duomenis iš kitų transporto modeliavimo programų, taip pat galima persikelti transporto tinklus iš GIS išlaikant pasirinktą koordinatų sistemą.

Programinės įrangos bazėje yra įdiegta keliolika matematinių modelių, kuriuos taikant vykdomas transporto srauto priskyrimas. Viešojo transporto sistema šioje programinėje įrangoje gali būti analizuojama kartu su asmeninio transporto posistemių, dar daugiau – naudojant papildomus modulius galima atlikti viešojo transporto veiklos analizę (Grigonis 2011).

2. ANALITINĖ DALIS

2.1. Žiedinių sankryžų laidumo analizė

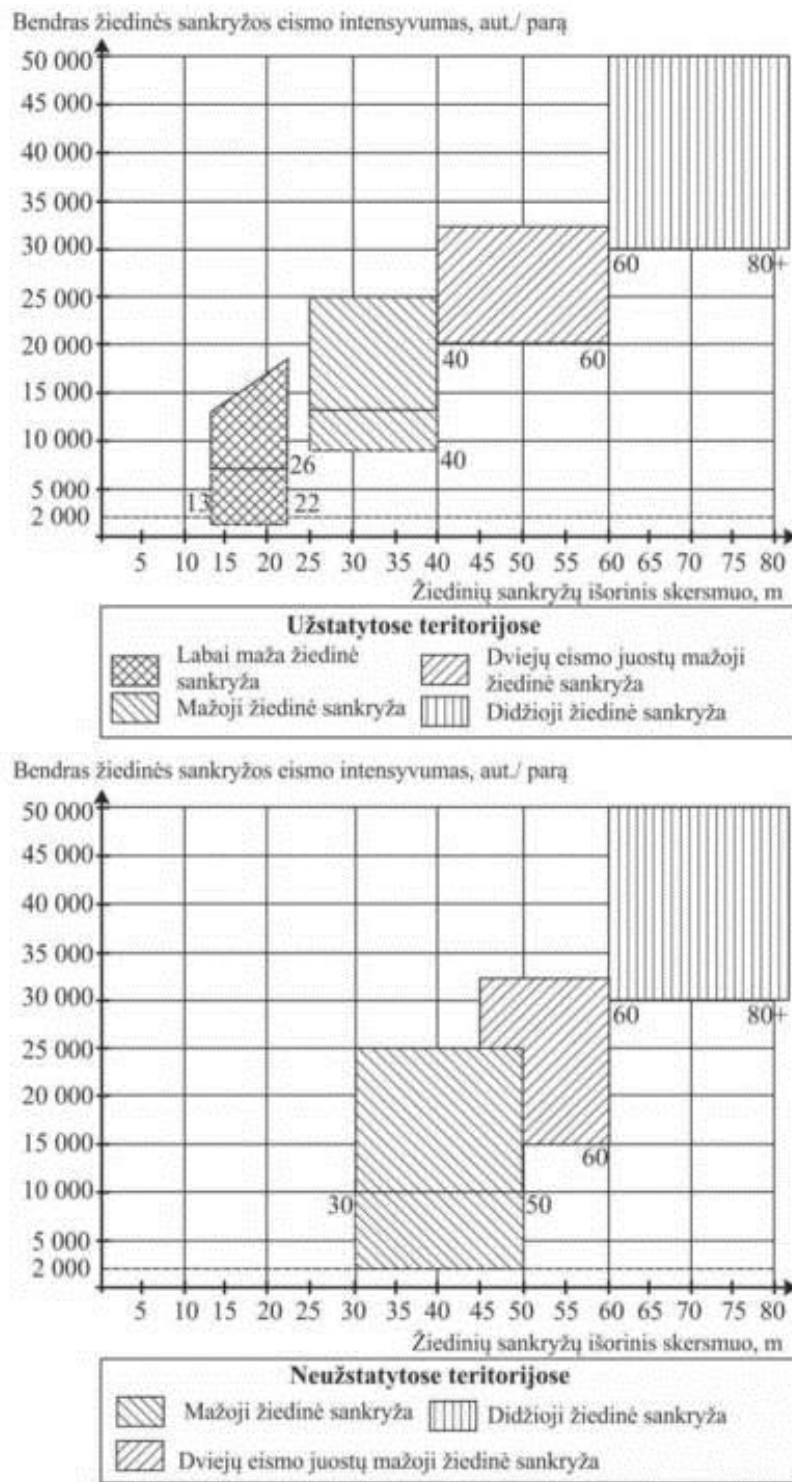
A. Klibavičius (2008) pastebi, kad Lietuvos standartuose (STR) nėra jokios metodikos, kuri tikėtų žiedinių sankryžų projektavimo ir funkcionavimo kokybės vertinimui. ES valstybėse ir visame pasaulyje trūksta normatyvinių dokumentų, aprašančių metodikas, kurias taikant galima būtų apskaičiuoti žiedinių sankryžų pajėgumus, spūsčių ilgį ir transporto laiko nuostolius. Geriausiai yra žinomi Vokietijos (kuriais remiantis aprašytos Lietuvos MN ŽSP 12 rekomendacijos) ir JAV standartai.

Lietuvos miestuose atlikti tyrimai parodė, kad pakilus prisisotinimo lygiui iki 0,85 bei esant bent 200 pėsčiųjų / val srautui, žiedinės sankryžos laidumas ženkliai sumažėja, įvažiuojant ir išvažiuojant iš žiedo susidaro transporto laiko nuostoliai, laukiančiųjų eilės ilgėja iki 20 transporto priemonių ir pagal HCM rekomendacijas žiedinėje sankryžoje pasiekiamas tik D-E aptarnavimo lygis (AL, ang. Level Of Service) (3 lentelė). Be to, lyginant su klasikine šviesoforais reguliuojama sankryža, žiedinės sankryžos transporto judėjimo laikas yra ilgesnis, o nuvažiuotas atstumas didesnis. Žiedinės sankryžos reikalauja didesnių žemės sklypų ($F_{\text{sank}} = 5000 - 7200 \text{ m}^2$), kas ženkliai padidina ir statybos kainą, nes centrinėse miesto dalyse žemė yra labai brangi.

3 lentelė. Highway Capacity Manual 2010 rekomendacijose nurodyti aptarnavimo lygiai žiedinėje sankryžoje

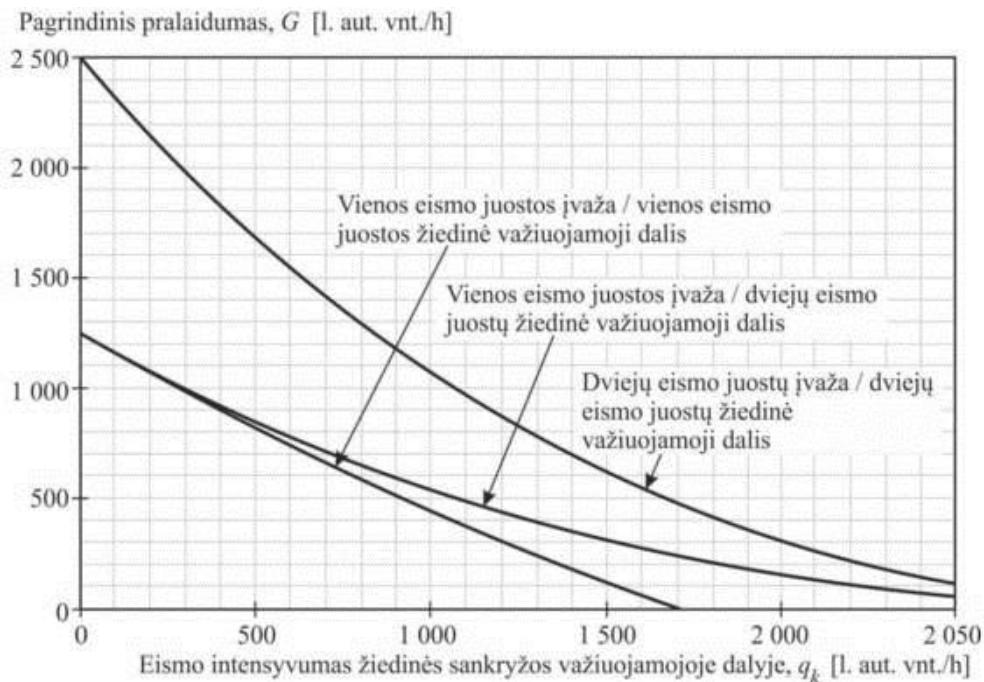
Laukimo laikas	AL pagal transporto srauto - laidumo santykį (s/l)	
	$s/l \leq 1.0$	$s/l \geq 1.0$
$\leq 10 \text{ s}$	A	F
10-15 s	B	F
15-25 s	C	F
25-35 s	D	F
35-50 s	E	F
$\geq 50 \text{ s}$	F	F

Bendras mažosios žiedinės sankryžos eismo intensyvumas iki 15 000 aut./ parą (labai mažoje žiedinėje sankryžoje – iki 12 000 aut./ parą) užtikrina pakankamą pralaidumą ir eismo kokybę. Esant didesniai eismo intensyvumui tikrinama eismo kokybė ir nustatomas pralaidumas įvažoms ir išvažoms. Žiedinė sankryža, esant palankiam eismo srautų pasiskirstymui, bei esant 10 pav. pateikiamiems bendriems žiedinės sankryžos eismo intensyvumams pasižymi pakankama eismo kokybe.



10 pav. Pakankamos eismo kokybės priklausomybė nuo bendrojo žiedinės sankryžos eismo intensyvumo, sankryžos tipo ir išorinio skersmens

Įvažos pagrindinis pralaidumas – tai didžiausias galimas į sankryžą įvažiuojančių automobilių eismo intensyvumas, pasiekiamas išnaudojant žiedinės važiuojamosios dalies pagrindiniame eismo sraute susidariusius tuščius laiko tarpus. Įvažos i pagrindinio pralaidumo rodiklis $G (= q_{z \max i})$ priklauso nuo eismo juostų skaičiaus žiedinėje važiuojamojoje dalyje, eismo juostų skaičiaus įvažoje ir (lemiamo) automobilių eismo intensyvumo, perskaičiuoto į l. aut. vnt./h, žiedinėje važiuojamojoje dalyje prieš pat įvažą $q_{k, i}$, pagal 11 pav.



11 pav. Įvažų pralaidumas (Klibavičius, 2008)

Vienos eismo juostos žiedinės sankryžos su vienos eismo juostos įvažomis pagrindinis įvažos pralaidumas G taip pat gali būti apskaičiuojamas šia lygtimi (Klibavičius, 2008):

$$G = 3600 \times \left(1 - \frac{t_{\min} \times q_k}{n_k \times 3600}\right)^{n_k} \times \frac{n_z}{t_f} \times e^{-\frac{q_k}{3600} \times (t_g - \frac{t_f}{2} - t_{\min})},$$

Čia:

G = įvažos pagrindinis pralaidumas (l. aut. vnt./h),

q_k = eismo intensyvumas žiedinėje važiuojamojoje dalyje (l. aut. vnt./h),

n_k = eismo juostų skaičius žiedinėje važiuojamojoje dalyje (–),

n_z = eismo juostų skaičius įvažoje (–),

t_g = ribinis laiko tarpas (s),

t_f = sekimo laiko tarpas (s),

$t_{\min}$ = mažiausias laiko tarpas tarp automobilių žiedinėje važiuojamojoje dalyje (s).

Dviejų eismo juostų mažosios žiedinės sankryžos su vienos ir dviejų eismo juostų įvažą pagrindinis įvažos pralaidumas apskaičiuojamas taikant supaprastintą lygtį (Klibavičius 2008):

$$G = 3600 \times \frac{n_c}{t} \times e^{-\frac{q_k}{3600} \times t_g - \frac{t_f}{2}},$$

Čia:

G = pagrindinis įvažos pralaidumas (l. aut. vnt./h),

q_k = žiedinės važiuojamosios dalies eismo intensyvumas (l. aut. vnt./h),

t_g = ribinis laiko tarpas (s),

t_f = sekimo laiko tarpas (s),

n_c = įvažos eismo juostų skaičiaus koeficientas.

Pėstieji, kertantys įvažas ir išvažas, gali neigiamai veikti žiedinės sankryžos pralaidumą. Ypač tada, kai yra įrengtos pėsčiųjų perėjos (horizontalus ženklavimas 1.13.1 „Zebras“).

Neigiama pėsčiųjų įtaka įvažiuojančio eismo srauto pralaidumui gali būti nustatoma taikant mažėjimo koeficientus f_f , pateiktus 12 ir 13 pav. Jie kaskart taikomi vienos eismo juostos įvažoms su vienos eismo juostos žiedine važiuojamąja dalimi (žr. 12 pav.) ir kelių eismo juostų įvažoms su kelių eismo juostų žiedine važiuojamąja dalimi (žr. 13 pav.). Dydziai f_f dauginami iš pralaidumo dydžio G .

$$C = G \times f_f,$$

čia:

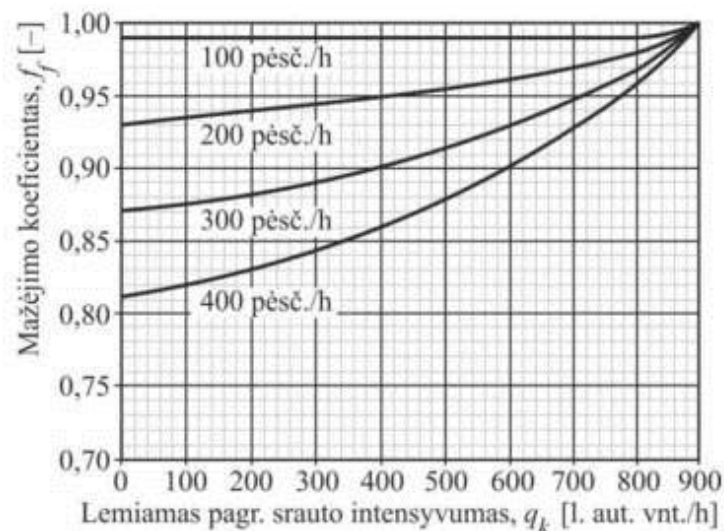
C = įvažos pralaidumas, atsižvelgiant į dėl pėsčiųjų sumažėjusį pralaidumą (l. aut. vnt./h),

G = įvažos pagrindinis pralaidumas (l. aut. vnt./h),

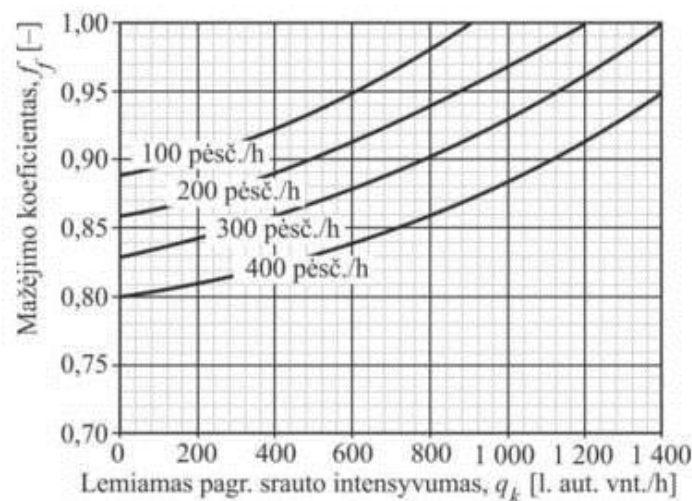
f_f = mažėjimo koeficientas, taikomas įvertinti pėsčiųjų poveikį (–).

26. Kai įvažos nekerta pėstieji, tada $f_f = 1$.

Jei lemiamo pagrindinio eismo srauto intensyvumas viršija 900 l. aut. vnt./h (vienos eismo juostos žiedinė sankryža), tada įvažiuojančio eismo srauto pralaidumo kelią (gatvę) kertantys pėstieji beveik nedaro įtakos, nes įvažoje, susidarius spūsčiai, pėstieji gali pereiti kelią (gatvę) tarp stovinčių automobilių.



12 pav. Mažėjimo koeficientai f_f kelių (gatvę) kertančių pėsčiųjų poveikiui įvertinti vienos eismo juostos įvažose su vienos eismo juostos žiedine važiuojamąja dalimi (Klibavičius, 2008)



13 pav. Mažėjimo koeficientai f_f kelių (gatvę) kertančių pėsčiųjų poveikiui įvertinti dviejų eismo juostų įvažose su dviejų eismo juostų žiedine važiuojamąja dalimi (Klibavičius, 2008)

Jeigu pėstiesiems nėra pažymėtų pėsčiųjų perėjų (horizontalus ženklimas 1.13.1 „Zebra“), pagal „Kelių horizontaliojo ženklinimo taisyklės“ jie neturi pirmumo teisės automobilių eismo atžvilgiu. Nepaisant to, ir šiuo atveju rekomenduojama taikyti mažėjimo koeficientą f_f , nes, kaip rodo patirtis, kad mažosiose žiedinėse sankryžose be pėsčiųjų perėjų automobilių vairuotojai pėstiesiems suteikia pirmumo teisę.

Iki šiol išvažų pralaidumas moksliskai dar nėra ištirtas. Stebėjimai rodo, kad iš vienos eismo juostos mažųjų žiedinių sankryžų išvažiuoti gali ne daugiau kaip 1 200–1 400 l. aut. vnt. / h. Daugiau automobilių išvažiuoti gali, kai automobilių eismo trasa išvažoje yra labai staigi ir kelio (gatvės) nekerta pėsčiųjų ir dviračių eismas. Kol bus gauta tikslesnių duomenų, turėtų būti naudojamas 1 200 l. aut. vnt./h rodiklis. Dviejų eismo juostų žiedinėse

važiuojamose dalyse su vienos eismo juostos išvažomis išvažų pralaidumas taip pat nėra didesnis.

Kuo didesnis pralaidumo rezervas R_i , tuo eismo kokybė yra geresnė. R_i nustatomas šia lygtimi:

$$R_i = C_i - q_i$$

čia:

R = eismo srautų i pralaidumo rezervas (l. aut. vnt./h),

q_i = eismo srautų i intensyvumas įvažoje (= $q_{z,i}$) (l. aut. vnt./h),

C_i = eismo srautų i pralaidumas (l. aut. vnt./h).

Pralaidumo rezervas R_i ir su tuo susijusi eismo kokybė, išreikšta šalutinio eismo srauto automobilių laukimo laiko vidurkiu w_i , yra glaudžiai susiję:

$$w_i = f(C_i R_i)$$

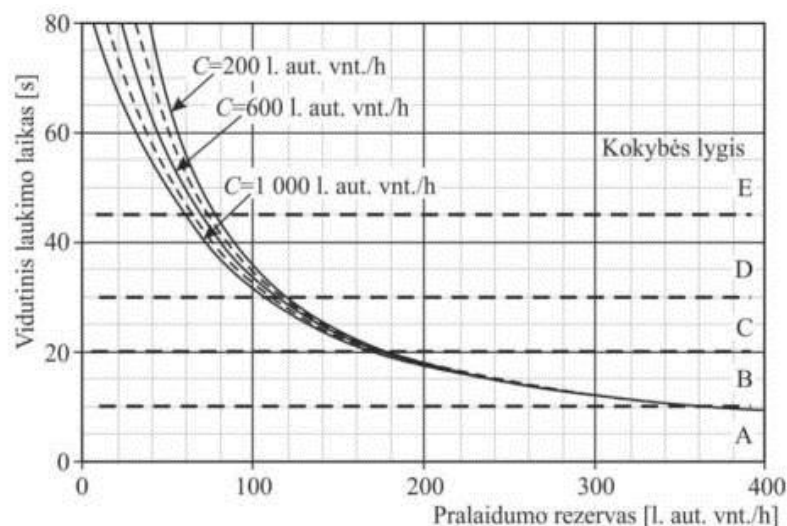
čia:

w_i = automobilių laukimo laiko vidurkis eismo sraute i (s),

C_i = eismo srauto i pralaidumas (l. aut. vnt./h),

R_i = pralaidumo rezervas eismo sraute i (l. aut. vnt./h).

Vidutinio laukimo laiko priklausomybė nuo pralaidumo C_i ir pralaidumo rezervo R_i pavaizduota 14 pav. Šiame paveikslėlyje pavaizduotose kreivėse pateikiami apytiksliai dydžiai, taikomi visiems eismo srautams, kurie privalo laukti.



14 pav. Vidutinio laukimo laiko priklausomybė nuo pralaidumo rezervo R_i ir pralaidumo C_i

2.2. Antakalnio ir Žirmūnų žiedinių sankryžų sistemos gatvių tinklo analizė

Nagrinėjamas objektas yra žiedinių sankryžų sistema. Ją sudaro Antakalnio (kitaip dar vadinama Olandų) ir Žirmūnų žiedinės sankryžos. Pirmoji žiedinė sankryža jungia Antakalnio, Olandų ir T. Kosciuškos gatves bei vieną didžiausių sostinėje esantį Žirmūnų tiltą, kuris jungia rytinį ir vakarinį Neries krantus. Antroji žiedinė sankryža jungia Žirmūnų, Tuskulėnų ir Šeimyniškių gatves bei turi vieną bendrą jungtį – tą patį Žirmūnų tiltą. Atstumas nuo nagrinėjamojo objekto iki senamiesčio ir miesto centro yra apie 1 km. Aplink Antakalnio žiedinę sankryžą yra trys sostinei svarbūs objektai: Šv. Apaštalų Petro ir Povilo bažnyčia (Antakalnio g. 1), Jungtinės Didžiosios Britanijos ir Šiaurės Airijos Karalystės ambasada (Antakalnio g. 2) bei Danijos Karalystės ambasada (T. Kosciuškos g. 36). Prie Žirmūnų žiedo yra prekybos centras „IKI Minskas“, Vidaus Reikalų Ministerijos kultūros, pramogų ir sporto rūmai, degalinė „Statoil“.



15 pav. Nagrinėjamų žiedinių sankryžų sistemos geografinė padėtis (www.google.com/maps)

Toliau nuo šių sankryžų, 500 m spinduliu yra Vilniaus klinikinė Vasaros ligoninė, Kardiologijos klinika, Šv. Krostaforo gimnazija, Tuskulėnų vidurinė mokykla, Lietuvių kalbos institutas, Nacionalinė M. K. Čiurlionio menų mokykla, B. Dvariono muzikos mokykla, Karo technikos ir technologijos muziejus, parduotuvė „Maxima“, knygynas, pašto skyrius, kelionių agentūros biuras, odontologijos kabinetas, veterinarijos vaistinė, rūbų parduotuvės, kavinė, kepyklėlė. Aplink vyrauja daugiaaukščiai ir mažaukščiai pastatai, bet teritorija nėra tankiai apgyvendinta, dominuoja komercinės ir pramoginės-kultūrinės funkcinės zonos.

Antakalnio žiedinė sankryža yra vidutinio dydžio, užima apie 50 arų (0,5 ha) teritoriją. Išorinis spindulys lygus 40 metrų, o važiuojamosios dalies perimetras – apie 240 m. Automobilių eismas žiede vyksta ratu, dvejomis eismo juostomis. Tačiau kai kurie vairuotojai nepaiso kelių eismo taisyklių ir šioje sankryžoje manevruoja neleistinai (16 pav.).



16 pav. Nkontroliuojamos ir pavojingos eismo sąlygos Antakalnio žiedinėje sankryžoje (www.sviesoforai.lt)

Žirmūnų žiedinė sankryža yra didesnė, jos plotas 100 arų (1,0 ha). Išorinis spindulys - 55 metrai. Transporto eismas žiede vyksta ratu, trejomis eismo juostomis.

Susisiekimo tinklo kategorijos:

- Olandų g. - B1 (pagrindinė gatvė, greitis 60 km/val);
- Žirmūnų g. - B1 (pagrindinė gatvė, greitis 60 km/val);
- Šeimyniškių g. - B1 (pagrindinė gatvė, greitis 60 km/val);
- Žirmūnų tiltas (Žirmūnų g.) - B1 (pagrindinė gatvė, greitis 60 km/val);
- Antakalnio g. - C1 (aptarnaujanti gatvė, greitis 50 km/val);
- T. Kosciuškos g. - C1 (aptarnaujanti gatvė, greitis 50 km/val);
- Tuskulėnų g. - C1 (aptarnaujanti gatvė, greitis 50 km/val).



17 pav. Susisiekimo tinklo kategorijos (Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 m.)

Antakalnio ir Žirmūnų žiedinių sankryžų sistema yra labai svarbus Vilniaus miesto susisiekimo tinklo elementas. Jis jungia centrinę miesto dalį, Senamiestį, Šnipiškės, Žirmūnus, Antakalnį ir atvykstančius Olandų gatve iš Naujosios Vilnios bei Markučių.

Transporto srautai žieduose yra dideli, pagal atliktus srautų tyrimus tiek rytinio tiek vakarinio piko metu Antakalnio žiedu pravažiuoja ne mažiau 4000 aut./val. (4 lentelė), o Žirmūnų žiedo eismo intensyvumas - beveik 4500 aut./val. (5 lentelė). Antakalnio ir Žirmūnų žiedinių sankryžų transporto srautų tyrimai atlikti 2014 m. balandžio 10 d. Srautų dydžių sulaukimui buvo gauti duomenys iš Savivaldybės Įmonės „Susisiekimo Paslaugos“ Centralizuotos eismo valdymo sistemos transporto jutiklių. Piko meto srautai yra didesni už žiedų laidumo galimybes, todėl juose susidaro transporto grūstys. Ypač opi problema piko valandomis yra didelis srautas iš Olandų, Antakalnio ir Šeimyniškių gatvių, bei vakarinio piko metu beveik kiekvieną darbo dieną „stovintys automobiliai“ ant Žirmūnų tilto.

4 lentelė. 2014 m. balandžio 10 d. transporto srautai Antakalnio žiedinėje sankryžoje

2014.04.10	įvažiavo į Antakalnio žiedą				Suma
	iš T. Kosciuškos g.	iš Olandų g.	iš Antakalnio g.	nuo Žirmūnų tilto	
7.30-8.30	537	1299	969	1256	4061
16.30-17.30	758	1396	1012	1240	4406

5 lentelė. 2014 m. balandžio 10 d. transporto srautai Žirmūnų žiedinėje sankryžoje

2014.04.10	įvažiavo į Žirmūnų žiedą				Suma
	iš Šeimyniškių g.	iš Tuskulėnų g.	iš Žirmūnų g.	nuo Žirmūnų tilto	
7.30-8.30	1122	788	1160	1256	4326
16.30-17.30	1312	804	976	1330	4422

Antakalnio žiedinėje sankryžoje didžiausi transporto srautai tiek rytinio tiek ir vakarinio piko metu yra iš/į Olandų g. ir iš/į Žirmūnų tiltą - apie 1300 transporto priemonių/val. Žirmūnų žiedinėje sankryžoje didžiausi srautai yra iš/į Šeimyniškių g. - apie 1100 transporto priemonių/val. ryte ir virš 1300 transporto priemonių/val. vakare.

Žiedais leidžiamas lengvojo transporto, viešojo transporto (autobusų ir troleibusų), sunkvežimių ir motorinių dviračių transporto priemonių eismas. Srautų tyrimo metu nustatyta, kad viešasis transportas sudaro 3 % nuo viso srauto, o krovininiai automobiliai - 4 %.

Aplink abu žiedus yra pėsčiųjų perėjos, kurios kerta visas į žiedą įeinančias gatves. Tiek Antakalnio tiek ir Žirmūnų žiede perėjos yra atitrauktos 8 - 14 m. atstumu nuo žiedo. Kadangi visos įvažos ir išvažos turi po 2 eismo juostas (kiekviena gatvė yra 2 + 2 eismo juostų) todėl pėsčiųjų saugiam eismui užtikrinti šioje sistemoje yra įrengtos aštuonios pėsčiųjų salelės (kiekvienoje gatvėje po vieną).

2.3. Ekonominis vertinimas

Pagal srautų tyrimo duomenis, EI (eismo intensyvumas) per piko valandą:

- 5 875 tr. priemonių/val. - rytinio piko metu
- 6 258 tr. priemonių/val. - vakarinio piko metu

Eismo intensyvumas gautas susumavus visų įvažiavimų srautus į analizuojama žiedinių sankryžų sistemą. Srautas nuo tilto nėra skaičiuojamas, kad nedubliuoti jau paskaičiuotų transporto priemonių.

PEI - paros eismo intensyvumo skaičiavimas

PEI (paros eismo intensyvumas) skaičiuojamas pagal formulę:

$$PEI = N \cdot K_p,$$

kur: N - transporto priemonių, pravažiavusių per matuojamą laikotarpį, skaičius (tr. priem.);

K_p - matavimo paros koeficientas.

Iš knygos „Transporto sistemos elementai“ (Sivilevičius, H. ir kt., Vilnius: Technika, 2012 m. 97 p.) priedų lentelių B1-B5 randama koeficiento K_p reikšmė. Ryte $K_p = 16,2$, o vakare $K_p = 14,9$.

$$PEI_R = 5\,875 \cdot 16,2 = 95\,175 \text{ tr. priemonių/parą}$$

$$PEI_V = 6\,258 \cdot 14,9 = 93\,244 \text{ tr. priemonių/parą}$$

$$\text{Vidutinis PEI} = 94\,210 \text{ tr. priemonių/parą.}$$

VSPEI - vidutinio savaitės paros eismo intensyvumo skaičiavimas

VSPEI (vidutinis savaitės paros eismo intensyvumas) skaičiuojamas pagal formulę:

$$VSPEI = PEI \cdot K_{Si},$$

kur K_{Si} - savaitės paros koeficientas.

Iš knygos „Transporto sistemos elementai“ priedų lentelių C1-C2 randama koeficiento K_{Si} reikšmė. Matavimo laikotarpis nuo balandžio 1d. iki rugsėjo 30 d., savaitės diena ketvirtadienis (srautų tyrimai atlikti balandžio 10 d.). Poilsio dienų PEI santykis su darbo dienų PEI yra mažesnis už 0,9 ($K_{SG} < 0,9$) todėl $K_{Si} = 0,99$.

$$VSPEI = 94\,210 \cdot 0,99 = 93\,268 \text{ tr. priemonių/parą.}$$

VMPEI - vidutinio metinio paros eismo intensyvumo skaičiavimas

VMPEI (vidutinis metinis paros eismo intensyvumas) skaičiuojamas pagal formulę:

$$VMPEI = VSPEI \cdot K_{Mi},$$

kur K_{Mi} - metų savaitės EI koeficientas.

Iš knygos „Transporto sistemos elementai“ priedų lentelės D1 randama koeficiento K_{Mi} reikšmė. Srautų tyrimai atlikti balandžio 10 d., tai yra 15 metų savaitė. $K_{Mi} = 1,05$.

$$VMPEI = 93\,268 \cdot 1,05 = 97\,931 \text{ tr. priemonių/parą.}$$

Pagal KTR 1.01:2008 nustatant kelio kategoriją ir projektuojant planą, išilginio ir skersinio profilių elementus bei dangą, reikia atsižvelgti į 20 metų projektinį kelio naudojimo laikotarpį. Ekonominiu ir techniniu požiūriais pagrindus, dangos projektavimui gali būti nustatomi 10, 15 ar 20 metu projektiniai naudojimo laikotarpiai.

Projektinio naudojimo laikotarpio pradžia laikomi metai, kuriais numatyta baigti kelio tiesimą.

Projektinis vidutinis metinis paros eismo intensyvumas ($VMPEI_p$) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$VMPEI_p = VMPEI (1 + 0,01p)^n, \text{ aut./parą,}$$

čia:

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

p - eismo intensyvumo padidėjimas kiekvienais metais, %.

Kasmetinis eismo intensyvumo padidėjimas nustatomas atsižvelgiant į daugiamečių stebėjimų duomenis ir bendrojo vidaus produkto (BVP*) augimą.

n - projektinis kelio naudojimo laikotarpis (10, 15, 20), metai.

Ekonominio pagrindimo skaičiavimuose naudojami apskaičiuoti vidutinio metinio paros eismo intensyvumo (VMPEI) duomenys.

Priimama, kad automobilių eismo intensyvumas kasmet didėja:

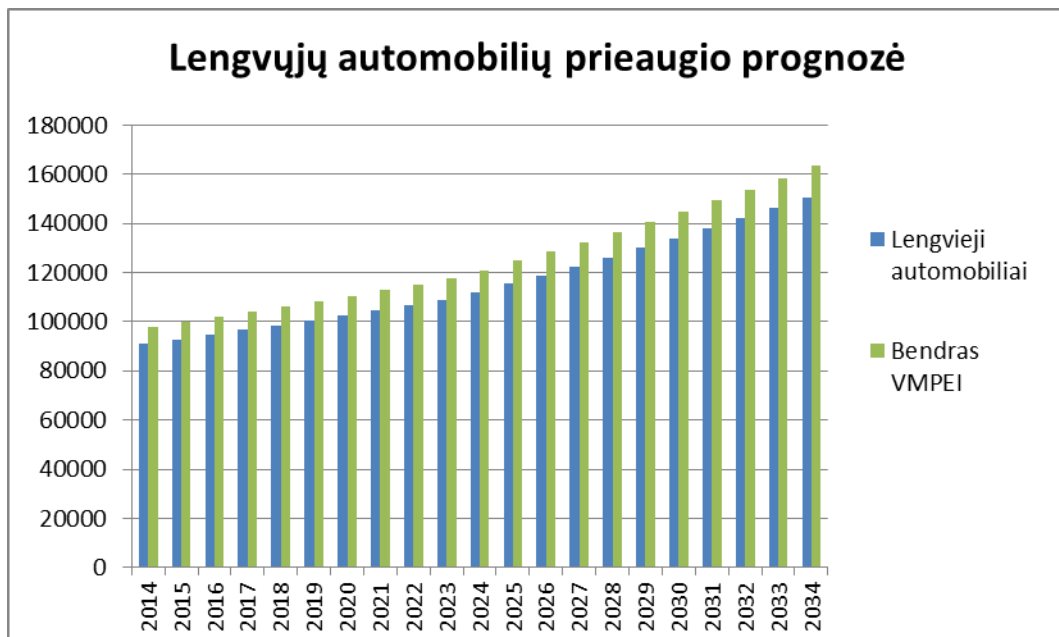
- lengviesiems automobiliams – pirmus 10 metų 2%, likusius metus 3%.
- krovininiams automobiliams – pirmus 10 metų 3%, likusius metus 4%.
- autobusų ir troleibusų intensyvumas pirmus 10 metų didės 2%, kitus 11 metų didės 3%.

Eismo intensyvumo prognozė pateikiama 21 metams: 1 metus bus vykdoma šviesoforais reguliuojamų sankryžų statyba ir 20 metų numatomas naudojimo laikotarpis. Eismo intensyvumo prognozė ir jos kitimas pateiktas 6 lentelėje ir 18 bei 19 paveikslėliuose.

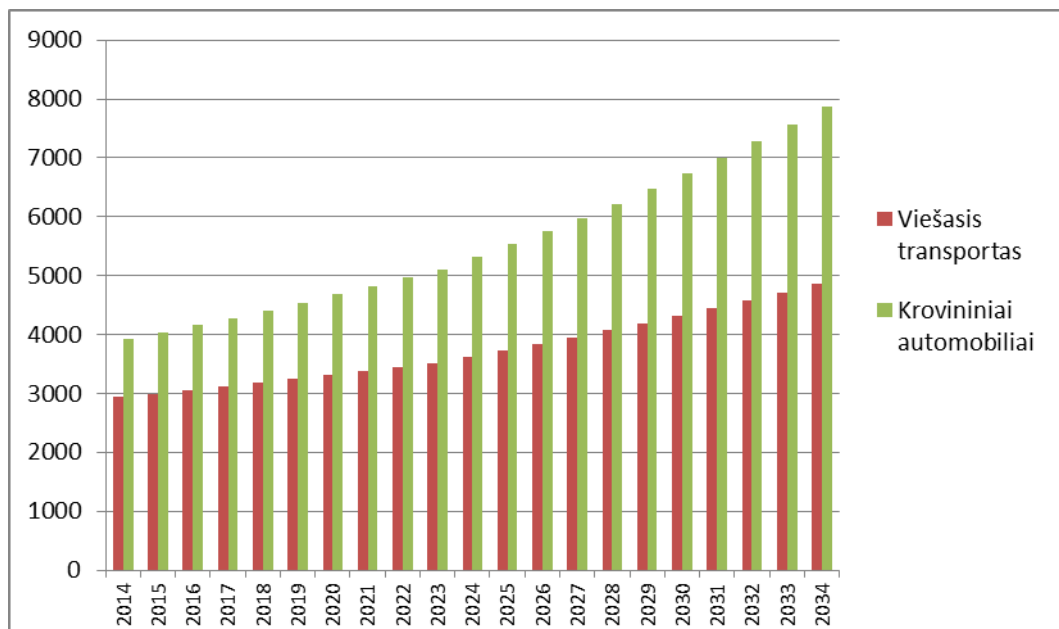
6 lentelė. Eismo intensyvumo prieaugio prognozė

Metai	Automobilių eismo intensyvumas			Bendras VMPEI
	Lengvieji	VT	Krovininiai	
2014	91076	2938	3917	97931
2015	92897	2997	4035	99929
2016	94755	3057	4156	101968
2017	96650	3118	4280	104049
2018	98583	3180	4409	106172
2019	100555	3244	4541	108340
2020	102566	3309	4677	110552
2021	104618	3375	4818	112810
2022	106710	3442	4962	115114
2023	108844	3511	5111	117466
2024	112109	3616	5316	121041
2025	115473	3725	5528	124726
2026	118937	3837	5749	128523
2027	122505	3952	5979	132436
2028	126180	4070	6218	136469
2029	129965	4192	6467	140625
2030	133864	4318	6726	144909
2031	137880	4448	6995	149323
2032	142017	4581	7275	153873
2033	146277	4719	7566	158562
2034	150666	4860	7868	163394

Iš lentelės matome, kad 2034 metais vidutinis eismo intensyvumas sankryžų sistemoje bus 163 394 tr. priemonių / parą, iš kurių 150 666 lengv. automob. / parą, 4 860 vt/parą, 7 868 krov. automob. / parą.



18 pav. Lengvųjų automobilių VMPEI kitimo grafikas



19 pav. Viešojo transporto ir krovininių automobilių VMPEI kitimo grafikas

2.3.1. Ekonominio vertinimo modelis ir kriterijai

Ekonominis vertinimas pagrįstas naudos - išlaidų analizės metodu. Šiuo metodu kelio priežiūros problema gali būti sprendžiama dviem būdais:

1) Projektas įgyvendinamas, t.y. Antakalnio ir Žirmūnų sistemoje atliekamas šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimas, vėliau vykdoma nuolatinė priežiūra ir reikalingi remonto darbai.

2) Projektas neįgyvendinamas;

Projekto įgyvendinimo naudą sudaro:

- ✓ laiko gaišties kelyje santaupos;
- ✓ trumpesnis važiavimo kelias.

Projekto įgyvendinimo išlaidas sudaro:

- ✓ projekto įrengimo kaštai;
- ✓ išlaidos dėl avaringumo padidėjimo;
- ✓ kelio ruožo priežiūra po įrengimo.

Ekonominis vertinimas atliekamas 20 metų projekto gyvavimo laikotarpiui. Tokia trukmė nustatyta atsižvelgiant į analogiškų projektų vertinimo periodų trukmę. Projekto duodama nauda pradedama skaičiuoti sekančiais metais po projekto užbaigimo.

2.3.2. Šviesoforais reguliuojamos sankryžos įrengimo išlaidos

Lėšų poreikis, paskaičiuotas pagal 2013 metų statinių statybos sustambintas skaičiuojamąsias kainas. Lėšų poreikis pateiktas 7 lentelėje.

7 lentelė. Lėšų poreikis šviesoforinės sankryžos įrengimui

Dviejų sankryžų rekonstrukcija + šviesoforinio eismo reguliavimo įrengimo kaina	240 000	Eurų
Eksplotavimo laikas	20	metų

Investicijoms atlikti reikalinga dalinė paskola (60 proc. reikalingo finansavimo 144 000 Eurų). Reikalingoms lėšoms gauti nuspręsta imti paskolą 10 metų su 8% metinėmis palūkanomis, kuri būtų grąžinama anuiteto būdu.

Anuiteto paskolos grąžinimo metodas - kai bendra paskolos suma su palūkanomis yra lygiai padalinama visam paskolos grąžinimo laikotarpiui. Todėl bankui kiekvieną mėnesį mokamos vienodo dydžio įmokos, kurios apskaičiuojamos pagal formulę:

$$PV_A = A \cdot \left[\frac{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}{i} \right]; \Rightarrow A = PV_A \cdot \left[\frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \right]; \Rightarrow A = PV_A \cdot \left[\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right];$$

Čia: PV_A – projekto vertė (paskolos dydis), Lt;

A – anuiteto dydis, Lt;

i – palūkanų norma (šimtųjų dalimis);

n – paskolos trukmė, metais.

8 lentelė. Paskolos grąžinimas anuiteto būdu.

Mokėjimai	Pradinis balansas	Skolos ir palūkanų mokėjimas	Palūkanos	Skolos suma	Pabaigos balansas
1	144000,00	21460,24	11520,00	155520,00	134059,76
2	134059,76	21460,24	10724,78	144784,54	123324,30
3	123324,30	21460,24	9865,94	133190,24	111730,00
4	111730,00	21460,24	8938,40	120668,41	99208,17
5	99208,17	21460,24	7936,65	107144,82	85684,58
6	85684,58	21460,24	6854,77	92539,34	71079,10
7	71079,10	21460,24	5686,33	76765,43	55305,19
8	55305,19	21460,24	4424,42	59729,61	38269,37
9	38269,37	21460,24	3061,55	41330,92	19870,68
10	19870,68	21460,24	1589,56	21460,24	0,00
Iš viso:		214602,40	70602,40		

Paskolą grąžinant anuiteto būdu, iš viso bankui reikėtų sumokėti 214 602,40 Eurų. Mokant anuiteto būdu bankui sumokame palūkanas, kurių vertė 70 602,40 Eurų.

2.3.3. Kelionės laiko santaupos

Transporto priemonių laiko gaištis priklauso nuo maršruto ilgio, transporto priemonės techninių charakteristikų, kelio būklės, leistino greičio, eismo intensyvumo bei kelio pralaidumo rodiklių. Įrengus šviesoforais valdomą sankryžą transporto priemonės galės greičiau įveikti atkarpą, nes važiuos trumpesniu keliu nei žiedinėje sankryžoje, o taip pat bus didesnis jų greitis, reiks mažiau kartų sustoti ir vėl pradėti važiuoti. Greičio skirtumas, važiuojant lygesniu ruožu, sudaro tam tikras kelionės laiko santaupas, kurios, pagal laiko vertę yra išreiškiamos pinigine išraiška.

Modeliavimo metu apskaičiuota (žr. 3 skyrių), kad įrengus šviesoforais valdomą sankryžą, kiekviena transporto priemonė sutaupys apie 153 sekundes laiko, bei nuvažiuos apie 170 metrų trumpesnį kelią.

Laiko gaišties nuostoliams apskaičiuoti reikalingas vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI), vidutinė kelionės ir laiko vertė Lt/val. kiekvienam transporto priemonės tipui ir sutaupyta laikas. Vidutinė kelionės ir laiko vertė, 2013 metų pradžios kainomis, pateikta 9 lentelėje.

9 lentelė. Vidutinė kelionės ir laiko vertė, 2013 metų pradžios kainomis (LAKD duomenys)

Transporto priemonės tipas	Vienos valandos kelionės laiko vertė, Eurų/val.
Lengvasis automobilis	8,30
Krovininiai automobiliai (2 ašių)	8,53
Didelis autobusas (virš 20 vietų)	90,01

Kelionės laiko gaištis ekonomija apskaičiuojami pagal formulę:

$$G = VMPEI_i \cdot t \cdot LV_i, \text{ Eurų/metus}$$

čia:

$VMPEI_i$ – i-tųjų metų vidutinis metinis paros eismo intensyvumas kiekvienam transporto priemonės tipui, aut./parą;

t – sutaupyta laikas po rekonstrukcijos, km/val.;

LV_i – i-tųjų metų kiekvienos transporto priemonės tipo vidutinė vieno automobilio sugaišto laiko vertė, Eurų/val.

Rezultatai pateikti 10 lentelėje, o išsamūs skaičiavimai - darbo priede nr. 8.

Kelionės laiko santaupos vertinamos 2034 metams, įvertinus automobilių srauto sudėtį, išlaidų dėl laiko gaištis skirtumas, lyginant važiavimą žiedine sankryžą ir šviesoforais reguliuojamą sankryžą.

$$G = 1\,332\,762 \text{ Eur.}$$

Laiko gaištis ekonomija valandomis: $G = 111\,699 \text{ val.}$

10 lentelė. Ekonomijos skaičiavimas po šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimo

Metai		Iš viso, Val.	Iš viso, Eur.
1	2014	4162	48177
2	2015	4247	49291
3	2016	4334	50431
4	2017	4422	51598
5	2018	4512	52794
6	2019	4604	54019
7	2020	4698	55273
8	2021	4794	56557
9	2022	4892	57872
10	2023	4992	59220
11	2024	5144	61192
12	2025	5301	63231
13	2026	5462	65339
14	2027	5629	67520
15	2028	5800	69774
16	2029	5977	72105
17	2030	6159	74515
18	2031	6346	77008
19	2032	6540	79586
20	2033	6739	82252
21	2034	6944	85009

2.3.4. Papildomi kaštai dėl avaringumo padidėjimo

Avaringumas yra svarbus ekonomijos rodiklis, t.y. kuo mažiau kelyje sužalojama ar žūsta žmonių, sugadinama transporto priemonių, tuo didesnė ekonomija gaunama. Autoavarija - tai eismo įvykis, kurio metu, dalyvaujant važiuojančiais (judančiais) motorinei transporto priemonei ar mopedui, žuvo ar buvo sužeisti žmonės arba sugadintos (apgadintos) transporto priemonės, krovinyos, kelias, kelio statiniai, koks nors kitas turtas.

Autoavarijų apskaita vedama remiantis vidaus reikalų ministro 1997 metų sausio mėn. 22 d. įsakymu, kuriame nustatyta vieninga autoavarijų apskaitos tvarka Lietuvos Respublikoje. Autoavarijų apskaitą vykdo policija ir medicininės pagalbos įstaigos.

Avaringumo laipsniui nustatyti naudojamas avaringumo koeficientas:

$$AK = \frac{A \cdot 10^6}{365 \cdot VMPEI};$$

čia:

A - autoavarijų skaičius per metus;

VMPEI- vidutinis metinis paros eismo intensyvumas nagrinėjamame kelio ruože, aut./parą;

365 - dienų skaičius metuose.

Autoavarijų kaštai apskaičiuojami taip:

$$AN = \frac{AK \cdot VMPEI \cdot 365}{10^6} \cdot VVAK;$$

čia:

AK - avaringumo koeficientas nagrinėjamame kelio ruože;

VMPEI- vidutinis metinis paros eismo intensyvumas nagrinėjamame kelio ruože, aut./parą;

365 - dienų skaičius metuose;

VVAK- vidutinė vienos autoavarijos kaina nagrinėjamame ruože, Eur.

Vidutinė autoavarijos kaina nagrinėjamame ruože:

$$VVAK = \frac{SS \cdot SK + \check{S} \cdot \check{K} + MS \cdot MK}{AS};$$

čia:

SS - sužeistųjų avarijose skaičius;

SK - avarijos su sužalojimais kaina, Eur.;

ZS- žuvusiųjų avarijose skaičius;

Z K - avarijos su žuvusiais kaina, Eur.;

MS- avarijų, kuriose patirta tik materialinė žala, skaičius;

MK- avarijos, kuriose patirta tik materialinė žala, kaina, Eur.

$$A = \frac{AS}{MS};$$

čia:

MS - metų, kurių duomenimis naudojamos skaičius;

AS- avarių skaičius per metus, kurių duomenimis naudojamos.

Skirtingais metais vienoje autoavarijoje žūsta ir sužalojama skirtingas žmonių skaičius. Vienoje autoavarijoje patiriama žala 2013 metų kainomis, pateikta 11 lentelėje:

11 lentelė. Vienoje autoavarijoje patiriama žala

Autoavarijoje patiriama žala	Eurų
Eismo įvykis su žuvusiais žmonėmis	567 051,59
Eismo įvykis su sužeistais žmonėmis	51 489,86
Techninis eismo įvykis	1 634,78

2011 - 2013 metų policijos duomenimis, šiose žiedinėse sankryžose užfiksuoti 236 techniniai eismo įvykiai, kuriuose nukentėjo 5 asmenys, 0 žmonių žuvo. Todėl skaičiuojame, kad tendencijos nekinta ir per 20 metų turėtume 1 573 eismo įvykius su 33 nukentėjusiais asmenimis ir 0 žuvusiųjų.

$$AN = 4\,270\,674,32 \text{ Eur.}$$

Avaringumo kaštai po sankryžos rekonstrukcijos apskaičiuojami įvertinant poveikio avaringumui koeficientą, kuris pagal nustatytas eismo saugumo priemones lietuviškoje TARVAL versijoje yra lygus – 1,20. Po žiedinių sankryžų panaikinimo ir šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimo numatoma, kad avaringumas padidės 20 %. Kadangi avarių skaičius yra tiesiogiai proporcingas avaringumo kštams, tai po rekonstrukcijos avaringumo kaštai tiriamoje sankryžoje apskaičiuojami pagal formulę:

$$AN_2 = AN_1 \cdot k_x, \text{ Eurų}$$

čia:

AN_2 – avaringumo kaštai įrengus šviesoforais reguliuojamas sankryžas, Lt;

k_x – poveikio avaringumui koeficientas.

$$AN_2 = 4\,270\,674,32 \cdot 1,2 = 5\,124\,809,18 \text{ Eurai.}$$

Nuostolių šviesoforais reguliuojamose ir žiedinėse sankryžose skirtumas:

$$AN - AN_2 = 854\,134,86 \text{ Eurai.}$$

2.3.5. Ekonominiai įverčiai

Ekonominis projekto vertinimas atliekamas apskaičiuojant ekonominius įverčius. Vertinimo metu nustatoma, ar ekonominiu požiūriu projektą tikslinga įgyvendinti visuomeniniu mastu.

Pagrindiniai įverčiai, naudojami projekto ekonominėje analizėje, yra šie:

- dabartinė kaštų vertė (DKV);
- dabartinė naudos vertė (DNV);

- grynoji dabartinė vertė (GDV);
- naudos ir kaštų santykis (N/K);
- vidinė grąžos norma (VGN).

Dabartinė kaštų vertė (DKV) - yra rekonstrukcijos projekto įgyvendinimui reikalingų pinigų suma. Šio projekto bazinio varianto nominali kaina priimama pagal sudarytą sąmatą.

Dabartinė naudos vertė (DNV) - yra visų projekto naudą sudarančių diskontuotų pinigų suma.

Grynoji dabartinė vertė (GDV) - yra visų projekto diskontuotų pinigų srautų suma, kuri parodo projekto absoliutų efektą atsižvelgiant į laiko veiksnį per projekto gyvavimo laikotarpį. Grynoji dabartinė vertė yra dabartinės naudos vertės (DNV) ir dabartinės kaštų vertės (DKV) skirtumas.

Naudos ir kaštų santykis (N/K) - tai projekto rentabilumo rodiklis. Jis parodo kiek kartų dabartinė naudos vertė (DNV) yra didesnė už dabartinę kaštų vertę (DKV).

Vienas iš svarbiausių ekonominių rodiklių yra vidinė grąžos norma (VGN). Projekto vidinė grąžos norma yra laikoma tokia diskonto norma, kuriai esant projekto pinigų srautų dabartinė grynoji vertė (GDV) yra lygi nuliui. Šis rodiklis nusako investicijų rentabilumą ir parodo maksimalų leistiną santykinį (procentinį) investicijų kainos lygį, kurį viršijus projektas pasidaro nerentabilus. Projektas yra priimtinas, jei $VGN > 5\%$. Įvertinus kelerių metų patirtį, rengiant investicijų projektus Lietuvos automobilių keliams, projekto patrauklumas pagal VGN kriterijų gyvavimo ciklo pabaigoje yra:

- patenkinamas, jei VGN yra tarp 5% ir 10%;
- geras, jei VGN yra tarp 10% ir 15%;
- labai geras, jei VGN yra lygi 15% ar daugiau.

Vertinant pagal santykį N/K projekto patrauklumas yra:

- patenkinamas, jei N/K yra tarp 1,0 ir 1,5;
- geras, jei N/K yra tarp 1,5 ir 2,5;
- labai geras, jei N/K yra didesnė už 2,5.

Jei VGN yra mažesnė už 5%, rekomenduojama projektą iš esmės keisti arba jo atsisakyti.

Pinigų srautas išreiškiamas naudos ir kaštų skirtumu. Šis skirtumas neparodo pinigų nuvertėjimo ateityje. Nuvertėjimas nustatomas diskontuojant būsimus kaštus ir pajamas. Šiam tikslui reikia žinoti diskonto normą t.y. kapitalo metinių palūkanų normą. Diskontavimas - tai būsimosios vertės perskaičiavimas dabartiniam laikotarpiui. Šiame darbe naudos ir kaštų analizės skaičiavimuose naudojama 5 % diskonto norma. Diskontavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k_d = 1/(1 + k)^n;$$

čia: k_d – diskontavimo koeficientas;

k – diskonto norma, vienetų dalimis;

n – metai nuo rekonstrukcijos.

Atlikę naudos ir kaštų analizę (9 priedas) gavome tokius rezultatus:

- DKV (dabartinė kaštų vertė) = 704 876 Eurai
- DNV (dabartinė naudos vertė) = 854 267 Eurai
- GDV (grynoji dabartinė vertė) = 149 391 Eurais
- N/K (naudos ir kaštų santykis) = 1,21
- VGN (vidinė gražos norma) = 14,67%

3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

Eksperimentinės dalies tikslas – palyginti atskirų sankryžų variantų laidumą ir srautų aptarnavimo kokybę, esant realiems (išmatuotiems) transporto ir pėsčiųjų srautams.

3.1. Antakalnio žiedinės sankryžos makro modelio parengimas VISUM aplinkoje

Eksperimentinės dalies tikslas – palyginti atskirų sankryžų variantų laidumą ir srautų aptarnavimo kokybę, esant realiems (išmatuotiems) transporto ir pėsčiųjų srautams.

Pagrindiniai uždaviniai:

1. Sudaryti realaus scenarijaus ryšių matricą, kai planuojamos apkrovos žiedinių sankryžų įvažose yra lygios natūrinių tyrimų metu gautiems eismo srautams;
2. Parengti 3 konceptualius Antakalnio ir Žirmūnų sankryžų sistemos modelius:
 - a) žiedinių sankryžų sistema (esama būklė);
 - b) Žirmūnų žiedinė sankryža + Antakalnio šviesoforais reguliuojama sankryža (1-oji koncepcija);
 - c) Antakalnio ir Žirmūnų sankryžos reguliuojamos šviesoforais (2-oji koncepcija).
3. Naudojant PTV „Visum“ ir „Visim“ modeliavimo programas sumodeliuoti šiuos variantus ir atlikti jų palyginimą panaudojant „HCM“ metodiką;
4. Pateikti išvadas ir pasiūlymus.

3.1.1. Modeliavimo scenarijaus aprašymas

Nagrinėjamoje transporto mazgų sistemoje buvo parinktas realus modeliavimo scenarijus, kai apkrovos iš kiekvienos krypties išsidėsto taip pat, kaip apskaičiuota srautų tyrimo metu:

- iš Šeimyniškių g. – 1 312 transporto priemonių/val.;
- iš Tuskulėnų g. – 804 transporto priemonės/val.;
- iš Žirmūnų g. – 976 transporto priemonės/val.;
- nuo tilto link Žirmūnų žiedo – 1 330 transporto priemonių/val.;
- iš Antakalnio g. – 1 012 transporto priemonių/val.;
- iš Olandų g. – 1 396 transporto priemonės/val.;
- iš T. Kosciuškos g. – 758 transporto priemonės/val.;
- nuo tilto link Antakalnio žiedo – 1 240 transporto priemonių/val.

Prieš formuojant transporto ryšių matricą buvo sukurtos transportinės zonos (21 pav.). Ryšių matricoje nurodomi transporto srautų judėjimai iš vienos zonos į kitą, atsižvelgiant į tai, kad sankryžose galimi skirtingi manevrai (į kairę, tiesiai ir į dešinę).



20 pav. Transportinės zonos (www.maps.lt)

Sukurtos transportinės zonos:

- transportinė zona nr. 1 – vakarai (Šeimyniškių g.);
- transportinė zona nr. 2 – šiaurės vakarai (Tuskulėnų g.);
- transportinė zona nr. 3 – šiaurė (Žirmūnų g.);
- transportinė zona nr. 4 – šiaurės rytai (Antakalnio g.);
- transportinė zona nr. 5 – pietryčiai (Olandų g.);
- transportinė zona nr. 6 – pietvakariai (T. Kosčiuškos g.);

Gavome transporto ryšių matricą, kuri yra nurodyta 12-oje lentelėje.

12 lentelė. Transporto priemonių ryšių matrica

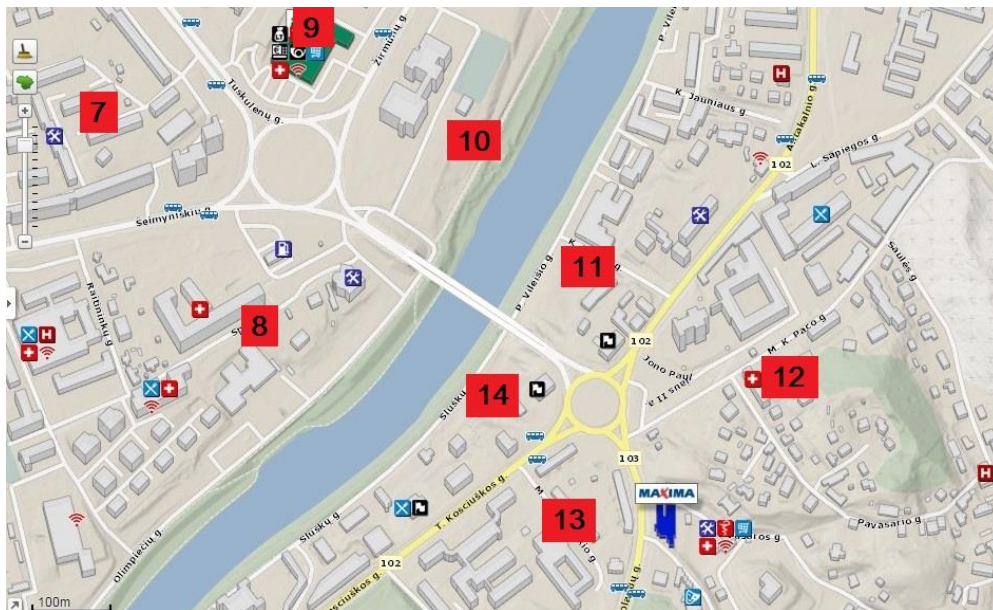
Zonos	1	2	3	4	5	6	Suma
1	0	304	412	180	332	84	1312
2	144	0	208	136	252	64	804
3	492	288	0	60	108	28	976
4	172	112	80	0	296	352	1012
5	378	252	176	462	0	128	1396
6	72	52	36	460	138	0	758
Suma	1258	1008	912	1298	1126	656	6258

Nagrinėjamoje žiedinių sankryžų sistemoje buvo parinktas realus modeliavimo scenarijus, kai pėsčiųjų srautai pėsčiųjų perėjose išsidėsto taip pat, kaip apskaičiuota srautų tyrimo metu:

- Šeimyniškių g. perėja (prie Žirmūnų žiedo) – 160 pėsčiųjų/val.;
- Tuskulėnų g. perėja (prie Žirmūnų žiedo) – 236 pėsčiųjų/val.;
- Žirmūnų g. perėja (prie Žirmūnų žiedo) – 184 pėsčiųjų/val.;

- perėja prie tilto (prie Žirmūnų žiedo) – 88 pėstieji/val.;
- Antakalnio g. perėja (prie Antakalnio žiedo) – 172 pėstieji/val.;
- Olandų g. perėja (prie Antakalnio žiedo) – 208 pėstieji/val.;
- T. Kosciuškos g. perėja (prie Antakalnio žiedo) – 440 pėsčiųjų/val.;
- perėja prie tilto (prie Antakalnio žiedo) – 164 pėstieji/val.;

Prieš formuojant pėsčiųjų ryšių matrica buvo sukurtos transportinės zonos (21 pav.). Ryšių matricoje nurodomi pėsčiųjų srautų judėjimai iš vienos zonos į kitą.



21 pav. Pėsčiųjų zonos (www.maps.lt)

Sukurtos pėsčiųjų zonos:

- pėsčiųjų zona nr. 7 – tarp Šeimyniškių ir Tuskulėnų gatvių;
- pėsčiųjų zona nr. 8 – tarp Šeimyniškių gatvės ir tilto;
- pėsčiųjų zona nr. 9 – tarp Tuskulėnų ir Žirmūnų gatvių;
- pėsčiųjų zona nr. 10 – tarp Žirmūnų gatvės ir tilto;
- pėsčiųjų zona nr. 11 – tarp Antakalnio gatvės ir tilto;
- pėsčiųjų zona nr. 12 – tarp Antakalnio ir Olandų gatvių;
- pėsčiųjų zona nr. 13 – tarp Olandų ir T. Kosciuškos gatvių;
- pėsčiųjų zona nr. 14 – tarp T. Kosciuškos gatvės ir tilto

Gavome transporto ryšių matricą, kuri yra nurodyta 13-oje lentelėje.

13 lentelė. Pėsčiųjų ryšių matrica

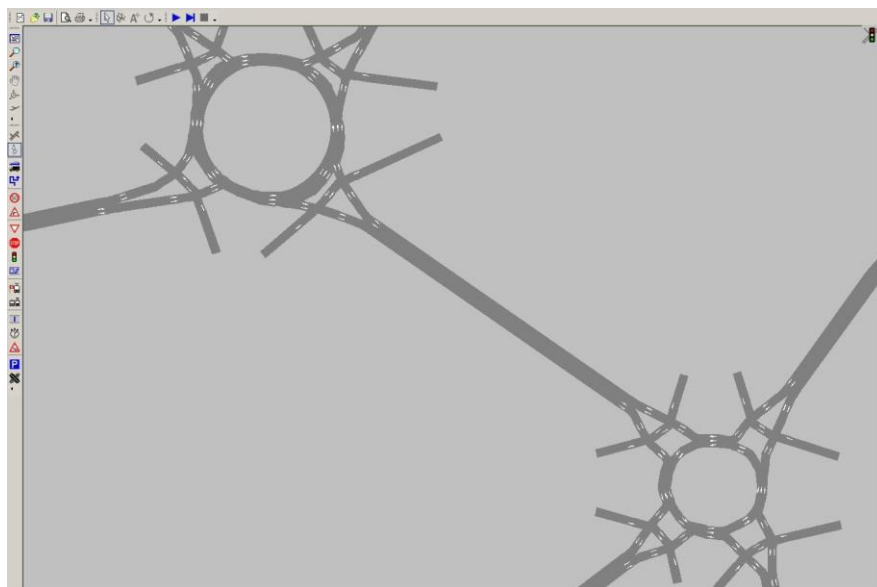
Zonos	7	8	9	10	11	12	13	14	Suma
7	0	80	118	0	0	0	0	0	198
8	80	0	0	44	0	0	0	0	124
9	118	0	0	92	0	0	0	0	210
10	0	44	92	0	0	0	0	0	136
11	0	0	0	0	0	86	0	82	168
12	0	0	0	0	86	0	104	0	190
13	0	0	0	0	0	104	0	220	324
14	0	0	0	0	82	0	220	0	302
Suma	198	124	210	136	168	190	324	302	1652

3.2. Antakalnių ir Žirmūnų sankryžų sistemos apkrovos variantų modeliavimas

Naudojant „PTV Vision“ programinį paketą, buvo sumodeliuotas realaus (išmatuoto) eismo srauto scenarijus. Modeliuoti 3 skirtingi modeliavimo variantai: žiedinių sankryžų sistema (esama situacija), Žirmūnų žiedinė sankryža ir Antakalnio šviesoforais reguliuojama sankryža (1-oji koncepcija) bei Antakalnio ir Žirmūnų sankryžos reguliuojamos šviesoforais (2-oji koncepcija).

3.2.1. Pirmasis modeliavimo variantas

Pirmasis modeliavimo variantas atspindi esamą situaciją, Antakalnio ir Žirmūnų sankryžų sistema susideda iš dviejų žiedinių sankryžų (22 pav.).



22 pav. Pirmasis modeliavimo variantas. Konceptinis esamos situacijos modelis (iš PTV Vissim modeliavimo programos)

Šiame modeliavimo variante eismas vyksta žiedinėmis sankryžomis ratu. Važiuodami per šią sankryžą vairuotojai vadovaujasi nurodomaisiais kelio ženklais KET 410 (Kelių eismo taisyklės). Vairuotojai važiuojantys žiedu turi pirmenybę, įvažiuojantys į žiedą privalo juos praleisti.

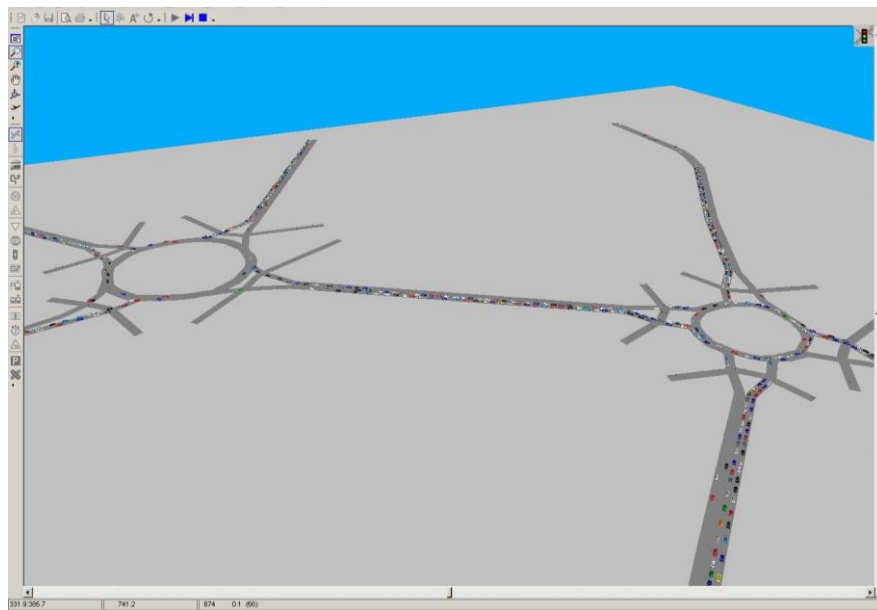
Žirmūnų žiedinėje sankryžoje eismas vyksta trimis eismo juostomis, Antakalnio - dvejomis eismo juostomis su galimybe atlikti dešinįjį manevrą papildoma juosta (taip pat kaip esamoje būklėje).

14 lentelė. Kelių eismo taisyklių KET 410 ženklo paaiškinimas (*Kelių eismo taisyklės*, 2014-10-10)

Numeris	Pavadinimas	Pavyzdys	Paaiškinimas
410	Eismas ratu		Leidžiama važiuoti tik rodyklių kryptimi

Sukūrus žiedinių sankryžų sistemos modelį ir uždėjus apkrovas gauta srautų kartograma. Pirmojo modeliavimo varianto kartograma pateikiama priede nr. 1.

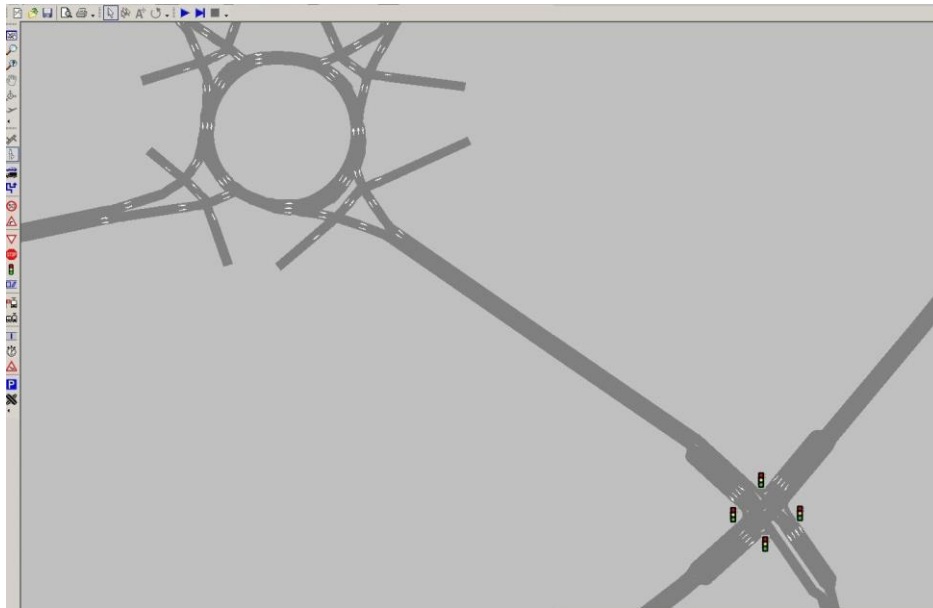
23 pav. pavaizduotas esamos situacijos modelis su apkrovomis Visim programoje. Modelio vizualizacija sukurta pasirinkus trimatį erdvės atvaizdavimą.



23 pav. Esamos situacijos modelis su transporto ir pėsčiųjų apkrova (iš PTV Vissim modeliavimo programos)

3.2.2. Antrasis modeliavimo variantas

Antrame modeliavimo variante nagrinėjama žiedinių sankryžų sistema buvo pertvarkyta į dvi skirtingo eismo organizavimo sankryžas: Žirmūnų žiedinė sankryža liko tokia pati kaip ir esamoje būklėje, o Antakalnio žiedas pertvarkomas į keturšalę šviesoforais reguliuojamą sankryžą (24 pav.). Važiuodami per šią sankryžą vairuotojai privalo vadovautis *Kelių eismo taisyklių* X skyriumi *Eismo reguliavimo signalai* ir XVIII skyriumi *Važiavimas per sankryžas*.



24 pav. Antrasis modeliavimo variantas. Sistema, susidedanti iš Žirmūnų žiedinės ir Antakalnio šviesoforais reguliuojamos sankryžos

Atlikus eismo srautų tyrimus buvo nustatyta, kad Antakalnio žiedinėje sankryžoje didžiausi srautai važiuoja Olandų gatve ir per tiltą, todėl prie šių įvažų be šviesoforų įrengiami kelio ženklai KET 201, nurodantys pirmumo teisę važiuoti. Antakalnio ir T. Kosciuškos gatvėse prieš sankryžą įrengiami KET 203 kelio ženklai. Tai yra būtina priemonė siekiant užtikrinti saugų eismą sankryžoje neveikiant šviesoforams.

15 lentelė. KET 201 ir KET 203 kelio ženklų paaiškinimai (*Kelių eismo taisyklės*, 2014-10-10)

Numeris	Pavadinimas	Pavyzdys	Paaishkinimas
201	Pagrindinis kelias		Kelias, kuriame suteikta pirmenybė važiuoti per nereguliuojamas sankryžas
203	Duoti kelią		Vairuotojas privalo duoti kelią transporto priemonėms, važiuojančioms kertamu keliu, o esant papildomai lentelei Nr. 843 „Pagrindinio kelio kryptis“ – važiuojančioms pagrindiniu keliu

Antakalnio g. - Olandų g. - T. Kosciuškos g. sankirtoje įrengiant šviesoforais reguliuojamą sankryžą būtina įvertinti artimiausių šviesoforais reguliuojamų sankryžų ciklo trukmę. Vilniaus miesto centralizuoto eismo valdymo sistemoje veikiančios šviesoforais reguliuojamos sankryžos priderintos tarpusavyje tam, kad jas lengviau galima būtų sukoordinuoti į žaliąjį koridorių (žaliąją bangą). Artimiausiai nagrinėjamos vietos yra kelios šviesoforais reguliuojamos sankryžos:

- Šeimyniškių g. – Rinktinės g. sankryža;
- Tuskulėnų g. – Žalgirio g. - Rinktinės g. sankryža;
- Antakalnio g. – L. Sapiegos g. sankryža;
- T. Kosciuškos g. – Slušų g. sankryža.

Visose šiose sankryžose rytinio bei vakarinio piko metu veikia 120 s ciklo trukmės šviesoforų valdymo programos. Antakalnio sankryžoje parenkamas tokios pačios trukmės ciklas.

Kuriama viena šviesoforų valdymo programa su 8 signalinėmis grupėmis:

- SG1, SG3, SG5 ir SG7 – tai grupės manevrams sankryžoje tiesiai ir į dešinę;
- SG2, SG4, SG6 ir SG8 – grupės manevrams į kairę (apsaugoti kairieji posūkiai).

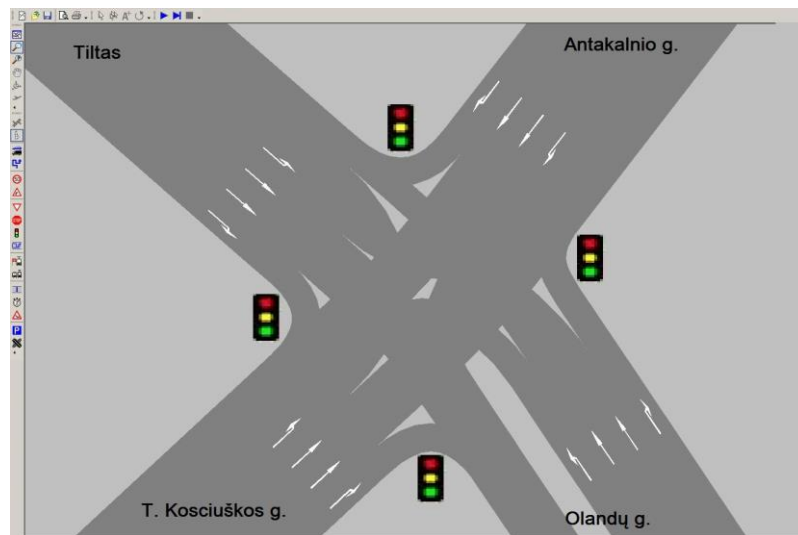
Sankryžos schema su pavaizduotomis signalinėmis grupėmis, šviesoforų valdymo programos darbo režimas, konfliktų matrica ir *intergreen* laikų matrica pateikiami priede nr. 6.

3.2.3. Trečiasis modeliavimo variantas

Trečiajame modeliavimo variante Žirmūnų ir Antakalnio žiedinės sankryžos buvo pertvarkytos į keturšales šviesoforais reguliuojamas sankryžas (25 pav. ir 26 pav.). Važiuodamas per šviesoforais reguliuojamas sankryžas, vairuotojas privalo vadovautis šviesoforo signalais, kad ir kokie būtų važiavimo pirmenybę nurodantys kelio ženklai. Taip pat įsijungus leidžiamajam šviesoforo signalui, vairuotojas privalo duoti kelią transporto priemonėms, išvažiuojančioms iš sankryžos važiuojamųjų dalių sankirtos numatyta kryptimi.



25 pav. Trečiasis modeliavimo variantas. Keturšalė šviesoforais reguliuojama Žirmūnų sankryža



26 pav. Trečiasis modeliavimo variantas. Keturšalė šviesoforais reguliuojama Antakalnio sankryža

Žirmūnų sankryžoje kuriama viena šviesoforų valdymo programa (ciklo trukmė: 120 s) su 9 signalinėmis grupėmis:

- SG1, SG3, SG5 – tai grupės manevrams sankryžoje tiesiai ir į dešinę;
- SG2, SG4, SG6 ir SG9 – grupės manevrams į kairę (apsaugoti kairieji posūkiai);
- SG7 – grupė manevrui į dešinę (apsaugotas dešinysis posūkis);
- SG8 – grupė važiavimui tiesiai.

Sankryžos schema su pavaizduotomis signalinėmis grupėmis, šviesoforų valdymo programos darbo režimas, konfliktų matrica ir *intergreen* laikų matrica pateikiami priede nr. 7.

Šviesoforų valdymo programų darbo režimai, konfliktų ir *intergreen* laikų matricos sukurtos naudojant Microsoft Excel 2010 programinę įrangą. Intergreen laikai apskaičiuoti taikant apžvalginėje dalyje aprašytas skaičiavimo metodikas.

Sklandžiam Antakalnio ir Žirmūnų sankryžų sistemos darbui pritaikytas koordinavimo metodas. Nustačius atstumą tarp nagrinėjamų sankryžų, įvertinus leistiną greitį ir apskaičiavus laiko sąnaudas buvo pritaikytas *offset* išlyginamasis laikas. Žalioji banga nustatyta pagrindiniam ir didžiausiam srautui – važiuojant nuo Olandų g. per tiltą ir atliekant visus galimus manevrus (į kairę, tiesiai ir į dešinę) Žirmūnų sankryžoje.

3.3. Palyginimo kriterijų aprašymas

„PTV Vision“ programinio paketo VISUM ir VISIM programų pagalba sumodeliavus analizuojamą Antakalnio ir Žirmūnų sankryžų sistemą, buvo gauti modeliavimo rezultatai, kurie yra pateikiami 16 lentelėje. Modeliuotas realus scenarijus (su išmatuotomis 6258 transporto priemonių per valandą ir 1652 pėsčiųjų per valandą apkrovomis) ir trys variantai:

- žiedinių sankryžų sistema (esama būklė);
- Žirmūnų žiedinė sankryža su Antakalnio šviesoforais reguliuojama sankryža (1-oji koncepcija);
- Antakalnio ir Žirmūnų sankryžos reguliuojamos šviesoforais (2-oji koncepcija).

Modeliavimo variantai buvo lyginami pagal pagrindinius 9 kriterijus:

1. Eismo dalyvių skaičius likęs tinkle – eismo dalyvių skaičius, kurie liko sumodeliuotame gatvių tinkle pasibaigus 3600 s (1 valandai).
2. Eismo dalyvių skaičius išvykęs iš tinklo – eismo dalyvių skaičius, kurie išvažiavo iš sumodeliuoto gatvių tinklo pasibaigus 3600 s.
3. Bendra rida - visų eismo dalyvių nuvažiuotų atstumų suma, išreikšta kilometrais.
4. Bendra kelionių trukmė - visų eismo dalyvių važiavimo laiko suma, išreikšta valandomis.
5. Vidutinė kelionės trukmė - tai bendros kelionių trukmės ir eismo dalyvių skaičiaus išvykusiųjų iš tinklo santykis.
6. Vidutinis uždelsimas sankryžoje - tai vidutinis vieno eismo dalyvio laukimo laikas sankryžoje.
7. Vidutinis srauto greitis – visų eismo dalyvių vidutinis greitis (km./val.).
8. Vidutinis sustojimų skaičius – skaičius, nurodantis kiek vidutiniškai kartų vienam eismo dalyviui reikėjo sustoti.
9. Aptarnavimo lygis.

Miestų gatvių tinklo aptarnavimo kokybė grindžiama vidutiniu pravažiuojančių transporto priemonių keliavimo greičiu visame nagrinėjamame gatvių tinkle ar jo dalyje. Kelionės greitis – pagrindinis rodiklis įvertinantis gatvių tinklo efektyvumą. Vidutinis kelionės greitis matuojamas važiavimo greičio miesto gatvėmis ir sugaištu laiku ties reguliuojamomis ar nereguluojamomis sankryžomis. Sugaištas laikas sankryžoje, tai toks laiko tarpas kai transporto priemonė pilnai sustoja privažiavusi ir įvažiavusi į sankryžą bei priklauso nuo šviesoforo ciklo fazių trukmės, pirminio greičio sumažinimo (stabdymo), judėjimo eilėje, sustojimų skaičiaus ir pagreitinimo iki buvusio greičio.

16 lentelė. Modeliavimo variantų rezultatai

Modeliavimo variantai Gauti Rezultatai	Žiedinių sankryžų sistema	Žirmūnų žiedas + Antakalnio šviesoforai	Šviesoforais reguliuojamų sankryžų sistema
Automobilių skaičius likęs tinkle	961	696	677
Automobilių skaičius išvažiuojantis iš tinklo	5225	5021	4955
Bendra rida, km	5523,06	5137,105	4548,15
Bendra kelionių trukmė, val	814,05	600,70	489,04
Vidutinė kelionės trukmė, s	397,11	302,25	244,60
Vidutinis prastovų laikas sankryžų sistemoje, s	252,95	156,51	164,14
Vidutinis srauto greitis, km/val	5,56	8,55	11,35
Vidutinis sustojimų skaičius, vnt/aut.	11,39	7,46	4,76

Atliktas realios situacijos ir 3-rių modeliavimo variantų modeliavimas parodė, kad beveik visais aspektais naudingiausia yra šviesoforais reguliuojamų sankryžų sistema. Vidutinė kelionės trukmė yra mažiausia - 244,6 s, sankryžų sistemoje sustojama iki 5 kartų, o vidutinis srauto greitis net 11,35 km/val. Tik prastovų laikas (stovėjimo grūstyje arba prie draudžiamo šviesoforo signalo laikas) 8 sekundėmis trumpesnis antrame modeliavimo variante.

Esant realiems srautams blogiausiai eismas vyksta būtent šiuo metu įrengtoje žiedinių sankryžų sistemoje, vidutinė kelionės trukmė yra 1,6 karto didesnė už šviesoforais valdomos sistemos ir siekia beveik 7 minutes, kai įrengus šviesoforus užtektų 4 min. Srauto greitis taip pat yra mažiausias, uždelsimas ilgiausias ir sustoti tenka daugiau nei 11 kartų.

Aptarnavimo lygis šiuo atveju negali būti vertinamas, nes modeliuota žiedinių sankryžų sistema, o ne vienas transportinis mazgas.

IŠVADOS

Baigiamajame magistro darbe aptvertos svarbiausios žiedinių sankryžų projektavimo ir įrengimo nuostatos. Išnagrinėti įvairių sankryžų tipų laidumo ir efektyvumo rodikliai. Išnagrinėti žiedinių sankryžų laidumui įtakos turintys veiksniai: žiedų skersmuo, eismo juostų skaičius ir plotis, kaip įrengti įvažų ir išvažų susikirtimai su pėsčiaisiais bei dviratininkais. Išanalizavus Antakalnio ir Tirmūnų žiedinių sankryžų sistemą bei normatyvinius dokumentus nustatyta, kad penkios iš aštuonių pėsčiųjų perėjų (Olandų, Tirmūnų, Šeimyniškių gatvėse bei atkarpoje abipus tilto) turi būti reguliuojamos šviesoforais arba įrengtos skirtingose lygiuose.

Išanalizuota mokslinė ir reglamentuojanti literatūra. Nustatyta, kad Olandijoje, Danijoje ir Jungtinėje Karalystėje plačiai naudojamos moderniosios žiedinės sankryžos, tačiau jas geriausiai įrenginėti užmiestio teritorijose, kur nėra pėsčiųjų. Analizuojamoje teritorijoje gausu pėsčiųjų, riboti greičiai atkarpose, todėl šio modeliavimo varianto buvo atsisakyta iš karto. Užsienio patirtis rodo, kad B ir C kategorijų gatvėse, kur gausu pėsčiųjų efektyviausia įrenginėti ne žiedines, o keturšales šviesoforais reguliuojamas sankryžas. Pagrindinės priežastys: sumažinamas transporto ir pėsčiųjų darbas (eismo dalyviams reikia įveikti trumpesnius atstumus), užtikrinamas didesnis saugumas (paskutinių kelių metų duomenimis Antakalnio žiedinė sankryža yra viena avaringiausių), sumažinamas prastovų laikas, nes tinkamai įrengtos šviesoforais reguliuojamos sankryžos yra laidesnės. Be to žiedinių sankryžų įrengimui būtinas didesnis plotas, o nagrinėjama žiedinių sankryžų sistema yra centrinėje sostinės dalyje, kur žemės kaina yra brangi.

Atlikti natūriniai tyrimai Antakalnio ir Tirmūnų žiedinių sankryžų sistemoje. Ištirta, kad žiedinių sankryžų sistemos apkrovos yra tokios: 5 875 transporto priemonės/val. rytinio piko metu ir 6 258 tr. priemonės/val. - vakarinio piko metu. Kadangi vakarinis pikas yra beveik 7 % intensyvesnis, todėl modeliuoti nuspręsta būtent šį scenarijų.

Panaudojant transporto srautų modeliavimo programinę įrangą sukurti trys skirtingi sistemos modeliai:

1. Antakalnio ir Tirmūnų žiedinių sankryžų sistema (esamos situacijos conceptualus modelis);
2. Sistema, susidedanti iš Tirmūnų žiedinės sankryžos ir Antakalnio šviesoforais reguliuojamos sankryžos (1-oji koncepcija);
3. Antakalnio ir Tirmūnų sankryžos reguliuojamos šviesoforais (2-oji koncepcija).

Atlikus modeliavimo rezultatų analizę nustatyta, kad efektyviausias variantas yra trečias - Antakalnio ir Tirmūnų sankryžos reguliuojamos šviesoforais. Šis modelis geriausias vidutinės kelionės trukmės atžvilgiu, nes sankryžų sistemoje sugaištama 244,6 s, (kai tuo tarpu pirmame modeliavimo variante 397 s, o antrame – 302 s), taip pat sankryžų sistemoje sustojama iki 5 kartų, o vidutinis srauto greitis net 11,35 km/val.

Darbe pritaikytas naudos ir kaštų analizės metodas. Vertinime buvo atliekamas esamos situacijos palyginimas su siūloma sankryžų sistemos rekonstrukcija. Atlikus ekonominę šviesoforais reguliuojamų sankryžų sistemos vertinimą apskaičiuota, kad:

- DKV (dabartinė kaštų vertė) = 704 876 Eurai
- DNV (dabartinė naudos vertė) = 854 267 Eurai
- GDV (grynoji dabartinė vertė) = 149 391 Eurais
- N/K (naudos ir kaštų santykis) = 1,21
- VGN (vidinė grąžos norma) = 14,67%

Nustatyta, kad projektas atsipirks po 8 metų nuo įgyvendinimo pradžios. Siekiant kuo greičiau sumažinti eismo problemas išanalizuotose transportiniuose mazguose, reiktų imtis priemonių Antakalnio ir Tirmūnų sankryžų sistemos rekonstrukcijai.

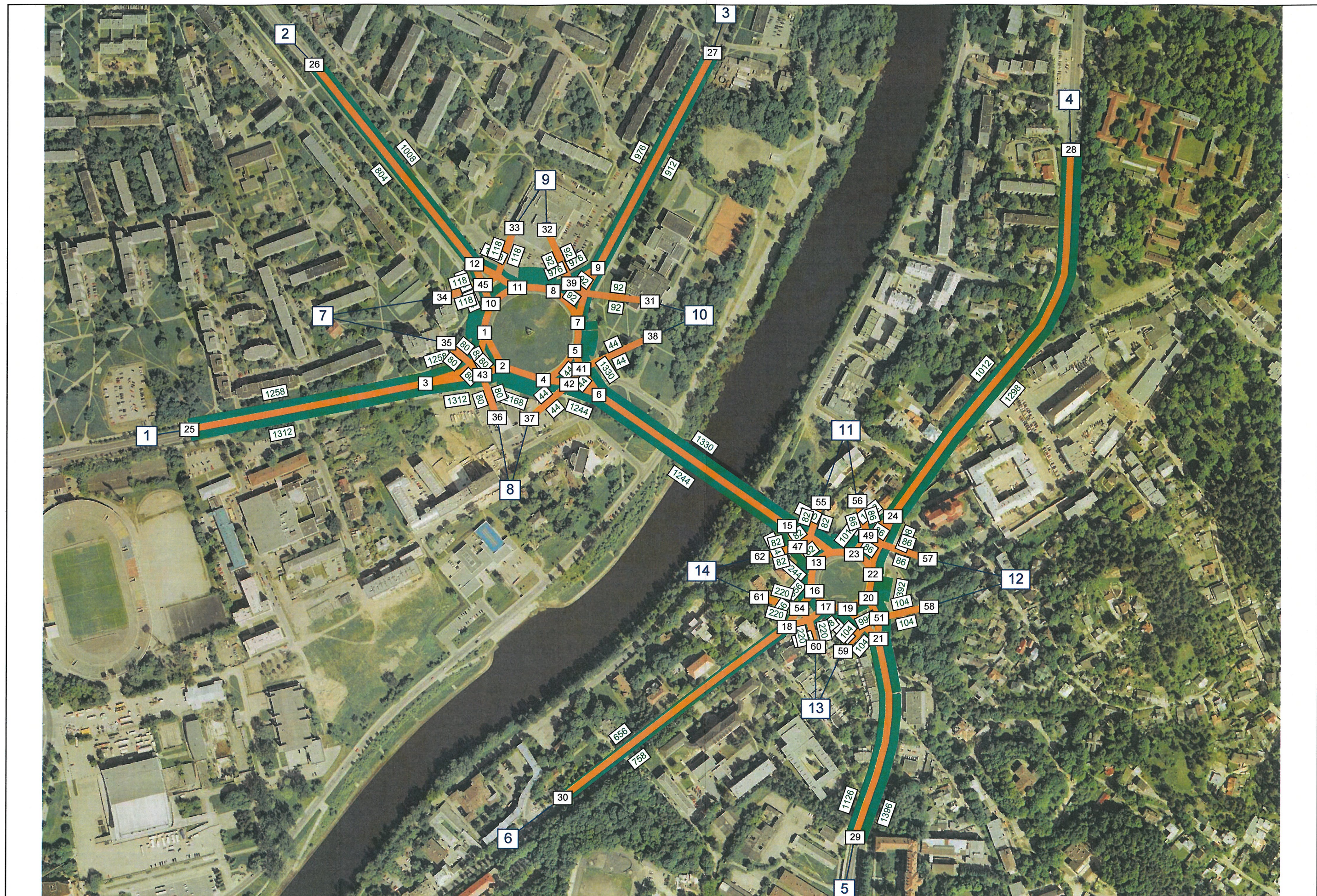
NAUDOTA LITERATŪRA

1. Alexandre, D. and C. Bastien, 2003. Parallel simulation of traffic in Geneva using cellular automata. <http://www.spiess.ch/emme2/>.
2. Beljatynskij, A.; Kuzhel, N.; Prentkovskis, O.; Bakulich, O.; Klimenko, I. 2009. The criteria describing the need for highway reconstruction based on the theory of traffic flows and repay time, *Transport* 24(4): 308-317. doi: 10.3846/1648-4142.2009.24.308-317.
3. Brilon, W. Experience with Turbo Roundabouts in Germany. 2008.
4. Čibirka A. „Žiedinių sankryžų projektavimas. Eksploatacijos problemos Lietuvoje“. Mokslinė konferencija „Žiedinių sankryžų projektavimas ir eksploatavimas“, 2010.
5. Forschungsgesellschaft für Straßen – und Verkehrswesen. HBS Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Ausgabe 2001, Fassung 2005.
6. Fortujin, B. Pedestrian an Bicycle Friendly Roundabouts. 2006.
7. Grabys, J.; Usovaitė, A.; Gaspariūnas, J. 2011. Environmental pollutants emission from public transport assessment and analysis in Vilnius city, in The 8th International Conference “Environmental Engineering”: Selected papers. Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner, May 19–20, 2011 Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 893–897.
8. Grigonis, V. 2011. Miestų transporto srautų modeliavimas: namų darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika. 64 p.
9. Highway Capacity Manual 2004. Transportation Research Board. Washington DC. 2004. 640 p.
10. Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board. Washington DC. 2010.
11. Inžinerinių saugaus eismo priemonių projektavimo ir naudojimo rekomendacijos - http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.dok_priedas?p_id=40316 (2014-01-22)
12. Johnson, M., Dot, W. 2005. Modern Roundabouts Intersections: When To Use Them.
13. Junevičius, R. 2011. Transporto srautų modeliavimas sutelktųjų parametrų metodu gatvių tinkle: daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 126 p.
14. Juškevičius, P. 2003. Miestų planavimas. Vilnius: Technika. 142 p.
15. Kakooza, R., Luboobi L.S. and Mugisha J.Y.T. P.O. Box 7062, Kampala, Uganda *Journal of Mathematics and Statistics* 1 (3): 194-202, 2005
16. Kelių eismo taisyklės, Teisės aktų registras, 2014-10-10 redakcija, Nr. 2014-13954 http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=484529&p_query=keli%F8%20eis%20taisykli%F8&p_tr2=2
17. Klibavičius, A. 2008. Simulation of capacity of roundabouts applying principles of sustainable urban development, in The 7th International Conference “Environmental engineering”: Selected papers, Vol. 3. Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner, May 22–23, 2008 Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 975–980.
18. KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“ - http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.dok_priedas?p_id=55419 (2013-12-20)

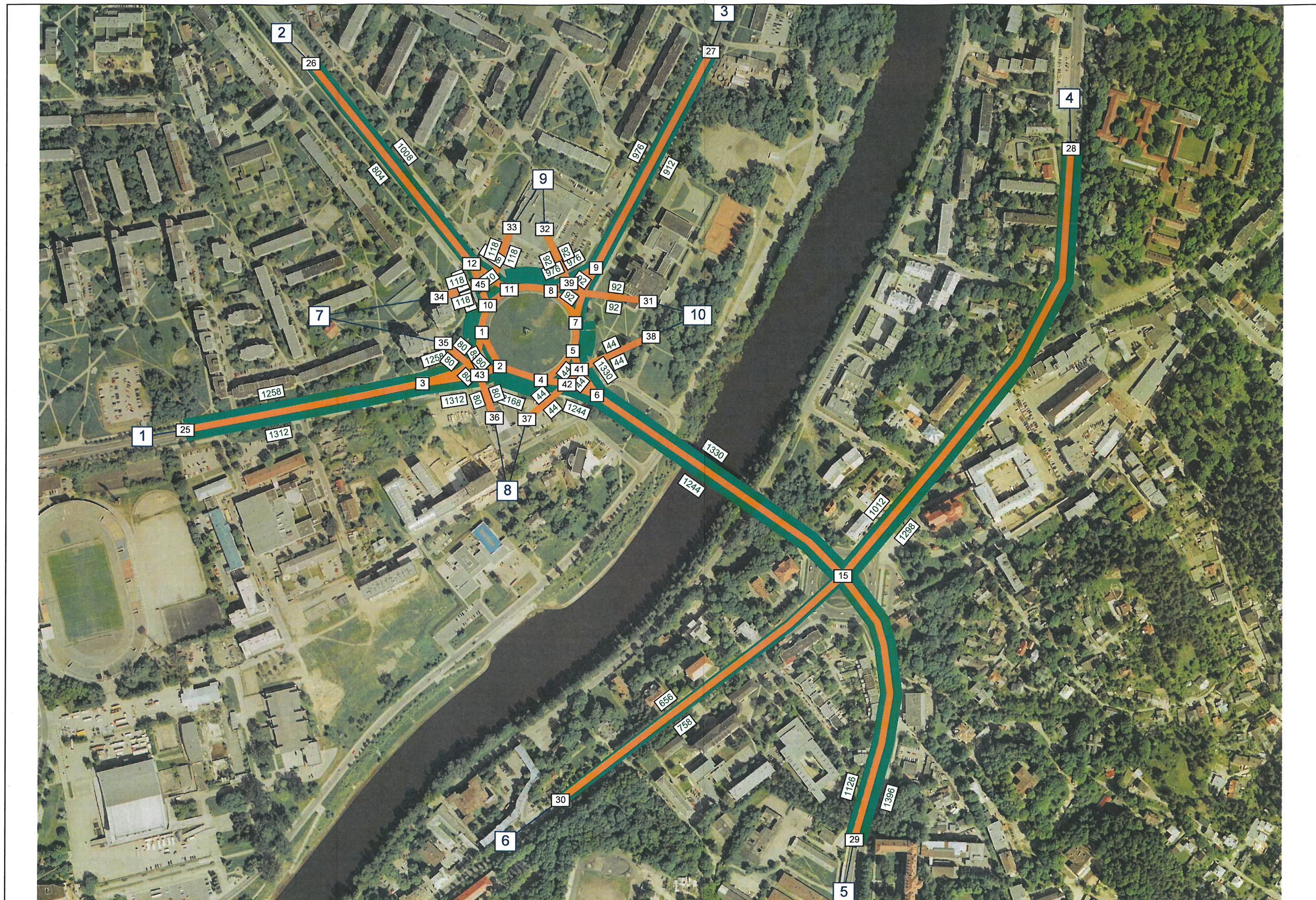
19. Lietuvos Statistikos Departamentas,
<http://db1.stat.gov.lt/statbank/selectvarval/saveelections.asp?MainTable=M7030322&PLanguage=0&TableStyle=&Buttons=&PXSIId=3748&IQY=&TC=&ST=ST&rvar0=&rvar1=&rvar2=&rvar3=&rvar4=&rvar5=&rvar6=&rvar7=&rvar8=&rvar9=&rvar10=&rvar11=&rvar12=&rvar13=&rvar14> [2014-04-02]
20. MN ŽSP 12 „Žiedinių sankryžų projektavimo metodiniai nurodymai“ - http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=313209&p_query=&p_tr2= (2013-12-20)
21. Modern Roundabouts 101, Kentucky Transportation Cabinet.
22. MVA Consultancy. (2006). Flow, Speed and Capacity.
23. Rodergerdts, L. (2011). Operation Analysis of Roundabouts.
24. Royal Haskoning.Roundabouts-Application and design A practical manual. Ministry of Transport, Public works and Water management. Partners of roads,Netherland2009.
11. Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų.
25. SIEMENS, *Traffic engineering Manual, 1991*
26. Skrodenis, E.; Vingrys, S.; Pashkevich, M. 2011. Lithuanian Experience of Implementation of Roundabouts: the Research of Accidents, Operation and Efficiency, in The 8th International Conference “Environmental Engineering”: Selected papers. Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner, May 19–20, 2011 Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 980–985.
27. STR 2.06.01:1999. Miestų, miestelių ir kaimų susisiekimo sistemos (Aktuali redakcija). Vilnius, 2007. 48 p.
28. Swedish National Road Administration, *Specification for traffic signals, 1991*
29. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Roundabouts: an Informational Guide. Publication no. FHWA-RD-00-067 - http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_672.pdf (2014-01-20)
30. www.google.com/maps
31. Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Peldschus, F.; Turskis, Z. 2007. Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 2(4): 195–203.
32. Žiedinės sankryžos eismo saugai - <http://www.cargonews.lt/autotransportas/ziedines-sankryzos-eismo-saugai/?hash> (2014-12-21)

PRIEDAI

- 1 priedas.** Transporto ir pėsčiųjų srautų kartograma (esama būklė)
- 2 priedas.** Transporto ir pėsčiųjų srautų kartograma (1-oji koncepcija)
- 3 priedas.** Transporto ir pėsčiųjų srautų kartograma (2-oji koncepcija)
- 4 priedas.** Esamos būklės konceptualus modelis
- 5 priedas.** Antrojo modeliavimo varianto modelis
- 6 priedas.** Antakalnio sankryžos eismo organizavimas
- 7 priedas.** Žirmūnų sankryžos eismo organizavimas
- 8 priedas.** Laiko ir pinigų ekonomijos skaičiavimas po šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimo
- 9 priedas.** Naudos ir kaštų analizės suvestinė
- 10 priedas.** *Intergreen* laiko skaičiavimas



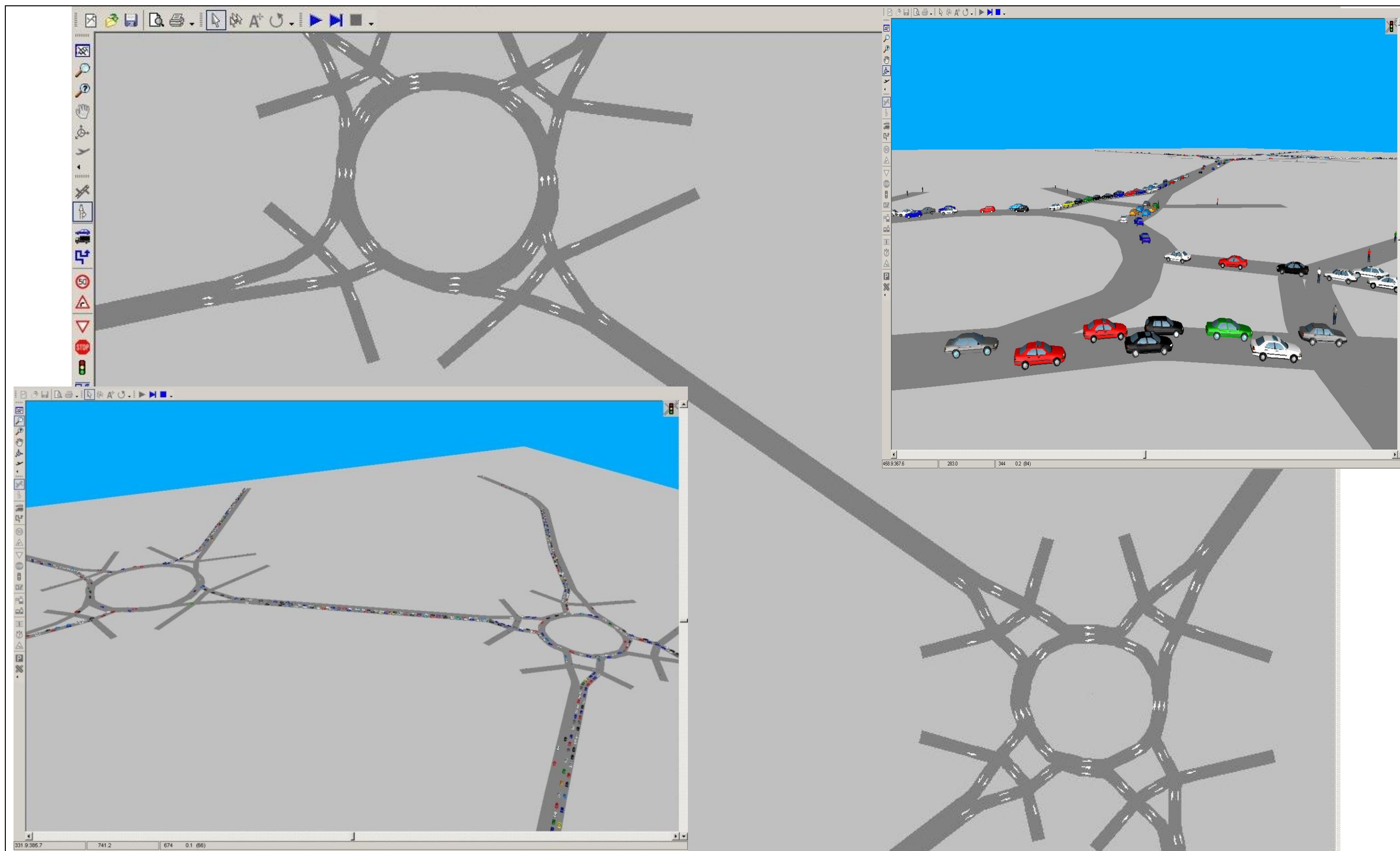
VISUM 9.43 PTV AG	MTSmf-13 gr. stud. Robert Markovski	1 Priedas. Transporto ir pėsčiųjų srautų kartograma (esama bukė)
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Darbo vadovas: doc. dr. Vytautas Grigonis	Mastelis 1:4000



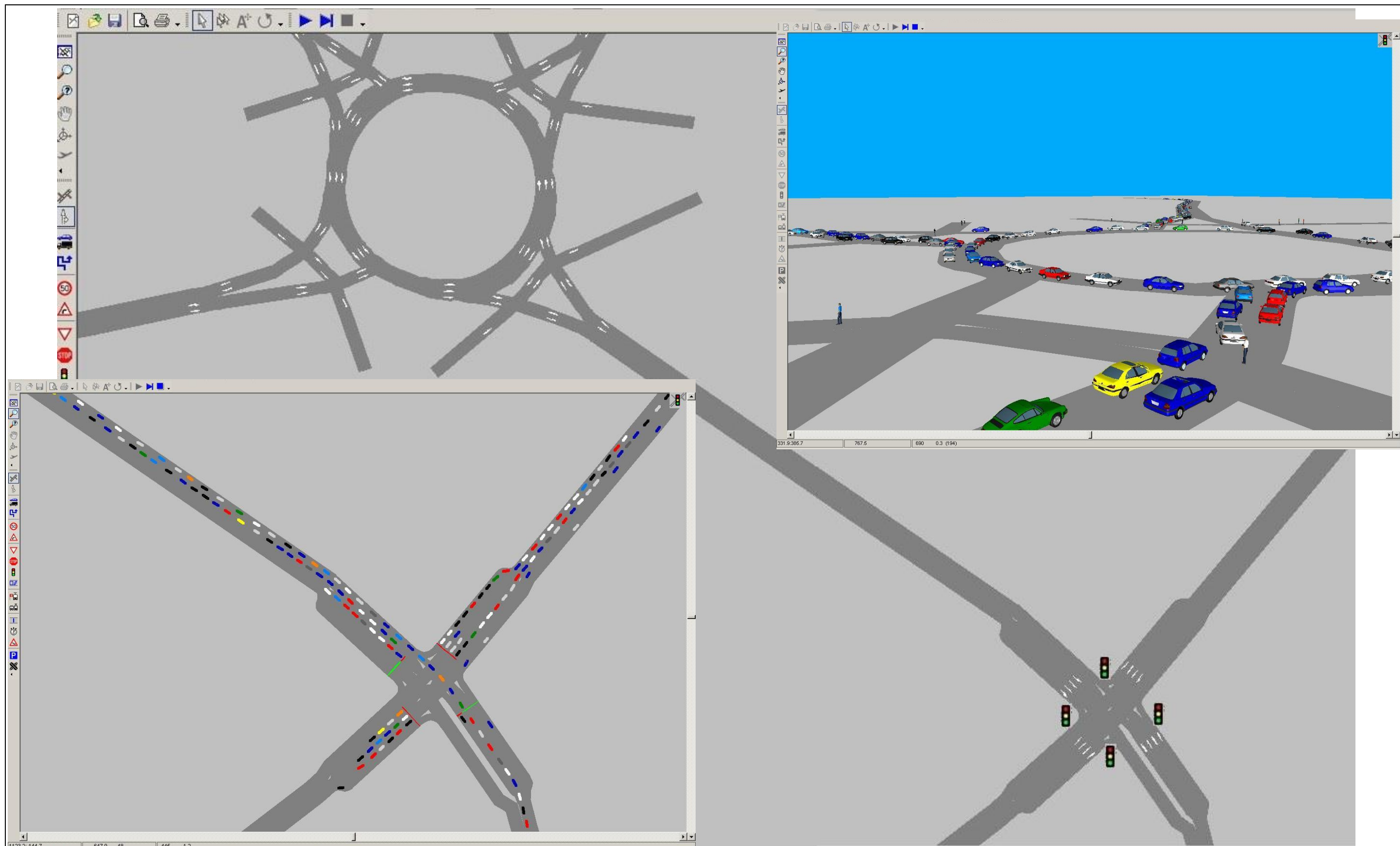
VISUM 9.43 PTV AG	MTSmf-13 gr. stud. Robert Markovski	2 Priedas. Transporto ir pėsčiųjų srautų kartograma (1-oji koncepcija)
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Darbo vadovas: doc. dr. Vytautas Grigonis	Mastelis 1:4000



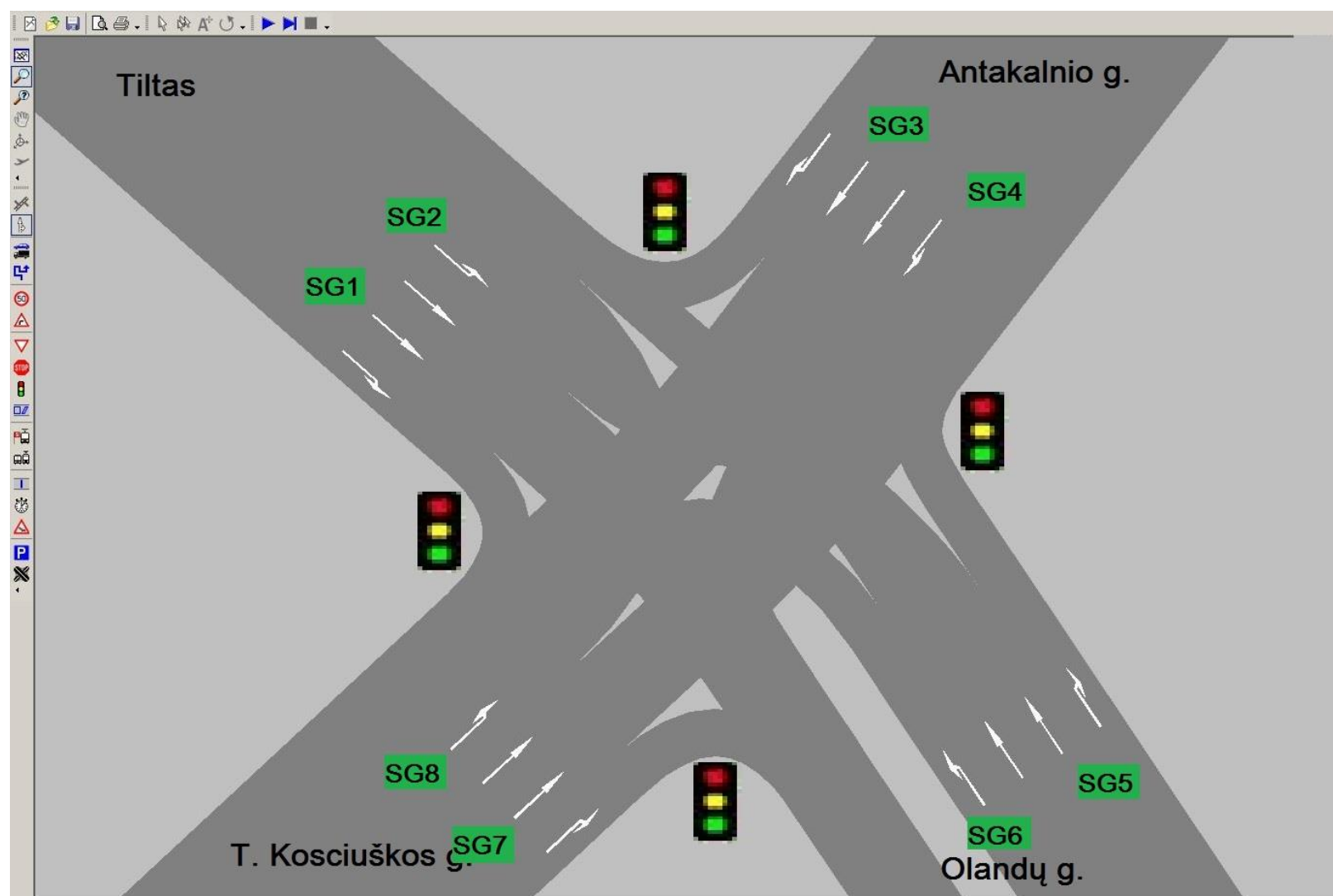
VISUM 9.43 PTV AG	MTSmf-13 gr. stud. Robert Markovski	3 Priedas. Transporto srautų kartograma (2-oji koncepcija)
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Darbo vadovas: doc. dr. Vytautas Grigonis	Mastelis 1:4000



VISSIM 4.10 PTV AG	MTSmf-13 gr. stud. Robert Markovski	4 Priedas. Esamos būklės konceptualus modelis
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Darbo vadovas: doc. dr. Vytautas Grigonis	2015 m. gegužės 25 d.



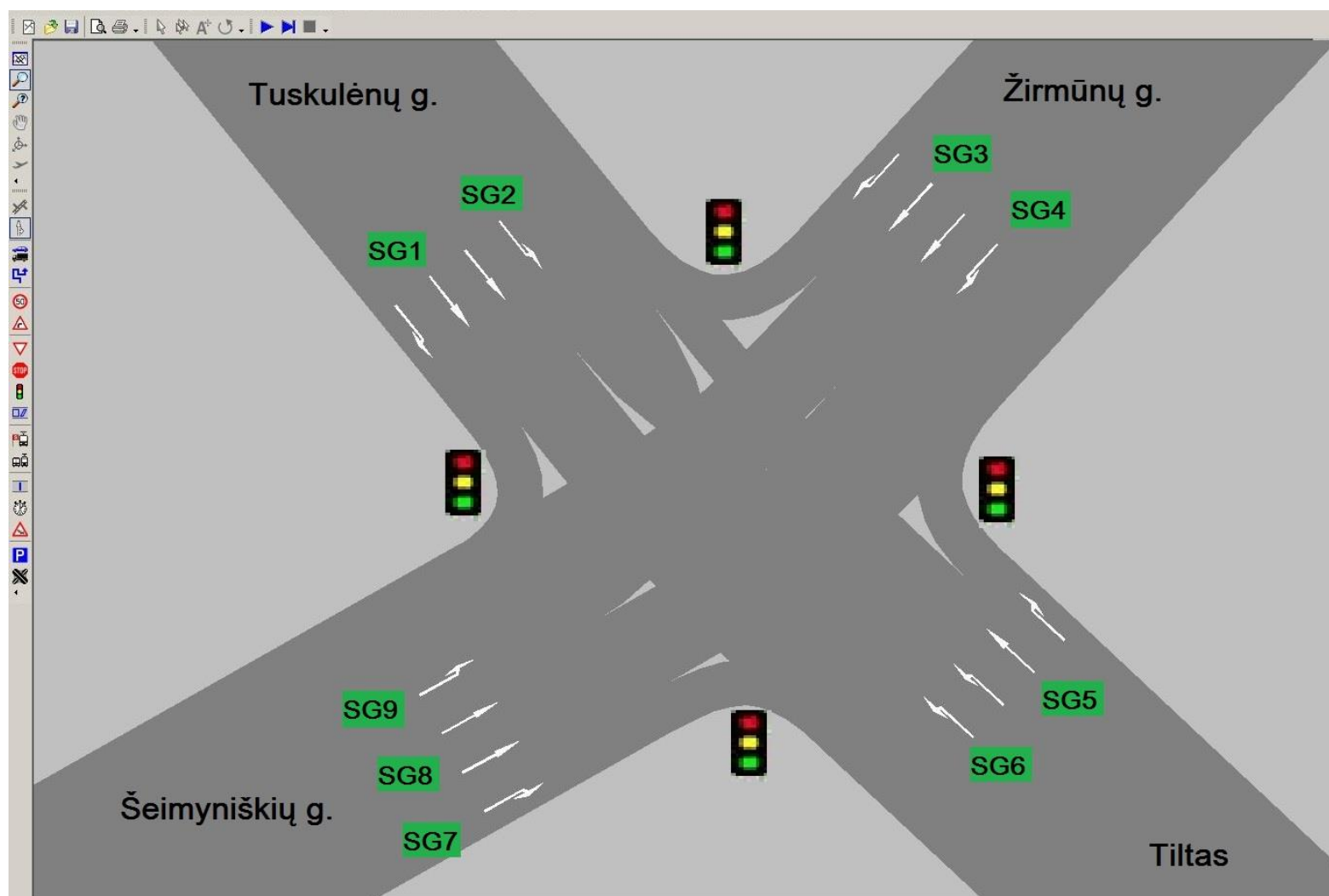
VISSIM 4.10 PTV AG	MTSmf-13 gr. stud. Robert Markovski	5 Priedas. Antrasis modeliavimo variantas (1-oji koncepcija)
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Darbo vadovas: doc. dr. Vytautas Grigonis	2015 m. gegužės 25 d.



Konfliktų matrica	SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7	SG8
SG1								
SG2								
SG3								
SG4								
SG5								
SG6								
SG7								
SG8								

Intergreen laikų matrica	SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7	SG8
SG1			5	6		6	5	6
SG2			6	6	6		6	6
SG3	5	6				6		6
SG4	6	6			6	6	6	
SG5		6	5	6			5	6
SG6	6		6	6			6	6
SG7	5	6		6	5	6		
SG8	6	6	6		6	6		





Konfliktų matrica	SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7	SG8	SG9
SG1									
SG2									
SG3									
SG4									
SG5									
SG6									
SG7									
SG8									
SG9									

Intergreen laikų matrica	SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7	SG8	SG9
SG1			5	6		6	6	5	6
SG2			6	6	6			6	6
SG3	5	6			5	6			6
SG4	6	6			6	6	6	6	
SG5		5	5	6				5	6
SG6	6		6	6				6	6
SG7	6			6					
SG8	5	6		6	5	6			
SG9	6	6	6		6	6			



Priedas nr. 8. Laiko ir pinigų ekonomijos skaičiavimas po šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimo

Laiko ir pinigų ekonomijos skaičiavimas po šviesoforais reguliuojamų sankryžų įrengimo												
Metai		Lengvieji			Viešasis transportas			Kroviniai			Iš viso, Val.	Iš viso, Eur.
		VMPEI	Val.	Eurai	VMPEI	Val.	Eurai	VMPEI	Val.	Eurai		
1	2014	91075,83	3870,72	32127,00	2937,93	124,86	1065,07	3917,24	166,48	14985,11	4162,07	48177,18
2	2015	92897,35	3948,14	32769,54	2996,69	127,36	1086,37	4034,76	171,48	15434,66	4246,97	49290,57
3	2016	94755,29	4027,10	33424,93	3056,62	129,91	1108,10	4155,80	176,62	15897,70	4333,63	50430,73
4	2017	96650,40	4107,64	34093,43	3117,75	132,50	1130,26	4280,47	181,92	16374,63	4422,07	51598,32
5	2018	98583,41	4189,79	34775,30	3180,11	135,15	1152,87	4408,89	187,38	16865,87	4512,33	52794,04
6	2019	100555,08	4273,59	35470,80	3243,71	137,86	1175,93	4541,15	193,00	17371,85	4604,45	54018,58
7	2020	102566,18	4359,06	36180,22	3308,59	140,61	1199,45	4677,39	198,79	17893,00	4698,47	55272,67
8	2021	104617,50	4446,24	36903,82	3374,76	143,43	1223,43	4817,71	204,75	18429,79	4794,42	56557,05
9	2022	106709,85	4535,17	37641,90	3442,25	146,30	1247,90	4962,24	210,90	18982,69	4892,36	57872,49
10	2023	108844,05	4625,87	38394,74	3511,10	149,22	1272,86	5111,11	217,22	19552,17	4992,32	59219,77
11	2024	112109,37	4764,65	39546,58	3616,43	153,70	1311,05	5315,55	225,91	20334,25	5144,26	61191,88
12	2025	115472,65	4907,59	40732,98	3724,92	158,31	1350,38	5528,18	234,95	21147,62	5300,84	63230,98
13	2026	118936,83	5054,82	41954,97	3836,67	163,06	1390,89	5749,30	244,35	21993,53	5462,22	65339,38
14	2027	122504,93	5206,46	43213,62	3951,77	167,95	1432,62	5979,28	254,12	22873,27	5628,53	67519,50
15	2028	126180,08	5362,65	44510,02	4070,33	172,99	1475,59	6218,45	264,28	23788,20	5799,93	69773,82
16	2029	129965,49	5523,53	45845,32	4192,44	178,18	1519,86	6467,18	274,86	24739,73	5976,57	72104,92
17	2030	133864,45	5689,24	47220,68	4318,21	183,52	1565,46	6725,87	285,85	25729,32	6158,61	74515,46
18	2031	137880,38	5859,92	48637,31	4447,75	189,03	1612,42	6994,91	297,28	26758,49	6346,23	77008,22
19	2032	142016,79	6035,71	50096,42	4581,19	194,70	1660,79	7274,70	309,17	27828,83	6539,59	79586,05
20	2033	146277,30	6216,79	51599,32	4718,62	200,54	1710,62	7565,69	321,54	28941,98	6738,87	82251,92
21	2034	150665,62	6403,29	53147,30	4860,18	206,56	1761,94	7868,32	334,40	30099,66	6944,25	85008,90
IŠ VISO:											111698,97	1332762,42

Priedas nr. 9. Naudos ir kaštų suvestinė

KAŠTAI Eur.						NAUDA Eur.				Diskonto faktorius						
Investiciniai kaštai, Eur.		Eksplloataciniai kaštai įrengiant šviesoforinį reguliavimą	Autoavariju nuostolių padidėjimas	Iš viso		Eksplloataciniai kaštai nerekonstruojant sankryžų	Laiko vertės nuostolių ekonimija	Iš viso				Metai	Nauda	Išlaidos	Nauda- Nuostolis	Atsipirkimo metai
Turima dalis	Paskola			Nediskontuota	Diskontuota			Nediskontuota	Diskontuota			2014	59777,00	21.460,24	38.316,76	
96000,00	21460,24	0,00	-	21460,24	21460,24	11600,00	48177	59777,00	59777,00	1,000		2015	57.182,33	66.576,26	-9.393,93	1
144000,00	21460,24	7402,50	42706,74	71569,48	66576,26	12180,00	49291	61471,00	57182,33	0,930		2016	54.706,33	62.251,69	-7.545,36	2
-	21460,24	7772,63	42706,74	71939,61	62251,69	12789,00	50431	63220,00	54706,33	0,865		2017	52.343,73	58.221,38	-5.877,65	3
-	21460,24	8161,26	42706,74	72328,24	58221,38	13428,45	51598	65026,45	52343,73	0,805		2018	50.090,17	54.464,98	-4.374,81	4
-	21460,24	8569,32	42706,74	72736,30	54464,98	14099,87	52794	66893,87	50090,17	0,749		2019	47.939,86	50.963,55	-3.023,69	5
-	21460,24	8997,79	42706,74	73164,77	50963,55	14804,87	54019	68823,87	47939,86	0,697		2020	45.887,41	47.699,46	-1.812,05	6
-	21460,24	9447,67	42706,74	73614,65	47699,46	15545,11	55273	70818,11	45887,41	0,648		2021	43.928,39	44.656,33	-727,93	7
-	21460,24	9920,06	42706,74	74087,04	44656,33	16322,36	56557	72879,36	43928,39	0,603		2022	42.058,55	41.818,88	239,67	8
-	21460,24	10416,06	42706,74	74583,04	41818,88	17138,48	57872	75010,48	42058,55	0,561		2023	40.274,28	39.172,92	1.101,36	9
-	21460,24	10936,86	42706,74	75103,84	39172,92	17995,41	59220	77215,41	40274,28	0,522		2024	38.857,81	26.292,88	12.564,94	10
-	-	11483,71	42706,74	54190,45	26292,88	18895,18	61192	80087,18	38857,81	0,485		2025	37.493,50	24.717,64	12.775,86	11
-	-	12057,89	42706,74	54764,63	24717,64	19839,94	63231	83070,94	37493,50	0,451		2026	36.179,22	23.246,28	12.932,94	12
-	-	12660,79	42706,74	55367,53	23246,28	20831,93	65339	86170,93	36179,22	0,420		2027	34.913,71	21.871,69	13.042,02	13
-	-	13293,83	42706,74	56000,57	21871,69	21873,53	67520	89393,53	34913,71	0,391		2028	33.694,13	20.587,25	13.106,88	14
-	-	13958,52	42706,74	56665,26	20587,25	22967,21	69774	92741,21	33694,13	0,363		2029	32.519,28	19.386,81	13.132,48	15
-	-	14656,44	42706,74	57363,18	19386,81	24115,57	72105	96220,57	32519,28	0,338		2030	31.387,25	18.264,63	13.122,62	16
-	-	15389,27	42706,74	58096,01	18264,63	25321,35	74515	99836,35	31387,25	0,314		2031	30.296,79	17.215,38	13.081,41	17
-	-	16158,73	42706,74	58865,47	17215,38	26587,41	77008	103595,41	30296,79	0,292		2032	29.246,06	16.234,11	13.011,95	18
-	-	16966,67	42706,74	59673,41	16234,11	27916,78	79586	107502,78	29246,06	0,272		2033	28.233,56	15.316,18	12.917,38	19
-	-	17815,00	42706,74	60521,74	15316,18	29312,62	82252	111564,62	28233,56	0,253		2034	27.257,84	14.457,31	12.800,53	20
-	-	18705,75	42706,74	61412,49	14457,31	30778,25	85009	115787,25	27257,84	0,235						
240000,00	214602,40	244770,73	854134,80	1313507,93	704875,85	414343,32	1332763,00	1747106,32	854267,20							

10 priedas. „Intergreen“ laiko skaičiavimas

10.1 Pagal Vokietijos RiLSA standartą

„Intergreen - the time interval between respectively the end and the beginning of the green times of two traffic streams which move over the same conflict area...“ (SIEMENS, Traffic engineering Manual, 1991)

Išvažiuojančio automobilio/jvažiuojančio automobilio

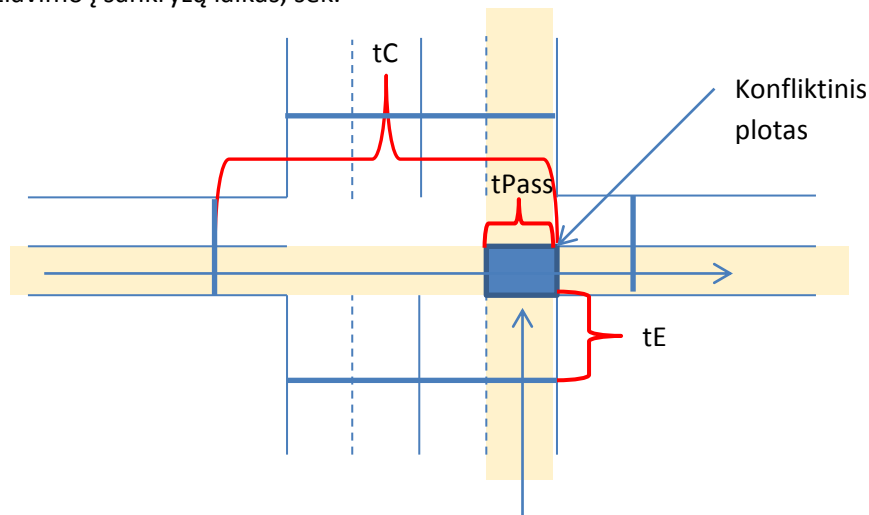
Pagal vokiečių standartą RiLSA „Intergreen“ laikas yra skaičiuojamas pagal formulę:

$$IT = t_C + t_{Pass} - t_E$$

Kur: t_C – išsivalymo (išvažiavimo) iš sankryžos laikas, sek.

t_{Pass} – konflikcinio ploto kirtimo laikas, sek.

t_E – įvažiavimo į sankryžą laikas, sek.



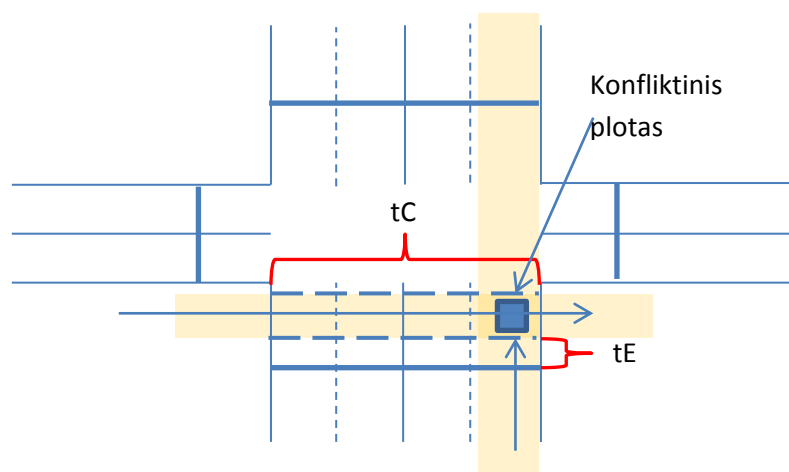
Išeinančio pėsčiojo/jvažiuojančio automobilio

$$IT = t_C + t_{Pass} - t_E$$

Kur: t_C – išsivalymo (išėjimo) iš sankryžos laikas, sek.

t_{Pass} – konflikcinio ploto kirtimo laikas, sek. Skaičiuojant „Intergreen“ laiką kai pėsčiasis išeina o automobilis įvažiuoja $t_{Pass} = 0$ sek.

t_E – įvažiavimo į sankryžą laikas, sek.



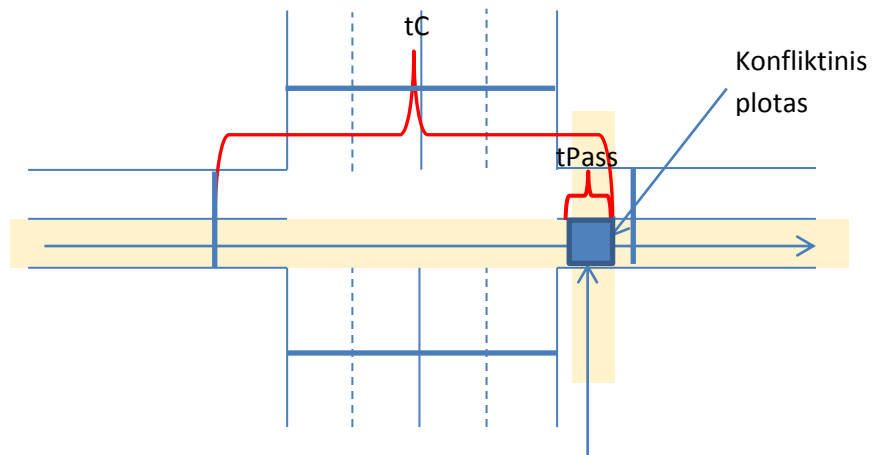
Išvažiuojančio automobilio/jeinančio pėsčiojo

$$IT = tC + tPass - tE$$

Kur: tC – išsivalymo (išvažiavimo) iš sankryžos laikas, sek.

$tPass$ – konfliktinio ploto kirtimo laikas, sek.

tE – įėjimo į sankryžą laikas, sek. Skaičiuojant „Intergreen“ laiką kai automobilis išvažiuoja o pėsčiasis įeina $tE = 0$ sek.



10.2 „Intergreen“ laiko skaičiavimas pagal Švedijos *Specification for traffic signals* standartą

„Intergreen period is the time required due to safety considerations for a road user to leave the conflict area before an approaching road user reaches it“.

„Intergreen period for the pedestrian is the time which allows him to pass the longest „subpart of the crossing“ covered by the signal“ (Swedish National Road Administration, *Specification for traffic signals*, 1991)

Išvažiuojančio automobilio/įvažiuojančio automobilio

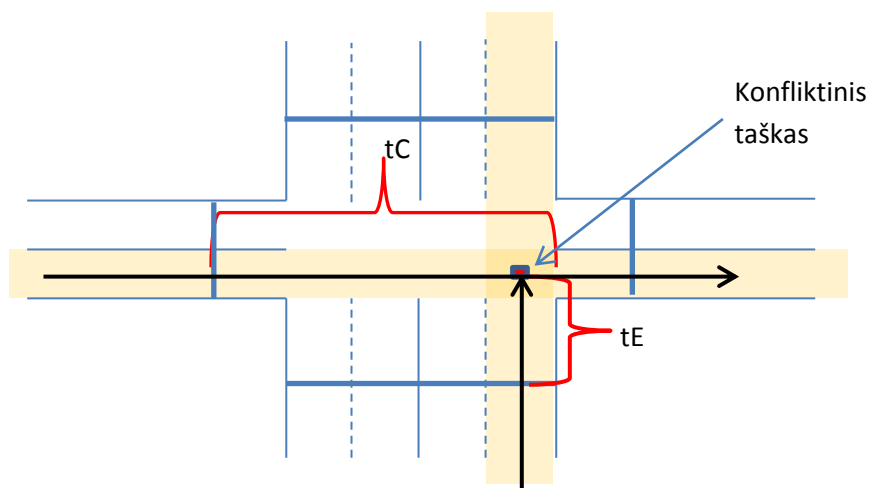
Pagal švedų standartą *Specification for traffic signals* „Intergreen“ laikas yra skaičiuojamas pagal formulę:

$$IT = t_C - t_E - \text{red/yellow time}$$

Kur: t_C – išsivalymo (išvažiavimo) iš sankryžos laikas, sek.

t_E – įvažiavimo į sankryžą laikas, sek.

red/yellow time – raudono geltono laikas 1 s.



Išeinančio pėsčiojo/jvažiuojančio automobilio

$$IT = tC - tE - \text{red/yellow time}$$

Kur: tC – išsivalymo (išėjimo) iš sankryžos laikas, sek.

tE – įvažiavimo į sankryžą laikas, sek.

red/yellow time – raudono geltono laikas 1 sek.

