



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Transporto srautų trišalėje sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas

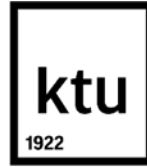
Rasvydas Derenčius

Projekto autorius

Lekt. Dr. Janina Jablonskytė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Transporto srautų trišalėje sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Rasvydas Derenčius
Projekto autorius

Lekt. Dr. Janina Jablonskytė
Vadovė

Prof. Dr. Artūras Keršys
Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Rasvydas Derenčius

Transporto srautų trišalėje sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Rasvydo Derenčiaus, baigiamasis projektas tema „Transporto srautų trišalėje sankryžoje tyrimas ir modeliavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studentui(-ei) *Rasvydas Derenčius*

1. Baigiamojo projekto tema:

Transporto srautų trišalėje sankryžoje tyrimas ir modeliavimas.

Research and modeling of traffic flows at a triangular intersection.

2. Projekto tikslas:

Ištirti transporto tinklo dalies laidumą ir pateikti sprendinius, kurie pagerintų susisiekimo infrastruktūros našumą tiriamame objekte.

3. Projekto uždaviniai:

1. Išanalizuoti transportines sankryžas, atliekant literatūros apžvalgą, ir pateikti efektyvius sankryžų valdymo principus;
2. Nustatyti eismo srautų pasiskirstymus PC „Molas“- Baršausko g., Breslaujos g. – Baršausko g. trišalėse sankryžose ir įvertinti eismo parametrus nagrinėjamų sankryžų atžvilgiu;
3. Atlikti trišalės sankryžos modeliavimo scenarijus, naudojant „Vissim“ programinę įrangą, iširti ir pateikti galimus sprendinius.

4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

1. *Teorinė dalis*
2. *Eismo srautų tyrimo metodika*
3. *Eismo srautų modeliavimas*
4. *Literatūra.*

5. Projekto konsultantai:

Baigiamojo projekto autorius

Rasvydas Derenčius

(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)

Baigiamojo projekto vadovas

Lekt. Dr. Janina Jablonskytė

(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programų vadovas

prof. Artūras Keršys

(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)

Derenčius Rasvydas. Transporto srautų trišalėje sankryžoje tyrimas ir modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas. Vadovė Lekt. Dr. Janina Jablonskytė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Baršausko g. sankryža, trišalė sankryža, modeliavimas, eismo srautas, Breslaujos g. sankryža, sankryžos koregavimas.

Kaunas, 2020. 64 p.

Santrauka

Magistro baigiamojo projekto tikslas - ištirti transporto tinklo dalies laidumą ir pateikti sprendinius, kurie pagerintų susisiekimo infrastruktūros našumą tiriamame objekte. Tyrimui pasirinktas sankryžų tinklas, esantis Baršausko g. Jis apima Breslaujos g. – Baršausko g. sankryžą bei PC „Molas“ sankryžą minėtoje Baršausko g. Pagrindiniai tyrimo uždaviniai išanalizuoti transportines sankryžas, atliekant literatūros apžvalgą, ir pateikti efektyvius sankryžų valdymo principus. Taip pat atlikus trišalės sankryžos modeliavimo scenarijus, naudojant „Vissim“ programinę įrangą, ištirti ir pateikti galimus sprendinius. Taip bus galima nustatyti eismo srautų pasiskirstymus nagrinėjamo tinklo sankryžų atžvilgiu.

Matavimų metu surinkti duomenys susistemunami, parengiamas transporto tinklo modelis. Gauti transporto srautai ir šviesoforų ciklų laikai, naudojami modeliavimui PTV VISSIM programinėje įrangoje. Eismo tinklui pagerinti pakoreguojamas vienas iš kairiųjų posūkių, pakeičiami sankryžų šviesoforų valdymo ciklai. Gauti rezultatai statistiškai apdorojami, norint išsiaiškinti ar jie yra reikšmingi atliktose sankryžų tinklo korekcijose. Pagal gautus rezultatus, gaunamas reikšmingiausias scenarijus koreguotame sankryžų tinkle.

Derenčius Rasvydas. Research and modeling of traffic flows at a triangular intersection. Master's Final Degree Project. Supervisor Lect. Dr. Janina Jablonskytė; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: Baršausko street., triangular intersection, traffic modelling, traffic flow, Breslaujos sreet., reconstruction of the intersection.

Kaunas, 2020. 64 p.

Summary

The aim of the master's final project is to study the conductivity of a part of the transport network and to provide solutions that would improve the performance of the transport infrastructure at the research object. The network of intersections located in Baršausko str. It includes Breslaujos st. - Baršausko st. intersection and the intersection of PC Molas in the above-mentioned Baršausko str. The main objectives of the study are to analyze transport intersections by reviewing the literature and to present effective principles of intersection management. Also, after performing a tripartite intersection modeling scenario, use Vissim software to explore and present possible solutions. This will make it possible to determine the distribution of traffic flows at the junctions of the network in question.

The data collected during the measurements are systematized, a transport network model is prepared. Obtained traffic flows and traffic light cycle times used for modeling in PTV VISSIM software. To improve the traffic network, one of the left turns is adjusted, the control cycles of intersection traffic lights are changed. The obtained results are statistically processed to find out whether they are significant in the corrections made at the intersection network. Based on the obtained results, the most significant scenario in the adjusted intersection network is obtained

Turinys

Santrauka	6
Summary	7
Turinys	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas	12
1. Teorinė dalis	13
1.1. Sankryžų tipai ir eismo organizavimas Lietuvoje bei pasaulyje.....	13
1.2. Konfliktiniai taškai eisme	17
1.3. Šviesoforais valdomos sankryžos	19
1.4. Eismo sankryžų žymėjimas ir jutikliai	23
1.4.1. Sankryžose naudojami eismo jutikliai	24
1.5. Transporto srautų modeliai	25
1.6. Kelių pralaidumo reglamentas (Highway Capacity Manual)	30
2. Eismo srautų tyrimo metodika	32
2.1. Mikroskopinis eismo modelio tyrimas	32
2.2. Modeliavimo algoritmai	32
2.3. Eismo srautų duomenų analizė	33
2.4. Pagrindiniai eismo srauto parametrai	37
2.5. Šviesoforai	40
2.6. Eismo juostos ir konfliktiniai taškai sankryžose.....	44
2.7. Pagrindinės sankryžose vyraujančios problemos.....	47
3. Eismo srautų modeliavimas	50
3.1. Modeliavimo rezultatai	55
Rezultatų apibendrinimas	61
Išvados	62
Literatūros sąrašas	63

Paveikslų sąrašas

1 pav. Žiedinė “Turbo” tipo sankryža ^[5]	13
2 pav. Rombo tipo sankryža ^[5]	14
3 pav. Eismo tvarka Indijoje ^[19]	16
4 pav. Konfliktiniai taškai prieš ir po sankryžos optimizavimo ^[14]	17
5 pav. Konfliktiniai taškai trišalėse ir keturšalėse sankryžose (c) ^[27]	18
6 pav. Konfliktiniai taškai vienos eismo juostos žiedinėse sankryžose keturšalėje (a), trišalėje (b) ir turbožiedinėje sankryžoje (c).....	18
7 pav. Žaliosios bangos valdymo ciklai	21
8 pav. Dviračių srautai Kauno m. Dviračių takais ir pagrindinėmis gatvėmis ^[12]	21
9 pav. Kauno miesto pagrindinių gatvių tinklas ^[12]	22
10 pav. Sankryžos fazių sistemos.....	23
11 pav. Kelio ženklėjimas dažais ^[3]	24
12 pav. Eismo jutikliai kelyje.....	25
13 pav. Tolimesnio automobilio modelis.....	26
14 pav. Sankryžos spūsčių priežastys	27
15 pav. NSGA algoritmas ^[16]	28
16 pav. Eismo modeliavimo lygmenys	32
17 pav. Vissim modeliavimo algortimas ^[16]	33
18 pav. HCM eismo srauto tyrimo metodai	36
19 pav. HCM eismo srauto tyrimo metodai	36
20 pav. Modeliavimo schema	37
21 pav. PC “Molas” sankryžos matavimo taškai	37
22 pav. Breslaujos g. sankryžos matavimo taškai.....	38
23 pav. Sankryžos detekcijos schema	40
24 pav. Sankryžos detekcinės kilpos.....	41
25 pav. PC „MOLAS“ šviesoforinės sankryžos valdymas	41
26 pav. Sankryžos valdymas fazėmis.....	42
27 pav. Principinė sankryžos schema.....	44
28 pav. Konfliktiniai taškai PC Molas sankryžoje.....	45
29 pav. Konfliktiniai taškai Breslaujos g. sankryžoje.....	45
30 pav. Principinė sankryžos schema.....	46
31 pav. Avarijų statistika sankryžose ^[28]	47
32 pav. Konfliktinis sankryžos įveikimas	48
33 pav. Viešojo transporto trūkumai.....	48
34 pav. Viešojo transporto sustojimo laikai	49
35 pav. Transporto tinklas.....	50
36 pav. Maršrutų duomenys modeliuojant.....	50
37 pav. Eismo srautų apimtys aut./val	51
38 pav. a); b) - Šviesoforų ciklai, viršuje Pc “Molas” sankryža, žemiau Breslaujos g.....	51
39 pav. Žalia/raudona spalva pažymėti konfliktiniai taškai, geltona - greičio apribojimai	52

40 pav. Stotelės Breslaujos g	52
41 pav. Naujos fazės Breslaujos g.....	53
42 pav. Naujos fazės Breslaujos g.....	53
43 pav. Stotelės įrengimas ir sankryžos tobulinimas	54
44 pav. Apsisukimas įrengiamas prieš sankryžą.....	54
45 pav. Bendras ciklų skaičius simulatoriuje.....	56
46 pav. Sustojimų skaičius sankryžų tinkle	57

Santrumpų ir terminų sąrašas

Eismo intensyvumas – transporto priemonių skaičius, pravažiavusių pasirinktą kelio atkarpa per pasirinktą laiko vienetą;

Matavimo para – pasirinktos atkarpos matavimas, trunkantis neilgiau nei 24 val; Matavimo savaitė – savaitė, kurios metu yra atliekamas trumpalaikis matavimas;

Konfliktinis taškas – tai taškas eisme, kuriame nesutampa dviejų transporto priemonių važiavimo kryptys.

Transporto priemonių greitis - vienas svarbiausių eismo srauto parametrų, jis nusakomas nuvažiuoto kelio ilgio santykiu su laiko tarpu, per kurį atstumas yra nuvažiuojamas.

Važiuojamosios kelio dalies užimtumas - eismo srautą charakterizuojantis parametras.

Taktas – periodas, laikas kurio metu įjungtų šviesoforo reguliavimo signalų derinys nesikeičia.

Fazė – pagrindinis taktas su priedais, kurių metu leidžiama judėti grupei automobilių.

Ciklas – periodiškai pasikartojančių fazių visuma.

Reguliavimo režimas – atskirų taktų ir fazių skaičius, keitimosi tvarka, ciklo ilgis.

Įvadas

Kasdien didėjantis transporto priemonių skaičius Lietuvoje ir kitose pasaulio šalyse sukelia spūstis gatvėse. Piko metu gatvėse susidaranti ilgos eismo spūstys ženkliai prailgina transporto priemonių kelionės laikus. Negana to susidarantys transporto kamščiai yra ne tik visiems brangaus laiko degintojai, bet ir stipriai prisideda prie oro taršos, o tai reiškia, kad nukenčia visų gyvenančių užterštose teritorijose gyventojų sveikata. Tačiau didžioji dauguma žmonių net nesiruošia keisti savo kasdieninių įpročių. Atsisakydami ekologiškesnės ir greitesnės kelionės alternatyvos, tokios kaip dviratis, paspirtukas, greitieji autobusai, renkasi sau įprastą kelionę automobiliu. Todėl norint, kad eismo dalyviai gatvėse sugaištų kuo mažiau laiko, įvyktų kuo mažiau avarijų, būtina gerinti eismo srautų pralaidumą ir koreguoti sankryžos eismo tvarką ar šviesoforo ciklus.

Problemų sprendimo būdai yra patys įvairiausi. Kiekvieno miesto institucijos atskirai sprendžia klausimus pagal esamą problemą tame mieste ar jo dalyje. Tai gali būti sankryžų rekonstrukcijos arba reorganizavimas, įvairių išmaniųjų eismo sistemų diegimas arba paprasčiausias naujų gatvių tiesimas. Kai kurie miestai priima taisykles miesto centruose važinėti tik su elektra varomais automobiliais, skatina dviračių eismą, įvairias viešojo transporto lengvatas. Prieš priimant vienokį ar kitokį sprendimą pirmiausia reikia gerai išsiaiškinti kokios eismo spūsčių atsiradimo priežastys.

Norint kuo tiksliau matyti esamą situaciją ir spręsti problemą, reikia kuo realistiškiau sumodeliuoti ir atkurti visą nagrinėjamo objekto struktūrą.

1. Teorinė dalis

1.1. Sankryžų tipai ir eismo organizavimas Lietuvoje bei pasaulyje

Visame pasaulyje, nesvarbu koks tai žemynas ir kokia gyventojų padėtis yra stebimi bei analizuojami eismo srautai. Kiekvienais metais visame pasaulyje žūsta apie 500 000 eismo įvykiuose dalyvaujančių žmonių. Esant eismo intensyvumo augimui, peršasi išvada, kad praktiškai turėtų padidėti žuvusiųjų ir sužalojimų skaičius, esantis veiksmingas kelių eismo saugumo valdymas, tačiau eismo įvykių ir spūsčių problema nėra pamirštama. Svarbi kelių eismo saugumo ir pralaidumo politika apima visuomenės informacijos sklaidą, kelių eismo saugumo priemonių rinkimą, politikos organizavimą ir nelaimingų atsitikimų prevencijos finansavimą. Nė vienas požiūris negali išspręsti visų eismo saugumo problemų, todėl pravartu kuo geriau derinti įvairias priemones, remiantis realiais skaičiais ir faktais. Svarbu nustatyti prioritetus ir keistis žiniomis apie veiksmingas priemones visame pasaulyje, kad būtų galima gerinti kiekvieno miesto ir miestelio eismo pralaidumą ir saugumą [22].

Transporto srautų modeliavimo tikslas – numatyti kokių būdu persiskirstys transporto priemonių eismas nagrinėjamoje teritorijoje ar sankryžoje po to, kai bus pastatytas naujas tiltas, nutiesta nauja gatvė ar kelio atkarpa, praplatinti ar kitaip rekonstruoti esami keliai ar gatvės, taip pat gatvių (kelių) tinklo dalyje bus uždarytas ar draudžiamas eismas, pasikeis eismo reguliavimo ženklais tvarka ir t.t. Transporto srautų modeliavimas taip pat yra naudojamas kuo realistiškiau atkurti bei atvaizduoti esamą to tinklo eismo situaciją, įgyvendinus numatomą pasirinkto objekto koregavimą. [25].

2011 m. Lietuvoje buvo suprojektuota ir pristatyta pirmoji „Turbo“ tipo žiedinė sankryža A9 kelyje Panevėžys–Šiauliai [12]. Ši sankryža pasižymi inovatyviais sprendimais, užtikrinant aukštą eismo kokybę ir visų eismo dalyvių saugumą ja naudojantis. Tokio tipo žiedinės sankryžos rengiamos intensyvaus eismo srauto keliuose, kuriuose esantys vienos eismo juostos žiedai nesugeba užtikrinti reikiamo transporto priemonių pralaidumo ir sankryžos įveikimo efektyvumo (1 pav.).

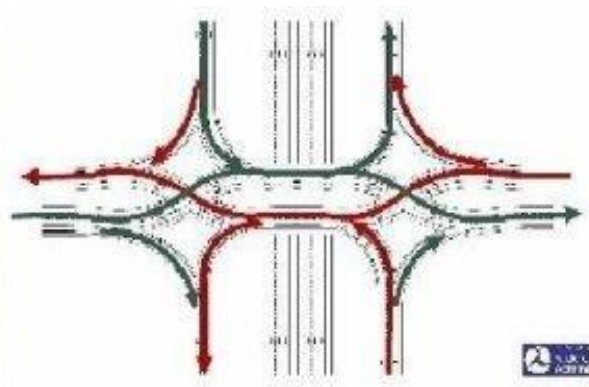


1 pav. Žiedinė „Turbo“ tipo sankryža [5]

Žiedinės sankryžos, kurios suprojektuotos iki 2000m. yra gana didelio skermens ir sieka nuo 100 iki 300 metrų plotį, todėl į jas automobiliai įvažiuoja bei išvažiuoja smailiu kampu, o tai turi įtakos jų pasiekiamam įvažiavimo greičiui, kuris tampa gerokai didesnis – net iki 70 km/h. Taip susidaro labai palankios sąlygos viršyti greitį. Modernūs šiuolaikiniai žiedai – visiškai priešingybė. Jie nėra tokie platūs ir yra nuo 15 iki 60 metrų pločio, o į juos automobiliai įvažiuoja kiek įmanoma statesniu kampu, ko pasekoje jų greitis tampa gerokai mažesnis ir siekia nuo 18 iki 30 km/h. Taigi naujo tipo žiedinėje sankryžoje, greičio viršijimas tampa didele kliūtimi greitį mėgstantiems vairuotojams.

Ekspertai, kurie rūpinasi saugiu eismu apskaičiavo, jog paprasta, nesvarbu, šviesoforais ar ženklais reguliuojama, keturšalė sankryža turi net 32 konfliktinius taškus, kuriuose gali įvykti eismo įvykiai. Tačiau eismo dalyviai važiuodami tokia pačia keturšale, bet jau modernia žiedine sankryža, vairuotojai turi didesnę tikimybę susidurti ženkliai mažiau – aštuoniuose vietose, todėl tikimybė įvykti eismo įvykiui žiedinėje sankryžoje sumažėja net 4 kartus. Moderniu žiedu per valandą gali pravažiuoti apie 1500–2000 automobilių. Palyginus su reguliuojama, po vieną eismo juostą kelyje turinčią sankryžą, žiedinėje sankryžoje laukimo laikas yra žymiai mažesnis ir pralaidumas tampa didesnis ^[21].

2012 m. buvo parengti pirmosios rombo tipo formos sankryžos įrengimo Lietuvoje projektiniai pasiūlymai, kuriuos buvo planuojama įgyvendinti Kaune, rekonstruojant esamą Biruliškių sankryžą. Tokio tipo sankryža yra skirta dviejų, itin intensyvių, kelių eismo srautų reguliavimui. Jų pasaulyje yra vos 20, kurių dauguma suprojektuotos Jungtinėse Valstijose ir kelios – Prancūzijoje ^[5]. Tačiau ši idėja nebuvo įgyvendinta, sankryža buvo reorganizuota kitu principu.



2 pav. Rombo tipo sankryža ^[5]

Rombo arba išvertus iš anglų k. „DDI“ (Diverge Diamond Interchange) tipo sankryžos yra rengiamos ten, kur dideli transporto srautai suka į kairę pusę. Pirmieji šią sankryžą suprojektavę prancūzai turėjo tikslą eliminuoti pavojingiausius posūkius sankryžose, kurie yra kairiniai. Sankryžos veikimo principas yra tas, kad kelių susikirtime eismo srautai apkeičiami važiavimo kryptimis, o transporto priemonių srautas papildomai reguliuojamas šviesoforais. Daugiausiai tokių sankryžų įdiegta Prancūzijoje ir JAV ^[5] (2 pav.).

2013 m. rugpjūčio mėn. pabaigoje Kaune buvo atidaryta pirmoji sankryža Lietuvoje, kuri suteikia prioritetą viešajam transportui. Kauno miesto centre, šalia geležinkelio stoties M. K. Čiurlionio g. esanti sankryža pasižymi itin intensyviu eismo srautu visą dienos laiką, todėl ten nuolat susidarydavo eismo spūstys – norėdamas išvažiuoti iš galutinės maršruto stotelės, maršrutinis autobusas turėdavo kirsti net 6

eismo juostas. Todėl kiekvieną kartą susidarydavo pavojingos situacijos. Po rekonstrukcijos sankryžoje, buvo įrengta modernizuota šviesoforų veikimo sistema, suteikianti į M. K. Čiurlionio gatvę įvažiuojantiems maršrutiniam transportui pirmumą prieš kitus eismo dalyvius. Taip pat šioje sankryžoje įdiegta kita papildoma sistema - neveikiant bekontaktėms kortelėms, prie autobusų sustojimo aikštelės eismą sustabdo davikliai esantys kelio dangoje, kurie atpažįsta sunkiasvorį transportą.

Galima teigti, kad didėjantis izoliuotų reguliuojamų sankryžų skaičius, labai smarkiai mažina transporto pravažiavimo greitį. Taip priverstinai brangsta transportavimo kaina ir yra sunaudojama žymiai daugiau laiko. Norint pasiekti kuo geresnį eismo reguliavimo efektyvumą šis procesas palaipsniui tapo mechanizuojamas.

Norint sistemingai reguliuoti transporto priemonių srautą esant kompleksiniams miestų planavimo ir eismo organizavimo uždaviniams, svarbiausi tikslai kuriuos reiktu akcentuoti yra šie:

- didinti gatvių ir sankryžų laidumą;
- tirti konfliktinius taškus ir juos optimizuoti;
- gerinti pėsčiųjų ir eismo saugumą;
- mažinti transporto triukšmą, degimo produktų emisijos poveikį;
- užtikrinti tolygų visų transporto rūšių nenutrūkstamą judėjimą gatvėse.

Sankryžos yra skirtos funkcionuoti tada, kai transporto priemonės dažnai turi dalintis bendra erdve su kitomis transporto priemonėmis ir pėsčiaisiais. Norint įveikti sankryžą reikia priimti daug sprendimų, pavyzdžiui, parinkti tinkamą juostą; manevruoti norint patekti į tinkamą srautą; reikia sulėtėti, sustoti ar įsibėgėti; ir reikia pasirinkti saugų tarpą. Trijų ar keturių eismo juostų sankryžos be šviesoforo gali užtikrinti pakankamą kelių eismo saugumo lygį važiuojant nedideliu eismo intensyvumu bei greičiu. Eismo saugumo salelės ir šaligatvių žymėjimas, ribojantys eismo kryptys ir specialių juostų įrengimas posūkiui į kairę pusę daro teigiamą poveikį sankryžos saugumui ir efektyvumui. Padidėjus eismo intensyvumui, būtina nustatyti šviesoforo signalus arba apsvarstyti reorganizuoti sankryžos išdėstymą. Miestuose gali pasikeisti trijų ar keturių juostų eismo sankryža į žiedinę sankryžą, kuri apie 30% sumažina avarijų skaičių ^[25].

Šviesoforu reguliuojamos sankryžos labiausiai paplitę miestuose. Daugiausia avarijų dėl šviesoforinės sankryžos yra susijusios su transporto priemonės judėjimu kairiuoju posūkiu ir pėsčiojo judėjimu. Taip pat, mopedų ir dviračių eismas yra vis labiau įtraukiamas į eismo įvykių scenarijus ^[25].

Daugelis tyrėjų yra atlikę tyrimus, kuriuose yra nagrinėjamos transporto srautų problemos miesto teritorijose visame pasaulyje ir apie kuriuos rašoma literatūroje. Ruskinas ir Wangas 2002 m. nagrinėjo transporto srautą miesto šviesoforo nereguliuojamose sankryžose, naudodamiesi mobiliojo automato (CA) modeliais. Dirbtiniai neuroniniai tinklai buvo naudojami 2006 m. Murat ir Baskan modeliuoti ir spręsti transporto priemonės vėlavimus šviesoforo reguliuojamose sankryžose. Kidwai ir kt. 2005 m. atliko srauto analizę šviesoforo reguliuojamose sankryžose Kuala Lumpūre, Malaizijoje. Kadangi eismo scenarijai, palyginti su išsivysčiusiomis šalimis, labai skiriasi, reikia atkreipti ypatingą dėmesį į eismo problemas besivystančiose šalyse (3 pav.) ^[15].

Išsivysčiusiose ir besivystančiose šalyse atlikta platūs šviesoforų reguliuojamų sankryžų saugos įvertinimo tyrimai. Šiuo atžvilgiu tirtą literatūrą galima suskirstyti į du aspektus:

- a) atsižvelgiant į naudojamą modeliavimo metodiką;
- b) nustatant veiksnius, darančius įtaką sankryžų gedimams.

Skaičiavimo duomenų modeliai, tokie kaip Poisson ir NB regresijos modeliai, dažniausiai naudojami modeliuojant ir analizuojant avarijų duomenis. Nors skaičiavimo duomenų modeliavimas visada prasideda nuo Puasono regresijos, Puasono formulavimas dažnai netinka modeliuojant avarijas dėl per daug išsklaidyto (t. y. dispersijos $>$ vidutinio) strigčių duomenų pobūdžio. Tokiems atvejams paprastai naudojami neigiami Binominiai modeliai, nes tai apima paskirstytos klaidos terminą Puasono regresijoje, be to tai reiškia, kad reikia atsižvelgti į platų nepastebimo heterogeniškumo diapazoną, pavyzdžiui, reikšmingų kintamųjų praleidimą, matavimo paklaidą ar tiesiog vidinį atsitiktinumą skaičiavimo duomenyse^[19].

Tiek Puasono modeliai, tiek neigiami binominiai (NB) modeliai buvo naudojami tiriant avarijos įvykių ir sankryžos charakteristikų tarpusavio ryšius. Kuriant modelius, vienas didžiausių rūpesčių yra vertinimo paklaida, kurią gali sukelti netinkamas modelio apibūdinimas ir nepastebėtas nevienalytiškumas. Kaip parodė Mitra ir Vašingtonas, esant aiškiai apibrėžtai vidutinei funkcijai, NB papildomos dispersijos struktūra paprastai tampa nereikšminga, o tai padeda sudaryti geresnes išvadas mažinant standartinę įvertinimo paklaidą bei sudarant siaurą patikimumo intervalą. Kiti galimi šališkumo šaltiniai yra praleisti kintamieji paklaidai (Mitra ir Washington, 2012), dėl mažos imties, ir dėl nepastebimo nevienalytiškumo, į kuriuos atkreipė dėmesį saugos tyrimų bendruomenė. Tyrimai parodė, kad tam tikri kintamieji, įskaitant eismo intensyvumą (pvz., bendras tūris ir posūkis į dešinę), geometrinis dizainas (pvz., sankryžos tipas ir juostų skaičius) ir eismo valdymas (pvz., fazių skaičius ir signalo valdymo tipas) gali turėti didelę įtaką šviesaforo reguliuojamos sankryžos saugai. Veiksniai, tokie kaip juostos plotis, posūkio juostos buvimas, signalo tipas ir skaičius fazės, teritorijos žemės naudojimas, autobusų stotelės buvimas yra susiję su avarijos įvykiais^[19].



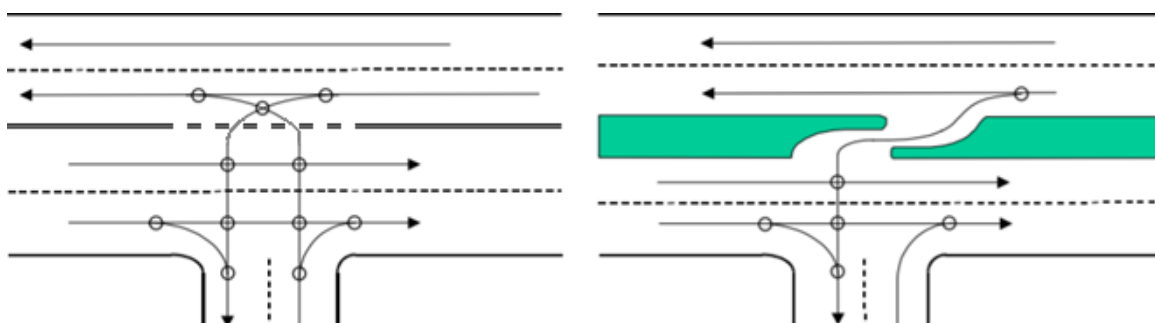
3 pav. Eismo tvarka Indijoje^[19]

Iš išsivysčiusių šalių gauti duomenys rodo, kad urbanizuotos aplinkos vystymosi modeliai daro įtaką saugai pirmiausiai per jų sukuriama eismo intensyvumą ir, antra, per jų skatinamą transporto priemonių greitį, o tai savo ruožtu daro įtaką avarijų dažnumui ir pavojingumui. Be to, ne tik eismo greitis, bet ir greičio skirtumai sraute ir konfliktiniai eismo srautai turi įtaką avarijoms. Konfliktai labai priklauso nuo pagrindų panaudojimo, prieigos tvarkymo, perėjų ir pėsčiųjų infrastruktūros [19].

1.2. Konfliktiniai taškai eisme

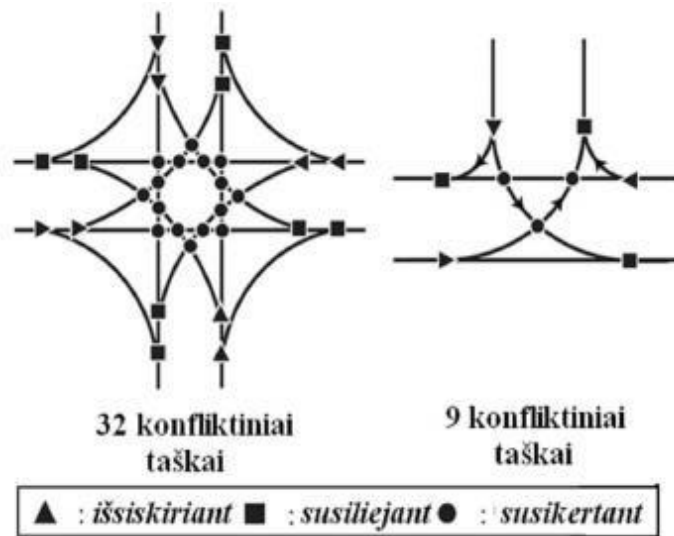
Transporto priemonėms, kurios atlieka dešininį posūkį iš šalutinės gatvės, konfliktinis srautas sankryžoje yra pagrindinės gatvės transporto srautas, važiuojantis tiesiai, į kurį norima įsilieti. Automobiliai, atliekantys kairinį posūkį iš pagrindinės gatvės, tiesiogiai konfliktuoja su priešpriešiais tiesiai važiuojančiu srautu ir su sukančiu į dešinę srautu, kadangi vieną transporto srautą reikia kirsti, o į kitą būtina įsilieti. Transporto priemonė važiuojančios iš šalutinės gatvės, konfliktuoja su visais pagrindinėje gatvėje esančiais eismo dalyviais. Nereguliuojamose sankryžose sudėtingiausiai atliekamas yra manevras, kai automobilis nori atlikti kairinį posūkį iš šalutinės gatvės, kuris konfliktuoja su visų krypčių pagrindinės gatvės transporto srautais ir su šalutinės gatvės eismu priešpriešine tiesia kryptimi ir į dešinę sukančiu srautu. Transporto priemonių atliekami dešinieji posūkiai iš pagrindinės gatvės kaip konfliktiniai taškai ir srautai gali būti pašalinti, kai jiems yra skirtos atskiros eismo juostos arba sankryžoje yra galimybė įrengti didelį spindulį turinčius posūkius [24].

Transporto priemonės atliekamas manevras yra svarbiausias veiksnys, kuris priklauso nuo transporto priemonės dinamikos ir manevro atlikimo sudėtingumo. Transporto priemonė, kuri suka iš šalutinės gatvės į dešinę bei atliekančiai vienintelį įsiliejimo manevrą, laiko intervalas bus daug trumpesnis nei sukančiai į kairę transporto priemonei [21]. Konfliktiniai taškai dažniausiai naudojami kelių eismo įvykių atsiradimo priežasčiai paaiškinti. Eismo valdymo strategijos yra skirtos sumažinti konfliktinių taškų skaičių sankryžose. Įrengta papildoma juosta su kairiuoju posūkiu, sumažina bendrą konfliktinių taškų skaičių 5 kryptimis. (4 pav.).



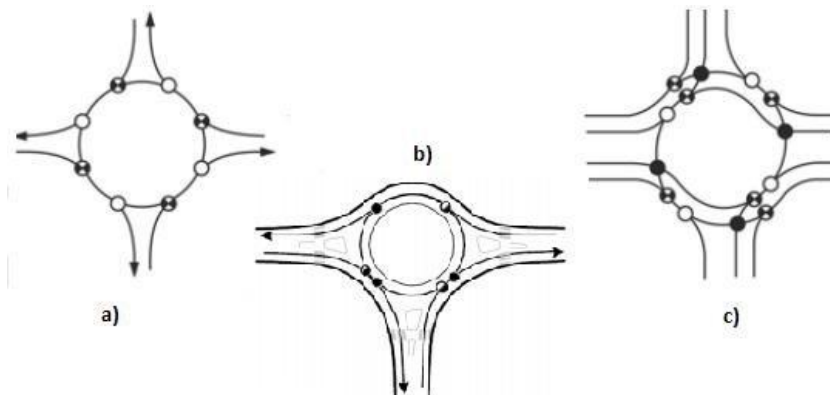
4 pav. Konfliktiniai taškai prieš ir po sankryžos optimizavimo [14]

Minesotos transporto departamentas [7] atliko tyrimą, pagal kurio duomenis, keturių krypčių sankryža turi 16 – 24 konfliktinius taškus, iš kurių aštuoni susijungiantys konflikto taškai ir aštuoni besiskiriantys taškai. Trišalė sankryža turi 9 konfliktinius taškus. Keturšalėje sankryžoje konfliktinių taškų kiekis priklauso nuo sankryžos reguliavimo tipo, todėl gali skirtis. Todėl projektuojant sankryžą, ypač svarbu pagal galimybes pritaikyti jos tipą ir sumažinti konfliktinių taškų bei eismo įvykių skaičių (5 pav.).



5 pav. Konfliktiniai taškai trišalėse ir keturšalėse sankryžose (c) ^[27]

Turbo žiedinio tipo sankryžos yra saugesnės palyginus su dviejų eismo juostų žiedinės sankryžomis, kadangi jų važiuojamojoje dalyje nereikia persirikiuoti. Dviejų eismo juostų žiedinė sankryža yra mažiau saugi negu vienos eismo juostos. Tačiau lyginant su paprasta sankryža, tokia sankryža yra saugesnė negu keturšalė, ypač tada, kai eisme nedalyvauja pėstieji eismo dalyviai ar dviratininkai. Skirtingų tipų žiedinių sankryžų konfliktinių taškų susikirtimai pateikti (6 pav.).



6 pav. Konfliktiniai taškai vienos eismo juostos žiedinėse sankryžose keturšalėje (a), trišalėje (b) ir turbožiedinėje sankryžoje (c)

Norint nustatyti sankryžos sudėtingumą yra naudojama penkiabalė sistema, kuomet yra skaičiuojamas bendras konfliktinių taškų (atsišakojimų, susiliejamų, susikirtimų) skaičius:

$$M = \sum n_a + 3\sum n_s + 5\sum n_p \quad (1)$$

n_a - atšišakojimų skaičius; n_s - susiliejamų skaičius; n_p - susikirtimų skaičius.

Tuomet kai yra nustatinėjamas sankryžos sudėtingumas, atšišakojimų skaičius vertinamas 1 balu,

susiliejimų skaičius – 2 balais, susikirtimų skaičius – 5 balais. Norint įvertinti sankryžos sudėtingumą, reikia žinoti konfliktinių taškų skaičių. Jei $M < 40$ – sankryža nesudėtinga, jei $40 < M < 80$ – sankryža vidutinio sudėtingumo. Kai rodiklis $80 < M < 150$ – sankryža sudėtinga ir tokiu atveju, kai $M > 150$ sankryža yra ypač sudėtinga. Konfliktinių taškų pagal sankryžą palyginimas pateikiamas 1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad keturšalė sankryža stipriai lenkia kitas sankryžas, tiek žiedines ir trišales pagal konfliktų skaičių. Žiedinio tipo keturšalė vienos eismo juostos sankryža neturi konfliktų išsiskiriant, todėl šis rodiklis beveik visiškai panaikina eismo įvykio tikimybę. Norėdami sumažinti konfliktinių taškų skaičių, reikia riboti kai kuriuos esamus manevrus: kairiuosius bei dešiniuosius posūkius, jei įmanoma, ir jei yra galimybė dvipusį eismo judėjimą pakeisti į vienpusio eismo ^[21].

1.1 lentelė. Konfliktiniai taškai pagal sankryžos tipą ^[21]

Sankryžos tipas	Žiedinė trišalė	Žiedinė turbo	Žiedinė keturšalė	Trišalė	Keturšalė
Išsiskiriant	3	4	-	3	8
Susiliejančios	3	6	4	3	8
Susikertant	3	4	4	3	16
Konfliktiniai taškai	9	14	8	9	32

1.3. Šviesoforais valdomos sankryžos

Kiekvienoje šviesoforais reguliuojamoje sankryžoje yra valdiklis, kurio pagrindinė funkcija – užtikrinti tinkamą šviesoforų veikimą. Vieni valdikliai veikia pagal nustatytą norimą darbo planą ir nieko daugiau atlikti negali, kiti valdikliai sąveikauja tarpusavyje su kitų sankryžų valdikliais pagal transporto srautų kiekį, taip keisdami ir parinkdami optimalius fazių laikus kiekvienai eismo kryptiai. Naujų valdiklių privalumai:

- sklandus veikimas tiek dideliuose tiek mažuose miestuose;
- užtikrinamos optimalios eismo sąlygos sankryžoje, kadangi valdiklis arba jų grupė reguliuoja automobilių srautus pagal sankryžos apkrovimą ir poreikį;
- paprastesnis eismo planavimas;
- adaptyvus lokalizuotas sankryžos kontroliavimas;
- galimas koordinuoto eismo užtikrinimas sujungiant kartu su kitais valdikliais

Galimos valdiklių funkcijos:

„Išmanioji žalia“ (angl. smart green) – sumažina išmetamųjų teršalų kiekį ir eismo spūstis miestuose. Taip pat parenkami planai pagal dienos laiką ar esamus renginius mieste.

„Išmanioji sankryža“ (angl. smart intersection) – vienos sankryžos optimaliausio valdymo ir jos veikimo užtikrinimo funkcija, kuri gali parinkti efektyviausią žaliojo signalo laiką, bei jį automatiškai reguliuoti, kad pagal poreikį būtų optimizuotas sankryžos pravažiavimo greitis.

„Išmanus planas“ (angl. smart plan) – veiksmingas, tada kai srautų pasiskirstymas keičiasi dienos metu ar dėl tam tikrų organizuotų renginių, tuomet galima suplanuoti ir parinkti norimą veikimo planą atskirai sankryžai, taip suvaldant padidėjusius srautus tam tikrose miesto dalyse.

„Išmanus koordinuoto eismo koridorius“ – žaliosios bangos užtikrintas veikimas pagrindinėse miesto arterijose. Juo norima pagerinti oro kokybę ir sumažinti vairuotojų sugaištą laiką kelionės metu. Valdikliai geba automatiškai apskaičiuoti optimaliausią šviesoforo veikimo planą naudodami sankryžose įrengtų detektorių duomenis. Ši funkcija užtikrina optimalias eismo sąlygas bet kuriuo metu^[9].

Transporto bei pėsčiųjų srautams valdyti įrengiami šviesoforai, jei reikalinga viena iš šių sąlygų:

- per parą yra 8 valandos, kurių metu eismo intensyvumas pagrindiniame kelyje yra didesnis negu 600 aut./h ir per kiekvieną valandą kurią nors kryptimi važiuojamąją dalį kerta bent 150 pėsčiųjų;
- eismo intensyvumas yra didesnis nei nurodyta 1.2 lentelėje;
- metų laikotarpyje sankryžoje yra įvykę bent trys eismo įvykiai, kurių būtų galima išvengti šviesoforo pagalba.

Kietasis sankryžos režimas - sankryžos signalinė reguliavimo programa, nepriklausoma nuo eismo dalyvių srautų, t. y. žaliojo šviesoforo signalo trukmė kiekvienoje sankryžoje nepriklauso nuo transporto srautų ir yra iš anksto nustatyta.

Adaptivus sankryžos valdymo režimas - sankryžos reguliavimo programos kitimas, kuris priklauso nuo automobilių srautų realiu laiku, t. y. žaliojo signalo trukmė kinta kiekvienoje reguliuojamoje sankryžoje, priklausomai nuo pravažiuojančio transporto kiekio.

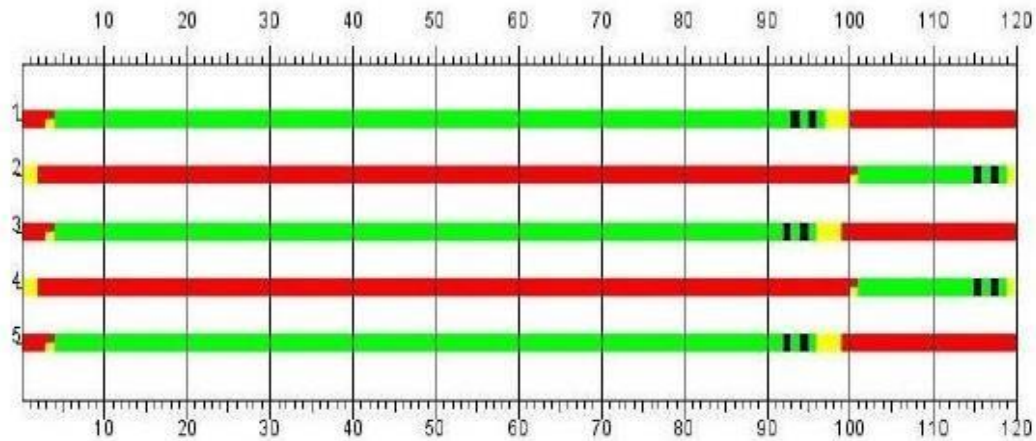
1.2 lentelė. Mažiausias eismo intensyvumas, kuriam esant įrengiamas šviesoforinis reguliavimas

Eismo juostų viena kryptimi skaičius	Pagrindinėje gatvėje	1	2 ir daugiau	2 ir daugiau
	Šalutinėje gatvėje	1	1	2 ir daugiau
Transporto priemonių eismo intensyvumas, aut./h	Pagrindinėje gatvėje abiem kryptimis	750, 670, 580, 500, 410, 380	900, 800, 700, 600, 500, 400	900, 825, 750, 675, 600, 525, 480
	Šalutinėje gatvėje viena kryptimi	75, 100, 125, 150, 175, 190	75, 100, 125, 150, 175, 200	100, 125, 150, 175, 200, 225, 240

Kietasis sankryžos režimas - tai tokia sankryžos signalinė reguliavimo programa, kuri nepriklauso nuo eismo dalyvių srautų, tai reiškia, jog žaliojo šviesoforo signalo trukmė kiekvienoje sankryžoje nepriklauso nuo transporto srautų ir yra iš anksto numatyta.

Adaptivus sankryžos valdymo režimas - sankryžos reguliavimo programos kitimas priklauso nuo automobilių srautų realiu laiku, t. y. žaliojo signalo trukmė kinta kiekvienoje reguliuojamoje sankryžoje, priklausomai nuo pravažiuojančio transporto kiekio.

„Žaliosios bangos“ valdymo režimas yra reguliuojamo eismo sankryžų darbo koordinavimas, kai vienoje ar keliose gatvių sankirtose eismas vyksta be sustojimo. Automobilis važiuodamas vidutiniu nustatytu greičiu neviršydamas greičio, pravažiuoja reikiamas kelių sankirtas, taip išlaikydamas pastovų greitį. Jeigu judės per greitai, tuomet teks sustoti ir laukti, kol užsidegs leidžiamas žalias šviesoforo signalas. Tokiu būdu yra užtikrinamas saugus greitis ir gerinamas automobilių pravažiavimo miesto gatvėmis efektyvumas. „Žalios bangos“ šviesoforinio valdymo ir sudarymo pavyzdys pateikiamas (7 pav.)^[13].



7 pav. Žaliosios bangos valdymo ciklai

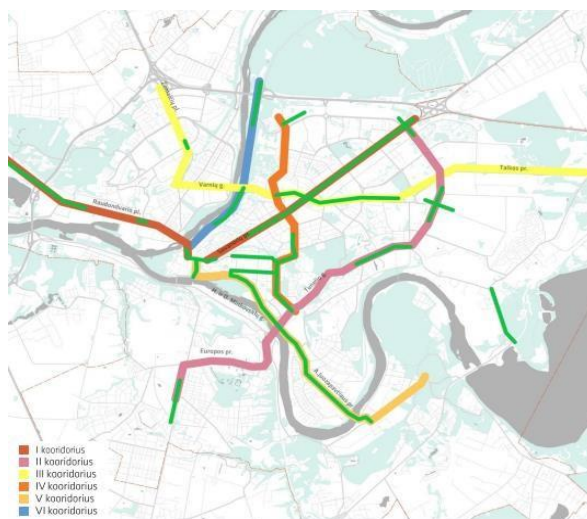
Taip pat šviesoforai įrenginėjami tose vietose, kuriose tai yra techniškai bei ekonomiškai pagrįsta ir reikalingas tikslus ir nuoseklus koordinavimas. Šviesoforai reguliuojantys dviračių eismą, turi būti įrengiami tose vietose, kur dviračių eismas yra nuolatinis ir dviratininkų intensyvumas yra didesnis negu 40-50 dviratininkų per valandą (8 pav.).



8 pav. Dviračių srautai Kauno m. Dviračių takais ir pagrindinėmis gatvėmis^[12]

Norint užtikrinti ir pagerinti eismo tvarką Kauno mieste iš 104 šviesoforais reguliuojamų sankryžų ir pėsčiųjų perėjų 32 sankryžose yra įrengti išmanieji šviesoforai su automobilių eismo jutikliais (iki

2019m. duomenys) [12]. Pagrindinėse Kauno m. gatvėse Savanorių pr., Taikos pr., Jonavos g., Karaliaus Mindaugo pr., Varnių g., Pramonės pr., Veiverių g., ir kitose šviesoforai sankryžose yra sukoordinuoti. Eismo saugumui užtikrinti įrengti 5 kilnojami išmanūs greičio matuokliai bei virš pagrindinių sankryžų įrengtos arba įrengiamos kameros, kurios tikrina transporto priemonių techninės apžiūros galiojimą, draudimą ir pan. (9 pav).

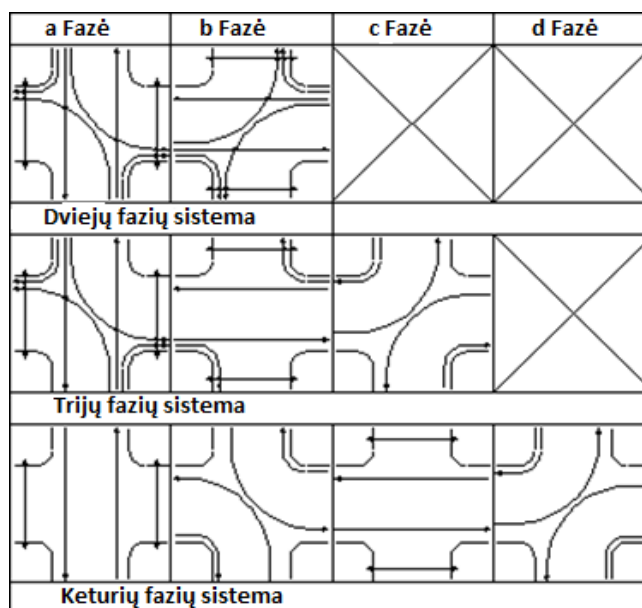


9 pav. Kauno miesto pagrindinių gatvių tinklas [12]

2019 m. Kovą duris atvėrė Kauno miesto „Eismo valdymo centras“. Kauno mieste iki tol buvusius 6 eismo koridorius papildė dar 9 nauji, ir šiuo metu lyginant su 2018 m. veikia 15 skirtingo ilgio koordinuoto eismo koridorių. Naujajame centre įdiegta programinė įranga leidžia valdyti kelių šviesoforinių sankryžų grupes. Tokia programinė valdymo įranga šiuo metu veikia pagrindinėse arba rekonstruotose pagrindinėse miesto sankryžose.

Eismui reguliuoti sankryžose naudojami įvairūs ciklai ir darbo režimai, sudaryti iš taktų ir fazių. Šviesoforui valdant reguliavimo ciklą galimi įvairūs variantai. Efektyviausias yra tada, kai per vieną fazę praleidžiamas kuo didesnis eismo srautas. Paprastas sankryžas yra stengiamasi suprojektuoti dviejų fazių veikimu. (10 pav.) Dvifazė sistema turi daug konfliktinių taškų. Keturių fazių sistemą galima skirtingai sureguliuoti. Kai yra galimybė individualiai kryptims suteikti žalią signalą iš kitos krypties, panaudojamas efektyvesnis lygiagretusis naštos principas.

Didesnėse su daugiau eismo juostų sankryžose naudojami trijų ir didesnio skaičiaus fazių ciklai. Kartu prie šių signalų transportui suderinami ir signalai pėstiesiems. Kuo sudėtingesnis ciklas, tuo lengviau pravažiuoti sankryžą, tačiau užtrunka daugiau laiko. Optimaliausia sankryžos ciklo trukmė priklauso nuo jos geometrijos, eismo juostų skaičiaus, ciklo fazių sekos, transporto srautų sudėties, vyraujančio pėsčiųjų srautų dydžio, eismo savitarpio kultūros ir drausmės gatvėje. Geltono signalo trukmė tarp atskirų fazių priklauso nuo eismo juostų skaičiaus pagrindinėje ir šalutinėje sankryžos gatvėse. Pagal rekomendacijas, geltono signalo trukmė nustatoma 2 - 4 sekundėms. Ilgesnė geltono signalo trukmė didina sankryžą kertančio eismo gaisraties laiką ir sukelia pavojingas situacijas [7].



10 pav. Sankryžos fazių sistemos

Norint suprojektuoti tarpus tarp fazių, reikia sudėtingo ciklo trukmės projektavimo etapų, kadangi tai turi didelės įtakos eismo saugumui sankryžose, todėl šis darbas yra labai atsakingas ir svarbus. Racionaliai pasirinkus laiko intervalų trukmę iki minimumo sumažinami transporto laiko nuostoliai ir užtikrinamas saugus transporto priemonių judėjimas sankryžos konfliktinėje zonoje.

1.4. Eismo sankryžų žymėjimas ir jutikliai

Lietuvos kelių su asfalto dangą tinklas siekia 15 000 km. valstybinės reikšmės kelių, kuriuose būtinas ženklėjimas dažais ar polimerinėmis medžiagomis. Iš jų, net apie 1700 km sudaro magistraliniai keliai. Dėl didelio eismo intensyvumo, šių kelių priežiūra yra prioritetinga, ir horizontalaus ženklėjimo darbai dažniausiai atliekami iki einamųjų metų Liepos mėnesio. Vėliau ženklėjami krašto ir rajoniniai valstybinės reikšmės keliai. Lietuvoje populiariausi naudojami kelių ir gatvių ženklėjimo tipai:

Kelių ženklėjimas dažais - naudojami skiediklio arba vandens pagrindo kelio dažai, kurie gali būti baltos ir geltonos spalvos. Baltais dažais ženklėjami magistraliniai, krašto bei rajoniniai keliai, kuriuose eismo intensyvumas nėra ypač didelis. Geltonais dažais dažniausiai ženklėjamos laikinos eismo juostos rekonstruojamuose kelių ruožuose, taip pat vietos kuriuose draudžiama sustoti ir stovėti (11 pav.).

Keliai taip pat ženklėjami šaltu plastikumu, tai toks dvikomponentis plastikumas, kuris naudojamas kelių ženklėjimui rankiniu arba automatizuotu būdu. Ši medžiaga paklojama 2 - 2,5 mm storio ir dažniausiai naudojama kelių linijų bei simbolių žymėjimui intensyvaus eismo keliuose ir gatvėse. Šaltas plastikumas taip pat gali būti naudojamas ir esant neigiamai aplinkos oro temperatūrai, todėl tinka mūsų kelių klimatui.



11 pav. Kelio ženklvinimas dažais [3]

Keliai ženklvinami specialiu plastiku, kuris yra smarkiai įkaitinamas. Palaikoma pastovi temperatūra ir jis liejamas arba purškiamas ant asfalto dangos pasirenkant norimą linijos tipą pagal LST standartizaciją. Kartu su plastikais purškiami specialios paskirties stiklo rutuliukai, kurie įsigeria į viso pakloto termoplasto tūrį, o dalis jų nusistovi linijos viršuje, ko pasekoje linijos atspindi šviesą net ir nusitrynus viršutiniam termoplasto sluoksniui. Struktūrinis kelių ženklvinimas pasižymi linija, kurioje taisyklingai išdėstytos juostelės, dar vadinamos „šukomis“. Toks kelių ženklvinimo tipas labiausiai tinka šoninėms eismo juostos linijoms ženklvinti. Ši technologija, be puikaus matomumo naktį bei esant blogoms oro sąlygoms ir patvarumo, dar ypatinga tuo, kad sukelia mechaninį akustinį efektą. Vairuotojui nukrypstant į šalį ir ratu užvažiuavus ant šoninės linijos, atsiranda vibracinis garsas, 5 – 10 kartų didesnis už automobilio skleidžiamą padangų garsą, priverčiantis vairuotoją sutelkti dėmesį į kelią [3][11].

1.4.1. Sankryžose naudojami eismo jutikliai

Transporto eismo jutikliai yra kiekviename didžiajame mieste ar sankryžoje ir sudaro infrastruktūros dalį. Šių jutiklių naudojimas leidžia išmatuoti realius duomenis apie transporto priemonių pasiskirstymą mieste, nustatyti labiausiai apkrautas miesto zonas bei sukurti bendrą miesto eismo judumo planą įvertinant srautus ir konfliktines vietas. Taip pat galima įvertinti ir daryti išvadas, ar suplanuotas eismo koregavimas turės naudos būsimiems eismo pokyčiams pasirinktoje koreguoti sankryžoje [4].

Eismo detektoriai (sensoriai) įrengiami:

- Keliuose kai yra montuojami į šaligatvius arba kelio paviršiuje.

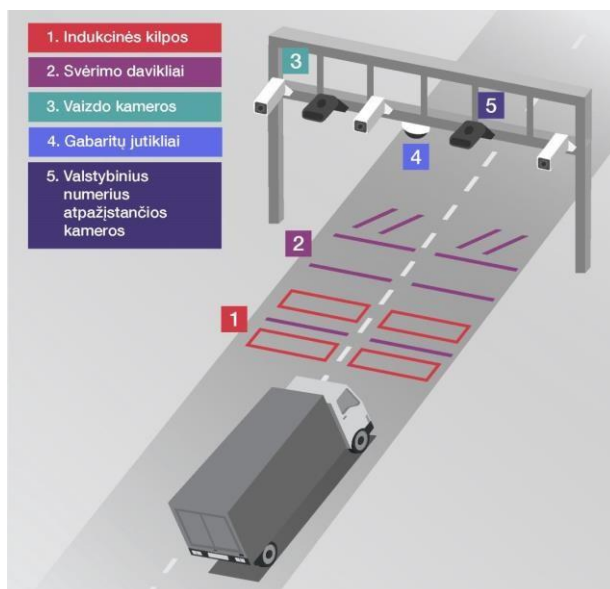
Virš kelio kai yra įrengiami virš kelio dangos arba šalia kelio. Pagrindiniai kelio dangoje montuojamų detektorių tipai:

- Indukcinės kilpos;
- Magnetiniai jutikliai;
- Pneumatiniai vamzdeliai;

- Pjezoelektriniai jutikliai.

Pagrindiniai virš kelio dangos montuojamų detektorių tipai:

- Vaizdo apdorojimo sistemos;
- Mikrobangų jutikliai;
- Infraraudonųjų spindulių detektoriai;
- Lazeriniai jutikliai;
- GPS (mobilieji, erdviniai jutikliai)^[4].



12 pav. Eismo jutikliai kelyje

Eismo jutikliai esantys (12 pav.) magistraliniuose keliuose, tokiuose kaip A1, A2, A5 ir A6 – kelio dangoje sumontuoti jutikliai sveria važiuojančius automobilius, o ant konstrukcijų virš kelio sumontuoti davikliai ir vaizdo kameros fiksuoja transporto priemonių gabaritus, o nuskaičius valstybinius numerius, bus galima nustatyti, ar vairuotojai važiuoja tvarkingais, t.y. apdraustais ir galiojančią techninę apžiūrą turinčiais automobiliais. Miesto sankryžose esantys jutikliai ir anksčiau minėti elementai, renka duomenis apie eismo srautų intensyvumą, sankryžos pravažiavimo laikus ir kitą eismo organizavimui svarbią informaciją. Taip pat esančios vaizdo stebėjimo kameros atnaujintose sankryžose stebi eismo srautus ir esant būtinybei yra priimami sprendimai padidinti eismo srautus ir sumažinto automobilių spūstis.

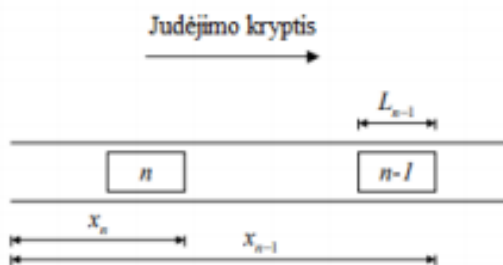
1.5. Transporto srautų modeliai

Transporto srautų augimas yra viena svarbiausių Lietuvos miestų plėtros bei funkcionavimo problemų, įtakančių miestų ekologiją, aplinką ir gyvenimo kokybę. Siekiant tobulinti ir užtikrinti susisiekimo sistemos infrastruktūrą, dažnai susiduriama su problema, kurį variantą pasirinkti, t.y. kuris iš jų bus efektyvesnis ir ekonomiškescnis. Toki sprendimai priimami naudojantis transporto srautų modeliavimo metodais ir atitinkama programine įranga. Baigiamajame magistro projekto darbe naudosime PTV VISSIM programinę įrangą ^[8].

Transporto srautų modeliavimas skiriamas į du iš esmės besiskiriančius lygmenis: makro ir mikro. Makro modelių pagalba tiesiogiai siekiama prognozuoti kelionių skaičių mieste ir kelionių pasiskirstymą gatvėse. Šis modeliavimo metodas leidžia palyginti naujos susisiekimo infrastruktūros plėtros variantus priešprojektinėje stadijoje ir pagrįsti juos, analizuojant ir randant geriausias alternatyvas ir sprendinius.

Mikro modelių pagalba leidžia labai tiksliai modeliuoti automobilių elgseną tiksliaame ar išskirtame miesto gatvių tinkle. Parengti modeliai yra naudingi pritaikant sankryžų tipus, jų konfigūracijas, rengiant eismo organizavimo schemas teritorijose ar atitinkamose sankryžose sprendžiant konfliktinių taškų ir eismo optimizavimo problemas ^[10].

Tolimesnio automobilio modelis, kuris taip pat labai svarbus mūsų tyrime, skirtas nustatyti vairuotojo elgesį atsižvelgdamas į prieš jį važiuojantį automobilį toje pačioje juostoje (13 pav.). Automobilis laikomas sekančiu schemeje ar modelyje, kai jo veiksmai yra apriboti priekyje važiuojančio automobilio, t.y. jei važiuodamas nekeistų greičio, įvyktų susidūrimas. Kai vieno vairuotojo veiksmai nėra apriboti priekyje važiuojančio automobilio, jis laikomas laisvu ir gali važiuoti laisvai pasirinkdamas savo greitį. Sekančio automobilio veiksmai dažniausiai būna nusakomi pagal tolimesnio automobilio pagreitį, tačiau yra tolimesnio automobilio modelių, kuriuose veiksmai nusakomi pagal greitį.



13 pav. Tolimesnio automobilio modelis

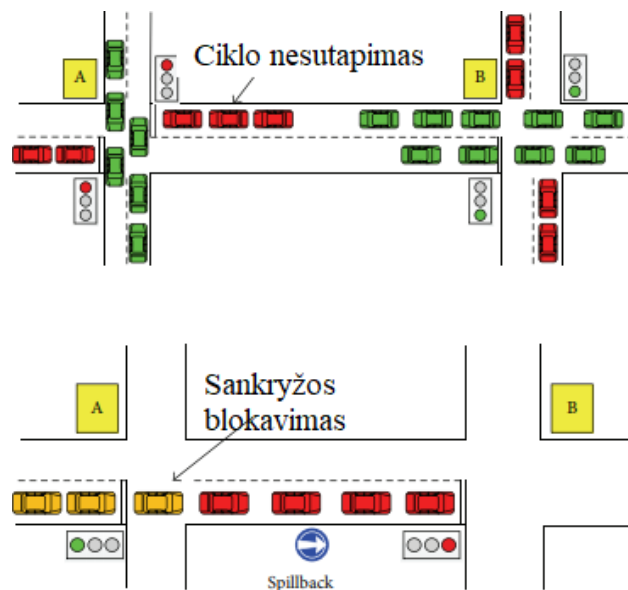
Kai kurie modeliai apibrėžia vairuotojų elgesį tik sekant kitą automobilį, tačiau yra pilnesnių modelių nusakančių tolimesnio automobilio elgesį įvairiose situacijose. Galiausiai modeliu nustatomas eismo režimas, kuriame gali būti transporto priemonė ir kokius veiksmus ji atliks kiekvienoje situacijoje. Dauguma tolimesnio automobilio modelių variacijų naudoja ne vieną režimą nustatyti sekančių automobilių elgesį. Bendras bruožas yra naudoti tris režimus: pirmas laisvajam važiavimui, antras įprastam sekimui ir trečiasis avariniam stabdymui. Automobiliai laisvajame režime nėra suvaržyti ir pasiekia norimą greitį, kai transporto priemonės sekimo režime pritaiko savo greitį pagal priekyje judančią transporto priemonę. Automobiliai trečiajame režime staigiai stabdo, kad išvengtų susidūrimo su priekyje stabdančia transporto priemonę.

"Simulation of Urban Mobility", arba "SUMO" yra atviro turinio, mikroskopinio (mikro), daugiarūšio eismo modeliavimo programa. Jos dėka galima imituoti, tam tikras eismo sąlygas ir poreikius, kuriuos sudaro atskiros transporto priemonės, judančios per pasirinktą kelių tinklą. Modeliavimas leidžia

spřesti daugelį eismo valdymo temų. Jis yra visiškai mikroskopinis: kiekviena transporto priemonė yra aiškiai modeliuota, turi atskirą maršrutą ir individualiai juda per tinklą. SUMO plėtra prasidėjo 2000 metais. Pagrindinė atviro turinio, mikroskopinio kelių eismo simuliacinės programos atsiradimo ir sukūrimo priežastis, buvo remti eismo tyrimų bendruomenę su priemone, galinčia įgyvendinti ir įvertinti pasirinktus eismo algoritmus. Priemonė nereikalauja visų reikalingų duomenų, kad būtų galima gauti visišką eismo modeliavimą, pvz., Diegti ir (arba) nustatyti kelių tinklą, paklausą ir eismo valdymo metodus [1].

Neužpildyto srauto charakteristikos

Eismo srauto charakteristikos bus skirtingos, kai eismo srautas yra per daug prisotintas arba artėja prie šios ribos. Eismo sąlygoms artėjant prie prisotinimo, transporto srautas tampa nestabilus. Nedidelis, tačiau bet kurios iš sraute esančių transporto priemonių svyravimas tinklo pravažiavimo metu, gali sukelti neigiamas pasekmes ir sumažinti eismo pralaidumą. Kai eismo tinklo būklė nėra tinkama tiksliesiems matavimams, determinuotas eilių sudarymo modelis gali būti naudojamas įvertinti eilės ilgį. Tuomet spūstys pradeda plisti į gretimas sankryžas, ir turi neigiama poveikį visam tinklui, kuris parodytas 14 paveiksle. Pagal eismo spūščių susidarymo procesus, eismo valdymas turėtų būti naudojamas ir planuojamas tose vietose, kuriose yra per daug prisotintų mazgų, kad būtų išvengta tokio scenarijaus, kaip pavaizduota paveiksle (14 pav.) [17].

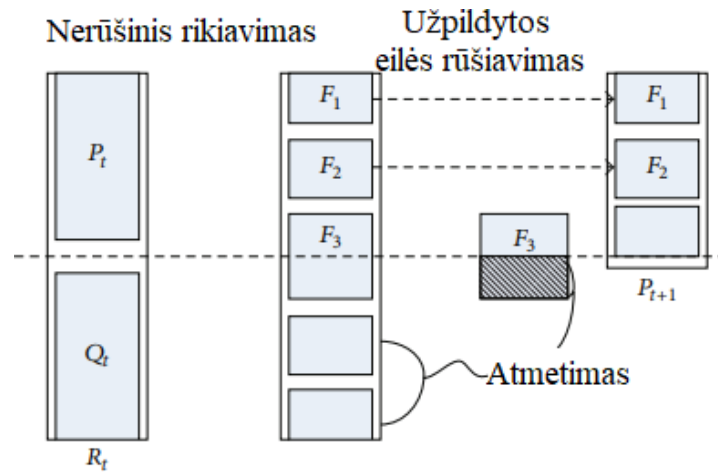


14 pav. Sankryžos spūščių priežastys

NSGA algoritmas

A Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) [6] pasižymi žymiai geresniu našumu nei kiti daugiamodaliniai simuliacijos algoritmai, todėl šiame darbe nagrinėjamas, kaip srauto signalo valdymo optimizavimo metodas, kuris yra naudojamas programinėje įrangoje VISSIM. Šis algoritmas pasižymi tuo, kad prie jo dirbo gausybė mokslininkų ir specialistų, susijusių su eismo organizavimu ir tobulinimu.

Pagrindinė NSGA algoritmo sudarymo schema parodyta 15 paveikslėlyje, o pagrindiniai žingsniai yra tokie ^[16]:



15 pav. NSGA algoritmas ^[16]

- Iš pradžių sukuriama atsitiktinė gyventojų populiacija P_0 . Gyventojai nerūšiuojami pagal lytį ar amžių. Kiekvienam sprendimui priskiriamas jo tinkamumas (arba rangas) bei svarbumo lygis. Įprasta dvejetainė sistemų pasirinkima skaičiavimui.
- Susidaro bendra populiacija $R_t = P_t \cup Q_t$. Gyventojų R_t dydis yra $2N$. Tada populiacija R_t rūšiuojama pagal neskirstymą. Geriausias nedominuojantis rinkinys F_i yra suformuotas.
- Perkrovos skaičiavimo mechanizmas $<n$ yra pasirinktas rūšiuoti nedominuojamą rinkinį F_i mažėjančia tvarka.
- Nauja populiacija P_{t+1} naudojama atrinkti, padauginti ir keisti sukurtai naujai populiacijai Q_{t+1} . Kai įvykdoma sustabdymo sąlyga, ciklas sustoja; priešingu atveju $t = t + 1$ ir pereiname prie 2 žingsnio ^[16];

Saugumo vertinimo modelis

Pagrindiniai saugos įvertinimo metodai, kurie šiuo metu yra prieinami praktikuojančiam asmeniui, yra avarijų analizė ir eismo konfliktai. Avarijų analizės metodas įvertina saugą, naudodamas tiesioginius saugos matavimus kaip avarijų duomenis. Konfliktinių taškų metodas vertina saugą, atsižvelgiant į tam tikras galimybes ir sudėtingumą, kurį atspindi tam tikri rodikliai, tokie kaip persirikiavimo laikas ir laikas iki susidūrimo. Konfliktinių taškų metodas yra efektyvesnis, nes lengviau apskaičiuoti jų apimtį nei avarijas tame tinkle. Eismo konflikto sudėtingumas išreiškiamas formule ^[26]:

$$S = \frac{\Delta KE_{ij}}{e^{PET_{ij}}} \quad (2)$$

$$PET_{ij} = I'_{ij} + t_{ej} - \frac{x_i + S_{ci}}{v_{ci}} \quad (3)$$

ci

kur, KE_{ij} yra kinetinė energija prieš susidūrimą J; t_{ej} žymi pirmosios transporto priemonės įvažiavimo laiką, s; X_i atstumas iki sustojimo linijos ir paskutines tr. Priemonių grupės K_i , m; S_{ci} signalo grupės laisvas atstumas nuo K_i , m; I'_{ij} nurodo integruotos žalios laiką tarp grupių K_i ir K_j , s; v_{ci} nurodo eismo greitį m/s;

Paskutinės transporto priemonės sankryžos kirtimo galimybė

Sudaroma esant prielaidai, kad automobilis mato geltoną mirksintį šviesoforo signalą, modelis išreiškiamas formule:

$$P_{i_{x_0}} = \frac{num_i}{x} e^{-num_i} \quad (4)$$

oi

$$num_i = \frac{x_{oi} \alpha_i v_i}{3.6} \quad (5)$$

kur, $P_{i_{x_0}}$ yra tikimybė automobiliu spėti pravažiuoti sankryžą mirksint geltonam signalui; Num_i žymi tr. priemonių skaičių; α_i nurodo tr. Priemonių tankį aut./min.; X_{oi} atstumas iki stop linijos, m; v_i nurodo srauto greitį, m/s.;

Pirmosios įvažiuojančios transporto priemonės iš grupės sankryžos kirtimo tikimybė

Remiantis pateikta Puasono atvykimo prielaida, tikimybė, kad yra bent viena besiginčijančios grupės transporto priemonė, kuri bus paleista važiuoti kitos priemonės, kai prasideda žalias signalas, gali būti įvertinta taip:

$$P_{j_entering} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\mu^x(1-\phi_j)} \quad (6)$$

j_entering

kur, $P_{Jentering}(0)$ yra tikimybė, kad automobilis nelaukia prie stop linijos; U_j nurodo automobilių srauto tankį, aut/s.; C nurodo ciklo trukmę, s; f_j nurodo žalio signalo trumę U_j .

Optimizavimo modelis

Jis sudaromas grupinės kontrolės metodais, naudojant integruotą žalią signalinę grupę, kai kiekviena konfliktuojanti automobilių pora didina gaišties laiką sankirtoje ar tinkle. Daugiamodalinio modelio matematinė išraiška išreikšta tokia formule:

$$\min \Phi(s) = \begin{bmatrix} f_{conflict}(s) \\ f_{delay}(s) \end{bmatrix}$$

$$f_{conflict}(s) = f(\varphi, C)$$

$$f_{delay}(s) = f(\theta, \varphi, C) \tag{7}$$

s.t.

$$s : [\theta, \varphi, C] \in S$$

kur, $f_{conflict}$ nurodo objektyvią saugumo funkcijos padidinimą; f_{delay} vykdo vėlavimo minimizavimą.

1.6. Kelių pralaidumo reglamentas (Highway Capacity Manual)

Kelių pralaidumo reglamentas (HCM 2017) yra šestasis eismo reglamento leidimas, išleistas Transporto tyrimų tarybos JAV (TRB), apima rezultatus pagal daugiau nei 5 milijonas tyrimų, baigtų nuo 2006 HCM 2000 reglamente. Šis naujausias Europos ir viso pasaulio reglamentas nurodo, kokiais standartais reiktų vadovautis norint taikyti sprendimus, susijusius su transportu ar infrastruktūra. Taip pat šiuo reglamentu yra nusakoma miesto gatvių analizė ir gatvės įvertinimas iš automobilių vairuotojų, keleivių, dviratininkų bei pėsčiųjų perspektyvos. Šiame paskutiniame leidime yra su reikšmingai atnaujinta metodika, kurios dėka inžinieriai ir planuotojai naudojami vertindami poveikį eismui ir aplinkai greitkelių projektuose ar gatvių planuose. „HCM 2010“ pristato keletą pirmųjų, integruotų multimodalinių automobilių vairuotojų, viešojo transporto keleivių, dviratininkų ir pėsčiųjų požiūrių į miesto gatvių analizę ir vertinimus. Reglamentu nurodoma kaip tinkamai taikyti mikromoduliavimo analizę ir jų įvertinimo rezultatus panaudoti pristatant aktyvaus eismo valdymą, atsižvelgiant į transporto paklausą ir pajėgumus mieste bei gatvių matavimų rezultatus [2].

Pagrindiniai HCM reglamento aspektai, naudotini atliktame tyrime:

- eismo srautams vertinti ir analizuoti, pėsčiųjų, dviratininkų bei vairuotojų elgesiui vertinti naudoti daugimodalinį analizės metodą, kai yra vertinamas pačių vartotojų požiūris;
- surasti ir pritaikyti tinkamą mikromoduliavimo analizės taikymą ir pačių rezultatų įvertinimą;
- nagrinėti aktyvų eismo valdymą atsižvelgiant į srautus, paklausą ir eismo pajėgumą;
- ištirti pasirinktas konkrečias priemones norimiems tikslams įgyvendinti, bet pateikti rekomendacijas ir gautus rezultatus, kurie padėtų analitikams pagerinti tiriamąjį objektą [20].

HCM vėlavimo modelis

Viso tinklo vidutinis individualus sustojimo ir vėlavimo laiko modelis, pagal atitiktinę atvykimo tikimybę nurodomas šia formule:

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3$$

$$d_1 = \left\{ \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left[\min(1, X) * \frac{g}{C} \right]} \right.$$

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \left[(X-1)^2 + \frac{8kIX}{cT} \right]^{1/2} \right]$$
(8)

kur,

d yra vidutinis signalo vėlavimo laikas tenkantis automobiliui;

d_1 vidutinis vėlavimo gaisaties laikas tenkantis automobiliui;

d_2 nurodo vidutinį nesuplanuotos kelionės stovėjimo laiką;

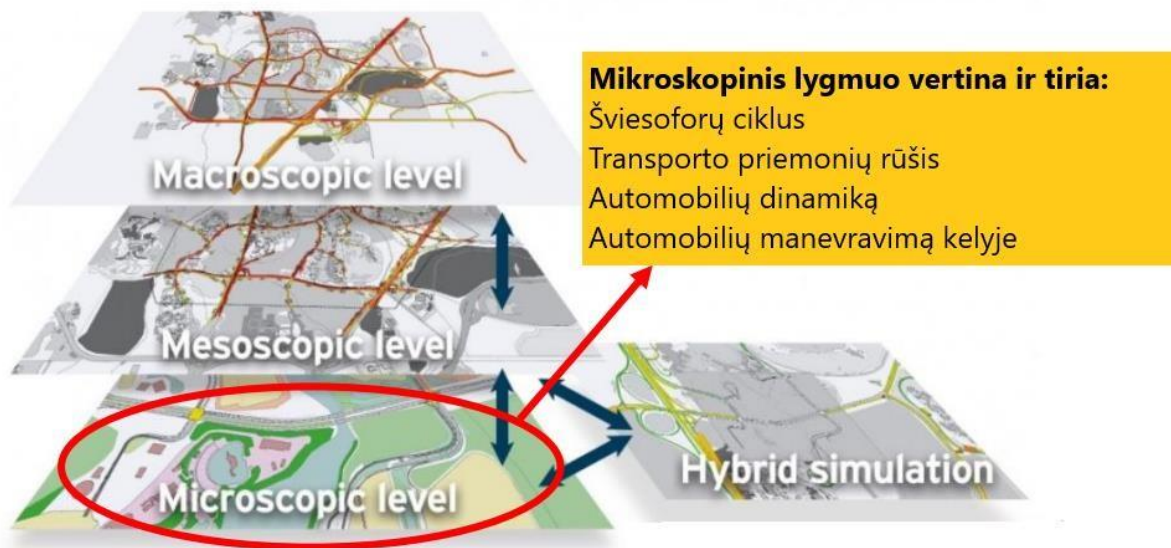
d_3 vidutinis automobilio eilėje laukimo laikas pradėjus simuliaciją, sek.;

PF parodo progresinį tikimybių faktorių.

2. Eismo srautų tyrimo metodika

2.1. Mikroskopinis eismo modelio tyrimas

Atliekant modeliavimą mikroskopiniu eismo modeliavimo principu pagrindinis tikslas yra nustatyti ir tikslingai išskirti kiekvienos transporto priemonės dinamiką, važiavimo trajektorijas ir sąveiką su kitais eismo dalyviais, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą ar intervalą. Palyginus su makroskopiniu eismo modeliavimu, skirtumas toks, kad makroskopinis modelis nevertina individualių transporto priemonių veiksmų ir prilygina eismo srautą vientisam skysčių srautui. Taigi mikroskopinis tyrimas įvertina, kad kiekvienos transporto priemonės vairuotojas sugeba apdoroti ir įvertinti jo kelyje susidariusią situaciją ir atitinkamais veiksmais reaguoti. Tai gali būti paprasčiausias pagreitejimas, staigus stabdymas ar manevravimas eismo juostose.



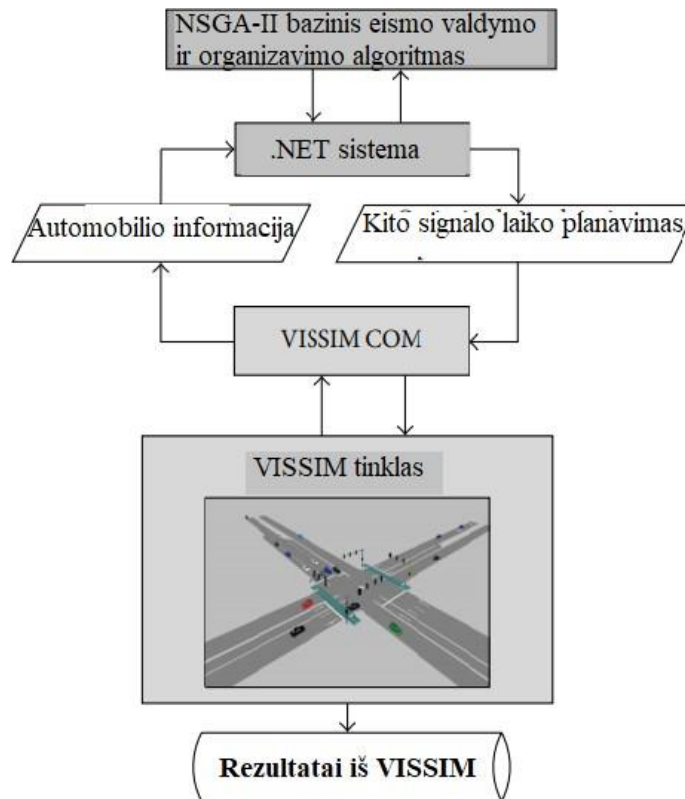
16 pav. Eismo modeliavimo lygmenys

Norėdami turėti kuo tikslesnius duomenis modeliavimui, turime sužinoti pagrindinius sankryžos ar tiriamojo objekto parametrus ir įvertinti šviesoforų ciklus, transporto priemonių rūšis, jų dinamiką bei manevravimą eismo juostose (16 pav.).

2.2 Modeliavimo algoritmai

Tyrimo modeliavimui naudosime PTV Vissim Student programinę įrangą. Tai vartotojui draugiška ir greitai perprantama programa. PTV Vissim leidžia gana nesunkiai sumodeliuoti sankryžos geometriją, analizuoti viešojo transporto prioriteto ir pėsčiųjų schemas, įtraukti reikiamas transporto priemones į modeliuojamą tinklą, taip imituojant tikslų sankryžos ar gatvės atkarpos vaizduojamą modelį. Ši programa parodo visus kelių eismo dalyvius ir jų sąveiką pagal vieną modelį. Moksliskai pagrįsti judesio modeliai užtikrina realų eismo modelį. Programinė įranga suteikia lankstumo keliais aspektais: nuorodų ir jungčių koncepcija leidžia vartotojams modeliuoti geometriją bet kokių sudėtingumu. Transporto priemonės charakteristikos gali būti keičiamos individualiai. Taip pat galimos vartotojo sąsajos su eismo valdymo sistemomis ir jų tinklais. Pagrindiniai programos privalumai prieš kitas yra šie ^[16]:

- suteikia vartotojams didžiausią lankstumą kalibruojant vairavimo įpročius ir eismo sąlygas;
- yra sukurtas naudojant .NET sistemą, kuri suteikia lankstumo papildomoms programoms kurti;
- teikia geriausias priemones signalų valdymo strategijoms kurti, tokioms kaip NEMA valdiklio emuliatorius, transporto priemonės valdomo programavimo (VAP) kalba, signalo valdymo programų programavimo sąsajos (SCAPI) ir kt (17 pav.);



17 pav. Vissim modeliavimo algoritmas ^[16]

2.3. Eismo srautų duomenų analizė

Vienas iš tikslų, norint reorganizuoti sankryžą ar keisti jos parametrus, gautus duomenis iš trumpalaikių eismo srauto intensyvumo matavimų ^[23]. Eismo intensyvumo nepatariama matuoti kalendorinėmis švenčių ir ne darbo dienomis, taip pat tomis dienomis, vykstant populiariems visuomenės renginiams ir įvykiams (turgūs, atlydai ir kt.). Kitu atveju reikia atlikti matavimus kitomis savaitės dienomis, kad išsiaiškintume konkrečių renginių įtaką eismo intensyvumui.

2.1 lentelė. Tiriamų sankryžų eismo srautų duomenys

2019.10.23	Pravažiavo PC „MOLAS“ sankryžą					
	Baršausko g. link Tunelio g.	Baršausko g. į Mola (į kairę)	Apsisukti link Slėnio g.	Baršausko g. link 6 – ojo forto	Molas į dešinę	Iš Molo link Slėnio g.
16.00-18.00	2890	710	170	2785	125	400
2019.10.24	Pravažiavo Breslaujos g. sankryžą					
	Į Baršausko g. link Molo	Link Tunelio g.	Į dešinę Breslaujos g.	Tunelio g. link Molo	Į kairę Breslaujos g. /apsisukti	Baršausko g. link Tunelio g.
16.00-18.00	630	870	610	2670	780	2195

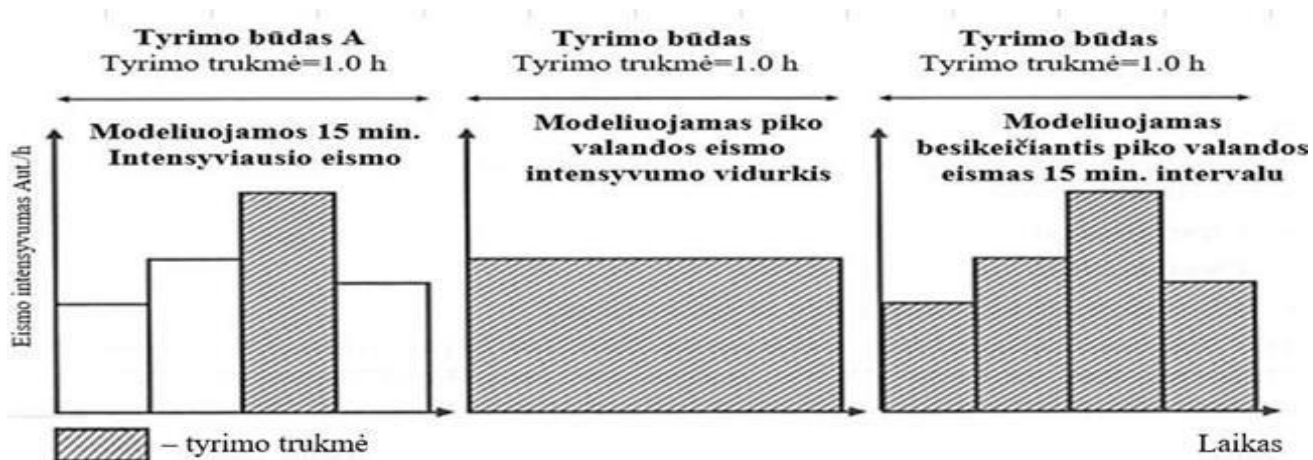
Transporto priemonių kiekis auga didesniu greičiu nei suspėjama padidinti esamų gatvių pralaidumą, ar tiesti visiškai naujus kelius ir gatves. Jeigu anksčiau sankryžose užteko organizuoti eismą siekiant užtikrinti eismo dalyvių saugumą, tai šiandien vienas iš eismo reguliavimo tikslų yra užtikrinti netik saugumą, bet ir tai, kad automobiliai judėtų sklandžiai netrukdydami vienas kitam. Gatvėse vyksta nuolatinis judėjimas netik per sankryžas, bet ir tarp pačių eismo juostų. Įvairius sankryžų valdymo modelius arba šviesoforų signalų keitimosi ciklus galima tikrinti realioje sankryžoje ir stebėti kaip tai veikia, bet eksperimentiniu būdu galima atrasti pačius efektyviausius. Tačiau norint pradėti vertinti ir automobilių vairuotojų galimas klaidas, persirikiavimus gatvėje ir rasti optimaliausias sankryžų ciklų valdymo galimybes, reikia skaičiuoti naudojant įvairius matematinius metodus. Pirmasis Lietuvoje kelių projektavime pradėtas taikyti vienas pažangiausių pasaulyje eismo modeliavimo programų PTV VISSIM modelis^[8]. Pasitelkiant programą, pasirinktame ruože tapo galima preciziškai įvertinti transporto srautus bei iššūkius, numatyti, kaip eismo srautai vystysis ateityje.

Atliekant skaičiavimus, reikia suskaičiuoti važiuojančius automobilius visomis galimomis kryptimis tiriamoje sankryžoje ar gatvės atkarpoje. Surinkus šiuos duomenis, galima tinkamai įvertinti ir analizuoti sankryžos parametrus ir parinkti tinkamus laidumo ir saugumo sprendimus, atlikti eismo reorganizavimą. Eismo srautų skaičiavimus patariama atlikti pirmadienį, antradienį, trečiadienį arba ketvirtadienį. Likusios savaitės dienos yra nerekomenduotinos dėl skirtingų kelionių automobiliu tikslų ir jų įtakos eismo srautams bei jų pasiskirstymui paroje. Transporto srautų tyrimus sankryžoje rekomenduojama atlikti intensyviausiu paros metu arba tuo metu kada tiriamoje sankryžoje susidaro probleminė vieta, kurią norima patobulinti arba išspręsti. Remiantis ilgamete tyrimų statistika, intensyviausias eismas paroje vyksta rytinio piko (07:30 – 08:30 val.) ir vakarinio piko metu (16:30- 17:30 val.). Vakarinis pikas miestuose dažniausiai trunka ilgiau, todėl rekomenduojamas vakarinio piko laikas yra (16:45 – 17:45 val.). Tyrimų atlikimo trukmė sankryžoje turėtų trukti mažiausiai 1 val.

Transporto eismo srautų tyrimai gali būti atliekami 4 skirtingai būdais:

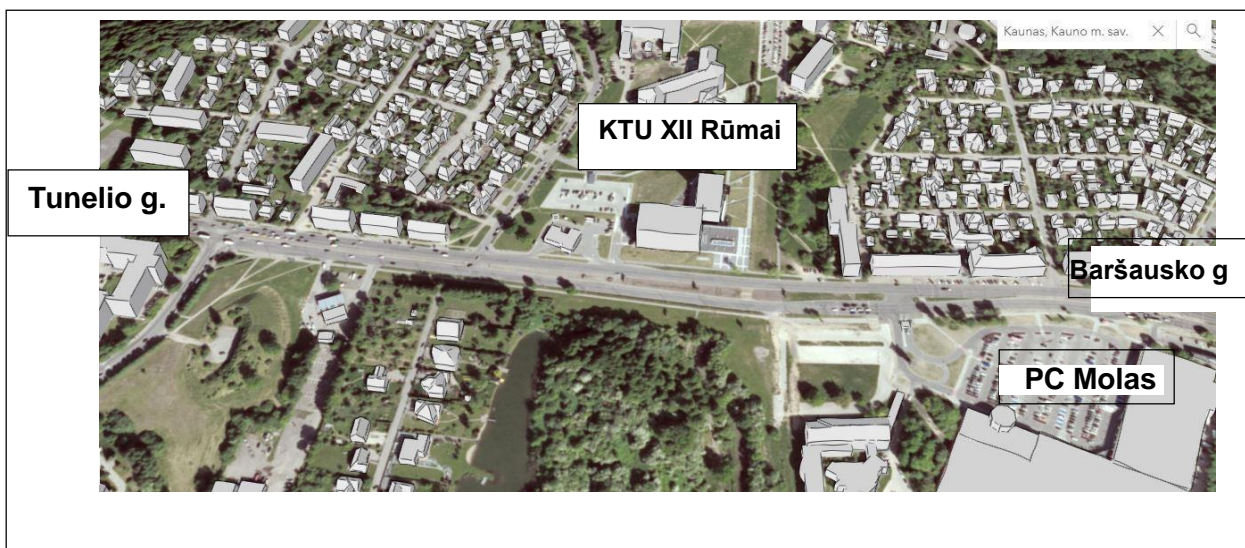
1. Transporto srautų duomenys sankryžoje gaunami iš jutiklių esančių šviesoforuose ar kelio dangoje:
 - Turi būti įvertintas transporto srautų pasiskirstymas visomis galimomis kryptimis sankryžoje.
 - Gauti duomenys įvedami ir pateikiami užpildymo formoje (xlsx).
 - Šis būdas reikalauja informacijos apie kelio atkarpoje ar sankryžoje esančią eismo reguliavimo įrangą.
2. Transporto srautų tyrimai natūriniu būdu, atliekami skaičiuojant srautus realiu laiku stovint prie sankryžos:
 - Pasinaudojus sankryžos transporto srautų ir pėsčiųjų pasiskirstymo formomis, sužymimos visos sankryžos galimos kryptys numeriais ir vertinamas pravažiuojančių automobilių skaičius.
 - Gauti tyrimų duomenys įvedami į pateikiamą užpildymo formą (xlsx).
 - Atliekant tyrimus šiuo metodu reikia įvertinti, ar įmanoma suskaičiuoti transporto srautus realiu laiku.
3. Transporto srautai sankryžoje skaičiuojami filmuojant juos vaizdo kamera.
 - Tyrimai atliekami intensyviausiu paros laiku, prie sankryžos pastačius vaizdo kamerą, kuri vaizdu apima visus transporto srautus sankryžoje. Jei sudėtinga nufilmuoti transporto srautus viena kamera iš vieno tyrimo taško, matavimams atlikti pasitelkiama papildoma vaizdo kamera. Vaizdo filmavimą atlikti iš patogiausios vietos, kuri apima visus arba didžiausią dalį transporto srautų sankryžoje. Taip pat, jei yra galimybė, galima pasinaudoti ir vaizdo informacija kuri nuolat fiksuojama sankryžoje, kadangi nemaža dalis sankryžų filmuojamos vaizdo stebėjimo kameromis.
 - Atlikus transporto srautų tyrimus su vaizdo kamera, gautus duomenis reikia apdoroti. Nufilmuotą vaizdo medžiagą peržiūrėti ir sužymėti visus automobilių judėjimo srautus sankryžoje.
 - Gautus tyrimų duomenis suvesti į pateikiamą užpildymo formą (xlsx).
4. Transporto srautų tyrimai atliekami naudojant bepilotį orlaivį (droną).
 - Bepiločiu orlaiviu transporto srautai sankryžoje filmuojami iš viršaus. Toks metodas naudojamas didžiausiose sankryžose, kuriose filmavimas vaizdo kameromis prie sankryžos yra sudėtingas ir nėra galimybės įvertinti visų krypčių bei prastas matomumas.
 - Gautus tyrimų duomenis suvesti į pateikiamą užpildymo formą (xlsx).
 - Šis metodas sudėtingiausias, nes reikia asmens, kuris gali valdyti bepilotį orlaivį. Reikia techninių galimybių atlikti tyrimus 1 val. Tyrimams įtaką daro oro sąlygos bei paros laikas.

Tyrimų būdus iš esmės galima pritaikyti HCM metodui, kurio matavimo principas yra gana panašus ir dauguma matavimų atliekama pagal šią schemą (18 pav).



18 pav. HCM eismo srauto tyrimo metodai

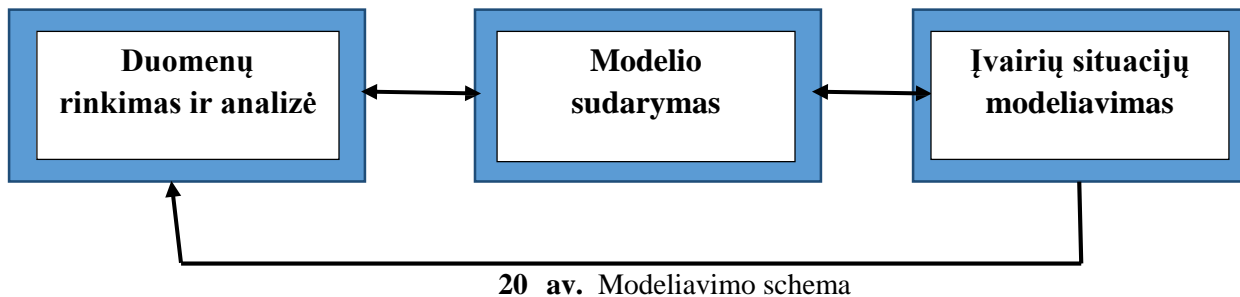
Tyrimui pasirinkta šalimais Kauno “Technologijos universiteto” K.Baršausko g. esanti kelio atkarpa nuo Breslaujos g. – Baršausko g. sankirtos iki PC MOLAS – Baršausko g. esančios šviesoforu reguliuojamos sankryžos (19 pav.). Abi tiriamos sankryžos yra trišalės. Ši gatvės atkarpa turi gana gerą matymo ir stebėjimo zoną, todėl galima gana tiksliai stebėti ir skaičiuoti abiejų pasirinktų sankryžų eismo srautus, veikimo principus bei ieškoti probleminių vietų sprendimo galimybių. Netoliese esantys Dainavos, Gričupio, Aukštųjų Šančių bei 6-ojo forto gyvenamieji rajonai yra tankiai apgyvendinti, bei plečiasi. Taip pat greta gatvės esantis PC MOLAS turi daug darbo vietų ir ten keliaujančių pirkėjų bei darbuotojų. Nepamirškime ir šiaurinėje gatvės pusėje esančio KTU, kuriame taip pat vyksta nemaža studentų migracija iš/i universitetą bei aplink esančius prekybos centrus.



19 pav. HCM eismo srauto tyrimo metodai

Atliekant sankryžos ar gatvės atkarpos eismo organizavimo analizę, reikia įvairių transporto tyrimų duomenų ir parametrų, apibūdinančių eismą sankryžoje, toje pačioje ar aplinkinėse gatvėse, arba visame mieste. Sankryžos nagrinėjimas vyks keliais etapais. Pirmiausia bus surenkami duomenys apie eismo jungtis, eismo juostų skaičių, šviesoforų darbo ciklus, eismo srautų duomenys vakarinio piko metu.

Taip pat išanalizuojama transporto tinklo dalis, transporto priemonių tipai ir jų srautai sankryžoje. Planuojamiems darbams sudaroma modeliavimo schema (20 pav.).



2.4. Pagrindiniai eismo srauto parametrai

Matavimai renkant eismo srautų duomenis buvo atliekami 2019 m. spalio 23-ią ir 24-tą dienomis. Pasirinktose sankryžose matuotas vakarinio piko Breslaujos g. ir PC „MOLAS“ sankryžose esantys transporto priemonių srautai. Kiekvienoje iš sankryžų buvo atitinkamai paskirstyti ir sudėlioti matavimo taškai, kuriuose stebint eismo judėjimą drono ir natūriniu būdu, buvo renkami duomenys kiekvienam sankryžos mazgui ir jame esantiems srautams apskaičiuoti. (21 pav.)



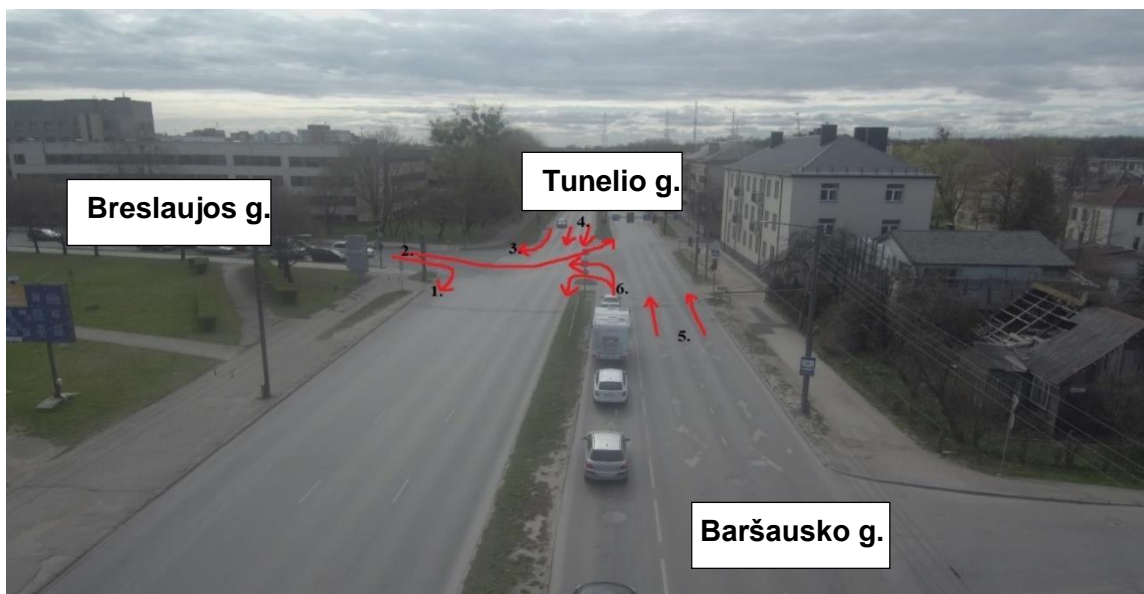
21 pav. PC „Molas“ sankryžos matavimo taškai

Matavimo taškuose gautus duomenis iš kiekvienos sankryžos surašome į lentelę. Taip pat sužymimi ir laiko intervalai, kuriuose buvo gautos atitinkamos reikšmės ir gauti tikslūs duomenys vidutiniams sankryžoje esantiems eismo srautams apskaičiuoti. Matavimai atlikti 16:00 – 18:00 val. matavimų rezultatus užrašant 30 minučių intervalais. Nustatyta, kad vidutinis srautas matavimo laiku yra 3784 aut./h. (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. Eismo srauto PC „Molas“ sankryžos duomenys

Matavimo punktas \ Matavimo laikas	Matavimo laikas			
	16:00 - 16:30	16:30 - 17:00	17:00 - 17:30	17:30 - 18:00
1	709	754	679	748
2	171	182	163	192
3	29	44	42	43
4	551	688	806	648
5	27	42	28	23
6	85	127	83	104

Breslaujos g. sankryžoje taip pat buvo nustatyti matavimo taškai, (22 pav.) kuriuose buvo renkami eismo srautų duomenys vakarinio piko metu. Gauti skaičiavimų rezultatai surašyti lentelėje 30 minučių intervalais. Matavimų metu nustatytas 2982 aut./h. eismo tankis sankryžoje. (2.3 lentelė.).



22 pav. Breslaujos g. sankryžos matavimo taškai

2.3 lentelė. Breslaujos g. sankryža pravažiuojančios transporto priemonės

Matavimo punktas \ Matavimo laikas				
	16:00 - 16:30	16:30 - 17:00	17:00 - 17:30	17:30 - 18:00
1	106	216	213	107
2	206	318	388	203
3	30	57	62	65
4	399	633	542	664
5	128	203	213	198
6	202	341	221	250

Norint tikslingai sumodeliuoti visos gatvės arba gatvės atkarpos srautus, tai yra itin svarbu žinoti koks yra maksimalus kiekis automobilių galintis pravažiuoti per per tirimąją atkarpą. Taip sužinoma ribinė reikšmė, ir kada yra pasiektas gatvės pralaidumo maksimumas. Norint rasti kelio pilno pralaidumo ribas, pirmiausia reikia apskaičiuoti kiekvienos kelio juostos maksimalų eismo srautą kiekviena kryptimi atskirai. Tam būtina žinot juostos plotį ir gatvės nuolydį ^[18].

Pilnas juostos pralaidumas skaičiuojamas pagal formulę:

$$S_0 = 2080 - 42\delta_g G + 100(W - 3,25) \quad (9)$$

Reikšmės:

S_0 - maksimalus juostos pralaidumas; δ_g - gatvės nuolydis. Jeigu 0, tai nuolydžio nėra. Jeigu 1 - automobilis juda įkalnė; G - gatvės nuolydžio reikšmė procentais; W - vidutinis juostos plotumas metrais.

Kadangi formulėje pateikiamas skaičius 2080 nėra tikslus atitikmuo mūsų šalyje naudojamų automobilių parkui pabrėžti, jis sumažinamas iki 1800 ^[18].

Atliekami skaičiavimai pagrindinių sankryžų tinklo eismo juostų pralaidumui nustatyti.

$S_{1m} + S_{1m} + S_{1m} = 1773 \times 3$ juostos = 5319 aut/h. ribinė reikšmė, kuri važiuoja tiesiai link Breslaujos g. kirsdami PC Molas sankryžą

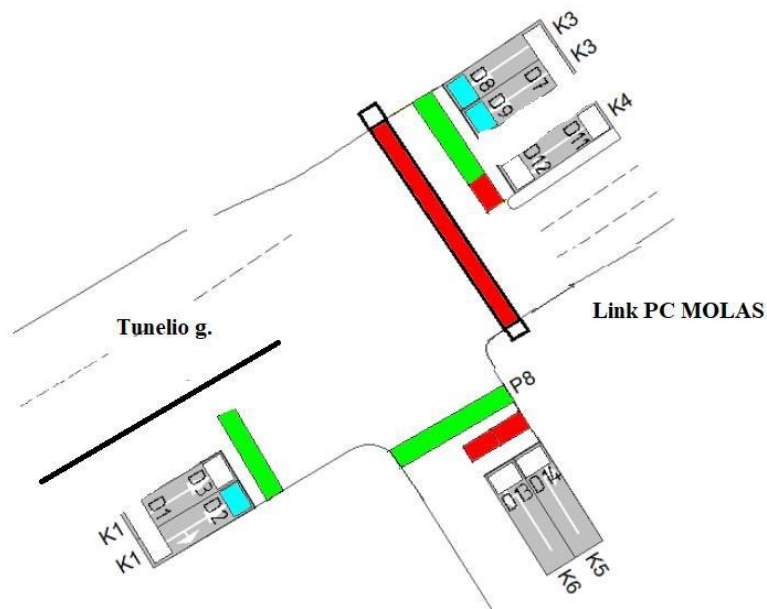
$S_{1b} + S_{1b} = 1783 \times 2$ eismo juostos = 3566 aut/h. ribinė sankryžos pralaidumo reikšmė, kuri atrvyksta nuo Tunelio g. Baršausko g. kryptimi.

2.5. Šviesoforai

Šviesoforų signalai ir ciklai – bene svarbiausias sankryžos elementas. Nuo jo priklauso sankryžos veiksnumas ir optimalumas. Piko metu, kuomet gatvių apkrovimas žymiai padidėja, taip pat visomis kryptimis ir signalinių grupių laikai pasiekia maksimalias reikšmes. Tuomet maksimalūs ciklų laikai susilygina, pradeda formuotis spūstys.

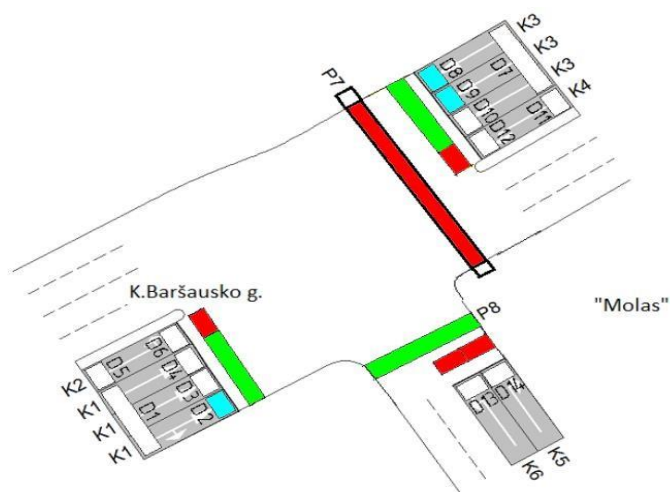
Šiose dviejose šviesoforais valdomose sankryžose ciklo ir fazių trukmės laikai priklauso nuo sankryžose esančio transporto priemonių skaičiaus ir veikia pagal srautą, esantį sankryžose. Pagrindiniais galima išskirti šias tokio valdymo tipo savybes:

- žalias šviesoforo signalas neįsijungia, jei viena iš sankryžos sekcijų yra tuščia ir neturi įvažiuojančių transporto priemonių;
- kiekviena žalios šviesoforo reikšmės spalva turi minimalų ir maksimalų veikimo laiką;
- toks sankryžos valdymas, mažina transporto priemonių gaišties laiką ir didina sankryžos pralaidumą;



23 pav. Sankryžos detekcijos schema

Baršausko g. priskiriama C1 gatvės kategorijai, kuri pasižymi miesto plano funkcinėmis ir kompozicinėmis ašimis, taip pat pagrindinėmis keleivių viešojo susisiekimo linijomis bei miesto transporto vidaus ryšiais ir jų pasiekiamumu. Breslaujos g. priskiriama prie B2 kategorijos gatvių, kurių pagrindinė paskirtis yra užtikrinti susisiekimą tarp miesto funkcinėse zonų, rajonų, centro, didžiųjų transporto stočių, ryšiai su užmiesčio keliais. Šioje gatvės atkarpoje pagrindinė srauto dalis atitenka Baršausko gatvės atkarpai, kadangi didžiausi automobilių srautai keliauja į centrą, Tunelio gatvę bei link 6-ojo forto žiedo. Po to išsiskiria į Petrašiūnų, Pramonės pr. ir Kovo 11-osios gatves.



24 pav. Sankryžos detekcinės kilpos

Tiriamos ir koreguojamos gatvės atkarpos sankryžose esančios detekcinės kilpos, pavaizduotos (23 pav., 24 pav.). 2017 m. atnaujinus sankryžą, o 2019 m. pradėjus veikti Kauno miesto „Eismo valdymo centrai“ prie PC MOLAS ir prie Breslaujos g. eismo srautų duomenys yra kaupiami ir saugomi duomenų bazėje. Taip pat sankryžos stebimos vaizdo kameromis, todėl galima stebėti srautus realu metu, taip gerinant jos pralaidumą, analizuojant esamus trūkumus. Sankryžose matoma detekcija, kuri yra įmontuota truputį toliau nuo „stop“ linijos. Ši indukcinė kilpų detekcija nefiksuoja transporto srautų, tačiau yra reikalinga šviesoforo signalinių grupių laikų parinkimui nustatyti ir sureguliuoti. Jei toliau nuo „stop“ linijų esanti detekcija nefiksuoja transporto priemonės ilgiau nei 3 – 5 sekundes ir yra praėjęs minimalus signalinės grupės žaliojo signalo laikas, tuomet išsijungia mirksintis žaliojo šviesoforo signalas ir yra pereinama prie kitos fazės, tap sankryžoje išvengiant nereikalingo prastovos laiko.



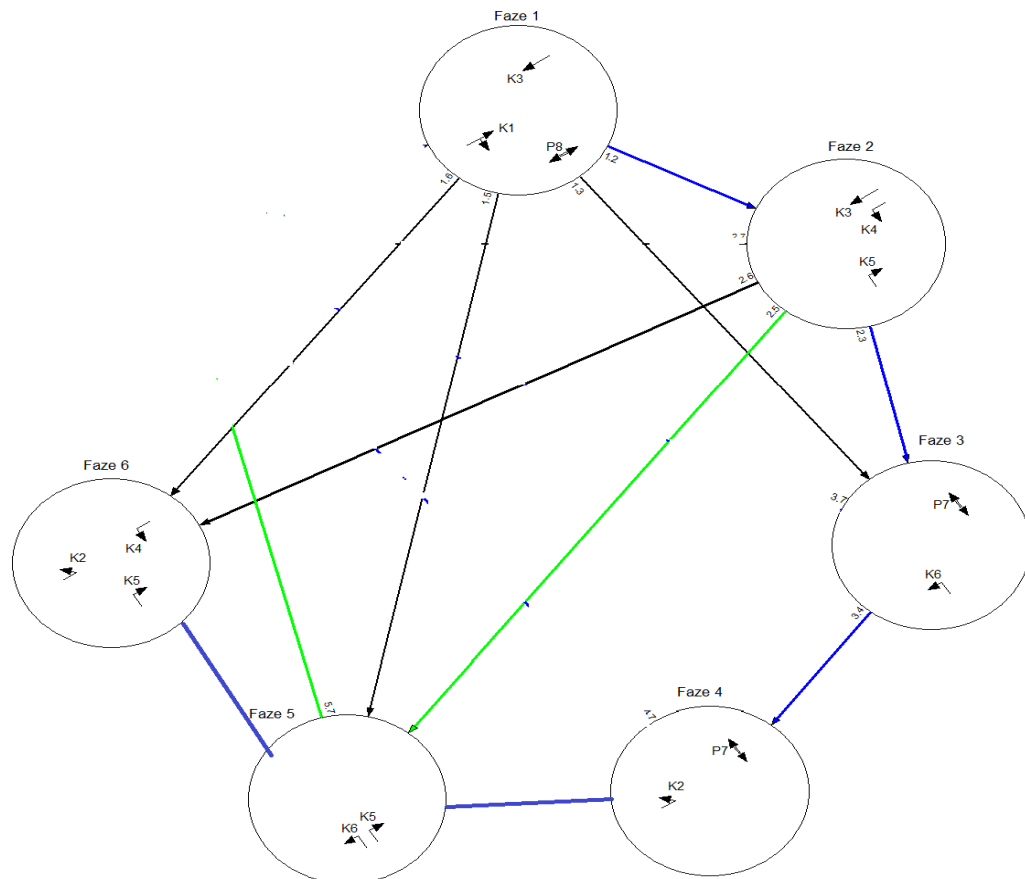
25 pav. PC „MOLAS“ šviesoforinės sankryžos valdymas

Šviesoforų signalinės grupės: K1 – Link 6-ojo forto ir į PC MOLAS; K2 – Apsisukimas link Tunelio g.; K3 – Baršausko g. link Tunelio g.; K4 – Pasukimas į kairę link PC MOLAS nuo 6-ojo forto arba apsisukimas; K5 – Išvažiavimas iš PC MOLAS link 6-ojo forto; K6 – Išvažiavimas iš PC MOLAS link Tunelio g; P7 ir P8 – pėsčiųjų perėjos (25 pav.).

PC „MOLAS“ šviesoforinės sankryžos valdymas

Šioje sankryžoje eismas valdomas 6 fazėmis ir 6 signalinėmis grupėmis (26 pav.).

- **Fazė 1.** Transporto priemonių eismas leidžiamas tiesiai Baršausko g. ir P8 perėja žalias signalas pėstiesiems.
- **Fazė 2.** Automobiliams leidžiama važiuoti į PC MOLAS sukant į kairę, tiesiai link Tunelio g. bei išvažiuoti iš PC MOLAS.
- **Fazė 3.** Pėsčiųjų mygtuko paspaudimo atveju įsijungia trečia fazė, kuri leidžia pėstiesiems kirsti Baršausko g. ir leidžiama išvažiuoti iš PC MOLAS link Tunelio g.
- **Fazė 4.** Apsisukimas į dešinę link Tunelio g. bei P7 perėjos žalia signalas pėstiesiems.
- **Fazė 5.** Leidžiamas išvažiavimas iš PC MOLAS abiejomis kryptimis, link Tunelio g. ir link 6-ojo forto.
- **Fazė 6.** Leidžiama atlikti du kairiuosius posūkius į PC MOLAS ir apsisukti link Tunelio g.



26 pav. Sankryžos valdymas fazėmis

Tikslingai ir nuosekliai sureguliuoti šviesoforų ciklai – bene svarbiausias tinkamai veikiančios šviesoforu reguliuojamos sankryžos elementas. Šviesoforų signalinė grupė tai šviesoforų grupė skirta

viena kryptimi važiuojančių transporto priemonių eismui reguliuoti (pvz.: signalinė grupė skirta važiuoti tiesiai arba posūkiui į kairę. Žemiau pateikiamos sankryžų lentelės, kuriose yra fazių skaičius ir ciklų trukmės (2.4 lentelė.).

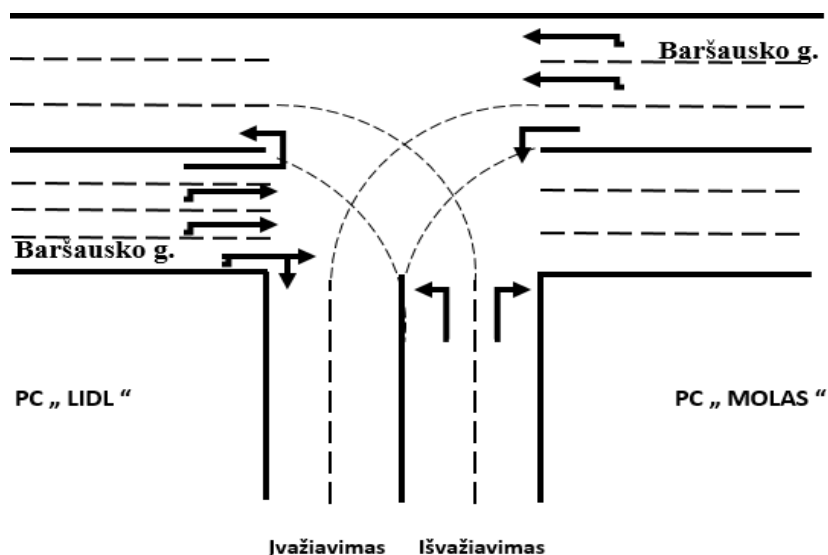
2.4 lentelė. Matavimo metu sankryžose veikiantys šviesoforų valdymo ciklai

„PC Molas“ reguliavimo fazių skaičius	Ciklo trukmė	Žalio signalo trukmė	Raudono signalo trukmė	Geltono signalo trukmė	
				Iš žalio	Iš raudono
1.Tiesiai: Baršausko g. – Baršausko g. (link Slėnio g.)	2:11.45	1:27.94	0:38.91	0:02.75	0:01.85
2.Į kairę: Baršausko g. – Molas; Baršausko g. (galimas apsisukimas)	2:12.46	0:38.13	1:29.62	0:02.85	0:01.86
3.Į kairę: Baršausko g. – Baršausko g. (link Slėnio g. – apsisukimas)	2:09.65	0:49.51	1:17.00	0:02.39	0:00.75
4.Baršausko g. – Baršausko g. (link VI forto)	2:09.65	0:49.51	1:17.00	0:02.39	0:00.75
5.Molas – Baršausko g. (link VI forto)	2:11.30	0:40.62	1:27.40	0:02.13	0:01.15
6.Molas – Baršausko g. (link Slėnio g.)	2:11.92	0:28.16	1:39.96	0:02.95	0:00.85
Breslaujos g. reguliavimo fazių skaičius	Ciklo trukmė	Žalio signalo trukmė	Raudono signalo trukmė	Geltono signalo trukmė	
				Iš žalio	Iš raudono
1.Į dešinę: Breslaujos g. (link Molo)	2:12.45	0:27:43	1:40:25	0:02.75	0:01.85
2.Į kairę: Link tunelio g.	2:12.45	0:27:43	1:40:25	0:02.85	0:01.86
3.Tiesiai arba į dešinę: Baršausko g. – Breslaujos g.	2:10.65	1:11:45	1:09:52	0:02.39	0:00.75
4.Tiesiai: Baršausko g. (link Molo)	2:10.65	1:11:45	1:09:52	0:02.39	0:00.75
5.Į kairę arba apsisukti: Breslaujos g. arba Baršausko g.	2:11.27	0:24.62	1:45.40	0:02.13	0:01.15
6.Tiesiai: Tunelio g.	2:10.95	1:29.16	0:39.96	0:02.95	0:00.85

Pateiktuose laiko matavimuose matyti, kad abiejų sankryžų šviesoforo ciklų trukmė yra labai panaši – trunka apie 2 minutes 10 sekundžių. Dažniausiai naudojami 60 sek., 70 sek., 90 sek., 120 sek., 130 sek. ir 180 sek. ciklo laikai Pvz.: žaliasis šviesoforo signalas 1-ai signalinei grupei įjungiamas kas 60 sek. Nagrinėjamame tinkle taip pat galioja dažniausiai naudojama trukmė – 130 sek.

2.6. Eismo juostos ir konfliktiniai taškai sankryžose

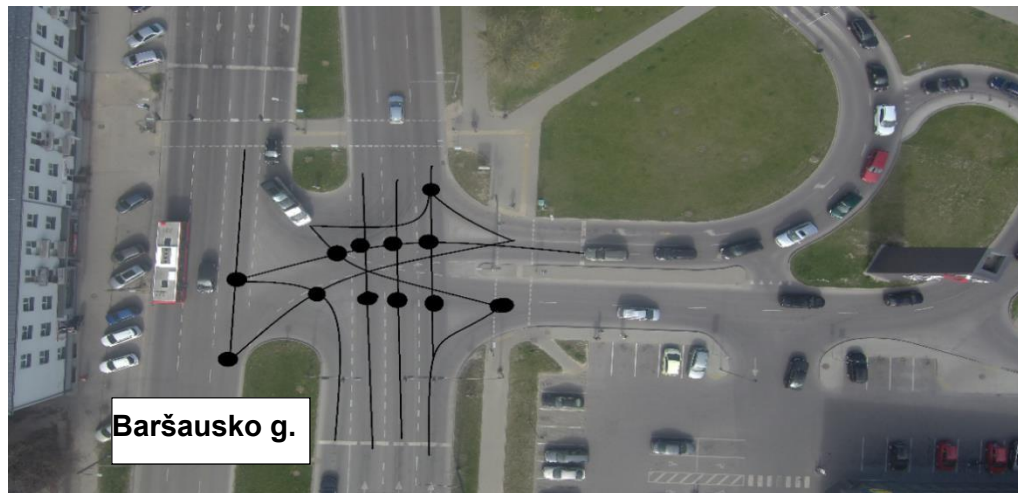
Norint sudaryti tinkamą automobilių srautų modelį ir modeliuojant sukurti efektyvią srautų valdymo sistemą, reikia tinkamai išnagrinėti vietą, kurioje modelis bus taikomas. Mūsų atveju yra tikslinga įvertinti sankryžos parametrus, tokius kaip jos geometrija, juostų skaičius ir kelio ženklinimas. Žemiau pateikiama sankryžos esančios prie PC MOLAS principinė schema (27 pav.) ir sankryžos susikertančių kelių lentelė (2.5 lentelė).



27 pav. Principinė sankryžos schema

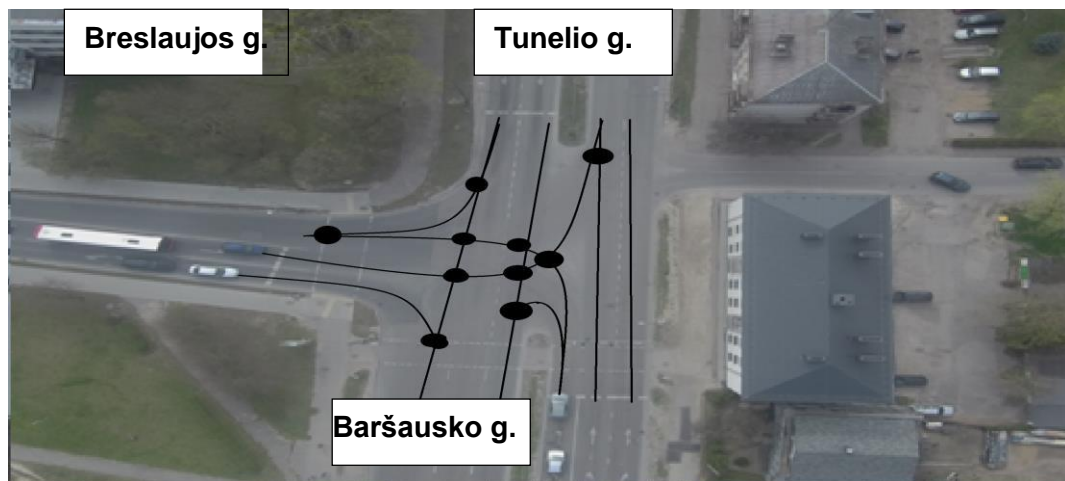
Pagal sankryžos principinę schemą matome, kad iš K. Baršausko g. į PC MOLAS teritoriją galima įvažiuoti tiek iš vienos tiek iš kitos gatvės krypties, išvažiavimas iš prekybos centro turi dvi atskiras eismo juostas taip pat reguliuojamas šviesoforo signalais, iš kurių vienas skirtas pasukti dešinėn, o kitas kairėn. Nuo stoties atvykstant Baršausko gatve turime 4 eismo juostas, iš kurių ketvirtoji kairiausia skirta tik apsisukti, kitos trys skirtos važiuoti tiesiai, o pati pirmoji pasukti į PC MOLAS teritoriją. Pravažiavus sankryžą turime 3 likusias eismo juostas. Važiuojant kryptimi link Breslaujos g. turime 3 eismo juostas, iš kurių pirmoji ir antroji skirta važiuoti tiesiai, o trečioji pasukti į prekybos centrą arba apsisukti (2.5 lentelė).

Mieste esančios gatvės ir transporto mazgai (sankryžos, sankirtos) privalo užtikrinti gyventojams patogų susisiekimą, pralaidumą ir eismo dalyvių saugumą. Sankryžos turi atitikti reikalavimus priklausomai nuo tam laikotarpiui būdingą eismo intensyvumą ir transporto priemonių srautus. Tačiau net ir šviesoforu reguliuojamose sankryžose konfliktinių taškų išvengti nepavyksta. Šviesoforo sekcijos ir valdymo ciklai sumažina konfliktinių taškų susikirtimų skaičių, tačiau eismas niekada nevyks taip idealiai, kad visi automobiliai pajudėtų ir prasilenktų netrukdydami vieni kitiems, o dar ir kelių eismo taisyklių nesilaikymas, kuri viena iš dažnų priežasčių įvykti eismo įvykiams šviesoforais reguliuojamose sankryžose (28 pav.) ir (29 pav.) matome nagrinėjamose sankryžose pažymėtus konfliktinius taškus.



28 pav. Konfliktiniai taškai PC Molas sankryžoje

Šviesoforu reguliuojamoje sankryžoje dažniausiai pagal nerašytą taisyklę pagrindine gatve laikoma daugiau eismo juostų turinti sankryžos dalis. Todėl nors ir esant šviesoforiniam sankryžos valdymo tipui transporto priemonės, atliekančios dešinį posūkį iš šalutinės ar mažesnės reikšmės gatvės, konfliktinis srautas sankryžoje yra pagrindinės gatvės transporto srautas, judantis tiesiai sankryžos krypties, į kurį įsiliejama iš kitų gatvelių ar išvažiavimų ir parkavimo vietų, aikštelių.



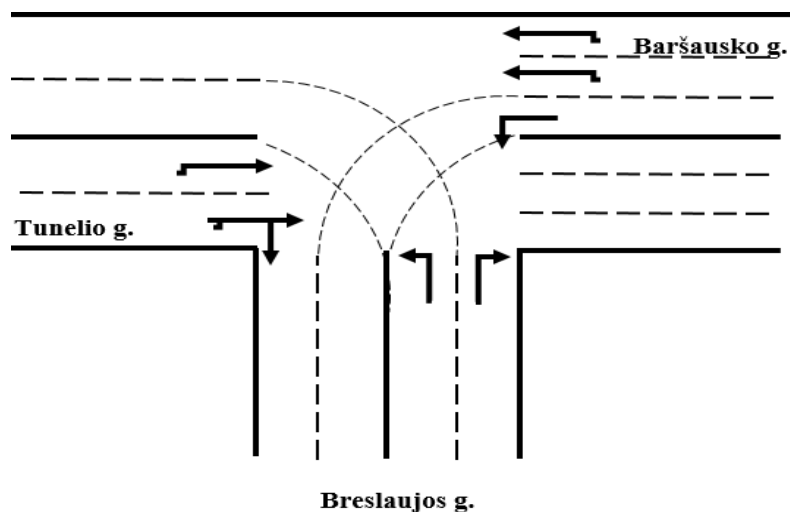
29 pav. Konfliktiniai taškai Breslaujos g. sankryžoje

Transporto priemonės, atliekančios kairįjį posūkį iš pagrindinės gatvės, tiesiogiai konfliktuoja su priešpriešiais tiesiai važiuojančiu srautu ir su sukančiu į dešinę srautu, kadangi vieną transporto srautą reikia perkirsti, o į kitą įsilieti. Iš šalutinės gatvės tiesiai važiuojančios transporto priemonės turi konfliktinių taškų su visais pagrindinėje sankryžos dalyje esančiais srautais. Ypatingai pavojingas kairysis posūkis tampa vėlai vakare, kai yra išjungiami šviesoforai, tuomet dar pavojingiau atlikti šį manevrą nereguliuojamoje sankirtoje.

2.5 lentelė. PC „Molas“ sankryžos pravažiuojančios tr. Priemonės

Gatvės pavadinimas	Juostų skaičius išvažiuoti iš gatvės	Juostų skaičius įvažiuoti į gatvę	Juosta/os važiuoti tiesiai	Juosta/os važiuoti į dešinę	Juosta/os važiuoti į kairę arba apsisukti
Baršausko į 6 fortą	1	2	3	1	1
Baršausko į stotį	1	1	2	1	1
Įvažiavimas/išvažiavimas į PC „Molas“	2	2	0	1	1

Kita analizuojama sankryža, esanti kitoje gatvės atkarpoje yra gana panaši savo struktūra ir geometrija į esančią prie PC „Molas“ (30 pav.). Šioje sankryžoje K. Baršausko g. jungiasi su Breslaujos ir Tunelio gatvėmis, bei yra trišalė T formos. Eismo juostų skaičius taip pat mažėja iš trijų į dvi, kertus sankryžą Baršausko g. link Tunelio gatvės. Įvažiavimui į Breslaujos g. yra trečioji eismo juosta skirta pasukti tik į dešinę atvykstant nuo 6-ojo forto, o nuo Tunelio gatvės iš pirmosios juostos galima važiuoti tiek tiesiai, tiek pasukti į dešinę (2.6 lentelė.). Sankryžos principinė schema yra gana panaši, tik iš Tunelio g. krypties turi mažiau eismo juostų, kurios kertus sankryžą padidėja viena papildoma.



30 pav. Principinė sankryžos schema

Nereguliuojamose sankryžose, kuomet neveikia ar dėl mažo transporto priemonių srauto išjungiamas šviesoforas, žinoma sudėtingiausiu laikomas yra automobilių atliekamas kairysis posūkis iš šalutinės gatvės ar išvažiavimo, kuris kertasi ir konfliktuoja su visų kryptių pagrindinės gatvės transporto srautais. Taip pat konfliktuoja iš šalutinės gatvės eismu priešpriešine tiesia kryptimi bei į dešinę sukančiu eismu.

Transporto priemonių atliekami dešinieji posūkiai iš pagrindinės gatvės kaip konfliktiniai taškai gali būti optimizuoti ir sumažintas jų skaičius, kai jiems yra skiriamos atskiros eismo juostos dar vadinamos „kišenėmis“ arba sankryžoje yra įrengti gana nemaži posūkių įveikimo spinduliai.

2.6 lentelė. Breslaujos g. sankryžos pravažiuojančios tr. priemonės

Gatvės pavadinimas	Juostų skaičius išvažiuoti iš gatvės	Juostų skaičius įvažiuoti į gatvę	Juosta/os važiuoti tiesiai	Juosta/os važiuoti į dešinę	Juosta/os važiuoti į kairę arba apsisukti
Baršausko į 6 fortą	1	2	3	1	1
Tunelio g.	1	1	2	1	1
Breslaujos g.	2	2	0	1	1

2.7. Pagrindinės sankryžose vyraujančios problemos

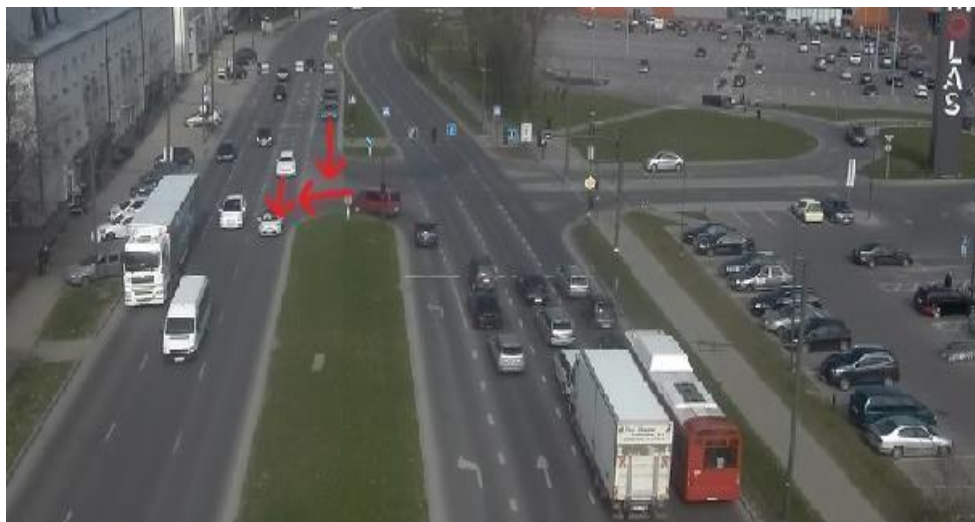
Sankryžų paskirtis funkcionuoti tada, kai dideli transporto priemonių srautai dažnai turi dalintis bendra erdve su kitomis transporto priemonėmis ir pėsčiaisiais. Norint, kad sankryžos įveikimas būtų efektyvus ir be neskaldumų sankryžą reikia priimti daug sprendimų, pavyzdžiui, parinkti tinkamą juostą; manevruoti norint patekti į tinkamą srautą; reikia sulėtėti, sustoti ar išibėgėti; ir reikia pasirinkti saugų tarpą manevrui atlikti. Neišvengiamu rodikliu tampa avarijos sankryžose (31 pav.).

Kaip matome lentelės fragmente iš eismo statistikos departamento, per 2018 metus Kaune pagrindinėse gatvėse buvo sužeista nemažai žmonių, tap pat ir mirčių nepavyko išvengti. Daugiausiai avarių ten, kur žinoma didžiausi automobilių srautai ir pėsčiųjų judėjimas. Per 2018 metus mano nagrinėjamoje atkarpoje įskaitinių įvykių kur buvo sužaloti žmonės arba skaudžiai pasibaigusiujų įvykių 9, todėl sankryžos gatvės atkarpa nepateko į daugiausiai eismo įvykių turinčias, tačiau žymiai daug buvo neįskaitinių įvykių, tokių kaip nedideli automobilių susidūrimai dėl pakitusios ar nepatogios eismo tvarkos. Tokie nors ir nedideli įvykiai iškart sudarydavo sąlygas formuoti automobilių spūstims.

Gatvės pavadinimas	Įskaitiniai eismo įvykiai	Žuvo	Sužeista
Taikos pr.	25	1	30
A. Juozapavičiaus pr.	22	1	22
Jonavos	14	0	14
Šiaurės pr.	14	3	18
V. Krėvės pr.	14	0	14
Kovo 11-osios	13	0	15
Pramonės pr.	13	1	17
Vytauto pr.	13	1	14
R. Kalantos	11	0	17
Varnių	11	0	13
Raudondvario pl.	10	0	13
Savanorių pr.	30	0	38

31 pav. Avarių statistika sankryžose ^[28]

Sankryžos nors ir valdomos šviesoforais, tačiau vieno didelio trikdžio net ir jų pagalba nepavyksta išvengti – tai konfliktiniai taškai ir susikirtimai sankryžoje. Prie PC MOLAS esanti sankryža turi vieną ypač pavojingą konfliktinę vietą. Transporto srautas norintis apsisukti ir važiuoti atgal link Tunelio g. turi praleisti priešpriešais nuo 6-ojo forto atvykstančias transporto priemones, tačiau jiems matomumą užstoja norintys pasukti kairėn į PC MOLAS automobiliai, ir dar negana to priešpriešais atlekiantys vairuotojai dažnai viršija greitį, todėl dar labiau apsunkina situaciją apsisukimo manevrui atlikti (32 pav.).



32 pav. Konfliktinis sankryžos įveikimas

Tokia situacija reikalauja naujų sprendimų, būtina atlikti pakeitimus šviesoforo ciklą ar sankryžos geometrijos reorganizavime, kadangi nemažas transporto priemonių skaičius atlieka šį manevrą ir kelią pavojų sau bei kitiems eismo dalyviams. Taip pat apsisukti didelių gabaritų krovininiams automobiliams nėra lengva, dėl iš dešinės pusės nestabdomai atvykstančio srauto.



33 pav. Viešojo transporto trūkumai

Viešasis transportas – neatsiejama miesto dalis. Juo naudojasi daug miesto gyventojų, studentų, moksleivių, užsienio turistų. Breslaujos ir Baršausko gatvių sankirtos turi po vieną viešojo transporto stotelę. Prie PC „Molas“ ji įrengta kiek toliau už sankryžos, Breslaujos g. 50 metrų už sankryžos, o tai nėra labai patogiu iš paskos važiuojantiems automobiliams. Pagrindinė šių stotelių bėda ta, kad jos neturi vadinamos „kišenės“ sustojimui, o troleibusas, autobusas ar maršrutinis taksi sustoja tiesiog pirmoje eismo juostos važiuojamojoje dalyje (33 pav.).

Pašilės g. stotelė kuri yra prie PC „Molas“ kaip ir Breslaujos g. stotelė turi nemažai ten sustojančio viešojo transporto. Šios stotelės rikiuojasi maršrute vieną po kitos, todėl naujų maršrutų į šį tinklą neįsiliesia. Iš viso 8 viešojo transporto dėmenys aptarnauja šias stoteles, važiavimo laikai yra gana dažni, todėl vairuotojams dažnai tenka stovėti ir laukti kol troleibusas arba autobusas pajudės arba persirikiuoti į kitą eismo juostą, tačiau ta padaryti ne visada yra lengva.

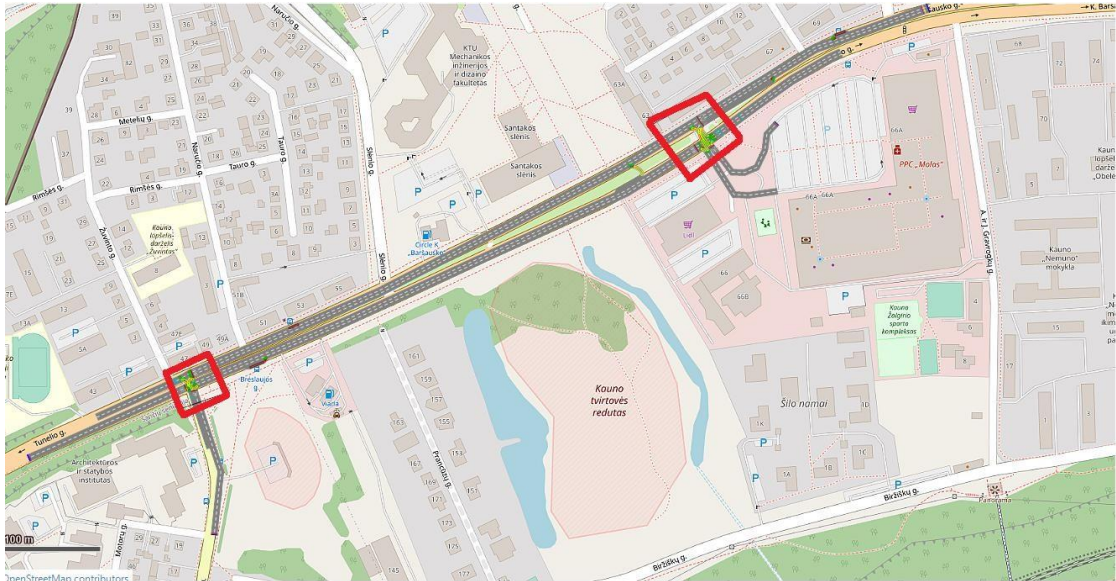
13 Centras - Islandijos pl. ▼		
Lainų sienis		
Breslaujos g.		
	darbo diena	poilsio ir šventinė diena
Pašilės g.	4 51	
6-asis fortas	5 12 31 51	5 58
Vienybės g.	6 11 31 43 56	6 34 57
Girstutis	7 09 18 29 40 49 57	7 20 40
Kovo 11-osios gimnazija	8 05 13 22 30 38 50	8 01 24 39 53
Draugystės parkas	9 02 13 26 40 51	9 07 22 36 51
Turgavietė	10 04 17 29 41 53	10 07 21 36 51
Pakraščio g.	11 03 16 28 42 55	11 06 24 41 56
V. Landsbergio-Žemkalnio g.	12 08 20 31 44 56	12 09 22 34 49
Čečėnijos aikštė	13 10 22 35 47	13 02 15 28 42
Eiguliai	14 00 11 23 37 49	14 00 13 26 39 54
S. Žukausko g.	15 02 15 28 37 46 56	15 09 22 35 48
Ašigalio g.	16 06 16 25 35 46 55	16 01 14 27 43 56
Ukmergės g.	17 04 14 24 34 44 53	17 11 27 45
Šiaurės pr.	18 03 15 27 40 51	18 03 21 39 57
Pėsčiųjų tiltas	19 05 18 31 44 58	19 16 38
„Pilėnų“ progimnazija	20 12 26 39 53	20 01 23 45
	21 07 21 36 51	

34 pav. Viešojo transporto sustojimo laikai

Grafike (34 pav.) matome, kad vien tik 13-tojo maršruto troleibusas, 16:00 - 18:00 valandos intervale stotelėje sustoja 12 kartų. Kaskart stabteldamas jis užkerta kelią automobiliams atvažiuojantiems pirmąją eismo juosta nuo Tunelio ar Breslaujos gatvių.

3. Eismo srautų modeliavimas

Sankryžų tinklui braižyti naudojama PTV VISSIM modeliavimo programa. Pagal turimus eismo duomenis, nubraižomas gatvės ir sankryžų tinklas. Parenkame esamas eismo juostas, nustatome jų geometrinius parametrus. (35 pav.)



35 pav. Transporto tinklas

Kitas labai svarbus etapas – teisingai pateikti į tinklą įvažiuojančių transporto priemonių skaičių ir tikslingai nurodyti jų maršrutus. Norėdami parinkti tinkamą maršrutą ir jo užpildymą, modeliavimo aplinkoje galime nurodyti procentinę išraišką, kuri važiuos pasirinkta kryptimi. (36 pav.) Importuodami duomenis naudojame statinį kelionės maršruto parinkimo metodą. Esant būtinybei, parenkami automobilių tipai, kurie galės važiuoti tam tikra gatvės dalimi ar maršrutu. Šiame modelyje nenaudosime sunkvežimių iš PC Molas išvažiavimo, nes ten jie nevažiuoja.

Link	AllVehTypes	VehClasses	RouteChoiceMeth	Count	No	DestLink	RelFlow(0)
1: Baršausko link Tunelio g	<input checked="" type="checkbox"/>		Static	4	1	10008: Išvažiavim...	32,000
8: Tunelio link Baršausko	<input checked="" type="checkbox"/>		Static	2	2	9: Baršausko link T...	60,000
10: Breslaujos link Baršausko/Tune...	<input checked="" type="checkbox"/>		Static	3	3	10015: Apsukim...	2,000
4: Iš molo	<input type="checkbox"/>	10,60	Static	4	4	10013: Baršausko...	6,000

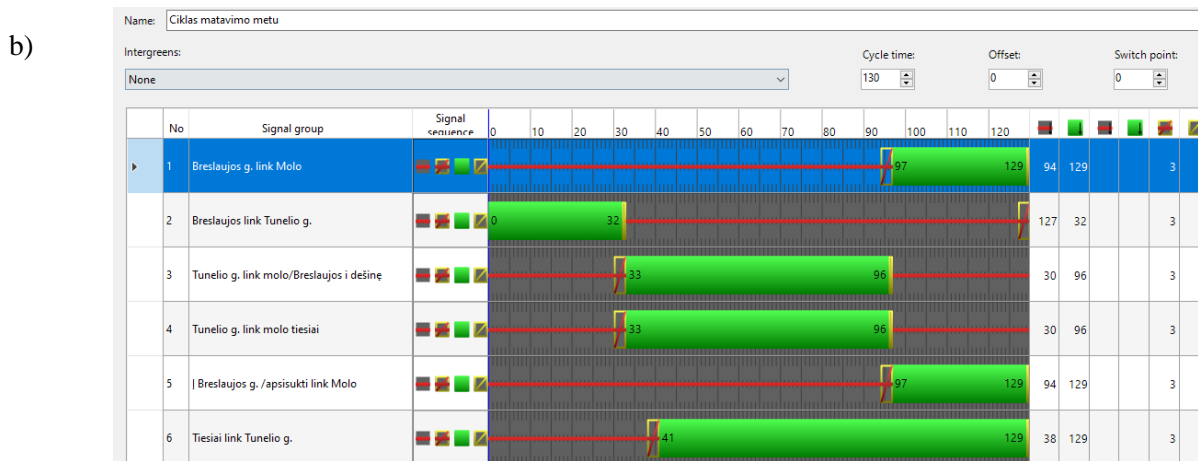
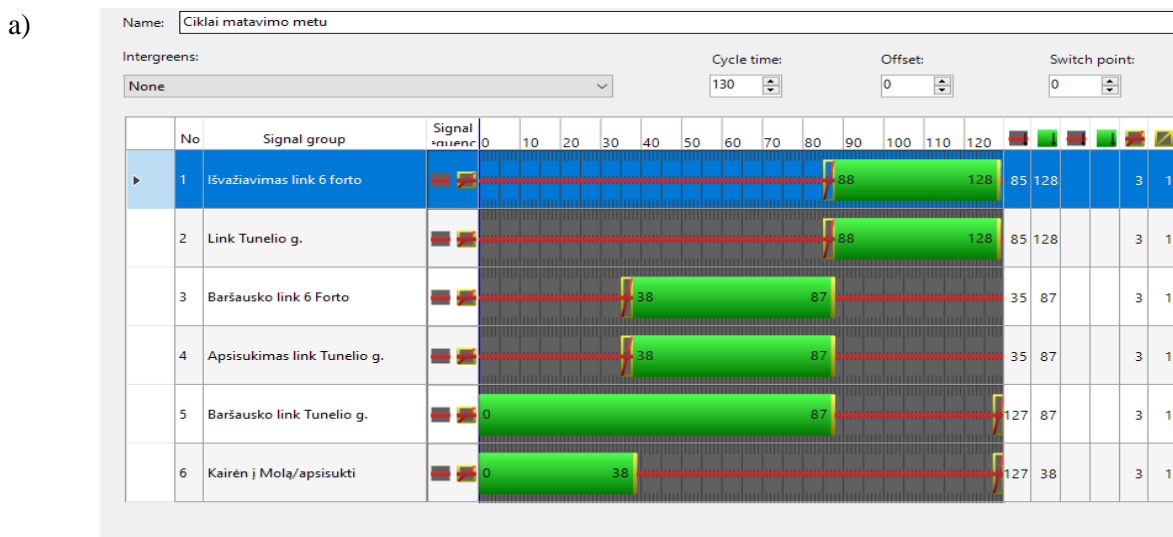
36 pav. Maršrutų duomenys modeliuojant

Skaičiuojant eismo intensyvumą, turimi duomenys buvo 2 val. trukmės, todėl jie buvo padalinti į 2 dalis ir suapvalinti į didžiąją pusę, taip gavome valandos trukmės automobilių srauto apimtį. Duomenis priskiriame prie atitinkamos gatvės pradžios atkarpos, nuo kurios prasidės automobilių srauto pradžia. Tai bus Baršausko g. – Pašilės g. sankirta, PC „Molas“ išvažiavimas, Breslaujos g. – Tunelio g. sankirta ir Breslaujos g. atkarpa likus apie 500m iki sankryžos su Baršausko gatve. Žemiau pateikiamos pradinių srautų gatvių apimtys (37 pav.)

Link	Volume(0)
10: Breslaujos link Baršausko/Tune...	700,0
8: Tunelio link Baršausko	1640,0
1: Barsausko link Tunelio g	1620,0
4: Is molo	270,0

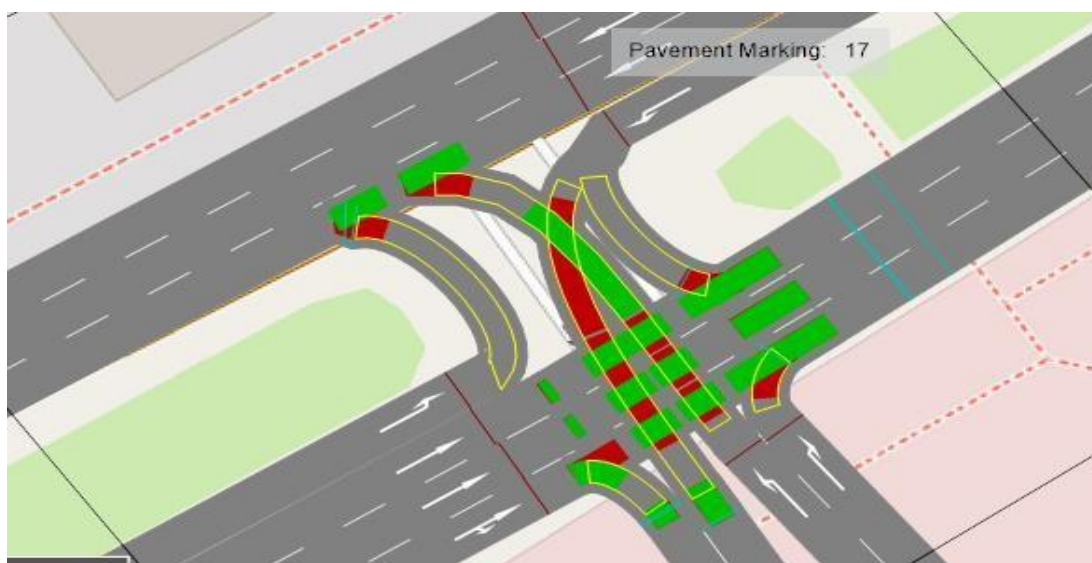
37 pav. Eismo srautų apimtys aut./val

Šviesoforo ciklai sudaromi pagal gautus rezultatus, ciklo trukmė išlieka tokia pati – apvalinama iki 130 sek., Naudojama standartinė spalvų seka, kai žalia spalva keičia raudoną mirksėdama, o raudona persijungia iš geltonos per 1 sek. Kitose šalyse šie parametrai skiriasi, todėl į juos reikia atkreipti dėmesį sudarinėjant ciklus ir naudoti toje šalyje priimtus standartus. Žemiau pateikiami abiejų sankryžų šviesoforų valdymo ciklai, kurie užfiksuoti duomenų rinkimo dieną (38 pav.)



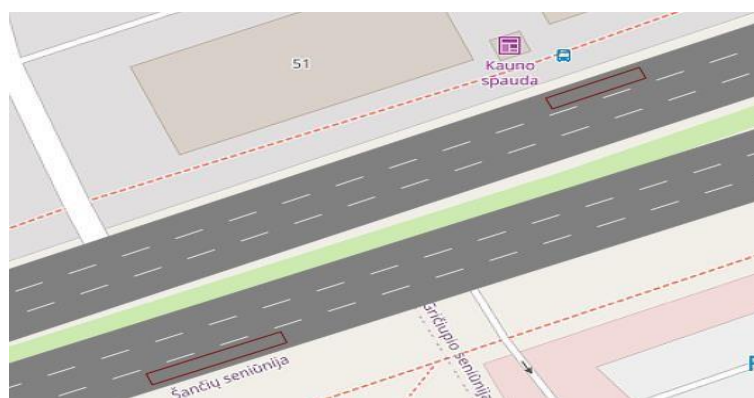
38 pav. a); b) - Šviesoforų ciklai, viršuje Pc “Molas” sankryža, žemiau Breslaujos g.

Miesto srautų greičiai dažniausiai maksimaliai būna apriboti iki 50 km/h. Nagrinėjamo tinklo atkarpoje jis bus irgi toks pat. Būtina nepamiršti apriboti greičius ties kairiaisiais ir dešiniais posūkiais, kad simuliacijos metu gauti rezultatai būtų kuo tikslesni. Kitas irgi ne mažiau svarbesnis parametras – konfliktinių taškų sprendimas. Programinė įranga modeliuojant leidžia parinkti visoms konfliktinėms vietoms tinkamas pirmumo kryptis kiekvienu konflikto atveju (39 pav.). Galima pasirinkti, kuris automobilis važiuos pirmas, o kuris praleis jį esant dažnai pasitaikančiai konflikto situacijai. Šviesoforu valdomose sankryžose tokios situacijos dažniausiai pasitaiko, kai vairuotojas nespeja išvažiuoti degant žaliai signalui iš sankryžos tinklo, arba blokuoja sankryžą ir į ją įvažiuoja kai priekyje stovintys ir laukiantys automobiliai nejuda. Tada jis trukdo kita kryptimi žaliai šviesai užsidegusio signalo vairuotojui atlikti manevrą.



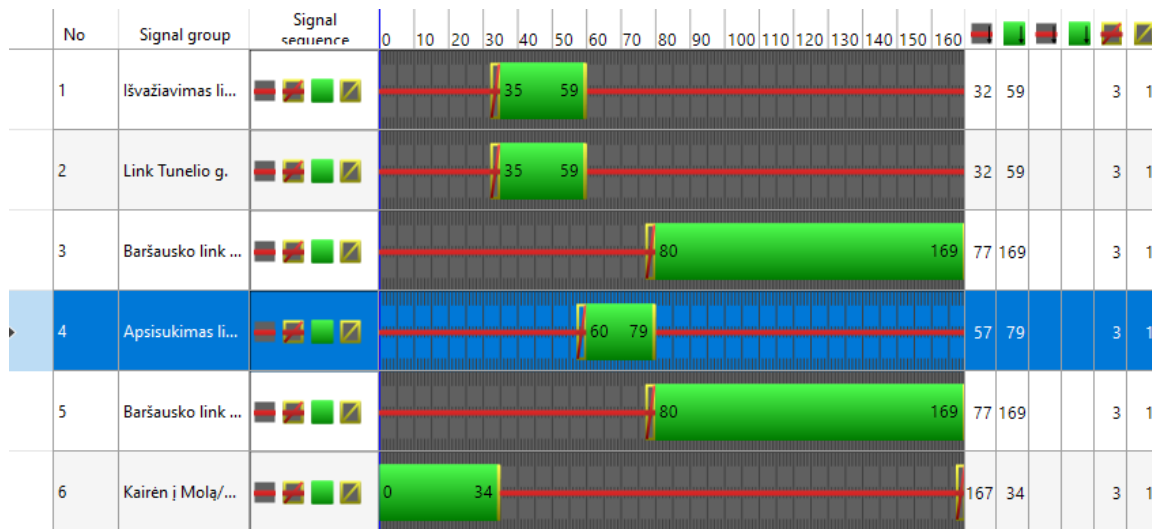
39 pav. Žalia/raudona spalva pažymėti konfliktiniai taškai, geltona - greičio apribojimai

Piko metu mieste kursuoja gausybė viešojo transporto, kuris taip pat važiuoja šiame gatvių tinkle. Troleibusų ir autobusų greitis modelyje apribojamas iki 30 – 45 km/h, norint atkartoti kuo tikslesnius eismo srautus. Taip pat modelyje įrengiamos stotelės, esančios Breslaujos g., kurios abi yra pirmoje eismo juostoje (40 pav.). Žinoma parenkami maršrutai pagal vidutinį sustojimų skaičių stotelėje piko metu.



40 pav. Stotelės Breslaujos g.

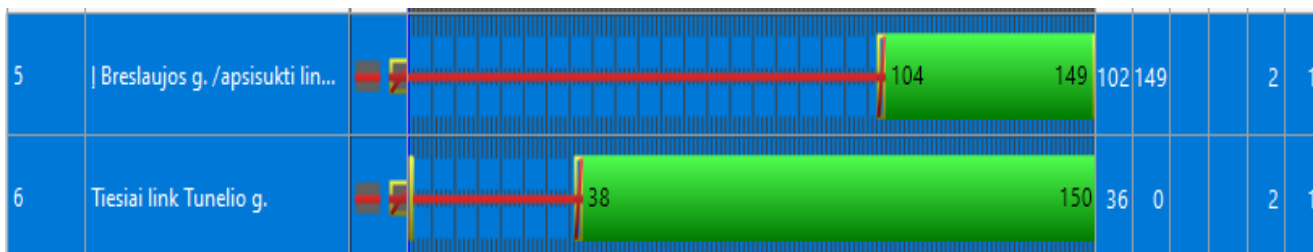
Modeliuojant taikysime šiuos galimus scenarijus : 1) sankryžos eismo tvarka ir ciklai tokie pat kaip matavimų dieną 2) pakeičiamas šviesoforų veikimo ciklas 3) pakoreguojama sankryžos geometrija. Ciklus keisime norėdami pagerinti sankryžos pralaidumą. Tačiau PC Molas sankryža turi konfliktinį tašką – apsisukimą į kairę link Tunelio g. todėl sudarydamas naują ciklą, pridėsiu papildomą fazę šiai problemai išspręsti. Ketvirtu numeriu pažymėtas naujas ciklas apsisukimui (41 pav.).



41 pav. Šviesoforų ciklai prie PC Molas

Taigi SG 1 ir 2 išvažiavimai iš PC „Molas“ veikia vienu metu, SG 3 ir 5 Baršausko g. link 6 forto ir Tunelio g. taip pat veikia kartu, SG 6 kairysis posūkis į Molą arba apsisukti bei SG 4 apsisukimas link Tunelio g. turi atskiras signalines grupes.

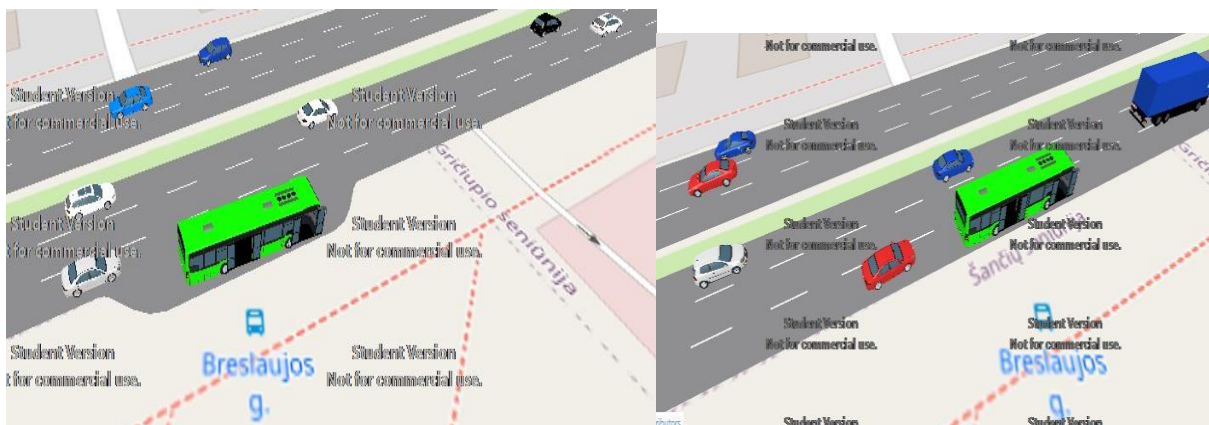
Breslaujos g. sankirtoje taip pat pakeista šviesoforų ciklą tvarka, SG 1 ir 2 išvažiavimai iš Breslaujos g. veikia kartu ir keliomis sekundėmis ilgiau, todėl čia piko metu susidaro nemaža automobilių spūstis. SG 3 ir SG 4 Tunelio g. link Molo liko taip pat veikti kartu, o SG 5 ir SG 6 kryptys link Tunelio g. ir pasukimas į kairę link Breslaujos g. arba apsisukimas veikimas prailgintas dėl pasukimo į kairę problemos, kai susidaro nemaža automobilių spūstis laukianti pasukti kairėn. Fazės laikas prailgėjo apie 10 sek. (42 pav.).



42 pav. Naujos fazės Breslaujos g.

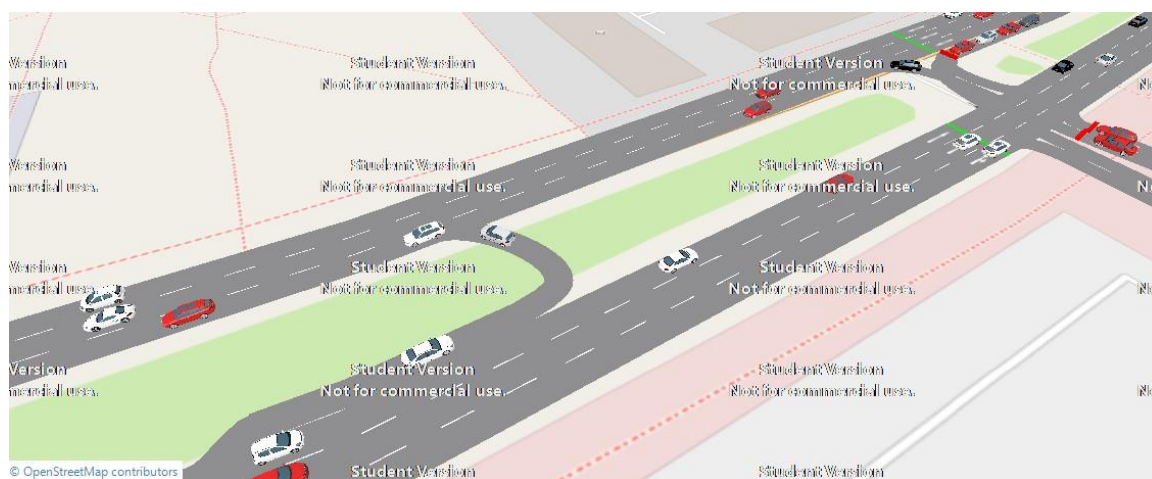
Norint pagerinti transporto srautų judėjimą, reikia keisti ir sankryžos geometriją. Kadangi Breslaujos g. esanti sankryža jau ne kartą optimizuota, todėl ten nebeliko vietos naujai eismo juostai įrengti, todėl nusprendžiau viešojo transporto sustojimui, kuris yra pirmoje eismo juostoje suprojektuoti ir įrengti

sustojimo zoną dar vadinamą „kišene“ (pav. 43). Mano manymu šis pakeitimas šiek tiek pagerins eismo srautus ir saugumą, nes įprastai keleiviai išlaipinami troleibusui ar autobusui stovint pirmoje eismo juostoje. Taip pat atvažiuojantys iš Breslaujos g. ir sukdami dešininę link Baršausko g., pirmoje juostoje sutinka stovintį transportą, ir turi atlikti persirikiavimo manevrą. Kairiajame paveikslėlyje modeliavimo metu matome kaip automobilis važiuoja netrukdomas pirmoje juostoje, o dešiniau antrajame kaip raudonas automobilis pristabdė ir laukia kada galės persirikiuoti.



43 pav. Stotelės įrengimas ir sankryžos tobulinimas

Daugiausiai konfliktinių taškų sankryžoje turi kairieji sankryžose esantys posūkiai. Todėl nusprendžiau prie PC „Molas“ esantį kairinį apsisukimą link Tunelio g. pašalinti iš sankryžos ir atitraukti atgal (44 pav.). Taip pagerinsime matomumą priešpriešai iš dešinės atvažiuojančių pusėn ir ciklai sankryžoje turės papildomo laiko kitoms eismo kryptims. Žinoma, tai tik modeliavimas, manau, kad realioje situacijoje toks sprendimas būtų labai svarstytinas dėl atmetimo. Neveltui netoliese esantis posūkis link Slėnio g. buvo uždarytas, dėl per didelės rizikos jį atliekant. Transporto priemonės turėdavo kirsti 3 eismo juostas norėdamos pasukti į Slėnio g. Pagindinė problema - apsisukimas iš reguliuojamo tampa nereguliuojamu šviesoforo. Tokie sankryžų ir gatvių pakeitimai reikalauja gerų analizių ir sprendimų.



44 pav. Apsisukimas įrengiamas prieš sankryžą

3.1. Modeliavimo rezultatai

Palyginamoji lentelė Baršausko g. ir Breslaujos g. sankryžų sistema modeliavimo metu buvo lyginama pagal šiuos kriterijus:

1. Eismo dalyvių skaičius išvažiuojant išsumodeliuoto gatvių tinklo pasibaigus 3600 s.
2. Ilgiausia susidariusi automobilių eilė eismo tinklo modelyje.
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 sustojimų laikas tinkle - 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.

Miestų gatvių tinklo aptarnavimo kokybė remiasi vidutiniu pravažiuojančių transporto priemonių kelionės greičiu visame nagrinėjamame gatvių tinkle ar jo dalyje. Kelionės greitis yra pagrindinis rodiklis, kuris įvertinama gatvių tinklo efektyvumą. Vidutinis kelionės greitis matuojamas važiavimo greičio miesto gatvėmis ir sugaištu laiku ties reguliuojamomis ar nereguliuojamomis sankryžomis.

3.1 lentelė. Modeliavimo metu gauti eismo srauto tyrimo rezultatai

Gauti Rezultatai	Modeliavimo variantai	Nepakeista tinklo tvarka	Pakoreguoti šviesoforų ciklai	Pakeista sankryžų geometrija
Automobilių skaičius išvažiuojant iš tinklo		2135	2457	2263
Ilgiausia automobilių eilė, <i>m</i>		202,7	162,5	157,6
Bendra rida, <i>km</i>		4985,7	4776,4	5064,5
Bendra kelionių trukmė, <i>val</i>		227,7	199,7	197,1
Vidutinė kelionės trukmė, <i>s</i>		119,11	107,28	108,52
Vidutinis sustojimo laikas sankryžų sistemoje, <i>s</i>		39,47	36,06	34,72
Vidutinis srauto greitis, <i>km/val</i>		24,06	24,23	26,39
Vidutinis sustojimų skaičius, <i>vnt/aut.</i>		1,36	1,14	1,04

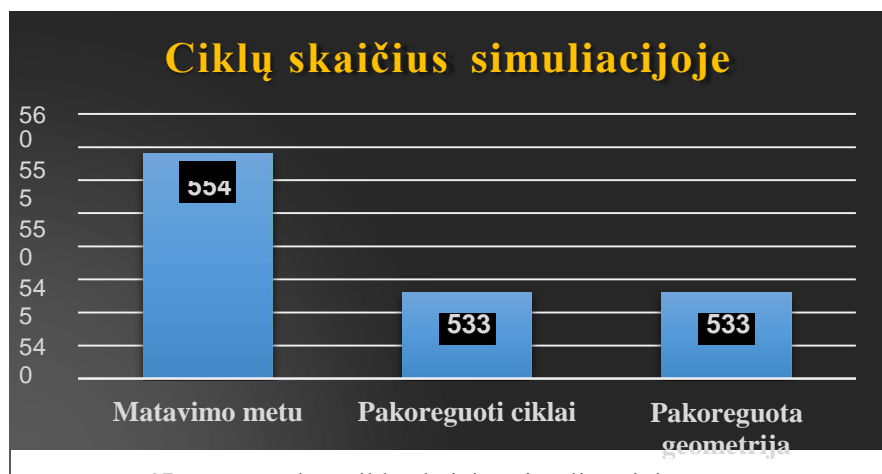
Sugaištas laikas sankryžoje, tai toks laiko tarpas kai transporto priemonė pilnai sustoja privažiavusi ir įvažiavusi į sankryžą bei priklauso nuo šviesoforo ciklo fazių trukmės, pirminio greičio sumažinimo (stabdymo), judėjimo eilėje, sustojimų skaičiaus ir pagreitėjimo iki buvusio transporto priemonės greičio (3.1 lentelė).

Pagal lentelėje esamus susistemintus duomenis matome, kad dauguma parametrų yra gana panašūs, tačiau keletas turi didesnę atotrūkį vienas nuo kito. Automobilių skaičius išvažiavęs iš tinklo pakoregavus šviesoforų ciklus išauga nuo 2135 aut. iki 2457 aut. (+15,08 proc). Ženkliai sumažėjo ilgiausia transporto priemonių sustojusi sankryžoje eilė, kuri nukrito nuo 202,7 metrų iki 157,6 metrų (- 22proc.) Kalbant apie bendrą visų tinkle esančių automobilių kelionės trukmę, ji pakito nežymiai pakeitus sankryžų geometriją nuo 227,7 val. iki 197,1 val. tai yra 13,21 proc. sumažėjimas. Panašus rodmuo 12,82 proc. skiriasi vidutinis sustojimo laikas sankryžų sistemoje. Jis sumažėjo nuo 39,47 iki 34,72 sekundžių. Nors skirtumai tarp srauto duomenų neturi labai didelių skirtumų, tačiau yra statistiškai geresni ir pagerina eismo tinklo kokybę. Galima teigti, kad matavimų metu buvusi eismo tvarka nėra bloga, veikia gana efektyviai, ir netgi pakoregavus sankryžą išlieka tokia pat efektyvi dauguma aspektų.

Programinės įrangos PTV VISIM programos pagalba, sumodeliavus analizuojamą Baršausko g. ir Breslaujos g. sankryžų sistemą, buvo gauti modeliavimo rezultatai. Modeliuotas realus scenarijus su 4190 tr. priemonių apkrovomis tinkle ir trys galimi variantai:

- Matavimo metu buvusi eismo tvarka ir ciklai;
- Pakeisti šviesoforų ciklai;
- Pakeista sankryžų geometrija.

Modeliavimo metu buvo atlikta 20 valandų simuliacijos, su kiekvienu galimu sankryžos tinklo pakeitimo variantu. Bendras ciklų skaičius kiekviniu atveju pavaizduotas 45 paveikslėlyje.



45 pav. Bendras ciklų skaičius simulatoriuje

Iš diagramos matome, kad matavimo metu vyraujančiose sąlygose ciklų buvo daugiausiai – 554, pakoregavus ciklus ir sankryžos geometriją, turime mažesnę ciklų skaičių – 533. Taip yra, nes šiek tiek

buvo prailginti abiejų sankryžų šviesoforo ciklai, norint pasiekti optimalų ir pralaidesnę žalio signalo laiko intervalą.

Kitas nagrinėjamas rodiklis – sustojimų skaičius sankryžų tinkle. Šis veiksmas suskaičiuojamas tuomet, kai transporto priemonė pilnai sustoja ir jos greitis būna 0 km/h. Kiekvienos simuliacijos varianto aukščiausios, vidutinės ir mažiausios reikšmės pateikiamos 46 paveikslėlyje.



46 pav. Sustojimų skaičius sankryžų tinkle

Pateiktuose skaičiavimuose matome, kad sustojimų skaičius maksimalią reikšmę pasiekia pakoregavus šviesoforų ciklus, o vidutinės sustojimų reikšmės visiems variantams išlieka panašios ir siekia 800 – 850 sustojimų intervalą. Pakoregavus ciklus, tikėtinas toks scenarijus, nes dėl pailgėjusio ciklo laiko, daugiau transporto priemonių praleidžia stovėdamos ir laukdamos leidžiamo signalo važiuoti.

Atliekant modeliavimo simuliacijas ir turėdami 3 scenarijus, gauname trijų rūšių duomenis: matavimo dienos eismo tvarka bei pakeitus šviesoforų ciklus ir sankryžų geometriją. Kadangi skirtumai tarp gautų rezultatų nebuvo ženkliai dideli, duomenis statistiškai apdorosime IBM SPSS programine įranga, išsiaiškinti ar pakeitimai reikšmingi. Kiekybiniai rodikliai pateikiami kaip aritmetiniai vidurkiai (m) ir standartinis nuokrypis (SD) – $m (\pm SD)$. Pasikliautinieji intervalai (PI) – $m (95\%)PI$. Dvejoms ir daugiau nepriklausomoms imtims palyginti, kai duomenys tenkino normalumo prielaidą, taikytas „Vienos krypties Anova“ angl. (OneWay Anova) metodas.

3.2 lentelė. Vėlavimo laikas

	N	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Sklaida	95% Patikimumo intervalo vidurkis		Min.	Maks.
					Apatinė riba	Viršutinė riba		
Vėlavimo laikas 1	500	59,2915	5,02695	1,12406	56,9388	61,6442	50,68	70,43
Vėlavimo laikas 2	500	56,7509	4,95122	1,10713	54,4336	59,0681	49,53	69,92

Vėlavimo laikas 3	500	48,3604	2,59781	,56689	47,1779	49,5429	43,28	51,59
Viso	1500	54,6954	6,36480	,81493	53,0653	56,3255	43,28	70,43

Pirmos grupės vidutinis vėlavimo laikas matavimo dieną buvo blogiausias 59,29, taip pat ir didžiausia vidutinio vėlavimo laiko sklaida (1,12), o mažiausias vėlavimo laikas trečios grupės atlikus geometrijos pertvarkymo modeliavimą 48,36, tai parodo ir mažiausia vėlavimo laiko sklaida (0,57).

3.3 lentelė. Daugiakartinių lyginimų rezultatai (Tamhane kriterijus) vertinant vėlavimo laiką

	(I) Matavimo grupė	(J) Matavimo grupė	Vidurkių skirtumas	Sklaida	Sig.	95% Patikimumo intervalo vidurkis	
						Apatinė riba	Viršutinė riba
Tamhane	Vėlavimo laikas 1	Vėlavimo laikas 2	2,54066	1,57773	,308	-1,3999	6,4812
		Vėlavimo laikas 3	10,93109*	1,25892	,000	7,7357	14,1265
	Vėlavimo laikas 2	Vėlavimo laikas 3	8,39043*	1,24382	,000	5,2351	11,5457
		Vėlavimo laikas 1	-2,54066	1,57773	,308	-6,4812	1,3999
	Vėlavimo laikas 3	Vėlavimo laikas 2	-8,39043*	1,24382	,000	-11,5457	-5,2351
		Vėlavimo laikas 1	-10,93109*	1,25892	,000	-14,1265	-7,7357

„Tamhane“ kriterijaus taikymo rezultatai (šis metodas buvo naudojamas, nes grupių dispersijos buvo nelygios). Lentelėje statistiškai reikšmingi vidurkių skirtumai, t.y. tie, kurių p-reikšmė (Sig.) mažesnė už 0,05 lentelėje pažymėti žvaigždutėmis. Statistiškai reikšmingo skirtumo nėra tik tarp 1 ir 2 grupės vidurkių ($p = 0,31 > 0,05$), t.y. pirmos ir antros grupės vėlavimo laiko vidurkiai skiriasi nereikšmingai. Skirtumas tarp 3 ir 1 grupių vėlavimo laiko vidurkių yra reikšmingas ($p = 0,000 < 0,05$). Trečios ir pirmos grupės vėlavimo laiko vidurkis skiriasi 10,93 sekundėmis. Skirtumo tarp populiacijos vidurkių 0,95 pasikliautinis intervalas

3.4 lentelė. Vidutinis greitis

	N	Vidurkiai	Standartinis nuokrypis	Sklaida	95% Patikimumo intervalo vidurkis		Min.	Maks.
					Apatinė riba	Viršutinė riba		
Vidutinis greitis vienas	500	23,5088	1,07445	,24025	23,0059	24,0116	21,04	25,67
Vidutinis greitis antras	500	22,4730	1,21681	,27209	21,9035	23,0425	19,85	24,94
Vidutinis greitis trečias	500	25,3930	,82438	,17989	25,0178	25,7683	24,52	27,17
Viso	1500	23,8178	1,60128	,20502	23,4077	24,2279	19,85	27,17

Antros grupės vidutinis greitis (pakoreguotų ciklų modeliavimo metu) buvo blogiausias 22,47, taip pat ir didžiausia vidutinio greičio sklaida (1,22), o geriausias vidutinis greitis buvo atliekant geometrijos 1koregavimą 25,39, tai parodo ir mažiausia greičio sklaida (0,18).

3.5 lentelė. Daugiakartinių lyginimų rezultatai (Tamhane kriterijus) vertinant vidutinį greitį

	(I) Matavimo grupė	(J) Matavimo grupė	Vidurkių skirtumas	Sklaida	Sig.	95% Patikimumo intervalas	
Tamhane	Vidutinis greitis 1	Vidutinis greitis 2	1,03578*	,36298	,021	,1286	1,9430
		Vidutinis greitis 3	-1,88425*	,30014	,000	-2,6362	-1,1323
	Vidutinis greitis 2	Vidutinis greitis 1	-1,03578*	,36298	,021	-1,9430	-,1286
		Vidutinis greitis 3	-2,92003*	,32618	,000	-3,7401	-2,1000
	Vidutinis greitis 3	Vidutinis greitis 1	1,88425*	,30014	,000	1,1323	2,6362
		Vidutinis greitis 2	2,92003*	,32618	,000	2,1000	3,7401

Išanalizavus rezultatus rastas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp visų tiriamų grupių. Skirtumas tarp 3 ir 1 grupių vidutinio greičio vidurkių ($p = 0,000 < 0,05$), skirtumas tarp 1 ir 2 grupės vidutinio greičio vidurkių ($p = 0,021 < 0,05$), skirtumas tarp 2 ir 3 grupės vidutinio greičio vidurkių ($p = 0,000 < 0,05$). Geriausias vidutinio greičio vidurkis skirtumas buvo rastas tarp 2 ir 3 grupės - vidutinio greičio vidurkis skiriasi 2,92 km/h.

3.6 lentelė. Kelionės laikas

	N	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Sklaida	95% Patikimumo interval.		Min	Maks.
					Apatinė riba	Viršutinė riba		
Kelionės laikas vienas	500	1284,869	77,67147	17,3678	1248,5178	1321,2205	1171,93	1488,72
Kelionės laikas antras	500	1285,525	73,52095	16,4397	1251,1161	1319,9339	1164,82	1461,98
Kelionės laikas trečias	500	1198,083	58,64814	12,7980	1171,3871	1224,7797	1103,31	1277,11
Viso	1500	1255,207	80,68698	10,3309	1234,5422	1275,8720	1103,31	1488,72

Pirmos grupės vidutinis kelionės laikas matavimo dieną buvo blogiausias 1284,87, taip pat ir didžiausia vidutinio kelionės laiko sklaida (77,67), o mažiausias kelionės laikas yra trečios grupės atlikus geometrijos pertvarkymo modeliavimą 1198,08, tai parodo ir mažiausia kelionės laiko sklaida (12,80).

3.7 lentelė. Daugiakartinių lyginimų rezultatai (Tamhane kriterijus) vertinant kelionės laiką

	(I) Matavimo_grupė	(J) Matavimo_grupė	Vidurkių skirtumas	Sklaida	Sig.	95% Patikimumo intervalas	
Tamhane	Kelionės laikas 1	Kelionės laikas 2	-,65583	23,9146	1,000	-60,3927	59,0810
		Kelionės laikas 3	86,78575*	21,5739	,001	32,7165	140,8550
	Kelionės laikas 2	Kelionės laikas 1	,65583	23,9146	1,000	-59,0810	60,3927
		Kelionės laikas 3	87,44159*	23,8340	,001	35,2972	139,5860
	Kelionės laikas 3	Kelionės laikas 1	-86,78575*	21,5739	,001	-140,8550	-32,7165
		Kelionės laikas 2	-87,44159*	20,8340	,001	-139,5860	-35,2972

Statistiškai reikšmingo skirtumo nėra tik tarp 1 ir 2 grupės kelionės laiko vidurkių ($p = 1,000 > 0,05$), t.y. pirmos ir antros grupės kelionės laiko vidurkiai skiriasi nereikšmingai. Skirtumas tarp 3 ir 1 grupių ir tarp 2, 3 grupių kelionės laiko vidurkių yra reikšmingas ($p = 0,001 < 0,05$). Geriausias kelionės laiko skirtumas buvo rastas tarp trečios ir pirmos grupės - vidurkis skiriasi 86,79 sekundėmis.

Rezultatų apibendrinimas

Kiekviena šalis bei miestas stengiasi pagerinti susisiekimo kokybę gatvėse ir keliuose. Sukurta ir tobulinama gausybė tyrimų ir modeliavimo mechanizmų, kurie skirti ištirti ir pagerinti transporto tinklo dalies laidumą. Tuomet ieškoma sprendimų gatvių infrastruktūroms gerinti, avaringų vietų ir konfliktinių taškų mažinimui. Moderniausi tyrimų būdai sugeba išanalizuoti visą nagrinėjamą tinklą mikroskopiniu lygmeniu. Tai reiškia, kad patys smulkiausi parametrai, tokie kaip automobilių dinamika, netgi pėsčiųjų amžius yra nustatomi ir naudojami tobulinant eismo tinklą.

Šiame projekte sukurti eismo srautų modeliai, skirti palyginti esamos situacijos eismo srautus su pakoreguotais mikroskopiniu lygmeniu. Pagrindiniai lyginamieji scenarijai yra šviesoforų ciklų koregavimas ir sankryžų geometrijos pertvarkymas. Vykdamas šias korekcijas, taip pat siekiama sumažinti konfliktinių taškų skaičių nagrinėjamame sankryžų tinkle. Tačiau pagrindiniai palyginamieji parametrai - tai bendras tinkle esančių transporto priemonių kelionės laikas, nuvažiuotas atstumas ir gaištis laikas stovint spūstyse. Naudojant du skirtingus koregavimo būdus, galima palyginti kiek įtakos eismo pralaidumo gerinimui turi kiekvienas iš pasirinktų metodų. Pasitelkę vieną iš statistinių palyginamųjų analizių, matome pakitimus, kurie palyginami tarpusavyje visais trim atvejais. Taip randamas efektyviausias modelis, tačiau ar jis reikšmingas – taip pat parodo statistiniai skaičiavimai.

Šį tyrimą palyginus su kitais, kurie buvo apžvelgti tarp užsienio autorių, galima teigti, kad simuliacijos yra naudojamos žymiai rečiau. Kitų šalių eismo ekspertai stengiasi vizualiai ir statistiškai gautus duomenis pagrįsti naudodami matematinius modelius, mažiau dėmesio skirdami simuliacijoms. Taip pat dažnai remiasi makro modeliu, kuris apima daug didesnes tyrimų apimtis, ne tik miesto, bet ir regiono ar šalies ribose. Šis tyrimas pasižymi tuo, kad gauti simuliacijos rezultatai yra patikrinami statistiškai ir nustatoma ar jų tarpusavio parametrai yra reikšmingi pasirinkto tinklo koregavimui. Šiame tyrime atsižvelgiama į viešojo transporto sektorių, siekiant pagerinti ne tik viešojo transporto, bet ir keleivių saugumą. Lietuvoje naudojami tyrimo būdai apima pavienių sankryžų tyrimus, jei leidžia galimybės bandoma iš pagrindų pertvarkyti jos geometriją, įrengiant žiedinę sankryžą, saugumo saleles, tiesiant papildomas eismo juostas.

Išvados

1. Atlikus mokslinės literatūros apžvalgą, eismo srautų sankryžose valdymo kontekste, galima teigti, jog inovatyviais principais, kaip turbo žiedinės, rombo tipo, modernios - mažo diametro, koordinuoto šviesoforų valdymo, grįsti sankryžų valdymai yra efektyvūs. Tokio tipo sankryžose eismo įvykių skaičius sumažėja apie 30%, o pralaidumas reikšmingai padidėja.
2. Nustatyta, kad didžiausi eismo srautai trišalėse sankryžose PC Molas – Baršausko g., Baršausko g – Breslaujos g. atkarpose piko metu susidaro Kauno miesto centro kryptimi (2890 ir 2198 automobiliai atitinkamai) bei VI forto kryptimi (2785 ir 2670 automobiliai atitinkamai). Didžiausios eismo spūstys formuojasi Baršausko g – Breslaujos g. sankryžoje, Baršausko g- Breslaujos g. kryptimi, eismo srautas - 870 automobilių, bei PC Molas - Baršausko g. – kairiniame apsisukime Baršausko g.-Baršausko g. kryptimi link Slėnio g. -170 automobilių.
3. Atlikus nagrinėjamų trišalių sankryžų modeliavimus keliais scenarijais: esamos situacijos, atlikus šviesoforų signalų korekcijas bei pakeitus sankryžų geometriją, gauti rezultatai gana panašūs. Šviesoforų ciklą korekcijų atveju gaunamas didžiausias automobilių skaičius išvažiuavęs iš tinklo(+15,08 %). Pakeitus sankryžų geometriją, didžiausios eilės ilgis sumažėja 22%, kelionės trukmė sutrumpėja 13,21 %, o gaištis laikas sankryžoje - 12,82 %.
4. Atlikus, gautų įvairiais scenarijais modeliavimo duomenų, dispersinę analizę, kai pasikliaunamasis lygmuo 0,95, $\alpha=0.05$ nustatytas statistinis skirtumas tarp 3 ir 1 grupių vidutinio greičio vidurkių ($p = 0,000 < 0,05$), skirtumas tarp 1 ir 2 grupės vidutinio greičio vidurkių ($p = 0,021 < 0,05$), skirtumas tarp 2 ir 3 grupės vidutinio greičio vidurkių ($p = 0,000 < 0,05$). Geriausias vidutinio greičio vidurkio skirtumas buvo rastas tarp 2 ir 3 grupės - vidutinio greičio vidurkiai skiriasi 2,92 km/h. Skirtumas tarp 3 ir 1 grupių ir tarp 2, 3 grupių kelionės laiko vidurkių nustatytas reikšmingas skirtumas ($p = 0,001 < 0,05$), vidurkiai skiriasi 6,79 sekundėmis. Kitais atvejais, statistinis parametrų skirtumas tarp grupių nenustatytas, vadinasi efektyviausia taikyti sankryžų geometrijos pakeitimus, norint pagerinti transporto tinklo dalies pralaidumą.

Literatūros sąrašas

1. ACOSTA, A. et al. Developing Tools for Building Simulation Scenarios for SUMO Based on the SCRUM Methodology. In *Proceedings of the 3rd SUMO User Conference* [interaktyvus]. 2015. no. May, p. 23–35. Prieiga per internetą: <http://elib.dlr.de/97714/1/SUMO2015_Proceeding.pdf#page=32>.
2. AKÇELIK, R. an Assessment of the Highway Capacity Manual Edition 6 Roundabout Capacity Model. In *5th International Roundabout Conference, Transportation Research Board* . 2017. no. May, p. 18–20. .
3. BISERIS Kelių ženklimas. In [interaktyvus]. 2015. Prieiga per internetą: <<https://www.biseris.lt/horizontalus-gatviu-zenklinimas/>>.
4. DAIHENG NI *Traffic flow theory: characteristics, experimental methods, and numerical techniques*. . [s.l.]: Elsevier, [2016] ©2016, 2016. .
5. DAY, C.M. - BULLOCK, D.M. Cycle-length strategies for a diverging diamond interchange in a coordinated arterial. In *Journal of Transportation Engineering* . 2016. Vol. 142, no. 12, p. 1–11. .
6. DEB, K. et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. In *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* . 2002. Vol. 6, no. 2, p. 182–197. .
7. GARTNER, N.H. [interaktyvus]. .[s.l.]: Transportation Research Board, 1983. Prieiga per internetą: <<https://trid.trb.org/view/196609>>.
8. GERMAN AEROSPACE CENTER Sumo at a Glance. In [interaktyvus]. 2019. Prieiga per internetą: <https://sumo.dlr.de/userdoc/Sumo_at_a_Glance.html>.
9. GUPTA, V. et al. Intelligent traffic light control for congestion management for smart city development. In *TENSYMP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities* . 2017. .
10. HELBING, D. et al. Micro- and macro-simulation of freeway traffic. In *Mathematical and Computer Modelling* . 2002. Vol. 35, no. 5–6, p. 517–547. .
11. HSU, T.P. - WEN, K.L. Effect of novel divergence markings on conflict prevention regarding motorcycle-involved right turn accidents of mixed traffic flow. In *Journal of Safety Research* . 2019. Vol. 69, p. 167–176. .
12. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖS TRANSPORTO IR EISMO ORGANIZAVIMO SKYRIUS Kauno miesto darnaus judumo planas III Tomas Judumo mieste variantai 2018. In . 2018. .
13. KAUNO SĮ „KAUNO PLANAS“ KAUNO MIESTO BENDRASIS PLANAS ESAMOS BŪKLĖS ANALIZĖ INŽINERINĖ APLINKA, III TOMAS DALIS - A: SUSISIEKIMAS. In [interaktyvus]. 2011. p. 63. Prieiga per internetą: <http://old.kaunoplanas.lt/bendrieji_planai/kauno_miesto_bendrasis_planas_esama_bukle>.
14. KLUNDER, G. et al. Development of a micro-simulation model to predict road traffic safety on

intersections. In *TNO Report* . 2006. no. October 2015, p. 26. .

15. LAL, G. et al. Sustainable Traffic Improvement for Urban Road Intersections of Developing Countries: A Case Study of Ettumanoor, India. In *Procedia Technology* [interaktyvus]. 2016. Vol. 25, no. Raerest, p. 115–121. Prieiga per internetą: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.088>>.

16. LI, Y. et al. Multi-objective optimization of traffic signal timing for oversaturated intersection. In *Mathematical Problems in Engineering* . 2013. Vol. 2013. .

17. LIAO, D.Y. Collaborative, social-networked posture training (CSPT) through head-and-neck posture monitoring and biofeedbacks. In *ICEIS 2017 - Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems* . 2017. Vol. 3, no. Iceis, p. 158–165. .

18. MINISTERIJA, L.R. aplinkos „Gatvės. Bendrieji reikalavimai“. In . 2017. Vol. 4139, no. 81, p. 1–18. .

19. MITRA, S. et al. Safety analysis of urban signalized intersections in Kolkata , India using a combined proactive and reactive approach. In . 2017. no. 979. .

20. PAULRYUS, MARKVANDEHEY, LILYELF.TER.IA.D.O.U. - RICHARD G. DOWLING, A.N.D.B.A.R.B.A.R.A.K.. O.S.T.R.O.M. *Highway Capacity Manual 2010*. . 2010. .

21. PALIULIS, G.M. *Eismo inžinerija*. . 2010. ISBN 9789955281450.

22. ROUTE., F.W.A. mondiale de La Les accidents de la route: un problème mondial qui peut être abordé avec succès! In . 1996. .

23. SIVILEVIČIUS, H. et al. *Transporto sistemas elementai*. . 2012. ISBN 9786094573477.

24. SUN, J. et al. Vehicle Turning Behavior Modeling at Conflicting Areas of Mixed-Flow Intersections Based on Deep Learning. In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* . 2019. p. 1–12. .

25. TESTESHEV, A. et al. Development of multiparameter equations for satellite monitoring analysis of traffic flow. In *MATEC Web of Conferences* . 2018. Vol. 143, p. 1–8. .

26. WANG, F. et al. A group-based signal timing optimization model considering safety for signalized intersections with mixed traffic flows. In *Journal of Advanced Transportation* . 2019. Vol. 2019. .

27. ZIOLKOWSKI, R. Roundabouts as an Effective Tool of Traffic Management. In *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* . 2014. Vol. 9, no. 4. .

28. Įskaitinių Eismo Įvykių Statistika Lietuvoje, 2015 – 2018 M. In . 2019. p. 2015–2018.