



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Kauno pilies žiedo ir Jurbarko-Kriščiukaičio gatvių sankryžos
transporto eismo srautų tyrimas ir modeliavimas**
Baigiamasis magistro projektas

Vitalijus Daktaras
Projekto autorius

Dr. Janina Jablonskytė
Vadovė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Kauno pilies žiedo ir Jurbarko-Kriščiukaičio gatvių sankryžos transporto eismo srautų tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vitalijus Daktaras
Projekto autorius

Dr. Janina Jablonskytė
Vadovė

Andrius Gužys
Recenzentas / Recenzentė

Kaunas, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
Studijų programa Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui Vitalijui Doktorui

1. Baigiamojo projekto tema :

Kauno pilies žiedo ir Jurbarko-Kriščiukaičio gatvių sankryžos transporto eismo srautų tyrimas ir modeliavimas.

The research and modelling of Kaunas Castle roundabout and Jurbarko-Krisciukaicio streets intersaction traffic flows.

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Projekto tikslas . Atlikti transporto eismo srautų pralaidumo tyrimą ir vertinimą žiedinėje ir šviesoforais reguliuojamoje sankryžoje.

Uždaviniai:

1. Ištirti transporto tinklo dalies eismo valdymo ypatumus.
2. Nustatyti transporto eismo srautų pasiskirstymą Kauno pilies žiedinėje ir Jurbarko – Kriščiukaičio gatvių sankryžose.
3. Taikant vertikalųjį eilių metodą ištirti transporto eismo srautų poreikį ir paklausą, gaištis laikus, eismo spūstis.
4. Atlikti imitacinį transporto eismo srautų modeliavimą esamai ir galimai transporto tinklo dalies infrastruktūrai.
5. Išanalizuoti gautus modeliavimo rezultatus.

3. Pradiniai Projekto duomenys

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

1. *Teorinė dalis*

2. *Eismo srautų tyrimas ir modeliavimas*

3. *Išvados*

4. *Literatūra.*

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis

7. Projekto konsultantai

Magistrantas:
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Vitalijus Daktaras

Kauno pilies žiedo ir Jurbarko-Kriščiukaičio gatvių sankryžos transporto eismo srautų tyrimas ir modeliavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Vitalijaus Daktaro, baigiamasis projektas tema „Kauno pilies žiedo ir Jurbarko-Kriščiukaičio gatvių sankryžos transporto eismo srautų 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)

Turinys

1. TEORINĖ DALIS	13
1.1 Eismo srautą apibūdinantys parametrai.....	14
1.2 Mikroskopinis eismo modeliavimas.....	15
1.3 Tolimesnio automobilio modelis.....	16
1.3.1 Tolimesnio automobilio modelių klasifikacija	17
1.3.2 Modelių savybės	18
1.3.3 Gipps modelis	20
1.3.4 Mitsim modelis	21
1.3.5 Fritzsche modelis	22
1.3.6 Wiedemann modelis	24
1.4 Eismo organizavimas šviesoforais reguliuojamose sankryžose su papildoma lentele.....	25
1.5 Eismo srauto parametrų skaičiavimo metodika	26
1.6 Programinės įrangos parinkimas	29
2. EISMO SRAUTŲ TYRIMAS IR MODELIAVIMAS	30
2.1 Eismo srautų duomenys	31
2.2 Sankryžų analizė	36
2.3 Konfliktiniai taškai.....	38
2.4 Eismo srautų analizė taikant vertikalųjį automobilių eilės modelį	39
2.5 Eismo srauto modeliavimas	47
2.6 Modeliavimo rezultatai	51
3. IŠVADOS	56
4. LITERATŪRA.....	57

Paveikslų sąrašas

- 1 pav. Individualių lengvųjų automobilių skaičius, tenkantis 1000 gyventojų
- 1.1 pav. Tolimesnio automobilio modelis
- 1.2 pav. Erdvės –g reičio diagrama
- 1.3 pav. Erdvės - greičio diagrama
- 1.4 pav. Wiedemann modelio struktūra
- 1.5 pav. Tikėtinos konfliktinės situacijos su kitais eismo dalyviais
- 1.6 pav. Vertikalus automobilių eilės modelis
- 1.7 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 1.8 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.1 pav. Tyrimo schema
- 2.2 pav. Eismo srauto matavimo vietos Kauno pilies žiedinėje sankryžoje
- 2.3 pav. Eismo srautų pasiskirstymas Kauno pilies žiedinėje sankryžoje
- 2.4 pav. Pilies žiedo pėsčiųjų šviesoforo darbo ciklo laikas
- 2.5 pav. Eismo srauto matavimo vietos Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje
- 2.6 pav. Eismo srautų pasiskirstymas Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje
- 2.6 pav. Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos šviesoforo darbo ciklo laikai
- 2.7 pav. Getrūdos – Šauklių g. sankryžos šviesoforo darbo ciklo laikai
- 2.8 pav. Eismo srauto sudėtis
- 2.9 pav. Principinė sankryžos schema
- 2.10 pav. Principinė sankryžos schema
- 2.11 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 2.12 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.13 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 2.14 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.15 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 2.16 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.17 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 2.18 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.19 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 2.20 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.21 pav. Poreikio ir laidumo kreivės
- 2.22 pav. Kaupiamosios kreivės
- 2.23 pav. Didžiausi automobilių laukimo laikai įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą

- 2.24 pav. Didžiausi automobilių laukimo laikai įvažiuojant į Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžą
- 2.25 pav. Transporto tinklas
- 2.26 pav. Į tinklą įvažiuojančių automobilių skaičius
- 2.27 pav. Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžos šviesoforo ciklas
- 2.28 pav. Pilies žiedo šviesoforo veikimo ciklas
- 2.29 pav. Gertrūdos g. šviesoforo veikimo ciklas
- 2.30 pav. Sankryžos konfliktinių taškų žymėjimas
- 2.31 pav. Pakeista sankryžos geometrija
- 2.32 pav. Simuliacijos vaizdas
- 2.33 pav. Simuliacijos vaizdas
- 2.34 pav. Vidutinis greitis pasiekus ribinį eismo tankį
- 2.35 pav. Automobilių stovėjimo laikas pasiekus ribinį eismo tankį

Lentelių sąrašas

- 2.1 lentelė Pravažiuojančių automobilių skaičius Kauno pilies žiedinėje sankryžoje
- 2.2 lentelė Pravažiuojančių automobilių skaičius Kriščiukaičio – Jurbarko g. sankryžoje
- 2.3 lentelė Eismo srautai pilies žiedinėje sankryžoje
- 2.4 lentelė Eismo srautai Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje
- 2.5 lentelė Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos techniniai duomenys
- 2.6 lentelė Kauno pilies žiedinės sankryžos techniniai duomenys
- 2.7 lentelė Gertrūdos – Šauklių g. sankryžos techniniai duomenys
- 2.8 lentelė Konfliktiniai taškai Jurbarko – Kriščiukaičio g. Sankryžoje
- 2.9 lentelė Konfliktiniai taškai Kauno pilies žiedinėje sankryžoje
- 2.10 lentelė Konfliktiniai taškai Gertrūdos-Šauklių g. sankryžoje
- 2.11 lentelė Gaišties laikas ir eilės ilgis
- 2.12 lentelė Laisvojo važiavimo eismo srauto duomenys
- 2.13 lentelė Dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto duomenys
- 2.14 lentelė Eismo srauto duomenys pasiekus ribinį eismo tankį
- 2.15 lentelė Laisvojo važiavimo eismo srauto duomenys
- 2.16 lentelė Dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto duomenys
- 2.17 lentelė Eismo srauto duomenys pasiekus ribinį eismo tankį
- 2.18 lentelė Laisvojo važiavimo eismo srauto duomenys
- 2.19 lentelė Dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto duomenys
- 2.20 lentelė Eismo srauto duomenys pasiekus ribinį eismo tankį
- 2.21 lentelė Pirsono koreliacijos koeficientai prie laisvojo važiavimo eismo srauto
- 2.22 lentelė Pirsono koreliacijos koeficientai prie dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto
- 2.23 lentelė Pirsono koreliacijos koeficientai pasiekus ribinį eismo tankį

Darbe naudojami trumpiniai

- KET - Kelių eismo taisyklės
- T.p. – transporto priemonė
- PTS – pažangios transporto sistemos
- VMAS – Vaizdo medžiagos apdorojimo sistema

Vitalijus Daktaras. Kauno pilies žiedo ir Jurbarko-Kriščiukaičio gatvių sankryžos transporto eismo srautų 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: Kauno pilies žiedinė sankryža, sankryža, eismo srautas.

Kaunas, 2018. 56 p.

Santrauka

Visiems yra tekę patirti stovėjimą eismo kamščiuose ar bent jau pamatyti eilę sustojusių automobilių. Pastaraisiais metais susisiekimo ir automobilių poreikis Lietuvoje sparčiai auga. Šiame projekte nagrinėjami transporto priemonių eismo srautai Kauno miesto centre.

Pasirinktos Kauno pilies žiedinė ir Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžos. Surinkti eismo srautų duomenys pasirinktose sankryžose. Atlikta nagrinėjamos sistemos dalies inžinerinė analizė ir transporto eismo srautų tyrimas. Sudarytas mikro eismo modelis. Pasiūlyti patobulinimai nagrinėjamai transporto tinklo daliai.

Daktaras Vitalijus. The research and modelling of Kaunas Castle roundabout and Jurbarko-Krisciukaicio streets intersaction traffic flows. Master's Final Degree Project. Supervisor dr. Janina Jablonskytè; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Kaunas castle roundabout, intersection, traffic flow.

Kaunas, 2018. 56 page.

Summary

All drivers have experienced getting stuck in traffic jams or at least seeing a line of stopped and waiting cars. In recent years, the demand of transport infrastructure and vehicles in Lithuania is rapidly growing. This project analyses the flows of transport traffic in Kaunas city centre.

Kaunas castle roundabout and Jurbarko-Krisciukaicio street crossroads are chosen for the research. The data has been collected of traffic flows in chosen crossroads and the engineering analysis of system that is being researched has been done. The improvements have been suggested based on created micro-traffic model.

IVADAS

Dabartiniame pasaulyje transportas užima gyvybiškai svarbią dalį. Transportas formuoja mus supančią erdvę, atspindi gyvenimo būdą ir mūsų kultūrą. Atsižvelgiant į tai, kad transporto priemonių skaičius keliuose didėja, todėl vis aktualesnė tampa eismo srautų optimizavimo problema. Užsienio šalyse, kuriose yra sukaupta nemažai patirties sprendžiant šią problemą, yra įrodyta, jog būtina daug dėmesio skirti eismo srautų optimizavimui ir kamščių gatvėse susidarymo prognozėms. Eismo srautų tolygumo užtikrinimas yra viena iš miesto oro kokybės gerinimo priemonių, kadangi oro užterštumas miestuose tiesiogiai priklauso nuo eismo intensyvumo.

Lietuvoje automobiliai yra dažniausiai žmonių pasirenkamas kelionės įrankis. Dėl to pradeda kilti įvairios problemos, ypač didžiuosiuose miestuose. Piko metu gatvėse susidaro ilgos stovinčių automobilių eilės, ženkliai padidėja kelionės laikas. Augantis automobilių skaičius taipogi yra viena pagrindinių priežasčių įtakojančių eismo įvykių Lietuvos keliuose augimą.

Projekto tikslas. Atlikti transporto eismo srautų pralaidumo tyrimą ir vertinimą žiedinėje ir šviesoforais reguliuojamoje sankryžoje.

Uždaviniai:

1. Ištirti transporto tinklo dalies eismo valdymo ypatumus.
2. Nustatyti transporto eismo srautų pasiskirstymą Kauno pilies žiedinėje ir Jurbarko – Kriščiukaičio gatvių sankryžose.
3. Taikant vertikalųjį eilių metodą ištirti transporto eismo srautų poreikį ir paklausą, gaištis laikus, eismo spūstis.
4. Atlikti imitacinį transporto eismo srautų modeliavimą esamai ir galimai transporto tinklo dalies infrastruktūrai.
5. Išanalizuoti gautus modeliavimo rezultatus.

Darbe eismo srautų modeliavimui naudojama PTV-Vision programinė įranga, paketas Vissim. Statistinė analizė atlikta SPSS programiniu paketu.

1. TEORINĖ DALIS

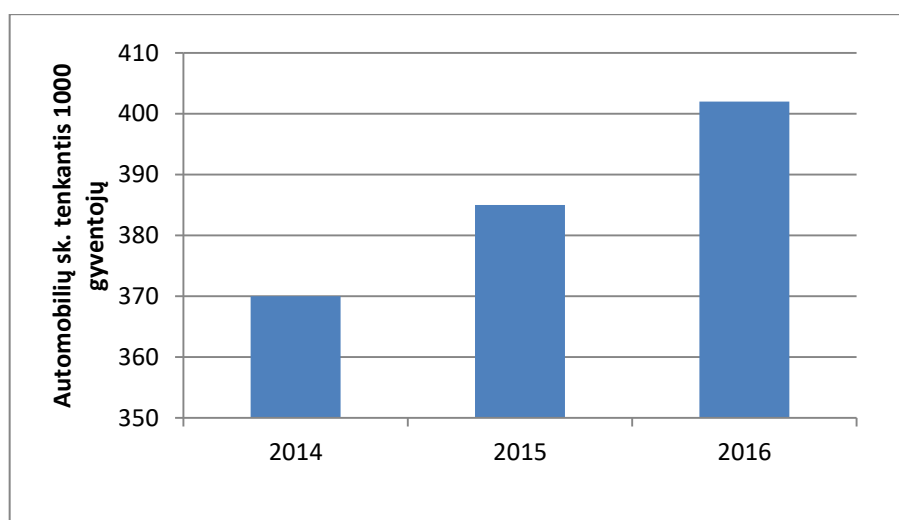
Eismo srautų problemos analizė

Eismas JAV ir Europoje per pastaruosius 20 metų ženkliai išaugo. Daugumoje vietovių transporto išmetamieji teršalai tapo vienu pagrindinių oro taršos šaltinių. Didėjančios eismo spūstys gali žymiai padidinti išmetamųjų teršalų kiekį .

Kiekvienas vairuotojas turbūt yra susidūręs su eismo spūstimis, kuriuose automobiliai, sustoja ir vos juda. Pavyzdžiui kiekvienais metais amerikiečiai vairuotojai praranda 160 bilionų dolerių, 7 bilionus valandų eismo spūstyse. Tai vidutiniškai yra 960 dolerių ir 42 valandos [1] kiekvienam eismo spūsčių dalyviui.

Kai kurios spūstys turi aiškias priežastis – tai autoįvykis, statybos ar kelio remonto darbai. Tačiau kai kurios, tarsi, atsiranda be jokios priežasties. Tai „fantominės eismo spūstys“, kurias sukelia vienas vairuotojas staigiai stabdydamas ir sukeliantis grandininę reakciją paskui jį stabdančių automobilių. Pirmam automobiliui pristabdžius už jo esantis automobilis stabdys intensyviau, sekantis dar intensyviau ir t.t..

Eismo spūstys Lietuvos didmiesčiuose nėra tokios didelės kaip didžiausių pasaulio miestų, tačiau ir Lietuvoje pastaraisiais metais pastebimas automobilių skaičiaus augimas. Automobilių skaičiaus augimas Lietuvoje pateikiamas 1 pav.



1 pav. Individualių lengvųjų automobilių skaičius, tenkantis 1000 gyventojų

Nuo 2014 m. iki 2016 m. individualių lengvųjų automobilių skaičius, tenkantis 1000 gyventojų išaugo nuo 370 iki 410 automobilių [2].

Gyvenantys atokiau nuo savo darbovietės gan lengvai gali suskaičiuoti, kad per parą keliaudami į darbą ir iš jo spūstyse sugaištą valandą ar net daugiau. Vilniaus mieste dirba apie 282 tūkst. žmonių,

įregistruota 210 tūkst. automobilių. Net darant prielaidą, jog tik pusė jų naudojami kiekvieną dieną keliauti į darbą ir per dieną eismo kamščiuose praleidžia valandą, tada gautume, jog Vilnius per metus praranda apie 24'000'000 darbo valandų [3]. Kadangi per valandą darbuotojo Vilniuje sukuriama vidutinė pridėtinė vertė siekia apie 20 eu, tai per metus dėl eismo kamščiuose iššvaistyto laiko prarasta apie 480 milijonų eu. Atsižvelgiant į Kaune dirbančių žmonių sukuriamą pridėtinę vertę, bei eksploatuojamų automobilių skaičių, prarandama apie 227 milijonų eu.

Šiame darbe pasirinkta nagrinėti transporto sistemos tinklą susidedantį iš Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos, Kauno pilies žiedinės ir Gertrūdos – Šauklių g. sankryžos. Šis transporto sistemos tinklas išlieka vienu sudėtingiausiu ir labiausiai apkrautu Kaune. Jame kasdien darbo dienomis formuojasi didelės grūstys, įvyksta eismo įvykiai. 2012-2015 metais šiame tinkle įvyko 15 įskaitinių eismo įvykių, 1 žuvęs ir 15 sužeistų žmonių.

1.1 Eismo srautą apibūdinantys parametrai

Transporto priemonių greitis - vienas svarbiausių eismo srauto parametrų, jis nusakomas nuvažiuoto kelio ruožo ilgio santykiu su laiko tarpu, per kurį atstumas yra nuvažiuojamas. Didmiesčiuose eismo srauto greitį veikia daug įvairių veiksnių (gatvių parametrai, transporto srautų intensyvumas, eismo reguliavimo būdai). Eismo organizavimo praktikoje vartojamos sąvokos momentinis, susisiekimo, techninis, eksploatacinis, transporto srauto greitis.

Važiuojamosios kelio dalies užimtumas, eismo srautą charakterizuojantis parametras. Kai žinomi ilgiai, transporto priemonių, kurios pasiskirstę duotoje kelio atkarpoje, tada susumavus jų ilgius ir padalinus iš kelio atkarpos ilgio, gauname kelio važiuojamosios dalies užimtumą:

$$R = \sum L_i / D \quad (1.1)$$

čia: R – važiuojamosios dalies užimtumas;

L – transporto priemonių ilgių suma (m);

D – kelio atkarpos ilgis (m).

Žinant važiuojamosios dalies užimtumą, galima įvertinti kitą svarbų transporto srautus charakterizuojantį parametras – eismo tankį.

Eismo tankis – automobilių kiekis tam tikru laiko momentu vienoje gatvės atkarpoje. Eismo tankis nusako gatvės apkrovimo lygį automobiliais. Tam tikros atkarpos ribinis tankis atitinka stovinčių, vienas greta kito automobilių skaičių. Didėjant eismo tankiui, didėja automobilių tarpusavio įtaka sraute, sudėtingėja manevravimas, tai mažina gatvių pralaidumą.

Srauto tankį nusako gatvės apkrovimo lygis K , kurį sudaro faktinio q_{fakt} ir maksimaliai g_{max} įmanomo pagal eismo sąlygas tankių santykis [7] :

$$K = q_{\text{fakt.}}/g_{\text{max}}; \quad (1.2)$$

čia g_{max} – lengvosioms transporto priemonėms 200 aut./km; sunkvežimiams su priekaba – 40 aut./km
 N – transporto priemonių, pervažiuojančių gatvės pjūvį per nustatytą laiko tarpą, skaičius. Eismo intensyvumo netolygumas įvertinamas netolygumo koeficientu K_n , atitinkančiu faktinio intensyvumo N_f nagrinėjamoju laikotarpiu santykį su vidutiniu intensyvumu $N_{\text{vid.}}$ per ilgesnį laikotarpį [7]:

$$K_n = N_f / N_{\text{vid.}} \quad (1.3)$$

Paros netolygumo koeficientas:

$$K_{n.p.} = N_{\text{val.}} \cdot 24 / N_p \quad (1.4)$$

čia $N_{\text{val.}}$ – intensyvumas per nagrinėjamą valandą, aut./h.; N_p – suminis intensyvumas per parą, aut./parą;
 24 – valandų skaičius paroje.

Metinis netolygumo koeficientas:

$$K_{n.p.} = N_{\text{mėn.}} \cdot 12 / N_{\text{metų}} \quad (1.5)$$

čia $N_{\text{metų}}$ – suminis intensyvumas per metus, aut./metus; $N_{\text{mėn.}}$ – intensyvumas per nagrinėjamą mėnesį aut./mėn., 12 – mėnesių skaičius metuose.

Eismo organizavimo, gatvių tiesimo bei rekonstravimo reikmėms miestų savivaldybėse turi būti atliekama periodinė eismo apskaita ir jo augimo prognozė, eismo intensyvumas prognozuojamas vadovaujantis tiesioginiais eismo stebėjimo ir modeliavimo metodais. Eismo intensyvumo duomenys kaupiami, vykdomas jų monitoringas ir naudojimas, rengiant teritorijų planavimo dokumentus: bendruosius planus, detaliuosius planus ir gatvių techninius darbo projektus, pagrindžiant gatvių techninius parametrus, nustatant gatvių bei sankryžų laidumą [7].

1.2 Mikroskopinis eismo modeliavimas

Mikroskopinis eismo modeliavimo tikslas - sugebėti nusakyti eismo srautą taip, kad būtų galima išskirti kiekvieno automobilio važiavimo trajektoriją, vietą, judėjimo charakteristikas ir sąveiką su kitais eisme dalyvaujančiais automobiliais, bet kuriuo laiko momentu t . Ne taip kaip makroskopiniai eismo modeliai, kurie eismo srautą prilygina skysčių srautui ir nevertina individualių t.p. veikslių, mikroskopiniame modeliavime eismo srautas prilyginimas dalelių srautui, kurių kiekviena turi savo charakterį ir priima individualius sprendimus. Priimama, kad kiekvienos transporto priemonės vairuotojas sugeba apdoroti, priekyje jo vykstančią situaciją ir atitinkamai reaguoti. Kiekviena reakcija yra skirtinga ir ji gali būti greitėjimas, stabdymas, juostų keitimas.

Siekiant tinkamai nusakyti kiekvieną skirtingo vairuotojo reakciją naudojami tolimesnio automobilio modeliai. Tai yra mikroskopinio eismo modeliavimo pagrindas.

1.3 Tolimesnio automobilio modelis

Tolimesnio automobilio modelis nusako vairuotojo elgesį atsižvelgiant į prieš jį važiuojantį automobilį toje pačioje juostoje. Automobilis laikomas sekančiu, kai jo veiksmai yra apriboti priekyje važiuojančio automobilio, t.y. jei važiuodamas nekeistų greičio, įvyktų susidūrimas. Kai vieno vairuoto veiksmai nėra apriboti priekyje važiuojančio automobilio, jis laikomas laivu ir gali važiuoti laisvai pasirinkdamas greitį. Sekančio automobilio veiksmai yra dažniausiai nusakomi pagal tolimesnio automobilio pagreitį, tačiau yra tolimesnio automobilio modelių, kuriuose veiksmai nusakomi pagal greitį. Kai kurie modeliai apibrėžia vairuotojų elgesį tik sekant kitą automobilį, tačiau yra pilnesnių modelių nusakančių tolimesnio automobilio elgesį visose situacijose. Galiausiai modeliu nustatomas eismo režimas, kuriame gali būti transporto priemonė ir kokios veiksmus ji atliks kiekvienoje situacijoje.

Dauguma tolimesnio automobilio modelių variacijų naudoja ne vieną režimą nustatytį sekančių automobilių elgesį. Bendra 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 prisitaiko savo greitį pagal priekyje judančią transporto priemonę. Automobiliai trečiajame režime staigiai stabdo, kad išvengtų susidūrimo su priekyje stabdančia t.p.. Žemiau pateikiami žymėjimai paaiškinantys tolimesnio automobilio modelį.

a_n - Automobilio n pagreitis, [m/s^2]

x_n - Automobilio n pozicija, [m]

v_n - Automobilio n greitis, [m/s]

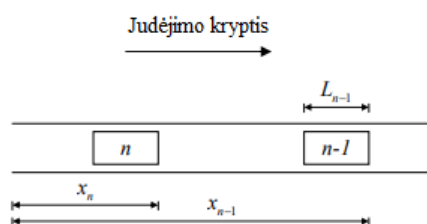
Δx - $x_n - x_{n-1}$ atstumas iki tolimesnio automobilio, [m]

Δv - $v_n - v_{n-1}$ greičių skirtumas, [m/s]

v_n^{siek} - Siekiamas automobilio n greitis, [m/s]

L_{n-1} - Automobilio $n-1$ ilgis, [m]

T - Reakcijos laikas, [s]



1.1 pav. Tolimesnio automobilio modelis [5]

$n-1$ ir n atitinkamai tolimesnis ir sekantis automobiliai. L_{n-1} tolimesnio automobilio ilgis. x_{n-1} ir x_n tolimesnio ir sekančio automobilio ilgiai.

1.3.1 Tolimesnio automobilio modelių klasifikacija

Tolimesnio automobilio modeliai dažniausiai skirstomi į tipus ar klases priklausomai nuo naudojamos logikos. Gazis-Herman-Rothery (GHR) modelių šeima yra labiausiai ištyrinėta ir išstbulinta. GHR modelių šeima dažnai įvardijama kaip pagrindinė šių modelių šeima. Pirmoji šio modelio versija pristatyta 1958 m. ir nuo tada buvo pristatytos ne viena patobulinta versija. GHR modelis nusako faktinį sekimo elgesį. Pagrindinis ryšys tarp pirmojo ir sekančio automobilių yra stimulo ir atsako tipo funkcija. GHR modelis nurodo, kad sekančio automobilio pagreitis priklauso nuo sekančio automobilio greičio, tolimesniojo automobilio greičio, greičių skirtumo tarp automobilių ir atstumo tarp automobilių. Pagal tai, sekančio automobilio pagreitis išreiškiamas 1.6 formule [11]:

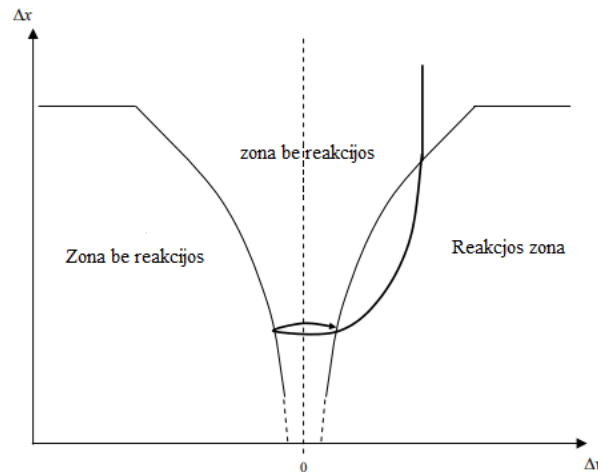
$$a_n(t) = a \cdot v_n^b(t) + \frac{(v_{n-1}(t-T) - v_n(t-T))}{(x_{n-1}(t-T) - x_n(t-T))} \quad (1.6)$$

kur $\alpha > 0$, β ir γ yra modelio parametrai kontroliuojantys proporcingumą. GHR modelis gali būti tiek simetrinis ir nesimetrinis. Simetrinis modelis išlaiko tuos pačius parametrus tiek greitėjimo tiek stabdymo situacijose, o nesimetrinis modelis naudoja skirtingas parametrų reikšmes greitėjimo ir stabdymo scenarijuose.

Avarinio stabdymo arba susidūrimo vengimo modelis yra kitokio tipo modelis. Šiuose modeliuose manoma, kad sekančios transporto priemonės vairuotojas visada laikysis saugaus atstumo iki tolimesnio automobilio. Pipes'o taisyklė: „*Gera tolimesnio automobilio sekimo taisyklė yra laikytis bent automobilio ilgio atstumo nuo tolimesnio automobilio, už kiekvieną dešimtį mylių per valandą greitį, kuriuo važiuojate*“. Visgi saugus atstumas iki tolimesnio automobilio būna nustatomas Niutono judėjimo lygtimis. Tam tikruose modeliuose atstumas skaičiuojamas, kaip atstumas, reikalingas išvengti eismo įvyko, jei tolimesnis automobilis stipriai stabdytų. Pirmasis tokio tipo modelis buvo pristatytas 1959 m. Kometani'o ir Sasaki'o. 1981 metais Gipps'as pristatė orignalų patobulintą modelį. Šiame modelyje sekantis automobilis garantuotai nesusidurs su tolimesniu, jei laiko tarpas tarp šių automobilių bus $3T/2$ ar didesnis ir sekančio automobilio stabdymo pagreitis bus didesnis už tolimesnio automobilio pagreitį.

1963 metais buvo pristatytas naujas požiūris į mikro modeliavimą. Modeliai pagrįsti šiuo metodu klasifikuojami kaip psichofizikiniai ar veikimo taškų modeliai. GHR modelių principas, kad sekantis automobilis reaguoja į minimalus tolimesnio automobilio greičio pokyčius. Be to GHR modeliai daro prielaidą, kad sekantis automobilis reaguoja į tolimesnio automobilio veiksmus, net jei atstumas iki jo

yra pakankamai didelis ir greičių skirtumas minimalus. Tai gali būti tobulinama papildant GHR modelį laisvuju važiavimo režimu, avarinio stabdymo režimu ar psichofizikiniu modeliu. Psichofizikiniai modeliai naudoja ribas ar tam tikras sąlygas, kuriose vairuotojai keičia savo elgesį. Vairuotojai reaguoja į atstumų ir greičių pasikeitimą tik pasiekus tam tikrą ribą. Apibūdintos ribos ir režimai pateikiami erdvės-greičio diagramoje 1.2 pav.



1.2 pav. Erdvės-greičio diagrama [11]

Pateiktas Wiedemann'o ir Reiter'io (1992) psichofizikinis tolimesnio automobilio modelis. Fuzzy—logika yra kitoks požiūris pasitelktas eismo modeliavime. Tolimesnio automobilio modeliai pasitelkę šią logiką naudoja neapibrėžtus rinkinius, pavyzdžiui, ką reiškia „per arti“. Tokie rinkiniai gali būti panaudoti tokiose loginėse taisyklėse kaip, jei „per arti“, tada naudoti avarinį stabdymą. GHR modelyje manoma, kad vairuotojas žino tikslų savo greitį, atstumą iki kitų transporto priemonių ir t.t.. Fuzzy loginiuose modeliuose priimta, kad vairuotojai suvokia tik, koks tolimesnio automobilio greitis. Neapibrėžti rinkiniai gali persidengti tarpusavyje, tokiais atvejais naudojama tikimybinė tankio funkcija nustatanti, kaip sekančio automobilio vairuotojas vertins tolimesnės transporto priemonės greitį.

1.3.2 Modelių savybės

Kaip ir minėta yra įvairių tipų tolimesnio automobilio modelių. Visgi, kad ir kiek jų būtų, šioje srityje vis dar aktyviai vyksta moksliniai tyrimai. Todėl gan pagręsta būtų teigti, kad tobulas tolimesnio automobilio modelis dar nesukurtas arba, kad tokis visai neegzistuoja ir kiekvienu atveju gali būti naudojamas vis kitas ar keli apjungti modeliai. Taipogi, pasirenkamas modelis gali priklausyti nuo jo taikymo. Pavyzdžiui, makroskopinio eismo modeliavimui keliami reikalavimai pateikti vidutinį eismo

srautą ir eismo greitį yra mažesni nei reikalavimai mikroskopinio eismo modeliams, kurie naudojami gauti individualių transporto priemonių greičius, pagreičius, pozicijos pasikeitimus.

Eismo srautų simuliacijos ir tolimesnio automobilio modeliai naudojami stebėti, kaip pakeitimai tinkle paveikia tokius eismo parametrus kaip eismo srautas, greitis, tankis ir t.t.. Tokie simuliacijos rezultatai yra makroskopinio eismo parametrai, taigi tokioje simuliacijoje naudojami tolimesnio automobilio modeliai turi atitikti šiuos reikalavimus. Leutzbach'as (1988) pristatė GHR makroskopinių modelių patikrinimo būdą. Integruojant tolimesnio automobilio modelio lygtis galima gauti ryšius tarp vidutinio greičio, eismo srauto ir eismo intensyvumo. Šiuos ryšius po to galima lyginti su realiais eismo duomenimis ar makroskopinių eismo simuliacijų rezultatais. GHR modelyje, kai $\beta = 0$ ir $\gamma = 2$ integracija pasiekia "Greenshields" santykį.

$$q = v \cdot k = v_{siek} \cdot \left(1 - \frac{k}{k_{max}}\right) \cdot k \quad (1.7)$$

Čia q – eismo srautas (aut/h), k eismo tankis (aut/km), k_{max} ribinis eismo tankis (grūstis). Tačiau tokios patikros ne visada yra įmanomos dėl savarankiško tolimesnio automobilio modelio. Pavyzdžiui, negalima integruoti psichofizikinių modelių, todėl kad šie modeliai nepateikia sekančio automobilio pagreičio matematine forma. Vairuotojo reakcijos laikas yra vienas pagrindinių tolimesnio automobilio modelio parametrų. Priimta, kad esant ilgam reakcijos laikui, vairuotojai turi važiuoti išlaikydami didelius atstumus iki tolimesnio automobilio, kad išvengtų susidūrimo. Taip eismo tankis ir srautas būtų sumažintas. Dauguma tolimesnio automobilio modelių naudojamas vienas bendras reakcijos laikas visoms transporto priemonėms. Tai nėra labai realu žiūrint iš mikro perspektyvos, bet neiškreipia makro-simuliacijos rezultatų. Didelę įtaką turi ne tik reakcijos laikas bet ir jos dydis. Šiuo atveju rezultato poveikimas nėra toks pat akivaizdus, lyginant su reakcijos laiku. Staigiai greitėjant automobiliai greičiau pasiekia užsibrėžtą greitį dėl ko sumažėja kelionės laikas. Staigus stabdymas taipogi turėtų sutrumpinti kelionės laiką, nes galima stabdyti vėliau. Tačiau staigūs greitėjimai ir stabdymai gali sukelti eismo srauto svyravimus, perpildytas zonas ir vidutinio greičio sumažėjimą. Tolimesnio automobilio modeliai, naudojami programinėje įrangoje skirtoje modeliuoti mikroskopinius eismo parametrus, turi sukurti transporto priemonių judėjimą kiek įmanoma labiau panašų į vairuotojų elgseną keliuose. Pavyzdžiui tai gali būti vairuotojų supančių automobilių simuliacija vairavimo simulatoriuje, reikalaujanti tikslios informacijos apie kiekvieno automobilio važiavimo greičius ir trajektorijas. Žinoma, nereikėtų pamiršti, kad mikro modelių kalibracija yra žymiai brangesnė nei makro modelių.

Simuliuojant vairuotojo elgesį yra daug įmanomų sunkumų. Kiekvieno vairuotojo vairavimo ypatybės skiriasi. Reakcijos laikas ir jos dydis kiekvienam vairuotojui gali būti skirtingas. Šie skirtumai gali atsirasti dėl žmonių būdo ypatybių, gyvenamosios vietos. Lyginant Amerikiečius vairuotojus pamatysime, kad jų važiavimo maniera skirsis nuo Europiečių ar Azijiečių vairuotojų. Tolimesnio automobilio modeliai skirti eismui skirtingose šalyse turi turėti galimybę keisti sekančio automobilio

parametrus. Skirtumai tarp tam tikrų teritorijų gali būti tokie dideli, kad kai kurie tolimesnio automobilio modeliai net su pakeistais sekančio automobilio parametrais negali būti panaudoti nustatant dviejose teritorijose su skirtinga vairavimo maniera. Taipogi gali reikėti naudoti skirtingus parametrus ar net modelius skirtingoms situacijoms simuliuoti. Pavyzdžiui perkrautam ir neperkrautam eismui. GHR modeliai turi skirtingų versijų, kurios naudoja skirtingus parametrus perkrautam ir neperkrautam eismui modeliuoti. Priklausomai nuo eismo sąlygų to paties vairuotojo reakcijos laikas taipogi gali skirtis. Vairuotojai būna budresni esant perkrautam eismui ir jų reakcijos laikas tada būna mažesnis, nei keliaujant neperkrautomis eismo sąlygomis. Eismo srautų modeliavimas perkrautomis sąlygomis ir perėjimas iš įprastų, neperkrautų eismo sąlygų į perkrautas, taip pat reikalauja papildomo dėmesio.

1.3.3 Gipps modelis

Gipps tolimesnio automobilio modelis yra saugaus atstumo modelis. Šiame modelyje transporto priemonės skirstomos į laisvasias ir apribotas tolimesnio automobilio. Apribotas automobilis stengiasi priderinti savo greitį prie tolimesniojo, kad išlaikytų saugų atstumą iki jo. Tam tikras atstumas yra laikomas saugiu, jeigu sekantis automobilis galės sureaguoti į bet kokį tolimesnio automobilio veiksmą su juo nesusidurdamas. Vairuojant laisvuju režimu, automobilio greitis siekia užsibrėžtą greitį. Žemiau pateikiamas žymėjimas naudojamas Gipps modelio lygtyse:

a_n^{max} - Didžiausias automobilio n greitėjimo pagreitis, [m/s²]

d_n^{max} - Didžiausias automobilio n lėtėjimo pagreitis, [m/s²]

d_{n-1}^{\vee} - Didžiausias apskaičiuotas automobilio n-1 lėtėjimo pagreitis, [m/s²]

Greitis laiko intervale [t,t+T] parenkamas pagal 1.8 formulę [12]:

$$v_n(t + T) = \min\{v_n^a(t + T), v_n^b(t + T)\} \quad (1.8)$$

3 išraiškoje reakcijos laikas T lygus simuliacijos laiko žingsniui. Didžiausias greitis, kurį automobilis gali pasiekti per vieną simuliacijos žingsnį pateikiamas 1.9 išraiškoje:

$$v_n^a(t + T) = v_n(t) + 2.5 \cdot a_n^{max} \cdot T \cdot \left(1 - \frac{v_n(t)}{v_n^{siek}}\right) \cdot \sqrt{0.025 + \frac{v_n(t)}{v_n^{siek}}} \quad (1.9)$$

Didžiausias saugus greitis automobiliui n atsižvelgiant į tolimesnį automobilį laiko momentu t apskaičiuojamas 1.10 išraiškoje:

$$v_n^b(t + T) = d_n^{max} \cdot T + \sqrt{(d_n^{max} \cdot T)^2 - d_n^{max} \cdot [2\{x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)\} - v_n(t) \cdot T - \frac{v_{n-1}(t)^2}{d_{n-1}}]} \quad (1.10)$$

Efektyvusis automobilio ilgis s_{n-1} yra automobilio ilgio ir pasirinkto minimalaus atstumo tarp automobilių suma. Pagal TSS (2002), yra du būdai sekančiam automobiliui apskaičiuoti tolimesnio automobilio stabdymo efektyvumą. Pirmasis būdas yra priimti, kad vairuotojas tiesiog gali tiksliai nuspėti tolimesnio automobilio stabdymo efektyvumą.

$$d'_{n-1} = d_{n-1} \quad (1.11)$$

$$d'_{n-1} = \frac{d_n + d_{n-1}}{2} \quad (1.12)$$

Antras būdas yra priimti, kad tolimesnio automobilio stabdymo intensyvumas bus lygus vidurkiui tolimesnio ir sekančio automobilių stabdymų, jis apibrėžiamas 1.12 lygtimi.

1.3.4 Mitsim modelis

Mitsim tolimesnio automobilio modelis apima tris režimus su skirtingais sekimo parametrais: laisvąjį važiavimą, sekimą ir avarinį stabdymą. Šie režimai paremti GHR nesimetriniu modeliu. Sekančio automobilio laiko tarpas iki tolimesnio nusako kuriam režimui jis priklausys. Jeigu laiko tarpas didesnis už ribą h_{max} , tada automobilis nėra apribotas tolimesnio ir yra laisvojo važiavimo režime, gali pasiekti užsibrėžtą greitį. Jeigu laiko tarpas iki tolimesnio automobilio yra tarp žymų h_{max} ir h_{zmin} , tada automobilis yra sekimo režime ir jo greitis apribotas atstumo iki tolimesnio automobilio ir jų greičių skirtumo. Kai laiko tarpas pasidaro mažesnis už ribą h_{min} , tada sekantis automobilis per daug priartėja prie tolimesnio ir turi staigiai stabdyti.

Laisvojo važiavimo režime automobilis stengiasi pasiekti užsibrėžtą greitį. Jeigu pasiekia didesnę greitį, nei buvo užsibrėžęs, tada nedideliu tempu sulėtina. Tačiau, jeigu greitis nesiekia užsibrėžto, tada greitėjama didžiausiu pagreičiu. Lėtėjimas ir greitėjimas yra nustatyti funkcijos parametrai priklausantys nuo automobilio tipo ir jo esamo greičio. N-ojo automobilio pagreitis gali būti išreikštas 1.13 išraiška [13]:

$$a_n = \begin{cases} a_n^+ & v_n < v_n^{užsibrėž} \\ 0 & v_n = v_n^{užsibrėž} \\ a_n^- & v_n > v_n^{užsibrėž} \end{cases} \quad (1.13)$$

a_n^+ yra didžiausias greitėjimo pagreitis, o a_n^- lėtėjimo pagreitis, abiejų dimensijų matavimo vienetai - $[m/s^2]$.

Iprastinio sekimo režime n-tojo automobilio pagreitis apskaičiuojamas pasitelkiant nesimetrinį GHR modelį:

$$a_n = \alpha^\pm \frac{v_n^\beta}{(x_{n-1} - x_n - l_{n-1})^\gamma} \cdot (v_{n-1} - v_n) \quad (1.14)$$

1.14 išraiškoje α^\pm , β^\pm ir γ^\pm yra režimo parametrai. α^+ , β^+ ir γ^+ naudojami, kai $v_n < v_{n-1}$, o α^- , β^- ir γ^- , kai $v_n > v_{n-1}$.

Avarinio stabdymo režime automobilis turi pasirinkti tokį lėtėjimo pagreitį, kad išvengtų susidūrimo su tolimesniuoju ir padidintų atstumą iki jo. Pagreitis randamas 1.15 išraiška:

$$a_n = \begin{cases} \min\{a_n^-, a_{n-1} - 0.5(v_n - v_{n-1})^2 / (x_{n-1} - x_n - l_{n-1})\} & v_n > v_{n-1} \\ \min\{a_n^-, a_{n-1} + 0.25a_n^-\} & v_n < v_{n-1} \end{cases} \quad (1.15)$$

1.3.5 Fritzsche modelis

Fritzsche modelis veikia pagal žmogaus suvokimą, kaip elgtis kiekvienoje situacijoje. Pavyzdžiui, greičių skirtumas tarp tolimesniojo ir sekančio automobilio turi būti tam tikro dydžio, kad vairuotojas sugebėtų jį suvokti. Fritzsche sukūrė režimus apibūdinančias ribas. Ribos PTN ir PTP žyminčios neigiamą ir teigiamą greičių skirtumą tarp automobilių. apibrėžiamos 1.16 išraiška [14].

$$\begin{aligned} PTN &= -k_{PTN} \cdot (\Delta x - s_{n-1})^2 - f_x \\ PTP &= k_{PTP} \cdot (\Delta x - s_{n-1})^2 + f_x \end{aligned} \quad (1.16)$$

k_{PTN} , k_{PTP} , f_x – modelio parametrai. Sekantis automobilis nesuvokia greičių skirtumo, jeigu jis mažesnis už ribas PTN ar PTP. Priimta, kad vairuotojas pastebės mažesnius greičio skirtumus, kai tolimesnis automobilis artėja, nei nei kad tolsta, dėl to PTN riba mažesnė negu PTP. Beto Fritzsche modelyje yra dar keturios ribos nusakančios atstumą iki tolimesnio automobilio.

- Užsibrėžtas atstumas (AD). Riba apibrėžia atstumą, kurio vairuotojas nori laikytis nuo tolimesnio automobilio.

$$AD = s_{n-1} + T_D \cdot v_n \quad (1.17)$$

T_D - funkcijos parametras apibrėžiantis užsibrėžtą atstumą.

- Rizikingas atstumas (AR). Atstumo laikymosi maniera apibrėžta 1.18 išraiška.

$$AR = s_{n-1} + T_r \cdot v_{n-1} \quad (1.18)$$

T_r - laiko tarpas iki tolimesnio automobilio apibrėžiantis rizikingą atstumą.

- Saugus atstumas (AS). AS apibrėžiamas kaip mažiausias atstumas iki tolimesnio automobilio, kurį pasiekus galima greitėti, jei didėja atstumas tarp automobilių.

$$AS = s_{n-1} + T_s \cdot v_n \quad (1.19)$$

T_s - funkcijos parametras apibrėžiantis saugų atstumą.

- Stabdymo atstumas (AB). Didžiausias stabdymas pagreitis yra ribotas, be to įmanomas automobilių susidūrimas, jei vairuotojas tinkamai neįvertins greičių skirtumo. Siekiant išvengti tokių susidūrimų stabdymo atstumas apibrėžiamas 1.20 išraiška:

$$AB = AR + \frac{\Delta v^2}{\Delta b_m} \quad (1.20)$$

Δb_m išreiškiamas:

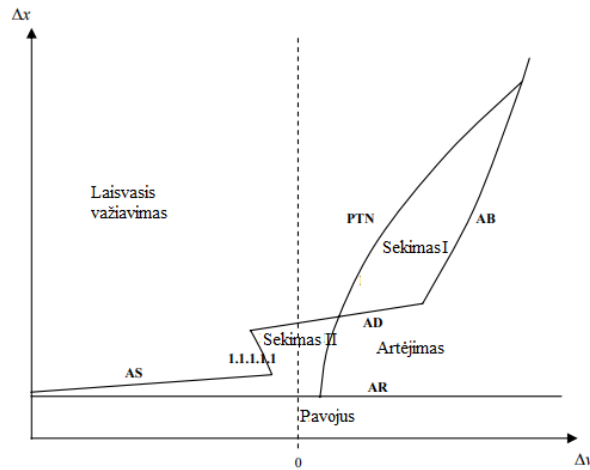
$$\Delta b_m = |b_{min}| + a_{n-1}^- \quad (1.21)$$

1.21 išraiškoje b_{min} ir a_{n-1}^- yra modelio parametrai nusakantys maksimalų stabdymo pagreitį.

Laiko reikšmės $T_D > T_r > T_S$ išsidėsto:

$$T_D > T_S > T_r$$

Duotos ribos apibūdina tolimesnio sekimo režimus, kurie pateikiami erdvės - greičio diagramoje 1.3 pav.



1.3 pav. Erdvės - greičio diagrama [14]

Automobilio važiavimas skirtinguose režimuose apibūdinamas:

Pavojus – atstumas iki tolimesnio automobilio mažesnis negu rizikingas atstumas AR, sekantis automobilis stabdo didžiausiu lėtėjimo pagreičiu.

Artėjimas – greičių skirtumas tarp automobilių didesnis už PTN ribą, o atstumas tarp AB ar AD ir AR. Sekantis automobilis stabdo, kad pasiektų tolimesnio automobilio greitį. Stabdymo pagreitis parenkamas toks, kad greičių skirtumas būtų lygus nuliui pasiekus rizikingo atstumo ribą.

$$a_n = \frac{(v_{n-1}^2 - v_n^2)}{2d_c} \quad (1.22)$$

1.22 išraiška apibrėžia n-tojo pagreitį. d_c rizikos atstumas apskaičiuojamas:

$$d_c = x_{n-1} - x_n - AR + v_{n-1} \Delta t \quad (1.23)$$

Δt simuliacijos laiko žingsnis.

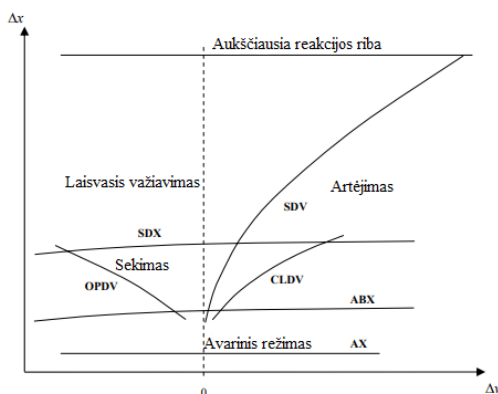
Seikimas I – greičių skirtumas tarp PTP ir PTN, o atstumas tarp ribų AR ir ir AD. Sekantis automobilis nesiima jokių sąmoningų veiksmų. Įvedamas parametras b_{null} , naudojamas perteikti kintantį važiavimo greitį, labiausiai atitinkantį realias eismo sąlygas.

Sekimas II – greičių skirtumas didesnis už ribą PTN. Atstumas iki tolimesnio automobilio didesnis už ribą AD ar AB. Šioje zonoje vairuotojas suvokia, kad artėja prie tolimesnio automobilio, bet nesiima jokių veiksmų.

Laisvasis važiavimas – greičių skirtumas tarp automobilių mažesnis už PTN ribą, o atstumas didesnis už AD ribą. Sekantis automobilis greitėja pagreičiu a^+_n , kad pasiektų siekiamą greitį. Pasiekus užsibrėžtą greitį įvedamas parametras b_{null} , naudojamas perteikti kintantį važiavimo greitį.

1.3.6 Wiedemann modelis

Wiedemann modelis buvo pristatytas 1974 m. ir iki šiol yra tobulinamas. Šis modelis turi panašumų į anksčiau minėtą Fritzsche modelį, nes režimus apibrėžia tam tikros ribos. 1.4 pav pateikiama Wiedemann modelio struktūra su režimais ir ribomis erdvės ir greičio diagramoje [9].



1.4 pav. Wiedemann modelio struktūra [9]

Saugus atstumas tarp stovinčių automobilių – AX . Ši riba apskaičiuojama kaip tolimesnio automobilio ilgio ir minimalaus atstumo tarp automobilių suma, formulė pateikiama 1.24 išraiškoje [9]:

$$AX = L_{n-1} + Axadd + RND1_n \cdot Axmult \quad (1.24)$$

$Axadd$ ir $Axmult$ - kalibracijos parametrai. $RND1_n$ – vairuotoją apibūdinantis parametras.

Mažiausias sekimo atstumas, kai greičių skirtumas Δv nedidelis (ABX). ABX riba apskaičiuojama:

$$ABX = AX + BX$$

$$BX = (BXadd \cdot Bxmult \cdot RND1n) \cdot \sqrt{v} \quad (1.25)$$

$BXadd$ ir $Bxmult$ – kalibracijos parametrai.

Didžiausias atstumas iki tolimesnio automobilio sekimo režime – SDX . Jis apskaičiuojamas:

$$SDX = AX + EX \cdot BX$$

$$EX = EXadd + Exmult \cdot (NRND - RND2n) \quad (1.26)$$

$EXadd$ ir $Exmult$ kalibracijos parametrai. $NRND$ ir $RND2_n$ vairuotojo elgesio parametrai.

SDV - artėjimo zona. Riba SDV nurodo, kada sekančio automobilio vairuotojas suvokia, jog tolimesnis automobilis važiuoja lėčiau už jį.

$$SDV = \left(\frac{\Delta x - L_{n-1} - AX}{CX} \right)^2 \quad (1.27)$$

$$CX = CXconst \cdot (CXadd + CXmult \cdot (RND1 + RND2)) \quad (1.28)$$

$CXconst$, $Cxadd$, $Cxmult$ kalibracijos parametrai.

$CLDV$ – riba, kai vairuotojas suvokia, kad juda greičiau už tolimesnį automobilį ir imasi veiksmų.

$OPDV$ – riba, kai vairuotojas suvokia, kad juda lėčiau už tolimesnį automobilį. Riba apibrėžiama:

$$OPDV = CLDV \cdot (-OPDVadd - OPDVMult \cdot NRND) \quad (1.29)$$

$OPDVadd$, $OPDVMult$ yra kalibracijos parametrai. $NRND$ vairuotojo elgesio parametras.

Ribos $OPDV$, SDX , ABX ir SDV apibrėžia sekimo režimą. Norint apibrėžti automobilio akseleratoriaus valdymą priimta, kad automobilio pagreitis nebūna lygus nuliui. Automobiliumi patenkant į sekimo režimą per ribas $OPDV$ ar SDX jo pagreitis laikomas b_{null} , o per ribas ABX ar SDV pagreitis priskiriamas $-b_{null}$. Greitėjimo ar lėtėjimo pagreitis $|b_{null}|$ apibrėžiamas:

$$b_{null} = BNULLmult \cdot (RND4_n + NRND) \quad (1.30)$$

$BNULLmult$ – kalibracijos parametras. $RND4_n$ ir $NRND$ vairuotojo elgesį apibūdinantys parametrai.

Laisvasis važiavimas – automobilis virš visų ribų ir eisme dalyvauja neveikiamas kitų transporto priemonių. Transporto priemonė, kad pasiektų užsibrėžtą greitį naudoja didžiausią pagreitį. Pasiekus užsibrėžtą greitį, įvedamas netolygus akseleratoriaus valdymas, kad automobilio pagreitis nebūtų lygus nuliui. Didžiausias automobilio pagreitis randamas:

$$b_{max} = BMAXmult \cdot (v_{max} - v \cdot FaktorV) \quad (1.31)$$

$$FaktorV = \frac{v_{max}}{v_{des} + FaktorVmult \cdot (v_{max} - v_{des})} \quad (1.32)$$

v_{max} – didžiausias automobilio greitis. $FAKTORVmult$ – kalibracijos parametras.

Artėjimas – kirtus SDV liniją vairuotojas pastebi, kad artėja prie lėčiau važiuojančio automobilio ir stabdo. Stabdymo pagreitis išreiškiamas:

$$b_n = 0.5 \cdot \frac{\Delta v^2}{ABX - (\Delta x - L_{n-1})} + b_{n-1} \quad (1.33)$$

b_{n-1} tolimesnio automobilio stabdymo pagreitis.

Avarinis režimas – atstumui tarp automobilių tapus mažesniau už ABX ribą, sekantis automobilis stabdo, kad išvengtų susidūrimo. Didžiausias stabdymo pagreitis:

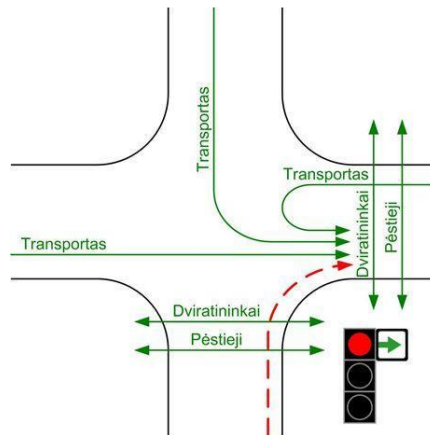
$$b_{min} = BMINadd - BMINmult \cdot RND3_n + BMINmult \cdot v_n \quad (1.34)$$

$BMINadd$, $BMINmult$ – kalibracijos parametrai, o $RND3_n$ vairuotojo elgesio parametras.

1.4 Eismo organizavimas šviesoforais reguliuojamose sankryžose su papildoma lentele

Automobilių vairuotojai, važiuodami per sankryžą degant draudžiamajam šviesoforo signalui esant lentelei su žalia rodykle, privalo praleisti važiuojančias per leidžiamąjį šviesoforo signalą transporto priemones, bei pirmumo teisę turinčius pėsčiuosius. Deja, pasitaiko atvejų, kai šių reikalavimų vairuotojai nesilaiko – tai įtakoja žmogiškasis faktorius, nemokėjimas priimti informacijos gausos ar

paprasciausios klaidos tikimybė. Taipogi, KET nurodo t.p. vairuotojui prieš sukant į dešinę per draudžiamąjį šviesoforo signalą su žalia rodykle į dešinę sustoti prieš kelio ženklą „Stop“ linija“ ar „Stop“ liniją. Kad nebūtų trukdoma ar keliama grėsmė kitiems eismo dalyviams, privaloma atidžiai stebėti pėsčiuosius ir transporto priemones, kurioms dega žalias šviesoforo signalas. Tikėtinas konfliktines situacijas tarp t.p. vairuotojų, sukančių į dešinę pagal lentelę su žalia rodykle ir kitų t.p. bei pėsčiųjų parodo 1.5 pav.



1.5 pav. Tikėtinos konfliktinės situacijos su kitais eismo dalyviais [2]

Vairuotojai nesilaikantys kelių eismo taisyklių reikalavimų trukdo iš kairės pusės atvažiuojančioms t.p., iš priekio į kairę sukančioms t.p., iš dešinės pusės atvažiuojančiam ir važiuojamųjų dalių sankirtoje apsisukančioms t.p.. Taipogi kelia pavojų pėstiesiems bei dviratininkams. Lentelei su žalia rodykle galimos alternatyvos :

- apsaugotas dešinys posūkis, instaliuojant šviesoforą su rodyklėmis;
- iš dalies apsaugotas dešinys posūkis, instaliuojant papildomą šviesoforo sekciją su rodykle;
- išmanus eismo reguliavimas, instaliuojant eismo daviklius, kurie užfiksavę transporto priemonę, greičiau įjungia leidžiamąjį šviesoforo signalą.

Norint nustatyti šviesoforo signalų ciklo laiką reikia įvertinti daug kriterijų: per sankryžą pravažiuojančių automobilių skaičių, sankryžos formą, konfliktinių taškų išsidėstymą, eismo srautų skirtumus juostose. Šviesoforo ciklą skaičiavimas prasideda nuo eismo srauto įvertinimo juostose. Priklausomai nuo eismo srautų, ir sankryžos pralaidumo parenkama signalų rūšys ir jų kitimo schema.

1.5 Eismo srauto parametrų skaičiavimo metodika

Eismo srauto analizei pasitelkiamas vertikalusis automobilių eilės modelis. Šis modelis priima, kad į sankryžą įvažiuojantis ir iš jos išvažiuojantis eismo srautas yra ribojamas tik gatvės eismo srauto

didžiausio laidumo. Automobilių srautas, viršijantis gatvės didžiausią laidumą kaupiamas vertikaliai, kad neužimtų vietos (1.6 pav).



1.6 pav. Vertikalus automobilių eilės modelis

Eismo srautas q yra automobilių, pravažiavusių tam tikrą kelio atkarpą, per laiko tarpą t santykis.

$$q = \frac{N}{t} \quad (1.35)$$

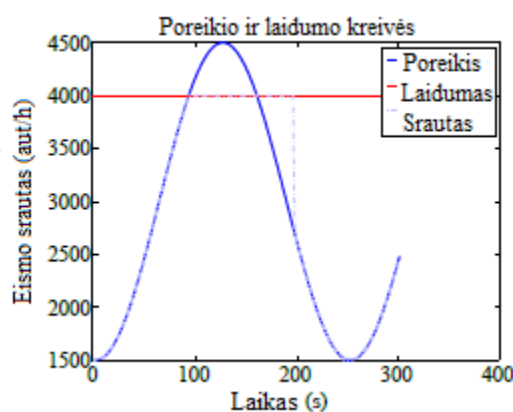
$$N = \int q dt \quad (1.36)$$

N - Automobilių skaičius

t - laikas, per kurį automobiliai nuvažiuoja tam tikrą kelio atkarpą, [s]

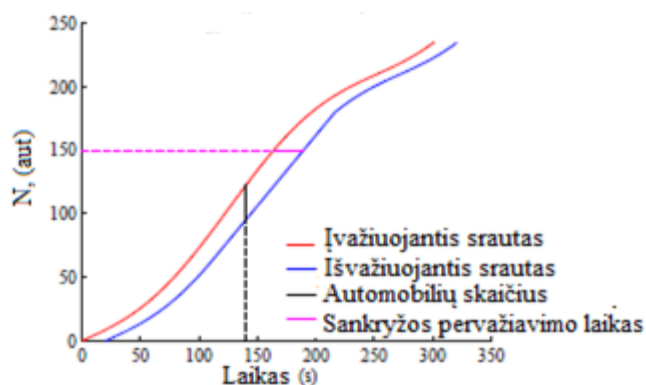
q - eismo srautas, [aut/h]

Norint rasti automobilių skaičių, pravažiavusių per laiko momentą t , reikia integruoti eismo srautą q pagal pravažiavimo laiką t .



1.7 pav. Poreikio ir laidumo kreivės [5]

1.7 pav. pateiktos poreikio ir pralaidumo kreivės. Pralaidumo poreikiui viršijus didžiausią laidumą (nuo 90 s iki 160 s), dalis automobilių nebepravažiuoja ir susidaro eismo spūstis. Tada įvažiuojantis srautas didesnis už išvažiuojantį iš sankryžos. Poreikiui sumažėjus žemiau didžiausio gatvės laidumo spūstis pradeda mažėti (įvažiuojantis srautas mažesnis už išvažiuojantį iš sankryžos).



1.8 pav. Kaupiamosios kreivės

1.8 pav pateiktos sankryžos kaupiamosios (kumuliacinės) kreivės. Raudona ir mėlyna kreivės tai įvažiuojantis ir iš sankryžos išvažiuojantys srautai. Vertikalus atstumas tarp šių kreivių nurodo konkrečiu laiko momentu t , vėluojančių automobilių skaičių. Horizontalus atstumas tarp kreivių nusako laiką, reikalingą konkrečiam automobiliui pervažiuoti sankryžą. Įvažiuojantis srautas yra duotas – P .

$$q_{Ivaž} = P \quad (1.37)$$

Norint ją nubraižyti laikas skaidomas į mažus laiko intervalus t . Kiekviename laiko intervale skaičiuojamas įvažiuojantis srautas, išvažiuojantis srautas ir susidaranti vertikali eilė (automobilių skaičius vertikaloje eilėje - L). Tarp laiko tarpų, momentu pažymimu $t+1/2$, automobilių skaičius eilėje atnaujinamas pagal įvažiuojančius ir išvažiuojančius iš sankryžos srautus. Eilės iš pradžių nėra, tada kiekvienu laiko žingsniu skaičiuojama eilė iki laiko momento $t+1/2$. Šis tarpinis žingsnis nurodo automobilių skaičių eilėje, jei išvažiuojantis srautas būtų lygus nuliui, tai prie buvusios eilės pridedamas įvažiuojančių automobilių skaičius.

$$L_{t+1/2} = L_t + q_{Ivaž} \cdot \Delta t \quad (1.38)$$

Išvažiuojantis iš sankryžos srautas ($q_{Išv}$) negali būti didesnis nei gatvės laidumas (1.7 pav) ir negali viršyti įvažiuojančio srauto ($q_{Ivaž}$). Taigi vertikali eilė po pirmo laiko žingsnio lygi:

$$L = L_{t+1/2} - q_{Išv} \cdot \Delta t = L_t + (q_{Ivaž} - q_{Išv}) \cdot \Delta t \quad (1.39)$$

Gaišties laikas gaunamas 1.40 išraiška.

$$t_i = \int N_i dq \quad (1.40)$$

Laukiančių automobilių skaičius konkrečiu laiko momentu t apskaičiuojamas 1.41 formule.

$$N_t = \int (q_{Ivaž} - q_{Išv}) dt \quad (1.41)$$

1.6 Programinės įrangos parinkimas

Darbe Naudojama PTV Vissim ir IBM SPSS programinė įranga. PTV Vissim patogiu sukurti sankryžos geometriją, analizuoti viešojo transporto prioriteto schemas ar atsižvelgti į tam tikrų signalų poveikį. PTV Vissim leidžia tiksliai imituoti eismo modelius. PTV Vissim parodo visus kelių eismo dalyvius ir jų sąveiką pagal vieną modelį. Moksliskai pagrįsti judesio modeliai užtikrina realų visų eismo dalyvių modeliavimą. Programinė įranga suteikia lankstumo keliais aspektais: nuorodų ir jungčių koncepcija leidžia vartotojams modeliuoti geometriją bet koku sudėtingumu. Vairuotojo ir transporto priemonės charakteristikos gali būti keičiamos individualiai. Be to, daug sąsajų užtikrina vientisą integraciją su kitomis signalų valdiklių sistemomis, eismo valdymu ar emisijos modeliais.

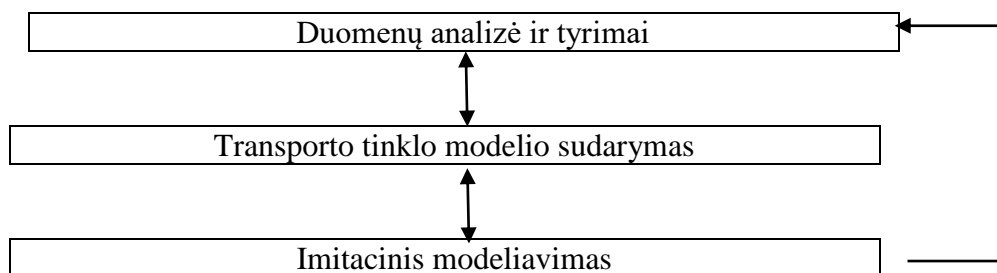
IBM SPSS yra plačiai naudojama statistinės analizės programa. Ją naudoja socialinių mokslų tyrimuose, rinkos tyrėjai, sveikatos tyrinėtojai, tyrimų bendrovės, vyriausybės, švietimo tyrėjai, rinkodaros organizacijos, duomenų gavėjai. Be statistinės analizės, pagrindinės programinės įrangos funkcijos yra duomenų valdymas (atvejo atranka, failų pertvarkymas, išvestų duomenų rinkimas) ir duomenų dokumentacija. Ja patogiu apdoroti duomenis, atlikti statistinius skaičiavimus.

2. EISMO SRAUTŲ TYRIMAS IR MODELIAVIMAS

Detaliam tyrimui ir analizei buvo pasirinkta Kauno pilies žiedinė sankryža ir Kriščiukaičio- Jurbarko gatvių sankryža. Kauno pilies žiedinėje sankryžoje kertasi pagrindinės Kauno miesto centrinės dalies arterijos: Šauklių g.- Jonavos g. – Jurbarko g., kuriose transporto eismo intensyvumo pasiskirstymas yra didelis. Ant P. Vileišio tilto bei jo prieigose transporto eismo intensyvumas yra ribinis, eismo tankis siekia maksimalius įverčius, gaišties laikas gerokai padidėjęs, judėjimo greitis minimalus. Piko metu transporto eismo spūstys nusidriekia ir užkemša pagrindinę centrinę Kauno miesto transporto tinklo dalį.

Tendencingas transporto eismo intensyvumo augimas Kauno mieste iš dalies sąlygojamas ir dėl geografiškai patogios transporto susisiekimo sistemos padėties, nedidelių atstumų, augančios infrastruktūros poreikio, tarptautinės logistikos masto. Transporto eismo grūstys XXI a. tarsi neatsiejama miesto pulso dalis, auginanti susisiekimo kaštus, eksploatacinių sąnaudų dydį, taršą, eismo įvykių skaičių, eismo poreikio ir paklausos priklausomybes.

Kauno pilies žiedo ir Kriščiukaičio – Jurbarko gatvių transporto eismo srautų tyrimai ir modeliavimas buvo atliekamas keliais etapais (2.1 pav.)



2.1 pav. Modelio schema

Pirmiausia surenkami duomenys apie eismo jungtis, eismo juostų skaičių, šviesoforų darbo ciklus, eismo srautų duomenys. Išanalizuojama transporto tinklo dalis, atliekamas transporto dalies esamos situacijos tyrimas. Vėliau sudaromas transporto tinklo modelis ir atliekamas imitacinis modeliavimas nagrinėjamos transporto tinklo dalies sistemos atveju bei kitais galimais scenarijais: 1) eismo tvarka nekeičiama; 2) iš tinklo pašalinamos žalios rodyklės prie raudonų šviesoforo signalų; 3) pakeičiama eismo tvarka žiedinėje sankryžoje.

2.1 Eismo srautų duomenys

Renkant eismo srautų duomenis buvo atliekami trys matavimai 2017m rugsėjo 14-ą, 28-ą ir spalio 2-ą dienomis. Matavimai vyko vakarinio piko metu nuo 16h iki 18h. Matuota trijose sankryžose pravažiuojančių automobilių srautai, šviesoforo darbo ciklo laikai.

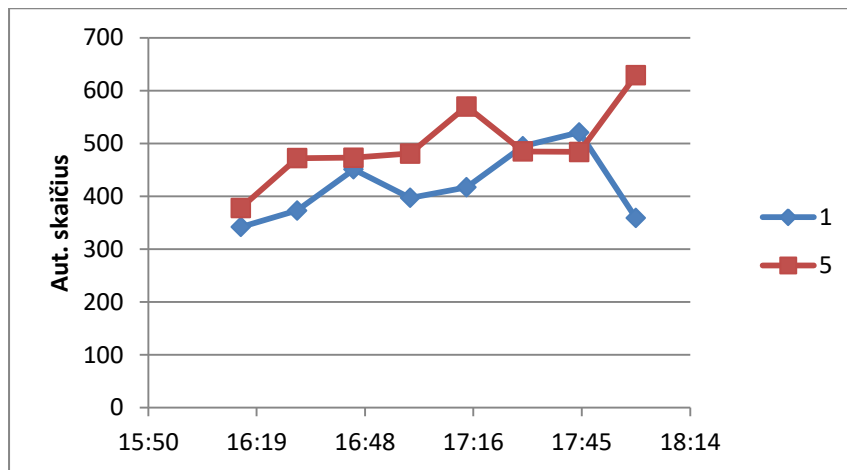


2.2 pav. Eismo srauto matavimo vietos Kauno pilies žiedinėje sankryžoje

2.1 lentelė Pravažiuojančių automobilių skaičius Kauno pilies žiedinėje sankryžoje

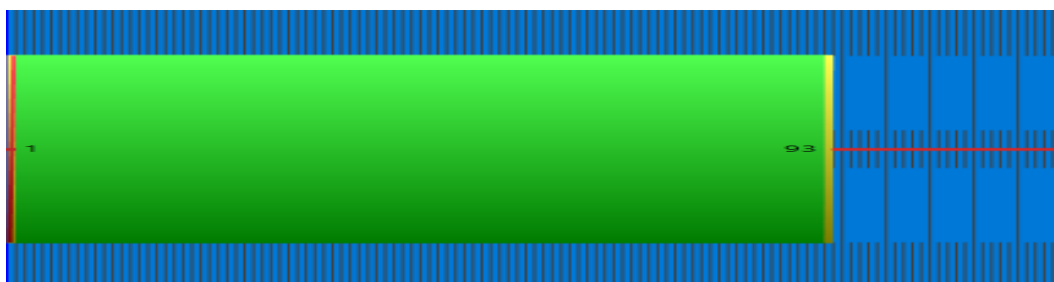
Matavimo laikas Matavimo vieta	16:00- 16:15	16:15- 16:30	16:30- 16:45	16:45- 17:00	17:00- 17:15	17:15- 17:30	17:30- 17:45	17:45- 18:00
1	342	373	451	397	417	495	521	359
2	482	521	621	610	613	586	602	541
3	112	148	159	147	125	146	163	130
4	313	330	397	334	368	385	378	346
5	378	472	473	481	570	485	484	629
6	287	276	248	297	291	208	271	294
7	186	201	194	201	178	168	172	183
8	261	257	230	249	257	226	267	258
9	71	68	76	79	87	99	113	109

Kauno pilies žiedinėje sankryžoje eismo srautai buvo matuoti devyniose vietose. Kiekvieno matavimo metu gauti rezultatai skyrėsi, tad 2.1 lentelėje pateikiamos didžiausios reikšmės gautos rugsėjo 14-ą dieną. 2.4 pav. pateikiamas pilies žiedinės sankryžos pėsčiųjų šviesoforo darbo ciklas.



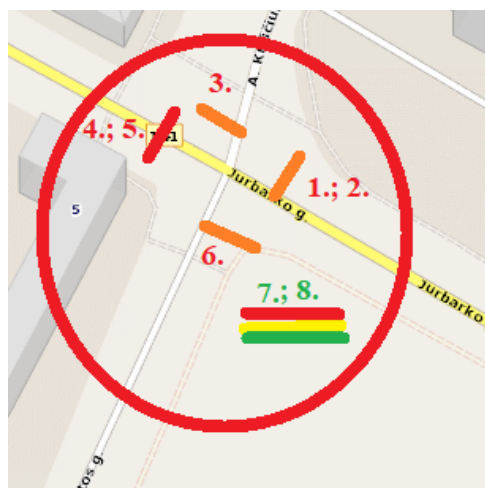
2.3 pav. Eismo srautų pasiskirstymas Kauno pilies žiedinėje sankryžoje

Eismo srautų kitimas laike Kauno pilies žiedinėje sankryžoje. Įvažiuojantis srautas iš Šauklių g. auga iki 17:15. Nuo 17:15 eismo srautas sumažėja 85 (aut) ir iki 18:00 išauga iki 629 (aut/15 min). Įvažiuojantis srautas nuo P. Vileišio tilto auga iki 17:45, pasiekęs 521 (aut/15 min) pradeda mažėti.



2.4 pav. Pilies žiedo pėsčiųjų šviesoforo darbo ciklo laikas

Vidutinė žalio ciklo trukmė pėsčiųjų šviesofore buvo 92 s. Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos eismo srautų matavimo vietos pateikiamos 2.5 pav.



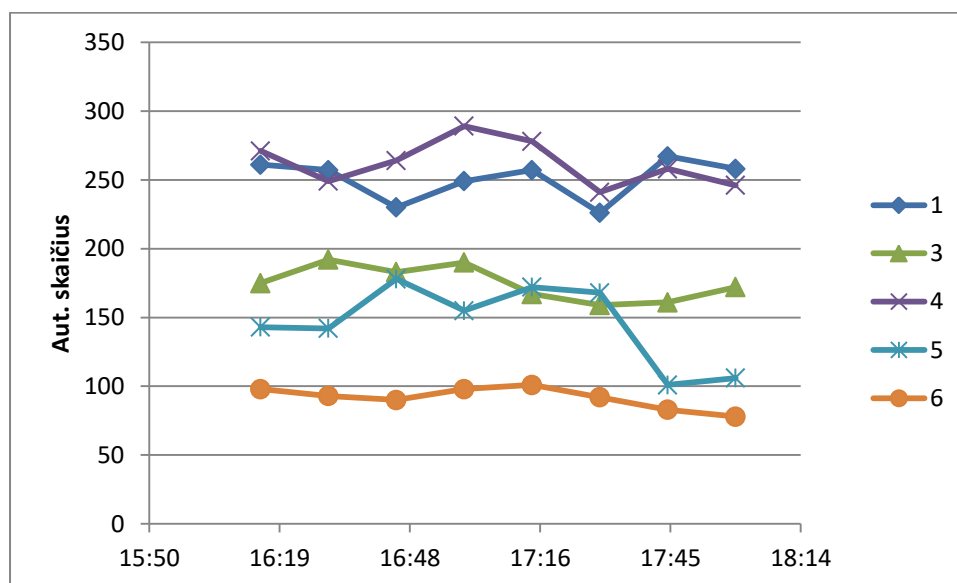
2.5 pav. Eismo srauto matavimo vietos Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje

Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos eismo srautų dydžiai pateikiami 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė Pravažiuojančių automobilių skaičius Kriščiukaičio – Jurbarko g. sankryžoje

Matavimo vieta \ Matavimo laikas	Matavimo laikas								
	16:00- 16:15	16:15- 16:30	16:30- 16:45	16:45- 17:00	17:00- 17:15	17:15- 17:30	17:30- 17:45	17:45- 18:00	
1	261	257	230	249	257	226	267	258	
2	342	373	451	397	417	495	521	359	
3	175	192	183	190	167	159	161	172	
4	271	249	264	289	278	241	258	246	
5	142	178	155	172	168	101	106	155	
6	93	90	98	101	92	83	78	94	

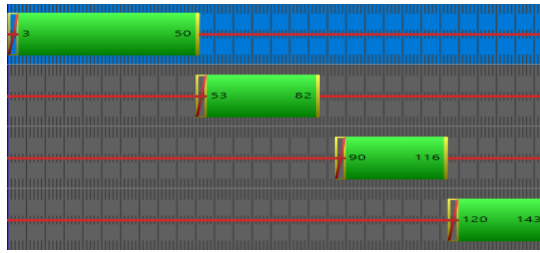
Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje eismo srautai buvo matuoti šešiose vietose. 2.2 lentelėje pateikiamos didžiausios reikšmės gautos rugsėjo 14-ą dieną.



2.6 pav. Eismo srautų pasiskirstymas Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje

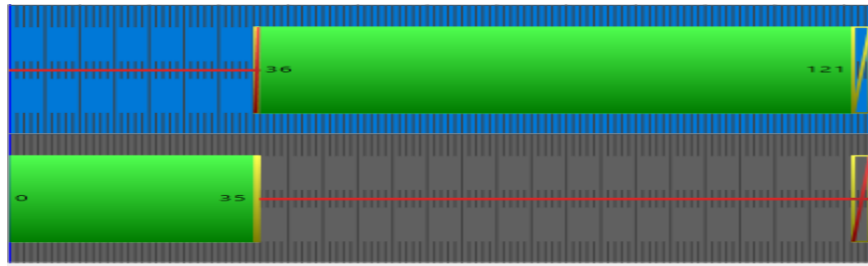
Didžiausi eismo srautai užfiksuoti Jurbarko g. link P. Vileišio tilto. Didžiausias eismo srautas užfiksuotas 17:00. Pasiekęs 289 (aut/15 min) pradeda mažėti. Srautas Jurbarko g. link Raudondvario pl. Nuo 16:00 iki 16:45 mažėja, pasiekęs 230 (aut/15min) pradeda augti iki 18:00. Iš Kriščiukaičio g. atvažiuojančių automobilių kiekis iki 17:00 išlieka pastovus. Nuo 17:00 pradeda mažėti. Mažiausias eismo srautas Brastos gatvėje. Nuo 16:00 iki 17:15 išlieka pastovus, po to pradeda mažėti.

2.7 pav. pavaizduoti Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos šviesoforo darbo ciklo laikai.



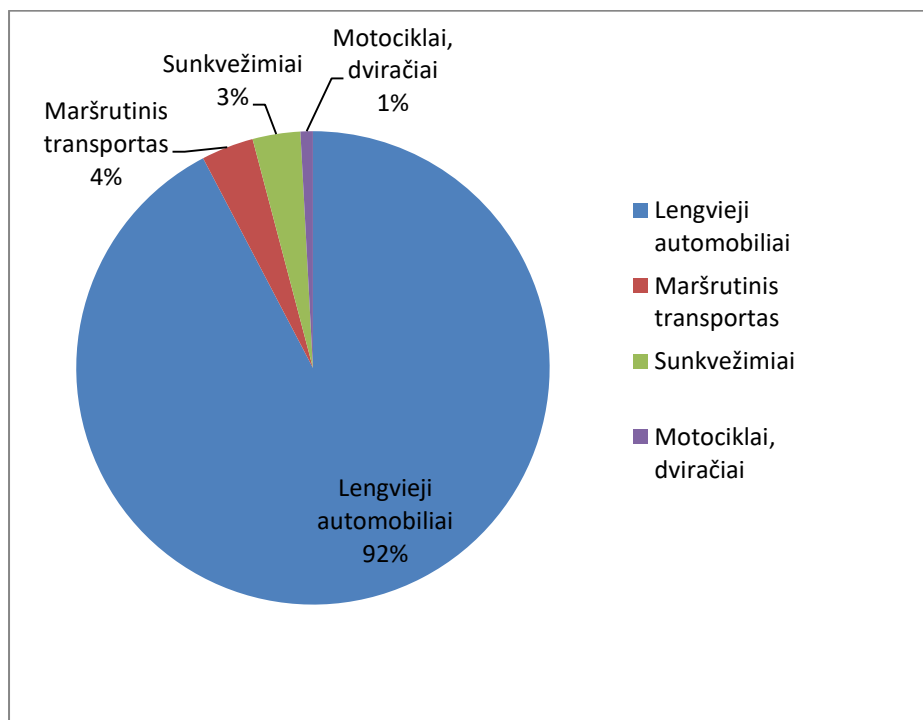
2.7 pav. Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos šviesoforo darbo ciklo laikai

Ilgiausias žalia signalo ciklas dega srautui iš Jurbarko g. vidutiniškai 47 s. Srautui nuo P. Vileišio tilto žalias šviesoforo signalas šviečia vidutiniškai 29s. Kriščiukaičio g. ir Brastos g. srautams atitinkamai 26 ir 24 s.



2.8 pav. Getrūdos – Šauklių g. sankryžos šviesoforo darbo ciklo laikai

2.8 pav. pavaizduoti Getrūdos – Šauklių g. sankryžos šviesoforo darbo ciklo laikai. Getrūdos – Šauklių g. kryptimi važiuojančiam srautui žalias šviesoforo signalas vidutiniškai šviečia 85 s.



2.9 pav. Eismo srauto sudėtis

2.9 pav. pateikiama eismo srauto sudėtis. Iš paveikslėlio matyti, kad lengvieji automobiliai sudarodidžiąją dalį viso srauto – 92%. Alternatyvūs kelionės būdai – maršrutinis transportas ir dviračiai, motociklai bendrai sudaro tik 5% viso automobilių srauto. Krovininis transportas sudaro iki 3% srauto. 2.3 lentelėje pateikiami pilies žiedinės sankryžos didžiausi (piko valandos) eismo srautai.

2.3 lentelė Eismo srautai pilies žiedinėje sankryžoje

Matavimo vieta	Eismo srautas (aut/h)
1	1650
2	2100
3	590
4	1400
5	2200
6	1260
7	750
8	980
9	390

2.4 lentelė Eismo srautai Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžoje

Matavimo vieta	Eismo srautas (aut/h)
1	590
2	1080
3	820
4	1100
5	610
6	720

2.4 lentelėje pateikiami Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos didžiausi (piko valandos) eismo srautai. Piko valandos eismo srautų dydžiai naudojami modeliavime.

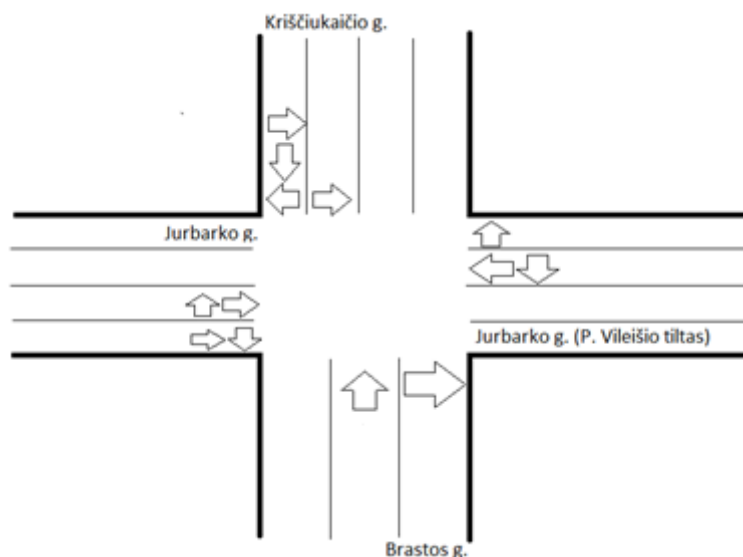
2.2 Sankryžų analizė

Kriščiukaičio – Brastos g. sankryža yra reguliuojama šviesoforų signalais. Sankryžos juostų skaičiai pateikiami 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžos techniniai duomenys

Gatvės pavadinimas	Juostų skaičius išvažiuoti iš gatvės	Juostų skaičius įvažiuoti į gatvę	Lentelė su žalia rodykle, į dešinę	Juosta/os važiuoti tiesiai	Juosta/os važiuoti į dešinę	Juosta/os važiuoti į kairę
Brastos	2	1	1	1	1	1
Jurbarko	2	2	0	2	1	1
Kriščiukaičio	2	2	0	1	1	2
Jurbarko (tiltas)	2	2	1	1	1	1

Iš Brastos g. į dešinę sukama iš pirmos eismo juostos, į kairę ir tiesiai – iš antros. Iš Jurbarko g. į dešinę sukama iš pirmos eismo juostos, tiesiai galima važiuoti iš pirmos ir antros eismo juostos, į kairę tik iš antros eismo juostos. Iš Kriščiukaičio g. į dešinę galima sukti iš pirmos eismo juostos, tiesiai tik iš pirmos eismo juostos, o į kairę iš pirmos ir iš antros eismo juostos. Iš Jurbarko g. (nuo Petro Vileišio tilto) į dešinę galima sukti tik iš pirmos eismo juostos. Tiesiai ir į kairę galima važiuoti iš antros eismo juostos. Principinė sankryžos schema pateikiama 2.10 pav.



2.10 pav. Principinė sankryžos schema

Kauno Pilies žiedinė sankryža yra sudėtinga eismo inžinerijos prasme ir vairuotojų atžvilgiu. Į žiedinę sankryžą veda vienas šviesoforo reguliuojamas įvažiavimas, vienas pagrindio kelio įvažiavimas ir du

šalutinio kelio įvažiavimai. Žiedinėje sankryžoje eismą reguliuoja ne tik šviesoforas, kelio ženklai, horizontalusis ženklinimas, bet ir nukreipiamieji stulpeliai. Žiedinės sankryžos eismo juostų skaičius kinta nuo dviejų iki keturių. Sankryžos juostų skaičius bei įvažiavimų tipai pateikiami 2.6 lentelėje

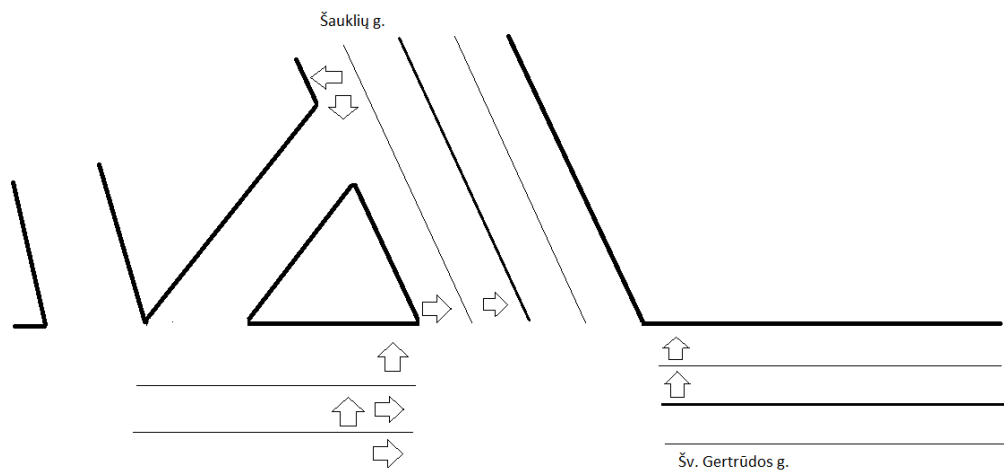
2.6 lentelė Kauno pilies žiedinės sankryžos techniniai duomenys

Žiedinės sankryžos atkarpa	Juostų skaičius	Juostos išvažiuoti iš sankryžos	Juostos važiuoti žiedine sankryža	Maršrutinio transporto eismo juosta	Pagrindinio kelio įvažiavimas	Šalutinio kelio įvažiavimas	Įvažiavimas reguliuojamas šviesoforo signalais
Jurbarko-Jonavos g.	3	1	3	0	1	0	0
Jonavos-Šauklių g.	4	3	2	1	0	1	0
Šauklių – Jonavos g.	4	3	2	0	0	0	1
Jonavos – Jurbarko g.	3	2	2	0	0	1	0

Gertrūdos – Šauklių g. sankryža yra reguliuojama šviesorų signalais. Sankryžos juostų skaičiai pateikiami 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė Gertrūdos – Šauklių g. sankryžos techniniai duomenys

Gatvės pavadinimas	Juostų skaičius išvažiuoti iš gatvės	Juostų skaičius įvažiuoti į gatvę	Lentelė su žalia rodykle, nukreipta į dešinę	Juosta/os važiuoti tiesiai	Juosta/os važiuoti į dešinę	Juosta/os važiuoti į kairę
Šv. Gertrūdos g.	2	2	0	0	2	0
Šauklių g.	2	2	1	2	1	0
Šv. Gertrūdos g. (vienpusis eismas)	3	1	0	2	0	2



2.11 pav. Principinė sankryžos schema

Iš Šv. Gertrūdos g. (vienpusis eismas) pirma ir antra eismo juostomis galima važiuoti tiesiai, o į kairę sukama iš antros ir trečios eismo juostos. Iš Šauklių g. į dešinę galima sukti iš pirmos eismo juostos. Tiesiai važiuoti galima iš pirmos ir iš antros eismo juostos. Iš Šv. Gertrūdos g. dviem eismo juostomis galima tik važiuoti į dešinę, į Šauklių g. Sankryžos principinė schema pateikiama 2.11 pav.

2.3 Konfliktiniai taškai

Automobiliams atliekant posūkį į dešinę iš šalutinės gatvės, konfliktinis srautas sankryžoje yra pagrindinės gatvės srautas, į kurį įsiliejama. Automobiliai, atliekantys kairįjį posūkį iš pagrindinės gatvės, tiesiogiai konfliktuoja su priešpriešais tiesiai atvažiuojančiu srautu ir su į dešinę sukančiu srautu, nes vieną kerta, o į antrą įsilieja. Iš šalutinės gatvės tiesiai važiuojančios t.p. konfliktuoja su visais pagrindinės gatvės srautais. Sudėtingiausias yra t.p. vykdomas kairysis posūkis iš šalutinės gatvės, kuris kertasi su visų krypčių pagrindinės gatvės srautais, bei šalutinės gatvės eismu važiuojančiu tiesiai ir sukančiu į dešinę [7].

Žemiau 2.8, 2.9 ir 2.10 lentelėse pateikiami sankryžų konfliktiniai taškai.

2.8 lentelė Konfliktiniai taškai Jurbarko – Kriščiukaičio g. Sankryžoje

Išsiskiriantys srautai	6
Susijungiantys srautai	8
Susikertantys srautai	16

2.9 lentelė Konfliktiniai taškai Kauno pilies žiedinėje sankryžoje

Išsiskiriantys srautai	4
Susijungiantys srautai	9
Susikertantys srautai	20

2.10 lentelė Konfliktiniai taškai Gertrūdos-Šauklių g. sankryžoje

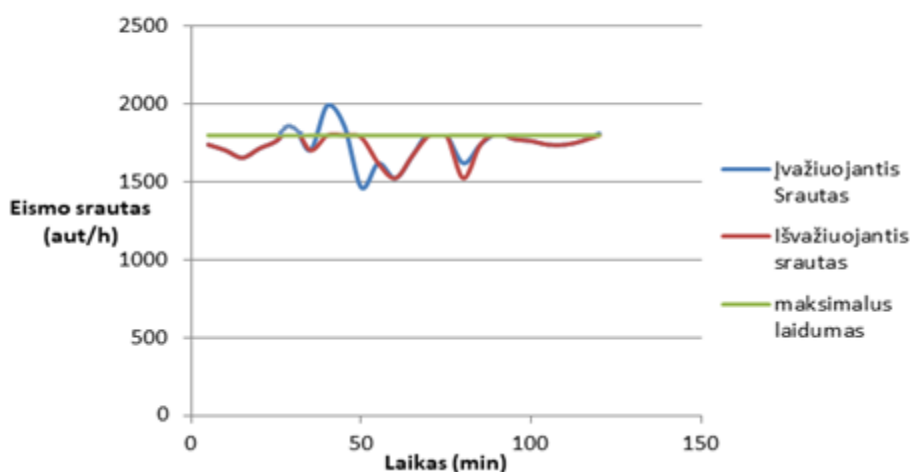
Išsiskiriantys srautai	2
Susijungiantys srautai	4
Susikertantys srautai	8

Gertrūdos-Šauklių g. trišalėje sankryžoje išsiskiriantys srautai lieka tik Gertrūdos g. vidurinėje eismo juostoje. Taip yra dėl srautų išskirstymo po eismo juostas, bei vieno kairio posūkio panaikinimo.

2.4 Eismo srautų analizė taikant vertikalųjį automobilių eilės modelį

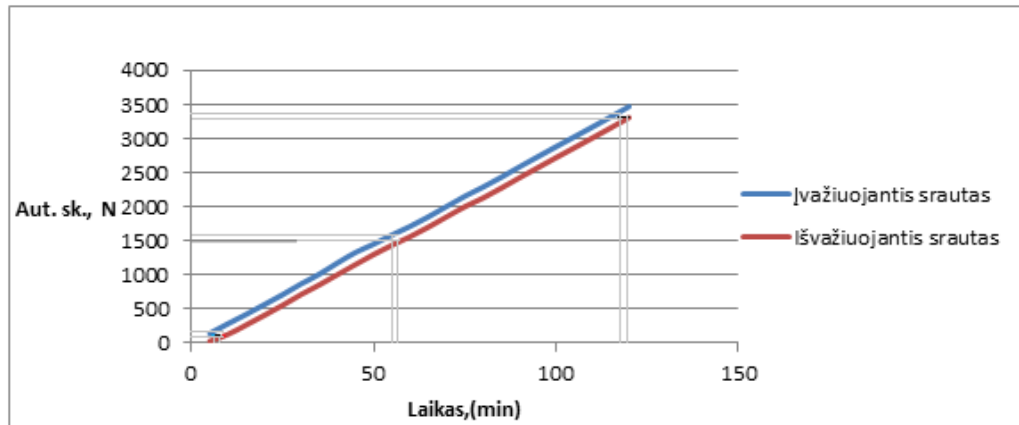
Pagal surinktus eismo srautų duomenis piko metu, svarbiausiuose tinklo dalyse nubraižomos poreikio ir laidumo bei kumuliacinės kreivės.

Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą nuo P. Vileišio tilto:



2.12 pav. Poreikio ir laidumo kreivės

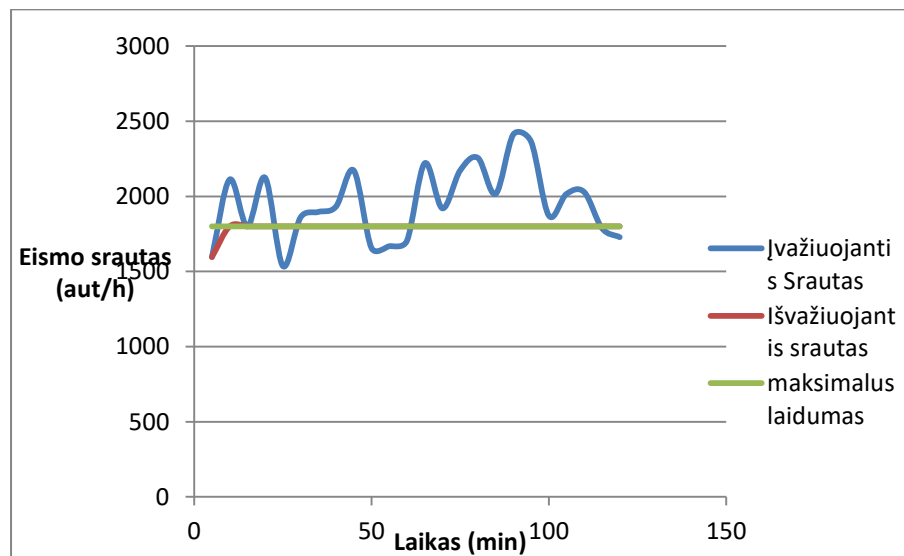
Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą nuo tilto didžiąją stebėto laiko dalį eismo srautas neviršija maksimalaus gatvės laidumo. Dvi eismo srauto bangos viršijinačios maksimalų laidumą iki 10 % yra trumpalaikės ir nesudarančios spūsčių.



2.13 pav. Kaupiamosios kreivės

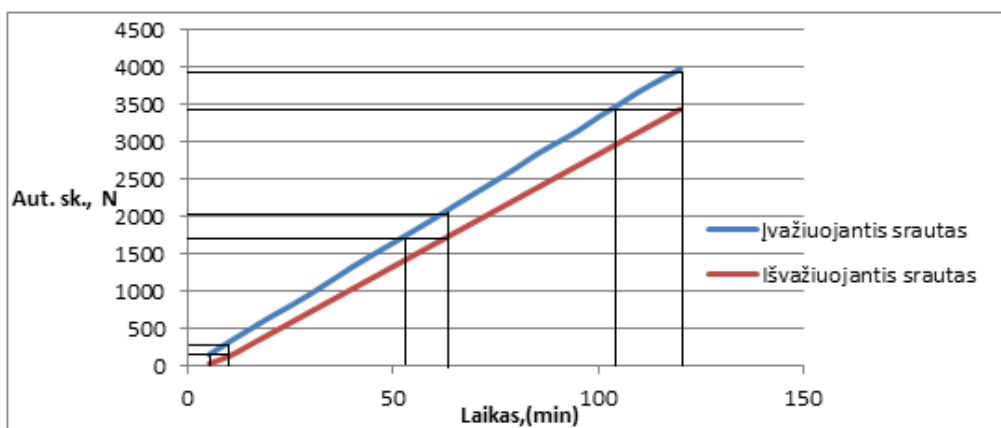
Kadangi didžiąją laiko dalį įvažiuojantis srautas neviršija didžiausio gatvės laidumo, kaupiamosios kreivės nenutolsta viena nuo kitos. Automobilių važiavimo per sankryžą laikas ir laukiančių automobilių skaičius minimalus.

Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Šauklių g. :



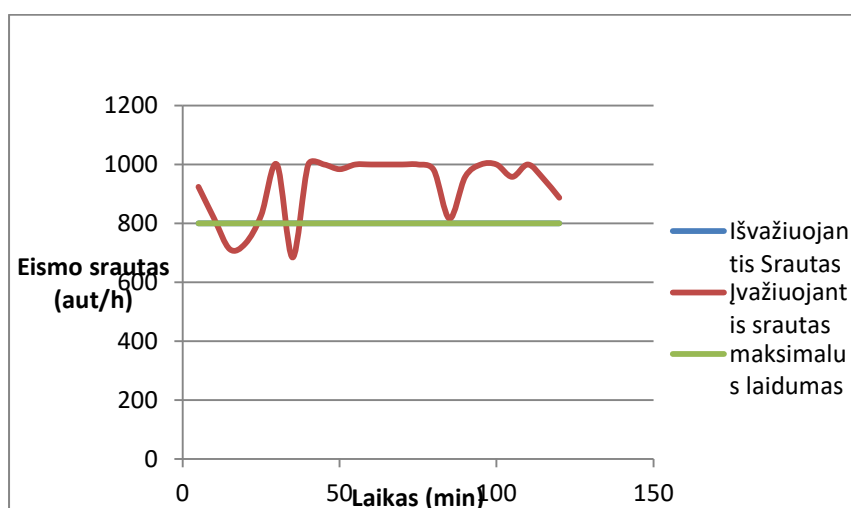
2.14 pav Poreikio ir laidumo kreivės

Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Šauklių g. didžiąją stebėto laiko dalį eismo srautas viršija maksimalų gatvės laidumą. Įvažiuojančiam srautui viršijant didžiausią gatvės laidumą pradeda formuotis spūstys. Pagal turimus stebėjimo duomenis, tik stebėjimo pabaigoje įvažiuojantis eismo srautas ima mažėti. Išvažiuojantis eismo srautas išlieka pastovus ir lygus didžiausiam sankryžos pralaidumui.



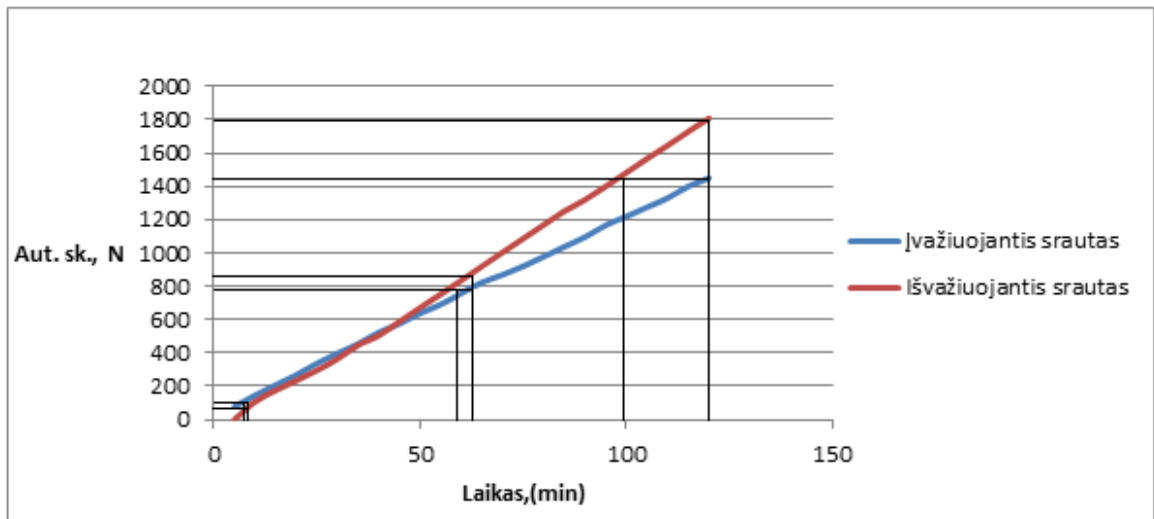
2.15 pav. Kaupiamosios kreivės

Kadangi didžiąją laiko dalį įvažiuojantis srautas viršija didžiausią gatvės laidumą, kaupiamosios kreivės tolsta viena nuo kitos. Automobilių važiavimo per sankryžą laikas ir laukiančių automobilių skaičius bėgant laikui tik auga. Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Jonavos g. :



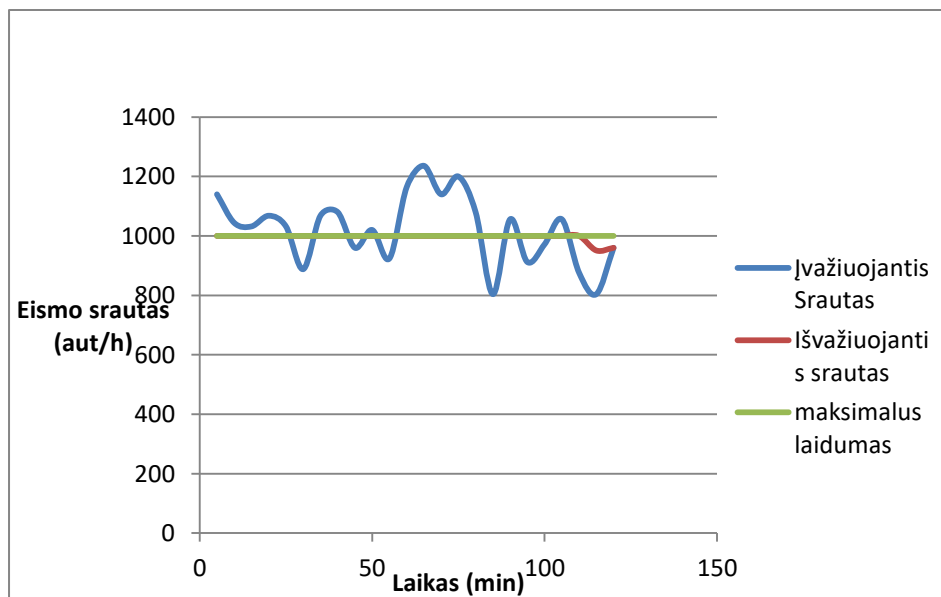
2.16 pav Poreikio ir laidumo kreivės

Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Jonavos g. didžiąją stebėto laiko dalį eismo srautas viršija maksimalų gatvės laidumą. Įvažiuojančiam srautui viršijant didžiausią gatvės laidumą pradeda formotis spūstys. Išvažiuojantis eismo srautas išlieka pastovus ir lygus didžiausiam sankryžos pralaidumui.



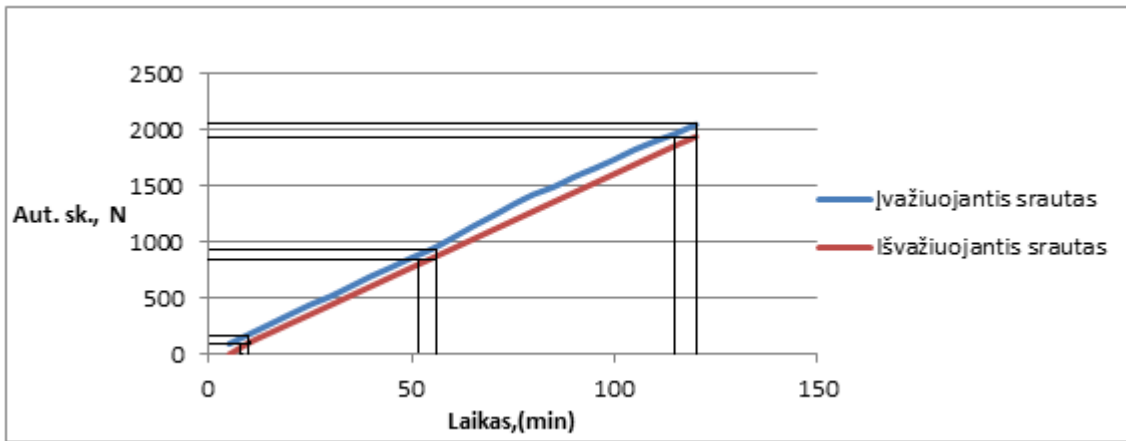
2.17 pav. Kaupiamosios kreivės

Stebėjimo pradžioje įvažiuojantis srautas viršija ir nusileidžia žemiau didžiausio laidumo ribos, todėl kaupiamosios kreivėstolsta ir vėl artėja viena prie kitos. Įvažiuojančiam srautui viršijant didžiausią gatvės laidumą, kaupiamosios kreivės sparčiai pradeda tolti viena nuo kitos. Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Jurbarko g. :



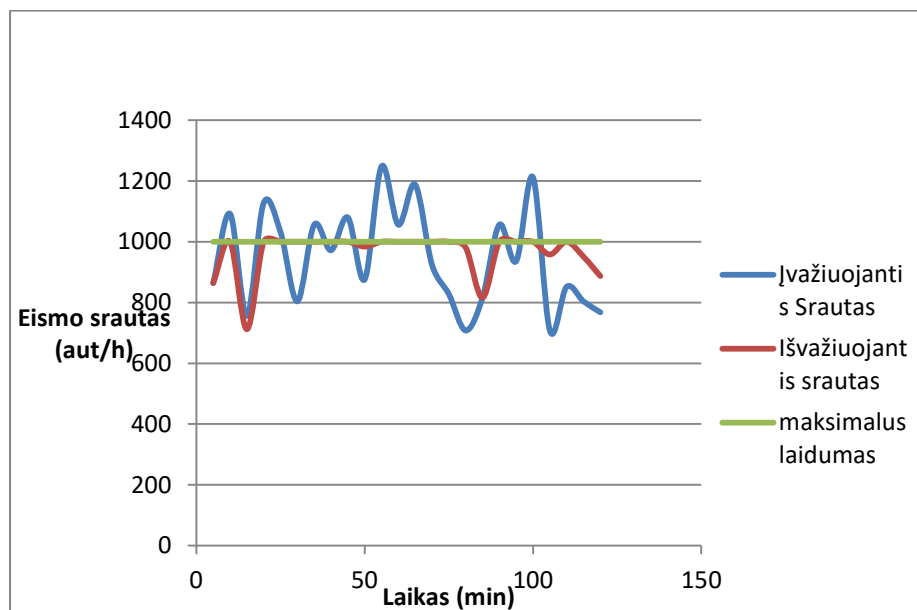
2.18 pav. Poreikio ir laidumo kreivės

Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Jurbarko g. pirmąją pusę stebėto laiko įvažiuojantis eismo srautas viršija didžiausią sankryžos laidumą iki 10%. Viduryje stebėjimo eismo srautas išauga, viršija didžiausią laidumą.



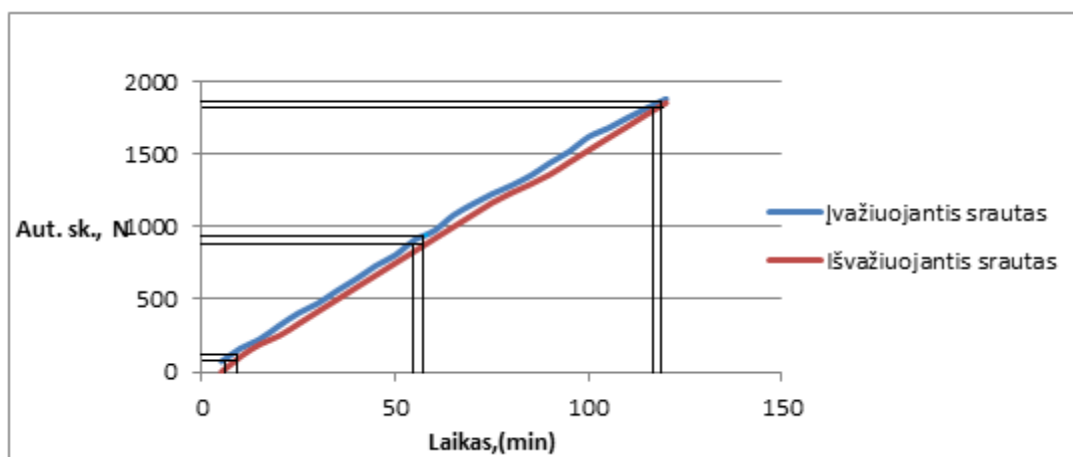
2.19 pav. Kaupiamosios kreivės

2.19 pav. galime matyti, kad viduryje stebėjimo kreivės atitolsta viena nuo kitos ir priartėja tik stebėjimo pabaigoje. Viršijus didžiausią gatvės laidumą, pradėjo formuotis spūstys, didėjo laikas, reikalingas pravažiuoti sankryžai, taipogi laukiančių automobilių skaičius. Įvažiuojančiam srautui tapus mažesniau už didžiausią laidumą išvažiuojantis iš sankryžos srautas 40 min buvo maksimalus, kol susilygino su įvažiuojančiu srautu. Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Kriščiukaičio g. :



2.20 pav. Poreikio ir laidumo kreivės

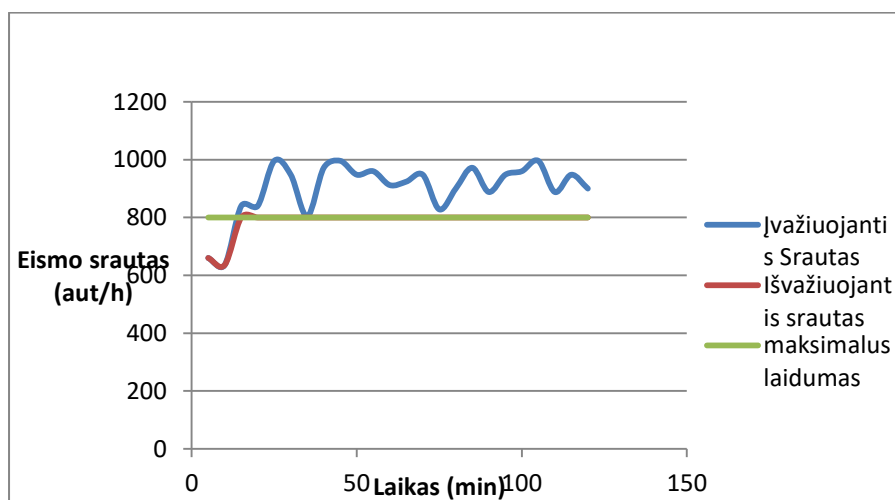
2.20 pav. kreivės nurodo įvažiuojančio eismo srautų netolygumą. Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Kriščiukaičio g. Išvažiuojantis iš sankryžos srautas apribotas didžiausio laidumo.



2.21 pav. Kaupiamosios kreivės

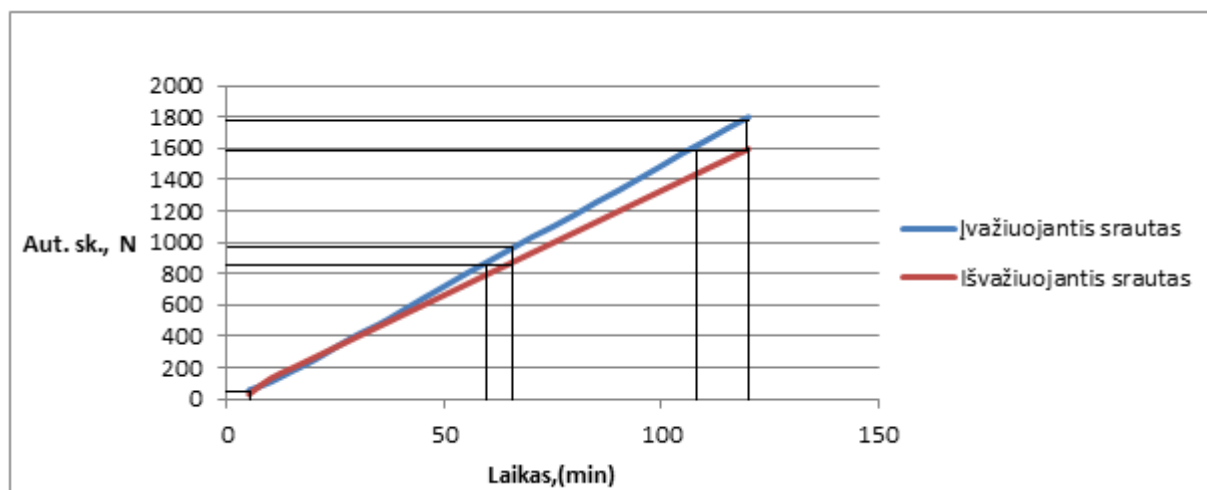
2.21 pav. galima matyti kaip kreivės nutolsta ir vėl priartėja. Eismo srautui išaugus ir viršijant didžiausią laidumą pradeda formuotis spūstys (kreivės tolsta viena nuo kitos), daugėja laukiančių automobilių, ilgėja jų sankryžos kirtimo laikas. Įvažiuojančiam srautui sumažėjus, spūstis nyksta, kreivės priartėja viena prie kitos.

Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Brastos g. :



2.22 pav. Poreikio ir laidumo kreivės

2.22 pav. kreivės nurodo įvažiuojančio eismo srautų netolygumą. Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Brastos g. Išvažiuojantis iš sankryžos srautas apribotas didžiausio gatvės laidumo.



2.23 pav. Kaupiamosios kreivės

2.23 pav. galima matyti kaip kreivės nutolsta. Eismo srautui išaugus daugėja laukiančių automobilių, ilgėja jų sankryžos kirtimo laikas.

Pagal eismo srautų duomenis gauti didžiausi automobilių gaišties laikai, automobilių eilės ir pateikiami 2.11 lentelėje.

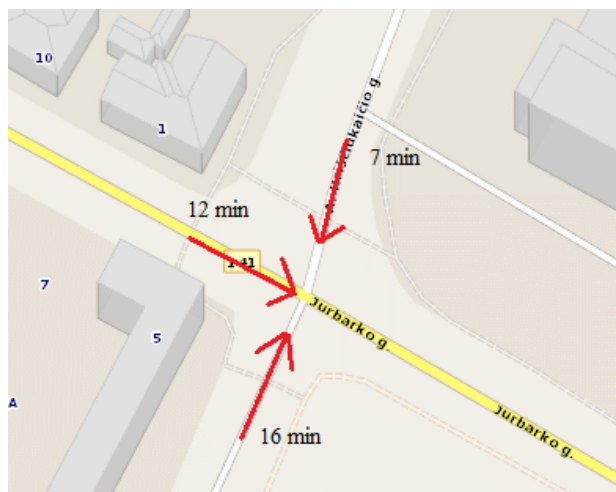
2.11 lentelė Gaišties laikas ir eilės ilgis

Kryptis	Gaišties laikas (min)	Gaišties laikas (min)	Gaišties laikas (min)	Eilės ilgis (aut)	Eilės ilgis (aut)	Eilės ilgis (aut)
Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą nuo P. Vileišio tilto	1	1	1	30	45	50
Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Šauklių g.	4	13	19	86	224	402
Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Jonavos g.	1	8	20	20	93	386
Įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Jonavos g. (Pilies)	2	7	10	65	84	127
Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Jurbarko g.	3	9	12	74	92	142
Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Kriščiukaičio g.	6	7	7	85	91	98
Važiuojant link P. Vileišio tilto iš Brastos g.	0	12	16	0	158	198



2.24 pav. Didžiausi automobilių laukimo laikai įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą

2.24 pav. pateikti didžiausi automobilių gaišties laikai įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą ilgiausiai laukti tenka laukti automobiliams esantiems Jonavos ir Šauklių gatvėse. Atitinkamai gaišties laikai 20 min. ir 19 min.



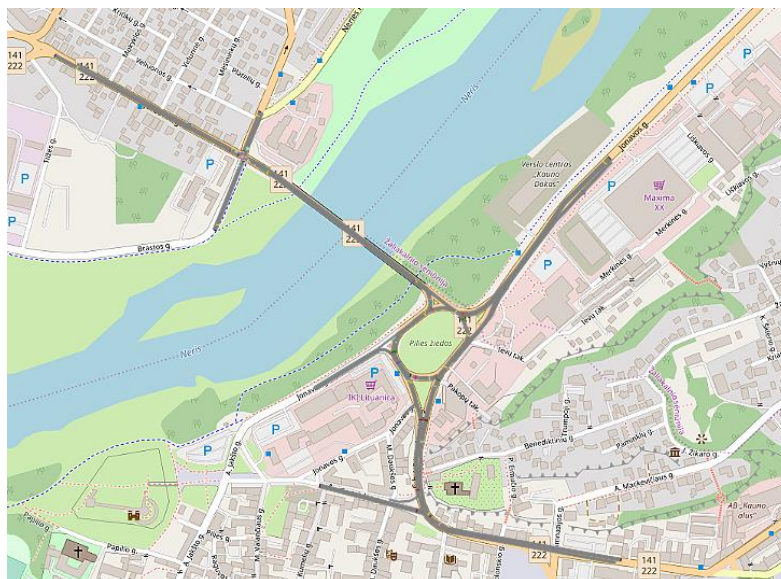
2.25 pav. Didžiausi automobilių laukimo laikai įvažiuojant į Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžą

2.25 pav. pateikti didžiausi automobilių gaišties laikai įvažiuojant į Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžą Kriščiukaičio g. esantys automobiliai ilgiausiai laukia 7 min. Jurbarko gatvėje – 12 min., ir Brastos g. 16 min.

2.5 Eismo srauto modeliavimas

Tinklo modelio sudarymas

Pirmiausia nubraižomas pasirinktas transporto tinklas. Jis pateikiamas 2.24 pav.



2.26 pav. Transporto tinklas

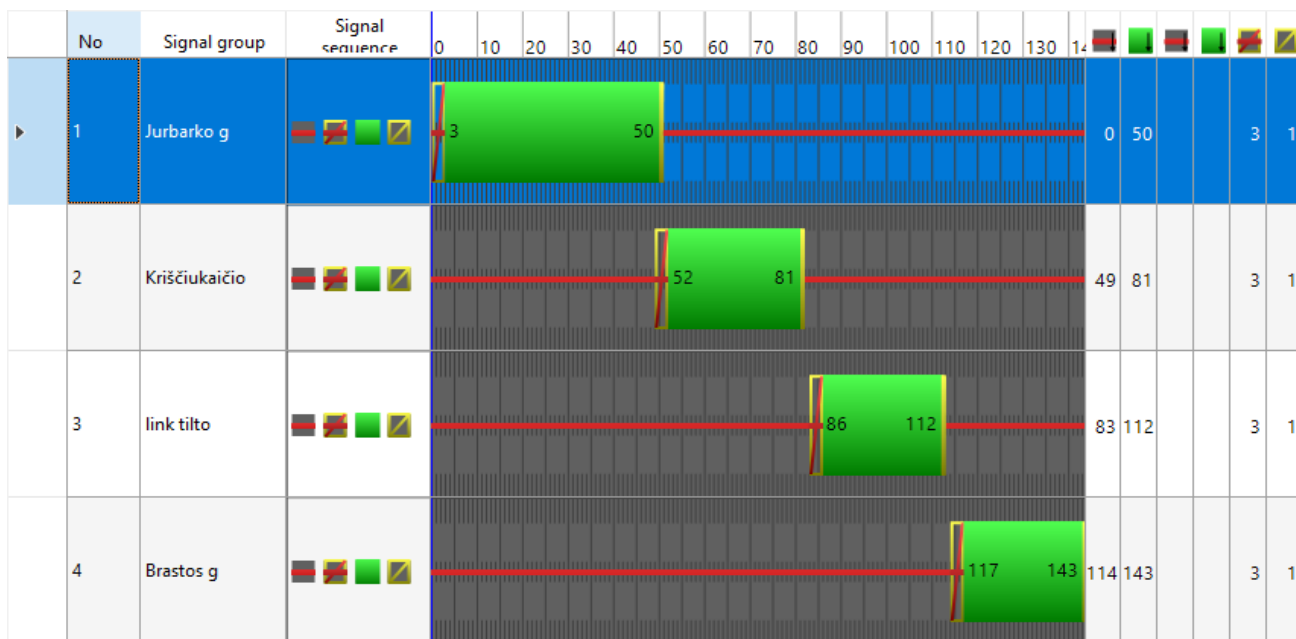
Į tinklą įvažiuojančių automobilių skaičius pateikiamas 2.26 pav.

Nr.	Pav.	Vieta	Reikšmė (aut/h)
1	Jurbark	36	900,0
2	Kriščiųiu	9: Kri	720,0
3	Brastos	10: Br	820,0
4	Jonavo	30	750,0
5	Jonavo	5	390,0
6	Jonavo	24	105,0
7	Gertrū	27	2200,0
8	Gertūd	35	450,0

2.27 pav. Į tinklą įvažiuojančių automobilių skaičius

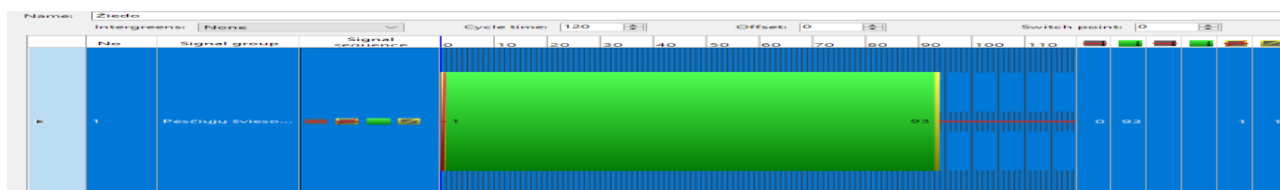
2.27 pav. simuliacijoje į tinklą iš visų galimų gatvių įvažiuojančių automobilių srautai (aut/h).

Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžos šviesoforo veikimo ciklas pateikiamas 2.26 pav. Geltonas šviesoforo signalas keičiantis iš raudonos į žalią trunka 3s. Geltonas signalas keičiantis iš žalios į raudoną – 1 s.



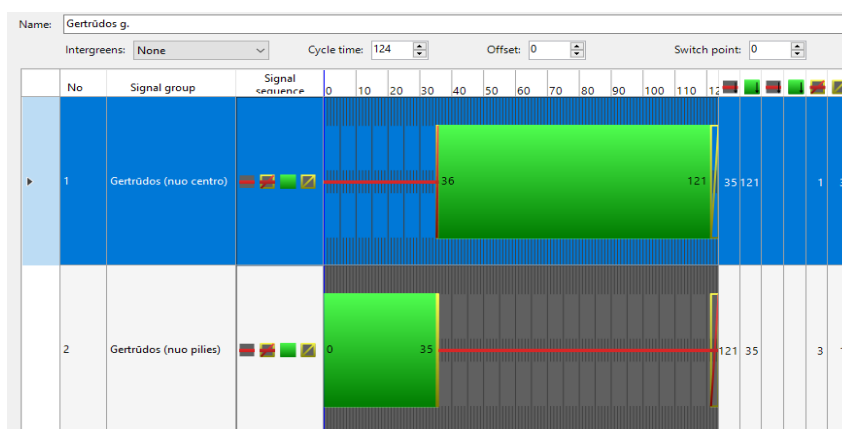
2.28 pav. Jurbarko – Kriščiukaičio g. sankryžos šviesoforo ciklas

Pilies žiedo šviesoforo veikimo ciklas pateikiamas 2.28 pav.



2.29 pav. Pilies žiedo šviesoforo veikimo ciklas

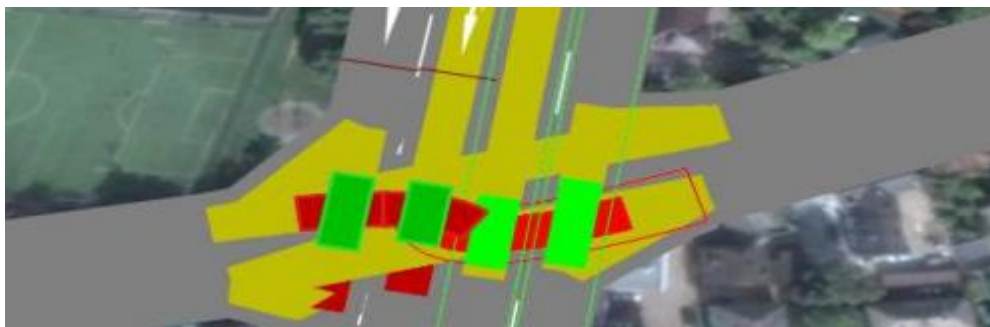
Pilies žiedo šviesoforas skirtas pėstiesiems saugiai kirsti kelią. Žalias signalas automobiliams trunka 92 s. Gertrūdos g. šviesoforo veikimo ciklas pateikiamas 2.30 pav.



2.30 pav. Gertrūdos g. šviesoforo veikimo ciklas

Maksimalus leistinas greitis tinkle yra 50km/h. Sudarant srautų judėjimo maršrutus svarbu atkreipti dėmesį, kad nenukrypti nuo realių sąlygų, laikytis kelių eismo taisyklių.

Važiuojant pilies žiedu link Jonavos gatvės į ją galima išvažiuoti pirmomis trimis eismo juostomis. Toliau važiuoti žiedu galima tik trečia ir ketvirta eismo juosta. Taipogi svarbu tinkamai sužymėti konfliktines vietas sankryžose, kad t.p. sukdamos į kairę praleistų priešpriešais atvažiuojančius automobilius.



2.31 pav. Sankryžos konfliktinių taškų žymėjimas

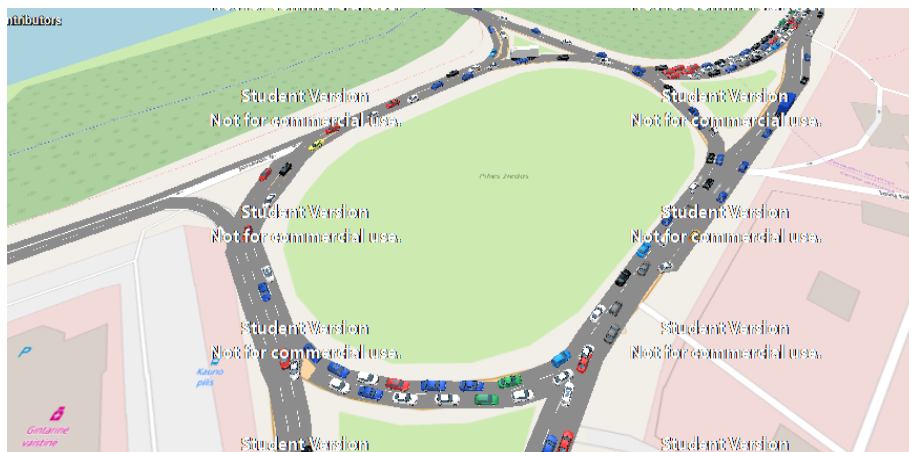
Simuliacija atliekama pagal tris scenarijus:

- eismo tvarka nekeičiama;
- iš tinklo pašalinamos žalios rodyklės prie raudonų šviesoforo signalų;
- pakeitus žiedinės sankryžos geometriją.



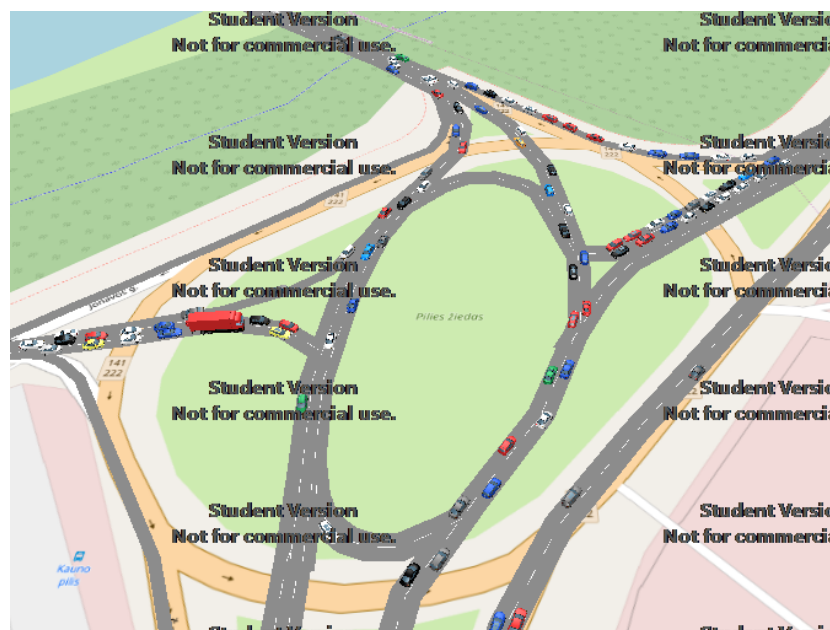
2.32 pav Pakeista sankryžos geometrija

Pakeista žiedinės sankryžos konfigūracija pateikiama 2.32 pav. Padaryti nuvažiavimai į dešinę, kad sumažėtų eismo srautas tenkantis žiedinei sankryžai. Prioritetas teikiamas nuo P. Vileišio tilto ir iš Šauklių g. atvažiuojantiems ir tiesiai važiuojantiems srautams. Jie turi pirmumo teisę įvažiuodami į žiedinę sankryžą, važiuodami tiesiai per ją. Automobiliai važiuojantys žiedine sankryža turi pirmumo teisę atžvilgiu, į ją įvažiuojančių t.p.. Automobilių srautai iš Jonavos g. atkarpu turi praleisti t.p. įvažiuodami į žiedinę sankryžą. Automobiliai įsiliędami į automobilių srautą iš nuvažiavimų į dešinę turi praleisti t.p. išvažiuojančias iš žiedinės sankryžos.



2.33 pav Simuliacijos vaizdas

Vykstančios simuliacijos pirmu ir antru scenarijumi vaizdas pateikiamas 2.33 pav.



2.34 pav Simuliacijos vaizdas

Modeliavimas trečiuoju scenarijumi pavaizduotas 2.34 pav.

2.6 Modeliavimo rezultatai

Atliekant simuliacijas kiekvienu scenariju gaunami trijų rūšių duomenys: laisvojo važiavimo, dalinai prisotintų sankryžų ir pasiekus ribinį eismo tankį. Kiekvienu atveju duomenys statistiškai apdorojami IBM SPSS programiniu paketu ir pateikiami 2.12-2.21 lentelėse.

1 Scenarijus

Atlikus simuliaciją pirmuoju scenarijumi, gauti duomenys apdoroti statistiškai ir pateikiami 2.12 -2.15 lentelėse.

2.12 lentelė Laisvojo važiavimo eismo srauto duomenys

	Pagreitis (m/s^2)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	0,157	45,072	0,0396	0,354
Dispersija	0,488	140,722	0,099	1,283
Standartinis nuokrypis	0,698	11,862	0,313	1,132

2.13 lentelė Dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto duomenys

	Pagreitis (m/s^2)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	-0,0979	27,220	80,485	100,649
Dispersija	0,260	329,185	243,776	266,529
Standartinis nuokrypis	0,509	18,143	15,613	16,325

2.14 lentelė Eismo srauto duomenys pasiekus ribinį eismo tankį

	Pagreitis (m/s^2)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	0,0590	15,121	720,412	810,253
Dispersija	0,628	268,488	5306,772	5786,723
Standartinis nuokrypis	0,7926	16,385	72,847	76,070

Lentelėse pateikiami pirmo scenarijaus automobilių srauto parametrai: pagreitis, greitis, stovėjimo bei vėlavimo laikai. Apskaičiuoti šių parametru statistiniai parametrai nusakantys labiausiai tikėtiną eilinės reikšmės nukrypimą nuo vidurkio. Kiekvienu atveju matyti, kad kuo didesnis srautas pravažiuoja tinklą, tuo labiau sumažėja automobilių vidutinis greitis ir padidėja laukimo laikas. Vidutinis

automobilių greitis sumažėja nuo 45,07 km/h iki 15,12 km/h. Stovėjimo eilėse ir vėlavimo laikai išauga 720,38 (s) ir 800,81 (s).

2 Scenarijus

Atlikus simuliaciją antruoju scenarijumi, gauti duomenys apdoroti statistiškai ir pateikiami 2.15 -2.17 lentelėse.

2.15 lentelė Laisvojo važiavimo eismo srauto duomenys

	Pagreitis (m/s ²)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	-0,159	45,210	0,0377	0,345
Dispersija	0,482	139,132	0,096	1,260
Standartinis nuokrypis	0,694	11,795	0,309	1,122

2.16 lentelė Dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto duomenys

	Pagreitis (m/s ²)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	-0,011	27,372	80,783	100,756
Dispersija	0,207	332,512	239,343	262,830
Standartinis nuokrypis	0,454	18,234	15,470	16,212

2.17 lentelė Eismo srauto duomenys pasiekus ribinį eismo tankį

	Pagreitis (m/s ²)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	0,059	15,963	659,143	748,911
Dispersija	0,693	270,799	4687,109	5210,492
Standartinis nuokrypis	0,832	16,455	68,462	72,183

Lentelėse pateikiami pirmo scenarijaus automobilių srauto parametrai: pagreitis, greitis, stovėjimo bei vėlavimo laikai. Apskaičiuoti šių parametų statistiniai. Kiekvienu atveju matyti, kad kuo didesnis srautas pravažiuoja tinklą, tuo labiau sumažėja automobilių vidutinis greitis ir pailidėja laukimo laikas. Vidutinis automobilių greitis sumažėja nuo 45,21 km/h iki 15,96 km/h. Stovėjimo eilėse ir vėlavimo laikai išauga 659,143 (s) ir 748,911 (s).

3 Scenarijus

Atlikus simuliaciją trečiuoju scenarijumi, gauti duomenys apdoroti statistiškai ir pateikiami 2.18 -2.20 lentelėse.

2.18 lentelė Laisvojo važiavimo eismo srauto duomenys

	Pagreitis (m/s^2)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	-0,159	46,473	0,037	0,345
Dispersija	0,482	139,133	0,096	1,260
Standartinis nuokrypis	0,694	11,795	0,309	1,122

2.19 lentelė Dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto duomenys

	Pagreitis (m/s^2)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	0,00198	27,494	79,336	99,470
Dispersija	0,221	333,609	239,740	262,226
Standartinis nuokrypis	0,470	18,264	15,483	16,193

2.20 lentelė Eismo srauto duomenys pasiekus ribinį eismo tankį

	Pagreitis (m/s^2)	Greitis (km/h)	Stovėjimo laikas (s)	Vėlavimo laikas (s)
Vidurkis	0,0524	16,482	628,879	770,013
Dispersija	0,625	273,865	4647,975	5186,766
Standartinis nuokrypis	0,790	16,548	68,176	72,019

Lentelėse pateikiami pirmo scenarijaus automobilių srauto parametrai: pagreitis, greitis, stovėjimo bei vėlavimo laikai. Apskaičiuoti šių parametru statistiniai parametrai. Kiekvienu atveju matyti, kad kuo didesnis srautas pravažiuoja tinklą, tuo labiau sumažėja automobilių vidutinis greitis ir pavidėja laukimo laikas. Vidutinis automobilių greitis sumažėja nuo 46,473 km/h iki 16,482 km/h. Stovėjimo eilėse ir vėlavimo laikai išauga iki 628,84 (s) ir 770,013 (s).

Norint patikrinti ar yra ryšys tarp nagrinėjamų duomenų skaičiuojami Pirsono koreliacijos koeficientai, jie pateikiami 2.21- 2.23 lentelėse. Koeficientai randami tarp visų scenarijų greičių reikšmių prie kiekvieno tinklo apkrovimo lygio.

2.21 lentelė Pirsono koreliacijos koeficientai prie laisvojo važiavimo eismo srauto

		v1-3	v2-3	v3-3
v1-3	Pirsono koreliacija	1	,524	,332
	N	3000	3000	3000
v2-3	Pirsono koreliacija	,403	1	,355
	N	3000	3000	3000
v3-3	Pirsono koreliacija	,322	,485	1
	N	3000	3000	3000

Pirsono koeficientų reikšmės svyruoja nuo 0,322 iki 0,524. Tai nurodo, kad ryšio stiprumas tarp simuliacijoje gautų greičio reikšmių, yra vidutinis.

2.22 lentelė Pirsono koreliacijos koeficientai prie dalinai prisotintų sankryžų eismo srauto

		v1-3	v2-3	v3-3
v1-3	Pirsono koreliacija	1	,512	,368
	N	3000	3000	3000
v2-3	Pirsono koreliacija	,398	1	,412
	N	3000	3000	3000
v3-3	Pirsono koreliacija	,572	,416	1
	N	3000	3000	3000

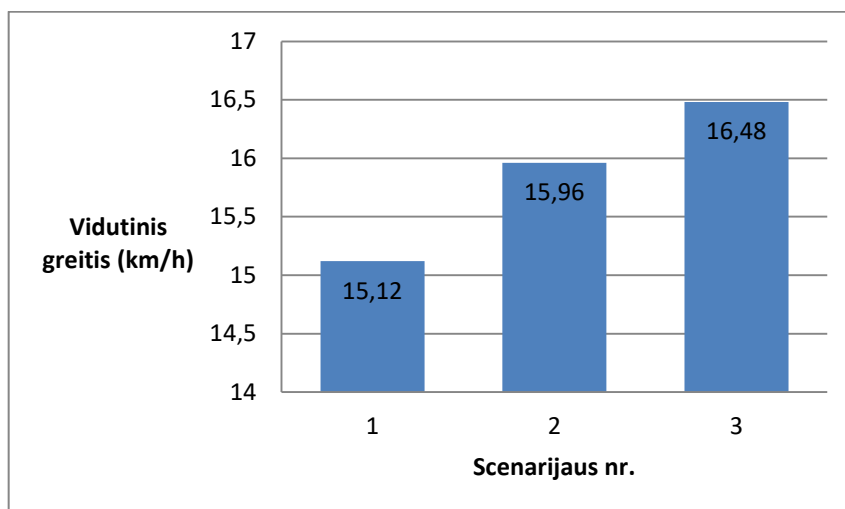
Pirsono koeficientų reikšmės svyruoja nuo 0,368 iki 0,572. Tai nurodo, kad ryšio stiprumas tarp simuliacijoje gautų greičio reikšmių, yra vidutinis.

2.23 lentelė Pirsono koreliacijos koeficientai pasiekus ribinį eismo tankį

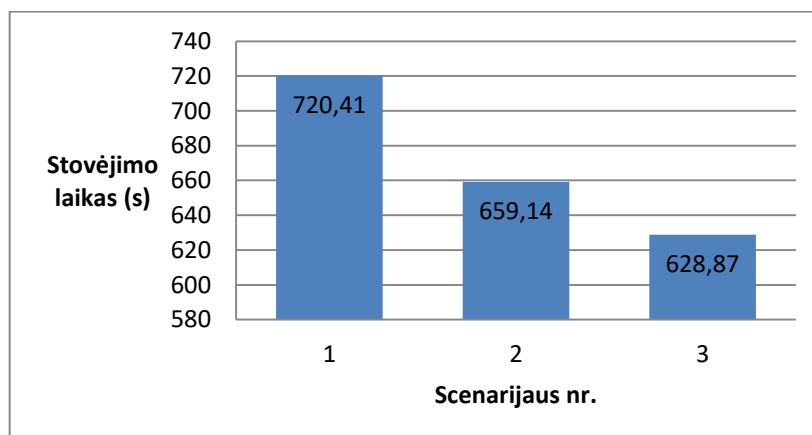
		v1-3	v2-3	v3-3
v1-3	Pirsono koreliacija	1	,541	,382
	N	3000	3000	3000
v2-3	Pirsono koreliacija	,487	1	,379
	N	3000	3000	3000
v3-3	Pirsono koreliacija	,592	,403	1
	N	3000	3000	3000

Pirsono koeficientų reikšmės svyruoja nuo 0,379 iki 0,592. Tai nurodo, kad ryšio stiprumas tarp simuliacijoje gautų greičio reikšmių, yra vidutinis.

Atsisakius žalių rodyklių prie raudonų šviesoforo signalų vidutinis t.p. greitis padidėja nuo 15,12 km/h iki 15,96 km/h (5,56%). Pakeitus Kauno pilies žiedinės sankryžos geometriją vidutinis t.p. greitis padidėja nuo 15,12 km/h iki 16,48 km/h (8,99%).



2.35 pav. Vidutinis greitis pasiekus ribinį eismo tankį



2.36 pav. Automobilių stovėjimo laikas pasiekus ribinį eismo tankį

Atsisakius žalių rodyklių prie raudonų šviesoforo signalų vidutinis t.p. stovėjimo laikas sumažėja nuo 720,41 (s) iki 659,14 (s) (8,47%). Pakeitus eismo tvarką Kauno pilies žiedinėje sankryžoje vidutinis t.p. stovėjimo laikas sumažėja nuo 720,41 (s) iki 628,87 (s) (12,70%).

IŠVADOS

1. Išnagrinėtos Kauno pilies žiedo ir Jurbarko – Kriščiukaičio g.sankryžos. Aprašyti jų parametrai, eismo juostų skaičius ir paskirtis, važiavimo per sankryžas tvarka, nustatyti konfliktiniai taškai.
2. Iširtas transporto eismo srautų pasiskirstymas žiedinėje ir šviesoforais reguliuojamoje sankryžose. Nustatyta, kad didžiausi eismo srautai susidaro įvažiuojant į Kauno pilies žiedinę sankryžą iš Šauklių g. - 2200 (aut/h) ir pačioje žiedinėje sankryžoje atvažiuojant nuo P. Vileišio tilto – 2100 (aut/h).
3. Taikant vertikalųjį eilių metodą, nustatyti įvažiuojančių į žiedinę sankryžą automobilių didžiausi gaishties laikai: 20 min. iš Jonavos g., ir 10 min. iš Jonavos g. (nuo Kauno pilies), 19 min. iš Šauklių g. Įvažiuojant į Kriščiukaičio – Brastos g. sankryžą didžiausi automobilių stovėjimo laikai: 16 min. iš Brastos g., 12 min. iš Jurbarko g. ir 7 min. iš Kriščiukaičio g.
4. Sukurtas imitacininis mikroskopinio eismo modelis. Modeliavimas atliekamas pagal tris scenarijus, kai:1) eismo tvarka nekeičiama; 2) iš tinklo pašalinamos žalios rodyklės prie raudonų šviesoforo signalų; 3) pakeitus eismo tvarką Kauno pilies žiedinėje sankryžoje.
5. Remiantis imitacinio modeliavimo rezultatais, nustatytas ribinis eismo srauto pasiskirstymo tankis ir gauta, kad atsisakius žalių rodyklių prie raudonų šviesoforo signalų vidutinis t.p. greitis padidėja nuo 15,12 km/h iki 15,96 km/h (5,56%). Pakeitus eismo tvarką Kauno pilies žiedinėje sankryžoje vidutinis t.p. greitis padidėja nuo 15,12 km/h iki 16,48 km/h (8,99%). Atsisakius žalių rodyklių prie raudonų šviesoforo signalų vidutinis t.p. stovėjimo laikas sumažėja nuo 12,00 min iki 10,98 min (8,47%). Pakeitus eismo tvarką Kauno pilies žiedinėje sankryžoje vidutinis t.p. stovėjimo laikas sumažėja nuo 12.00 min iki 10,43 min (12,70%).

LITERATŪRA

1. Zhang, K., & Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of the total Environment*, 450, 307-316.
2. Individualių lengvųjų automobilių skaičius, tenkantis 1000 gyventojų. Lietuvos statistikos departamentas. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/keliu-transportas> žiūrėta [2018-04-15]
3. Nerijus MACIULIS 2016. Kiek kainuoja eismo spūstys ir kaip jas sumažinti?
4. Kristin Houser May 11, 2017. Watch an Autonomous Car Prevent a Traffic Jam From Forming by.
5. Docherty, I., & Shaw, J. (Eds.). (2008). *Traffic jam: ten years of 'sustainable' transport in the UK*. Policy Press.
6. Kauno juodųjų dėmių sąrašas. Prieiga per: <http://www.kaunas.lt/transportas/juoduju-demiu-zemelapis/> žiūrėta [2017-03-21]
7. Kelių ir transporto tyrimų institutas, 2014 m. Šviesoforo lentelių su žalia rodykle poveikis eismo dalyvių elgsenai ir saugumui. Kaunas. Prieiga per: <https://www.ktti.lt/wp-content/uploads/2015/01/Sviesoforu-lenteles-su-zaliomis-rodyklemis.-Tyrimas-2014-m.pdf> žiūrėta [2017-12-15]
8. Ni, D. (2015). *Traffic flow theory: Characteristics, experimental methods, and numerical techniques*. Butterworth-Heinemann.
9. Higgs, B., Abbas, M. M., & Medina, A. (2011). Analysis of the Wiedemann car following model over different speeds using naturalistic data. In *Procedia of RSS Conference* (pp. 1-22)..
10. Gražvydas-Mykolas Paliulis, 2007. *Eismo inžinerija mokomoji knyga*. Vilnius Technika.
11. Bertini, R. L. (2006, January). You are the traffic jam: an examination of congestion measures. In *The 85th Annual Meeting of Transportation Research Board*.
12. Sugiyama, Y., Fukui, M., Kikuchi, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Nishinari, K., ... & Yukawa, S. (2008). Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam. *New journal of physics*, 10(3), 033001.
13. Brackstone, M., & McDonald, M. (1999). Car-following: a historical review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2(4), 181-196.22. Full velocity difference model for a car-following theory. Rui Jiang, Qingsong Wu, and Zuojin Zhu. *Phys.* 2001
14. Newell, G. F. (1961). Nonlinear effects in the dynamics of car following. *Operations research*, 9(2), 209-229.24. A simplified car-following theory: a lower order model. G. F. Newell, 2002.
15. Janson Olstam, J., & Tapani, A. (2004). Comparison of Car-following models.

16. SILION, E. S., & LOVIN, A. M. ROAD CONDITIONS MONI ROAD CONDITIONS MONITORING. ACTUAL AND TORING. ACTUAL AND UNDERGOING RESEARCH UNDERGOING RESEARCH METHODS.

17 LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DIREKCIJOS PRIE SUSISIEKIMO MINISTERIJOS DIREKTORIAUS Į S A K Y M A S DĖL ŽIEDINIŲ SANKRYŽŲ PROJEKTAVIMO METODINIŲ NURODYMŲ MN ŽSP 12 PATVIRTINIMO 2012 m. gegužės 7 d. Nr. V-106 Vilnius

18. PTV VISSIM TIPS & TRICKS. Žiūrėta [2017-11-29]. Prieiga per internetą: http://www.traffic-inside.com/category/vissim_tips_tricks