



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Tomas Jurevičius

ŠVIESOFORŲ VALDOMOS SANKRYŽOS PRAVAŽIAVIMO
LAIKO OPTIMIZAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

doc dr. Andrius Knyš

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

**ŠVIESOFORŲ VALDOMOS SANKRYŽOS PRAVAŽIAVIMO
LAIKO OPTIMIZAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

Vadovas

doc. dr. Andrius Knyš

Recenzentas

Doc. dr. Gytis Petrauskas

Projektą atliko

Tomas Jurevičius

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Tomas Jurevičius

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos, 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Šviesoforų valdomos sankryžos pravažiavimo laiko optimizavimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 _____ 17 _____ m. _____ gegužės _____ 10 _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Jurevičiaus** baigiamasis projektas tema „Šviesoforų valdomos sankryžos pravažiavimo laiko optimizavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Jurevičius, Tomas. Šviesoforų valdomos sankryžos pravažiavimo laiko optimizavimas. Valdymo sistemų magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Andrius Knyš; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, automatikos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai
Reikšminiai žodžiai: *šviesoforas, sankryža, matematinis modelis, vidutinis eismo intensyvumas.*

Kaunas, 2017. 64p.

SANTRAUKA

Magistro baigiamąjį darbą sudaro trys dalys: literatūros analizė, teoriniai skaičiavimai ir eksperimentinis tyrimas.

Pirmoje dalyje atlikta literatūros analizė, kurioje apžvelgta: Esamos transporto spūsčių susidarymo priežastys, šviesoforu valdymo galimybės, eismo stebėjimo sistemos.

Antroje dalyje yra atliekami teoriniai šviesoforo spalvų ciklo skaičiavimai.

Trečioje dalyje surandamas optimalus šviesoforų spalvų ciklas, sukuriamas 3D simuliacijos modelis su realiais parametrais.

Jurevičius, Tomas. Optimization of passage Time for Traffic Light Controlled Intersection. Final project of Control System Master's degree / supervisor doc. dr. Andrius Knyš. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of automation.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: : *traffic-light, crossroad, mathematical model, average traffic intensity.*

Kaunas, 2017. 64 p.

SUMMARY

Master's thesis consists of three parts: analysis of literature, theoretical calculations and experimental study.

In the first part the analysis of literature was carried out in which provides an overview for: Existing causes for traffic jams formation, traffic lights control options, traffic monitoring systems.

In the second part theoretical calculations of traffic light colour cycle were carried out.

In the third part the optimal cycle of traffic light was found, 3D simulation model with realistic parameters was created

Turinys

ĮVADAS	7
1. Šviesoforo veikimo taisyklės	8
1.1. Apsaugotas kairysis posūkis;	8
1.2. Iš dalies apsaugotas kairysis posūkis	8
1.3. Neapsaugotas kairysis posūkis.....	8
1.4. Apsaugotas dešinysis posūkis	8
1.5. Iš dalies apsaugotas dešinysis posūkis.....	9
1.6. Neapsaugotas dešinysis posūkis	10
1.7. Transporto priemonių eismo reguliavimas	10
1.7. Eismo stebėjimo sistemos	11
1.8. Centralizuotos sistemos galimybės	12
1.9. Žalioji banga	14
2. Transporto srautų tyrimo pagrindai	15
2.1. Eismo įvertinimo sąvokos ir būdai	15
2.2. Gatvės (su šviesoforais reguliuojamomis sankryžomis) pravažiavimo laiko analizė	18
2.3. Matematinis modelis.....	25
3. Modelio patikrinimas ir vizualizacijos sudarymas	26
4. Ekperimentiniai skaičiavimai ir programos sudarymas	38
4.1. Realaus modelio sudarymas PVP VISSIM	52
Išvados.....	57
Literatūros sarašas	58

IVADAS

Lietuvos Respublikos transporto sistemą sudaro apie 7,0 % šalies vidaus produkto. Transporto sistemoje dirba apie 5,0 % šalies darbingo amžiaus žmonių. Transportas yra viena iš svarbesnių strateginių ūkio šakų, todėl neteisingi sprendimai šioje srityje gali neigiamai atsiliiepti visoms su transportu susijusioms pramonės šakoms. Transporto sistemos modernizavimas ir restruktūrizavimas yra vienas iš Lietuvoje vykdomos ekonominės politikos prioritetų.

Visame pasaulyje daugėja autotransporto priemonių ir jų poreikis auga kiekvieną dieną. Lietuvos statistikos departamento duomenimis Lietuvoje 2016 buvo įregistruota 1549158 transporto priemonės, taigi vienam gyventojui tenka 0,53 transporto priemonės. 2017 metais šis skaičius dar padidėjo 0,56 transporto priemonės vienam gyventojui [1]. Kintant ekonominiam lygiui didėja ir mobilumo poreikis, todėl didėja transporto srautai, susidaro spūstys keliuose, didėja aplinkos tarša. Siekiant sumažinti spūstis keliuose reikalingi moksliniai tyrimai, kurie padėtų išsiaiškinti kaip sukurti greitesnius maršrutus, taip sumažinant laiką praleidžiamą kelyje.

Vien Kauno gatvėmis kasdien cirkuliuoja apie 170 tūkst. Automobilių. Taigi susidaro spūstys.

Didėjantis transporto srautas reikalauja gerinti šviesoforinų sankryžų valdymą, operatyviai reaguoti į gedimus ir situaciją kelyje. Šiam tikslui naudojama centralizuoto eismo valymo sistema.

Efektyvi eismo valdymo sistema gali sumažinti eismo nelaimės ir taupyti pinigus, bet svarbiausia gali išsaugoti gyvybes.

1. Pirmasis gatvės šviesoforas pasaulyje buvo pastatytas 1868 m. Anglijoje.
2. 1913 m. JAV pasirodė elektrinis šviesos signalizacijos
3. Trijų spalvų šviesoforas atsirado Niujorke 1918 m.
4. Lietuvoje pirmasis rankinio valdymo gatvių šviesoforas įrengtas 1947 m.

Magistro baigiamojo projekto Sankryžos šviesoforo ciklo optimizavimas analizei pasirinkta K. Petrausko - Aukštaičių gatvės sankryža. Šio projekto tikslas yra ištirti esamą eismo srauto situaciją šioje sankryžoje. Patikrinti šios sankryžos šviesoforo ciklą ir surasti šviesoforo ciklą tinkamiausią šiai sankryžai.

1. Šviesoforo veikimo taisyklės

1.1. Apsaugotas kairysis posūkis;

1. Kairysis posūkis yra apsaugotas, kai, degant žaliajam šviesoforo signalui, visoms susikertančioms eismo kryptims (įskaitant pėsčiuosius ir dviratininkus) dega raudonas signalas.
2. Apsaugotas kairysis posūkis labai svarbus, kai:
3. Didelis priešpriešinio eismo greitis;
4. Didelis sukančio į kairę eismo greitis;
5. Daug į kairę sukančio arba priešpriešinio eismo;
6. Jeigu kairiajam posūkiui viena kryptimi yra skirtos dvi ar daugiau eismo juostų, toks posūkis turi būti apsaugotas.

1.2. Iš dalies apsaugotas kairysis posūkis

Kairysis posūkis yra iš dalies apsaugotas, jeigu į kairę sukančios transporto priemonės žalias signalas dega ilgiau nei žalias signalas priešpriešinės krypties transporto priemonės ir lygiagrečiai judantiems pėstiesiems bei dviratininkams. Iš dalies apsaugotas kairysis posūkis reguliuojamas tais pačiais šviesoforais (be rodyklių)

1.3. Neapsaugotas kairysis posūkis

Kairysis posūkis yra neapsaugotas, kai kartu su juo leidžiamas priešpriešinis eismas ir eismas kertamoje pėsčiųjų perėjoje. Neapsaugotas kairysis posūkis gali būti leidžiamas, jeigu bent viena iš dviejų konfliktinių eismo krypčių yra neintensyvi. Jeigu susidaro į kairę sukančių transporto priemonių eilė, reikia pavėlinti kitos fazės žalio signalo pradžią, kad sukantys į kairę vairuotojai turėtų daugiau laiko sankryžai atlaisvinti. Neapsaugotas kairysis posūkis reguliuojamas tais pačiais šviesoforais (be rodyklių), kurie reguliuoja važiavimą tiesiai.

1.4. Apsaugotas dešinysis posūkis

Esant intensyviam šoniniam eismui (pėstieji, dviratininkai, maršrutinis transportas) arba kertantis didelio greičio keliams, posūkis į dešinę turi būti apsaugotas ir jam reikalingas atskiras šviesoforas su rodyklėmis. Jeigu dešiniojo posūkio juostas nuo kitų eismo juostų skiria trikampė salelė, šiam posūkiui atskiras šviesoforas su rodyklėmis reikalingas, kai:

1. yra dvi ar daugiau dešiniojo posūkio eismo juostų;
 2. vyksta intensyvus pėsčiųjų ir dviratininkų eismas;
 3. transporto priemonės į dešinę suka per greitai, dėl to pėstiesiems ir dviratininkams yra nesaugu.
 4. Reikia užtikrinti, kad, degant dešiniojo posūkio šviesoforo žaliajam signalui, sukančioms į dešinę transporto priemonėms netrukdytų priešpriešinis kairysis posūkis.
 5. Apsaugotas dešinysis posūkis reguliuojamas atskirais šviesoforais su rodyklėmis
- [2]

1.5. Iš dalies apsaugotas dešinysis posūkis

1. Jeigu sankryžoje yra ne daugiau kaip viena atskira dešiniojo posūkio juosta, atskirais atvejais gali būti svarbu numatyti papildomą žalio signalo laiką transporto priemonėms, sukančioms į dešinę. Papildomas laikas pridedamas prie pagrindinės krypties žalio signalo laiko, tokiu būdu gaunamas ankstintasis arba vėlintasis dešinysis posūkis.
2. Papildomą žalio signalo laiką dešiniajam posūkiui suteikia papildoma sekcija su žaliu rodyklės formos signalu tamsiame fone. Ankstintojo dešiniojo posūkio atveju papildomos sekcijos signalas įjungiamas degant raudonam šviesoforo signalui ir turi būti įjungtas visą pagrindinio šviesoforo žalio signalo laiką. Vėlintojo dešiniojo posūkio atveju papildomos sekcijos signalas turi būti įjungtas visą pagrindinio šviesoforo žalio signalo laiką ir papildomai nustatytą laiko tarpą lieka įjungtas kartu su raudonu šviesoforo signalu. Derinys, kai dega žalias pagrindinio šviesoforo signalas, o papildomos sekcijos signalas yra išjungtas, nenaudojamas. Tačiau reikia užtikrinti, kad, degant papildomai sekcijai, būtų draudžiamas pėsčiųjų ir dviratininkų eismas kertamose perėjose.
3. Iš dalies apsaugotas dešinysis posūkis reguliuojamas papildoma sekcija su žalios rodyklės signalu tamsiame fone, kuri tvirtinama prie pagrindinio šviesoforo žalio signalo sekcijos iš dešinės pusės [2]

1.6. Neapsaugotas dešinysis posūkis

1. Dešinysis posūkis yra neapsaugotas, kai jis leidžiamas kartu su eismo kryptimi tiesiai ir su eismu kertamoje pėsčiųjų perėjoje.
2. Neapsaugotas dešinysis posūkis reguliuojamas tais pačiais šviesoforais (be rodyklių), kurie reguliuoja važiavimo kryptį tiesiai [2]

1.7 Transporto priemonių eismo reguliavimas

Skirtingos eismo kryptys turi judėti kartu, jeigu jos nėra atskirtos, pvz., eismo kryptys tiesiai ir į dešinę juda ta pačia eismo juosta. Skirtingos eismo kryptys gali judėti skirtingu metu tik tuomet, kai jos yra išskaidytos į atskiras eismo juostas, pvz., eismo kryptis tiesiai ir sukančios kryptys juda atskiromis, joms skirtomis eismo juostomis.

Kai degant žaliai signalui kertasi skirtingos eismo kryptys ir viena iš jų turi pirmumą, tai pirmumą turintis eismas negali būti paleidžiamas vėliau už pirmumo neturintį eismą. Pvz., pėsčiųjų eismas negali būti paleidžiamas vėliau nei transporto priemonių kairysis posūkis, kertantis pėsčiųjų perėją; važiavimas tiesiai negali būti paleistas vėliau nei priešpriešinis kairysis posūkis.

Jeigu kažkuriai judėjimo kryptims dega žalias rodyklės (rodyklių) formos signalas tamsiame fone, tos krypties (krypčių) judėjimo trajektorija turi nesikirsti su kitų krypčių eismo trajektorijomis (įskaitant pėsčiuosius ir dviratininkus). Signalų su kelių krypčių rodyklėmis rekomenduojama vengti.

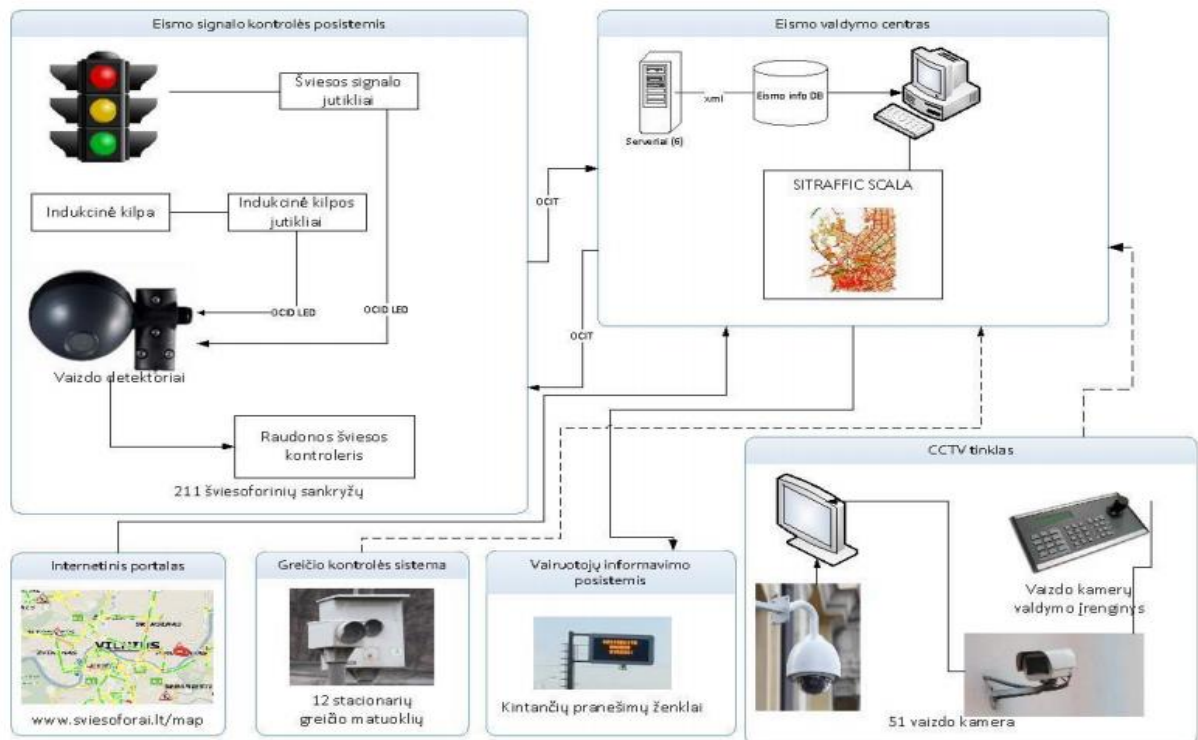
Jeigu sankryžoje į kurią nors pusę posūkis leidžiamas iš dviejų ar daugiau eismo juostų, tai toje pusėje lygiagrečiai judantiems pėstiesiems ir dviratininkams tuo metu turi degti raudonas šviesoforo signalas

Jeigu sankryžos zona yra per maža ir į dešinę sukančioms transporto priemonėms reikia įvažiuoti į priešpriešinio eismo zoną, tuo metu dešinėje esančiam priešpriešiniam eismui turi degti raudonas signalas, o jam skirta „Stop“ linija turi būti atitraukta nuo sankryžos reikiamu atstumu transporto priemonėms pasukti [7]

1.7. Eismo stebėjimo sistemos

Vaizdo kameromis yra galimybė skaičiuoti eismo srautus. Tai gali atlikti tiek pačios vaizdo kameros, kuriose yra įdiegtos analitinės funkcijos, arba tai gali atlikti centriniame serveryje įdiegta programinė įranga, turinti analogiškas analitines funkcijas. Gali būti diegiamos arba eismo stebėjimui naudojamos vaizdo kameros, kurios gali papildomai skaičiuoti eismo srautus, arba gali būti diegiamos tik eismo srautų skaičiavimui skirtos vaizdo kameros. Pastarasis sprendimas yra pigesnis ir jis yra šiuo metu naudojamas CEV sistemoje.

Tiksliausios eismo kontrolės priemonės yra vaizdo stebėjimo sistemos, nors jos ir reikalauja intensyvaus žmogaus įsitraukimo.



1 pav. eismo valdymo sistema

Siekiant tinkamai ir laiku sureaguoti į susidariusią eismo situaciją, yra naudojamos dvi eismo stebėjimo priemonės: eismo intensyvumo matavimo įrenginiai (vaizdo detektorius ir indukcinės kilpas) bei eismo srautų stebėjimo vaizdo kamerų tinklas (CCTV tinklas). Visos naudojamos vaizdo kameros yra analoginės. [8]

Per minėtus kanalus gaunama informacija yra apdorojama ir pateikiama pasirinktu kanalu eismo valdymo centre, kurios pagrindą sudaro SITRAFFIC sistema. Ši sistema iš esmės naudojama imtis tam tikrų veiksmų eismo valdymui realiu laiku, tačiau ne aktualių statistinių duomenų eismo valdymui optimizuoti apdorojimui ir kaupimui. SITRAFFIC sistema, atsižvelgdama į eismo juostų užimtumą ir KTP greitį jose, automatiškai parenka reikiamus sankryžos šviesoforo signalų įsijungimo ciklus (dažniausiai naudojami 60 s, 70 s, 90 s, 120 s, 120 s, 130 s ir 180 s ciklo laikai) arba suteikia galimybes rankiniu būdu pasirinkti sankryžų grupę ir nustatyti jose vadinamąją „žaliąją bangą“, t. y., žaliojo signalo kiekvienoje iš sankryžų įsijungimo režimą. Žaliojo signalo veikimo trukmė gali būti griežtai apibrėžta arba automatiškai kisti priklausomai nuo KTP srautų. Pastaruoju atveju sistema į realią situaciją sureaguoja maždaug po 25 min. nuo duomenų gavimo.

1.8. Centralizuotos sistemos galimybės

Centralizuotos sistemos galimybės:

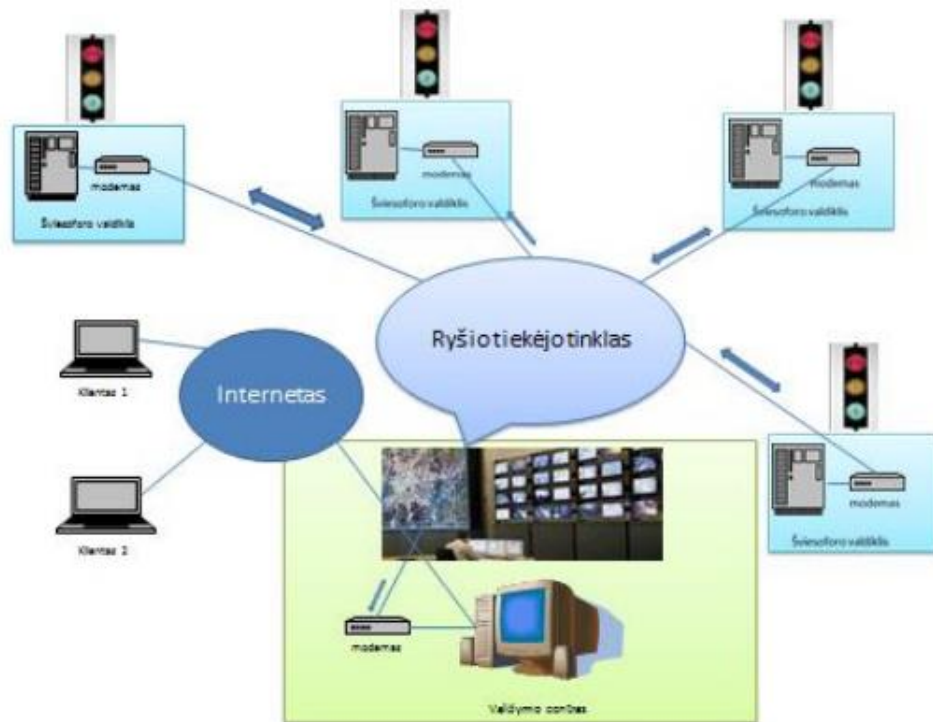
1. Nuotoliniu būdu valdomas šviesoforo valdiklis, keičiami parametrai;
2. Realio laiku gaunama informacija apie valdiklio būklę, šalinami gedimai;
3. Operatyviai valdoma situacija sankryžoje, mažėja transporto spūstys;
4. Papildomai sumontavus bevieles eismo stebėjimo kameras galimas operatyvus reagavimas į situaciją sankryžoje (spūstys, autoįvykiai ir pan.)

Sistemos privalumai:

1. Nereikalauja didelių investicijų;
2. Nesudėtinga eksploatacija;
3. Paprastas įdiegimas;
4. Mažinami šviesoforų eksploatacijos kaštai;
5. Padidėja aptarnavimo operatyvumas;
6. Centralizuotas šviesoforų valdymas leidžia sukurti transporto koridorius;
7. Vienas valdymo centras gali aptarnauti didelį skaičių sankryžų. Sankryžų skaičius priklauso nuo centrinio kompiuterio galimybių ir operatoriaus patirties;
8. Sistema suderinama su Windows ir Linux operacinėmis sistemomis;

Sistemos trūkumai:

1. Jei sugenda bent vienas šviesoforas, tai sutrinka visos sistemos darbas.
2. Nepritaikyta deltonikams;
3. Dažnai genda;
4. Daug pasenusių šviesoforų, todėl prastai matosi, kokia spalva dega.



1.1
pav.

Centralizuoto šviesoforų valdymo sistemos principinė schema.[8]

Įrengimas

Prie šviesoforo valdiklio įrengiamas modemas. Modemo pagalba GSM ryšiu informacija keičiamasi su valdymo centru. Valdymo centre turi būti kompiuteris su instaliuota specialia programine įranga

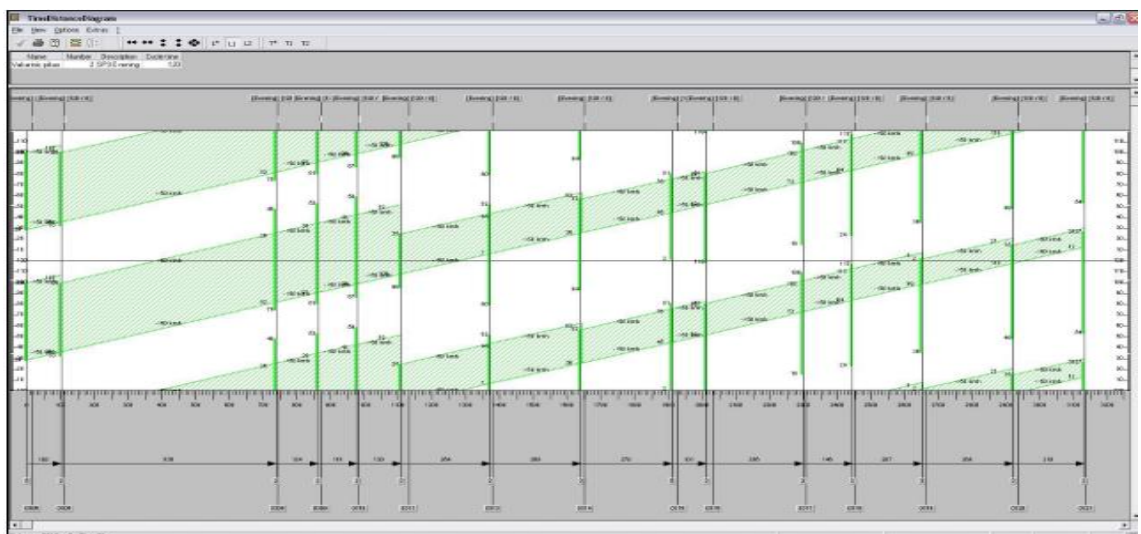
Srauto stebėjimas galimas detekciniais davikliais, matuojamais kelio dangoje, indukcinėmis kilpomis kelio dangoje arba video detekcijos kameromis.



1.1 pav. Beviele videodetekcijos kamera

1.9. Žalioji banga

„Žalioji banga“ – sankryžų darbo režimų (signalinių programų) koordinavimas. Iš anksto nustatoma „žaliosios bangos“ kryptis (tam tikra gatvė) ir signalinės programos koordinuojamos taip, kad pralaidumas pasirinkta kryptimi būtų didžiausias.



2. Pav. žalios bangos kūrimo pavyzdys

2. Transporto srautų tyrimo pagrindai

2.1. Eismo įvertinimo sąvokos ir būdai

Šiais laikais, transportas – tai ūkio šaka, apimanti krovinių ir keleivių gabenimą įvairiomis transporto priemonėmis. Transporto sistemą sudaro:

1. Sausumos transportas:
 - a) Automobilių transportas
 - b) Geležinkelių transportas
2. Vandens transportas;
3. Oro transportas;

Šis skirstymas gerai atspindi didžiąją transporto priemonių dalį, tačiau kai kurias transporto priemones sunku priskirti konkrečiai grupei (pvz. Transporteris ant oro pagalvės). Beabėjo kiekviena transporto rūšis turi savo trūkumų ir privalumų, todėl nei viena iš jų nėra absoliučiai dominuojanti. Transportas labai priklauso nuo žmonių ir krovinių pervežimo srautų, keičiantis žmonijos poreikiams, keičiasi ir transporto rūšies naudojimas.

Transporto priemones geriausia klasifikuoti pagal kelią, nes būtent ši klasifikacija geriausiai atspindi transporto priemonių specifiką ir galimybes. Pagrindiniai kriterijai, nulemiantys transporto rūšies naudojimą:

1. Vidiniai ir tarptautiniai krovinių srautai. Nuo dominuojančių krovinių pobūdžio labai priklauso transporto rūšis. Yra krovinių, kuriuos ekonomiškiausia transportuoti būtent konkrečia transporto rūšimi (pvz. dideli naftos kiekiai – didžiaisiais tankeriais);

2. Geografinės šalies ar regiono ypatybės. Savaime aišku, kad tankus šalies laivybinių upių tinklas yra populiarus, bet kartu sudaro sunkumų tiesiant kelius ir geležinkelius.

Automobilių transportas atsirado XXa. Automobiliais vežami keleiviai ir kroviniai. Automobilių transportas patogus tuo, kad krovinius gali nuvežti tiksliai į reikiamą vietą. Šis transportas plėtojamas labai greitai ir tik ten, kur yra geri keliai. Automobilių transporto plėtrą rodo lengvųjų automobilių skaičius, tenkančio 1000 gyventojų, augimas. Automobilių kelių tiesimą apsunkina gamtinės kliūtys – kalnai, upės. Todėl statomi tiltai, viadukai, kasami tuneliai. Ilgiausias

tunelis Europoje yra Alpėse: Simplono (20km, nutiestas geležinkelis ir automobilių kelias). Tuneliai kasami ir po vandeniu – ilgiausias Hadsono(JAV). Japonijoje tarp Honsui ir Hokaido salų. Kasamas dar ilgesnis Seikano tunelis, jo ilgis 54 km., iš jų net 23 km. po vandeniu.[3]

Autotransportui būdingi trūkumai:

1. Kai atstumas viršija 325 km., transportavimas geležinkeliais greitesnis ir pigesnis;
2. Transporto kamščiai miestuose paverčia automobilius lėtomis ir neefektyviomis transporto priemonėmis;
3. Kelių transportas labiau teršia aplinką nei traukiniai ar laivai;
4. Kelių transporto priemonės netaupiai naudoja naftos išteklius; tai labai svarbu, nes pusė naftos produktų, sunaudojamų Europos Sąjungos šalyse, tenka transportui;
5. Dideli nuostoliai dėl autotransporto avarijų, daug žmonių žūva ir sužeidžiama.
6. Esant dideliame eismo intensyvumui, avaringumas žymiai išauga: vien per šių metų sausio ir vasario mėnesius Lietuvoje įvyko 862 įskaitiniai eismo įvykiai, buvo sužeista 985 žmonės (iš jų 146 vaikai), žuvo – 107 (iš jų 48 vaikai).

Nepaisant išorinių trūkumų, nulemia autotransporto privalumai, ypač jo lankstumas, todėl daugelyje Europos šalių tai dominuojanti transporto priemonė. Automobilių transporto sistema sudaro šie elementai:

1. Keliai;
2. Terminalai;
3. Transporto ir traukos priemonės

Keliai. Automobilių keliai paprastai yra bendrojo naudojimo. Bendras automobilių kelių privalumas – jų universalumas. Kitų transporto rūšių keliai jungia specialius terminalus (geležinkelio stotis, uostas), o automobiliai gali pristatyti krovinius tiesiog į paskirtas vietas. Vakarų Europos šalių išplėtotas kelių tinklas labai pritaikytas prie intensyvaus eismo sąlygų. Didžiausias autokelių tankis – Didžiojoje Britanijoje ir Vokietijoje. Centrinėje ir Rytų Europoje kelių tinklas prastesnis. Didelis Europos Sąjungos dėmesys skiriamas koridoriui „Šiaurė – Pietūs“ ir „Via Baltica“. Autokoridoriui per Baltijos valstybes iš dalies suinteresuota Suomija ir kitos šalys.

Valstybinės reikšmės magistralinių kelių Lietuvoje yra 1724 km, krašto kelių – 4864 km, rajoninių – 14727. Iš viso 21315 km. Tūkstančiui gyventojų tenka 5,8 km, o tūkstančiui kvadratinį kilometrų teritorijos – 331 km valstybinės reikšmės kelių. Dauguma jų (54%) yra asfaltuoti. Lietuvą kerta šešios europinės magistralės.[2]

Kelias – tai inžinerinis statinys skirtas autotransporto priemonių ir pėsčiųjų eismui;

Gatvės – tai kelias esantis kaimo gyvenvietėse, miesteliuose ar miestuose. Gatvės skirstomos į: magistralines, tai yra: tranzitinės arterijos kurios jungia miesto rajonus ir transporto mazgus, pėsčiųjų arba vietines. Gatvės miestuose gali sudaryti stačiakampį, radialinį arba linijinį tinklą.

Makrosrautų teorija – tai yra sritis, kuri nagrinėja transporto priemonių judėjimą mieste ir kelionių pasiskirstymą gatvių tinkle.

Mikrosrautų teorija – tai yra sritis, kuri nagrinėja transporto priemonių judėjimą, elgseną ir dėsningumą vienoje gatvėje ar jos atkarpoje.

Transporto infrastruktūra – tai yra visuma tiltų, gatvių, viadukų, sankryžų ir kitų eismui aptarnauti skirtų statinių kartu su kelio ženklais, šviesoforais bei kitais eismo sklandumą laiduojančiais įrenginiais.

Transporto priemonių tankis – tai sąvoka kuri apibūdina transporto priemonių skaičius viename kelio kilometre.

Gatvės pralaidumas – tai dydis, kuris yra gatvės charakteristika. Šis dydis tiesiogiai priklauso nuo gatvėje įrengtų šviesoforų kiekio, jų darbo ciklo parametrų ir eismo juostų skaičiaus. Šiuo matavimo vienetu nusakomas didžiausias toje gatvėje įmanomas eismo intensyvumas.

Eismo intensyvumas – tai yra matavimo vienetas išreiškiantis, transporto priemonių kurios kerta kelio skerspjūvio plokštumą per tam tikrą laiko vienetą, skaičių.

Didžioji dalis eismo vyksta miestų gatvėse – žmonės automobiliais ar viešuoju transportu keliauja į darbus, lengvaisiais automobiliais, sunkvežimiais, vilkikais išvežiojamos prekės. Esant dideliems eismo srautams atsiranda transporto sutrikimai, patiriami dideli nuostoliai prekių pervežimo, žmonių transportavimo, paslaugų suteikimo sferose, sumažėja žmonių komunikacinės galimybės. Esant dažniems transporto sistemos sutrikimams (pvz.: parkavimo vietų stoka ar grūstys miestuose), susidaro kliūtys racionaliam išteklių panaudojimui, mažėja darbo pasidalinimas, neigiamai veikiama aplinka, mažėja žmonių ekonominę gerovę, bei gyvenimo kokybę.[2]

2.2 Gatvės pravažiavimo laiko analizė

Gatvė G_{ij} , kurios ilgis yra l_{ij} , pravažiuojama vidutiniškai per laiką τ_{ij} , kurį sudaro 4 dedamosios[3]:

- 1) τ_{ij}^0 - laikas, reikalingas nuotoliui l_{ij} įveikti, važiuojant be sustojimų;
- 2) τ_{ij}^{sta} - laikas, sugaištamasis stabdant prie draudžiamųjų šviesoforo signalų;
- 3) τ_{ij}^{st} - laikas, sugaištamasis stovint prie draudžiamųjų šviesoforo signalų;
- 4) τ_{ij}^{gr} - laikas, sugaištamasis įsibėgėti po sustojimo iki greičio v_{ij}^{\max} :

$$\tau_{ij} = \tau_{ij}^0 + \tau_{ij}^{sta} + \tau_{ij}^{st} + \tau_{ij}^{gr} . \quad (1.0)$$

Bendroju atveju laikas τ_{ij}^0 apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$\tau_{ij}^0 = \int_{G_{ij}} \frac{x}{v_{ij}(x,t)} dx ; \quad v_{ij}^{\max} \geq v_{ij}(x,t) > 0 \quad (1.1)$$

Šioje formulėje kintamasis t rodo, kad paros bėgyje greitis gatvėje gali kisti;

v_{ij}^{\max} - didžiausias leistinas greitis.

Formulė (1.1) praktikoje sunkiai pritaikoma, dėl ko ją siūloma pakeisti apytiksle išraiška:

$$\tau_{ij}^0 = \sum_k \frac{l_{ij-k}}{v_{ij-k}(t)} ; \quad \forall k : \quad v_{ij}^{\max} \geq v_{ij-k}(t) > 0 . \quad (1.1a)$$

Čia k – gatvės atkarpos tarp dviejų gretimų sankryžų (ar reguliuojamų perėjų) indeksas;

l_{ij-k} ir $v_{ij-k}(t)$ gatvės G_{ij} k -sios atkarpos ilgis;

$v_{ij-k}(t)$ □ greitis gatvės G_{ij} k -oje atkarpoje.

Važiuojant pastoviu greičiu $v_{ij}(t)$,

$$\tau_{ij}^0 = \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)} . \quad (1.1b)$$

Laikas τ_{ij}^{st-P} sugaištamasis dėl to, kad pasirodžius žaliajam signalui, prie šviesoforo ne pirmoje vietoje stovinti transporto priemonė negali iškart pradėti važiuoti: ji turi palaukti, kol pajudės pirmesnė transporto priemonė. Šiuo atveju ženklia įtaką turi vairuotojų reakcijos laikas [4]: paskesnės transporto priemonės vairuotojas sureaguoja į pirmesnės transporto priemonės pajudėjimą per 0,2 s – 1,5 s (vidutiniškai τ_r).

Taigi,

$$\tau_{ij}^{st} = \tau_{ij}^{st-r} + \tau_{ij}^{st-P} . \quad (1.2)$$

Stovėjimo prie raudono šviesoforo laiko vidurkis:

$$M[\tau_{ij}^{st-r}] = \int_0^{T_{raud}} \tau_{ij}^{st-r} P_{sta} \rho_{sta}(\tau_{ij}^{st-r}) d\tau_{ij}^{st-r} . \quad (1.3)$$

Čia $P_{sta} = \frac{T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}}$ reiškia tikimybę, kad teks sustoti prie raudono šviesoforo signalo;

$\rho_{sta}(\tau_{ij}^{st-r}) = \frac{1}{T_{raud}}$ - sąlyginės tikimybės, kad sustojus prie raudono šviesoforo teks laukti

žalio signalo laiką $\tau_{ij}^{st-r} \in [0, T_{raud}]$, tankio funkcija (tokį pavidalą ji įgauna dėl to, kad laukimo prie raudono žiburio laikas pasiskirsto tolygiai laiko intervale $[0, T_{raud}]$).

Įstačius konkrečias tikimybių išraiškas, gaunama[5]:

$$\begin{aligned} M[\tau_{ij}^{st-r}] &= P_{sta} \int_0^{T_{raud}} \frac{\tau_{ij}^{st-r}}{T_{raud}} d\tau_{ij}^{st-r} = \frac{T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \int_0^{T_{raud}} \frac{\tau_{ij}^{st-r}}{T_{raud}} d\tau_{ij}^{st-r} = \frac{T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \frac{T_{raud}}{2} = \\ &= \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} . \end{aligned} \quad (1.4)$$

Jeigu eismo intensyvumas yra $n_{ij}(t)$, tai eismo dalyviui stovint ir laukiant šviesoforo žaliao žiburio laiką $\tau_{ij}^{st-r} \in [0, T_{raud}]$, prieš šį eismo dalyvį bus sustoję $n_{ij}(t) (T_{raud} - \tau_{ij}^{st-r})$ transporto priemonių. Tai reiškia, kad jam pajudėti iš vietos, kai pasirodė žalias šviesoforo signalas, prireiks dar $\tau_{ij}^{st-p} = \tau_r n_{ij}(t) (T_{raud} - \tau_{ij}^{st-r})$ sekundžių.[6]

Šio laiko vidurkis yra:

$$\begin{aligned} M[\tau_{ij}^{st-p}] &= \tau_r n_{ij}(t) (T_{raud} - M[\tau_{ij}^{st-r}]) = \tau_r n_{ij}(t) \left(T_{raud} - \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} \right) = \\ &= \tau_r n_{ij}(t) \frac{2T_{zal}T_{raud} + 2T_{raud}^2 - T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} = \tau_r n_{ij}(t) \left(\frac{T_{zal}T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} \right). \end{aligned} \quad (1.5)$$

Tokiu būdu, laiko, kuris sugaištamasis stovint prie šviesoforo draudžiamojo signalo, vidurkis

$$M[\tau_{ij}^{st}] = M[\tau_{ij}^{st-r}] + M[\tau_{ij}^{st-p}] = \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal}T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + (1 + \tau_r n_{ij}(t)) \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \quad (1.6)$$

Galima pastebėti, kad dažnai tenka sustoti netgi prie šviesoforo leidžiamojo (žalio) signalo. Taip atsitinka, kai „pasivejama“ prie sankryžos buvusi eilė, kuri pasirodžius žaliame signalui, dar nebūna visa pajudėjusi (dėl to, kad paskesnės transporto priemonės vairuotojas sureaguoja į pirmesnės transporto priemonės pajudėjimą su didesniu ar mažesniu vėlinimu).

Laikas T_{st-z} nuo žaliao signalo pasirodymo iki paskutinės eilėje stovėjusios transporto priemonės įsibėgėjimo yra išreiškiamas formule:

$$T_{st-z} = \tau_r n_{ij}(t) T_{raud} + \tau_{ij}^{gr}. \quad (1.7)$$

Toliau dėl paprastumo paskutinės eilėje stovėjusios transporto priemonės įsibėgėjimo laikas τ_{ij}^{gr} yra nevertinamas, kadangi paskutinei stovėjusiai eilėje transporto priemonei pajudėjus, paskui ją važiuojančiai transporto priemonei užtenka tik pristabdyti (o ne visiškai sustoti). Taigi:

$$T_{st-z} = \tau_r n_{ij}(t) T_{raud}. \quad (1.8)$$

Laikas T_{st-z} eilę „prisivėjančioms“ transporto priemonėms yra ekvivalentiškas šviesoforo raudono signalo prailginimui.

Konkrečiam eismo dalyviui, „prisivijusiam“ eilę jau prie šviesoforo žalio signalo, tenka laukti τ_{ij}^{st-z} sekundžių.

Laukimo laiko τ_{ij}^{st-z} vidurkis skaičiuojamas pagal formulę, analogišką formulei (1.4) [5]

$$\begin{aligned} M[\tau_{ij}^{st-z}] &= P_{st-z} \int_0^{T_{st-z}} \frac{\tau}{T_{st-z}} d\tau = \frac{T_{st-z} = \tau_r n_{ij}(t) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \int_0^{T_{st-z}} \frac{\tau}{T_{st-z}} d\tau = \frac{(T_{st-z})^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} = \\ &= \frac{(\tau_r n_{ij}(t))^2 T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Tokiu būdu, įvertinus laiką, sugaištamą eismo dalyviui „prisivijus“ eilę τ_{ij}^{st-z} , laiko, sugaištamo stovint prie šviesoforo, vidurkis $M[t_{ij}^{st}]$ gaunamas pakildžius formulę (1.17) dėmeniu $M[\tau_{ij}^{st-z}]$:

$$\begin{aligned} M[t_{ij}^{st}] &= M[\tau_{ij}^{st}] + M[\tau_{ij}^{st-z}] = M[\tau_{ij}^{st-r}] + M[\tau_{ij}^{st-p}] + M[\tau_{ij}^{st-z}] = \\ &= \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + (1 + \tau_r n_{ij}(t)) \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \frac{(\tau_r n_{ij}(t))^2 T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} = \\ &= \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t) + (\tau_r n_{ij}(t))^2) T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Laikas, sugaištamas stabdant ir įsibėgėjant, skaičiuojamas remiantis šiais samprotavimais:

1) stabdymo ir įsibėgėjimo pagreičiai laikomi vienodais ir priklausančiais nuo automobilio techninių charakteristikų. Šie pagreičiai skirtingiems automobiliams miesto sąlygomis būna nuo 2 m/s^2 iki 4 m/s^2 . Vidutiniškai priimama[4]:

$$a = 3 \text{ m/s}^2;$$

2) stabdymo bei įsibėgėjimo režimai (prie vieno šviesoforo draudžiančiojo signalo) trunka:

$$\tau^{st} = \tau^{gr} = \frac{v_{ij}(t)}{a} = \tau^{sg}. \quad (1.11)$$

3) prie vieno šviesoforo draudžiančiojo signalo stabdymo bei įsibėgėjimo režimu transporto priemonė nuvažiuoja:

$$l^{st} = l^{gr} = \frac{a(\tau^{st})^2}{2} = \frac{a(\tau^{gr})^2}{2} = \frac{a(\tau^{sg})^2}{2} = l^{sg}. \quad (1.11a)$$

Tokiu būdu, vienas sustojimas prie šviesoforo transporto priemonės pravažiavimo gatve G_{ij} laiką prailgina iki dydžio:

$$\tau_{ij}^1 = \frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)} + 2\tau^{sg} + \tau_{ij}^{st} + \tau_{ij}^{st-z} = \frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)} + 2\frac{v_{ij}(t)}{a} + \tau_{ij}^{st} + \tau_{ij}^{st-z}. \quad (1.12)$$

Šioje formulėje yra trys dėmenys. Pirmasis dėmuo $\frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)}$ reiškia laiką, sugaištamą važiuojant

pastoviu greičiu $v_{ij}(t)$. Tokiu greičiu nuvažiuojamas atstumas, gautas iš gatvės ilgio l_{ij} atmetus stabdymo prieš raudoną šviesoforo signalą (arba „prisivijus“ eilę) ir įsibėgėjimo po šio sustojimo kelią, kuris yra $l^{st} + l^{gr} = 2l^{gr}$.

Antrasis formulės (1.12) dėmuo išreiškia laiką, sugaištamą važiuojant stabdymo ir greitėjimo režimais. Kadangi stabdymo ir greitėjimo pagreičiai laikomi vienodais ir pastoviais, šiam laikui apskaičiuoti taikoma tolygiai kintančio judėjimo formulė $v = v_0 + at$. Šia formule ir grindžiama antrojo formulės (1.12) dėmens forma.

Trečiasis formulės (1.12) dėmuo yra stovėjimo prie raudono šviesoforo signalo laikas, kurio vidurkis išreiškiamas formule (1.6).

Ketvirtas dėmuo yra stovėjimo laikas „prisivijus“ eilę.

Reikia pastebėti, kad stabdymo-įsibėgėjimo procedūros tikimybė yra $P_{sta} = \frac{T_{raud} + T_{st-z}}{T_{zal} + T_{raud}}$ Arba, įvertinus (1.8),

$$P_{sta} = \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}}. \quad (1.12a)$$

Tokiu būdu, jeigu gatvės G_{ij} šviesoforai yra suderinti „žaliosios bangos“ režimui, šios gatvės pravažiavimo (nuo pradinės iki galinės sankryžų) vidutinis laikas yra:

$$\begin{aligned}
M[\tau_{ij}^1] &= (1 - P_{sta}) \tau_{ij}^0 + P_{sta} [\tau_{ij}^{sta} + \tau_{ij}^{gr}] + M[t_{ij}^{st}] + P_{sta} \left[\frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)} \right] = \\
&= \left(1 - \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) \mathcal{I}_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \right) \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) \mathcal{I}_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \left\{ 2 \frac{v_{ij}(t)}{a} \right\} + \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \\
&\quad + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t) + (\tau_r n_{ij}(t))^2) \mathcal{I}_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) \mathcal{I}_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)}. \tag{1.13}
\end{aligned}$$

Šioje formulėje pirmasis dėmuo išreiškia gatvės pravažiavimo greičiu $v_{ij}(t)$ laiką, įvertinant tikimybę $(1 - P_{sta})$, kad neteks sustoti prie šviesoforo raudono signalo bei prie šviesoforo žalio signalo „prisivijus“ eilę.

Gatvės G_{ij} pravažiavimo laiko dispersija (kai šviesoforai suderinti „žaliosios bangos“ režimui):

$$D[\tau_{ij}^1] = \frac{(T_{raud})^3}{12(T_{zal} + T_{raud})} [1 + 2(\tau_r n_{ij}(t))^2]. \tag{1.15}$$

Tais atvejais, kai gatvės G_{ij} šviesoforai veikia nepriklausomai vienas nuo kito, o jų skaičius yra h_{ij} , šios gatvės pravažiavimo (nuo pradinės iki galinės sankryžų) vidutinis laikas išreiškiamas formule:

$$M[\tau_{ij}^{h_{ij}}] = \sum_{k=1}^{h_{ij}} \left\{ \begin{aligned} &\left(1 - \frac{(1 + \tau_r n_{ij-k}(t)) \mathcal{I}_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \right) \frac{l_{ij-k}}{v_{ij-k}(t)} + \frac{2(1 + \tau_r n_{ij-k}(t)) \mathcal{I}_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \times \frac{v_{ij-k}(t)}{a} + \\ &+ \tau_r n_{ij-k}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij-k}(t) + (\tau_r n_{ij-k}(t))^2) \mathcal{I}_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \\ &+ \frac{(1 + \tau_r n_{ij-k}(t)) \mathcal{I}_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \times \frac{l_{ij-k} - 2l^{sg}}{v_{ij-k}(t)} \end{aligned} \right\} \tag{1.16}$$

Tai atvejais, kai eismo intensyvumas $n_{ij-k}(t)$ visose gatvės G_{ij} atkarpose yra vienodas, tai yra, kai $\forall k: n_{ij-k}(t) = n_{ij}(t)$, ir srauto greičiai $\forall k: v_{ij-k}(t) = v_{ij}(t)$, šios gatvės pravažiavimo (nuo pradinės iki galinės sankryžų) vidutinis laikas:

$$\begin{aligned}
M\left[\tau_{ij}^{h_{ij}}\right] &= \left(1 - \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t))T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}}\right) \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t))T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \left\{2h_{ij} \frac{v_{ij}(t)}{a}\right\} + \\
&+ \tau_r h_{ij} n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{h_{ij} \left(1 + \tau_r n_{ij}(t) + (\tau_r n_{ij}(t))^2\right) T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \\
&+ \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t))T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \frac{l_{ij} - 2h_{ij} l^{sg}}{v_{ij}(t)}. \tag{1.17}
\end{aligned}$$

Šio laiko dispersija:

$$D\left[\tau_{ij}^{h_{ij}}\right] = \frac{h_{ij} (T_{raud})^3}{12(T_{zal} + T_{raud})} \left[1 + 2(\tau_r n_{ij}(t))^2\right]. \tag{1.18}$$

Formulėse (1.13), (1.16), (1.17) dauguma kintamųjų (l_{ij} , h_{ij} , T_{raud} , T_{zal}) yra gatvės G_{ij} arba šviesoforų parametrai. Tik du kintamieji yra laiko funkcijos: vidutinis transporto priemonių greitis $v_{ij}(t)$ ir eismo intensyvumas $n_{ij}(t)$. Tai reiškia, kad tik šių dviejų kintamųjų reikšmės turi būti nuolat (realiuoju laiku) atnaujinamos, o tai įmanoma tik funkcionuojant vidutinio greičio ir eismo intensyvumo monitoringo sistemai.[5]

2.3 Matematinis modelis

Siekiant sumažinti praleidžiamo laiko trukmę stovint prie raudono šviesoforo signalo, reikia sudėti laiką sugaištą kol pradedama važiuoti užsidegus žaliajam šviesoforo signalui ir laiko trukmę praleistą prie raudono signalo.[5]

$$M[\tau_{ij}^{st}] = M[\tau_{ij}^{st-r}] + M[\tau_{ij}^{st-p}]; \quad (2.0)$$

Sugaištas laikas prie raudono signalo:

$$\begin{aligned} M[\tau_{ij}^{st-r}] &= P_{sta} \int_0^{T_{raud}} \frac{\tau_{ij}^{st-r}}{T_{raud}} d\tau_{ij}^{st-r} = \frac{T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \int_0^{T_{raud}} \frac{\tau_{ij}^{st-r}}{T_{raud}} d\tau_{ij}^{st-r} = \frac{T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \frac{T_{raud}}{2} = \\ &= \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Laikas kol pajudama iš vietos užsidegus šviesoforo signalui:

$$\begin{aligned} M[\tau_{ij}^{st-p}] &= \tau_r n_{ij}(t) (T_{raud} - M[\tau_{ij}^{st-r}]) = \tau_r n_{ij}(t) \left(T_{raud} - \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} \right) = \\ &= \tau_r n_{ij}(t) \frac{2T_{zal}T_{raud} + 2T_{raud}^2 - T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} = \tau_r n_{ij}(t) \left(\frac{T_{zal}T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} \right) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Susumavus gauname:

$$M[\tau_{ij}^{st}] = \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \tau_r n_{ij}(t) \left(\frac{T_{zal}T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} \right). \quad (2.3)$$

3. Modelio patikrinimas ir vizualizacijos sudarymas

Atliekant teorinius skaičiavimus, kintamasis kuris nusako vairuotojo reakcijos laiką lieka tiksliai neapibrėžtas. Ankstesniame skyrelyje reakcijos laikas buvo pažymėtas - τ_r , kuris apytiksliai yra 0,4 s - 1,8 s. Taigi naudosime šių reikšmių vidurkį, taigi reikšmė $\tau_r = 1,1$ s.

Pradžioje ieškoma optimalaus šviesoforo ciklo, kai vidutinis eismo intensyvumas yra pastovus.

Vidutinis eismo intensyvumas žymimas - $(n_{ij}(t))$ ir matuojamas automobiliais per sekundę (aut/s). Vidutinis eismo intensyvumas pasirinktas tarp 0,6 ir 1. Taigi $(n_{ij}(t)) = 0,6; 0,8; 1;$ aut/s;

Ciklo trukmę pasirinkau 60 sekundžių. Ciklas trukmė – tai žalios, raudonos ir geltonos spalvos signalų trukmės suma.

3.1 pav. Reguliuojama sankryža



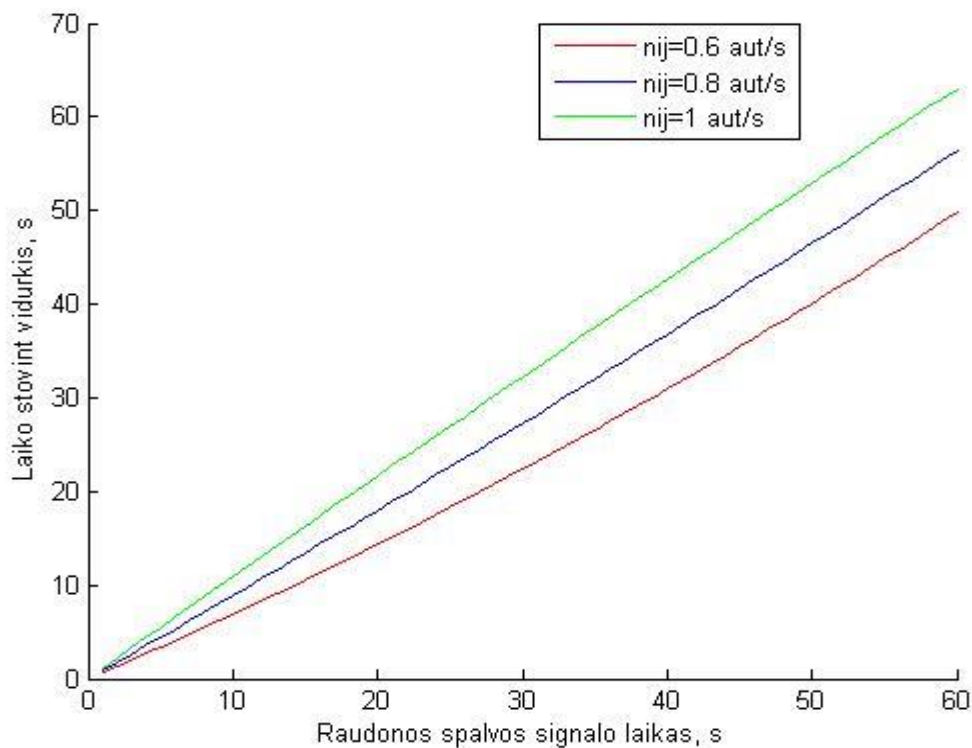
Apskaičiuojama prie Aukštaičių gatvės laiko stovint prie raudono signalo vidurkio ir draudžiamo signalo trukmės priklausomybės grafikas

```

tr=1.1
nij=0.6
for i=(1:60)
    Trau=i; Tzal=60-i;
M(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=0.8
for i=(1:60)
    Trau=i; Tzal=60-i;
N(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=1
for i=(1:60)
    Trau=i; Tzal=60-i;
L(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
hold on
plot(M,'r')
hold on
plot(N,'b')
hold on
plot(L,'g')
xlabel('Raudonos spalvos signalo laikas, s')
ylabel('Laiko stovint vidurkis, s')
legend('nij=0.6 aut/s','nij=0.8 aut/s','nij=1 aut/s')

```

Kai $n_{ij}(t) = 0,6 \text{ aut/s}; 0,8 \text{ aut/s}; 1 \text{ aut/s};$



3.2 pav. Laiko stovint prie raudonos šviesos signalo vidurkio ir draudžiamo signalo trukmės priklausomybė

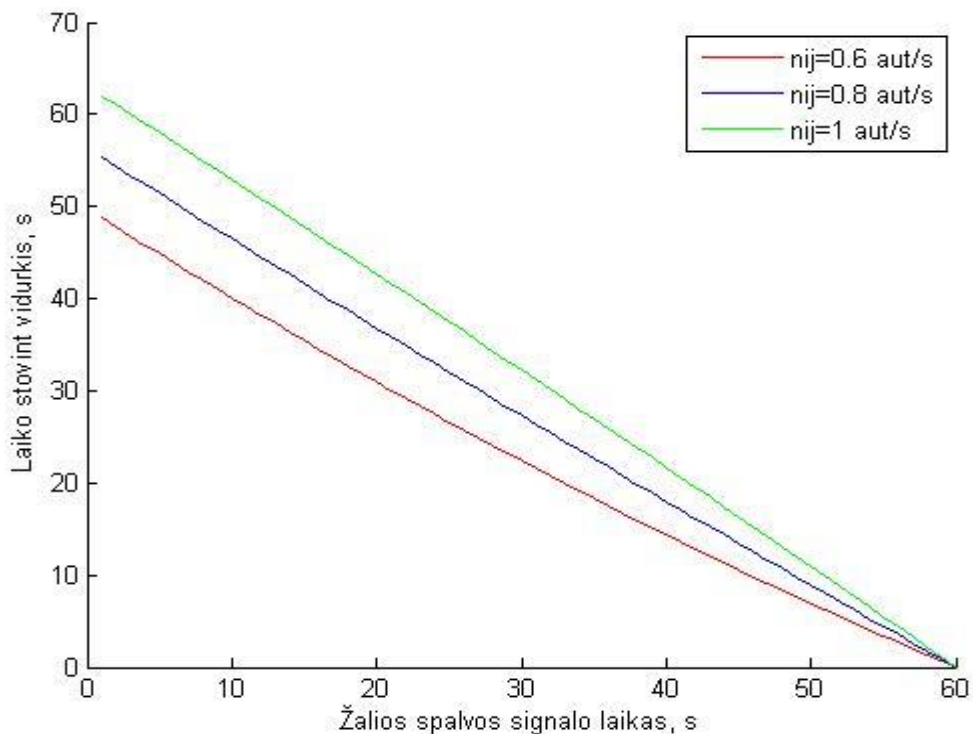
Apskaičiuojama prie K.Petrausko gatvės laiko stovint prie raudonos šviesos signalo vidurkio ir žalios šviesos trukmės priklausomybės grafikas.

Kai $n_{ij}(t) = 0,6 \text{ aut/s}; 0,8 \text{ aut/s}; 1 \text{ aut/s};$

```

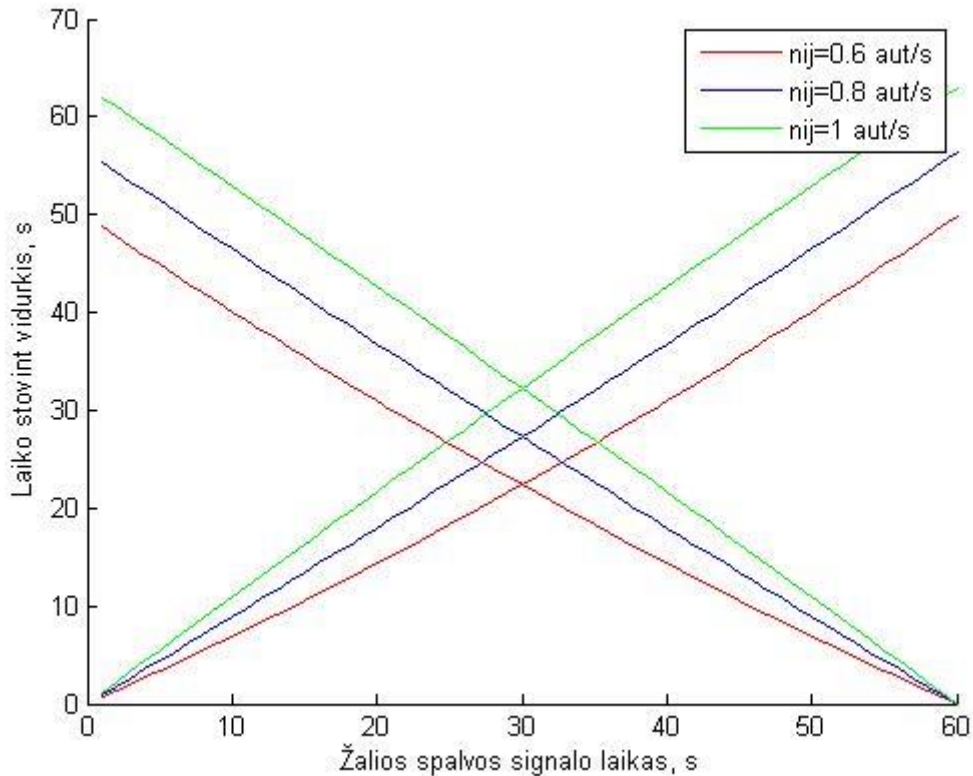
tr=1.1
nij=0.6
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
M(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=0.8
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
N(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=1
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
L(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
hold on
plot(M,'r')
hold on
plot(N,'b')
hold on
plot(L,'g')
xlabel('Žalios spalvos signalo laikas, s')
ylabel('Laiko stovint vidurkis, s')
legend('nij=0.6 aut/s','nij=0.8 aut/s','nij=1 aut/s')

```



3.3 pav. Laiko praleidžiamo prie raudono šviesoforo signalo vidurkio ir žalio signalo trukmės priklausomybės grafikas

Didėjant žalios spalvos šviesoforo signalo trukmei Aukštaičių gatvėje, laiko trukmė praleista prie raudono šviesoforo signalo mažėja, K.Petrausko gatvėje didėjant draudžiamo signalo trukmei didėja ir laiko vidurkis praleistas prie raudono šviesoforo signalo. Iš grafikų galima spręsti, jog didėjant automobilių skaičiui t.y didėjant eismo intensyvumui, didėja ir laikas praleistas prie raudono šviesoforo signalo.

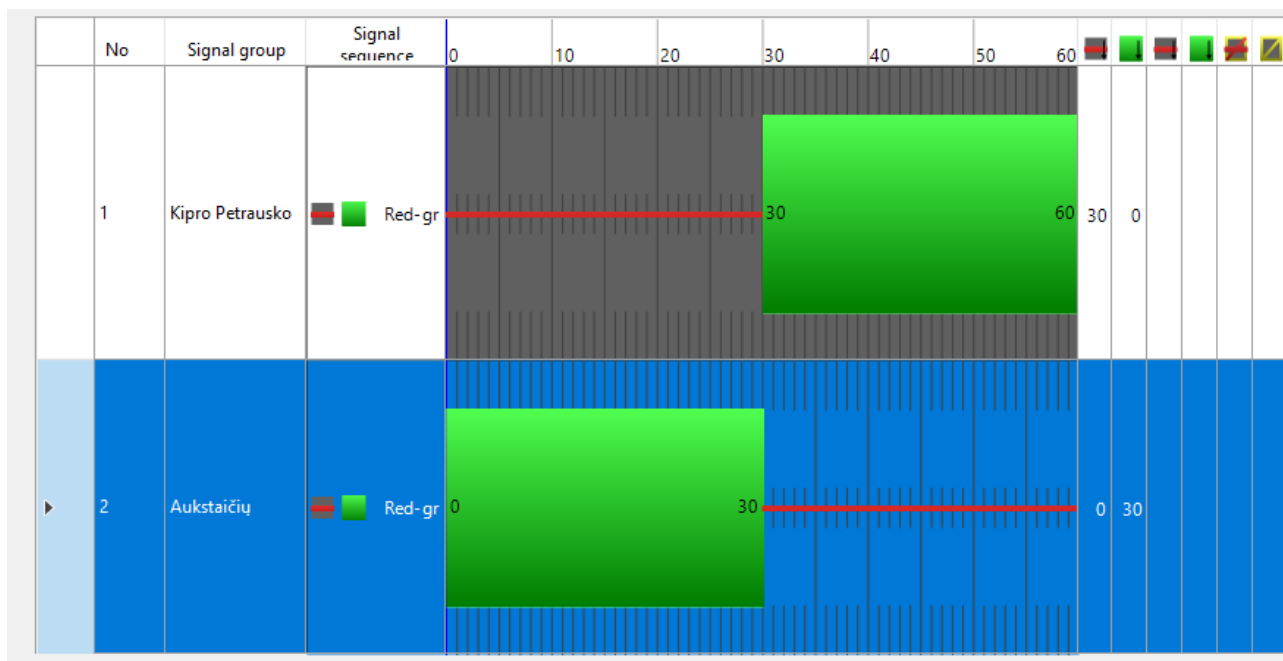


3.4 pav. Optimalus šviesoforo ciklo perjungimo laikas

Sujungus grafikus randamas geriausias šviesoforo ciklo perjungimo laikas, esant pastoviam intensyvumui abiejuose keliuose.

Iš grafikų galima spręsti, jog optimaliausias šviesoforo signalų santykis yra 50% esant bet kokiam vienodam eismo intensyvumui. Ciklo laikas 60 sekundžių. Taigi automobilių srautas bus sureguliuotas geriausiai kai žalio šviesoforo signalo trukmė bus 30 sekundžių, draudžiamo signalo trukmė taip pat 30 sekundžių

Sukūrus signalų grupes reikia sudaryti šviesaforų valdymo programą. Pagal ankščiau nustatytus teorinius duomenis Raudonos spalvos ir žalios spalvos trukmes laikas yra po 50% t.y. po 30 sekundžių. Viso ciklo trukmė 60 sekundžių.



3.6 pav. Valdymo programos kūrimo langas.

Tačiau tai yra teoriniai duomenys, realiame gyvenime sunku rasti sankryžą kurioje eismo intensyvumas būtų vienodas abiejomis kryptimis. Todėl reikia ištirti vidutinės stovėjimo prie raudono šviesoforo signalo priklausomybę nuo besikeičiančio vidutinio eismo intensyvumo bei žalios/raudonos šviesoforo signalo ciklą skirtumą. Vidutinio eismo intensyvumo ribos $n_{ij}(t)$ = nuo 0,01 aut/s iki 0,8 aut/s;

K.Petrausko kelio priklausomybė

```

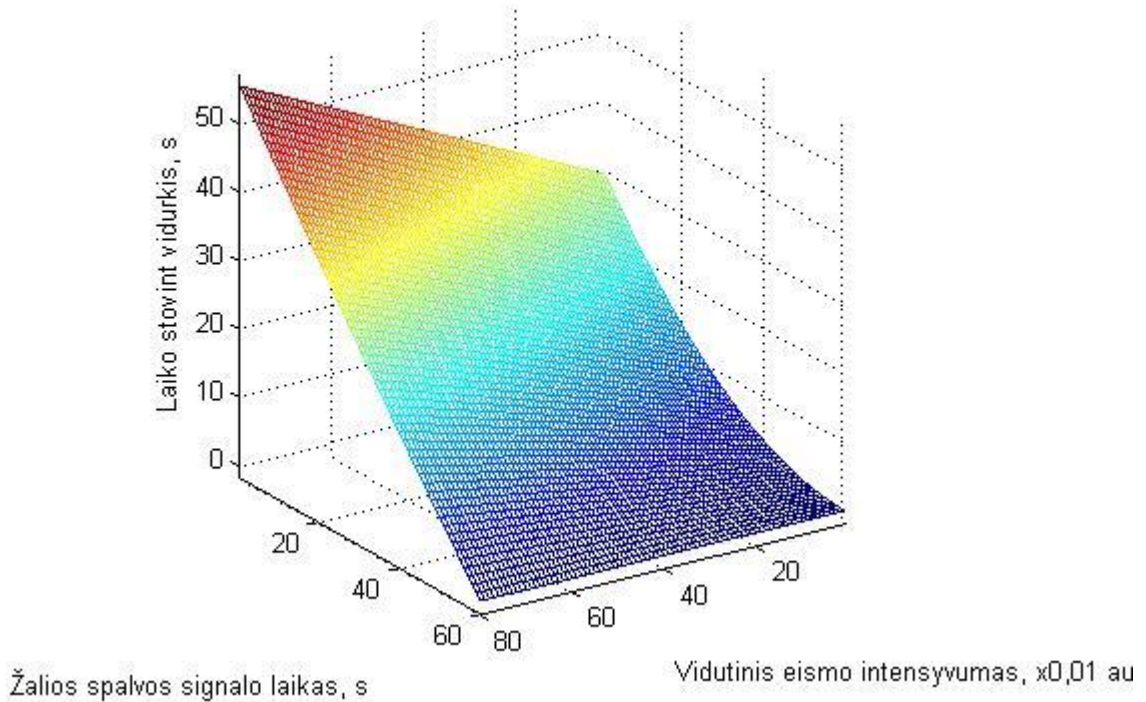
tr=1.1
for j=(1:80)
    nij=j*0.01;
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
    M(i,j)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tza
l+Trau)))));

```

```

end
end
mesh(M);
xlabel('Vidutinis eismo intensyvumas, x0,01 aut/s')
ylabel('Žalios spalvos signalo laikas, s')
zlabel('Laiko stovint vidurkis, s')

```



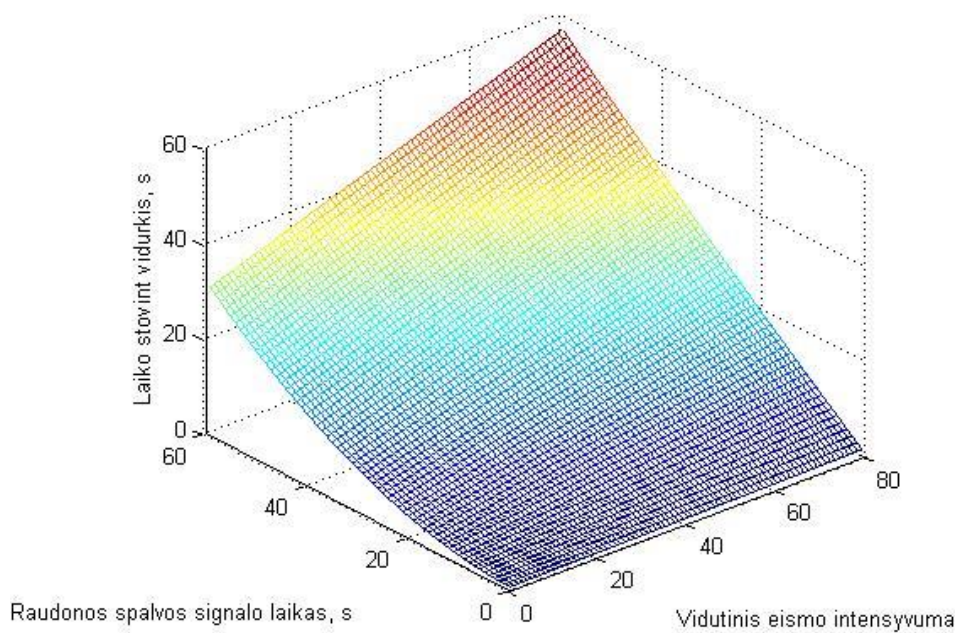
3.7 pav. Laiko stovint prie raudono šviesoforo signalo, vidutinio esmo intensyvumo ir žalios šviesos trukmės priklausomybė

Aukštaičių gatvės priklausomybė

```

tr=1.1
for j=(1:80)
    nij=j*0.01;
for i=(1:60)
    Trau=i; Tzal=60-i;
M(i,j)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tza
l+Trau)))));
end
end
mesh(M);
xlabel('Vidutinis eismo intensyvumas, x0,01 aut/s')
ylabel('Raudonos spalvos signalo laikas, s')
zlabel('Laiko stovint vidurkis, s')

```



3.8 pav. Laiko prleidžiamo prie raudono šviesoforo signalo, vidutinio eismo intensyvumo ir raudono signalo trukmės priklausomybė

Norint surasti optimalius ciklo perjungimo laikus, kai abiejose gatvėse eismo intensyvumas skirtingas, reikia rasti gatvių šviesoforų priklausomybės nuo vidutinio eismo intensyvumo grafiku kirtimosi taškus.

```

tr=1.1;
for j=(1:100)
    nij=j*0.01;
end
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
    for j=(1:100)
        nij=j*0.01;

        Trau=i; Tzal=60-i;
        N(i,j)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
        M(i,j)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
    end
end
mesh(N)
hold on
for j=(1:100)
    nij=j*0.01;
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
M(i,j)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));

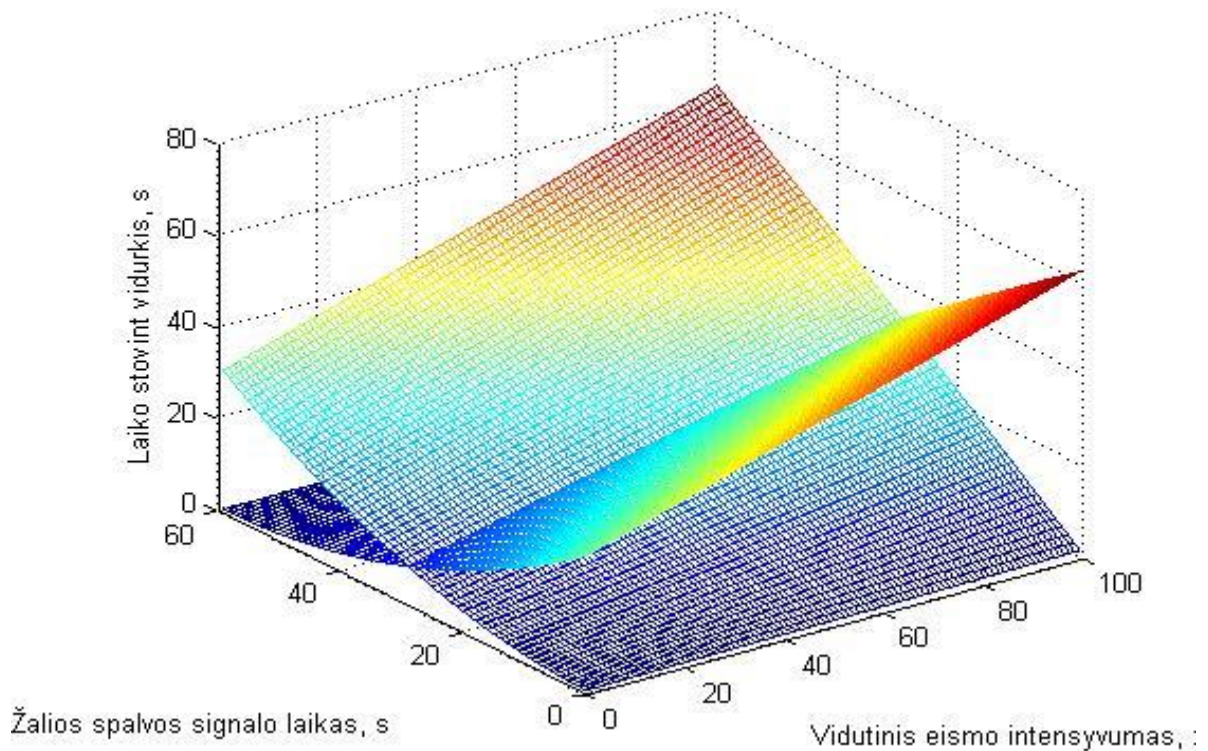
```



```

end
end
mesh(M);
xlabel('Vidutinis eismo intensyvumas, x0,01 aut/s')
ylabel('Žalios spalvos signalo laikas, s')
zlabel('Laiko stovint vidurkis, s')

```



3.9 pav. Laiko stovint prie raudono šviesoforo signalo vidurkio, vidutinio eismo intensyvumo ir žalios/raudonos šviesos trukmės priklausomybė.

Iš grafiko galima matyti, kad kintant eismo intensyvumui, keičiasi šviesoforo žalios spalvos trukmė nuo 6 s iki 38 s. Eismo intensyvumas kinta ribose nuo 0,01 aut/s iki 1 aut/s.

Tam, kad patikrinti skaičiavimus reikia apskaičiuoti optimalų šviesoforo spalvų ciklą, esant skirtingam vidutiniam eismo intensyvumui. Bendra ciklo trukmė nesikeičia ir yra lygi 60 s. K.Petrausko gatvėje esant 0,7 aut/s vidutiniam eismo intensyvumui, Aukštaičių gatvėje parenkamas 0,3 aut/s vidutinis eismo intensyvumas.

```

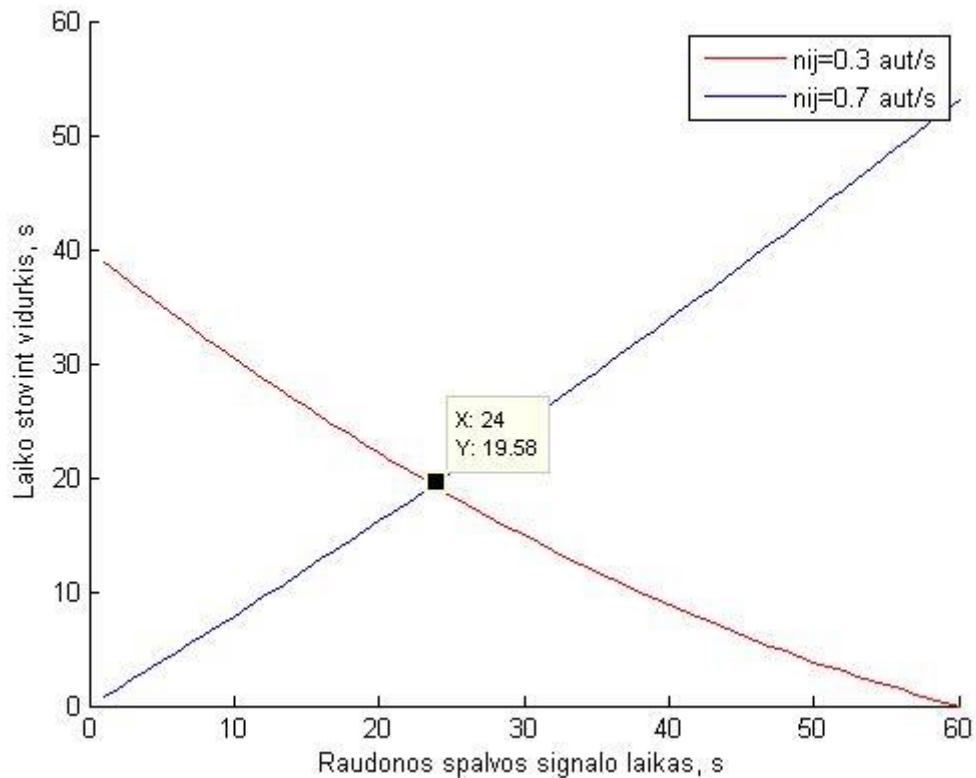
tr=1.1
nij=0.3
for i=(1:60)
    Tzal=i; Trau=60-i;
M(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=0.7
for i=(1:60)

```

```

Trau=i; Tzal=60-i;
N(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
hold on
plot(M,'r')

```



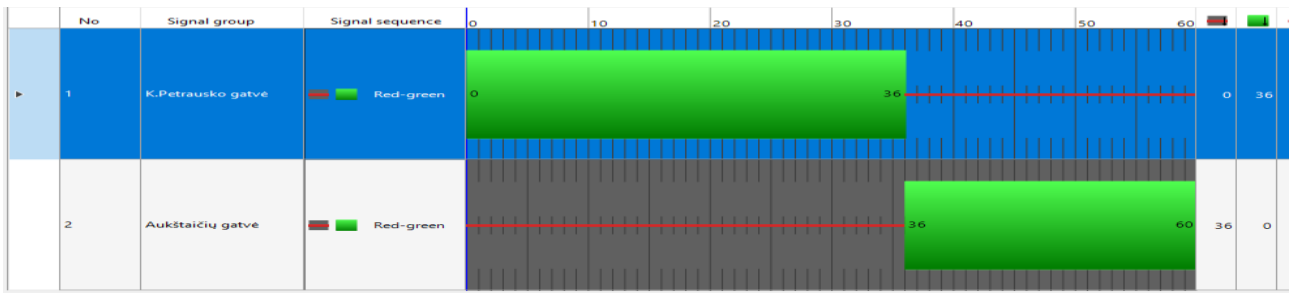
```

hold on
plot(N,'b')
xlabel('Raudonos spalvos signalo laikas, s')
ylabel('Laiko stovint vidurkis, s')
legend('nij=0.3 aut/s','nij=0.7 aut/s')

```

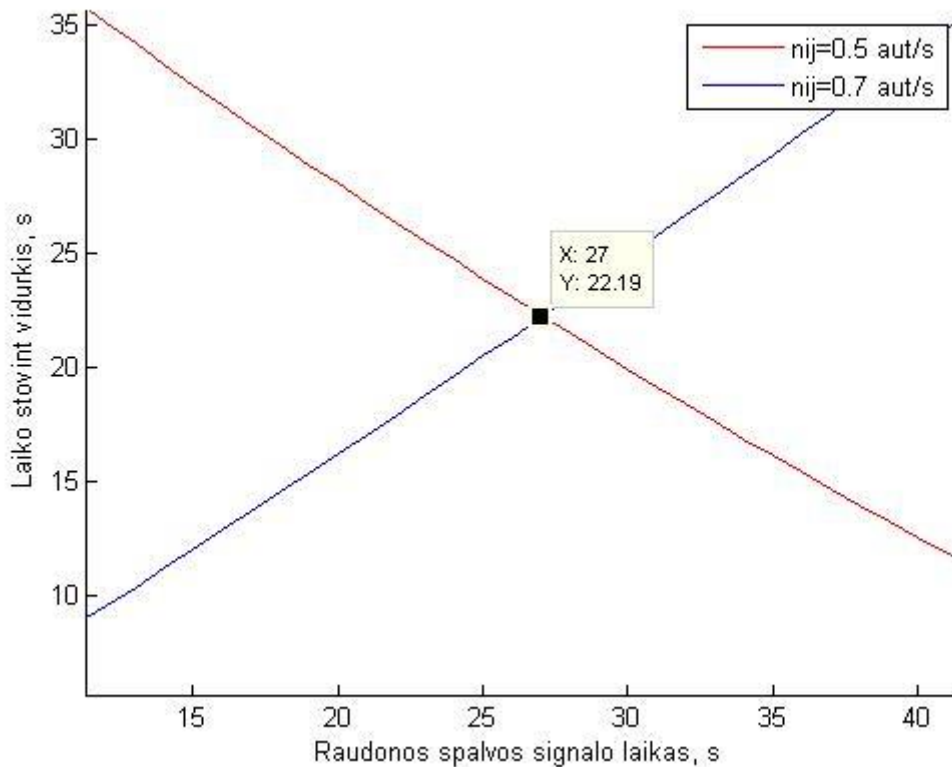
4 pav. Laiko stovint prie draudžiamo šviesoforo signalo vidurkio ir raudonos šviesos trukmės priklausomybė.

Vidutiniam eismo intensyvumui esant 0,7 aut/s K.Petrausko gatvėje optimalus šviesoforo ciklas būtų 24 s degant draudžiamam šviesoforo signalui, ir 36 s degant žaliai šviesoforo signalui. Aukštaičių gatvėje atvirkščiai 24 s degant žaliai šviesoforo signalui ir 36 s draudžiamam signalui. Atsižvelgiant į šiuos laikus sudarome šviesoforo valdymo programą.



4.1 pav. Šviesaforo aldymo programa, Aukštaičių gatvėje esnt 0,3 aut/s vidutiniam eismo intensyvumui, K.Petrausko 0,7 aut/s

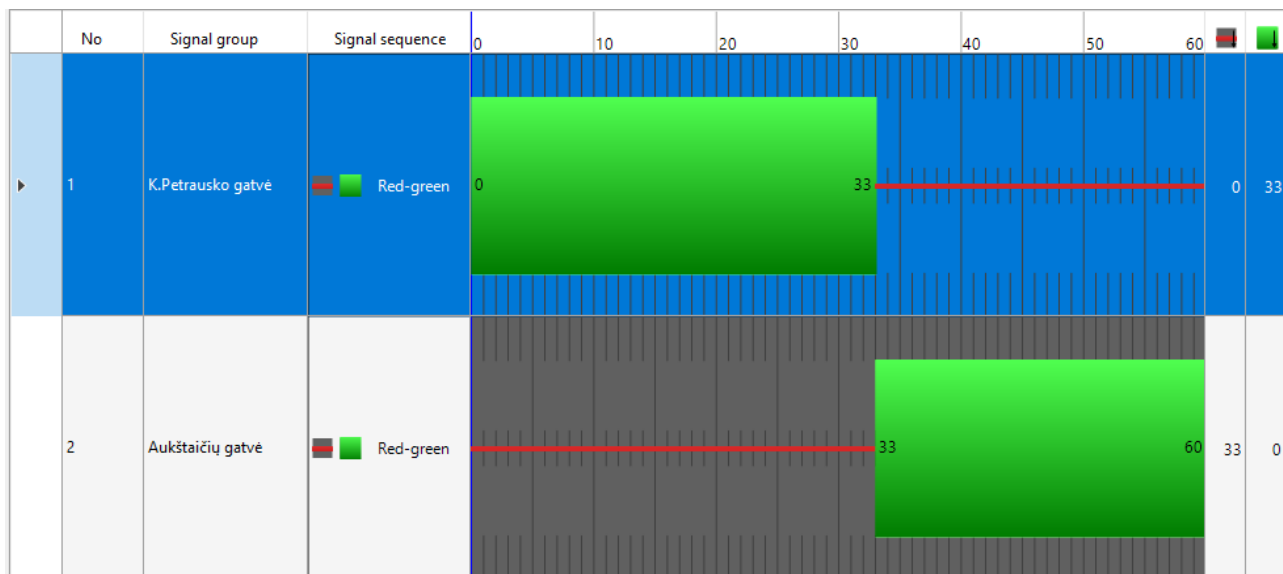
Pakoregavus vidutinį eismo intensyvumą Aukštaičių gatvėje jį pakeitus į 0,4 aut/s o K.Petrausko gatvėje palikus 0,7 aut/s gaunamas grafikas.



4.1 pav. Laiko stovint prie draudžiamo šviesaforo signalo vidurkio ir raudonos šviesos trukmės priklausomybė.

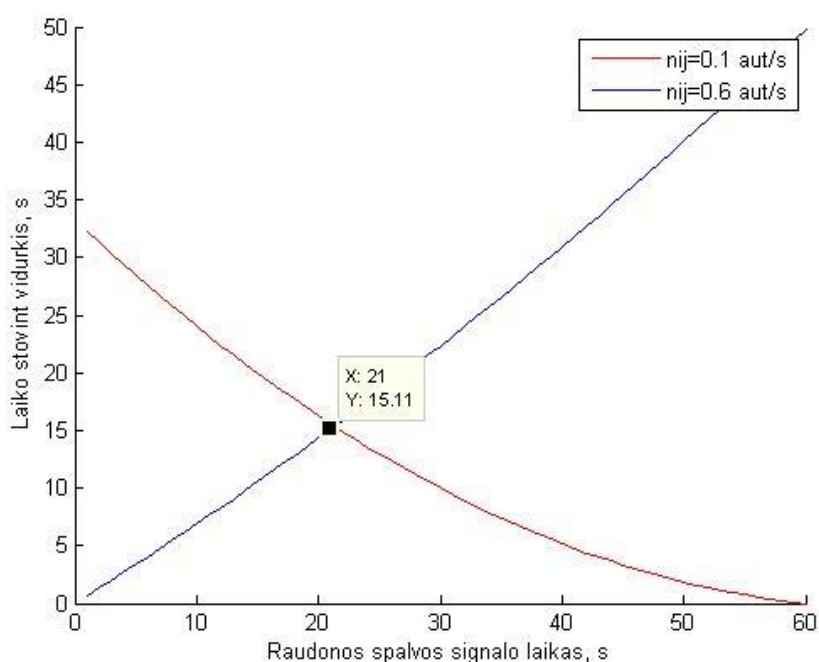
Pagal kurį matome, jog pasikeitus vidutiniam eismo intensyvumui, keičiasi ir optimalus šviesaforo ciklo laikas. Esant 0,5 aut/s vidutiniam eismo intensyvumui Aukštaičių gatvėje, o K.Petrausko palikus

0,7 aut/s. Optimalūs laikai būtų – Aukštaičių gatvėje 27 sekundes dega žalias šviesoforo signalas ir 33 sekundes raudonas. Atvirkščiai K.Petrausko gatvėje 33 sekundes dega žalias šviesoforo signalas ir 27 sekundes raudonas.



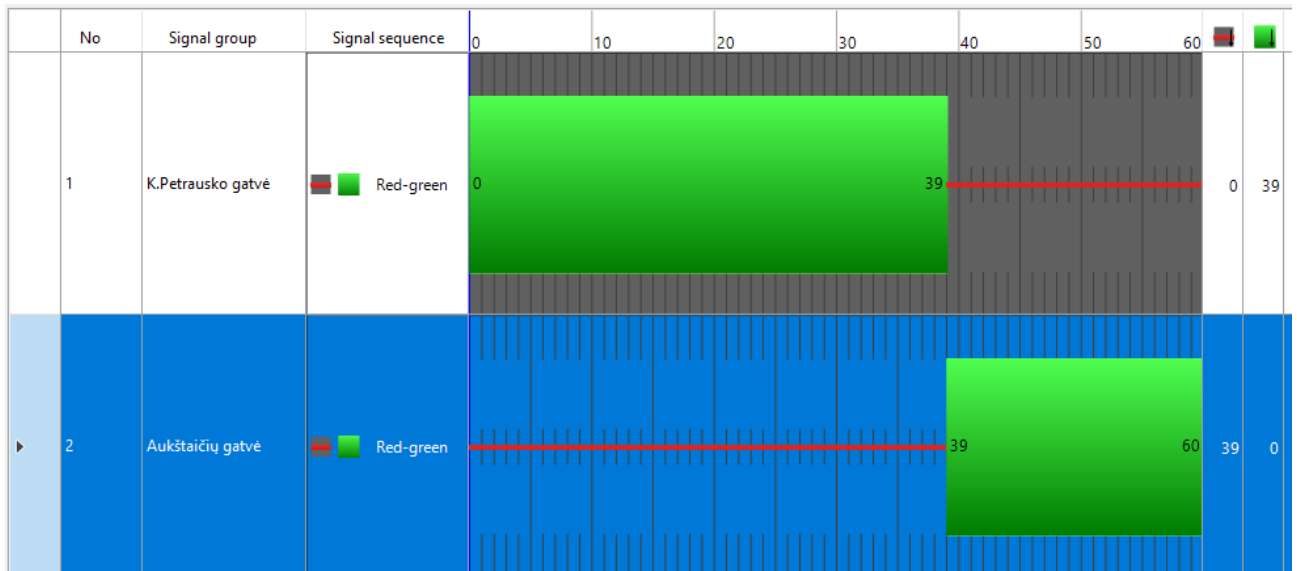
4.3 pav. Šviesoforo aldymo programa, Aukštaičių gatvėje esnt 0,5 aut/s vidutiniam eismo intensyvumui, K.Petrausko 0,7 aut/s

Pakoregavus vidutinį eismo intensyvumą Aukštaičių gatvėje jį pakeitus iš 0.4 aut/s į 0,1 aut/s o K.Petrausko gatvėje iš 0,7aut/s į 0,6 aut/s gaunamas grafikas.



4.4 pav. Laiko stovint prie draudžiamo šviesoforo signalo vidurkio ir raudonos šviesos trukmės priklausomybė.

Pagal kurį aiškiai matosi, jog pagal parinktą eismo intensyvumą K.Petrausko gatvėje žalias šviesoforo signalas turėtų veikti 39 sekundes, o raudonas 21. Aukštaičių gatvėje 39 sekundes dega draudžiamas šviesoforo signalas ir 21 sekundė žalias šviesoforo signalas.

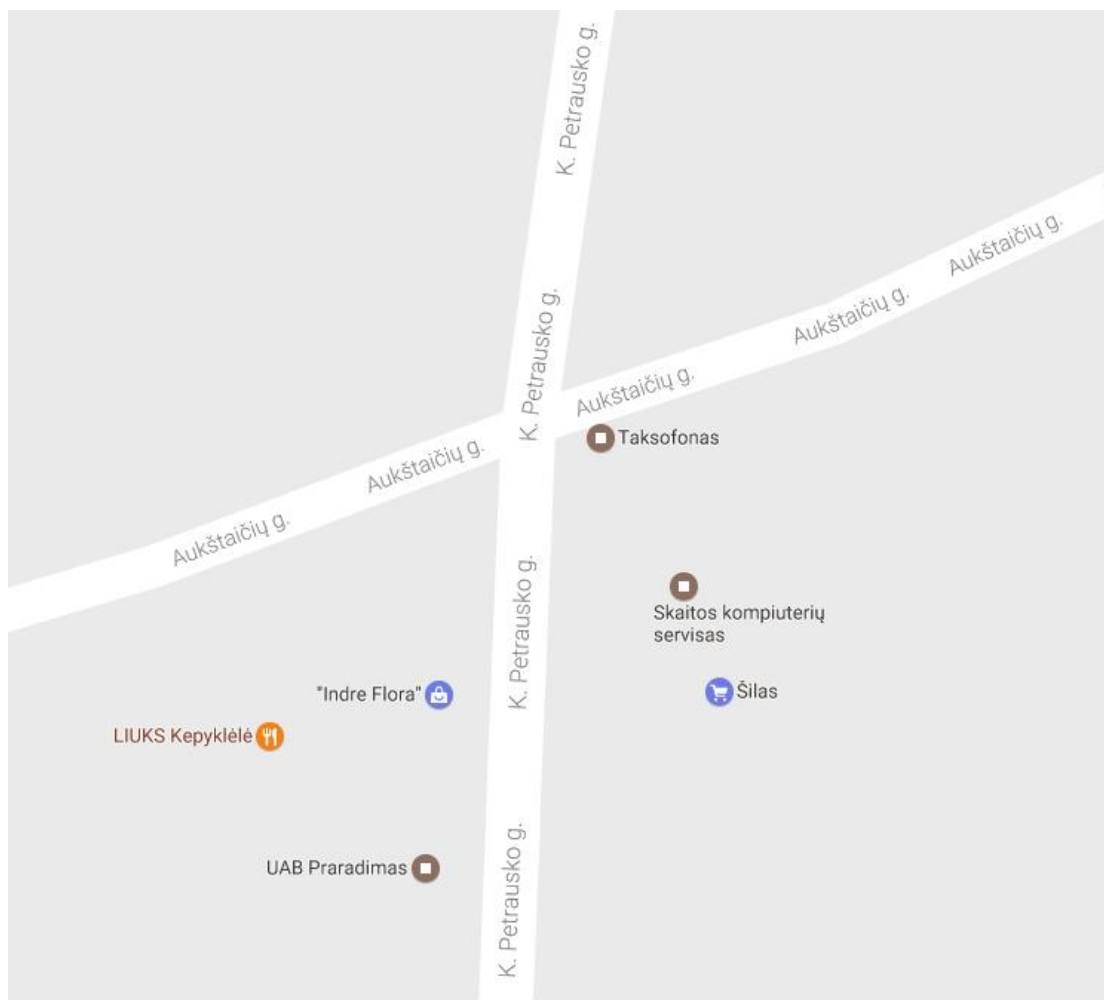


4.5 pav. Šviesoforo valdymo programa, Aukštaičių gatvėje esant 0,1 aut/s vidutiniam eismo intensyvumui, K.Petrausko 0,6 aut/s

Iš grafikų galima spręsti, jog keičiantis vidutiniam eismo intensyvumui keičiasi ir šviesoforo valdymo programa. Kuo didesnis eismo intensyvumas vienoje gatvėje tuo ilgiau dega žalias šviesoforo signalas, viskas vyksta atvirkščiai kitoje gatvėje, kuo mažesnis vidutinis eismo intensyvumas tuo ilgiau dega draudžiamas šviesoforo signalas.

4. Ekperimentiniai skaičiavimai ir programos sudarymas

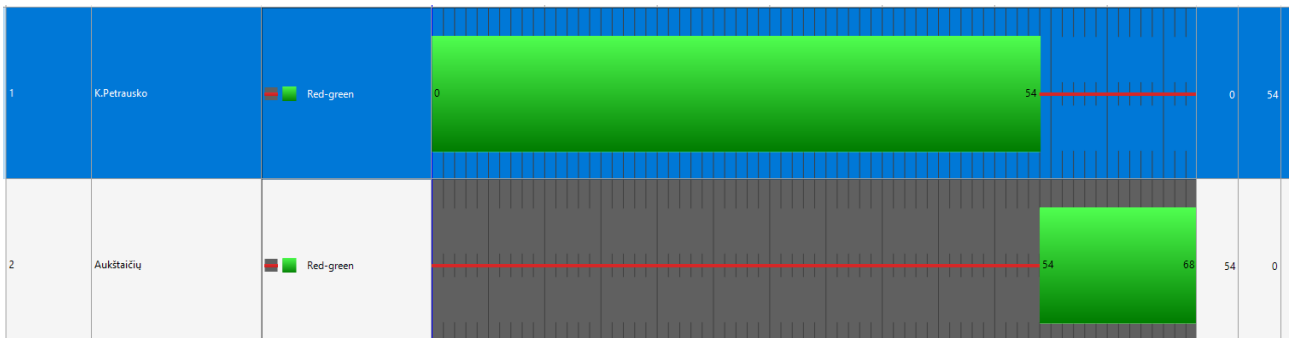
Norint pritaikyti šį metodą realioje sankryžoje, reikia atlikti tiriamos sankryžos eismo parametrų skaičiavimus. Taigi reikia nustatyti tiriamos sankryžos šviesoforo ciklo trukmę, bei vidutinį eismo intensyvumą. Tam naudojau filmavimo metodą. Vaizdo registravimas vyko tris kartus, tai rytinio piko metu, vidurdienį ir vakarinio piko metu. Tyrimo metu buvo analizuojama K.Petrausko ir Aukštaičių gatvių sankirta.



4.6 pav. Sankryžos vaizdas žemėlapyje.

Pirmasis registravimas vyko vidurdienį 12:55-13:15.

Pirmiausia buvo nustatyta sankryžos šviesoforo ciklo trukmė. K.Petrausko gatvėje žalias šviesoforo signalas dega 54 sekundes, o raudonas 14 sekundžių. Atvirkščiai Aukštaičių gatvėje kur raudonas šviesoforo signalas dega 54 sekundes, o žalias 14. Viso ciklo trukmė 68 sekundės.



4.7 pav. Realus šviesaforo ciklo laikai

Analizuojant filmuotą medžiagą daryta vidurdienį kurios trukmė 15 minučių, buvo nustatyta, jog sankryžą kirto 568 automobiliai. pagal turimus duomenis galima nustatyti vidutini sankryžos intensyvumą.

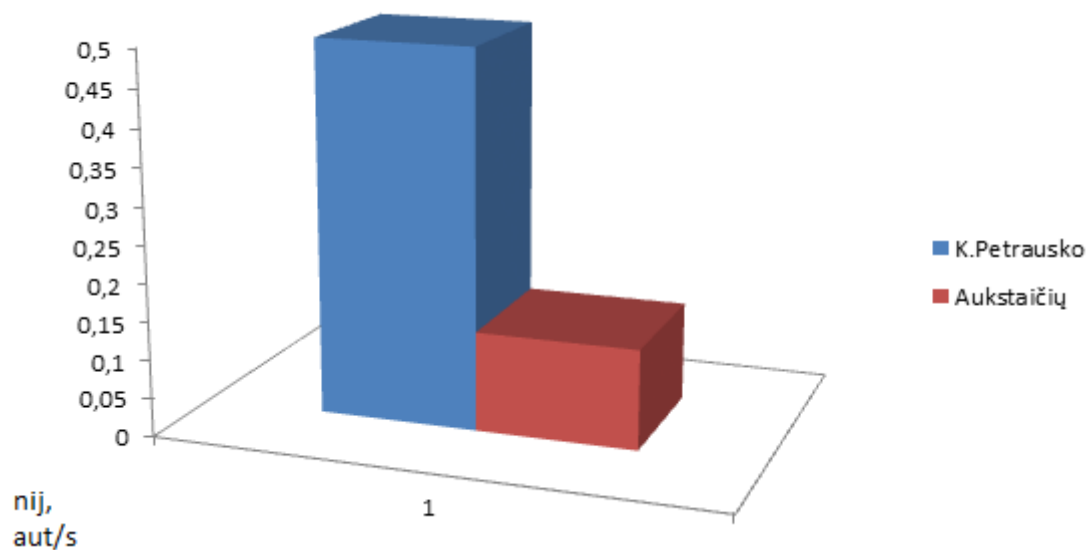
$$n_{ij}(t) \frac{\text{automobilii}}{900\text{sec}} \quad (3.1)$$

Per registravimo laikotarpį, tai yra 15 minučių K.Petrausko gatve pravažiavo 449 automobiliai. Taigi vidutinis eismo intensyvumas bus:

$$n_{K.P}(t) = 0.498 \text{ aut/s}$$

Aukštaičių gatve pravažiavo 119 transporto priemonės. Vidutinis eismo intensyvumas šios gatvės atžvilgiu bus:

$$N_A(t) = 0.132 \text{ aut/s}$$



4.8 pav. Vidutinis eismo intensyvumas sankryžoje

Nustatant vidutinį laiką, praleistą prie draudžiamo šviesoforo signalo, reakcijos laikas bus naudojamas 1,1 s Įstačius duomenis gautus pirmojo filmavimo metu į prieš tai aprašytą matematinį modelį, gaunamas laiko praleidžiamo prie raudono šviesoforo signalo vidurkis.

K.Petrausko gatvėje:

$$M[\tau_{ij}^{st}] - 3,265 \text{ s}$$

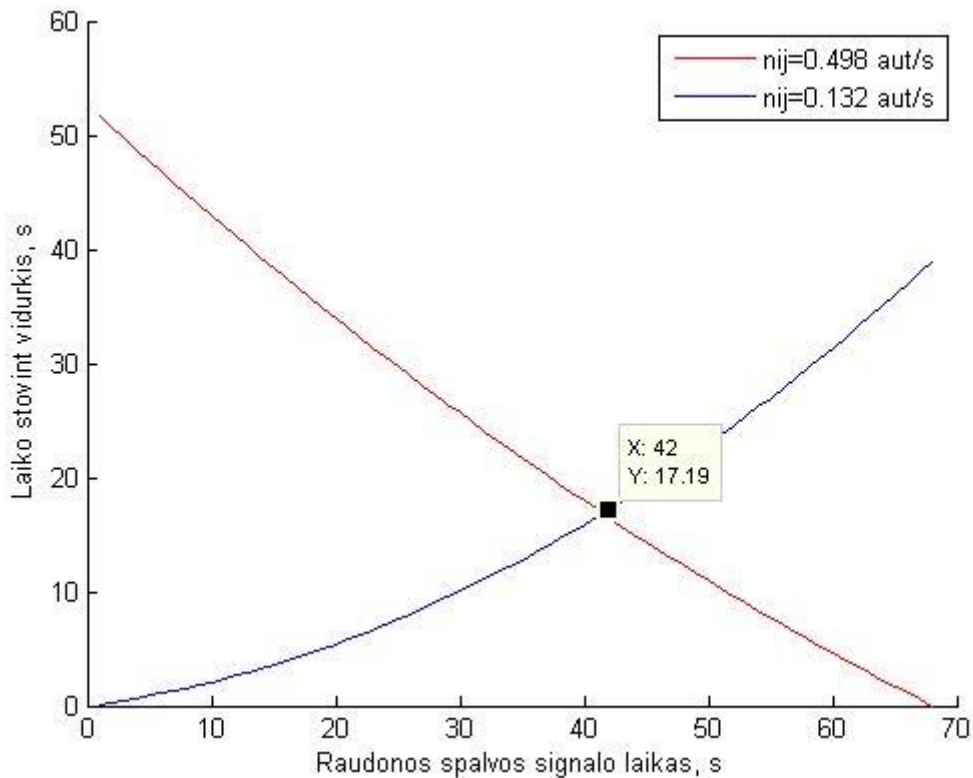
Aukštaičių gatvėje:

$$M[\tau_{ij}^{st}] - 39,265 \text{ s}$$

Vairuotojas važiuodamas K.Petrausko gatve bet kuriuo paros metu, esant bet kokiam eismo intensyvumui prie raudono šviesoforo signalo vidutiniškai praleidžia 3,265 sekundės. Važiuodamas Aukštaičių gatve 39,28 sekundės, bendras laiko vidurkis praleistas prie raudono šviesoforo signalo yra 21,272 sekundės.

Panaudojus pirmuoju eksperimento metu gautus vidutinio eismo intensyvumo duomenis surandamas geriausias žalios-raudonos šviesoforo spalvų signalų santykis:

```
tr=1.1
nij=0.498
for i=(1:68)
    Tzal=i; Trau=68-i;
M(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=0.132
for i=(1:68)
    Trau=i; Tzal=68-i;
N(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
hold on
plot(M,'r')
hold on
plot(N,'b')
xlabel('Raudonos spalvos signalo laikas, s')
ylabel('Laiko stovint vidurkis, s')
legend('nij=0.498 aut/s','nij=0.132 aut/s')
```



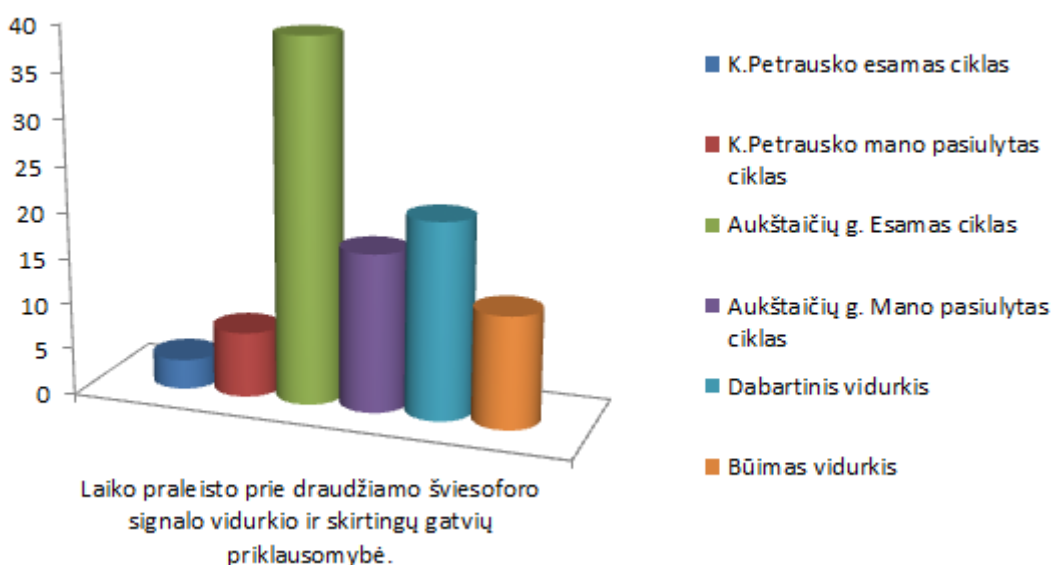
4.9 pav. Laiko stovint prie draudžiamo šviesoforo signalo ir raudonos šviesos

trukmės priklausomybė

Pagal gautus rezultatus siūlomas šviesoforo spalvų ciklas būtų 42 s K.Petrausko gatvėje dega žalias šviesoforo signalas (trukmė sutrumpėjo 12 s.) ir 24 s. dega žalias šviesoforo signalas (trukmė pailgejo 12 s.), o Aukštaičių gatvėje 26 s. Dega žalias šviesoforo signalas (trukmė pailgejo 12 s.) ir 42 s. Dega raudonas šviesoforo signalas (trukmė sutrumpėjo 10 s.)

Skaiciuojant bendrą laiką praleistą stovint prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo, gatvių atžvilgiu naudojant apskaičiuotą geriausią šviesoforo signalų ciklą ir duomenis gautus pirmojo fiksavimo metu, gaunamas laiko praleidžiamo prie draudžiamo važiuoti šviesoforo signalo vidurkis: K.Petrausko. – $M[\tau_{ij}^{st}] = 7,1$ s. Aukštaičių – $M[\tau_{ij}^{st}] = 17,19$ s.

Naudojant apskaičiuotą šviesoforo signalų ciklą, laiko praleisto prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo trukmė K.Petrausko. atžvilgiu pailgėjo 3,835 s. o Aukštaičių g. atžvilgiu sutrumpėjo 22,09 s. Tad bendras laiko vidurkis praleistas prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo šioje sankryžoje sutrumpėjo 9,127 s



5 pav. Šviesoforo ciklų palyginimas

Antrojo filmavimo metu, kuris vyko 17:00 – 17:15 buvo nustatytas vidutinis eismo intensyvumas K.Petrausko ir Aukštaičių gatvėse bei šviesoforo ciklo trukmė. Viso per 15 minučių sankryža pravažiavo 747 transporto priemonės. Aukštaičių gatve 222 transporto priemonės, K.Petrausko 525 automobiliai iš kurių 58 sukdamo į kairę. Apskaičiuojamas vidutinis eismo intensyvumas

$$n_{ij}(t) \frac{\text{automobilii}}{900\text{sec}} \quad (3.1)$$

Per registravimo laikotarpį, tai yra 15 minučių K.Petrausko gatve pravažiavo 525 automobiliai. Taigi vidutinis eismo intensyvumas bus:

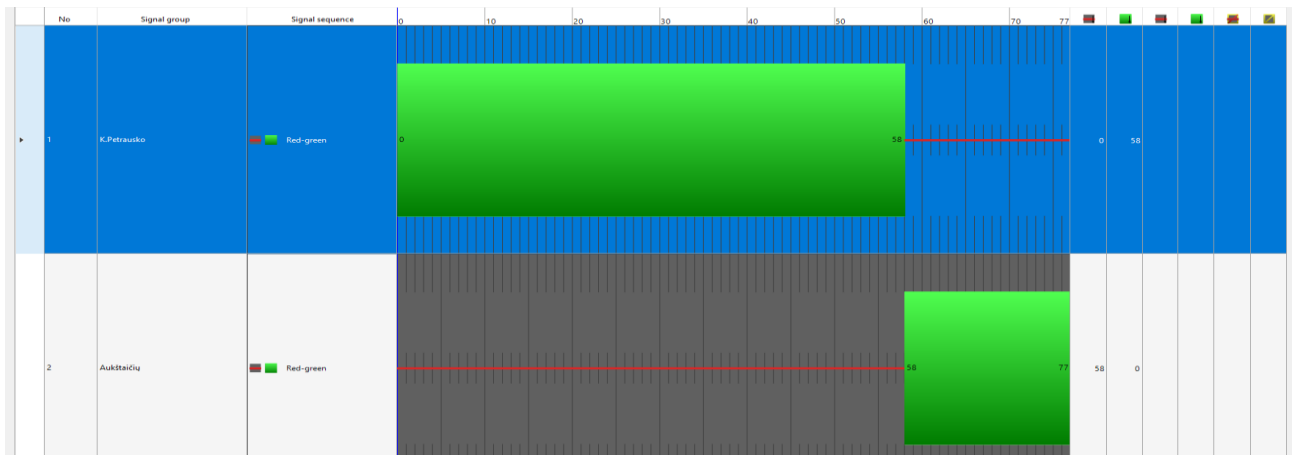
$$n_{K.P}(t) = 0.58 \text{ aut/s}$$

Aukštaičių gatve pravažiavo 222 transporto priemonės. Vidutinis eismo intensyvumas šios gatvės atžvilgiu bus:

$$N_A(t) = 0.246 \text{ aut/s}$$

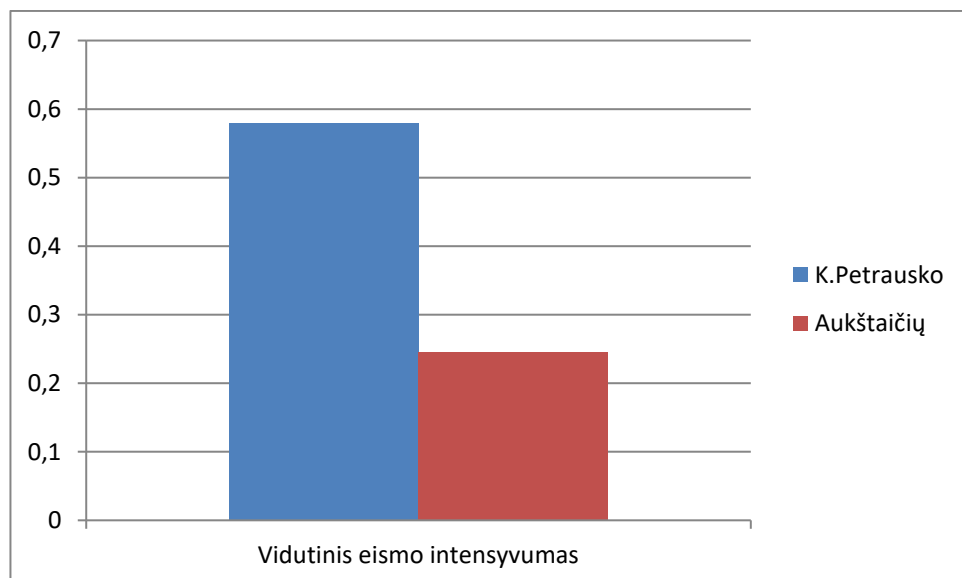
Gatvės pavadinimas	Vidutinis eismo intensyvumas aut/s	Sukančių į kairę automobilių skaičius %
K.Petrausko g.	0.58	11
Aukštaičių g.	0.246	6

Šviesoforo ciklo trukmė 77 sekundės. 58 sekundes K.Petrausko gatvėje dega žalias šviesaforo signalas ir 19 sekundžių dega raudonas. Atvirkščiai Aukštaičių gatvėje kurioje 19 sekundžių dega žalias šviesaforo signalas ir 58 draudžiamas šviesaforo signalas.



5.1 pav. Antrojo filmavimo šviesoforų valdymo grupės programa

Lyginant antrojo filmavimo metu nustatytą šviesaforo ciklo trukmę reikia pastebėti, jog žalios/raudonos spalvos trukmė pasikeitė. Pirmojo filmavimo metu K.Petrausko g. Žalias šviesaforo signalas truko 54 sekundes, o antrojo filmavimo metu 58 sekundes. Draudžiamas šviesaforo signalas



5.2 pav. Vidutinis eismo intensyvumas antrojo filmavimo metu aut/s

Nustatant vidutinį laiką, praleistą prie draudžiamo šviesaforo signalo, reakcijos laikas bus naudojamas 1,1 s Įstačius duomenis gautus pirmojo filmavimo metu į prieš tai aprašytą matematinį modelį, gaunamas laiko praleidžiamo prie raudono šviesaforo signalo vidurkis.

K.Petrausko gatvėje:

$$M[\tau_{ij}^{st}] - 6,851 \text{ s}$$

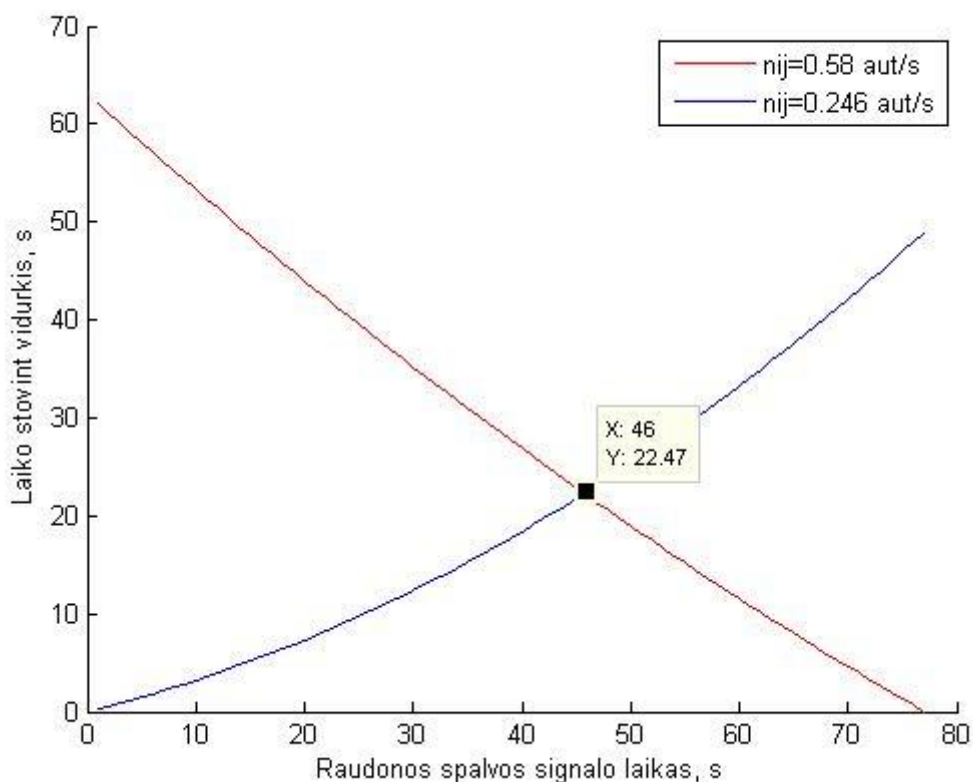
Aukštaičių gatvėje:

$$M[\tau_{ij}^{st}] - 44,91 \text{ s}$$

Vairuotojas važiuodamas K.Petrausko gatve bet kuriuo paros metu, esant bet kokiam eismo intensyvumui prie raudono šviesoforo signalo vidutiniškai praleidžia 6,851 sekundės. Važiuodamas Aukštaičių gatve 44,91 sekundės, bendras laiko vidurkis praleistas prie raudono šviesoforo signalo yra 25,745 sekundės

Panaudojus antruoju matavimu gautus vidutinio eismo intensyvumo duomenis surandamas geriausias žalios-raudonos šviesoforo spalvų signalų santykis:

```
tr=1.1
nij=0.58
for i=(1:77)
    Tzal=i; Trau=77-i;
    M(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=0.246
for i=(1:77)
    Trau=i; Tzal=77-i;
    N(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
hold on
plot(M,'r')
hold on
plot(N,'b')
xlabel('Raudonos spalvos signalo laikas, s')
ylabel('Laiko stovint vidurkis, s')
legend('nij=0.58 aut/s','nij=0.246 aut/s')
```



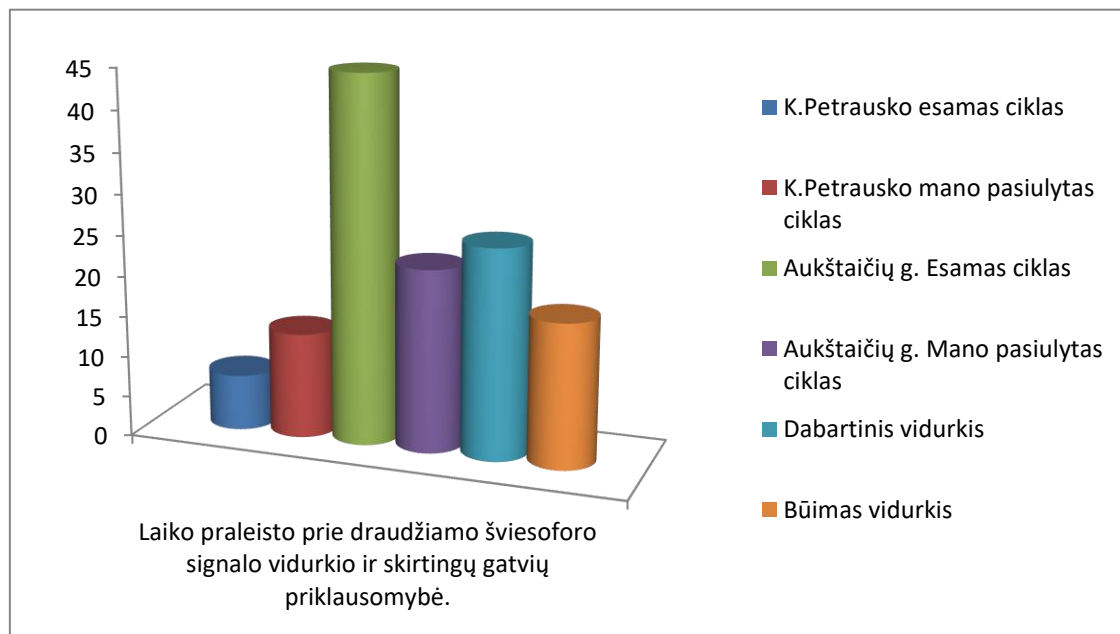
5.3 pav. Laiko stovint prie draudžiamo šviesoforo signalo ir raudonos šviesos trukmės priklausomybė

Pagal gautus rezultatus siūlomas šviesoforo spalvų ciklas būtų 46 s K. Petrausko gatvėje dega žalias šviesoforo signalas (trukmė sutrumpėjo 12 s.) ir 31 s. dega raudonas šviesoforo signalas (trukmė pailgėjo 12 s.), o Aukštaičių gatvėje 31 s. dega žalias šviesoforo signalas (trukmė pailgėjo 12 s.) ir 46 s. Dega raudonas šviesoforo signalas (trukmė sutrumpėjo 12 s.)

Skaičiuojant bendrą laiką praleistą stovint prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo, gatvių atžvilgiu naudojant apskaičiuotą geriausią šviesoforo signalų ciklą ir duomenis gautus antrojo fiksavimo metu, gaunamas laiko praleidžiamo prie draudžiamo važiuoti šviesoforo signalo vidurkis: K. Petrausko. – $M[\tau_{ij}^{st}] = 12,94$ s. Aukštaičių – $M[\tau_{ij}^{st}] = 22,44$ s.

Naudojant apskaičiuotą šviesoforo signalų ciklą, laiko praleisto prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo trukmė K. Petrausko. atžvilgiu pailgėjo 6,089 s. o Aukštaičių g. atžvilgiu sutrumpėjo 17,69 s.

Tad bendras laiko vidurkis praleistas prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo šioje sankryžoje sutrumpėjo 8,055 s.



5.4 pav. Vidutinis laikas, praleidžiamas prie raudono šviesoforo signalo.

Trečiojo filmavimo metu, kuris vyko 07:45 – 08:00

buvo nustatytas vidutinis eismo intensyvumas K.Petrausko ir Aukštaičių gatvėse bei šviesoforo ciklo trukmė. Viso per 15 minučių sankryža pravažiavo 550 transporto priemonės. Aukštaičių gatve 128 transporto priemonės, K.Petrausko 422 automobiliai.

$$n_{ij}(t) \frac{\text{automobiliai}}{900\text{sec}} \quad (3.1)$$

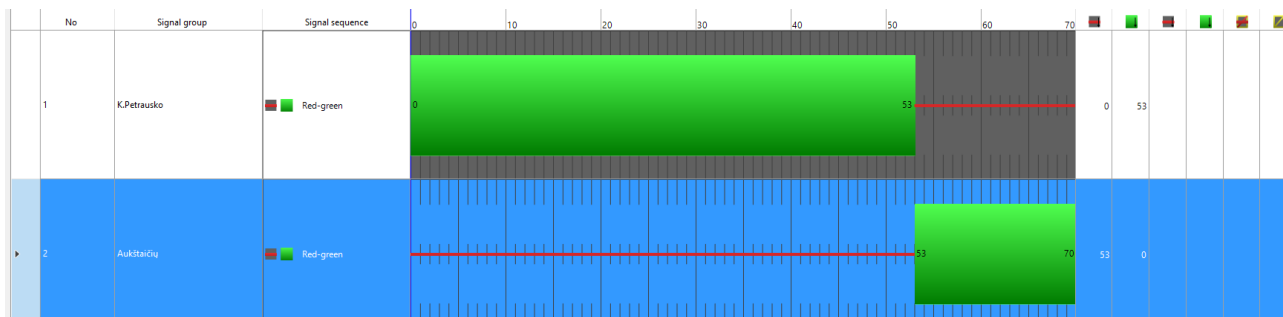
Per registravimo laikotarpį, tai yra 15 minučių K.Petrausko gatve pravažiavo 422 automobiliai. Taigi vidutinis eismo intensyvumas bus:

$$n_{K.P}(t) = 0.46 \text{ aut/s}$$

Aukštaičių gatve pravažiavo 128 transporto priemonės. Vidutinis eismo intensyvumas šios gatvės atžvilgiu bus:

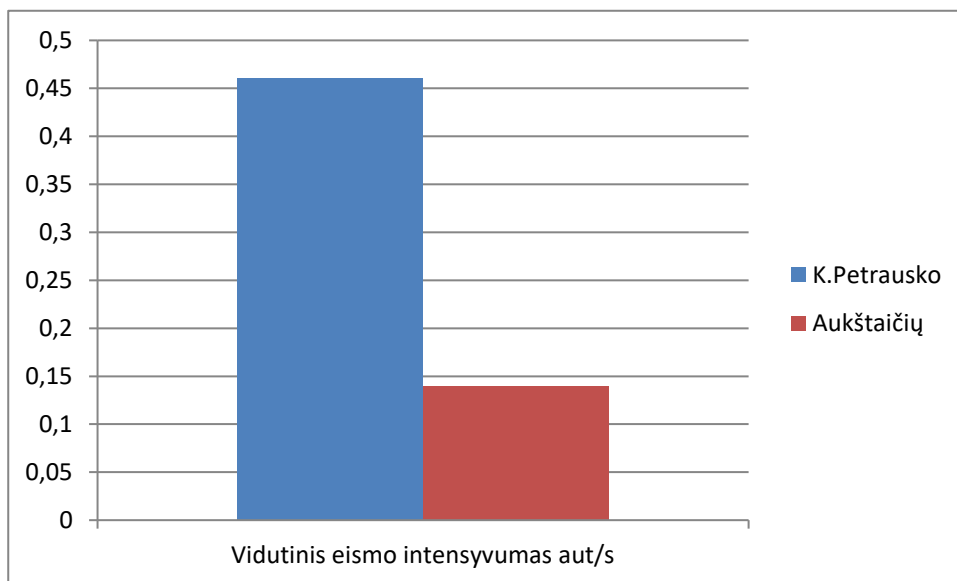
$$N_A(t) = 0.14 \text{ aut/s}$$

Šviesoforo ciklo trukmė 70 sekundės. 53 sekundes K.Petrausko gatvėje dega žalias šviesaforo signalas ir 17 sekundžių dega raudonas. Atvirksčiai Aukštaičių gatvėje kurioje 17 sekundžių dega žalias šviesaforo signalas ir 53 draudžiamas šviesaforo signalas.



5.5 pav. Trečiojo filmavimo metu nustatytas šviesoforo valdymo grupės programa

Visais atvejais t.y pirmojo, antrojo ir trečiojo filmavimo metu šviesoforo ciklo trukmė buvo skirtinga.



5.6 pav. Vidutinis eismo intensyvumas

Nustatant vidutinį laiką, praleistą prie draudžiamo šviesoforo signalo, reakcijos laikas bus naudojamas 1,1 s Įstačius duomenis gautus pirmojo filmavimo metu į prieš tai aprašytą matematinį modelį, gaunamas laiko praleidžiamo prie raudono šviesoforo signalo vidurkis.

K.Petrausko gatvėje:

$$M[\tau_{ij}^{st}] - 9,6 \text{ s}$$

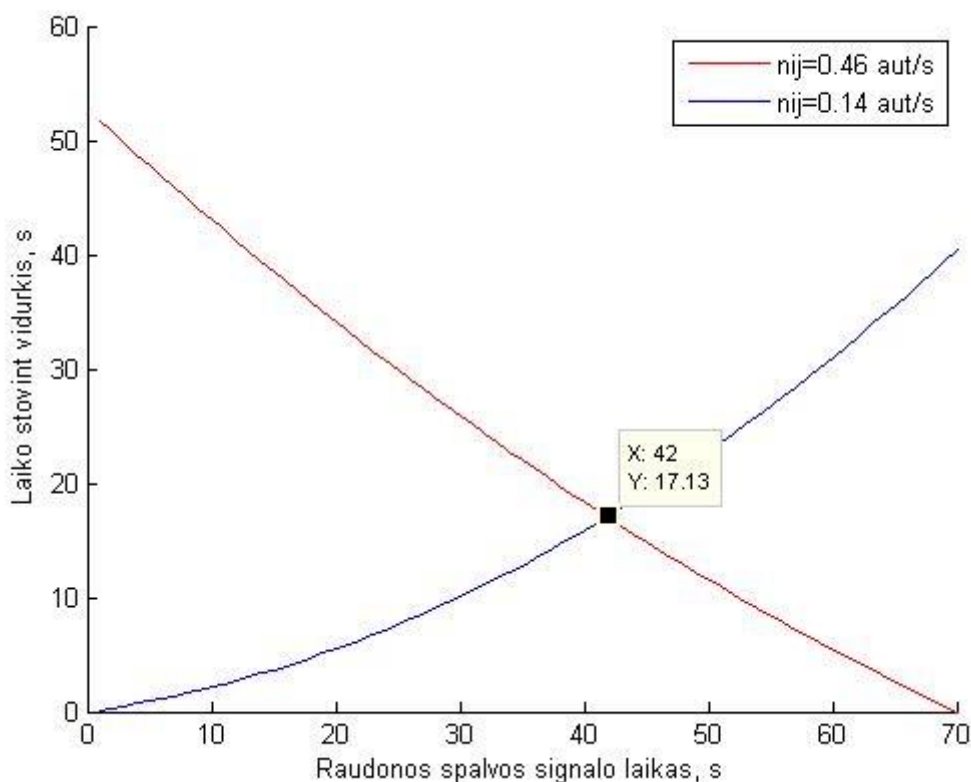
Aukštaičių gatvėje:

$$M[\tau_{ij}^{st}] - 36,73\text{s}$$

Vairuotojas važiuodamas K.Petrausko gatve bet kuriuo paros metu, esant bet kokiam eismo intensyvumui prie raudono šviesoforo signalo vidutiniškai praleidžia 9,6 sekundės. Važiuodamas Aukštaičių gatve 36,73 sekundės, bendras laiko vidurkis praleistas prie raudono šviesoforo signalo yra 23,165 sekundės

Panaudojus antruoju matavimu gautus vidutinio eismo intensyvumo duomenis surandamas geriausias žalios-raudonos šviesoforo spalvų signalų santykis:

```
tr=1.1
nij=0.46
for i=(1:70)
    Tzal=i; Trau=70-i;
M(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
nij=0.14
for i=(1:70)
    Trau=i; Tzal=70-i;
N(i)=((tr*nij*Tzal*Trau)/(Tzal+Trau))+((1+(tr*nij))*((Trau*Trau)/(2*(Tzal+Trau))));
end
hold on
plot(M,'r')
hold on
plot(N,'b')
xlabel('Raudonos spalvos signalo laikas, s')
ylabel('Laiko stovint vidurkis, s')
legend('nij=0.46 aut/s','nij=0.14 aut/s')
```



5.7 pav. Laiko stovint prie draudžiamo šviesoforo signalo ir raudonos šviesos trukmės priklausomybė

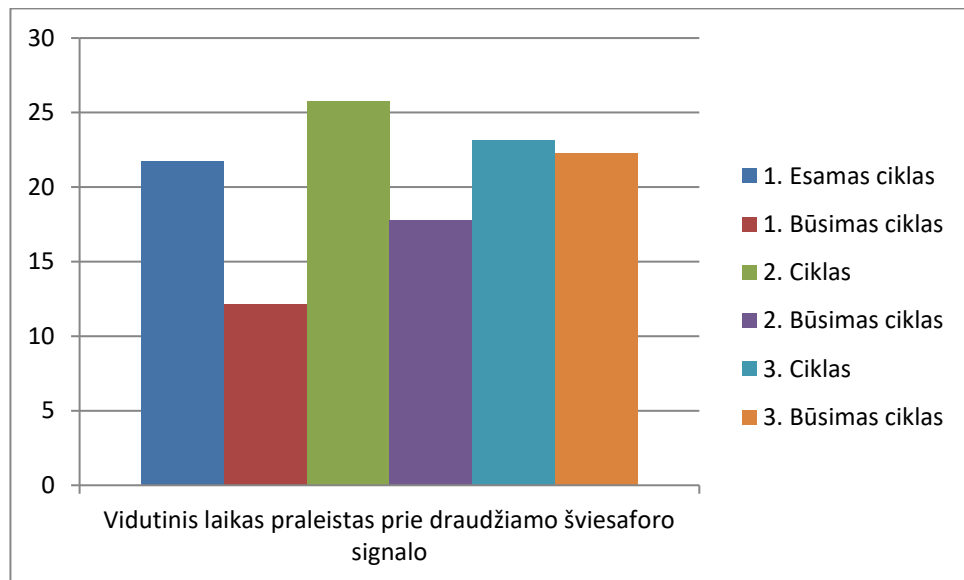
Pagal gautus rezultatus siūlomas šviesoforo spalvų ciklas būtų 42 s K. Petrausko gatvėje dega žalias šviesoforo signalas (trukmė sutrumpėjo 11 s.) ir 28 s. dega raudonas šviesoforo signalas (trukmė pailgejo 11 s.), o Aukštaičių gatvėje 28 s. dega žalias šviesoforo signalas (trukme pailgejo 11 s.) ir 42 s. Dega raudonas šviesoforo signalas (trukmė sutrumpėjo 11 s.)

Skaičiuojant bendrą laiką praleistą stovint prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo, gatvių atžvilgiu naudojant apskaičiuotą geriausią šviesoforo signalų ciklą ir duomenis gautus trečiojo fiksavimo metu, gaunamas laiko praleidžiamo prie draudžiamo važiuoti šviesoforo signalo vidurkis:

$$\text{K. Petrausko.} - M[\tau_{ij}^{st}] = 17,1 \text{ s. Aukštaičių} - M[\tau_{ij}^{st}] = 27,48 \text{ s.}$$

5.8 pav. Vidutinis laikas, praleidžiamas prie raudono šviesoforo signalo.

Naudojant apskaičiuotą šviesoforo signalų ciklą, laiko praleisto prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo trukmė K.Petrausko. atžvilgiu pailgėjo 7,5 s. o Aukštaičių g. atžvilgiu sutrumpėjo 9,25 s. Tad bendras laiko vidurkis praleistas prie draudžiamos spalvos šviesoforo signalo šioje sankryžoje sutrumpėjo 0,875 s.



5.9pav. Laiko praleisto prie draudžiamo šviesoforo signalo bendras vidurkis

4.1 Realaus modelio sudarymas PVP VISSIM



5.5 pav. PTV VISSIM simuliacijos vaizdas

Norint sukurti eismo simuliacija su PTV VISSIM 10 programos paketu, reikia žinoti realius parametrus t.y vidutinis eismo intensyvumas, šviesoforo ciklo trukmė, transporto priemonių važiavimo kryptis ir t.t

Simuliacijos sudarymo eiliškumas:




1. Pasirenkama sankryža kurios simuliacija bus sudaroma;
2. Ikeliamos gatvės
 - parenkama važiavimo kryptis;
 - paženklinami keliai;
 - Įrengiamos pėsčiųjų perėjos
 - nustatomas maksimalus leistinas greitis;
 - Eismo judėjimas dešiniąja puse;
3. Ikeliami automobilių atsiradimo taškai;
4. Nustatomas automobilių vidutinis eismo intensyvumas
5. Ikeliami šviesoforai, sudaromos jų veikimo programos
6. Sudaromi transporto priemonių judėjimo maršrutai
7. Sankryžose pažymimos konfliktines vietas, tam jog išvengti avarinių situacijų



PTV VISSIM programinis paketas skirtas modeliuoti miestų eismui. Galima analizuoti viešojo transporto, pėsčiųjų, motorinių transporto priemonių spūsčių susidarymo priežastis.

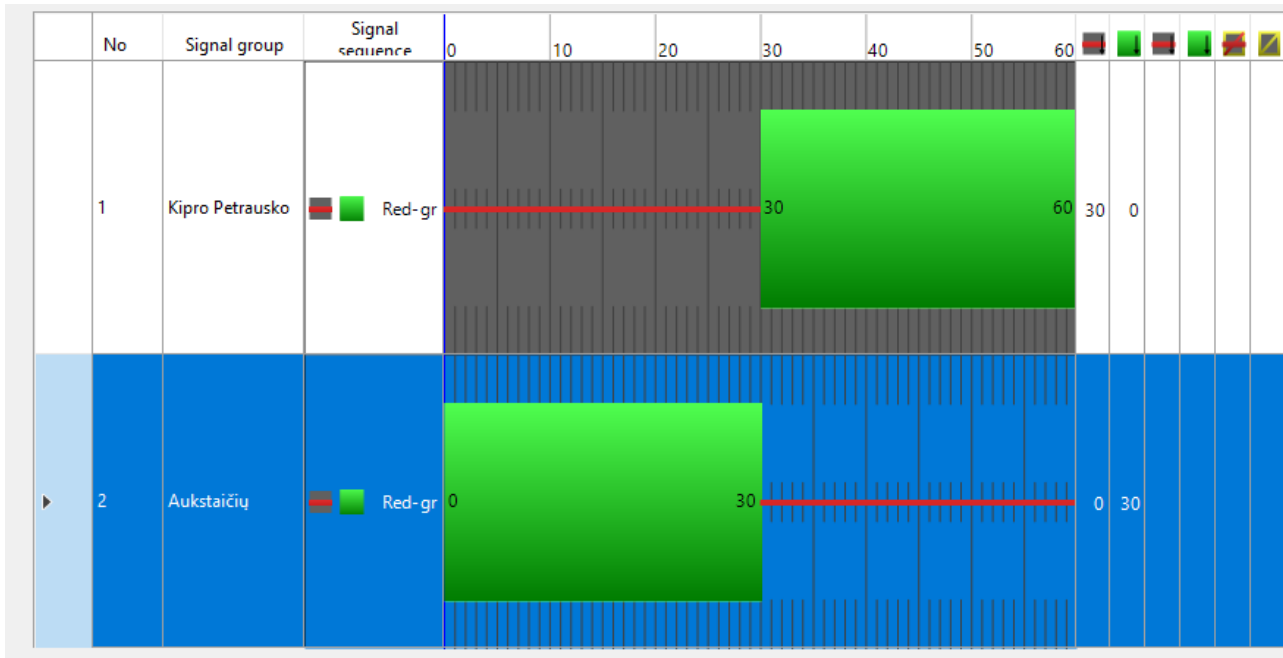
Pagal ankščiau sudarytus grafikus PTV VISSIM programinės įrangos pagalba sumodeliavau idealų teorinį šviesaforo ciklą.

Pirmiausia reikia atsižvelgti į tai, kiek yra reikalingų skirtingų signalo grupių sankryžoje. Bei nustatomas šviesaforo signalų trukmės laikai.[13]

Name:	
Kipro Petrausko	
Default sequence:	
	Red-green
(Minimum) durations:	
 30	 30

5.6 pav. Signalų grupės kūrimas

Sukūrus signalų grupes reikia sudaryti šviesaforų valdymo programą. Pagal ankščiau nustatytus teorinius duomenis Raudonos spalvos ir žalios spalvos trukmės laikas yra po 50% t.y. po 30 sekundžių. Viso ciklo trukmė 60 sekundžių.



5.7 pav. Valdymo programos kūrimo langas.

Simuliacijai buvo pasirinkta Kpetrausko ir Aukštaičių gatvės sankryža. Sukelti visi keliams reikalingi elementai: ženklinimo linijos, eismo juostos ir t.t. Maksimalus leistinas greitis šioje vietoje yra 50 km/h.

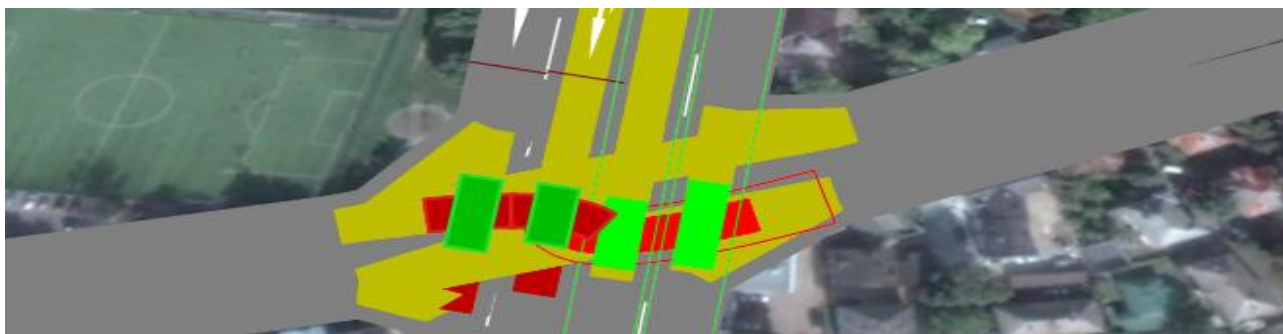
Sudarinėjant judėjimo maršrutus, svarbu atsižvelgti į kelių eismo taisykles, svarbiausia tai jog jų būtų laikomasi. Maršrutu sudarymo metu nurodoma kuriomis kryptimis transporto priemonės gali važiuoti iš esamos eismo juostos.



5.8 pav. Maršrutų sudarymas

Pavyzdžiui važiuojant K.Petrausko gatve link Savanorių prospekto pirmąja eismo juosta galimi du variantai tai: važiuoti tiesiai arba sukti į dešinę, važiuojant antrąja eismo juosta, galima sukti į kairę arba važiuoti tiesiai.

Labai svarbu tinkamai sužymėti konfliktines sankryžos vietas, kitu atveju automobiliai sukdamai į kairę nepraleis priešpriešais atvažiuojančių transporto priemonių. Realioje situacijoje tai reikštų eismo įvykį kurio metu gali būti sužaloti žmonės.



5.9 pav. Sankryžos konfliktinių vietų žymėjimas

Šioje simuliacijos stadijoje parenkamas transporto priemonių judėjimo eiliškumas, jog automobiliai sukdamai į kairę praleistu priešpriešais atvažiuojančius automobilius ir tik tada pradėtų judėti.

Sukonfiguruojamas šviesoforo spalvų ciklas pagal pirmo matavimo rezultatus.

Parametrai:

- Vidutinis eismo intensyvumas K.Petrausko gatvėje 0.498 aut/s, Aukštaičių 0,132 aut/s
- Šviesoforo ciklo trukmė 68 sekundės
- K.Petrausko ciklas: 42 sekundes dega žalia ir 26 sekundes dega raudona. Aukštaičių gatvėje atvirkščiai 42 sekundes dega raudona ir 26 sekundes dega žalia.



6 pav. PVP VISSIM simuliacijos 3D vaizdas

Išvados

1. Ciklo optimizavimui realizuoti pasirinktas matematinis modelis, kuris paremtas laiko, praleidžiamo stovint prie draudžiamo šviesoforo signalo, vidurkio skaičiavimu
2. Išanalizavus K.Petrausko ir Aukštaičių gatvių sankryžą buvo nustatytas jų vidutinis eismo intensyvumas. Koreguojant šviesoforo spalvų trukmę pagrindinis kriterijus buvo vidutinė trukmė praleidžiama prie draudžiamo šviesoforo signalo. Pirmojo filmavimo metu t.y. 12:55-13:10 prie draudžiamo šviesoforo signalo vairuotojo praleidžiamas laikas iš 21,272s sutrumpėjo į 12,145s taigi laikas sutrumpėjo 9,127s. Antrojo filmavimo metu kuris vyko piko metu vidutinis laikas, kurį vairuotojas praleidžia prie draudžiamo šviesoforo signalo sutrumpėjo iš 25,745s į 17,69s taigi laikas sutrumpėjo 8,005s. Trečiojo registravimo metu vidutinis laikas praleistas prie draudžiamo šviesoforo signalo sutrumpėjo 0.875 s
3. Šviesoforo ciklo trukmė buvo skirtinga atliekant visus tris registravimus. Vairuotojas atvažiuodamas prie sankryžos nuo 10h iki 16h vidutiniškai sutaupys 9,127s, nuo 16h laiko praleidžiamo prie raudono šviesoforo vidurkis sutrumpės 8,005 s, o rytinio piko metu 0,875 s.
4. Atliekant registravimus buvo atsižvelgiama į transporto priemones kurios sankryžoje važiuoja į kairę. Tokių automobilių yra tik apie 10%, todėl įrengti papildoma sekciją posūkiui į kairę ar padaryti iš dalies apsaugota posūkį būtų nenaudinga, nes susidarytu spūstys.
5. Išanalizavus sankryžą buvo sumodeliuotas 3D sankryžos modelis su realiais parametrais (vidutinis eismo intensyvumas, šviesoforo ciklo veikimo trukmė, maksimalus leistinas greitis) i esamomis eismo taisyklėmis. Šis modelis tinka visoms tokio tipo sankryžoms.

Literatūros sarašas

1. Lietuvoje įregistruotų transporto priemonių skaičius. [žiūrėta 2017-03-16]. Prieiga per internetą.
Transporto statistika. Žiūrėta [2017-04-18] Prieiga per internetą.
<http://www.regitra.lt/lt/opendata>
2. Kelių eismo taisyklės. Žiūrėta [2017-04-19] Prieiga per internetą. <https://www.e-tar.lt/acc/legalAct.html?documentId=TAR.DFE4D46E0716&lang=lt>
3. Transporto rušys ir jų problemos. Prieiga per internetą. <http://gid.lt/ekonomika/transporto-rusys-lietuvoje> žiūrėta [2017-03-16]
4. J.Daunoras, V.Bagdonas, V.Gargasas. System for Search of Optimal Transport Routes <http://www.eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/11079/5820> [žiūrėta 2017-03-16]
5. A. Doroševienė, S.Bartkevičius, V.Bagdonas. Eismo grafiko optimalaus papildymo uždavinys ir jo srendimo būdai. Žiūrėta [2017-04-21] Prieiga per internetą: <http://www.ee.ktu.lt/journal/2004/6/Doroseviene.pdf>
6. M.Dagockis, J.Daunoras, V.Bagdonas. City Transport Monitoring and Routes Management System. Žiūrėta [2017-04-22] Prieiga per internetą: http://www.ee.ktu.lt/journal/2009/5/17_ISSN_1392
7. Eismo reguliavimo signalai. Žiūrėta [2017-04-22] Prieiga per internetą: <http://automokyklos.lt/ket/keliu-eismo-taisykles/eismo-reguliavimo-signalai>
8. Centralizuoto šviesoforų valdymo ir stebėjimo sistema. Žiūrėta [2017-04-22] Prieiga per internetą: www.eismovaldymas.lt/get.php?f.264
9. Vaizdo stebėjimo kamerų sistemos plėtros analizė [žiūrėta 2017-04-21] Prieiga per internetą: www.vilniustransport.lt/.../Vaizdo%20stebėjimo%20kamerų%20sist...
10. Jonas Daunoras, Vytautas Gargasas, Signalai ir signaliniai grafai – mokomoji knyga; Kauno technologijos universitetas. Valdymo technologijų katedra – Kaunas: Technologija, 2007. p.
11. Imitacinis modeliavimas. [žiūrėta 2017-04-22]. Prieiga per internetą: <http://www.fmf.lt/ft/studiju-programos/taikomoji-matematika/S-17485/straipsnis/Imitacinis-modeliavimas--sistemoms-pazinti-analizuoti-ir-sprendimams-priimti-Video?p=1>
12. . Eismo gerinimo priemonių analizė. [žiūrėta 2017-04-22]. Prieiga per internetą: http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2004~D_20040702_131353-45822/DS.005.0.02.ETD

13. *Pedestrian Traffic Conditions of Rural Roads and Built-Up Areas* [žiūrėta 2017-05-01]
Prieiga per internetą:
http://journaldatabase.info/articles/pedestrian_traffic_conditions_rural.html
14. Saugaus eismo automobilių keliais gerinimo būdai. [žiūrėta 2017-04-17] Prieiga per internetą:
https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Teisine_informacija/Tyrimai_ir_analizes/Galutine.pdf
15. Šviesoforas su mikrovaldikliu [žiūrėta 2017-05-05] Prieiga per internetą:
gid.lt/elektromechanika/sviesoforas-su-mikrovaldikliu
16. Intelektualiosios transporto valdymo sistemos [žiūrėta 2017-05-14]
Prieiga per internetą: www.ee.ktu.lt/journal/2004/7/Marma.pdf
17. Eismo valdymo metodai. Žiūrėta [2017-03-19] Prieiga per internetą:
<http://www.sviesoforai.lt/index.php/eismovaldymosistema/eismo-valdymo-metodai>
18. PTV VISSIM TIPS & TRICKS. Žiūrėta [2017-04-24]. Prieiga per internetą:
www.traffic-inside.com/category/vissim_tips_tricks