

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

LINAS BAGDANAVIČIUS

**ŠVIESOFORU REGULIUOJAMOS SANKRYŽOS EISMO
MODELIO TYRIMAS**

Magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Vytautas Gargasas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

**ŠVIESOFORU REGULIUOJAMOS SANKRYŽOS EISMO
MODELIO TYRIMAS**

Magistro projektas
Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

Vadovas

Doc. dr. Vytautas Gargasas

Recenzentas

Doc. Romas Rutkauskas

Projektą atliko

Linas Bagdanavičius

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Linas Bagdanavičius

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Šviesoforu reguliuojamos sankryžos eismo modelio tyrimas tyrimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. Birželis d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Linas Bagdanavičius** baigiamasis projektas tema „Šviesoforu reguliuojamos sankryžos eismo modelio tyrimas tyrimas“ 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)

Bagdanavičius, Linas.

Šviesoforu reguliuojamos sankryžos eismo modelio tyrimas tyrimas.

Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vytautas Gargasas;

Kauno technologijos universitetas,

Elektros ir elektronikos fakultetas, automatikos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija,

Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: eismo srautai, matematinis modelis, pravažiavimo laikas, šviesoforas, modelio adekvatumo tyrimas.

Kaunas, 2017. 53 p.

SANTRAUKA

Darbe apžvelgiama esama Lietuvos kelių situacija. Aprašoma aktualiausios temos ir kodėl buvo imtasi šio darbo. Apžvelgiami ir analizuojami mokslinėje literatūroje pateikti autotransporto srautų valdymo metodai. Apžvelgiama literatūroje aptinkami autotransporto valdymo metodai metodų sudarymo principai.

Sudaromas gatvės atkarpos pravažiavimo laiko apskaičiavimo modelis ir tikrinamas jo adekvatumas su realia situacija. Matematinis modelis yra modifikuojamas ir į jį įvedama galimybė įvertinti kiek eismo juostų sudaro tiriamoji gatvė. Taip pat įvedama galimybė įvertinti tikimybę vairuotojams, kurie važiuoja analizuojama gatvės atkarpa, persirikiuoti tarp eismo juostų. Skaiciuojama kokią poveikį šie veiksmai daro kitų automobilių eismui ir kaip pasikeičia kiekvienos eismo juostos automobilių srautai. Taip pat matematinis modelis papildomas galimybe įvertinti, kad gatvės pabaigoje esančioje sankryžoje automobilis gali atlikti manevrą į kairę arba dešinę pusę, priklausomai, kuria eismo juosta jis važiuo. Modelyje papildomai įvedama galimybė įvertinti ir priešpriešinį eismą, kuris daro įtaką vairuotojams, kurie nori atlikti manevrą sankryžoje į kairę pusę.

Pasirenkama viena reali Kauno miesto gatvės atkarpa su sankryža, kuri buvo filmuojama ir eksperimentiniu būdu buvo apskaičiuoti realūs gatvės ir vairuotojų parametrai. Realūs parametrai sukeliami į jau modifikuotą matematinį modelį. Atliekamas modelio adekvatumo tyrimas lyginant jį su eksperimentinėmis reikšmėmis.

Randami papildomi svoriniai koeficientai, kuriuos naudojant kaip konstantą, galima pritaikyti modifikuotą matematinį modelį ir modeliuojant automobilių pravažiavimo laikus kitose gatvių atkarpose.

Bagdanavičius, Linas.

Investigation of Traffic-light Controlled Crossroad Traffic Model

Master's thesis in title qualification degree / supervisor assoc. Vytautas Gargasas;

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 flow, mathematical model, drive-through time, traffic light, investigation of model adequacy.

Kaunas, 2017. 53 p.

SUMMARY

The paper gives an overview of the current situation in Lithuanian roads. Describe the most relevant topic and why this thesis was taken. An overview and analysis of the scientific literature was made see what motor traffic management techniques it provides.

A street passing through time calculation model is being established check its adequacy with real time simulation. The mathematical model is being modified, to introduce an opportunity to assess how many lanes the exploratory street consists of. It also introduces the capability to assess the possibility for drivers to change lanes while driving. Then it analysis what impact these actions cause to the other car traffic and how it changes automobile traffic in each lane. The mathematical model also added a possibility that at the intersection a car can perform the maneuver to the left or right side, depending on which lane the driver was driving. The model introduces an additional opportunity to assess the oncoming traffic, which affects drivers who want to finish the turning left maneuver at the intersection.

One part of the street with an intersections of Kaunas is chosen. Then it was filmed for a period of time. Real street and driver parameters were calculated and introduced to the mathematical model. The adequacy of the model was studied by comparing the answers provided by the model to real experimental values.

Additional factors are introduced to the model as constants to improve the model accuracy, so it could be adapted or easily modified to simulate car driving through time in other similar street sections.

TURINYS

IVADAS	8
1. Naudojamų eismo valdymo sistemų ir modeliavimo tyrimų analizė.....	10
1.1 Eismo srautų organizavimas ir reguliavimas	10
1.2 Transporto eismo organizavimo jutikliai	12
1.3 Eismo sankryžų valdymo metodai	13
1.4 Eismo srautų modelių apžvalga	15
1.4.1 Biham - Middleton - Levine eismo modelis	15
1.4.2. Fuzzy logikos metodas.....	16
1.4.3 Neuroninių tinklų valdymo metodas.....	18
1.4.4 Eismo srautų valdymo modelio kūrimas.....	19
1.4.5 Gatvės pravažiavimo laiko apskaičiavimo modelio sudarymas	21
2. AUTOMOBILIŲ SRAUTŲ TYRIMO METODOLOGIJA	24
2.1. Automobilių srautų modeliavimas.....	24
2.2 Gatvės atkarpos pravažiavimo laiko modeliavimas.....	25
2.3 Kuriamas realios gatvės matematinis modelis.....	26
2.3 Gatvės atkarpos kritinių parametrų radimas	31
2.4 Skaičiavimo modelio taikymas su persirikiavimo tarp eilių įvertinimu	32
2.5 Skaičiavimo modelio taikymas, kai automobilis sankryžoje atlieka manevrą	35
2.6 Visų kintamųjų suvedimas į vieną bendrą modelį	38
3. MODELIO TYRIMAS	41
3.1 Tiriamosios gatvės atkarpos aprašymas ir parametrų radimas	41
3.2 Tiriamos gatvės atkarpos matematinio modelio adekvatumo tyrimas.....	44
3.3 Autotransporto judėjimo atskiromis eismo juostomis modelio tyrimas	47
4. IŠVADOS	52

LITERATŪROS SARAŠAS	53
PRIEDAI.....	55

IVADAS

Spartus automobilių kiekių augimas yra dažnas diskusijų objektas labiau išsivysčiusiose šalyse. Ši problema per paskutinius kelerius metus tampa vis aktualesnė ir Lietuvoje. Šiandien Lietuvoje vienam tūkstančiui gyventojų yra priskiriama daugiau nei keturi šimtai automobilių. Jei įtrauktume ir automobilius, kurie dėl vienos ar kitos priežasties yra nenaudojami, o tik stovi daugiabučių kiemuose, turėsime skaičių didesnę nei su milijonus vienetų visoje Lietuvoje.

Taip yra todėl, kad automobiliai yra pati populiariausia transporto priemonė nuvežanti jo savininką "nuo durų iki durų". Automobilis taip pat yra daugiausia problemų sukianti transporto priemonė, o ypač - dideliuose miestuose. Dėl jų susidaro milžiniškos spūstys gatvėse ir sankryžose - "auto kamščiai". Automobilių parkavimo vietų nuolatinis trūkumas yra labai didelė problema daugiabučių namų kiemuose ir intensyvaus judėjimo miesto centro gatvėse. Augantis autotransporto priemonių kiekis taip pat yra viena iš pagrindinių priežasčių, dėl ko didėjančių autoįvykių skaičius Lietuvoje tik auga, o didelis žuvusių ir sužeistų žmonių skaičius parodo, kad esame vieni iš „lyderiaujančiųjų“ tarp Europos sąjungos valstybių. Taip pat negalima pamiršti ir nuolatinio autotransporto priemonių keliamo triukšmo ir vis didėjančio oro užterštumo išmetamomis dujomis. Dėl šios priežasties keletas Europos valstybių uždraudė dyzeliniu kuru varomas transporto priemones, ypač gausiai apgyvendintuose miestuose.

Automobilių kiekio mažinimas ir jų pakeitimas patogesniu, našesniu ir greitesniu transportu yra ilgas ir labai brangus procesas, todėl vis daugiau dėmesio yra skiriama eismo organizavimui ir valdymui, o taip pat siekiama didinti gatvių ir sankryžų pralaidumą. Efektyviai valdant eismo srautus trumpinama kelionės automobiliu laiko trukmė, taip pat yra sumažinamas transporto srautų intensyvumas, oro užterštumas, triukšmas, bei didinamas žmonių darbo našumas. Kadangi nėra galimybės įvertinti visų galimų eismo problemų variacijų, tuomet yra nuolat kuriami ir taikomi nauji kompiuteriniai eismo reguliavimo modeliai, kurie vėliau yra pritaikomi esamiems problematiškiems kelių ruožams.

Šio darbo tikslas aprašyti ir ištirti matematinį gatvės pravažiavimo trukmės modelį. Siekiant, kad jis būtų kuo tikslesnis ir reikalinga įvertinti visas galimybes kas gali daryti įtaką kiekvieno eismo dalyvio pravažiavimo, per nustatyta kelio atkarpą, laikui.

Matematinis modelis privalo vertinti kiekvienos eismo juostos, jeigu gatvėje jų yra daugiau nei viena, galimas judėti kryptis. Kiekvieno automobilio galimybė pasukti sankryžoje arba pro ją pravažiuoti tiesiai. Kiekvieno automobilio galimybę persirikiuoti tarp eilių iki kol privažiuos

sankryža. Kaip kiekvienas manevras paveiks kitus už jų esančius eismo dalyvius. Matematiniam modelyje turi atsispindėti priešpriešinio eismo poveikis modeliuojamam eismui, o ypač, kokią įtaką daro vairuotojams, kurie bando sukti kairėn. Žinoma, negalima pamiršti ir elementariųjų kintamųjų tokių kaip vairuotojo reakcijos laikas, automobilio greitėjimo ir lėtėjimo pagreitis, šviesoforo raudonos ir žalios šviesos pasikeitimo ciklas ir automobilių srauto dydis, kuris nuolat kinta automobiliams migruojant tarp eismo juostų.

Visus šiuos parametrus bus stengiamasi įvertinti kuriant ir tobulinant matematinį automobilio pravažiavimo per kelio atkarpą modelį, o galiausia jį pritaikant sulyginant su realia situacija kelyje ir apsprendžiant jo adekvatumą.

1. Naudojamų eismo valdymo sistemų ir modeliavimo tyrimų analizė

1.1 Eismo srautų organizavimas ir reguliavimas

Sisteminis transporto srautų reguliavimas yra kompleksinis miestų planavimo ir eismo organizavimo uždavinys, kurio svarbiausi tikslai yra šie:

- gatvių ir sankryžų laidumo didinimas;
- transporto ir keleivių laiko nuostolių sankryžos mažinimas;
- transporto ir pėsčiųjų eismo saugumo gerinimas;
- transporto triukšmo, degimo produktų emisijos poveikio mažinimas;
- visų rūšių transporto priemonių tolygesnio judėjimo gatvių atkarpose užtikrinimas [12].

Eismo srautų organizavimo būdai yra skirstomi į rankinį reguliavimą, mechanizuotą reguliavimą ir automatinį reguliavimą.

Rankinis reguliavimas reikalauja didelių darbuotojų resursų. Pats paprasčiausias automobilių srautų valdymo būdas yra žmogus stovintis viduryje sankryžos ir nurodinėjantis kaip kiekvienam automobiliui važiuoti. Bet šis būdas turi keletą trūkumų:

- Kenksmingos ir varginančios darbo sąlygos kelių reguliuotojui,
- Beveik nėra galimybės koordinuoti kelių sankryžų darbo,
- Nevienodas įvairių reguliuotojų darbo našumas,
- Netinkamas esant dideliems automobilių srautams ir intensyvaus eismo sankryžoms.

Taip pat didinant izoliuotų reguliuojamų sankryžų skaičių, labai smarkiai mažėja transporto pravažiavimo greitis. Taip priverstinai brangsta transportavimo kaina ir sunaudojama daug laiko. Norint pasiekti kuo geresnį eismo reguliavimo efektyvumą šis procesas palaipsniui tapo mechanizuojamas.

Pirmasis mechanizuotas eismo reguliavimo įrenginys buvo pradėtas eksploatuoti 1868 metais Anglijoje. Tai buvo geležinkelio semoforas, kurį valdė reguliuotojas. Vėliau, didėjant eismo reguliavimo poreikiui, mechaniniai semoforai buvo keičiami elektriniais, valdomais žmogaus, o galiausiai ir automatiniais.

Pirmasis automatinis šviesoforas buvo įrengtas Klyvlende (JAV) 1913 metais. 1920 metais Detroite (JAV) pastatytas pirmasis šviesoforas su automatu, kuris reguliavo jo spalvų pasikeitimo ciklus. 1924 metais Berlyne buvo įdiegtos pirmosios, šviesoforo pagrindu paremtos, automatizuotos eismo reguliavimo sistemos. 1965 metais pradėjo veikti pirmasis elektroninis eismo valdymo

kompiuteris. "Siemens" kompanija buvo pirmoji, kuri 1975 metais pradėjo taikyti mikroprocesoriais pagrįstą eismo kontrolės sistemą. Pirmiausia, centralizuotos eismo valdymo sistemos, buvo pradėtos naudoti Jungtinėse Amerikos Valstijose. Didmesčiuose šviesoforų tankumas buvo paskirstytas taip, kad vienas šviesoforinis objektas atitektų maždaug vienam tūkstančiui gyventojų.

Mums pažįstamas standartinis šviesoforas apibūdinamas kaip įrenginys su raudonos, geltonos ir žalios spalvos signalais, kurie yra šia tvarka išdėstyti iš viršaus į apačią (vertikaliai pakabinti) arba iš kairės į dešinę (horizontaliai pakabinti). Prie transporto šviesoforų gali būti naudojamos papildomos sekcijos su žaliais rodyklės formos signalais tamsiame fone, kurios tvirtinamos šalia šviesoforo žalio signalo. Papildoma sekcija su žalia rodykle į dešinę arba tiesiai įrengiama dešinėje, o su rodykle į kairę – kairėje šviesoforo pusėje.

Jeigu eismas sankryžoje kuria nors kryptimi yra apribotas visoms transporto priemonėms arba transporto šviesoforai įrengiami atskirai kiekvienai važiavimo kryptčiai, naudojami šviesoforai, kuriuose leidžiamavažiavimo kryptis raudoname ir geltoname signaluose yra parodytajuodo kontūro rodyklėmis, o žaliame signale – žalios spalvos rodykle tamsiame fone [13].

Šiandien centralizuotą eismo valdymo sistemą, dar vadinama CEV, sudaro - eismo šviesoforai, šviesoforų valdikliai, eismo transportų prioritetų sistema, automobilių eismo jutikliai, eismo valdymo centras, eismo informacinės švieslentės vairuotojams, eismo stebėjimo sistema, greičio matavimo ir informacinė sistema.

Įdiegiant CEV yra parenkami individualūs, racionalūs ir optimalūs centralizuotos eismo valdymo sistemos ir eismo šviesoforų valdiklių parametrai, taip stengiamasi optimizuoti maksimalius eismo srautus. Kuriami eismo koridoriai, kurie dar vadinami "žaliosios bangos" koridoriais. Jeigu įdiegiama CEV sistema, į ją privalo būti sujungiami visi eismo šviesoforai į vieną tinklą, taip pat pasirenkami teisingi parametrai. Kuomet visi nustatymai sujungti ir paleidžiami tinkamai - gaunamas optimizuotas automobilių srautas, padidinamas vidutinis pravažiavimo greitis, sumažintas triukšmas ir sumažinta oro tarša, mažinamas automobilio prastovėjimo laikas sankryžoje. Taip pat yra pagerinamos eismo sąlygos viešajam, maršrutiniam transportui, (autobusams, troleibusams...) sukuriant jiems prioritetus sankryžose. Tai sąlygoja greitesnį susisiekimą miestuose ir jų centruose, taip pat skatina gyventojus naudotis viešuoju transportu, o ne asmeniniu. Būtina pabrėžti, kad gerinamas specialaus transporto patikimumas (greitosios medicinos pagalbos ar gaisrinės pagalbos specialusis transportas). Aktualiausia informacija yra skelbiama švieslentėse, kurios padeda sudaryti optimaliausius maršrutus. Didinamas eismo saugumas stebint

problematiškiausias sankryžas vaizdo kameromis ir galimas operatyvus reagavimas į kelių eismo avarijas ar kitus eismo sutrikimus [1].

1.2 Transporto eismo organizavimo jutikliai

Transporto eismo jutikliai yra dviejų tipų: vaizdo ir indukciniai jutikliai. Vaizdo jutiklių veikimo principas yra paremtas vaizdo atpažinimo algoritmu. Vaizdo jutiklis —kitaip vaizdo kamera, yra konfigūruojama naudojant specialią programinę įrangą. Šios programinės įrangos pagalba gatvės paviršiuje yra nubrėžiama virtuali zona. Šioje zonoje yra stebimas jos vizualinis pasikeitimas per trumpą laiko trukmę. Jeigu ji pakinta daugiau nei 50 procentų, tuomet virtualios zonos jutiklis siunčia signalą, kad pastebėtas automobilis. Taip pat jutiklyje turi būti nurodyta transporto priemonių kryptis, kurią norima detektuoti. Programuojant vaizdo jutiklius būtina atsižvelgti ir į kitus veiksnius, tokius kaip: jutiklio jautrumas, padėtis, matymo kampas, atstumas iki važiuojamosios dalies, detektuojamos eismo juostos plotis. Vaizdo jutiklių priežiūra ir nuolatinis programinės įrangos atnaujimas yra itin reikšmingi faktoriai, norint sumažinti transporto srautų skaičiavimo paklaidą.



1.1 pav. Virtualios zonos nustatymas ir automobilių detekcija

Indukcinio jutiklio veikimo principas yra elektromagnetinio laukio pokyčio detekcija. Per indukcinį jutiklį, kuris būna įmontuotas kelio dangoje, pravažiuojantis automobilis generuoja elektromagnetinio lauko pokytį. Šis pokytis yra apdorojamas sankryžos valdiklyje ir transporto skaičiuoklė jį traktuoja kaip eismo srauto vienetą. Visi apdoroti duomenys yra siunčiami į eismo valdymo centro serverį. Serveryje yra saugomi duomenys gauti iš visų jutiklių ir naudojami eismo srautų analizei, planavimui bei optimizavimui. [2]



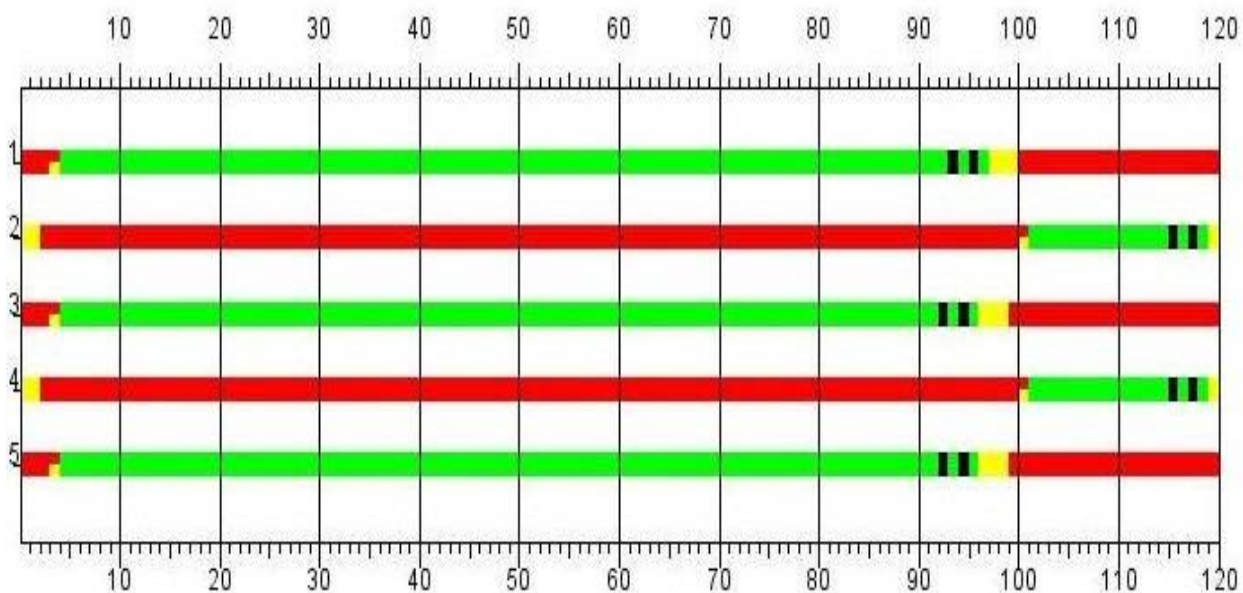
1.2 pav. Indukcinis eismo srauto jutiklis.

1.3 Eismo sankryžų valdymo metodai

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

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

"Žaliosios bangos" valdymo režimas - tai yra reguliuojamo eismo sankryžų darbo koordinavimas, kai vienoje ar keliose gatvių sankirtose eismas vyksta be perstojo. Tai reiškia, kad automobilis važiuodamas vidutiniu nustatytu greičiu pravažiuoja reikiamas kelių sankirtas išlaikydamas pastovų greitį. Jeigu judės per greitai, tai teks pristabdyti ir laukti, kol užsidegs leidžiamas šviesoforo signalas. Tokiu būdu yra užtikrinamas saugus greitis ir gerinamas automobilių pravažiavimo efektyvumas. „Žalios bangos“ valdymo ir sudarymo pavyzdys pateikiamas 1.3 pav.



1.3 pav. "Žalios bangos" valdymo ir sudarymo pavyzdys

"Žaliosios bangos" yra diegiamos ne visame mieste, o tik atkarpose, kur transporto kiekis yra intensyviausias. Šios atkarpos yra fiksuojamos specialių jutiklių pagalba. Kiekvienos "žalios bangos" poreikis nustatomas analizuojant surinktus duomenis ir nusprendžiamas, kuria kryptimi eismą būtina optimizuoti. Sujungus kelias sankryžas į "žaliąją bangą" yra pasiekiamas didesnis transporto srauto pralaidumas. Tokie sankryžų tarpusavio sujungimai ir koordinavimai pasiteisina, kai tarp jų yra atstumai nedidesni nei vienas kilometras. [3]

Šie valdymo metodai gali būti apjungiami į kelias eismo valdymo kombinacijas: [4]

Kietasis sankryžos valdymas, kai nėra adaptyvumo - sankryža dirba pagal iš anksto nustatytą valdymo programą ir leidžiamo signalo trukmė kiekvienoje sankryžoje yra apibrėžta. Per parą yra galimos kelios sankryžų "kietas" režimo valdymo programos, pvz.: rytinis didelio intensyvumo, dienos meto, vakarinio didelio intensyvumo ir naktinio laiko valdymo programos.

Visiškai adaptyvus sankryžos valdymas - gatvių sankirtos valdymo režimas, kai žaliojo signalo trukmė tiesiogiai priklauso nuo automobilių srauto sankryžoje. Yra apibrėžtos kiekvienos fazės laiko ribos, o ciklo laikas nėra svarbus.

Sankryžų su dalinio adaptyvumo valdymo tipu surišimas į "žaliąją bangą" - gatvių sankirtos darbo režimas, kai žaliojo šviesoforo signalo ciklas tik dalinai priklauso nuo transporto srautų, bet yra griežtai nurodytos ribos, kuriuo laiko metu turi įsijungti kiekviena fazė. Sankryžų sinchronizavimui yra reikalingas ciklo laikas, antraip sujungimas į "žaliąją bangą" yra negalimas visame ar dalyje sankryžų koridoriuje. Šio metodo minusai yra pastebimi tuo, kad konkreti fazė gali

būti įjungta tik griežtai numatytu laiku. Todėl to transporto priemonėms ir pėstiesiems prireiks ilgiau laukti žalios šviesoforo spalvos. Ciklų persijungimo trukmė kinta priklausomai nuo automobilių srautų.

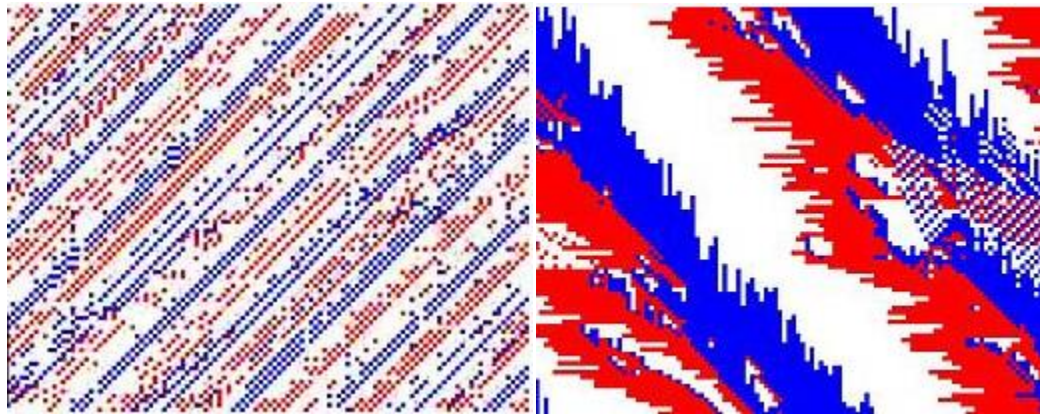
Sankryžų dalinis adaptyvumas, sankryžų surišimas į "žaliąją bangą" panaudojant "žalios bangos" metodą — Šis metodas labai panašus į sankryžų su daliniu adaptyvumu valdymą, kada sankryžos yra jungiamos į koridorinę sistemą ir sukuriamą "žaliąją bangą". Skirtumas tarp jų toks, jog eismo valdymo centro (CEV) serveris, gavęs duomenis apie transportų judėjimus, kas dešimt arba dvidešimt minučių apskaičiuoja ir sugeneruoja vis naujas valdymo programas kiekvienai kėvienai gatvių sankirtai. Tokiu atveju valdymo programų skaičius per parą nėra apibrėžtas ir keičiasi priklausomai nuo transporto kiekio gatvėse pokyčio. [4].

1.4 Eismo srautų modelių apžvalga

1.4.1 Biham - Middleton - Levine eismo modelis

Eismo modeliavimas elektroninėje erdvėje visada buvo vienas iš geriausių būdų įsitikinti kaip veiks eismo reguliavimo sistema vienoje ar kitoje šalyje. Modeliuojant eismą galima stebėti įvairių gatvių pralaidumą, apkrovimą ir tuomet, atsižvelgdami į šiuos faktorius, galime eismo reguliavimo modelį pakeisti taip, kad galiausiai nebūtų pasiektas globalus nepravažiuojamumas[5].

Biham - Middle - Levine eismo modelis buvo suformuotas ir Ofer Biham, Alan Middleton ir Dov Levine aprašytas 1992 metais. Jame buvo aprašyta, kad eismas, dėl nedidelio eismo dalyvių kiekio padidėjimo, gali pasikeisti nuo lengvai ir sklandžiai vykstančio, iki visiškai sustojusio. Modelis, kuris dar vadinamas savi-organizaciniu eismo srauto modeliu, yra sudarytas tam tikro automobilių kiekio, kuriuos reprezentuoja taškai apibrėžtoje erdvėje. Šie taškai gali būti dvejopi - judėti tik iš viršaus žemyn arba iš kairės į dešinę. Visi automobiliai gali turėti bet kokią judėjimo pradžios poziciją toje apibrėžtoje erdvėje. Kiekviena grupė taškų juda paėiliui po vieną žingsnį ir tik tada, jeigu jų neblokuoja kitos grupės taškas. Tai vienas iš paprasčiausių sistemų modelių parodančių kaip vyksta eismas ir kaip vyksta eismo savi-organizavimas.



1.4 pav. Modelio pavyzdžiai: lengvai prasilenkiantis ir beveik sustojęs

Biham - Middle - Levine eismo modelis vėliau buvo papildytas ir įrodyta, kad judančių automobilių tankumui kylant nuo $N = 0,5$ iki $N = 1$, sistema visada bus pilnai apkrauta ir transporto priemonės sustoja. Kai automobilių srautas nėra didesnis nei $N = 0,5$ tuomet sistema pilnai susiorganizuoja ir pasiekia maksimalų greitį.

1.4.2. Fuzzy logikos metodas

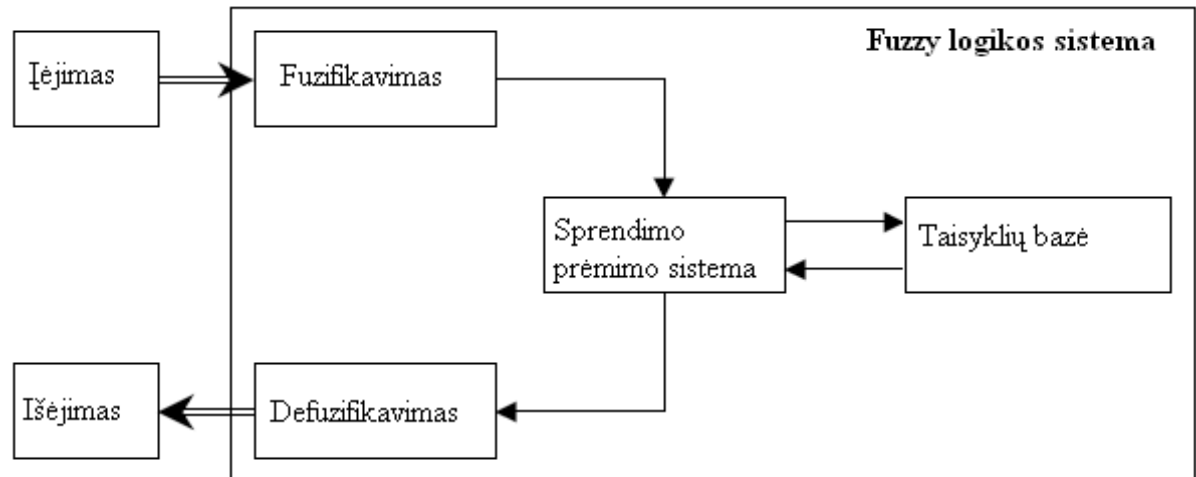
Tobulėjant technologijoms vis daugiau mokslininkų stengiasi sukurti modernių transporto srautų valdymo sistemų. Mokslininkai bando įdiegti dirbtinį intelektą transporto sistemų valdyme panaudojant *fuzzy logiką* [14]. Transporto srautų modeliavime susiduriama su negriežtai apibrėžtais reiškinių, kurie gali vykti arba iš dalies vykti. Tokius netikslius reiškinius aprašyti klasikine aibių teorija pagrįsta matematika yra sudėtinga, o be tikslaus matematinio modelio valdyti neaiškius procesus yra sudėtinga arba visai neįmanoma.

Neaiškiai aprašytus nesudėtingus netiesinius procesus galima modeliuoti ar valdyti panaudojant *fuzzy logiką*, kuri leidžia matematiškai apibrėžti dalinį matematinį teisingumą, netikslumą.

Literatūroje fuzzy loginė sistema dažniausiai apibūdinama [15]:

- Statinė arba dinaminė sistema, kuri naudoja fuzzy aibes ir atitinkamai su tuo susijusias matematines operacijas;
- Sistema gali būti aprašoma IF-Then taisyklių rinkiniu su fuzzy predikatais
- Sistema gali būti aprašoma algebrinėmis lygtimis, kuriose esantys parametrai yra fuzzy kintamieji (su neapibrėžtumais) vietoj realių kintamųjų
- Sistemos įėjimai, išėjimai ir būsenų kintamieji gali būti taip pat fuzzy aibės. Įėjimai gali būti nuskaitomi nuo jutiklių, arba tos reikšmės gali būti susiję su žmogiškąją nuovoka.

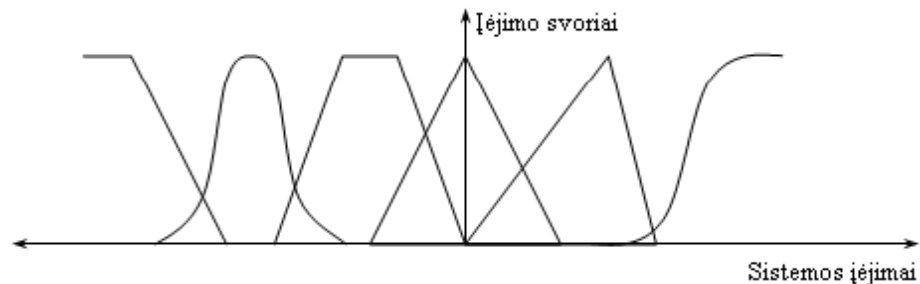
Pagrindinė naudojama *fuzzy logikos* schema pateikiama 1.5 pav [16].



1.5 pav. Fuzzy logikos schema

Fuzzy logikos schema susideda iš pagrindinių fuzifikavimo arba defuzifikavimo etapų. Pirminiam etapui priskirti neraiškios logikos reguliatoriai yra fuzifikacija. Fuzifikacija tai laipsnis, pagal kurį kiekvienas įėjimas priskiriamas *fuzzy* reikšmei išreikštai priklausomumo funkcija. Kiekvienas įėjimas turi savo laipsnį kiekvienoje *fuzzy* reikšmėje, kuriai jis priklauso [16].

Priklausomumo funkcijos gali būti tokių formų: trikampė, Gauso, trapecinė, varpo- jos pavaizduotos 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Priklausomumo funkcijų formos [16]

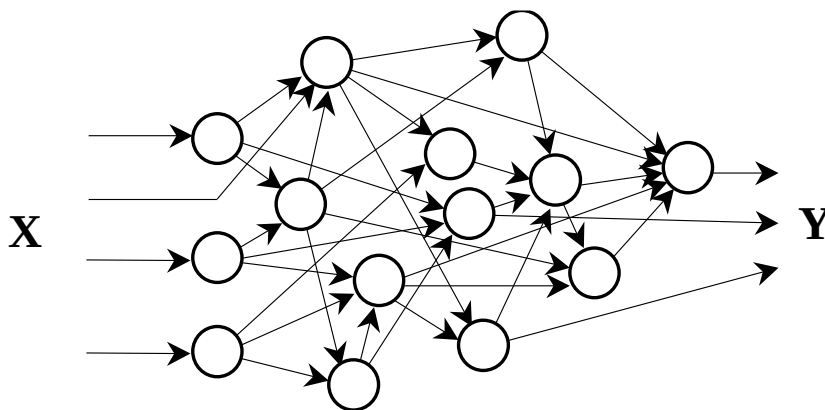
Antrasis *fuzzy* reguliatoriaus etapas vadinamas taisyklių generavimas. Šis generavimas gali būti automatinis ir rankinis. Rankiniu būdu proceso specialistas gali pats nuspręsti kokia reali reikšmė, kokiai lingvistinei reikšmei priklauso. Tačiau toks būdas reikalauja labai gerų žinių apie procesą ir jo eigą. Kartais būna tiek daug kintamųjų, kad tiesiog apspręsti visas sąlygas yra neįmanoma. Todėl naudojami automatiniai taisyklių generavimo algoritmai, kurių pagalba šios taisyklių bazės yra sukuriamos daug sparčiau. Apmokydami savąją sistemą, kuriant taisykles, kiekvienai taisyklei reikalingas matavimų rinkinys.

Paskutiniajame etape atliekamas defuzifikavimas, kur priskiriama viena išėjimo reikšmė. Pats paprasčiausias būdas tai padaryti pritaikyti centro vidurkių metodą [15,16].

1.4.3 Neuroninių tinklų valdymo metodas

Neuroniniai tinklai yra naujos kartos įvairių procesų valdymo logika. Eismo reguliavimas ir fiksuoto cikliškumo valdymo priemonėmis nėra efektyvus, taip pat reikalinga žmogiškasis įsiterpimas norint cikliškumą pakeisti. Atsitikus kokiam nenumatytam atvejui kyla užtikrintos spūstys sankryžose, nes tradicinis eismo reguliavimas nebetenka prasmės.

Mokslininkai šiandien dirba tobulindami ir vis plačiau stengdamiesi įdiegti naują procesų valdymo metodą - neuroninius tinklus. Dirbtiniai neuroniniai tinklai atlieka informacijos apdorojimo būdą, paremt imituojant ir modeliuojant smegenyse vykstančius procesus. Dirbtinis neuroninis tinklas yra matematinių modelių rinkinys, kurio pagalba bandoma imituoti įvairias biologinių sistemų savybes ir galimybes. Aktualiausia savybė yra biologinių sistemų gebėjimas mokintis ir adaptuotis. Dirbtiniai neuroniniai tinklai sudaryti iš daug skaičiuojančių elementų, kurie yra susiję tarpusavyje. Šie skaičiuojantys elementai yra panašūs vieni su kitais sujungiami įvairaus stiprumo jungtimis, kurios yra analogiškos biologinių neuronų sinapsėms.

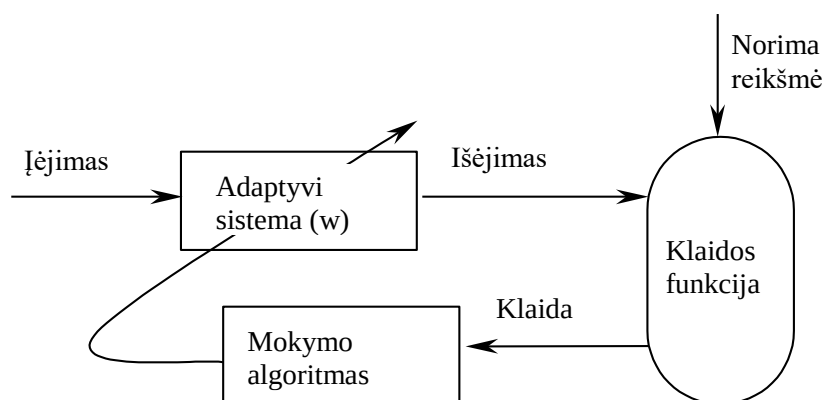


1.7 pav. Dirbtinis neuroninis tinklas

Neuroniniai tiklai turi didelį pranašumą prieš kitus procesų valdymo būdus, tai yra galimybė apsimokyti ir savivalis valdymo procesų keitimas pagal gaunamą grįžtamąjį ryšį. Mokymosi metu smegenyse keičiasi jungčių, siejančių neuronus, stiprumas. Tai galioja ir dirbtiniams neuroniniams tinklams. Neuroninių tinklų mokymui naudojami duomenų pavyzdžiai, pagal kurios specialių algoritmų pagalba mokymo metu iteratyviai keičiami jungčių stiprumo koeficientai, vadinami

svoriais. Informacija, reikalinga konkretaus uždavinio sprendimui, yra sukaupiama šių svorių reikšmėse [17].

Neuroninių tinklų adaptyvumas yra geriausia jų savybė (1 paveikslėlis). Neuroninės sistemos nėra sudaromos naudojant išankstines žinias pagal specifikaciją, formules ar aprašymą. Vietoje to, sistema naudoja išorinius duomenis savo parametrų nustatymui. Neuroniniai tinklai apmokomi žinant įėjimo ir atitinkamas išėjimo reikšmes (jos dar vadinamos užduoties reikšmėmis), grąžinamas per ryšį, kuriame naudojama klaidos funkcija.



1.8 pav Dirbtinio neuroninio tinklo apmokymas

Klaidos funkcija labai dažnai yra skirtumo funkcija tarp neuroninio tinklo išėjimo ir užduoties reikšmės. Neuroninio tinklo atsako tikslumas tiesiogiai naudojamas parametrų (tinklo svorių) keitimui. Mokymo metu svoriai keičiami taip, kad sistemos išėjimo reikšmės artėtų prie norimų reikšmių (mažėtų klaida) [17].

Sekantis žingsnis pirmyn yra neuroninių tinklų apjungimas su fuzzy logika - neuro-fuzzy logika.

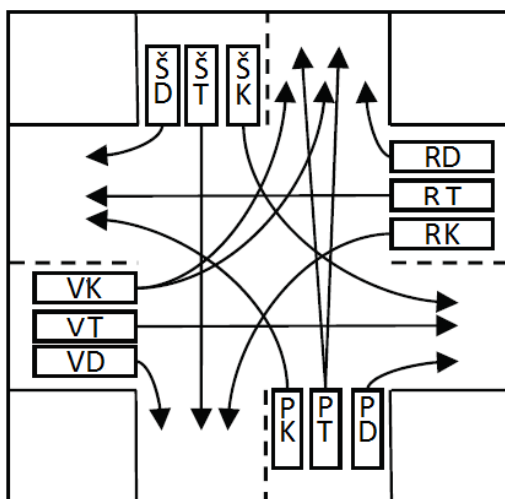
1.4.4 Eismo srautų valdymo modelio kūrimas

Vis daugiau ir daugiau mokslinių straipsnių yra išleidžiama, siekiant aptarti ir bandyti spręsti eismo gatvėse sumažinimą bei greitą ir efektyvų eismo valdymą sankryžose. Vienas siūlymas kaip organizuoti eismą sankryžose yra stebėti ir prioretizuoti vieną gatvę ar eismo juostą prieš visas kitas. Taip yra maksimizuojamas pralaidumas sankryžoje tam tikrą laiką. Tada suteikti prioritetą kitai gatvei ar eismo juostai, kurioje susidarė didžiausia spūstis, arba kuri jau praleido ilgiausią laiką laukdama pravažiavimo. Tokia idėja veikiančių šviesoforų galima rasti ir šiandien. Neigiamas

aspektas yra tas, kad jeigu vairuotojas stovės mažo reikšmingumo gatvėje, tai yra tikimybė, jog sankryžos kirtimo gali tekti palaukti iki penkių ar dešimt minučių. Dar viena neigiama pasėkmė tokio sankryžų reguliavimo yra prioretizavus ir maksimizavus vienos eilės pravažiavimą pirmoje sankryžoje, toks pat prioretizavimas yra reikalingas sekančiose sankryžose, nes kitaip susidarys spūstys kelio atkarpose tarp sankryžų ir galiausiai toks esimo srautų valdymas nebeturės prasmės.[6]

Ši teorija buvo priimta ir tobulinta. Pasiūlyta šiek tiek modifikuoti stacionaraus laiko tarpo ir prioretizuojamų eismo juostų modelį.[7] Buvo išvedami svarbumo koeficientai ir suteikiami kiekviena gatvei, o taip pat ir kiekvienai eismo juostai. Įkeliant šiuos koeficientus į modelį, buvo pradėti naudoti daug efektyvesni eismo valdymo kriterijai ir šviesoforo spalvų pasikeitimo ciklai tapo skirtingi kiekvienai gatvei, kurie priklausė nuo spūsties susidarymo jose.

Automobilių srautų modeliavimas ir naujų modelių kūrimas yra nenutrūkstamas procesas siekiant maksimaliai efektyvaus rezultato. Didžioji dalis mokslinių straipsnių rašo, kaip reikia optimizuoti šviesoforų ar kitų eismo valdymo priemonių cikliškumą ir eilių prioretizavimą. Bet mažai kalbama kaip galima modifikuoti ir patį eismą. Kaip padidinti sankryžų pralaidumą, siekti ne tik automobilių pravažiavimo per sankryžą kokybės ir greitumo, valdant šviesoforo spalvų pasikeitimo ciklus, bet ir priversti automobilius judėti per sankryžas įvairesnėmis kryptimis. Tai dar vadinama "tuščių eismo juostų užpildymu".[8]



1.9 pav. Galimos automobilių judėjimo kryptys

Leidžiant vienu metu važiuoti visomis leistinomis kryptimis, yra didinamas sankryžos pralaidumas. Tuo tarpu, draudžiant judėti neleistinomis kryptimis, kurios kertasi, ir kuriose kyla

avarijų pavojus. Esant tokiai galimybei, vairuotojui yra sudaromos sąlygos lanksčiau pasirinkti maršrutą ir pajudėti mažiau apkrautomis gatvėmis.

Šiandien Lietuvoje dar egzistuoja "žaliosios rodyklės", kurios leidžia pažymėtose sankryžose atlikti posūkį į dešinę pusę, jeigu tik yra galimybė tai atlikti saugiai. Tai yra vienas geriausių "tuščių eismo juostų užpildymo" galimybių ir sankryžos pralaidumo didinimo pavyzdys. Naikinant tokias galimybes sudėtingėja eismo valdymas ir didėja eismo kelių spūstys.

Kiekvienos eismo valdymo modelio kūrimas visada prasideda nuo problemos suformavimo. Dažniausiai veikiantis vairavimo būdas kiekvienoje sankryžoje yra vadinamas "FIFO" (firstinfirstout).[8] Tai reiškia, kad susidarius transporto eilei prie sankryžos, pirmiausia išvažiuoja pirmieji stovintys arčiausiai sankryžos ir tik po to kiti, laukiantys eilėje. Žinoma, įvertinus vairuotojo reakcijos laiką šis procesas yra labai neefektyvus, kadangi grūsties priekis pradeda judėti, bet galas nuolatos pildosi. Vienintelis galimas sprendimas - reikalingas būdas nuolatos stebėti susidarančias spūstis ir modifikuoti žaliojo šviesoforo signalo degimo ciklus, kad transporto "kamščiai" nesusidarytų.

Pagal teoriją, vidutinis laikas praleidžiamas laukiant autospūstyse yra proporcingas laukiančių automobilių eilei, susidariusiai iš laukiančių automobilių.[9]

Pats idealiausias eismo modelis yra kol kas tik teorinis. Visi automobiliai turi būti sužymėti ir nuolatos informuoti centrinį kontrolierių apie savo būvimo vietą. Centrinis kontrolierius nuolatos renka informaciją apie dažniausiai pasitaikančias kelionės kryptis kiekvienoje sankryžoje. Sudaromi pagrindiniai maršrutų žemėlapiai. Kiekvieną kartą, kai pažymėtas automobilis priartėja prie sankryžos, tai kontrolierius numato jo galimas kryptis ir patikrinęs, kiek tokį kelią pasirinkusių eismo dalyvių yra toje sankryžoje, parenka optimaliausią šviesoforų žalios ir raudonos spalvos pasikeitimo ciklą, kad automobiliai pravažiuotų optimaliausiu greičiu. Atlikus teorinius skaičiavimus prie idealių sąlygų, maksimalus laukimo laikas spūstyje prie sankryžos niekada neviršija 765 sekundžių.[8]

1.4.5 Gatvės pravažiavimo laiko apskaičiavimo modelio sudarymas

Literatūroje gatvės pravažiavimo laiko modelis aprašomas taip [10]:

Gatvė, kurios ilgis l_{ij} , yra vidutiniškai pravažiuojama per τ_{ij} laiko tarpą.

Pravažiavimo laikas randamas: $\tau_{ij} = \tau_{ij}^0 + \tau_{ij}^{sta} + \tau_{ij}^{st} + \tau_{ij}^{gr}$, kur: (1.1)

- 1) τ_{ij}^0 - laikas, reikalingas nuvažiuoti l_{ij} kelią, važiuojant be sustojimų;
- 2) τ_{ij}^{sta} - laikas, sugaištamas stabdant prie raudonos šviesoforo šviesos;
- 3) τ_{ij}^{st} - laikas, kuris prašina, kol stovima prie šviesoforo;
- 4) τ_{ij}^{gr} - laikas, reikalingas įsibėgėti iki reikalingo greičio v_{ij} .

Tai yra pagrindinės dedamosios, norint apskaičiuoti apytikslį automobilio pravažiavimo laiką per gatvės atkarpą, kurioje stovi vienas ar daugiau šviesoforų. Šias dedamąsias galima skaidyti į smulkesnes sudedamąsias dalis, taip dar labiau tikslinant rezultatą.

$$\text{Bendriniu atveju } \tau_{ij}^0 \text{ randamas iš formulės } \tau_{ij}^0 = \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)}, \text{ reikia priimti sąlygą,} \quad (1.2)$$

kad greitis $v_{ij}(t)$ bus pastovus visoje atkarpoje.

$$\text{Stovėjimo laikas randamas per - } \tau_{ij}^{st} = \tau_{ij}^{st-r} + \tau_{ij}^{st-p}, \quad (1.3)$$

kur τ_{ij}^{st-r} yra laikas sugaištamas stovint prie raudono šviesoforo signalo. O τ_{ij}^{st-p} parametras nusako laukimo laiką, kuris sugaištamas laukiant kol priekyje esantis automobilis, užsidegus žaliai šviesoforo signalui, pradės judėti.

Parametras τ_{ij}^{sta} , tai laikas sugaištamas stabdymo ir greitėjimo pocesams. Priėmus sąlygą, kad stabdymas yra vientisas, tai galima jį prilyginti tolyginiam greitėjimui. Šis laikas dydis kiekvienam automobiliui yra skirtingas, priklauso nuo jo modelio ir techninės būklės. Priimame vidutinę stabdymo ir greitėjimo pagreičio $a = 3m/s^2$ reikšmę ir tada, tenkinant pagreičių vienodumo sąlygą - $\tau^{st} = \tau^{gr} = \frac{v_{ij}(t)}{a} = \tau^{sg}$ šiuos dydžius sulyginame ir pakeičiamę į τ^{sg} . (1.4)

Pasinaudojus greitėjimo ir lėtėjimo pagreičio sulyginimų galime apskaičiuoti ir šiuo etapu nuvažiuotą kelią - $l^{st} = l^{gr} = \frac{a(\tau^{st})^2}{2} = \frac{a(\tau^{gr})^2}{2} = l_{ij}$. (1.5)

Laikantis šių kelių prielaidų galime galiausiai suvesti pravažiavimo laiko apskaičiavimo duomenis į bendrą formulę:

$$M[\tau_{ij}] = \sum_{k=1}^{h_{ij}} \left\{ \left(1 - \frac{(1+\tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \right) \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)} + \frac{(1+\tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \left(2 \frac{v_{ij}(t)}{a} \right) + \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \right. \\ \left. + \frac{(1+\tau_r n_{ij}(t) + (\tau_r n_{ij}(t))^2) T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \frac{(1+\tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)} \right\} \quad (1.6)$$

Jeigu ieškomas automobilio pravažiavimo laikas per daugiau nei vieną sankryžą, tai formulė nekinta, o tik yra kartojama kiekvienai atskirai sankryžai ir tarpusavyje yra sudedamos.

Šitas modelis yra pasiūlytas ir plačiai tiriamas Automatikos katedros mokslininkų, tačiau yra labai primityvus: čia neįvertinama tai, kad automobilis pravažiuodamas gatvės atkarpą gali persirikiuoti, o pravažiavus šviesoforą, dalis priekyje esančių automobilių nevažiuos tiesiai, o suks į šoną. Esant didesniai eismo intensyvumui sukančiųjų į šoną sankryžos pravažiavimo trukmė neatitiks tiesiai važiuojančiųjų trukmės, todėl ir bendra sankryžos pravažiavimo trukmė, matematiname modelyje, bus neadekvati. Šio darbo tiriamojoje dalyje bus pateikiamos idėjos šiam matematiniam modeliui papildyti, siekiant tikslesnio rezultato.

2. AUTOMOBILIŲ SRAUTŲ TYRIMO METODOLOGIJA

2.1. Automobilių srautų modeliavimas

Automobilių ir kitų transporto priemonių eismas nuolatos auga. Stebint vien Lietuvos situaciją galima pamatyti, kad susisiekimo priemonių kiekis per paskutinius 20 metų pagausėjo net keletą kartų. Nors neišnyksta Lietuvos gyventojų emigravimo iš šalies problema, bet pastebimas ir žmonių kiekis didžiuosiuose miestuose nuolatos auga. Spūstys kankinusios tik sostinę, dabar kelia didelių problemų ir kituose didžiuosiuose miestuose.

Autotransporto kiekis auga didesniu greičiu nei spėjama didinti esamų gatvių pralaidumą, ar tiesti naujus kelius. Jeigu anksčiau sankryžose užteko organizuoti eismą siekiant užtikrinti eismo dalyvių saugumą, tai šiandien vienas iš eismo reguliavimo problemų yra užtikrinti netik saugumą bet ir tai, kad automobiliai netrukdytų vienas kitam. Gatvėse vyksta nuolatinis judėjimas netik per sankryžas, bet ir tarp eismo eilių. Augant automobilių tankiui gatvėse reikalinga pradėti vertinti papildomą laiką, kurį žmonės praleidžia atlikinėdami, ne visada reikalingus manevrus ir kaip jie įtakoja savo ir kitų judėjimo trukmę.

Įvairius sankryžų valdymo modelius arba šviesoforų šviesų keitimosi cikliškumus galima tikrinti realioje sankryžoje ir stebėti kaip tai veikia, bet eksperimentų būdu atrinkti labiausiai tikusius. Bet norint pradėti vertinti ir automobilių vairuotojų galimas klaidas, persirikiavimas gatvėje ir rasti optimaliausias sankryžų valdymo galimybes reikalinga remtis matematiniais srautų modeliavimais.

Labai svarbu reguliuojamose sankryžose transporto srautus išanalizuoti skirtingais laiko, etapais. Didelis automobilių srautų skirtumas pastebimas skirtingu paros metu. Galima nesunkiai išskirti "piko ir nepiko" valandas. "Piko" valandos dažniausiai pasireiškia ryte tarp 7:00 ir 9:00 valandos, taip pat vakarinėje paros dalyje tarp 16:00 ir 18:00 valandos. Šie srautai labiausiai išauga centriniuose miesto rajonuose, kur yra daugiausiai koncentruotos miesto gyventojų darbo vietos. Taip rajonuose, pro kuriuos tenka pravažiuoti, judant link miegamųjų rajonų. Papildomas laikas kada pasireiškia nepilnas "piko" valandos efektas yra pietų metas tarp 12:00 ir 13:00 valandos. Šis laikotarpis taip pat gan nemažai pakeičia aktyvesnių miesto rajonų judėjimą.

Dienos laikas nėra pagrindinis kriterijus, kuris apsprendžia eismo intensyvumą. Eismas miesto gatvėse yra taip pat priklausomas ir nuo metų sezono. Nagrinėjant Kauno miesto esmo ypatybes matomas automobilių suaktyvėjimas rudens pirmaisiais mėnesiais. Tai laikotarpis kada miestas yra papildytas gausiu įvairių universitetų ir profesinių mokyklų studentais bei mokyklų mokiniais,

kuriuos vežioja tėvai. Atvirkštinis efektas, kai eismas ženkliai sumažėja dažniausiai pasireiškia nuo Gegužės mėnesio ir per visą vasarą, dalis miesto eismo dalyvių išvyksta į užmiesčius ir kitus Lietuvos miestus. Pasibaigus mokslo metams žmonės praleidžia mažiau laiko gatvėse, nes vaikų nebereikia vežti į darželius ar mokyklas. Taip pat yra ir šventinis laikotarpis kada eismo suaktyvėjimas pasireiškia tik gatvėse, kuriomis galima išvykti iš miesto.

2.2 Gatvės atkarpos pravažiavimo laiko modeliavimas

Vidutinis gatvės atkarpos pravažiavimo laikas priklauso netik nuo konstantų, tokių kaip atkarpos ilgis, automobilio vidutinis judėjimo greitis ir raudono bei žalio šviesoforo signalo degimo trukmė. Taip pat didelę įtaką daro automobilių gatvės atkarpoje kiekis ir kokius veiksmus sankryžoje atliks tas automobilis bei greta esantys eismo dalyviai. Siekiant įvertinti šiuos kintamuosius bus naudojamas [10] šaltinyje aprašytas gatvės atkarpos vidutinio pravažiavimo laiko trukmės apskaičiavimo modelis.

Kaip aprašyta literatūros analizėje pasirenkama formulė, kurios pagalba bus atliekamas gatvės atkarpos pravažiavimo laiko modeliavimas.

$$M[\tau_{ij}] = \left(1 - \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}}\right) \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \left(2 \frac{v_{ij}(t)}{a}\right) + \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \quad (2.1)$$

$$+ \frac{\left(1 + \tau_r n_{ij}(t) + (\tau_r n_{ij}(t))^2\right) T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} \frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)}$$

Taip pat iš formulės matome, joje egzistuoja du parametrai, kurie yra laiko funkcijos:

$n_{ij}(t)$ - vidutinis eismo intensyvumas;

$v_{ij}(t)$ - vidutinis eismo dalyvio greitis.

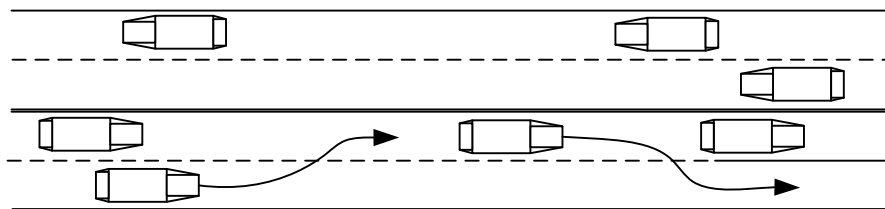
Vadinasi turint egzistuojančią automobilių srautų stebėjimo sistemą, visados būtų galima gauti atgalinį ryšį apie sistemos pagrindinius parametrus, taip pat esant reikalui atlikti sistemos valdymo korekcijas. Žinoma papildomi sensoriai brangiai kainuoja ir jų montavimas nebus daromas artimiausiu laiku. Dėl šios priežasties ir yra kuriami tokie sankryžų modeliai, kad atlikus eismo srauto modeliavimo užduotį, skirtingais laiko momentais, gautus rezultatus galėtumėme pritaikyti gyvai veikiančiai eismo reguliavimo sistemai.

2.3 Kuriamas realios gatvės matematinis modelis

Norint sudaryti tinkamą automobilių srauto modelį ir modeliuojant kurti srautų valdymo sistemą reikia pasirinkti vietą, kur modelis bus taikomas. Reikalinga įvertinti gatvės parametrus, tokius kaip tiriamos gatvės atkarpos ilgis (l_{ij}), kiek toje atkarpoje yra sankryžų, nuo kurių priklauso modelio apimtis. Kokiais laikais veikia šviesoforo žalios ir raudonos šviesos užsidegimo ciklai ($T_{zal}T_{raud}$). Taip pat vienas iš svarbiausių parametrų yra automobilių srautas (automobilių kiekis per laiko vienetą - n_{ij}). Vairuotojų reakcijos laikas (τ_r) aprašo, koks yra uždelsimas nuo žalios šviesos užsidegimo iki tol kol realiai pajuda automobilis. Reakcijos laikas yra netikslus, o tik vidutinis dydis, nes jis labai smarkiai priklauso nuo paros laiko ir kiekvieno atskiro vairuotojo poilsio trūkumo. Šis dydis dažniausiai yra nustatomas eksperimentiškai. Automobilio greitėjimo ir lėtėjimo pagreitis taip pat yra neapibrėžtas dydis, jis labai priklauso nuo automobilio markės, klasės ir techninės būklės. Šis dydis taip pat yra nustatinėjamas eksperimentiniu būdu priklausomai nuo to kokiais automobiliai važinėja vidutinis miesto gyventojas.

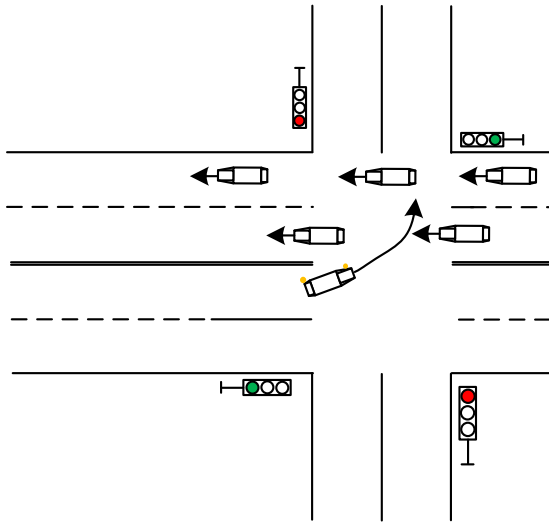
Tačiau literatūros analizės dalyje pristatytas ir čia toliau analizuojamas gatvės, su šviesoforais reguliuojamomis sankryžomis, pravažiavimo trukmės modelis yra labai ribotas, nes jame neįvertinama:

1. Kaip gatvėje vyks eismas skirtingomis tos pačios krypties eismo juostomis, t. y.:
 - a. Kokia yra tikimybė, kad važiuojantis automobilis, atkarpoje tarp dviejų sankryžų, pakeis eismo juostą,
 - b. Kokią įtaką persirikiavimas turės eismo intensyvumui toje juostoje, į kurią persirikiavo automobilis ir kokia įtaka rautui toje juostoje, iš kurios automobilis išvažiavo persirikiuodamas,
 - c. Kokia tikimybė, kad atkarpoje tarp dviejų sankryžų persirikiavęs automobilis, vėl persirikiuos atgal į buvusią eismo juostą ir kokią įtaką srautų pokyčiams eismo juostose turės šis manevras.



2.1 pav. Automobilio persirikiavimas į kitą eismo juostą

2. Modelyje neįvertinta galimybė, kad pro sankryžą važiuojančiam automobiliui gali tekti sukti į kairę arba į dešinę. Net jei tiriama pravažiavimo trukmė to automobilio, kuris važiuos tiesiai, sankryžoje gali būti tokia situacija, kad tiesiai už sankryžos kelias yra laisvas, tačiau negalima sankryžos tiesiai pravažiuoti tol, kol nepravažiuos priekyje esantys automobiliai, ketinantys sukti į šoną. Todėl šiame darbe bus tiriama galimybė papildyti matematinį modelį taip, kad:
- a. Būtų galimybė įvertinti gatvės eismo juostų skaičių ir juostų skaičių sankryžoje,
 - b. Modelis turi būti papildytas galimybe įvertinti kryptis, kuriomis galima pravažiuoti analizuojamą sankryžą.
 - c. Modelis turi būti papildytas galimybe įvertinti tikimybę, nusakančią kokia dalis, analizuojama juosta važiuojančių automobilių, statistiškai važiuoja tiesiai, o kokia dalis suka kiekvieną iš galimų sukimo krypčių.
 - d. Matematinis modelis, įvertindamas statistiniu būdu gautą sukimo iš eismo juostos tikimybę, turi būti papildytas taip, kad įvertintų kokią įtaką sukti ketinantis automobilis turi iš paskos važiuojančio, tiesiai važiuoti ketinančio automobilio gatvės atkarpos (gatvės atkarpa tarp reguliuojamų sankryžų + sankryža) pravažiavimo trukmei.
3. Eismui vykstant abiem kryptimis, sukančią į kairę sankryžos pravažiavimo trukmė labai priklauso nuo to, koks yra priešinga kryptimi važiuojančių automobilių srauto intensyvumas. Patobulintas matematinis modelis turėtų įvertinti priešingos krypties eismo intensyvumą ir pagal tai apskaičiuoti automobilio gatvės atkarpos pravažiavimo trukmę, jei atkarpos pabaigoje esančioje sankryžoje sukama į kairę, kertant priešingo eismo juostas. Nesunku pastebėti, kad priešinga kryptimi važiuojantiems automobiliams irgi gali reikėti pasukti į kairę. Kadangi priešinga kryptimi važiuojantis automobilis, sukdamas į kairę, nesudaro kliūties mūsų analizuojama kryptimi važiuojančiam automobiliui sukti į kairę, be to dar pristabdo iš paskos esančią tą automobilių dalį, kuris važiuotų tiesiai, tačiau turi išlaukti, kol priekyje esantis automobilis pasuks į kairę, tai šio pasukimo galimybė irgi gali atsispindėti modelyje, kaip pasukimo laiką mažinantis veiksnys.



2.2 pav. Priešpriešio eismo kliūtis pasukti karėn

4. Į dešinę sankryžoje sukančio automobilio sankryžos pravažiavimo vidutinė trukmė gali keistis priklausomai nuo organizacinių priemonių (žalia rodyklė, pėsčiųjų perėja) ar pėsčiųjų srauto (prieš sukant būtina praleisti pėsčiuosius). Modelis turi įvertinti šiuos veiksnius.

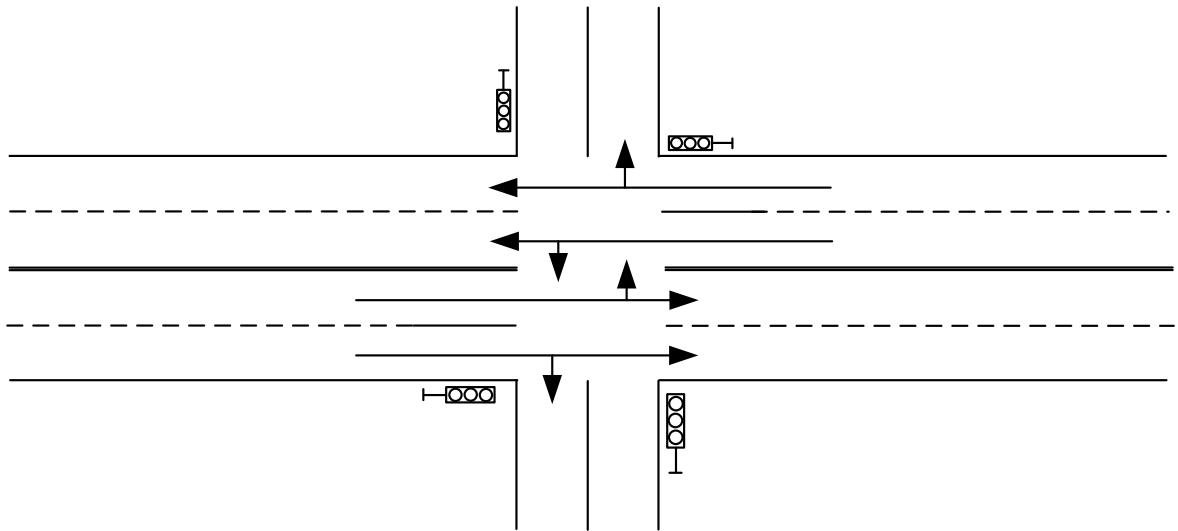
Tokiu būdu į tiriamą modelį galima žiūrėti ne vien, kaip į gatvės atkarpą, su sankryžomis, pravažiavimo laikų seką, bet kaip į sudėtingesnę sistemą, kurios pravažiavimo trukmės rezultatai lemia tokie veiksniai, kaip gatvės vienos krypties eismo juostų skaičius, numatytos galimybės sukti ar važiuoti tiesiai iš kiekvienos iš juostų sankryžoje, tikimybė, nurodanti kokia dalis automobilių juda kuria juosta, tikimybė, kad automobilis rikiuosis į kitą eismo juostą, tikimybė, kad automobilis sankryžoje suks arba važiuos tiesiai. Tada, įvertinus eismo srauto intensyvumą, pralaidumą, bei eismo intensyvumą priešinga kryptimi, galima sukurti būdą, leidžiantį įvertinti kiek laiko užtruks kiekvienam iš priekyje esančių automobilių sankryžoje pasukti į šoną ir, galų gale, gauti rezultatą, atsakantį į klausimą, kokia bus vidutinė pravažiavimo trukmė automobiliui, važiuojančiam per gatvės atkarpą ir per sankryžą tiesiai.

Akivaizdu, kad pati idėja yra labai plati. Matematinio modelio kurimui ir modeliuojamų reikšmių pasirinkimui reiktų tiksliai apibrėžti skaičiuojamą sankryžos ir tiriamos gatvės atkarpos tipą.

Matematinio modelio kūrimui aš pasirinkau dvipusio eismo gatvės atkarpą su viena sankryža. Matematinį modelį bus galima taikyti vienu metu vienam gatvės ruožui. Todėl patartina pasirinkti sankryžą su veidrodiniu atvaizdu į abi puses: tai yra - kelio atkarpa nuo sankryžos į abi puses yra identiška.

Modeliuojamo kelio ruožo ypatumai:

- 1) Kelio atkarpos nuo šios valdomos sankryžos iki artimiausių gatvių susikirtimų yra vienodas arba labai panašus;
- 2) Pagrindinė tiriamoji gatvė yra sudaryta iš dviejų eismo juostų;
- 3) Kiekviena eismo juosta turi po dvi galimas judėjimo kryptis ir kiekvieno eismo dalyvio pasirinktas pravažiavimo per sankryžą būdas įtakoja už jo esančius vairuotojus;
- 4) Per visą kelio ruožą yra galimybė automobiliams persirikiuoti iš vienos eismo juostos į kitą;
- 5) Visoje numatytoje kelio atkarpoje nėra nei vienos pėsčiųjų perėjos.
- 6) Stebimoje kelio atkarpoje nėra papildomų gatvių ar įvažiavimų ir gyvenamųjų kiemų.



2.3 pav. Tiriamoji kelių sankirta

Kadangi tiriamas kelio ruožas turi tik vieną šviesoforą tai naudojamas modelis bus išreiškiamas 2.1 formule. Tačiau matematinis modelis turi turėti galimybę įvertinti ir tokius parametrus, kaip pasirinktos eismo juostos numerį, persirikiavimo bei sukimo tikimybę tiriamoje sankryžoje.

Modeliavimas bus vykdomas pasitelkus Matlab įrankį. Žemiau matomas programos tekstas, kaip segmentuojant matematinę formulę į dalis, galima ją perkelti į "Matlab" aplinką.

```

A1=(( (1+(tr*ni j)) *Tr) / (Tr+Tz)) ;
A2=lij/vij ;
A3=(2* (1+(tr*ni j)) *Tr) / (Tr+Tz) ;
A4=vij/a ;
A5=(tr*ni j*Tz*Tr) / (Tr+Tz) ;
A6=(( (1+(tr*ni j)) +(( (tr*ni j) ^2) * (Tr^2))) / (2* (Tr+Tz))) ;
A7=(( (1+(tr*ni j)) *Tr) / (Tr+Tz)) ;
A8=(lij-(2*ls g)) /vij ;
Mij(i)=( (1-A1) *A2) + (A3*A4) +A5+A6+ (A7*A8) ;

```

2.4 pav. Matematinės formulės perkėlimas į "Matlab" aplinką.

Suvedame visus pagrindinius parametrus pagal pasirinktą kelio atkarpą:

τ_r - Reakcijos laikas - 1.5 sekundės;

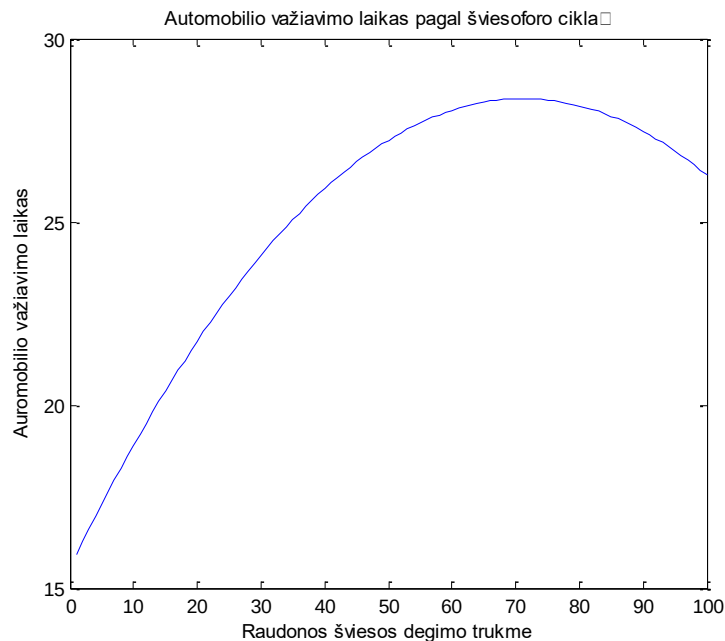
n_{ij} - Automobilių srautas - 0,2 automobiliai per sekundę;

l_{ij} - Gatvės atkarpos ilgis - 250 metrų;

v_{ij} - Vidutinis leistinas gatvės greitis - 13,8 m/s (50 km/h);

a - Automobilio greitėjimo ir lėtėjimo koeficientas - 3 m/s².

Šviesoforo pilną raudonos šviesos degimo laikotarpį ir žalios šviesos degimo laikotarpį vadinkime vienu ciklu. Priimkime, jog vieno ciklo trukmė yra 100 sekundžių. Keisdami raudono ir žalio šviesoforo signalo degimo laikus galime pradėti modeliuoti per kiek laiko eismo dalyvis pravažiuos kelio atkarpą iki sankryžos ir ją kirs.



2.5 pav. Automobilio pravažiavimo laikas

Toks automobilio pravažiavimo laiko priklausomumas galimas tik teoriniame lygnyje, kai prieš vairuotoją yra nesukuriame visiškai jokia kliūtis apat šviešofo. Mes iš realaus gyvenimo žinome, kad kliūtimi gatvėje gali tapti beveik bet kas : persirikiuojantis automobilis iš vienos eismo juostos į kitą, stabtelėjimas prie kelio nelygumo, sankryžoje priešais esantis automobilis atliks posūkį kairėn ar dešinėn, ir dar daug kitokių. Dėl šių priežasčių modelį reikia pildyti ir tikslinti.

2.3 Gatvės atkarpos kritinių parametrų radimas

Jeigu bandoma modeliuoti visos gatvės arba gatvės atkarpos srautus, tai yra gan svarbu žinoti koks yra maksimalus kiekis automobilių galintis pravažiuoti per laiko vienetą. Taip sužinoma ribinė reikšmė, kada modeli jau nebesugeba veikti, nes buvo pasiektas gatvės pralaidumo maksimumas. Toliau didinant kelio dalyvių kiekį ji tiesiog pradeda kimštis ir nauji sudarinėjami matematiniai modeliai jau nebesugeba generuoti realių atsakymo.

Norint rasti kelio pilno pralaidumo ribas, pirmiausia reikia apskaičiuoti kiekvienos kelio juostos maksimalų eismą kiekviena kryptimi atskirai. Tam būtina žinot juostos plotį ir gatvės nuolydį [11]. Pilnas juostos pralaidumas randamas iš formulės:

$$S_0 = 2080 - 42\delta_g G + 100 (W - 3,25) \quad (2.2)$$

Sudedamųjų parametrų reikšmės:

S_0 - maksimalus juostos pralaidumas;

δ_g - gatvės nuolydis. Jeigu 0, tai nuolydžio nėra. Jeigu 1 - automobilis juda į įkalnę;

G - gatvės nuolydžio reikšmė procentais;

W - vidutinis juostos plotumas metrais.

Turint S_0 parametą, galima ieškoti maksimalaus juostos prisipildymo srauto. Jis priklauso nuo to, ar eismo juosta yra prie gatvės bortelio ar arčiau vidurinės linijos, atitinkamai priklauso automobilio sukimosi spindulys sankryžoje.

$$S_1 = \frac{S_0 - 140\delta_n}{1 - \frac{1,5f}{r}} \quad (2.3)$$

Parametrų reikšmės:

S_1 - juostos srauto maksimumas, priklausomai nuo juostos padėties gatvėje ir srauto sukimosi spindulio sankryžoje;

S_0 - juostos srauto maksimumas, įvertinant gatvės nuolydį;

δ_n - jeigu juosta kraštinė - 1 ir jeigu bet kuri kita - 0;

f - transporto kiekis darantis posūkį. Kiekis išreikštas procentais;

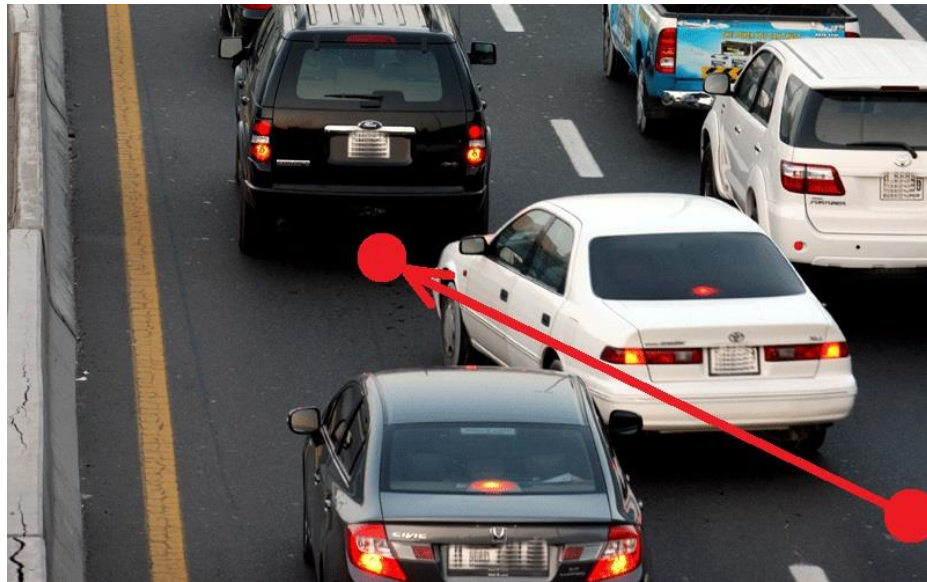
r - automobilių srauto sukimosi spindulys sankryžoje.

Kadangi skaičiuojami maksimalūs srautai kiekvienai juostai atskirai, tai patartina įsivesti papildomą radinį arba skaitinį žymėjimą. Kadangi kiekvienas automobilių srautas su yra aprašomas pagal eismo skirtingus juostos parametrus, tai galutinis bendras S_1 yra visų tos krypties eismo juostų S_1 parametrų suma.

2.4 Skaičiavimo modelio taikymas su persirikiavimo tarp eilių įvertinimu

Tiriamajoje gatvės atkarpoje vyksta dvipusis eismas. Norint tikslinti skaičiavimo modelį reikia gatvės eismą skaidyti į smulkesnius segmentus.

Pirmiausia, atskiriame vieną gatvės juostą su vienos pusės eismo judėjimo kryptimi. Tada jau bus galima taikyti ankščiau minėtą formulę automobilio pravažiavimo laiko skaičiavimui. Tačiau norint įvertinti visas galimas automobilių srautų judėjimo galimybes reikia skaidyti esamą eismo judėjimo kryptį į dvi eismo juostas. Kiekvienoje eismo juostoje važiuojantys automobiliai, per visą tiriamo kelio ruožą, turi galimybę keisti savo poziciją persirikiuojant iš pirmos eismo juostos į antrą ir atvirkščiai. Prie nedidelio eismo intensyvumo tai gali beveik neįtakoti kitų eismo dalyvių, tačiau prie intensyvesnio eismo šis persirikiavimas darys įtaką ne tik kiekvienos eismo juostos automobilių srauto tankiui, bet ir privers juos pristatbdyti (kai automobilis įsirikiuoja į kitą eismo juostą), arba skatins juos greitėti (kai automobilis išsirikiuoja iš eismo juostos).



2.6 pav. Automobilio persirikiavimas

Matematiniam modelyje tokį automobilių manevravimą galime įvertinti keičiant eismo juostų automobilių srautą ir intensyvumą.

Norint patikrinti ar gerai veikia modelis, užfiksuojuame šviesoforo raudonos ir žalios šviesos ciklą. Tada naudojantis atsitiktinių skaičių generatoriumi "*rand*", Matlab aplinkoje, siekiant generuoti atsitiktinius įvykius, ką vėliau pritaikome atsitiktinių automobilių persirikiavimui iš vienos eismo juostos į kitą.

Pirmiausia surandame automobilių kiekį gatvėje:

$$nmb = \frac{M[\tau_{ij}]}{v_{ij}(t)} \quad (2.4)$$

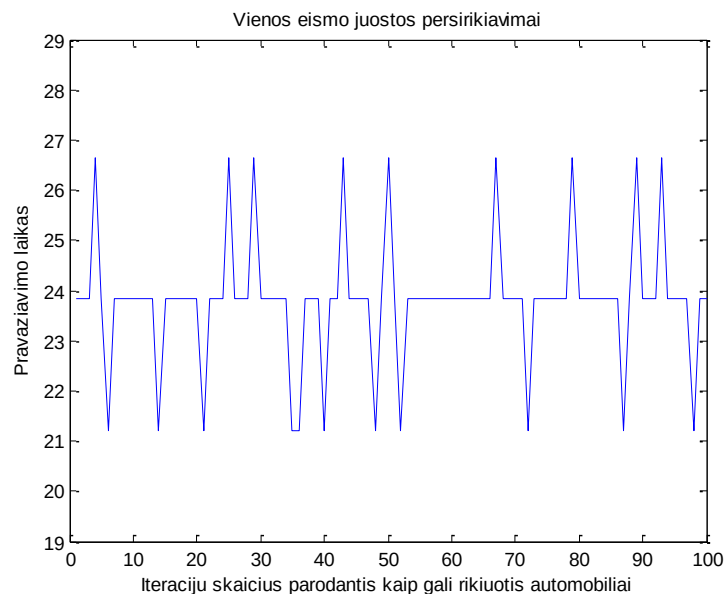
Kiekvieno atsitiktinio įvykio metu šis skaičius paauga arba sumažėja per vienetą. Didiname automobilių kiekį eismo juostoje ir taip pat didiname automobilių srautą per sankryžą, nuo ko priklauso automobilių pravažiavimo laikas.

```

for i=1:100
    Tr=i;
    Tz=101-Tr;
    at=rand; %atsitiktinis persirikiavimas
    nij1p=nij1;%automobiliu srauto pagalbinis koef. pirmai eilei
    nij2p=nij2;%automobiliu srauto pagalbinis koef. antrai eilei
    if at<=1-pt %atsitiktinio persirikiavimo generavimas
        ptik=(1-pt)/2 %jeigu maziau tai rikiuoja is 2 i 1 jei daugiau tai is 1 i 2
        if at<ptik
            nij1=(nmb+1)/Pr laik %is antros i pirma
            nij2=(nmb-1)/Pr laik %is pirmos i antra
        else nij1=(nmb-1)/Pr laik %is pirmos i antra
            nij2=(nmb+1)/Pr laik %is antros i pirma
        end
    else nij1=nij1p %parametro nunulinimas
        nij2=nij2p %parametro nunulinimas
    end
end
end

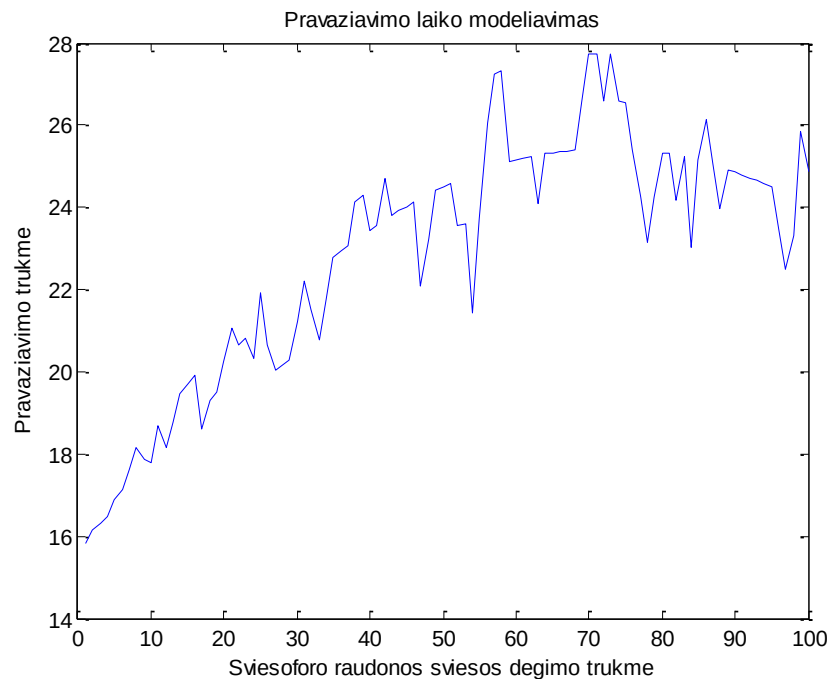
```

2.7 pav. Matlab programos tekstas, kaip generuojamas persirikiavimas ir jo kryptis



2.8 pav. Vienos eismo juostos automobilių judėjimas tarp juostų ir įtaka pravažimo laikui

Sekantis žingsnis įvertinti, kaip automobilių persirikiavimas tarp eilių įtakoja bendrą srautą, kai yra didelis intensyvumas ir kiekvienas automobilis priverčia pristabdyti eismą juostoje į kurią jis įsirikiuoja. Visa tai modeliuosime keičiant šviesoforų raudonos ir žalios šviesos signalo degimo trukmę, bet bendrą eismo reguliavimo įrenginio ciklą išlaikysime nekintantį.



2.9 pav. Penkių eksperimentų vidutinė reikšmė.

Eksperimentas, modeliuojant atkarpos vienos eismo juostos pravažiavimo trukmę, buvo atliekamas penkis kartus ir pateikiamas rezultatų vidurkis. Iš grafiko matoma yra automobilių pravažiavimo laiko tiesioginė priklausomybė nuo sankryžą vandančio šviesoforo raudonos šviesos signalo degimo laiko. Jeigu tiriamoji gatvės atkarpa nebūtų pasirinkta kaip prioritentinė prieš kertančią gatvę, tai spūstys šioje vietoje būtų neišvengiamos.

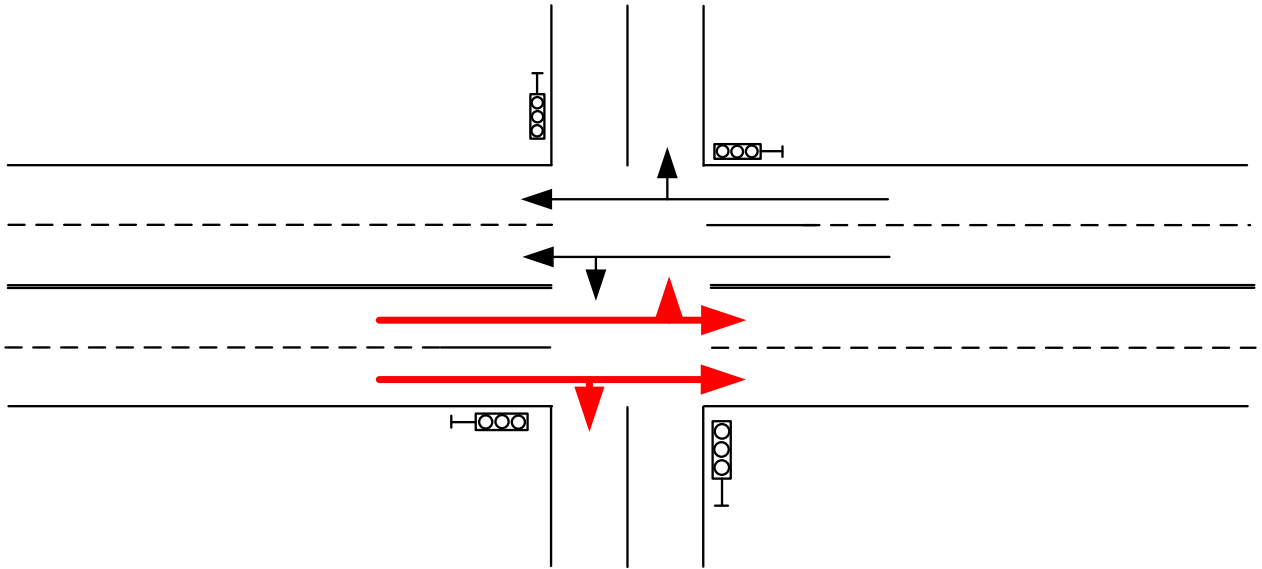
2.5 Skaičiavimo modelio taikymas, kai automobilis sankryžoje atlieka manevrą

Tiriamosios gatvės atkarpos pabaigoje yra šviesoforu valdoma sankryža. Joje, kiekviena eismo juosta važiuojantys automobiliai, gali atlikti po du maneversus, taigi:

- a. Pirmosios eismo juostos vairuotojas gali važiuoti tiesiai arba sukti į dešinę;
- b. Antros eismo juostos vairuotojas gali važiuoti tiesiai arba sukti į kairę.

Vairuotojų manevravimas iš pirmos juostos į dešinę nėra toks pavojingas manevras ir dažniausia atliekamas gan greitai. Šį manevrą pasirinktoje kelių sankirtoje galima atlikti ir degant draudžiamajam šviesoforo signalui. Priklausomai nuo pėsčiųjų kiekio, kuriuos reikia praleisti sukančią dešinę, priklauso ir uždelsimo laikas, kiek vairuotojas priverčia laukti už jo esančius vairuotojus.

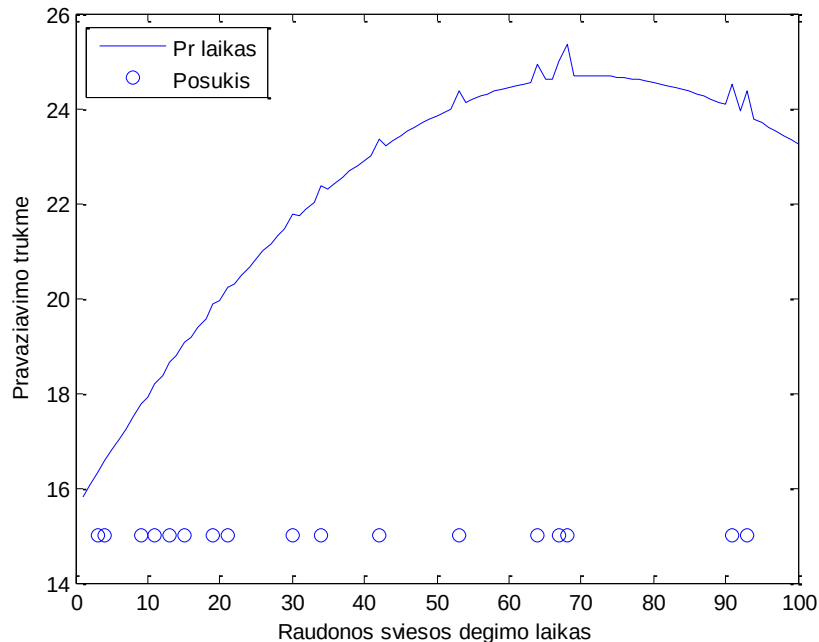
Vairuotojų manevravimas iš antrosios eismo juostos yra kiek sudėtingesnis. Norint sankryžoje pasukti į kairę reikia pirmiausia praleisti visą automobilių srautą važiuojantį priešpriešinėse eismo juostose. Taip sudaroma didelė kliūtis už nugaros esantiems eismo dalyviams, kurie nori važiuoti tiesiai arba atlikti tokį patį manevrą, kaip pirmasis vairuotojas.



2.10 pav. Manevravimas sankryžoje

Atsitiktinis posūkis į dešinę yra dydis, kuris daro įtaką tik pirmos eilės transporto pravažiavimo per sankryžą laikui. Jis visiškai eismo nesustabdo, bet tik šiek tiek priverčia pristabdyti. Vadinasi kiekvieną kartą, kai reikia atlikti manevrą pasikeičia l_{sg} parametras, kuris nusako praleisto laiko reikšmę stabdant ar greitėjant vieno šviesoforo ciklo metu. Šis parametras taip pat priklauso ir nuo bendro eismo juosta pravažiuojančių automobilių intensyvumo. Kuo didesnis intensyvumas, tuo didesnis nereikalingas pristabdymo laikas. Tačiau šis dydis nėra tiesiogiai priklausomas nuo priešpriešais atvažiuojančio eismo srauto intensyvumo.

Modeliuojant atsitiktinį automobilio manevravimą dešinėn, naudosime Matlab skaičių generatorių "rand". Stebėsime, kaip pasikeičia automobilio, pravažiuojančio gatvės atkarpą, laikas, kintant šviesoforo raudonos ir žalios spalvos signalų cikui.

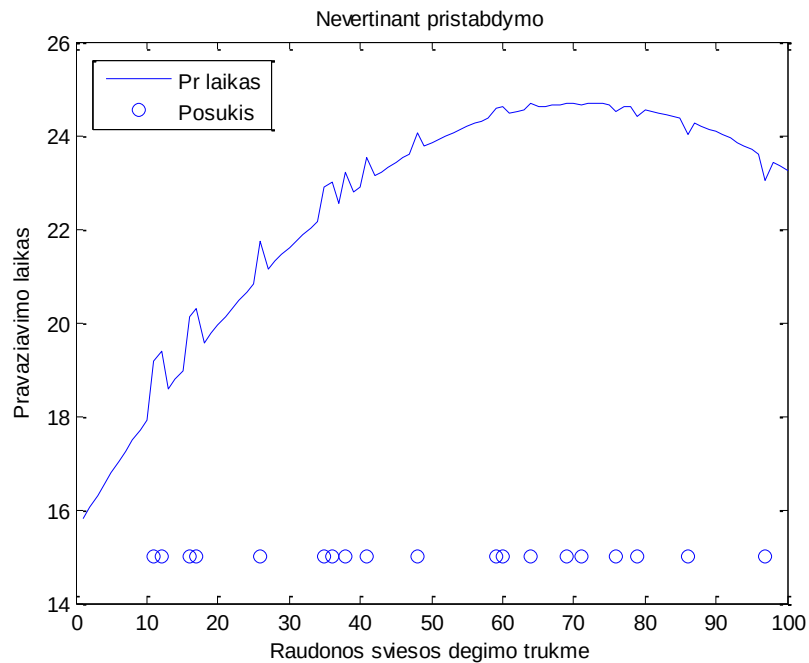


2.11 pav. Automobilio pravažiavimo laikas, kai atliekamas sukimas į dešinę

Iš grafiko galime pastebėti, kaip pravažiavimo laikas kinta ilgėjant raudono šviesoforo signalo degimo laikui. Pasirenkant ilgesnius žalios spalvos degimo intervalus matome, kad automobilio posūkis nesudaro labai didelio skirtumo, bet ilgėjant raudonos spalvos signalui, jis turi vis žymesnį neigiamą efektą.

Modeliuojame antrąją eismo juostą, kai ją važiuojantys automobiliai karts nuo karto atlieka kairįjį posūkį sankryžoje. Šis manevras yra kur kas žalingesnis pačiam vairuotojui kaip ir visam bendram eismo srautui. Net ir prie labai nedidelio eismo dalyvių skaičiaus, atliekant posūkį į kairę, yra būtina sustoti ir praleisti visus važiuojantčius priešpriešine kelio puse. Dažniausiai toks manevras yra baigiamas, kai šviesoforo infikacija pasikeičia iš žalios spalvos į raudoną ir vairuotojas turi pabaigti jau pradėtą manevrą.

Matematiniam modelyje reikalinga keisti kiek daugiau nei vieną parametą. Prie nedidelio gatvės apkrovimo, sukant į kairę reikia pakeisti l_{sg} parametą, nes automobilis yra priverčiamas pristabdyti. Taip pat reikalinga pakeisti ir T_{raud} parametą, dėl to, kad įvertintume viso šviesoforo ciklo pokytį, nes dalis leidžiamo eismo signalo laiko yra panaudojama prastovoms laukiant, kol priekyje esantis eismo dalyvis atliks manevrą. Atsitiktinio įvykio (manevro kairėn) atveju, T_{raud} parametras taip pat turi priklausyti ir nuo priešpriešais atvykstančio eismo srauto dydžio.



2.12 pav. Automobilio pravažiavimo laikas, kai atliekamas sukimas į kairę

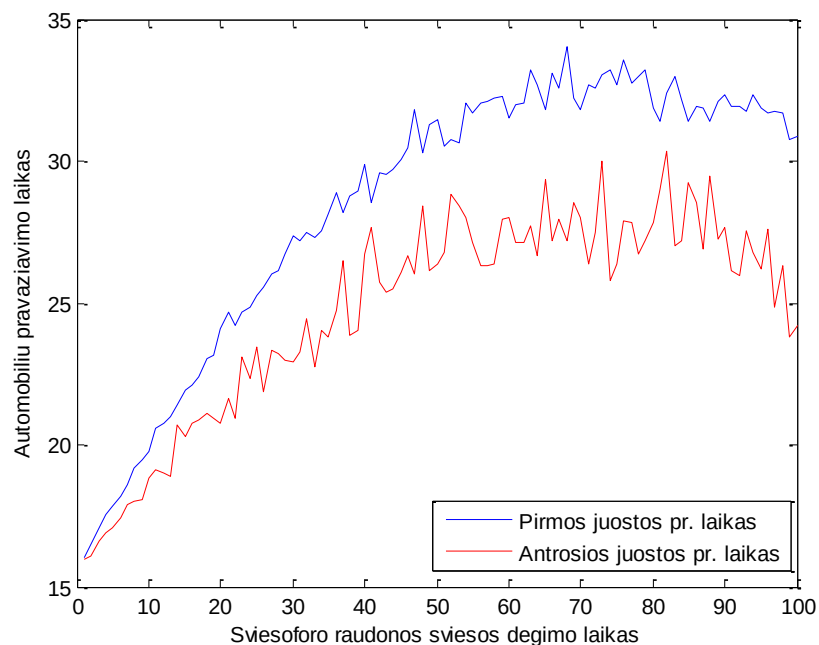
Modeliuojant eismo atkarpos pravažiavimo laiką, kai automobilis planuoja atlikti posūkį kairėn, pastebėtas eismo trukmės pokyčio sumažėjimas ilgai šviečiant raudonos šviesoforo spalvos signalui. Taip nutinka dėl to, kad prie ilgesnio draudžiamo signalo veikimo laiko tarpo, atsiranda vis daugiau galimybių pilnai užbaigti pradėtus manevrus. Kad tai pastebėti, nebuvo vertinamas l_{sg} (prilėtėjimo) parametro pokytis, nes tada skirstinys priima mažai skirtumų turinčią formą nuo matematinio modeliavimo skirstinio, kai automobilis atlieka manevrą į dešinę pusę pirmojoje eilėje.

2.6 Visų kintamųjų suvedimas į vieną bendrą modelį

Akstesnėse darbo dalyse buvo aptarta apie įvairias galimybes kiekvienam eismo dalyviui pasiekti vienaip arba kitaip stebimoje gatvės atkarpoje. Siekiant suvesti visus kintamuosius į vieną bendrą modelį, reikia apibendrinti visas kiekvieno eismo dalyvio važiavimo gatvės atkarpoje galimybes.

Kelio atkarpa, nuo pradinės sankryžos iki sekančios sankryžos, kurios šviesoforo eismo valdymo šviesų pokyčius tiriamo modelyje, yra sudaryta iš dviejų judėjimo juostų, kurios yra priešpriešos viena kitai. Viena judėjimo juosta yra sudaryta iš dviejų eismo juostų, kuriose juda vairuotojai viena kryptimi. Eismo dalyviai kiekvienoje juostoje juda skirtingais srautais (t.y.

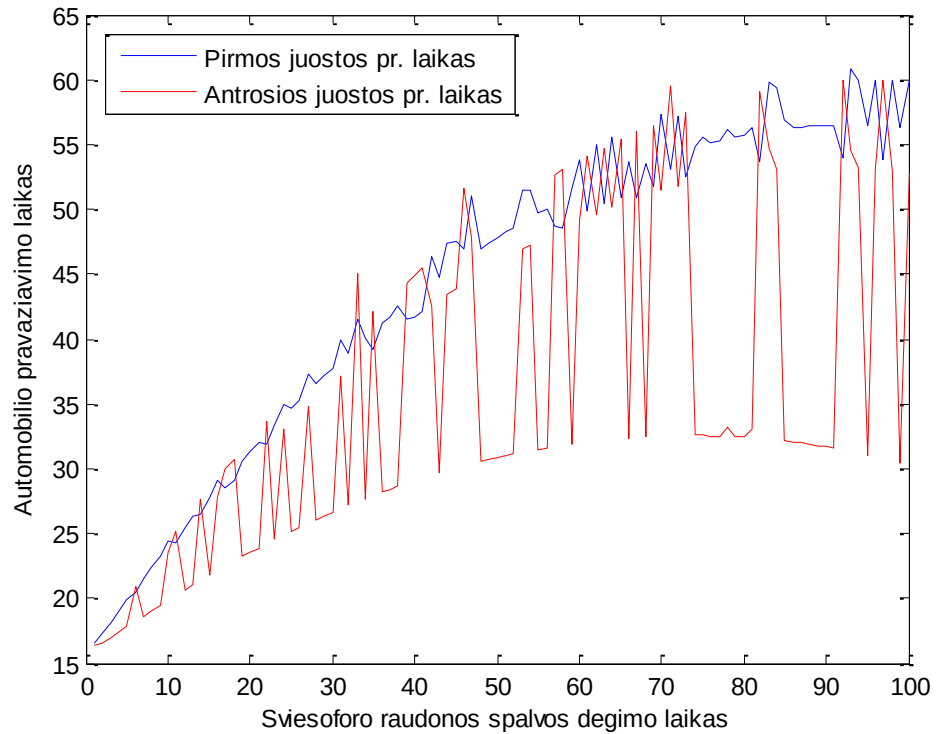
kiekvienoje juostoje yra skirtingas eismo dalyvių skaičius). Kiekvienas vairuotojas, per visą stebimą eismo juostos atkarpą, turi galimybę persirikiuoti iš vienos eilės į kitą, priklausomai koks yra juostų užimtumas ir kokį manevrą planuoja atlikti sankryžoje. Jeigu eismo dalyvis juda pirmąja eismo juosta, jis turi galimybę pasukti dešinėn arba važiuoti tiesiai. Visi kiti eismo dalyviai tai matydami turi galimybę persirikiuoti į antrą eismo juostą, kad išvengtų kliūties. Antros eismo juostos vairuotojai sankryžoje taip pat turi dvi galimybes - važiuoti tiesiai arba sukti kairėn. Sukimas kairėn yra sudėtingesnis manevras, kurio atlikimas labai smarkiai priklauso nuo priešpriešomis atvykstančio eismo srauto. Kiti antros eismo juostos vairuotojai turi galimybę persirikiuoti į pirmą eismo juostą siekdami išvengti būsimos kliūties.



2.13 pav. Bendras modeliavimo vaizdas

Modeliavimas atliekamas įvertinus visas šias galimybes ir atliktus dešimt perskaičiavimų bei suradus jų vidutines reikšmes, siekiant išmesti atriradusius anomalinius reiškinius. Šis modeliavimas buvo atliktas pasirinkus pirmosios eismo juostos automobilių srautą dvigubai didesnę nei antrosios eismo juostos.

Iš grafiko galime nuspręsti, kad prie trumpo raudonos spalvos ir ilgo žalios šviesos šviesoforo degimo laiko, įvairūs atsitiktiniai dydžiai, automobilių persirikiavimai tarp eilių ar manevravimas sankryžoje, neturi didelės įtakos bendrajam automobilių pravažiavimo srautui. Mažėjant leidžiančio judėti signalo reikšmei, pravažiavimo laikas pradeda kilti sparčiau nei tiesiškai.



2.14 pav. Automobilio pravažumo modeliavimas pakeičiant srautų kiekį

Padidinus kiekvienos eismo juostos srautus dvigubai, buvo pastebėtas daug ryškesnis gatvės atkarpos antros eismo juostos pravažiavimo laiko pakitimas. Taip yra dėl to, kad antrosios eismo juostos vairuotojai atlikdami posukį kairėn privalo įvertinti ir priešpriešais atvykstančių vairuotojų srautus.

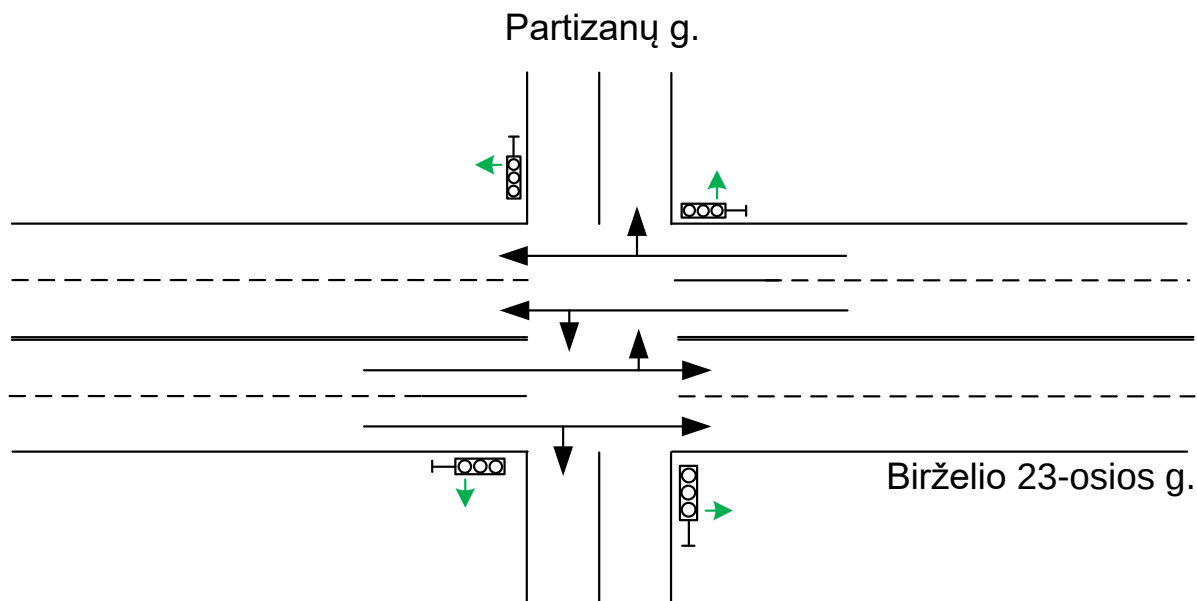
Darbo trečiojoje dalyje aprašomas eksperimentas, patvirtinantis pasiūlytas idėjas. Ekperimento pavyzdžiu galima įvertinti srauto parametrus tiriamojoje sankryžoje ir matematiniam modeliui suteikti srautą atitinkančias reikšmes.

3. MODELIO TYRIMAS

3.1 Tiriamosios gatvės atkarpos aprašymas ir parametų radimas

Matematinio modeliavimo etape buvo priimta keletas įvairių sąlygų, pagal kurias buvo kuriamas ir aprašomas gatvės atkarpos, kuri yra valdoma šviesoforu, automobilio pravažiavimo laiko modelis. Dabar pasirenkama reali gatvės atkarpa, kuri atitinka keliamus reikalavimus ir bus bandoma sulygtinti matematinio modeliavimo būdu gautus parodymus su realiomis sąlygomis gautais atsakymais.

Kelio atkarpa, kurią pasirinkau, yra Birželio 23-ioji gatvė nuo sankryžos su Savanorių prospektu iki sankryžos su Partizanų gatve ir iki žiedinės sankryžos su V. Krėvės prospektu. Ši sankryža yra valdoma šviesoforu su fiksuoto žalios ir raudonos šviesos pasikeitimo ciklu. Ciklas yra nekintantis nei "piko" nei "nepiko" valandomis. Kadangi, ši sankryža yra "miegamajame" rajone, vadinasi didelis kiekis žmonių pravažiuoja pro ją kiekvieną dieną bent po 2 kartus (vienas ryte, kai keliaujama į darbą, ir antras vakarop, po darbo valandų). Tiek Birželio 23-ioji, tiek Partizanų gatvės yra gan judrios ir jų pravažiavimas turi būti nuolatos gerinamas, nes susidarius spūstims būtų labai sudėtinga šią sankryžą apvažiuoti.



3.1 pav Tiriamoji gatvių atkarpa.

Birželio 23-ioji gatvė turi prioritetą prieš Partizanų gatvę, nes jos automobilių srautą sudaro Eigulių bei Kalniečių miegamųjų rajonų gyventojų vairuojamos transporto priemonės.

Pagrindinius tiriamosios kelio atkarpos parametrus randame eksperimentiniais būdais.

- Atstumas nuo Savanorių g. iki Partizanų g. - 216 metrų.
- Atstumas nuo Partizanų g. iki V. Krėvės žiedo - 198 metrai.
- Partizanų g. ir Birželio 23-iosios g. sankryža valdo fiksuoto ciklo šviesoforas - žalia spalva (T_{zal}) dega 40 sekundžių, o raudona šviesa (T_{raud}) dega 26 sekundes. Įspėjamas geltonos šviesos signalas - 2 sekundės - jis bus nevertinamas, nes jo paskirtis yra duoti automobilių vairuotojams minimalų laiko tarpą išvažiuoti iš sankryžos.

Kitas labai svarbus parametras yra vairuotojo, judančio nustatyta gatvės atkarpa, reakcijos laikas τ_r . Šis dydis buvo randamas stebint filmuotą medžiagą ir iš surinktų duomenų nustatant vidutinį dydį.

3.1 lentelė. Reakcijos laiko vidurkio radimas

Reakcijos laikas		
Nr.	Mažas intensyvumas, s	Didelis intensyvumas, s
1	1.17	1.1
2	1.1	2.1
3	0.69	1.1
4	0.98	1.2
5	1.2	1.15
6	1.35	0.95
7	0.61	1.05
8	0.55	0.89
9	0.96	1.3
10	1.5	1.25
Vid	1.011	1.209

Kitas labai aktualus matematinio modelio parametras yra automobilio greitėjimo ir lėtėjimo pagreitis a . Šis dydis įvairiuose šaltiniuose yra neapibrėžtas ir dažniausiai naudojamas kaip vidutinis dydis. Taip yra todėl, kad jis labai priklauso nuo kiekvieno automobilio techninės būklės, masės ir daug kitų faktorių. Buvo nuspręsta šį dydį gauti eksperimentiškai, ir darbui naudoti vidutinę reikšmę. Tam buvo tikrinami 2 automobiliai renkami duomenys per kiek laiko jie, normaliu važiavimo ritmu, pasieks 50 km/h, arba 13,8 m/s greitį ir vėl sustos.

3.2 lentelė. Greitėjimo ir lėtėjimo pagreičio apskaičiavimas

Nr.	I Automobilio greitėjimo ir lėtėjimo pagreitis a		II Automobilio greitėjimo ir lėtėjimo pagreitis a		
	Greitėjimas iki 13.8 m/s	Lėtėjimas iki 0 m/s	Greitėjimas iki 13.8 m/s	Lėtėjimas iki 0 m/s	Vidutinė reikšmė
1	7.58	6.25	7.26	6.26	
2	6.98	5.89	6.86	6.95	
3	6.99	7.26	7.52	7.12	
4	7.01	7.98	7.91	7.56	
5	6.75	5.76	8.49	6.58	
6	7.25	6.85	7.01	7.15	
7	7.52	7.34	6.14	7.82	
8	7.65	7.83	7.84	6.83	
9	7.87	6.97	8.51	6.88	
10	7.41	6.71	6.65	6.95	
t=	7.30	6.88	7.42	7.01	7.15 s
a=	1.89	1.90	1.86	1.87	1.9 m/s²

Prie gatvės parametrų būtina suskaičiuoti tiriamos gatvės juostų prisipildymo srautus, kurie parodo gatvės maksimalų galimą automobilių intensyvumą. Tai atlikti galime pasinaudodami 2.2 ir 2.3 formulėmis aprašytais 2.3 skyriuje. Pirmiausia skaičiuojamas juostos prisipildymo srautas redukuotų automobilių skaičiumi per valandą. Tam reikalinga žinoti gatvės nuolydžius ir gatvės juostų plotius.

Tiriamosioje gatvės atkarpoje nuolydis nėra pastebėtas, ir taip pat nėra tai nurodančių ženklų, tai koeficientas $G=0$. Juostos plotis, iš kurios automobiliai gali sukti dešinėn plotis yra 3,6 metro. Juostos, iš kurios galima važiuoti tiesiai arba sukti kairėn, plotis yra kiek mažesnis - 3,1 metro.

2.2 Formulėje esanti konstanta 2080, atsižvelgus į Lietuvos autoparko ir gatvių sąvybes yra sumažinama iki 1800 [11], todėl 2.2 formulė bus perrašoma:

$$S_0 = 1800 - 42\delta_g G + 100(W - 3,25) \quad (3.1)$$

Atliekame skaičiavimus su žinomais duomenimis:

Pirmoji eismo juosta, iš kurios galima sukti dešinėn - $S_{1d} = 1835$ red. aut/h.

Antroji eismo juosta, iš kurios galima sukti kairėn - $S_{1k} = 1785$ red. aut/h.

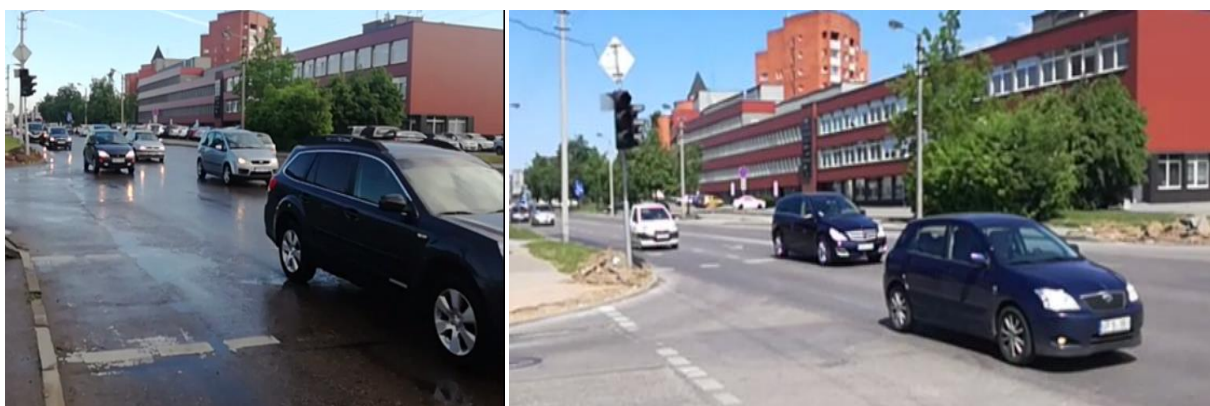
Tolimesnis skaičiavimas pasinaudojant 2.3 formule nereikalingas, nes abi eismo juostos turi po dvi galimybes judėti per sankryžą - tiek pasukant į šoną tiek važiuojant tiesiai.

Pagal šiuos duomenis, mes turime ribinę tiriamos gatvės pralaidumo reikšmę:

$$S_{1d} + S_{1k} = 3620 \text{ red aut/h}$$

3.2 Tiriamos gatvės atkarpos matematinio modelio adekvatumo tyrimas

Norint modeliuoti ir vėliau sutikrinti su realybe pravažiuojantį automobilių srautą, reikalinga aprašyti modelio parametrus. Modelio parametrai yra gaunami tik filmuojant realią gatvę dvejomis kameromis. Viena kamera filmavo Savanorių prospekto ir Birželio 23-iosios gatvių sankirtą, o antroji - Birželio 23-iosios ir Partizanų gatvių sankirtą. Svarbus požymis yra, kad abi kameros pradėtų filmuoti vaizdus vienu metu, tuomet tampa visai nesudėtinga apskaičiuoti realų automobilių pravažiavimo laiką per nustatytą gatvių sankirtą.



3.2 pav. Atliktas gatvių stebėjimas ir filmavimas "piko" ir "nepiko" metu.

Vaizdo filmavimas buvo atliekamas du kartus po dešimt minučių esant dviem skirtingiems gatvių apkrovimo režimams. Suvedus ir susiteminus duomenis, buvo apskaičiuoti toliau esantys eksperimentiniai duomenys:

- Vairuotojo reakcijos laikas (τ_r), išmatuotas realiomis sąlygomis (3.1 lentelė) - 1,01 sekundės "nepiko" metu ir 1,21 sekundės "piko" metu. Šis parametras nuolat kinta priklausomai nuo dienos laiko, savaitės dienos ir oro sąlygų.
- Greitėjimo ir lėtėjimo pagreitis (a) (3.2 lentelė) buvo surastas eksperimentiškai - jo vidutinė reikšmė - $1,9 \text{ m/s}^2$

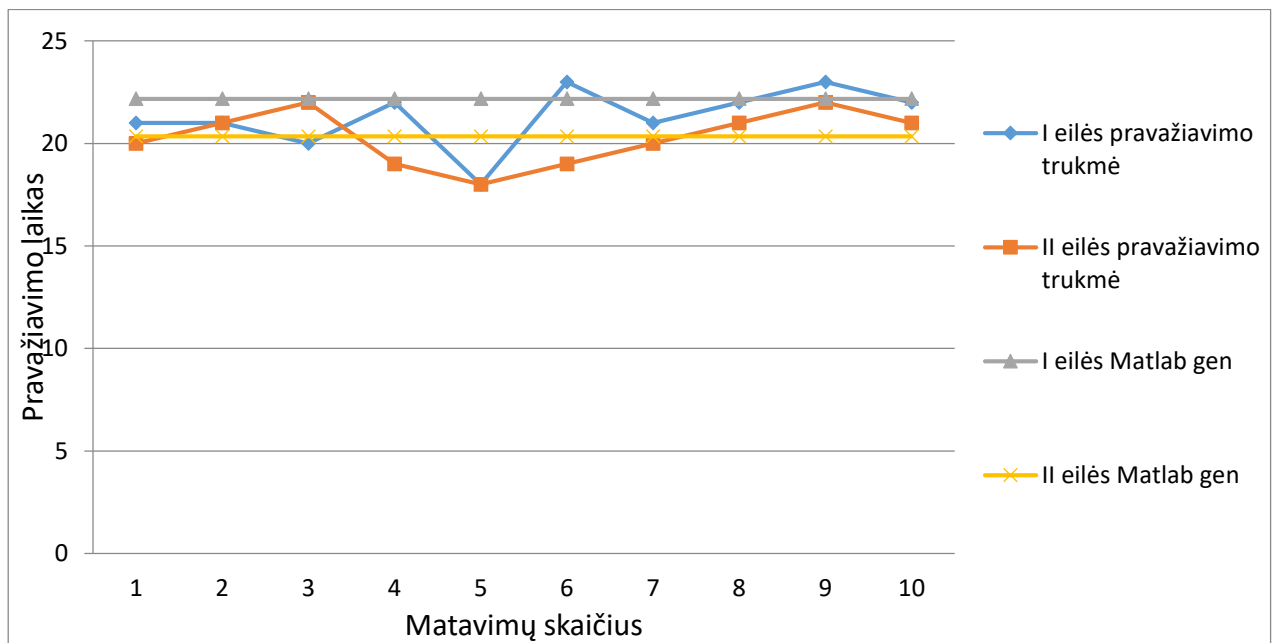
Gatvės atkarpos automobilių srautų intensyvumas buvo skaičiuotas iš 3.3 lentelėje pateiktų duomenų.

- Automobilių srautas eilėse "piko" metu pirmojoje eismo juostoje - n_{ij1} - 0,159 aut/s ir antrojoje eismo juostoje - n_{ij2} - 0,083 aut/s.

- Automobilių srautas eilėse "nepiko" metu pirmojoje eismo juostoje - $n_{ij1} - 0,077$ aut/s ir antrojoje eismo juostoje - $n_{ij2} - 0,058$ aut/s.

Šiuos koeficientus suvedame į jau antrojoje dalyje parengtą matematinį modelį ir stebime rezultatus.

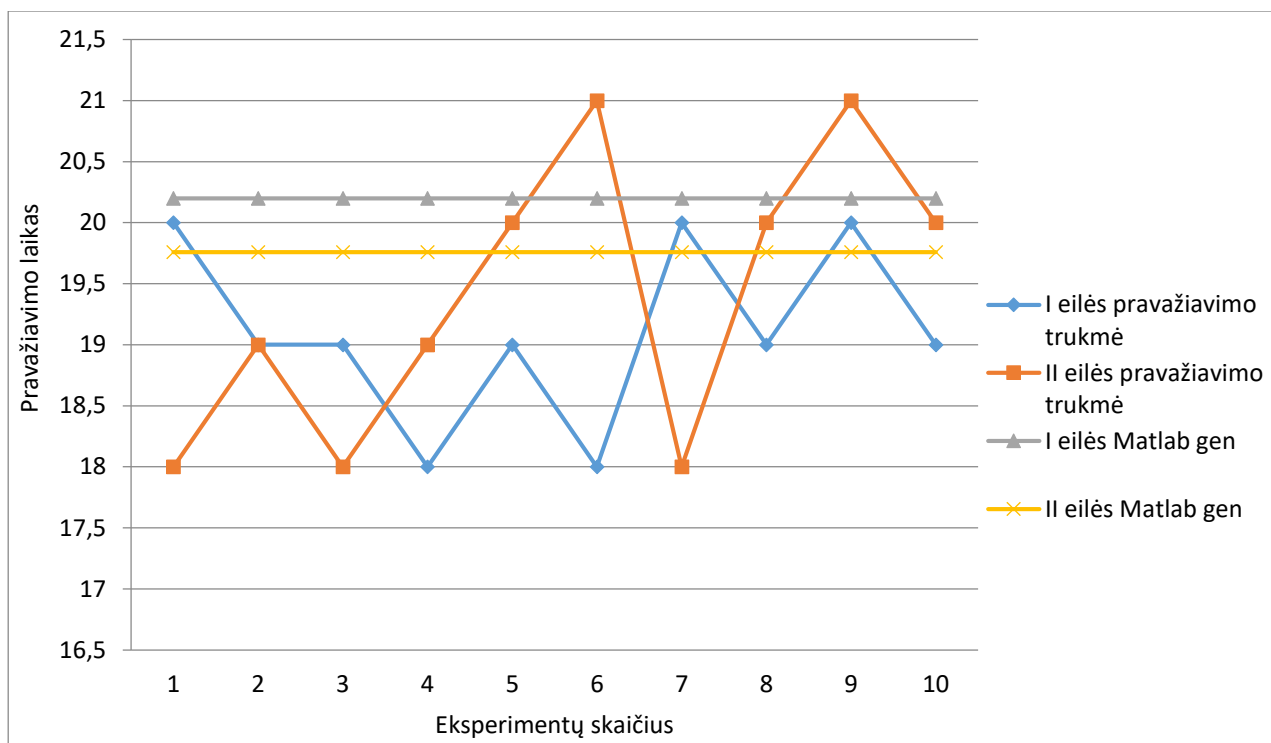
Pirmiausia generuojame su "Matlab" įrankiu automobilių pravažiavimo laiko trukmės reikšmes su "piko" metu surinktais ir eksperimentiškai apskaičiuotais duomenimis. Skaičiavimai buvo atliekami su pirmąja ir antrąja eismo juostomis vykstančių transporto priemonių srautais.



3.3 pav. Sulyginami teoriniai ir eksperimentiniai duomenys "piko" metu

Kaip pastebime iš 3.3 paveikslėlyje atvaizduotų duomenų, matematinio modelio apskaičiuoti rezultatai yra labai panašūs į realiomis eksperimentinėmis sąlygomis gautus rezultatus. Vadinasi, galime teigti, kad modelis yra adekvatus.

Taip pat eksperimentas buvo atliekamas ir su "nepiko" metu surinktais duomenimis. Įvedus šiuos duomenis į matematinį modelį, apskaičiuojame automobilio pravažiavimo laiką ir jį sulyginame su realiai surinktais duomenimis.

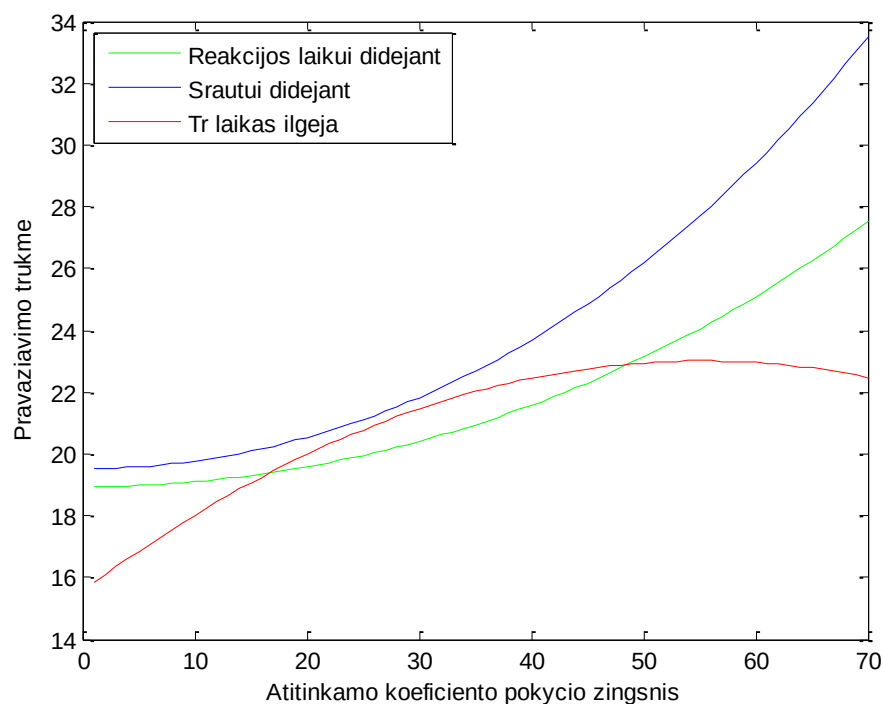


3.4 pav. Sulyginami teoriniai ir eksperimentiniai duomenys "nepiko" metu

Stebėdami rezultatus, taip pat kaip ir "piko" metu, galime teigti, kad matematinis modelis labai gerai apskaičiuoja automobilių pravažiavimo per gatvės atkarpą laikus, nustatytus eksperimentiniu būdu. Vadinasi matematinis modelis yra adekvatus ir galima bus jį toliau naudoti eismo srautų modeliavimui.

Ekperimentas buvo atliekamas matematiniame modelyje įvertinus ir nevertinus vairuotojų galimybę persirikiuoti. Pastebėta, kad įvertinus automobilio pesirikiavimo galimybę modelio rodmenys pakinta tik per 0,98%. Šis pokytis yra per mažas, kad vertinti kaip didelį įtaką darantį poveikį. Reikalinga kartoti ekperimentą prie didesnių gatvės automobilių srautų.

Dabar, pasinaudodami jau patikrintu matematiniu modeliu, galime stebėti kaip keisis automobilių pravažiavimo per tiriamą gatvės atkarpą laikus pasirenkant skirtingus šviesoforo ciklus. Bus stengiamasi patikrinti ar šviesoforo raudonos šviesos degimo laiko ilgėjimas, nekeičiant ciklo trukmės, tiesiškai veikia automobilių pravažiavimo laikus. Taip pat bus galima patikrinti ties kokia draudžiamo signalo degimo reikšmė yra pasiekama maksimali pravažiavimo laiko reikšmė. Taip pat keičiant automobilių srauto reikšmes galime patikrinti ar suplanuotas šviesoforo ciklas yra teisingas. Užfiksavę šviesoforo raudonos ir žalios spalvos reikšmes, taip pat galime stebėti kaip reaguoja važiavimo trukmė, per kelio atkarpą, pasikeitus vairuotojo reakcijos greičiui arba automobilių srautui.



3.5 pav. Tiriamos kelio atkarpos pravažiavimo laikas

Šią metodiką galima naudoti ir planuojant naujas sankryžas, pradedant jas valdyti šviesoforais ar modeliuojant naujus kelius, stebėti pravažiuojamumo parametrus. Taip pat modeliuojant vieną ar kelias sankryžas pasitelkus matematiniais modeliais galime nesunkiai sudaryti optimaliausio pralaidumo žaliuosius koridorius (žaliasias bangas) ir taip didinti gatvių ir sankryžų pralaidumus.

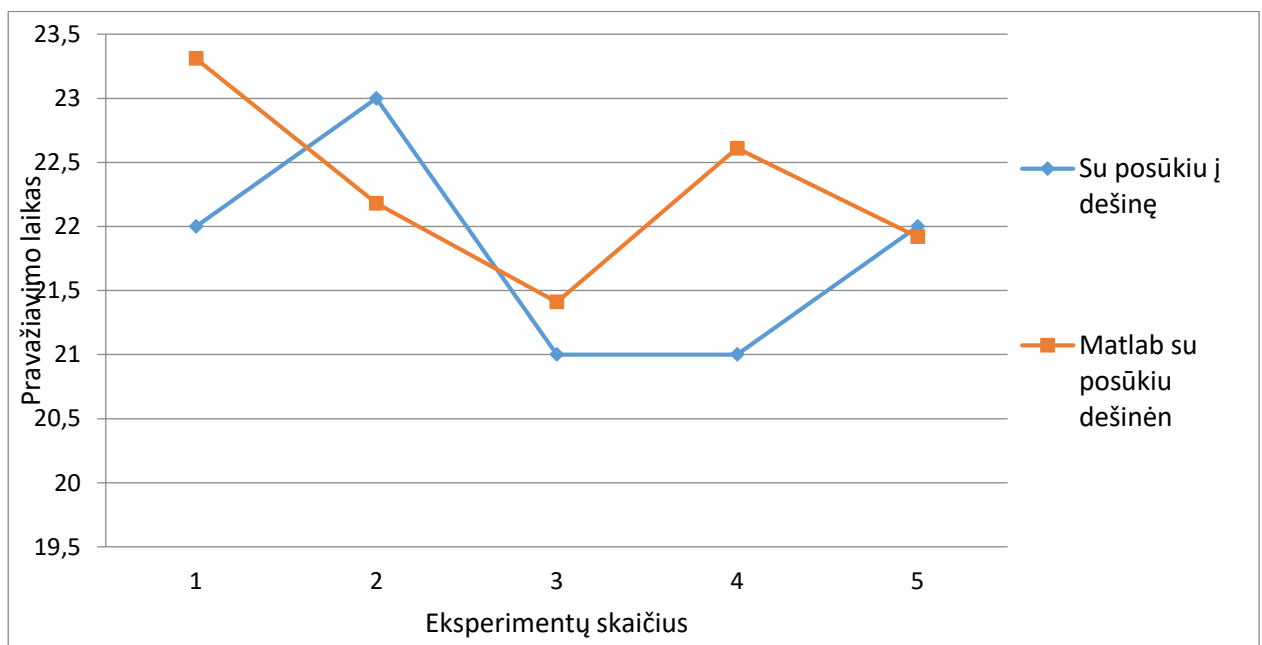
3.3 Autotransporto judėjimo atskiromis eismo juostomis modelio tyrimas

3.2 skyriuje atliktuose matavimuose nebuvo vertinamos galimybės, kad automobiliai gali migruoti tarp eismo juostų ar sankryžoje pristabdyti ir atlikti posūkį kairėn arba dešinėn, taip sukeldami nepatogumus už jų važiuojantiems vairuotojams. Kad tai įvertinti ir patikrinti buvo renkami duomenys iš filmuotos medžiagos ir skaičiuojama, koks procentas vairuotojų sankryžoje pasuko kairėn arba dešinėn ir koks procentas esimo dalyvių, važiuodami tiriamąją gatvę, atliko persirikiavimą tarp juostų, iš pirmos į antrą ir iš antros į pirmą.

3.3 lentelė. Ekperimentiniai duomenys

Automobilių skaičius								
	Pravažiavusių automobilių skaičius			Stebėjimo laikas	Persirikiavusių automobilių skaičius			
Didelis intensyvumas		I juosta	II juosta		Iš I juostos į II		Iš II juostos į I	
	vnt	98	51	10:14				
Sankryžoje manevravo	vnt	18	8		vnt	9	-	13
	Tikimybė	18%	15%		Tik.	9%	-	25%
Mažas intensyvumas								
	vnt	47	35	10:04				
Sankryžoje manevravo	vnt	12	7		vnt	6	-	9
	Tikimybė	26%	20%		Tik	12%	-	26%

3.3 lentelėje yra pažymėti eksperimentiniai duomenys, kurie buvo rasti ar išskaičiuoti stebint filmuotą, tiriamos gatvės atkarpos, medžiagą. Šiuos parametrus dabar sukelsime į antroje šio darbo dalyje aptartą automobilio pravažiavimo laiko apskaičiavimo modifikuotą modelį. Gautus laiko rezultatus lyginsime su realiai automobilių pravažiuoto kelio ir atlikto posūkio laikais. Šis eksperimentų suliginimas buvo atliktas tik su "piko" metu aprašytais duomenimis, nes prie mažų transporto priemonių srautų toks eksperimentas nebetenka prasmės.



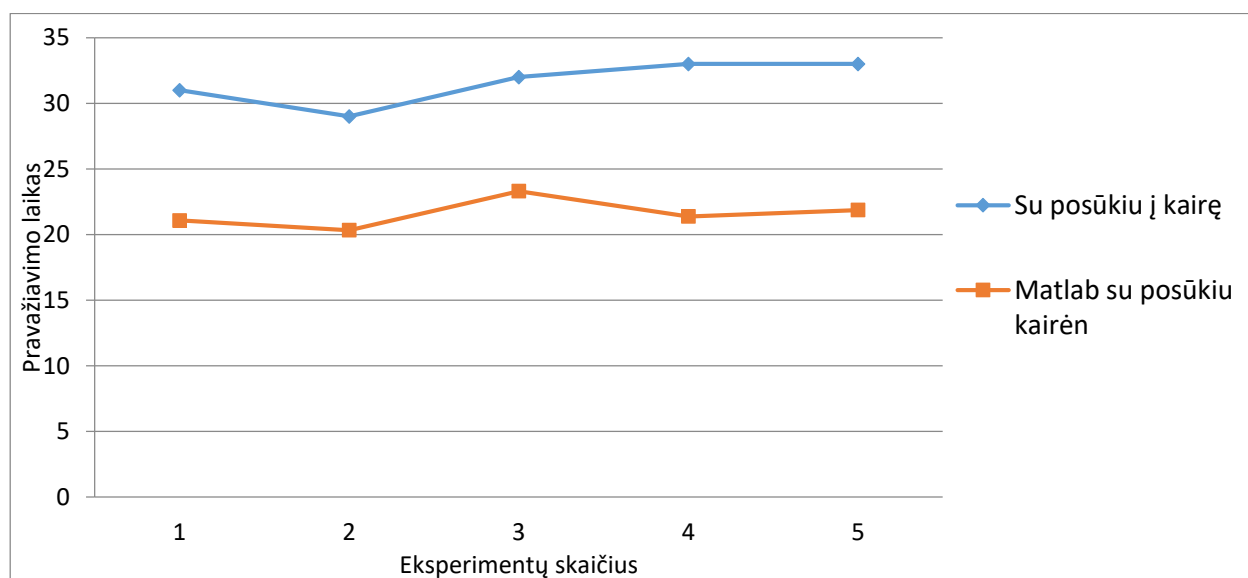
3.6 pav. Sulyginami teoriniai ir eksperimentiniai duomenys, kai automobilis suka į dešinę

Stebint linijinį grafiką 3.6 paveiksluke matome, kad realūs ir modeliuoti gatvės pravažiavimo laikai labai panašūs. Vadinasi modifikuotas matematinis modelis yra adekvatus ir jį galima taikyti kituose kelio atkarpų pravažiavimo laiko modeliavimuose. Jeigu prie kitų techninių sąlygų matematinis modelis būtų netikslus, tai nesunkiai jį galime suderinti manipuliuodami l^{sg} parametru.

Sekantis etapas patikrinti kaip matematinis modelis modeliuoja vairuotojų pravažiavimo laiką per stebimą gatvės atkarpą, kai yra poreikis, važiuojant antroje eismo juostoje, pasukti sankryžoje į kairę pusę.

Šiame etape matematinis modelio parametrai taip pat buvo pasirenkami prie "piko" metu pasireiškusių duomenų. Taip yra daroma, nes prie didesnio automobilių srauto gatvėje, atsitiktinio įvykio - posūkio kairėn, generuojamas laiko netiesiškumas yra daug geriau pastebimas, galima remtis 2.13 ir 2.14 paveikslukų sulyginimu.

Atliekant posūkį į kairę reikalinga įvertinti ne tik l^{sg} - prastovos koeficientą, bet ir priešpriešinio eismo abiejų eismo juostų automobilių srautų intensyvumus. Sudarinėjant matematinį modelį priešpriešinio eismo juostų intensyvumai buvo apskaičiuoti eksperimentiniu būdu. Jų dydžiai buvo artimi, tiriamos gatvės atkartpos automobilių srautams, važiuojantiems teisinga kryptimi.



3.7 pav. Sulyginami teoriniai ir eksperimentiniai duomenys, kai automobilis suka į kairę

Pagal 3.7 paveiksluko grafiką matome, jog neteisingai buvo įvertinti priešpriešinio eismo juostų įtakos svoriniai koeficientai, kurie yra pridedami prie raudonos šviesos degimo laiko. Reikalinga atlikti modelio derinimą pagal esamą situaciją.

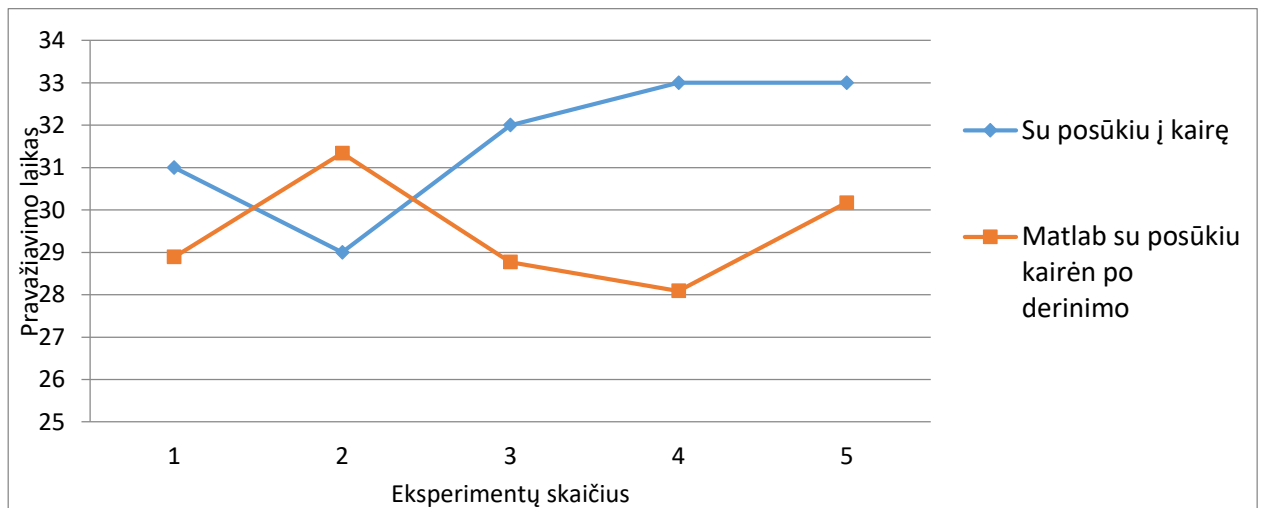
```

if at4<=1-pt4 %atsitiktinio manevravimo kairen generavimas
    lsg2=lsg2*0.5; %pristabdymas del posukio kairen
    %sk(i)=15; %atsitiktini ivykis
    Tr=Tr+(310*nij4)+(300*nij3); %stovejimo laiko prailgejimas pagal
priespries srauta
    Tz=Tz-(310*nij4)-(300*nij3); %vaziavimo laiko sutrumprjimas pagal
priespries srauta
    if at2<=1-pt2+(0.6*pt2); %persirikiavimo is 2 i 1 del sukimo i kaire
        nij1=(nmb+1)/Pr laik; %pirmos juostos papildnejas
        nij2=(nmb-1)/Pr laik; %antros juostos patustejimas
    end
else Tr=Tr1;
    Tz=Tz1;
end

```

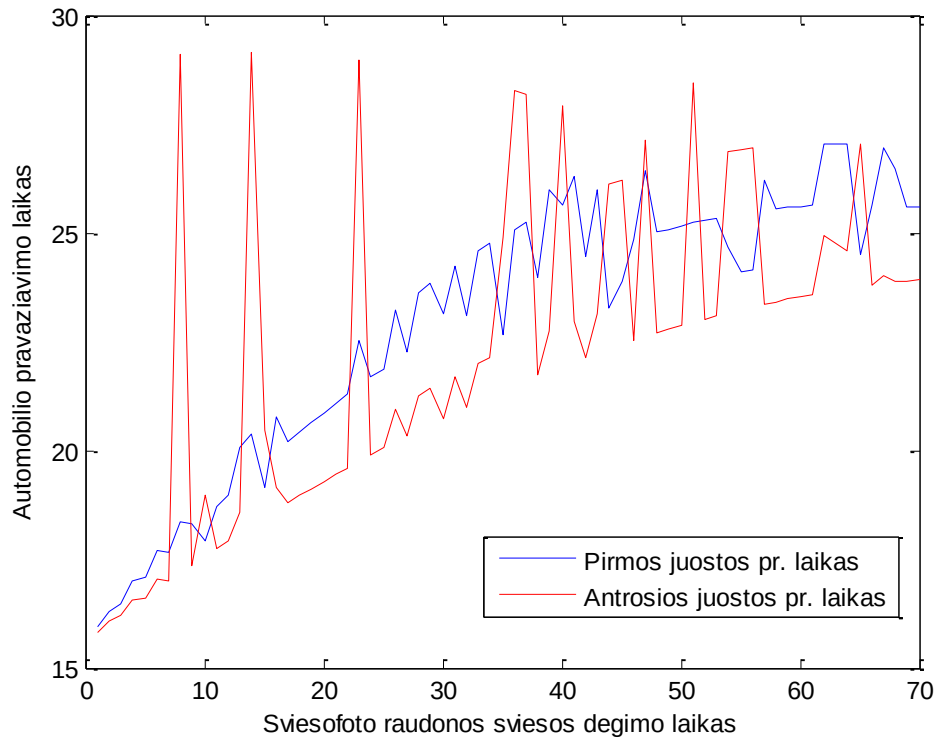
3.8 pav. "Matlab" programos tekstas

Eksperimentų būdu radus tinkamus priešpriešinio eismo svorinius koeficientus buvo atliekamas naujas automobilio pravažiavimo laiko generavimas ir lyginimas su filmuotoje medžiagoje išmatuotais realiais duomenimis.



3.9 pav. Sulyginami teoriniai ir eksperimentiniai duomenys, kai automobilis suka į kairę

Iš 3.9 paveikslo matome, kad suderintais priešpriešinio eismo svoriniais koeficientais ir suderintu l^{sg} -prastovos koeficientu matematinis modelis yra adekvatus ir jo generuojami per sankryžą pravažiuojančio automobilio laikai yra labai artimi eksperimentinėms reikšmėms.



3.10 pav. Galutinio matematinio modelio raudonos ir žalios spalvos ciklo modeliavimas

Visus apskaičiuotus duomenis įvertinus matematiniam modelyje, generuojame automobilio pravažiavimo laiką per tiriamą gatvės atkarpą. Pastebime, kad prie trumpesnių raudonos šviesos degimo reikšmių yra generuojamas gan geras pravažiavimo per sankryžą laikas, kai automobilis juda pirmąja eismo juosta. Trumpas raudonos šviesos degimo laikotarpis taip pat naudingas ir važiuojant antrąja eismo juosta, tik ne tuo atveju, kai reikalinga atlikti posūkį į kairę. Norint, kad posūkis kairėn būtų atliekamas efektyviau, reikalingas ilgesnis raudonos šviesos sankryžoje terminas, nes taip yra šiek tiek prailginamas eismo nebuvimo "langas", ir tokių atvejų gali pasitaikyti dažniau, nei vienas kartas per automobilio pravažiavimą per visą tiriamą gatvės atkarpą.

4. IŠVADOS

Ištyrus patikslintą gatvės atkarpos ir sankryžos automobilio pravažiavimo laiko matematinį modelį ir patikrinus jo adekvatumą eksperimentiškai, nustatyta, kad:

1. Modeliuojant gatvės ar gatvės atkarpos pravažiavimo laiką automobiliu, nepakanka vertinti vien šviesoforo ciklą, eismo intensyvumą ir vairuotojo reakcijos laiką. Būtina papildomai įvertinti tokias kelio ruožo ypatybes, kaip: eismo juostų kiekį, eismo dalyvių manevravimo tarp eilių tikimybė, kiekvienos transporto priemonės sukimo sankryžoje ar važiavimo tiesiai tikimybė.
2. Suderinus modelį, įvertinant eksperimentiniu būdu nustatytus eismo srauto krypčių svorio koeficientus, prastovos laiko koeficientą ir priešpriešinio eismo įtakos koeficientą, ir patikrinus eksperimentiniu būdu nustatyta, kad patikslintas modelis yra adekvatus.
3. Atlikus gatvės atkarpos ir už jos esančios sankryžos eismo srautų krypčių statistinius tyrimus, patikslintas matematinis modelis gali būti pritaikytas pravažiavimo trukmės optimizavimo sprendiniams ir sankryžos valdymui.
4. Modifikuotas matematinis modelis gali būti taikomas ir kitoms gatvių atkarpoms su panašiais tiriamaisiais koeficientais.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Eismo valdymo sistemos. Prieiga per <http://www.eismovaldymas.lt/produktai>;
2. Informacinė šviesoforų sistema. Prieiga per:
<http://www.sviesoforai.lt/index.php/eismovaldymosistema/transporto-jutikliai>;
3. „Žaliosios bangos“ Vilniaus gatvėse: ar jos egzistuoja ir kur jų ieškoti? Prieiga per:
<http://www.alfa.lt/straipsnis/50062131/zaliosios-bangos-vilniaus-gatvese-ar-jos-egzistuoja-ir-kur-ju-ieskoti>;
4. Informacinė šviesoforų sistema. Prieiga per:
<http://www.sviesoforai.lt/index.php/eismovaldymosistema/eismo-valdymo-metodai>;
5. Biham, Ofer; Middleton, A. Alan; Levine, Dov (1992). "Self-organization and a dynamical transition in traffic-flow models". Phys. Rev. A. American Physical
6. R. Wunderlich, C. Liu, I. Elhanany, I. Elhanany, T. Urbanik. "A Novel Signal-Scheduling Algorithm With Quality-of-Service Provisioning for an Isolated Intersection," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(3):536-547.
7. A. Ghavami, K. Kar, S. Ukkusuri. "Delay analysis of signal control policies for an isolated intersection," International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2012:397-402.
8. Ming-kang Shi, Hong Jiang, Song-huan Li, An Intelligent Traffic-Flow-Based Real-time Vehicles Scheduling Algorithm at Intersection, International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision Phuket, Thailand, 13-15th November 2016.
9. J. D. Little, "A proof for the queueing formula: $L = \lambda W$," Oper. Res., vol. 9, no. 3, pp. 383–387, May/Jun. 1961.
10. Daunoras, J., Bagdonas, V., Gargasas, V. System for Search of Optimal Transport Routes. Electronic and Electrical Engineering . Kaunas: Technologija, 2008. No. 3(83), p. 63-66.
11. Žemaitis, D. Sudėtingų sankryžų funkcionavimo įvertinimas (interaktyvus) Vilnius 2005. (Žiūrėta 2017 m. balandžio 26 d.) http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2005~D_20050620_142856-86102/DS.005.0.02.ETD
12. Burinskienė M., Paliulis G.M. Miesto tvarka. Vilnius: Technika, 2011. 476p.
13. Paliulis G.M. Eismo inžinerija. Vilnius: Technika, 2007. 80p.
14. Jürgen Branke, Peter Goldate, Holger Prothmann. Actuated Traffic Signal Optimization Using Evolutionary Algorithms. Institute AIFB, Univ. Karlsruhe.

15. Iqbal A., Zahin A., Neuro-FuzzyBasedAdaptiveTrafficFlowControlSystem. Military institute of science and technology. 2012 International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems
16. Angus P. Davol. Modeling of Traffic Signal Control and Transit Signal Priority Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory. Master thesis, Brown University, 2001
17. Edvinas Bernotas. Finansinių ir fizinių procesų prognozavimo modelių tyrimas ir taikymas, Informatikos fakultetas. Magistrinis darbas.

PRIEDAI

Matlab programos tekstas

```
%autotransporto judejimo atskiromis eismo juostomis modelio tyrimas

%Linas Bagdanavicius

clear all

at1=0;          %atsitiktinio ivykio generavimas persirikiuoti is 1 i 2
at2=0;          %atsitiktinio ivykio generavimas persirikiuoti is 2 i 1
at3=0;          %atsitiktinio ivykio generavimas posukiui desinen
at4=0;          %atsitiktinio ivykio generavimas posukiui kairen
pt1=0.901;      %nepersirikiavimo tikimybe is 1 i 2
pt2=0.744;      %nepersirikiavimo tikimybe is 2 i 1
pt3=0.818;      %nepasukimo desinen tikimybe
pt4=0.846;      %nepasukimo kairen tikimybe
tr=1.2;         %s reakcijos laikas
nij1=0.159;     %aut/s automobiliu srautas pirmoje eileje
nij2=0.083;     %aut/s automobiliu srautas antroje eileje
nij3=0.159;     %automobiliu srautas priespriesineje gatveje 1 eileje
nij4=0.083;     %automobiliu srautas priespriesineje gatveje 2 eileje
nij1p=nij1;     %automobiliu srauto pagalbinis koef.
nij2p=nij2;     %automobiliu srauto pagalbinis koef.
lij=216;        %m atkarpos ilgis
vij=50/3.6;     %m/s automobilio greitis
a=1.9;          %m/s^2 greitimo ir letejimo pagreitis

%automobilio pravaziavimo laiko radimas
Tr=26;%s Raudonos sviesos degimo laikas
Tz=40;%s zalios sviesos degimo laikas
nij=nij1;%pradinis srautas laiko apskaiciavimui
tsg=vij/a; %laikas gaistamas isibegejant nuo sustojimo arba stabdant po nuo vmax
lsg=(a*(tsg*tsg))/2; %vieno sviesoforo signalo metu iveiktas kelio ruozas

A1=((1+(tr*nij))*Tr)/(Tr+Tz);
A2=lij/vij;
A3=(2*(1+(tr*nij))*Tr)/(Tr+Tz);
A4=vij/a;
A5=(tr*nij*Tz*Tr)/(Tr+Tz);
A6=((1+(tr*nij))+((tr*nij)^2)*(Tr^2))/(2*(Tr+Tz));
A7=((1+(tr*nij))*Tr)/(Tr+Tz);
A8=(lij-(2*lsg))/vij;
Pr laik=((1-A1)*A2)+(A3*A4)+A5+A6+(A7*A8); %automobilio pravaziavimo laikas

nmb=Pr laik*nij; %automobiliu skaicius atkarpoje

tsg=vij/a;
lsg=a*tsg*tsg/2;
lsg1=lsg; %pirmoji eile
lsg2=lsg; %antroji eile

for i=1:70
    Tr=i;
    Tz=71-Tr;
    at1=rand;          %atsitiktinio ivykio generavimas persirikiuoti is 1 i 2
```

```

at2=rand;          %atsitiktinio ivykio generavimas persirikiuoti is 2 i 1
at3=rand;          %atsitiktinio ivykio generavimas posukiui desinen
at4=rand;          %atsitiktinio ivykio generavimas posukiui kairen
lsg1=lsg;          %parametro nunulinimas
lsg2=lsg;          %parametro nunulinimas
nij1=nij1p;        %parametro nunulinimas
nij2=nij2p;        %parametro nunulinimas
Tr1=Tr;            %parametro nunulinimas
Tz1=Tz;            %parametro nunulinimas

    if at4<=1-pt4 %atsitiktinio manevravimo kairen generavimas
        lsg2=lsg2*0.5; %pristabdymas del posukio kairen
        %sk(i)=15; %atsitiktini ivykis
        Tr=Tr+(310*nij4)+(300*nij3); %stovejimo laiko prailgejimas pagal
priespries srauta
        Tz=Tz-(310*nij4)-(300*nij3); %vaziavimo laiko sutrumprjimas pagal
priespries srauta
        if at2<=1-pt2+(0.6*pt2); %persirikiavimo is 2 i 1 del sukimo i kaire
            nij1=(nmb+1)/Pr laik; %pirmos juostos papilnejimas
            nij2=(nmb-1)/Pr laik; %antros juostos patustejimas
        end
    else Tr=Tr1;
        Tz=Tz1;
    end

    if at3<=1-pt3 %atsitiktinio manevravimo desinen generavimas
        lsg1=lsg1*0.9; %pristabdymas del posukio desinen
        if at2<=1-pt2+(0.4*pt2); %persirikiavimo is 2 i 1 del sukimo i kaire
            nij1=(nmb-1)/Pr laik; %pirmos juostos patustejimas
            nij2=(nmb+1)/Pr laik; %antros juostos papilnejimas
        end
    end
    if at1<=1-pt1 %atsitiktinio persirikiavimo generavimas is 1 i 2
        nij1=(nmb-1)/Pr laik; %is pirmos i antra
        nij2=(nmb+1)/Pr laik; %is antros i pirma
    end

    if at2<=1-pt2 %atsitiktinio persirikiavimo generavimas is 2 i 1
        nij1=(nmb+1)/Pr laik; %is antros i pirma
        nij2=(nmb-1)/Pr laik; %is pirmos i antra
    end

    %Pirmos eiles pravaziavimo trukme

A1=((1+(tr*nij1))*Tr1)/(Tr1+Tz1);
A2=lij/vij;
A3=(2*(1+(tr*nij1))*Tr1)/(Tr1+Tz1);
A4=vij/a;
A5=(tr*nij1*Tz1*Tr1)/(Tr1+Tz1);
A6=((1+(tr*nij1))+((tr*nij1)^2)*(Tr1^2)))/(2*(Tr1+Tz1));
A7=((1+(tr*nij1))*Tr1)/(Tr1+Tz1);
A8=(lij-(2*lsg1))/vij;
Mij1(i)=(1-A1)*A2+(A3*A4)+A5+A6+(A7*A8);

```



```

    %Antrosios eiles pravaziavimo trukme

A1=((1+(tr*nij2))*Tr)/(Tr+Tz);
A2=lij/vij;
A3=(2*(1+(tr*nij2))*Tr)/(Tr+Tz);
A4=vij/a;
A5=(tr*nij2*Tz*Tr)/(Tr+Tz);
A6=((1+(tr*nij2))+((tr*nij2)^2)*(Tr^2))/(2*(Tr+Tz));
A7=((1+(tr*nij2))*Tr)/(Tr+Tz);
A8=(lij-(2*lsq2))/vij;
Mij2(i)=(1-A1)*A2+(A3*A4)+A5+A6+(A7*A8);
end

plot(Mij1);
hold on
plot(Mij2,'r');
hold off
legend('Pirmos juostos pr. laikas','Antrosios juostos pr. laikas')

```