



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

Algimantas Danilevičius

GATVIŲ TRANSPORTO SRAUTŲ PARAMETRŲ TYRIMAS
STUDY OF STREET TRAFFIC FLOW PARAMETERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas **621E20003**

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. Marijonas Bogdevičius

(Vardas, pavardė)

(Data)

Algimantas Danilevičius

GATVIŲ TRANSPORTO SRAUTŲ PARAMETRŲ TYRIMAS
STUDY OF STREET TRAFFIC FLOW PARAMETERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas **621E20003**

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. Raimundas Jurevičius
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. A. Veličiūnė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

Sausumos transporto inžinerija studijų kryptis

Transporto inžinerija studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. Marijonas Bogdevičius
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei)Algimantui Danilevičiui.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: .. GATVIŲ TRANSPORTO SRAUTŲ PARAMETRŲ TYRIMAS.....

patvirtinta 2013 m. Lapkričio 22 d. dekanų potvarkiu Nr. 505ti

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015-06-01.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti mokslinių darbų analizę. Susipažinti su duomenų rinkimo ir apdorojimo metodais. Ištirti transporto srautų parametrus ir nustatyti sąryšį tarp teorinių transporto srautų modelių ir eksperimentinių parametrų gatvių tinkle. Pateikti išvadą apie fundamentalių kreivių naudojamą tiriant ir modeliuojant automobilių transporto srautus.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

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

Vadovas

(Parašas)

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

Užduotį gavau

(Parašas)

Algimantas Danilevičius
(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Transporto inžinerijos fakultetas Transporto technologinių įrenginių katedra	ISBN Egz. sk. Data-.....-.....	ISSN
Antrosios pakopos studijų Transporto inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Gatvių transporto srautų parametrų tyrimas Autorius Algimantas Danilevičius Vadovas dr. Raimundas Junevičius		
Kalba: lietuvių		
Anotacija Baigiamajame magistro darbe analizuojami eismo srautų parametrai, įskaitant fundamentalias kreives, matavimo metodus ir jų pritaikymą. Pirma darbo dalis suteikia informacijos apie eismo duomenų rinkimą ir analizę, eismo srautų modeliavimo principus. Antra darbo dalis suteikia informacijos apie eismo duomenų surinkimą ir tyrimą, naudojant pirmoje dalyje nustatytus metodus. Kaip rezultatai, modeliuojant eismo srautus, pateiktos gautos pasiskirstymo funkcijos ir pasiūlyti tinkamiausi fundamentalių kreivių tipai. Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, transporto srautų parametrų tyrimų metodų apžvalga, eksperimentiniai tyrimai, tyrimo rezultatų apibendrinimas, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas. Darbo apimtis – 57 p. teksto be priedų, 38 iliustr., 11 lent., 38 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.		
Prasminiai žodžiai: eismo srautai, fundamentalias kreivės, automobilių sekimo modelis, pasiskirstymo histograma, skirstinio kreivė.		

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Transport Engineering Department of Transport Technological Equipment	ISBN _____ ISSN _____ Copies No. Date-.....-.....
---	--

Master Degree Studies Transport Engineering study programme Master Graduation Thesis Title Study of Street Traffic Flow Parameters Author Algimantas Danilevičius Academic supervisor Dr Raimundas Junevičius	Thesis language: Lithuanian
--	--

Annotation Master thesis focuses on traffic flow parameters analysis, including fundamental diagrams, measuring methods and their applications. First part of the thesis gives information about traffic data collection and analysis, principles of traffic flow modeling. Second part of the thesis gives information about traffic data assembly, and analysis-using methods derived in first part of the thesis. As the results traffic model parameters, traffic distribution functions derived and suggestion what type of fundamental diagrams to use to model traffic flows presented. Structure: introduction, traffic flow parameters test methods review, summary of research results, experimental research, conclusions and suggestions, references. Thesis consist of: 57 p. text without appendixes, 38 pictures, 11 tables, 38 bibliographical entries. Appendixes included.
--

Keywords: traffic flow, fundamental diagram, car-following model, the distribution histogram, distribution curve.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei
gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012
m. m.
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Algimantas Danilevičius, 20094524

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Transporto inžinerijos studijų programa, TIVfm-13 grupė

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2015 _____ birželio 5 _____ d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema _____
tyrimas _____

patvirtintas 2013 m. _____ Lapkričio 22 _____ d. dekanų potvarkiu Nr. _____ 505ti _____, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: _____

Mano baigiamojo darbo vadovas _____ dr. Raimundas Junevičius _____

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų
piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Algimantas

(Parašas)

Algimantas Danilevičius

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
ĮVADAS	11
1. TRANSPORTO SRAUTŲ PARAMETRŲ TYRIMŲ METODŲ APŽVALGA.....	12
1.1. Eismo srautų matavimo metodai.....	12
1.1.1. Transporto srautų matavimo technologijos	12
1.1.2. Transporto srautų tyrimo programinė įranga.....	15
1.2. Fundamentalios transporto srautų kreivės	18
1.2.1. Fundamentalių kreivių sudarymo metodai	20
1.2.2. Fundamentalios kreivės naudojimo sritys	24
1.3. Matematiniai metodai lygčių koeficientams nustatyti	25
1.4. Automobilių sekimo modeliai	28
2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	35
2.1. Eismo srautų matavimų metodika.....	35
2.2. Fundamentalių kreivių lygčių koeficientų nustatymas naudojant eksperimentinių tyrimų rezultatus.....	41
2.3. Pasiskirstymo histogramų sudarymas ir skirstinio kreivių koeficientų nustatymas naudojant eksperimentinių tyrimų rezultatus	44
3. TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS.....	48
3.1. Teorinių greičio ir intensyvumo duomenų imties generavimas.....	48
3.2. Eksperimentinių tyrimų rezultatų panaudojimas sekimo paskui lyderį modelyje	50
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	54
LITERATŪRA	55
PRIEDAI	58

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Vazdo įrašų ir nuotraukų apdorojimo paketo blokai	16
1.2 pav. <i>Paramics</i> modeliavimo procesas	17
1.3 pav. Intensyvumo-koncentracijos priklausomybės kreivė.....	19
1.4 pav. Greičio-intensyvumo priklausomybės kreivė	20
1.5 pav. Greenshieldo eismo srautų modelio fundamentinės kreivės	21
1.6 pav. Van Aerde eismo srautų modelio fundamentinės kreivės	22
1.7 pav. Fundamentalios kreivės, kai $k - q$ kreivė trikampės formos.....	23
1.8 pav. Aproximavimas mažiausių kvadratų metodu	25
1.9 pav. Aproximavimas suminiu mažiausių kvadratų metodu	26
1.10 pav. Aproximavimas adaptyviuoju suminiu mažiausių kvadratų metodu	26
1.11 pav. Automobilio judėjimo paskui kitą automobilį modelis	28
1.12 pav. Sekimo paskui lyderį modelio parametrai	28
1.13 pav. Sekančiojo automobilio greitis	30
1.14 pav. Nuvažiuotas kelias lyderio ir jį sekančio automobilių.....	31
1.15 pav. Atstumas tarp lyderio ir jį sekančio automobilių.....	31
2.1 pav. Vidinio korpuso padėtis	36
2.2 pav. Kampo nustatymas į eismo kryptį	36
2.3 pav. Skaitiklio stebėjimo plotas iš šono.....	37
2.4 pav. Skaitiklio stebėjimo plotas iš viršaus.....	38
2.5 pav. Kontroliniai diodiniai indikatoriai	39
2.6 pav. Prietaiso nustatymai.....	40
2.7 pav. „TC“ meniu ir pasirinktys.....	40
2.8 pav. Eismo srautų matavimas, Vilnius	41
2.9 pav. Fundamentalios transporto kreivės su visais <i>Mokslininkų g.</i> išmatuotais duomenimis.....	42
2.10 pav. Viso eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalios kreivės.....	43
2.11 pav. Visi eksperimentiniai intensyvumo duomenys Bajorų g. – Centras kryptimi	45
2.12 pav. Visų eksperimentinių intensyvumo duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas	45
2.13 pav. Visi eksperimentiniai greičio duomenys Bajorų g. – Centras kryptimi.....	46
2.14 pav. Visų eksperimentinių greičio duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas	46

3.1 pav. Sugeneruoti teoriniai greičio duomenys	48
3.2 pav. Sugeneruoti teoriniai intensyvumo duomenys panaudojant skirstinio kreivės koeficientus.....	48
3.3 pav. Visų eksperimentinių ir sugeneruotų greičio duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas.....	49
3.4 pav. Visų eksperimentinių ir sugeneruotų intensyvumo duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas.....	49
3.5 pav. Automobilio sekimo paskui lyderį schema kelio ruože.	50
3.6 pav. Koncentracijos gatvėje įtaka.....	51
3.7 pav. Automobilių nuvažiuoto kelio priklausomybė nuo laiko.....	52
3.8 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo laiko.....	52
3.9 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio	53

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Transporto srautų matavimo technologijų privalumai ir trūkumai	12
1.2 lentelė. Transporto srautų matavimo technologijų galimybės.....	14
1.3 lentelė. Transporto srautų matavimo technologijų jautrumas aplinkai.....	14
1.4 lentelė. „Traffic counter TC25“ techniniai parametrai	15
1.5 lentelė. Gippso modelio rekomenduojamos parametrų ribos	29
1.6 lentelė. Sumanaus vairuotojo modelio rekomenduojamos parametrų ribos.....	32
1.7 lentelė. Helly linijinio modelio rekomenduojamos parametrų ribos	33
1.8 lentelė. Krausso modelio rekomenduojamos parametrų ribos.....	34
2.1 lentelė. Koregavimo kampas atsižvelgiant į montavimo aukštį ir atstumą nuo kelio juostos	37
2.2 lentelė. Fundamentinių kreivių determinacijos koeficientai.....	44
2.3 lentelė. Skirstinio kreivių koeficientų reikšmės	47

IVADAS

Temos aktualumas. Transporto srautai aprašomi įvairiais matematiniais metodais, tačiau sukurti matematiniai metodai turi būti kalibruojami ir pritaikomi konkrečiai gatvių sistemai. Transporto srautų modeliavimas sėkmingas gali būti tik tada, kai modeliavimui naudojami patikimi pradiniai duomenys.

Praktinė reikšmė. Ištyrus ir įvertinus gatvių transporto srautų parametrus, galima gauti teorinių transporto srautų modelių kintamųjų reikšmes ir taip teorinius modelius susieti su konkrečiomis gatvėmis. Tikslus ir labiau realias sąlygas atitinkantis modelis leistų sumažinti ar visiškai panaikinti transporto spūstis ir dėl to trumpėtų automobilių prastovos gatvėse, mažėtų išmetamų deginių kiekis ir triukšmas.

Tikslas. Iširti gatvių transporto srautų parametrus ir pateikti pasiūlymus dėl jų panaudojimo modeliuojant eismo srautus.

Uždaviniai:

- taikyti fundamentaliųjų transporto kreivių sudarymo metodus;
- apibendrinti eismo srautų matavimo metodus;
- surinkti informaciją apie gatvių transporto srautus transporto priemonių klasifikatoriumi *Traffic counter TC 25*;
- taikyti matematinius metodus ir naudojant eksperimentinių tyrimų duomenis nustatyti fundamentinių transporto lygčių koeficientus;
- atlikti gatvių eismo srauto modeliavimą klasikiniu sekimo paskui lyderį eismo srautų modeliu;
- eismo srautus modeliuoti taikant sukauptus eksperimentinius duomenis ir nustatytus fundamentaliųjų lygčių koeficientus.

1. TRANSPORTO SRAUTŲ PARAMETRŲ TYRIMŲ METODŲ APŽVALGA

1.1. EISMO SRAUTŲ MATAVIMO METODAI

1.1.1. Transporto srautų matavimo technologijos

Atsižvelgiant į įrenginio tipą, matuojamus parametrus ir našumą esant nepalankiam orui, kintamam apšvietimui ir permainingiems eismo srautams, 1.1 lentelėje palygintos stipriausios ir silpniausios dabartinių jutiklių technologijos. Dauguma antžeminių jutiklių yra kompaktiški ir montuojami virš ar šalia kelio, todėl yra gana paprastas jų montavimas ir priežiūra. Kai kurių jutiklių montavimo ir priežiūros darbai gali būti atliekami tik apribojus arba visiškai uždarius automobilių eismą siekiant montuotojų ir vairuotojų saugumo (Klein 2001).

1.1 lentelė. Transporto srautų matavimo technologijų privalumai ir trūkumai (Mimbela 2000)

Technologija	Privalumai	Trūkumai
Indukcinės kilpos	• Lankstus dizainas įvairiam pritaikymui. • Išstobulinta, gerai suprantama technologija. • Didelė patirties bazė. • Suteikia pagrindinius eismo parametrus (pvz., intensyvumas, greitis, atstumas tarp transporto priemonių). • Nejautrus nepalankiam orui (pvz., lietai, rūkui ir sniegui). • Užtikrina geriausią duomenų tikslumą, palyginti su kitais dažniausiai naudojamais būdais. • Bendras standartas intensyvumo duomenims gauti. • Transporto priemonių klasifikavimo galimybė.	• Įrengiant reikalingas kelio dangos pjūvis. • Netinkamas montavimas sumažina kelio dangos tarnavimo laiką. • Atliekant montavimo ir priežiūros darbus reikalingas eismo uždarymas. • Videlės kilpas yra veikiamos eismo ir temperatūros. • Reikalingos daugialypės kilpos stebint transporto priemonių padėtį. • Galimi netikslumai nustatant transporto priemonių klases.
Magnetometras	• Mažiau jautrus eismo apkrovoms nei indukcinės kilpos. • Nejautrus nepalankiam orui (pvz., lietai, rūkui ir sniegui). • Kai kurie modeliai gali perduoti duomenis bevielio ryšio radijo bangomis.	• Įrengiant reikalingas kelio dangos pjūvis. • Netinkamas montavimas sumažina kelio dangos tarnavimo laiką. • Atliekant montavimo ir priežiūros darbus reikalingas eismo uždarymas. • Modeliams su mažomis aptikimo zonomis reikia sudėtinių vienetų pilnam eismo juostų nustatymui.
Magnetinis	• Gali būti naudojamas, kai neįmanoma naudoti indukcinės kilpos (pvz., tiltuose). • Kai kurie modeliai yra įrengiami po važiuojamąją kelio dalimi be dangos pjūvio. Tačiau reikalingas gręžimas po kelio danga. • Nejautrus nepalankiam orui (pvz., lietai, rūkui ir sniegui). • Mažiau jautrus eismo apkrovoms nei indukcinės kilpos.	• Įrengiant reikalingas kelio dangos pjūvis arba gręžimas po kelio danga. • Negali aptikti sustojusios transporto priemonės, nebent naudojamas specialus jutiklių išdėstymas ir signalo apdorojimo programinė įranga.

1.1 lentelės pabaiga

Technologija	Privalumai	Trūkumai
Mikrobangų radaras	- Paprastai nejautrus nepalankiam orui esant santykinai trumpiems intervalams. - Tiesioginis greičio matavimas. - Veikia su keliomis eismo juostomis.	Nenutrūkstančių bangų Doplerio jutikliai gali neaptikti sustojusių transporto priemonių.
Aktyvus infraraudonųjų spindulių (lazerinis) radaras	- Siunčia keletą spindulių, kad tiksliai nustatytų transporto priemonės padėtį, greitį ir klasę. - Veikia su keliomis eismo juostomis.	- Gali neveikti rūko metu, kai matomumas mažesnis nei 6 m ar esant pūgai. - Atliekant montavimo ir priežiūros darbus, įskaitant periodišką objektyvo valymą, reikalingas eismo uždarymas.
Pasyvus infraraudonųjų spindulių	Išdėstyti keliuose zonose pasyvieji jutikliai matuoja greitį.	- Pasyvus jutiklio jautrumas gali sumažėti esant smarkiame lietaui, snigui ir tirštam rūkui. - Kai kurie modeliai nerekomenduojami padėties nustatymui.
Ultragarso	- Veikia su keliomis eismo juostomis. - Per aukštos transporto priemonės aptikimo galimybė. - Didelė Japonijos patirties bazė.	- Aplinkos sąlygos, tokios kaip, temperatūros kaita ir stiprus vėjas gali turėti įtakos veikimui. Kai kuriuose modeliuose yra temperatūros išlyginimo funkcija. - Esant dideliame intensyvumui gali būti netikslūs duomenys.
Akustinis	- Pasyvus aptikimas. - Nejautrus krituliams. - Kai kurie modeliai veikia su keliomis eismo juostomis.	- Žema temperatūra gali turėti įtakos transporto priemonių skaičiavimo tikslumui. - Specifiniai modeliai nerekomenduojami lėtame ir nuolat sustojančių ir vėl pradedančių judėti transporto priemonių eisme.
Vaizdo apdorojimo procesorius	- Stebi kelias eismo juostas ir keletą nustatytų zonų juostų. - Lengva pridėti ir keisti aptikimo zonas. - Didelis pasiekiamų duomenų rinkinys. - Renkama informacija vienoje stebėjimo vietoje gali būti sujungta su kita.	- Kai kamera pritvirtinta virš kelio, atliekant montavimo ir priežiūros darbus, įskaitant periodišką objektyvo valymą, reikalingas eismo uždarymas, (eismas gali būti neuždarytas, kai kamera pritvirtinta šalia kelio). - Turi įtakos nepalankus oras: rūkas, lietus, sniegas ir transporto priemonių šešėliai; transporto priemonių projekcija į gretimą eismo juostą; užtvaros; dienos į naktį perėjimas; transporto priemonės ir kelio dangos kontrastas; vanduo, druskų nešvarumai, varvekliai ir voratinkliai ant objektyvo. - Patikimam signalo gavimui naktį reikalingas gatvių apšvietimas. - Reikalingas 9 – 15 m kameros montavimo aukštis (šoninio montavimo konfigūracijos) optimaliam padėties ir greičio nustatymui. - Kai kurie modeliai jautrūs stipriam vėjui ar vibracijoms. - Didelė įrangos kaina.

Duomenys, kuriuos galima gauti iš kiekvieno jutiklio technologijos veikimo zonoje ir ryšio pralaidumo galimybės pateikta 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Transporto srautų matavimo technologijų galimybės (Bellucci 2005)

Jutiklių technologija	Transporto priemonių skaičiavimas	Atstumas tarp transporto priemonių	Judėjimo kryptis	Transporto priemonių padėtis	Greitis	Išvesties duomenys	Klasifikacija	Kelių eismo juostų, kelių aptikimo zonų duomenys	Perdavimo dažnis
Indukcinės kilpos	+	+	+	+	+ ¹	+	+ ²		Nuo mažo iki vidutinio
Magnetometras	+	+	+	+	+ ¹	+			Mažas
Magnetinis	+	+	+	+ ³	+ ¹	+			Mažas
Mikrobangų radaras	+	+	+	+ ⁴	+	+ ⁴	+ ⁴	+ ⁴	Vidutiniškas
Aktyvus infraraudonųjų spindulių (lazerinis radaras)	+	+	+	+	+ ⁵	+	+	+	Nuo mažo iki vidutinio
Pasyvus infraraudonųjų spindulių	+	+	+	+	+ ⁵	+			Nuo mažo iki vidutinio
Ultragarsas	+	+	+	+		+			Mažas
Akustinis	+	+	+	+	+	+		+ ⁶	Nuo mažo iki vidutinio
Vaizdo apdorojimo procesorius	+	+	+	+	+	+	+	+	Nuo mažo iki aukšto ⁷
1) greitis gali būti matuojamas naudojant du jutiklius ir žinant atstumą tarp jų arba vieną jutiklį ir žinant transporto priemonės ilgį.									
2) su specialiu elektroniniu įrenginiu ir programine įranga, kad priskirtų klasifikaciją.									
3) su specialiu jutiklių išdėstymu ir signalo apdorojimo programine įranga.									
4) su mikrobangų jutikliais, kurie perduoda tinkamą signalą ir turi atitinkamą signalų apdorojimą.									
5) Su multisusekimo zonos aktyvaus ir pasyvaus režimo jutikliais.									
6) su modeliais, kurių sudėtyje yra spindulio formavimas ir signalo apdorojimas.									
7) Priklauso nuo to ar didelis srautas neapdorotų duomenų ar mažesnis srautas apdorotų duomenų ar įrašai/nuotraukos perduodami į eismo pranešimų kanalą.									

Jautrumas aplinkos pokyčiams buvo vertinamas pagal kokybinę skalę nuo „labai mažas jautrumas“ (○) iki „labai didelis jautrumas“ (●●●●●) per tarpines vertes, išreikštas 0,5 balo tikslumu (○=0,5; ●=1).

1.3 lentelė. Transporto srautų matavimo technologijų jautrumas aplinkai (Bellucci 2010)

	Atmosfera	Apšvietimas	Eismas	Lietus
Indukcinės kilpos	●	○	○	●
Lazerinis skaitytuvas	●	●○	●	●
Vaizdo apdorojimo procesorius	●	●●●●●		●

Traffic counter TC25

TC25 (srauto skaitiklis) mikrobangų įrenginys naudojamas eismui skaičiuoti ir transporto priemonėms klasifikuoti su įmontuotu Doplerio radaro greičio jutikliu. Vidinėje atmintyje gali saugoti iki 300 000 duomenų apie pravažiavusių transporto priemonių skaičių, greitį, ilgį, judėjimo kryptį ir saugų atstumą iki ankstesnės transporto priemonės.

Saugomi duomenys gali būti perduodami į kompiuterį tiesiogiai jį prijungus per RS232 jungtį. Šie duomenys gali būti statistiniu metodu apdorojami su priedais, skirtais „MS Excel“, ir vizualizuoti lentelėmis ar diagramomis.

Modeliuose su įmontuotais modemais duomenys gali būti persiunčiami nuotoliniu būdu per GPRS / EDGE tinklą. Taip pat gali būti naudojamas Bluetooth ryšys. Prietaisas yra sumontuotas tvirtame ir oro sąlygoms atspariame korpuse. Prietaiso baterijos pakanka maždaug trims savaitėms.

1.4 lentelė. Traffic counter TC25 techniniai parametrai

Transporto priemonių klasifikacija	Iki 10 greičio intervalų (konfigūruojama su programine įranga) Iki 6 transporto priemonių grupių (konfigūruojama su programine įranga)
Veikimo dažnis	24,125 GHz / 5 mW, Doplerio efektas
Greičio diapazonas	Nuo 10 iki 250 km/h
Ryšio prievadai	RS232 tiesiogiai į kompiuterį per DB9 jungtį Bluetooth GPRS / EDGE nuotoliniu duomenų perdavimu
Montavimas	Ant pakelės stulpo nuo 2 iki 3 metrų aukštyje, uždarais tvirtinimo spaustuvais
Duomenų saugojimas	Iki 300 000 transporto priemonių
Maitinimo įtampa	12V baterija leidžia iki trijų savaičių savarankiško veikimo (nenaudojant GPRS)
Matmenys (h × w × d)	400 mm × 300 mm × 200 mm be spaustuvių
Svoris (kg)	9 kg be baterijos, 22 kg su baterija
Darbinė temperatūra	Nuo –25 °C iki 60 °C

1.1.2. Transporto srautų tyrimo programinė įranga

Kompiuterinės programos, skirtos imituoti eismo srautus, suteikia galimybę įvertinti naujas strategijas, sumažinti vėlavimą, spūstis, degalų sąnaudas ir taršą, (Xia-lin 2013).

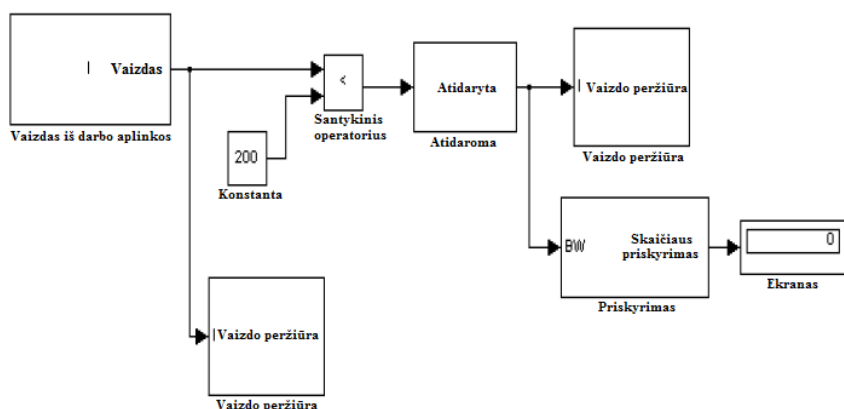
CityTrafficSimulator yra mikroskopinio eismo modeliavimo programinė įranga, mažų ir vidutinio dydžio transporto tinklų, tokių kaip sankryžų ar mažų miestelių. Remiantis *traffic-simulation.de*, *CityTrafficSimulator* naudojama sumanaus vairuotojo modelis. Tačiau pagrindinis jos tikslas būti kiek galima lankstesnei ir universalesnei, kad vartotojas galėtų modeliuoti beveik bet kokią situaciją, įskaitant realaus pasaulio scenarijus. Todėl *CityTrafficSimulator* naudoja

Bazier kreives maršrutams apibrėžti. Jos sujungia kelis mazgus, sukuriant kelių tinklą imituojant eismą. Šviesos signalo redaktorius leidžia nustatyti šviesos signalą su uždelsimo laiku (raudona ir žalia fazė) ir juos sugrupuoti. Kiekvienas signalas gali būti priskirtas vienam ar daugiau tinklo mazgų eismo kontroliavimui. *CityTrafficSimulator* turi šias pagrindines funkcijas:

- Mikroskopinis eismo modeliavimas naudojant sumanaus vairuotojo modelį.
- Eismo juostos keitimo modelis siūlo priverstinį ir savarankišką eismo juostos keitimą.
- Keturios skirtingos transporto rūšys (automobiliai, sunkvežimiai, autobusai, tramvajai).
- Savarankiškas kelių tinklo projektavimas su bendrais arba atskirais maršrutais (pvz., autobusų juostos) kiekvienai transporto priemonių grupei.
- Kelių tinklas gali būti suskirstytas į skirtingus sluoksnius klasėms atskirti.
- Realioju laiku kiekvienai transporto priemonei svarstoma paskirti maršrutą, tinklo išdėstymą ir eismo intensyvumą.
- Vartotojo nustatytas signalų skaičius su savarankišku signalų uždelsimo laiku.
- Skirtingas statistinis vertinimas, vidutinis greitis, sustojimų skaičius, eismo juostų keitimo skaičius ir panašiai.
- Pasirenkamas modeliavimo greitis ir detalumas.

Matlab/Simulink programinės įrangos paketas leidžia apdoroti duomenis, pateikti duomenis grafiniu būdu, valdyti sistemos projektavimą ir plačiai prieinama aplinka paprastai naudoti mikroskopinį ir makroskopinį modeliavimą (Xia-lin 2013).

Naudojant *Matlab/Simulink* aplinkos vaizdo įrašų ir nuotraukų apdorojimo paketą galima realioju laiku valdyti eismo signalus skaičiuojant transporto priemonių skaičių iš užfiksuotų vaizdų. Vaizdo įrašų ir nuotraukų apdorojimo paketas sudarytas iš blokų, kurie atlieka morfologines operacijas, pavyzdžiui: erozija, išsiplėtimas, atsidarymas ir užsidarymas. *Simulink* paketą sudaro vaizdinis blokas, priskyrimo blokas, santykinis operatorius ir nuolatinis blokas (Klein 2001).



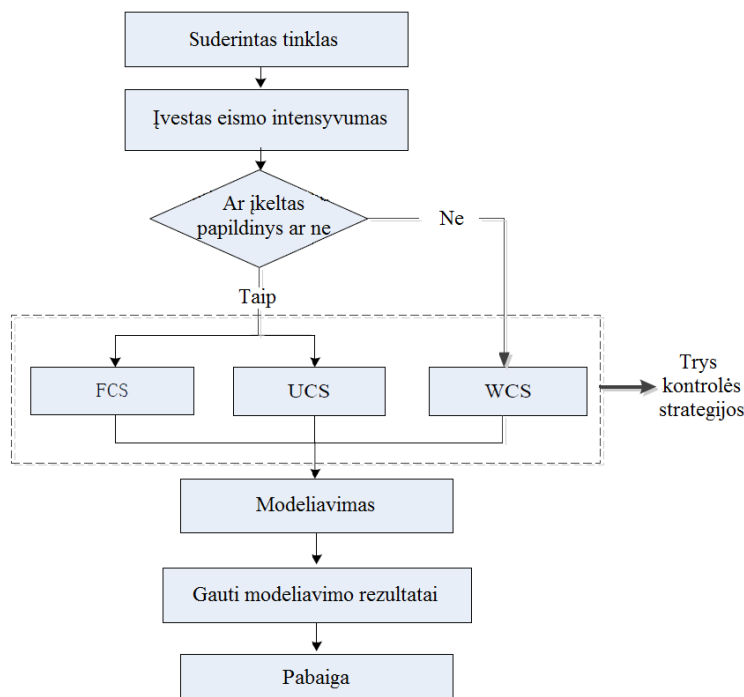
1.1 pav. Vaizdo įrašų ir nuotraukų apdorojimo paketo blokai (Klein 2001)

Aimsun yra eismo modeliavimo programinė įranga, kuri leidžia modeliuoti bet ką nuo vienos autobuso juostos iki viso regiono. Ši programinė įranga naudojama valstybinių įstaigų, savivaldybių, universitetų ir konsultantų iš viso pasaulio eismo inžinerijai, eismo modeliavimui, transporto planavimui ir avarinės evakuacijos studijoms. Ji naudojama siekiant pagerinti kelių infrastruktūrą, mažinti išmetamųjų dujų kiekį, sumažinti spūstis ir projektuoti miesto aplinką automobiliams ir pėstiesiems.

Aimsun apima trijų rūšių transporto modelius (makroskopinį, mezoskopinį ir mikroskopinį) į vieną programinę įrangą. Tai leidžia sukurti 2D ir 3D vizualinį transporto raidos scenarijų didžiuosiuose pasaulio miestuose išsamiau ir aukštu lygiu (Casas 2011).

Paramics yra eismo mikrosimuliacinė programinė įranga, sukurta *Quadstone Paramics*. *Paramics* naudoja automobilio sekimo ir juostos keitimo modelius, kad parodytų skaitinių duomenų koreliaciją pagal skirtingas sąlygas panaudojant kompiuterinę grafiką. Naudojant mikrosimuliaciją, *Paramics* leidžia vartotojams modeliuoti atskirų transporto priemonių judėjimą, prognozuojant būsimą kelionės modelio elgesį keičiant eismo intensyvumą ar geometrinius kelio parametrus (Samonsov 2010).

Paramics pateikia realią kontrolės strategiją virtualiame tinkle taikant aplikacijų programavimo sąsajos funkciją ir atlieka analizę ir išvesties vertinimą. Šis tyrimas gali būti atliktas modeliuojant pagal kitą kontrolės strategiją (FCS), panaudojimo kontrolės sistemą (UCS) ir be valdymo strategijos (WCS) (Xi 2013).



1.2 pav. *Paramics* modeliavimo procesas (Xi 2013)

Remiantis mikro-modeliavimo programine įranga *Paramics*, galima sudaryti dinامينius triukšmo žemėlapius. Remiantis erdviniais ir laikiniais triukšmo plitimo duomenimis, sukurtais naudojant dinaminį eismo triukšmo prognozavimo modelį kartu su įrašytais papildiniais kurių reikalauja programos paketas *Paramics* realizuojamas dinaminis triukšmo plitimo atvaizdavimas (Xi 2013).

Taip pat yra naudojami ir kiti eismo modeliavimo programinės įrangos paketai: *Arcady*, *Corsim*, *Dracula*, *Cube Dynasim*, *MatSim*, *Sidra Intesection*, *Sidra Trip*, *SimTrafic*, *SIAS Paramics*, *TransModeler*, *UAF* ir kiti.

1.2 FUNDAMENTALIOS TRANSPORTO SRAUTŲ KREIVĖS

Fundamentali transporto srautų kreivė yra kreivė, kuri parodo priklausomybę tarp eismo intensyvumo (aut./h) ir koncentracijos (aut./km). Makroskopinis eismo modelis apimantis eismo koncentraciją, intensyvumą ir greitį formuoja fundamentalios kreivės pagrindą. Šios kreivės gali būti naudojamos siekiant numatyti galimą transporto srautų elgesį taikant srauto reguliavimą ar greičio apribojimus (Samonsov 2010).

Pagrindinis įrankis skirtas grafiškai parodyti informaciją, tiriant eismo srautus, yra fundamentali kreivė. Fundamentalios kreivės sudaromos iš 3 skirtingų grafikų: intensyvumas-koncentracija, greitis-intensyvumas ir greitis-koncentracija. Fundamentalios kreivės yra dvimačiai grafikai. Visi grafikai yra susiję pagal lygtį:

$$q = u \cdot k \quad (1.1)$$

čia:

q – intensyvumas, aut./h;

u – greitis, km/h;

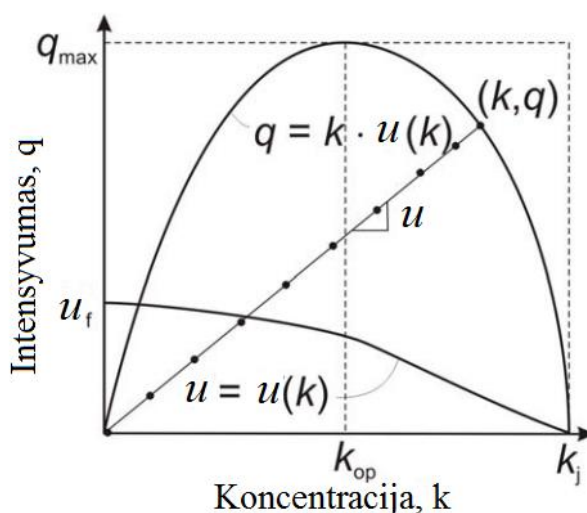
k – koncentracija, aut./km.

Ši lygtis yra esminė eismo sraute. Fundamentalios kreivės buvo gautos sujungus išmatuotų duomenų taškus ir suteikiant šiems duomenų taškams geriausiai tinkamą kreivę. Su fundamentaliomis kreivėmis tyrėjai gali tyrinėti priklausomybę tarp greičio, intensyvumo ir koncentracijos (Samonsov 2010).

Greičio-koncentracijos priklausomybė yra tiesinė su neigiamu nuolydžiu, todėl kai didėja koncentracija, greitis mažėja. Linija kerta greičio ašį esant laisvam srauto judėjimui ir linija kerta koncentracijos ašį esant spūstims. Kai koncentracija pasiekia nulinę reikšmę, greitis pasiekia laisvą srauto judėjimo greitį. Kai koncentracija didėja, transporto priemonių greitis kelyje mažėja. Greitis bus lygus nuliui kai koncentracija bus tokia, kad susidarys eismo spūstis.

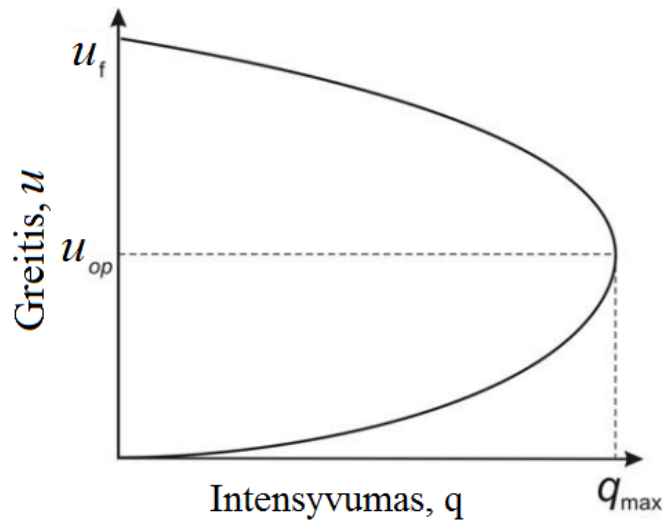
Atsižvelgiant į eismo srautų teorijos studijas, intensyvumo-koncentracijos diagrama yra naudojama siekiant nustatyti kelio eismo būseną. Šiuo metu yra dviejų tipų intensyvumo-

koncentracijos kreivės. Pirmoji yra parabolės formos intensyvumo-koncentracijos kreivė, ir antroji yra trikampio formos intensyvumo-koncentracijos kreivė. Trikampio formos intensyvumo-koncentracijos kreivė tiksliau atspindi realų srautą. Trikampio formos kreivė susideda iš dviejų tiesinės priklausomybės kreivių. Pirmoji kreivė yra su teigiamu nuolydžiu, kuri vaizduoja intensyvumą laisvame sraute. Antroji kreivė yra su neigiamu nuolydžiu, kuri vaizduoja per didelės automobilių koncentracijos neigiamą poveikį intensyvumui. Todėl, nors kelyje yra daugiau automobilių, bet pravažiuojančių automobilių skaičius yra mažesnis nei kai yra mažiau automobilių. Pastarųjų dviejų kreivių sankirta yra kreivės viršūnė, kurios reikšmė yra laikoma maksimaliu kelio pralaidumo pajėgumu, kuris sąlygoja maksimalų transporto priemonių skaičių, kuris gali pravažiuoti per tam tikrą laikotarpį. Kreivių susikirtimo taške yra atitinkamai optimalus intensyvumas ir optimali koncentracija. Su intensyvumo-koncentracijos kreivėmis galima nustatyti kelionės laiką, vėlavimą ir eilių susidarymą tam tikram kelio segmente.



1.3 pav. Intensyvumo-koncentracijos priklausomybės kreivė (Daganzo 2007)

Greičio-intensyvumo kreivės yra naudojamos greičiui nustatyti, kuriam esant būtų optimalus intensyvumas. Šiuo metu yra dvi greičio-intensyvumo kreivių formos. Greičio-intensyvumo kreivė taip pat susideda iš dviejų dalių, laisvo intensyvumo ir blogiausio pralaidumo. Kreivė nėra tiesinė, todėl toks pats automobilių intensyvumas gali būti esant dviem skirtingais automobilių judėjimo greičiais. Tą pačią intensyvumo reikšmę galima gauti, kai greitis yra didesnis, o koncentracija yra mažesnė arba kai greitis yra mažesnis ir koncentracija yra didesnė. Pirmojoje greičio-intensyvumo kreivės dalyje, laisvo srauto dalyje yra horizontali linija arba parabolė, o tai rodo, kad kelyje yra laisvas srauto greitis, kol pasiekiamas optimalus intensyvumas. Kai pasiekiamas optimalus intensyvumas, kreivė pereina į perpildytą intensyvumą, kuris yra parabolės formos. Antroji greičio-intensyvumo kreivės dalis yra parabolė. Ši kreivė parodo, kad intensyvumui didėjant greitis mažėja.



1.4 pav. Greičio-intensyvumo priklausomybės kreivė (Daganzo 2007)

1.2.1 Fundamentalių kreivių sudarymo metodai

Šiuo metu yra taikoma daug modelių, kuriais galima modeliuoti transporto priemonių greitį, intensyvumą ir koncentraciją gatvėse. Tačiau ne kiekvienas iš jų atitinka konkrečių gatvių eismą esant įvairioms eismo sąlygoms.

(Erlingsson *et al.* 2006) konferencijos pranešime pateikiamas Greenshieldo modelis, kuriuo teigiama, kad linijinė greičio-koncentracijos priklausomybė paprastai užrašoma taip:

$$u(k) = u_{max} \left(1 - \frac{k}{k_{max}} \right), \quad (1.2)$$

čia:

$u(k)$ – transporto srauto greičio funkcija, priklausanti nuo koncentracijos, km/h;

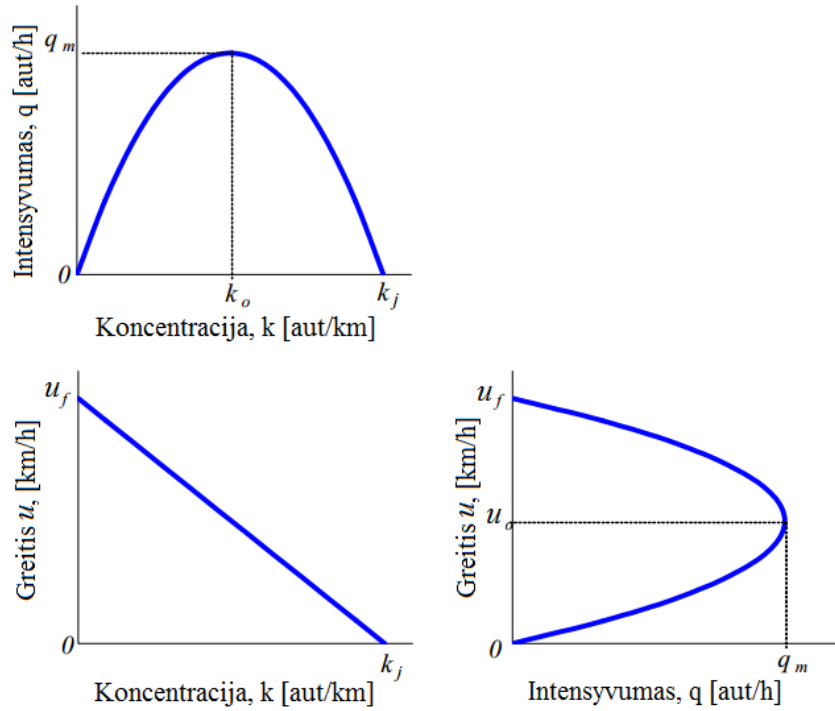
k_{max} – max galima koncentracija, aut./km;

u_{max} – max srauto greitis, km/h.

Todėl intensyvumo ir greičio priklausomybė tampa parabolės formos:

$$q = u(k) \cdot k = u_{max} \left(1 - \frac{k}{k_{max}} \right) k = u_{max} \left(k - \frac{k^2}{k_{max}} \right), \quad (1.3)$$

Greenshieldo priklausomybė pavaizduota 1.5 pav.



1.5 pav. Greenshieldo eismo srautų modelio fundamentalios kreivės (Erlingsson 2006)

Taip pat dažnai naudojami modeliai yra Greenbergo (1.4), Underwoodo (1.5) ir Pipes-Munjalo (1.6).

Greenbergo greičio funkcija priklausanti nuo koncentracijos išreikšta logaritmine lygtimi:

$$u(k) = u_{max} \cdot \ln\left(\frac{k_{max}}{k}\right) \quad (1.4)$$

Underwoodo greičio funkcija priklausomai nuo koncentracijos išreikšta eksponentine lygtimi:

$$u(k) = u_{max} \cdot e^{\left(-\frac{k}{k_{max}}\right)} \quad (1.5)$$

Pipes-Munjalo greičio funkcija priklausomai nuo koncentracijos išreikšta laipsnine lygtimi:

$$u(k) = u_{max} \left(1 - \left(\frac{k}{k_{max}}\right)^n\right) \quad (1.6)$$

Šis modelis nesunkiai pritaikomas, išmatuotiems duomenims kuo tiksliau atkartoti, keičiant laipsnio rodiklį n . Kai $n < 1$ – kreivė išlenkta į apačią, $n = 1$ – kreivė tampa tiesine, o kai, $n > 1$ – kreivė išlenkta į viršų.

(Erlingsson *et al.* 2006) konferencijos pranešime taip pat pateikiamas keturių parametų Van Aerde modelis. Šį modelį taip pat naudojo (Brinol 2011) straipsnyje, siekdamas nustatyti priklausomybę tarp greičio ir koncentracijos. Norėdami naudoti Van Aerde modelį, pirmiausiai turime įvertinti keturis parametrus: c_1 , c_2 , c_3 ir k . Šie parametrai yra susiję su esamu greičiu u_f , optimaliu greičiu u_0 , maksimaliu intensyvumu q_m ir maksimaliai galima koncentracija k_{max} kelyje. Šie parametrai pateikiami kaip:

$$c_1 = mc_2, \quad (1.7)$$

$$c_2 = \frac{1}{k_{max} \left(m + \frac{1}{m_f} \right)}, \quad (1.8)$$

$$c_3 = \frac{-c_1 + \frac{v_0}{q_m} - \frac{c_2}{u_f - u_0}}{u_0}, \quad (1.9)$$

$$k = \frac{1}{c_1 + \frac{c_2}{u_f - u} + c_3 u}, \quad (1.10)$$

čia:

c_1 – pastovus atstumas iki priekyje esančios transporto priemonės, km;

c_2 – pirmasis pastoviu pagreičiu kintantis atstumas iki priekyje esančios transporto priemonės, km^2/h ;

c_3 – antrasis pastovus atstumo kitimas, h;

m – konstanta naudojama išspręsti trims judėjimo greičio konstantoms, h/km;

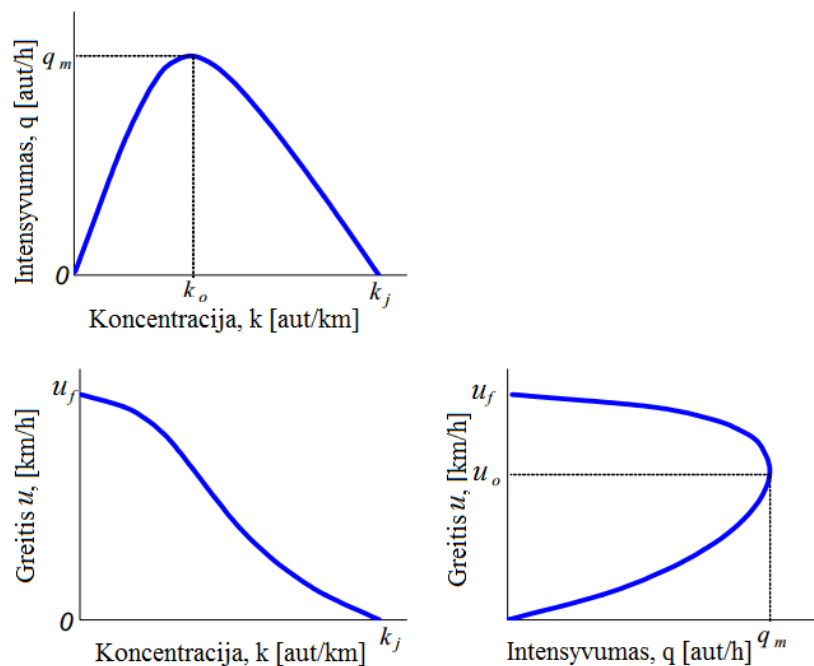
Konstanta m skaičiuojama taip:

$$m = \frac{2u_0 - u_f}{(u_f - u_0)^2}. \quad (1.11)$$

Van Aerde modeliu transporto priemonių intensyvumas užrašomas:

$$q = \frac{u}{c_1 + \frac{c_2}{u_f - u} + c_3 u}. \quad (1.12)$$

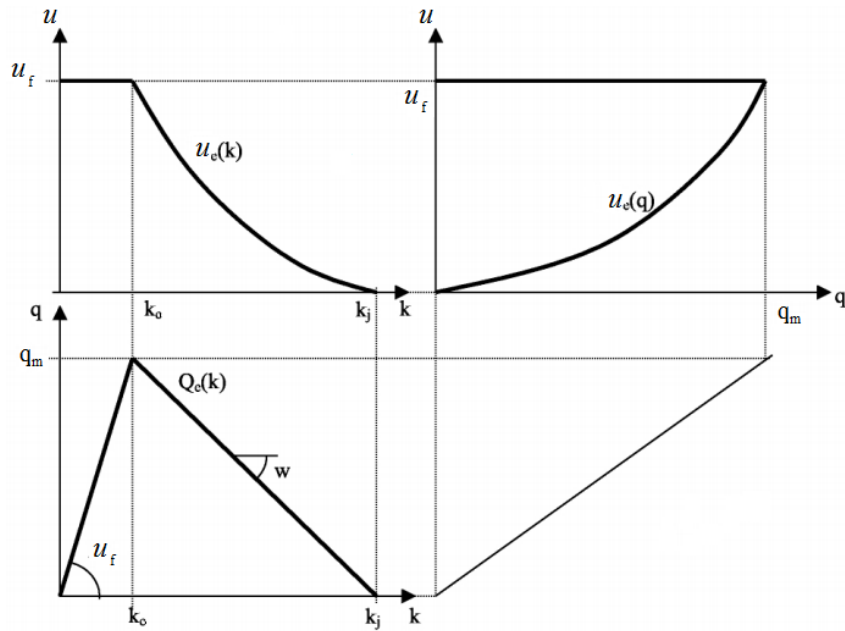
Van Aerde modelis pavaizduotas 1.6 pav.



1.6 pav. Van Aerde eismo srautų modelio fundamentalios kreivės (Erlingsson 2006)

Kitas dažnai naudojamas modelis yra trikampės kreivės formos panaudojant intensyvumo-koncentracijos fundamentalią kreivę. Tai paprasta schema, turinti daug privalumų dinaminiam eismo modeliavimui.

Šiuo pusiausvyros atžvilgiu vidutinis greitis prilygsta maksimaliam greičiui visiems eismo dalyviams, kurie sudaro mažesnę koncentraciją nei galima maksimali koncentracija. Trikampio dalis, kuri jungia maksimalią koncentraciją su optimalia koncentracija, turi neigiamą pastovų nuolydį w . 1.7 pav. pavaizduota trikampė kreivė (Immers 2002).



1.7 pav. Fundamentalių kreivių, kai $k - q$ kreivė trikampės formos (Immers 2002)

Edie modelis.

(Lu *et al.* 2009) straipsnyje pateikiamas (Edie (1961) metodas, kuris patobulino Greenbergo (1959) metodą, kurio trūkumas buvo tas, kad nebuvo galima jo taikyti mažos koncentracijos kelyje.

$$u(k) = \begin{cases} \exp\left(-w_1 \frac{k}{k_j} + w_2\right), & k \leq k_j \\ g_1 + g_2 \ln\left(\frac{k_j}{k}\right), & k > k_j \end{cases} \quad (1.13)$$

čia w_1 , w_2 ir g_1 , g_2 – koeficientai duomenų pritaikymo lankstumui.

Transporto srauto greičio funkcija, priklausanti nuo koncentracijos, išreikšta Edie metodu, leidžia apskaičiuoti transporto srauto greitį, tiek esant transporto priemonių koncentracijai mažesnei arba lygiai už maksimaliai galimą, tiek ir esant didesnei transporto priemonių koncentracijai kelyje.

1.2.2 Fundamentalios kreivės naudojimo sritys

Fundamentalios transporto srautų kreivės skirtos įvertinti priklausomybę tarp transporto priemonių greičio, intensyvumo ir koncentracijos gatvėse. Tokiu būdu fundamentalios transporto kreivės gali būti naudojamos:

- numatyti gatvės pralaidumo galimybes;
- numatyti eismo pokyčius įvedus eismo reguliavimo priemones ar jų apribojimus;
- numatyti transporto srauto pokytį atsiradus kliūčiai kelyje.

(Nagatani 2009) ir (Keyvan-Ekbatani *et al.* 2013) straipsniuose pateikiamas fundamentalios kreivės pritaikymas modeliuojant transporto priemonių eismą kontroliuojant šviesoforų signalus. Automobilių srauto judėjimas ir koncentracija kelyje labai kinta priklausomai nuo šviesoforo signalų ciklo trukmės. Fundamentalios kreivės yra sudarytos iš pagrindinių eismo srautų parametrų: greičio, intensyvumo ir koncentracijos. Šie parametrai yra neatsiejami vienas nuo kito ir gali būti tiksliai atvaizduojami fundamentaliose transporto srautų kreivėse, kuriais varijuojant galima modeliuoti transporto priemonių eismą kontroliuojant šviesoforų signalus.

(Schnetzler 2013) straipsnyje analizuojamas atvejis, kai pasinaudojant fundamentaliomis transporto srautų kreivėmis nustatoma įtaka eismo srautams tiriant eisme dalyvaujančias skirtingų klasių transporto priemones. Transporto priemonių klasės išskiriamos pagal jų ilgį. Tokiems tyrimams reikalinga įranga, kuri gebėtų suklasifikuoti transporto priemones pagal jų ilgį.

(Geroliminis *et al.* 2014) straipsnyje pasitelkiant fundamentalias transporto srautų kreives tiriamas autobusų ir lengvųjų automobilių sąveika, kurie turi bendrą kelių infrastruktūrą. Ir nustatoma, kokią įtaką bendram transporto priemonių srauto judėjimui turi autobusų stotelės.

(Coifman *et al.* 2011) straipsnyje pateikiamas pavyzdys, kaip galima panaudoti fundamentalias transporto srautų kreives siekiant įvertinti, kaip veikiamas transporto srauto judėjimas, kai į pagrindinį srautą iš šalutinio kelio su pagreitėjimo juosta įsilieja transporto priemonės arba iš jo per lėtėjimo juostą išvažiuoja transporto priemonė. Šiame straipsnyje taip pat analizuojama įtaka eismo srautui, kai pagrindinis kelias kuriame nors ruože susiaurėja sumažinant eismo juostų skaičių.

(Liao *et al.* 2013) straipsnyje pateikiama, kaip fundamentalių transporto srautų kreivėmis galima įvertinti kelio pralaidumo galimybes, kurioms turi įtakos įsijungiančių gatvių pralaidumas. Taip sudaromas gatvių sistemos modelis.

1.3 MATEMATINIAI METODAI LYGČIŲ KOEFICIENTAMS NUSTATYTI

(Zhang *et al.* 2014) straipsnyje pateiktas mažiausių kvadratų metodas, suminis mažiausių kvadratų metodas ir adaptyvus suminis mažiausių kvadratų metodas. Jie buvo aprašyti ir spęsti su išmatuotais duomenimis, „užterštais“ atsitiktinių paklaidų. Mažiausių kvadratų metodas eismo srautų modeliuose taip pat buvo panaudotas (Wang *et al.* 2011) straipsnyje.

Mažiausių kvadratų (MK) metodas. Mažiausių kvadratų metode, tikslo funkcija yra:

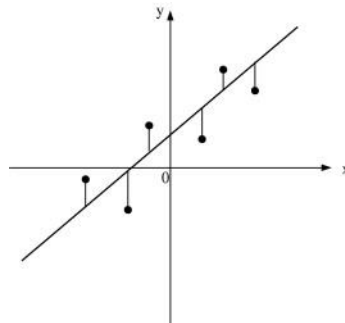
$$u(x) = \sum_{i=1}^m p_i(x) a_i(x) = p^T(x) a(x), \quad (1.14)$$

čia: $p_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$ yra vienanarė bazinė funkcija, m yra sąlygų skaičius bazinėje funkcijoje, ir $a_i(x)$ yra bazinės funkcijos koeficientai.

X įtakos srityje, įprastai naudojamas mažiausių kvadratų metodas vietos suderinimui. Kai pagrindinė funkcija $p_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$ yra tiesinė:

$$J(a, b) = \sum_{i=1}^n w(x - x_i)(ax_i + b - y_i)^2. \quad (1.15)$$

Įprastas mažiausių kvadratų metodas tik sumažina atstumo, pakelto kvadratu, svertinę sumą neatsižvelgiant į nepriklausomų kintamųjų sklaidą (1.8 pav.). Čia duomenų sklaida suderinama tik vertikalia kryptimi.

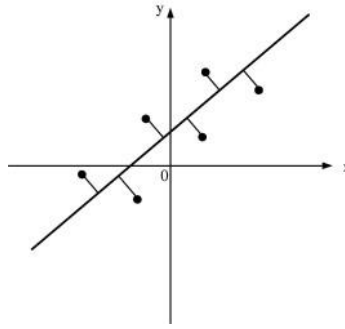


1.8 pav. Aproximavimas mažiausių kvadratų metodu (Zhang *et al.* 2014)

Suminis mažiausių kvadratų (SMK) metodas naudojamas, kai visi kintamieji yra „užteršti“ atsitiktinėmis paklaidomis. Tada funkcija apibrėžiama taip:

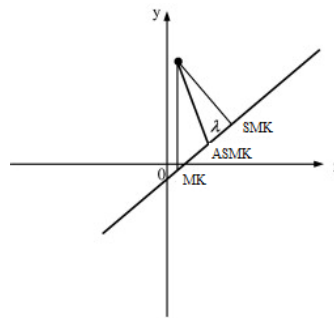
$$J(a, b) = \sum_{i=1}^n w(x - x_i) \frac{(ax_i + b - y_i)^2}{a^2 + 1}. \quad (1.16)$$

Suminiu mažiausių kvadratų metodu nustatoma koeficientų a ir b įtaka x srities atsižvelgiant į bendrą mažiausių kvadratų reikšmę minimizuojant apibrėžtą funkciją, t. y. mažinat statmenus atstumus kvadratu suminės sumos (1.9 pav.). Čia duomenų sklaida suderinama tik ortogonalio kryptimi.



1.9 pav. Aproximavimas suminiu mažiausių kvadratų metodu (Zhang *et al.* 2014)

Adaptivus suminis mažiausių kvadratų (ASMK) metodas leidžia parametru λ keisti duomenų aproksimavimo kryptį, (1.10 pav.).



1.10 pav. Aproximavimas adaptiviuoju suminiu mažiausių kvadratų metodu (Zhang *et al.* 2014)

Adaptiviame suminiame mažiausių kvadratų metode vietos aproksimavimo funkcija apibrėžiama taip:

$$J(a, b) = \sum_{i=1}^n w(x - x_i) \frac{\lambda^2 a^2 + 1}{a^2 + 1} (ax_i + b - y_i)^2. \quad (1.17)$$

Kai $\lambda = 0$, (1.13) gali būti pakeista į (1.12). Kai $\lambda = 1$, (1.13) gali būti pakeista į (1.11).

Mažiausių kvadratų metodu siekiama, kad atstumai tarp empirinės funkcijos reikšmių ir eksperimento taškų būtų minimalūs. Įrašę x_i reikšmę į empirinės funkcijos išraišką, gausime $f(x, r)$ reikšmę paprastai nelygią y_i , nes y_i reikšmėms turi įtakos eksperimento paklaidos.

Skaičiuojant mažiausių kvadratų metodu, parametrai r turi būti tokie, kad nuokrypių kvadratų suma būtų minimali:

$$\min S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x, r))^2. \quad (1.18)$$

Tuomet gauname r kintamųjų funkciją. Tada randamos funkcijos S dalinės išvestinės šių kintamųjų atžvilgiu ir prilyginamos 0:

$$\frac{\partial S}{\partial r} = 0, \text{ kai } r = 1 \dots m. \quad (1.19)$$

Gaunama lygčių sistema parametrų r atžvilgiu:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, r)) \frac{\partial S}{\partial r_1} = 0, \\ \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, r)) \frac{\partial S}{\partial r_2} = 0, \\ \dots \end{cases} \quad (1.20)$$

Kai empirinė funkcija yra tiesė (Kirkup et al. 2004) siūlo:

$$y = ax + b, \quad (1.21)$$

tai dalinių išvestinių sistema bus:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b)) x_i = 0, \\ \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b)) = 0, \end{cases} \quad (1.22)$$

kuri pertvarkoma į:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases} \quad (1.23)$$

Išsprendus lygčių sistemą (1.23), nustatomos regresijos lygties konstantos a ir b .

Autorių (Kirkup et al. 2004) pateikti pavyzdžiai, kai dėl duomenų išsibarstymo gali būti naudojama pastaroji tiesinė ir netiesinė (kvadratinė) empirinė funkcija – parabolė :

$$y = a + bx + cx^2. \quad (1.24)$$

Tai tiesinių lygčių sistema mažiausių kvadratų parabolei:

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i. \end{cases} \quad (1.25)$$

Išsprendę šią tiesinių lygčių sistemą, gausime ieškomus koeficientus a , b ir c .

Tiesinės ir kvadratinės priklausomybės duomenų aproksimavimo pavyzdžius taikant informacines technologijas detalai pateikia (Paukštinė et al. 2009) straipsnyje.

Mažiausių kvadratų metodas netiesine funkcija, kai $b < 0$, gali būti išreikštas:

$$y = a + \frac{b}{x}, \text{ kai } b < 0. \quad (1.26)$$

Analogiškai mažiausių kvadratų metodą galima taikyti ir kitoms netiesinėms funkcijoms.

Duomenų aproksimavimui logaritmine funkcija:

$$y = a + b \ln x. \quad (1.27)$$

Duomenų aproksimavimui rodikline funkcija:

$$y = ae^{bx}. \quad (1.28)$$

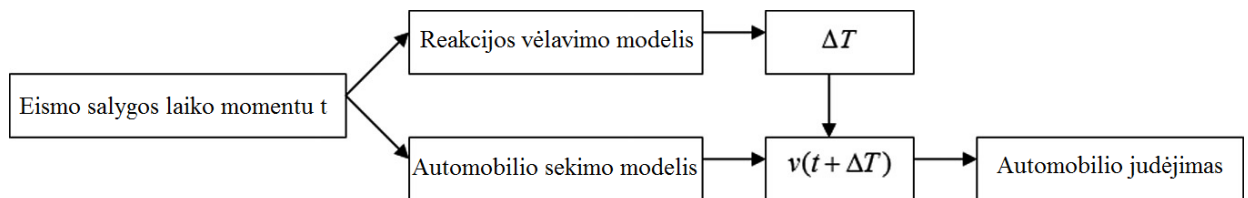
Duomenų aproksimavimui laipsnine funkcija:

$$y = ax^b. \quad (1.29)$$

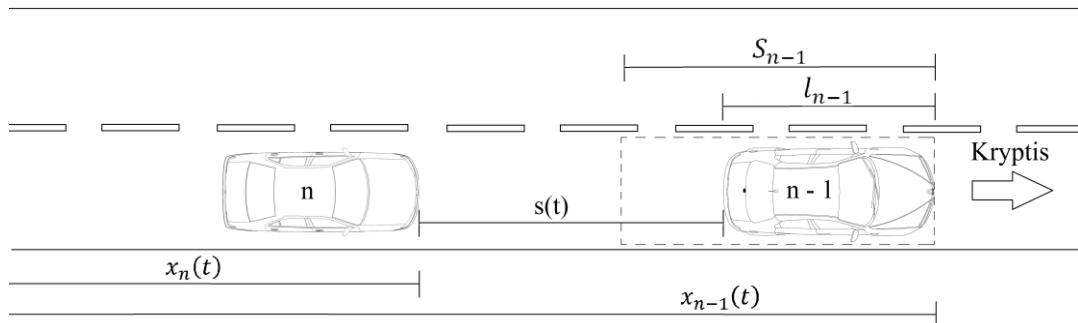
1.4 AUTOMOBILIŲ SEKIMO MODELIAI

Sekimo paskui lyderį modeliai gali padėti geriau organizuoti realius eismo srautus, efektyviau išnaudojant kelio plotą sumažinant atstumus tarp automobilių iki saugaus atstumo ir tuo pačiu padidinant eismo intensyvumą. Taip galima sumažinti eismo spūstis.

Pirmasis modelis, pagrįstas saugaus atstumo sąvoka, sukurta (Kometani ir Sasaki 1959). Buvo nustatyta, už priešais važiuojančios transporto priemonės vairuotojas pasirenka savo greitį remiantis saugiu atstumu, kad būtų išvengta galimo susidūrimo su priekyje važiuojančiu automobiliu (1.11 pav.). Vėliau Gippsas (1981) modifikavo modelį, kuris gali būti kalibruojamas atsižvelgiant į vairavimo elgesį, pvz., pagreitį, lėtėjimą, maksimalų greitį ir t.t. Pagal šį modelį 2,5 ir 0,025 yra savarankiškai parinkti ir siūlomi autoriaus, o pagreitis, saugus atstumas gali būti priskirti prie pastovių reikšmių, tačiau kalibruojamos gali būti reakcijos laiko, stabdymo pagreičio, didžiausio norimo greičio reikšmės (Ranjitkar *et al* 2005).



1.11 pav. Automobilio judėjimo paskui kitą automobilį modelis (Zheng *et al* 2013)



1.12 pav. Sekimo paskui lyderį modelio parametrai

Gippsso modelis

(Papathanasopoulou *et al.* 2015) straipsnyje pateikiamas Gippsso modelis naudojamas įvairiuose mikroskopiniuose imitaciniuose modeliuose. Modelis rodo, kad automobilio n (1.12 pav.) greitis priklauso nuo trijų apribojimų (1.31). Pirmasis, automobilio n greitis neviršija vairuotojo norimo greičio V_n . Antrasis, transporto priemonė greitai įsibėgėja iki norimo greičio ir tada pagreitis sumažinamas beveik iki nulio. Jei du automobiliai yra toli vienas nuo kito, jie elgiasi kaip laisvame sraute. Šios dvi sąlygos sujungiamos lygtyje (1.30). Trečiojoje sąlygoje atsižvelgiama į atstumą $s(t)$ tarp transporto priemonių ir veikiamą sekėjo vairavimo elgseną, kol pastarasis lėtėja. Tai savaime suprantama, kad sekėjo transporto priemonės greitis bus

koreguojamas, kad būtų išlaikytas saugus atstumas nuo lyderio automobilio. Ši sąlyga aprašyta antroje lygtyje. Tarpas tarp automobilių $s(t)$ iš schemos (1 pav.) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$s(t) = x_{n-1}(t) - l_{n-1} - x_n(t), \quad (1.30)$$

čia:

$x_n(t)$ – automobilio n priekio padėtis laiko momentu t , m;

$x_{n-1}(t)$ – automobilio $n-1$ priekio padėtis laiko momentu t , m;

l_{n-1} – fizinis transporto priemonės $n-1$ ilgis.

Apskritai, atsižvelgiant į minėtus apribojimus, automobilio n greitis laiko momentu $t + \tau$ gali būti apskaičiuojamas pagal formulę (1.27):

$$u_n(t + \tau) = \min \left\{ \begin{array}{l} u_n(t) + 2,5 \cdot a_n \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{u_n(t)}{U_n}\right) \cdot \sqrt{\left(0,025 + \frac{u_n(t)}{U_n}\right)} \\ b_n \cdot \tau + \sqrt{\left(b_n^2 \cdot \tau^2 - b_n \left[2 \cdot [x_{n-1}(t) - S_{n-1} - x_n(t)] - u_n(t) \cdot \tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}}\right]\right)} \end{array} \right\}, \quad (1.31)$$

čia:

a_n – maksimalus pagreitis, kurį vairuotojas n pasirengęs atlikti, m/s^2 ;

b_n – maksimalus lėtėjimo pagreitis, kurį vairuotojas n pasirengęs atlikti, m/s^2 ;

$\hat{b}$ – maksimalus apskaičiuotas transporto priemonės $n-1$ lėtėjimo pagreitis transporto priemonės n atžvilgiu, m/s^2 ;

S_{n-1} – efektyvus transporto priemonės $n-1$ ilgis. Jis apima fizinį transporto priemonės $n-1$ ilgį l_{n-1} ir saugaus atstumo ribą s^* , kurios vairuotojas n neturi kirsti, m;

U_n – norimas transporto priemonės greitis, m/s ;

$u_n(t)$ – automobilio n greitis laiko momentu t , m/s ;

$u_{n-1}(t)$ – automobilio $n-1$ greitis laiko momentu t , m/s ;

τ – reakcijos laikas, kuris yra konstanta visiems automobiliams ir lygus matavimo žingsniui, s.

(Kim *et al.* 2011) straipsnyje pateikiamos apskaičiuojamo transporto priemonės lėtėjimo pagreičio dedamosios. Lėtėjimo pagreitį $\hat{b}$ sudaro maksimalaus pageidaujamo lėtėjimo pagreičio ($b_n < 0$, m/s^2) (1.5 lentelė) ir koeficiento α sandauga. Kai $\alpha < 1$, transporto priemonės n lėtėjimas nepakankamas ir tampa agresyvus, o kai $\alpha > 1$ lėtėjimas atsargesnis.

1.5 lentelė. Gippo modelio rekomenduojamos parametrų ribos, (Kim *et al.* 2011)

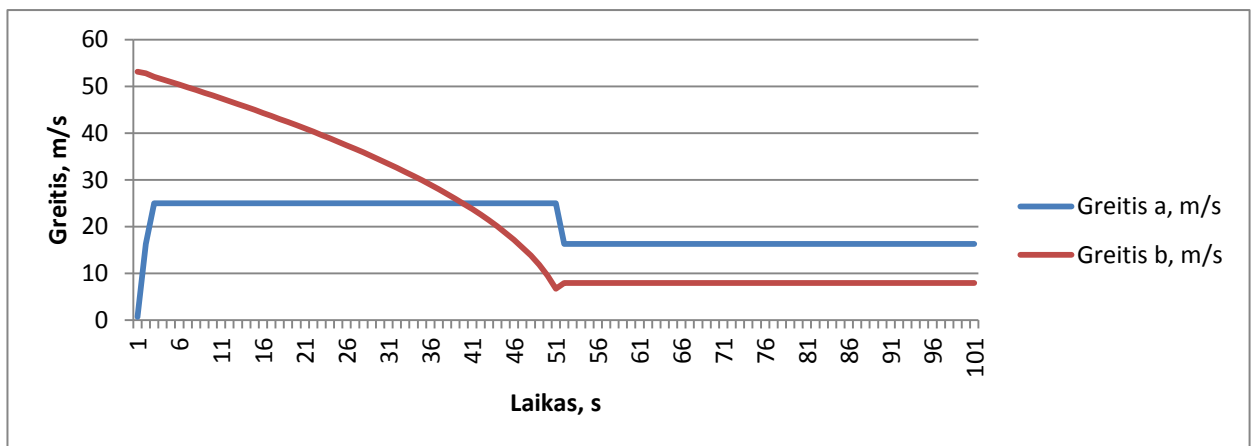
Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
τ	0,2 s	3,5 s
a_n	0 m/s^2	8 m/s^2
b_n	-8 m/s^2	0 m/s^2
U_n	50 km/h	150 km/h
s^*	0 m	20 m
α	0,5	2

Naudojant Gippso modelį automobilio greitis parenkamas visada mažesnis iš lygtyje (1.31) gaunamų dviejų alternatyvių greičių. Tokiu būdu automobilio n greitis negali viršyti norimo maksimalaus greičio arba negali viršyti lyderio automobilio $n-1$ greičio, (Ciuffo *et al.* 2012).

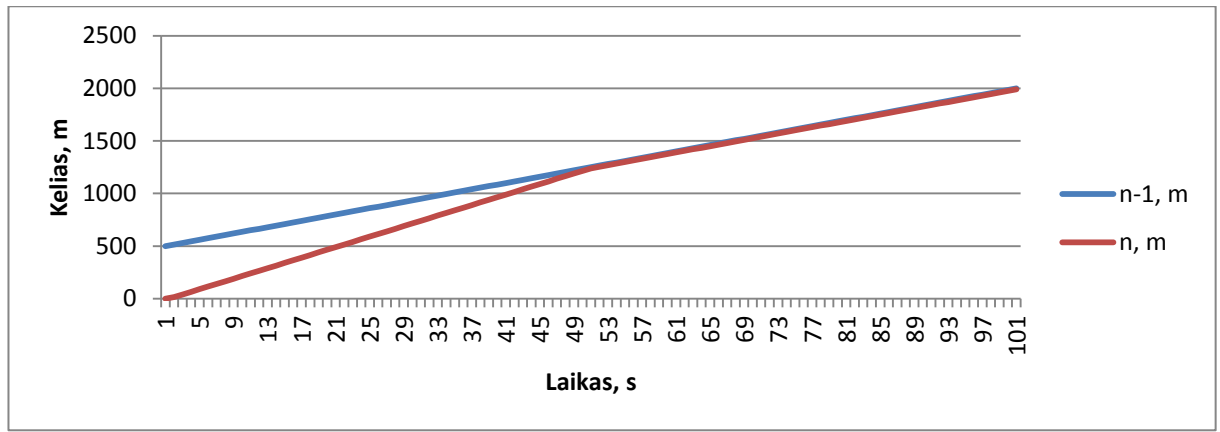
Kaip modelis veikia pavaizduota 1.13 pav. Čia pateiktas paprastas modeliavimas dviejų transporto priemonių judėjimo 100 s. laikotarpyje. Pirmasis automobilis (lyderis) važiuoja pastoviu greičiu 15 m/s. Kai simuliacija prasideda, antrasis automobilis (sekantysis automobilis) yra atsilikęs 500 metrų nuo lyderio automobilio ir neturi pradinio greičio. Šios transporto priemonės greitis nuo šio taško skaičiuojamas naudojant Gippso modelį. Pageidaujamas greitis yra 25 m/s. Ir užsiduodami kiti reikalingi parametrai: $a_n = 2 \text{ m/s}^2$; $b_n = -3 \text{ m/s}^2$; $\hat{b} = -6 \text{ m/s}^2$; $s_{n-1} = 6 \text{ m}$; $\tau = 0,8 \text{ s}$; $U_n = 25 \text{ m/s}$.

Grafikas (1.14 pav.) rodo du greičius u_n^a ir u_n^b , kurie yra suskaičiuojami sekančiai transporto priemonei kiekviename laiko žingsnyje. Tai rodo, kad kai atstumas tarp dviejų automobilių (4.5 pav.) yra didelis, tai sekančio automobilio greitis yra u_n^a , o kai mažas - u_n^b . Greitis padidėja iki norimo 25 m/s greičio ir išlaiko iki 50-tos sekundės.

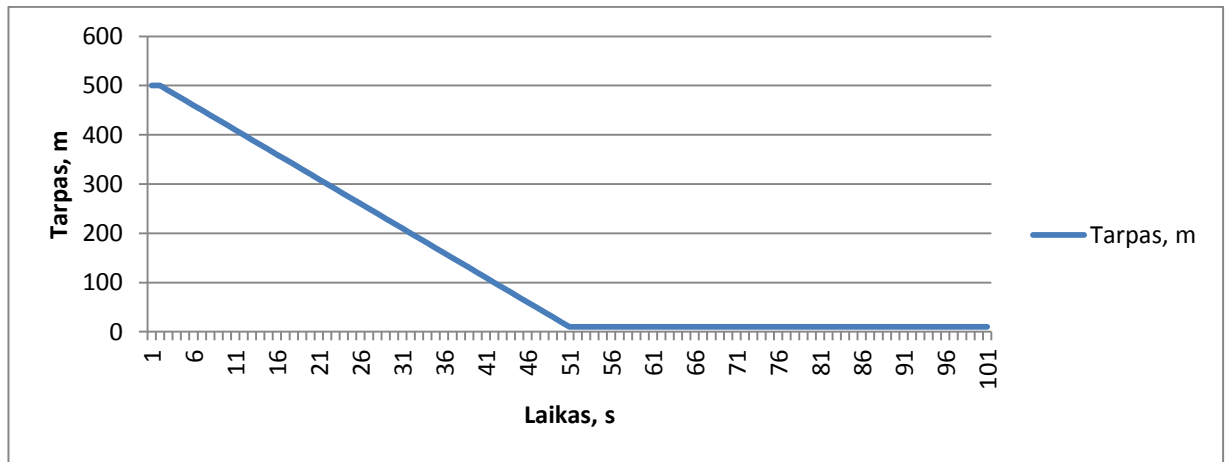
Kadangi sekantis automobilis laiko didesnę greitį nei lyderis, tai atstumas tarp automobilių mažėja (1.15 pav.). Ties 50 s greitis u_n^b tampa mažesnis už u_n^a ir tada sekantis automobilis pereina prie greičio u_n^b . Abiejų automobilių tarpas ir u_n^b greitis mažėja kol pastarasis yra lygus lyderio 15 m/s greičiui. Užduodamas tarpas tarp automobilių turi būti pasirinktas toks, kad pradėjus lyderio automobiliui stabdyti, sekantysis automobilis turėtų galimybę sustoti be susidūrimo.



1.13 pav. Sekančiojo automobilio greitis (Narem *et al.* 2013)



1.14 pav. Nuvažiuotas kelias lyderio ir jį sekančio automobilių, (Narem *et al.* 2013)



1.15 pav. Atstumas tarp lyderio ir jį sekančio automobilių, (Narem *et al.* 2013)

Šis metodas įvertina sąveiką tarp automobilių, esančių toje pačioje eismo juostoje, be galimybės aplenkti priekyje esančią transporto priemonę.

Sumanaus vairuotojo modelis

Kitas sekimo paskui lyderį modelis, kurį (Li *et al.* 2015) straipsnyje autoriai pateikia kaip galintį apibūdinti atskirų transporto priemonių ir vairuotojų elgseną diferencialinėmis lygtimis. Modelis vadinamas sumanaus vairuotojo modeliu. Modeliu automobilio n pagreitis laiko momentu t (1.30) yra nustatomas pagal esamą greitį laiko momentu t , atstumą tarp automobilių $s(t)$ ir efektyvaus norimo (saugaus) atstumo tarp automobilių $s_{ns}(t) = s^* + \left(u_n(t) \cdot T + \frac{u_n(t) \cdot \Delta u_n(t)}{2\sqrt{a_n b}} \right)$. Greičių skirtumas $\Delta u_n(t)$ užrašomas lygtimi $\Delta u_n(t) = u_n(t) - u_{n-1}(t)$.

(Kesting *et al.* 2010) straipsnyje akcentuojama, kad sumanaus vairuotojo modelis sujungia laisvo kelio greitėjimo pagreičio

$$a_g(t) = a_n \left(1 - \left(\frac{u_n(t)}{u_n} \right)^\delta \right) \quad (1.32)$$

ir stabdymo pagreičio strategijas

$$a_s(t) = -a_n \left(\frac{s_{ns}(t)}{s(t)} \right)^2. \quad (1.33)$$

Vertinant pastarąsias dvi (1.32) ir (1.33) pagreičių strategijas kartu, gaunamas sekėjo automobilio pagreitis $a_n(t)$:

$$a_n(t) = a_n \left[1 - \left(\frac{u_n(t)}{U_n} \right)^\delta - \left[\frac{s^* + \left(u_n(t) \cdot T + \frac{u_n(t)[u_n(t) - u_{n-1}(t)]}{2\sqrt{a_n b}} \right)}{s(t)} \right]^2 \right], \quad (1.34)$$

čia:

$a_n(t)$ – sekėjo n pagreitis laiko momentu t , m/s^2 ;

b – pasirinktas norimas lėtėjimo pagreitis, m/s^2 ;

T – pastovus laiko tarpas tarp automobilių, s ;

δ – pagreičio eksponentė.

Pagreičio eksponentė δ charakterizuoja, kaip pagreitis mažėja su greičiu ($\delta = 1$ atitinka tiesinį mažėjimą, kai $\delta \rightarrow \infty$ reiškia pastovų pagreitį). (Kesting *et al.* 2010) straipsnyje pateikiama, kad paprastai eksponentės δ reikšmė pasirenkama lygi 4.

1.6 lentelė. Sumanaus vairuotojo modelio rekomenduojamos parametrų ribos (Kim *et al.* 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
a_n	0 m/s^2	8 m/s^2
b	0 m/s^2	8 m/s^2
U_n	50 km/h	150 km/h
s^*	0 m	10 m
T	0 s	10 s

Kesting *et al.* (2010) teigimu, šis metodas parenka norimą greitį įvertinant saugų laiko tarpą, kuris reikalingas, kad transporto priemonė n be susidūrimo su lyderio automobiliu saugiai sustotų. Tačiau neįvertinamas vairuotojo reakcijos laikas.

Helly linijinis modelis

(Chang *et al.* 2005) straipsnyje pateiktas modelis kuris įtraukia papildomas sąlygas parenkant transporto priemonės pagreitį atsižvelgiant į tai ar priekyje esanti lyderio transporto priemonė buvo stabdoma.

$$a_n(t) = C_1[(u_{n-1}(t - \tau) - u_n(t - \tau)) + C_2(x_{n-1}(t - \tau) - x_n(t - \tau) - D_n(t))], \quad (1.35)$$

čia:

C_1 – konstanta santykiniam greičiui;

C_1 – konstanta atstumui tarp automobilių;

$D_n(t)$ – pasirinktas atstumas tarp automobilių laiko momentu t , m .

Konstantos C_1 ir C_2 atlieka koregavimo funkciją santykiniam greičiui ir atstumui tarp transporto priemonių nustatyti.

$$D_n(t) = (d^* + l_{n-1}) + \gamma u_n(t - \tau), \quad (1.36)$$

čia:

d^* - pasirinktas visiško sustojimo atstumas iki lyderio, m;

γ – konstanta koreguojanti greitį esant pasirinktam atstumui tarp automobilių laiko momentu t .

(Taniguchi *et al.* 2015) straipsnyje pateikiama sąlyga parenkant konstantą pakoreguoti greičiui, kad būtų tiksliau atkartojamas priekyje važiuojančio lyderio automobilio $n-1$ greitis:

$$\gamma \geq \frac{-C_1 + \sqrt{C_1^2 + 2C_2}}{C_2}. \quad (1.37)$$

1.7 lentelė. Helly linijinio modelio rekomenduojamos parametrų ribos (Kim *et al.* 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
τ	0,2 s	3,5 s
C_1	0,1	3
C_2	0,01	3
d^*	0 m	10 m
γ	0	2

Helly linijinis modelis suteikia galimybę su papildomomis koeficientų C_1 , C_2 ir γ korekcijomis suderinti transporto priemonės n pagreitį priklausomai nuo situacijos.

Krausso modelis

(Krajzewicz *et al.* 2005) straipsnyje pateikto Krausso metodo pirmame žingsnyje apskaičiuojamas saugus greitis $u_s(t)$, kuris leidžia laikytis saugiu atstumu iki lyderio automobilio $n-1$ ir prisitaikyti prie jo lėtėjimo pagreičio b_n .

$$u_s(t) = u_{n-1}(t) + \frac{s(t) - u_{n-1}(t) \cdot \tau}{\frac{u_n(t) + u_{n-1}(t)}{2b_n} + \tau}. \quad (1.38)$$

Antruoju žingsniu nustatomas norimas transporto priemonės greitis laiko momentu t . Pasirenkama mažiausia greičio reikšmė iš apskaičiuoto saugaus greičio, norimo greičio ir esamo greičio pridedant maksimalų pagreitį, kurį vairuotojas n pasirengęs atlikti.

$$U_{no}(t) = \min\{u_s(t), u_n(t) + a_n, U_n\}. \quad (1.39)$$

Galiausiai pasirenkamas transporto priemonės greitis $u_n(t + \tau)$. Papildomai įvedama 0 km/h sąlyga, kad automobilis negali judėti atbulomis.

$$u_n(t + \tau) = \max\{0, U_{no}(t) - \varepsilon a_n\}, \quad (1.40)$$

čia:

ε – koeficientas įvertinantis vairuotojo netolygų norimo greičio išlaikymą.

1.8 lentelė. Krausso modelio rekomenduojamos parametrų ribos (Krajzewicz *et al.*, 2005) ir (Kim *et al.*, 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
a_n	0 m/s ²	8 m/s ²
b_n	-8 m/s ²	0 m/s ²
τ	0,2 s	3,5 s
U_n	50 km/h	150 km/h
ε	0	1

Šis modelis suteikia galimybę įvertinti vairuotojo netolygų norimo greičio išlaikymą ir saugų atstumą tarp automobilių, įskaitant ir vairuotojo reakcijos laiką.

2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Atliekant eksperimentinius transporto srautų matavimus Traffic Counter TC25 eismo srautų skaitikliu išmatuojamas intensyvumas ir greičių vidurkis per tam tikrą laiko tarpą. Tačiau modeliuojant eismo srautus reikalingos ir koncentracijos reikšmės, kurių neturime iš išmatuotų duomenų. Siekiant apskaičiuoti koncentracijos reikšmes esant tam tikram intensyvumui ir greičiui, sudaromos fundamentalios kreivės, kurios nusako ryšį tarp greičio ir koncentracijos $u - k$, greičio ir intensyvumo $u - q$, bei intensyvumo ir koncentracijos $q - k$. Šių fundamentalų kreivių sąryšį aprašo (1.1) formulė.

Modeliuojant taip pat reikalingos teorinės greičio ir intensyvumo duomenų imtys, kurios kuo tiksliau atkartotų realius transporto priemonių srauto duomenis. Tam iš išmatuotų greičio ir koncentracijos duomenų sudaromos pasiskirstymo histogramos ir jų skirstinio kreivės. Naudojant, geriausiai atkartojančios išmatuotus transporto srauto greičio ir intensyvumo duomenis, teorinių skirstinio kreivų koeficientus, galima generuoti teorines šių duomenų imtis. Taip pat greičio duomenis generuoti galima naudojant fundamentalios $u(q)$ kreivės lygtį. Šios teorinių duomenų imtys vėliau naudojamos apskaičiuoti įvedamų į modeliuojamą sistemą greičiams ir atstumams tarp automobilių priklausomai nuo koncentracijos.

2.1. EISMO SRAUTŲ MATAVIMŲ METODIKA

Eksperimentiniams tyrimams pasirinktas naudoti transporto srauto skaitiklis TC25, kuriuo per tam tikrą laiko tarpą sukaupiamas eisme dalyvaujančių transporto priemonių skaičius ir jų vidutinis greitis. Taip pat transporto priemonės suklasifikuojamos pagal jų ilgius. Eksperimentiniai tyrimai atliekami tokia tvarka:

1. Įrenginio montavimas

Įrenginys montuojamas šalia kelio, naudojant du fiksavimo spaustuvus.

Įrenginio montavimo vietos parinkimas

Skaitikliui nepertraukiamai ir gerai turi būti matomos transporto priemonės. Todėl siūloma prietaiso nenaudoti tose vietose, kur kliūtys gali užstoti vaizdą. Tokios kliūtys, kaip: medžiai, šakos, krūmai, įvairūs stulpai, autobusų stotelės, eismo ženklai...

Saugumo sumetimais nepatartina prietaiso naudoti ant stulpų, kurie skirti šviesoforams ar kitiems ženkliams, nes prietaisas gali per daug nukreipti vairuotojų dėmesį.

Įrenginio montavimas atsižvelgiant į kelią

Yra du pagrindiniai metodai parenkant tinkamą prietaiso montavimo aukštį:

1) Įrengiama automobilio aukštyje, maždaug 1 m nuo žemės paviršiaus. Vidinis korpusas nukreipiamas į horizontalią padėtį (2.1 pav. a.). Šio metodo privalumas tas, kad tiksliai apibrėžia matavimo kampą ir gerai aprėpia kelias eismo juostas. Tokio montavimo minusas

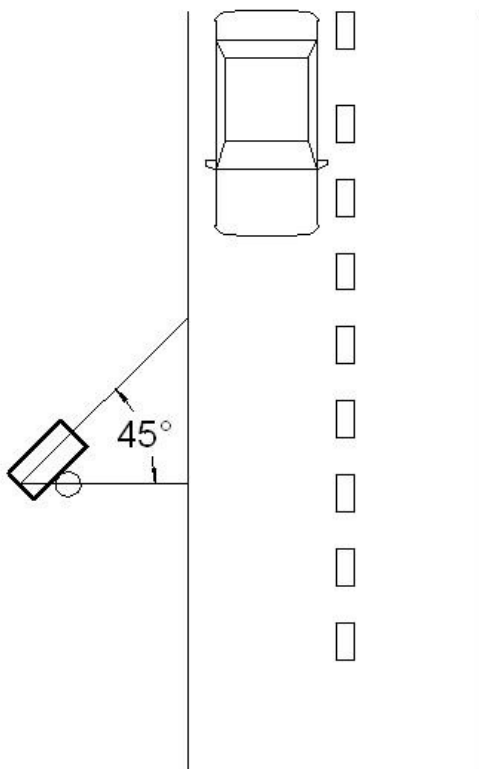
yra tas, kad dažniausiai artimiausioje juostoje esančios transporto priemonės užstoja kitomis juostomis važiuojančias transporto priemones.

2) Įrengiama didesniame aukštyje priklausomai nuo stulpo atstumo nuo kelio. Vidinis korpusas šiuo atveju turi būti pakreiptas 30° (2.1 pav. b.). Šis metodas reikalauja daugiau dėmesio nustatant atitinkamą aukštį atsižvelgiant į atstumą nuo kelio juostos ir nustatant kampą prieš važiavimo kryptį. Aukštis ir atstumas turi būti nustatytas taip, kad prietaiso spindulys apimtų visas juostas kurias norima įtraukti į matavimus (2.3 pav., 2.4 pav.).



2.1 pav. Vidinio korpuso padėtis, a – horizontali, b – pakreipta 30° kampu. Korpusas pakreipiamas iki vienos iš kraštutinių padėčių ir priveržiama veržlė

Kad matavimai būtų tikslūs, kampas tarp transporto srauto krypties ir skaitiklio montavimo krypties yra būtinas. Abu metodai reikalauja, kad skaitiklis būtų nukreiptas 45° kampu, atsižvelgiant į važiavimo kryptį (2.2 pav.).



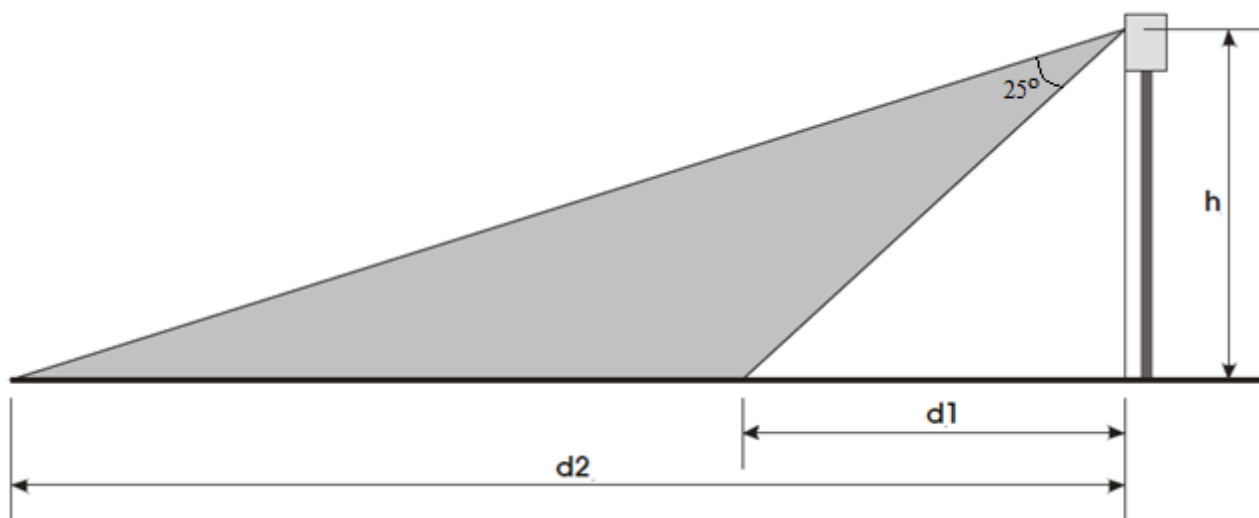
2.2 pav. Kampo nustatymas į eismo kryptį

Kai skaitiklis yra iškeltas virš automobilių, prietaiso pasukimo kampas iš tikrųjų nėra 45° . Todėl patartina, kad kampas būtų tiksliai apskaičiuojamas ir nustatyta vertė turi būti įrašyta į prietaisą, naudojant TC programinę įrangą. Pateikti įvairių aukščių ir atstumų duomenys lentelėje gali būti naudojami, kad padėtų skaičiavimams (2.1 lentelė). Matuojant kelias juostas, turi būti laikoma, kad skirtingų juostų kampai yra skirtingi. Taigi kelių juostų matavimo tikslumas gali skirtis.

2.1 lentelė. Koregavimo kampas atsižvelgiant į montavimo aukštį ir atstumą nuo kelio juostos

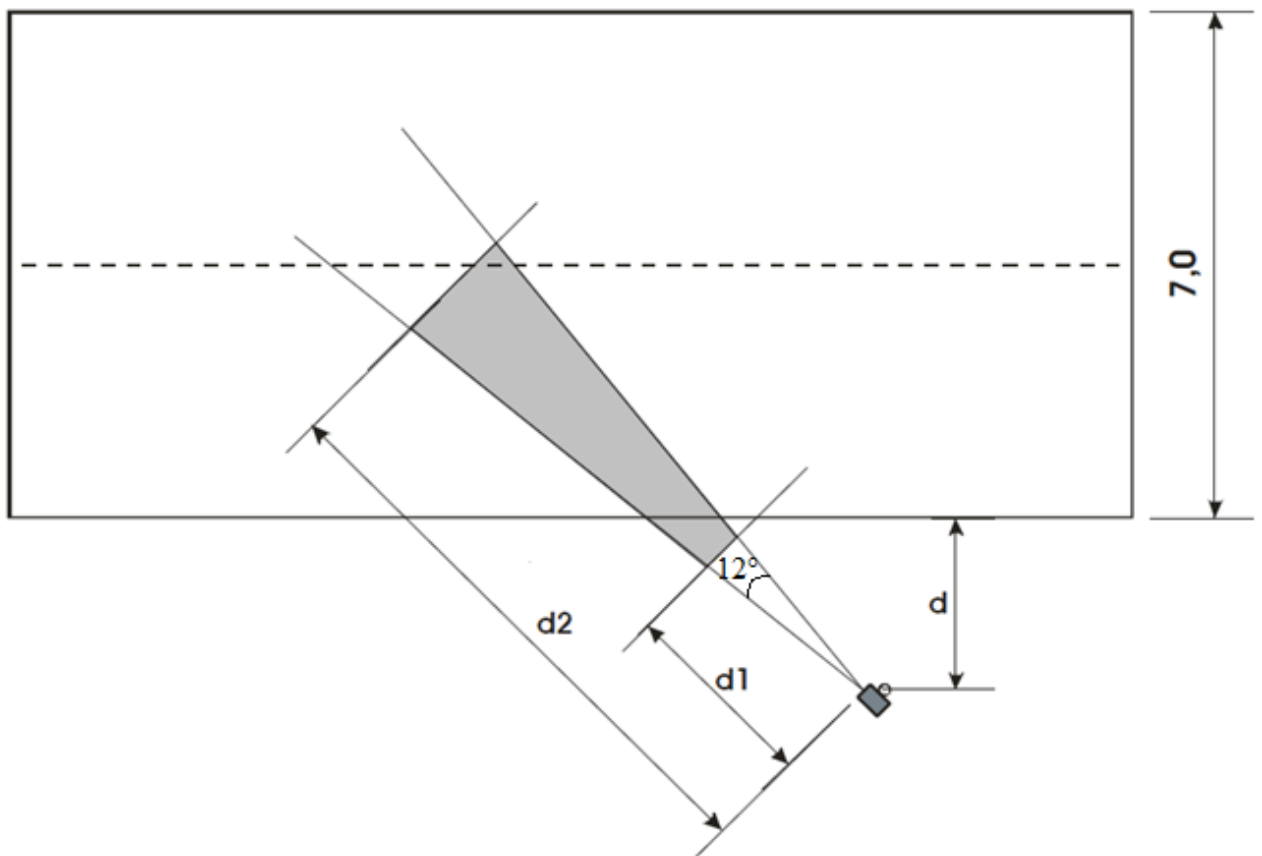
Aukštis h (m)	Atstumas d (m)						
	2	3	4	5	6	7	8
2	55	50	48	47	/	/	/
3	61	55	51	49	48	/	/
4	/	59	55	52	50	49	48
5	/	58	55	52	51	50	50

Automobilių aptikimo plotas priklauso nuo atstumo iki stulpo, ant kurio pritvirtintas prietaisas ir kokiame aukštyje prietaisas yra. Toliau pateikti vaizdai gali būti naudojami kaip pagalba nustatant plotą (2.3 pav., 2.4 pav.). Paprastai matavimo plotas yra didesnis, jei prietaisas yra sumontuotas aukščiau.



2.3 pav. Skaitiklio stebėjimo plotas iš šono

2.3 pav. pavaizduotas pilkas plotas žymi lauką, per kurį skaitiklis aptinka transporto priemonės – iš šono. Spindulio plotis 25° .



2.4 pav. Skaitiklio stebėjimo plotas iš viršaus

2.4 pav. pavaizduotas spindulys pilka spalva iš viršaus į zoną, kurią prietaisas aptinka geriausiai. Prietaisas pasukamas 45° laipsnių kampu, atsižvelgiant į važiavimo kryptį. Spindulio plotis 12° .

Apytikslės formulės nustatant geriausią aptikimo zoną priklausomai nuo įrengimo aukščio (h) yra:

$$d_1 = h \cdot 1,09 \quad (2.1)$$

$$d_2 = h \cdot 3,17 \quad (2.2)$$

Aptikimo zona iš tikrųjų nėra taip stipriai apibrėžta kaip skaičiai rodo.

2. Įrenginio įjungimas

Prietaisas yra įjungiamas naudojant jungiklį ant elektronikos korpuso. Kai jungiklis yra įjungiamas ir baterija pakankamai įkrauta, prietaisas įjungiamas. Įjungus jungiklį skaitiklis normaliai veikti pradeda po 2 sekundžių, kai visi trys kontroliniai diodai trumpam įsijungia (2.5 pav.).

Kai prietaisas nėra naudojamas, pagrindinis jungiklis turi būti išjungimo padėtyje.



2.5 pav. Kontroliniai diodiniai indikatoriai

Kontroliniai diodiniai indikatoriai rodo skirtingas įrenginio būsenas:

LE1 (kairėje): sumirksi kiekvieną kartą pravažiavus transporto priemonei pro prietaiso spindulį.

LE2 (viduryje):

- Mirksi 1 kartą per sekundę: normalus veikimas.
- Mirksi 1 kartą per 5 sekundes: skaitiklis neveikia.
- Greitas mirksėjimas: prietaiso klaida.
- Mirksi 2 kartus per sekundę: prietaisas atnaujinamas programine įranga.
- Žiba visą laiką: įvyko klaida atnaujinant programinę įrangą.

LE3 (dešinėje):

- Diodas išjungtas: nenustatytas ryšys.
- Mirksi 1 kartą per sekundę: *GPRS* ryšys nustatytas.
- Mirksi 2 kartus per sekundę: *bluetooth* ryšys nustatytas.

3. Įrenginio prijungimas ir naudojimas naudojant kompiuterį

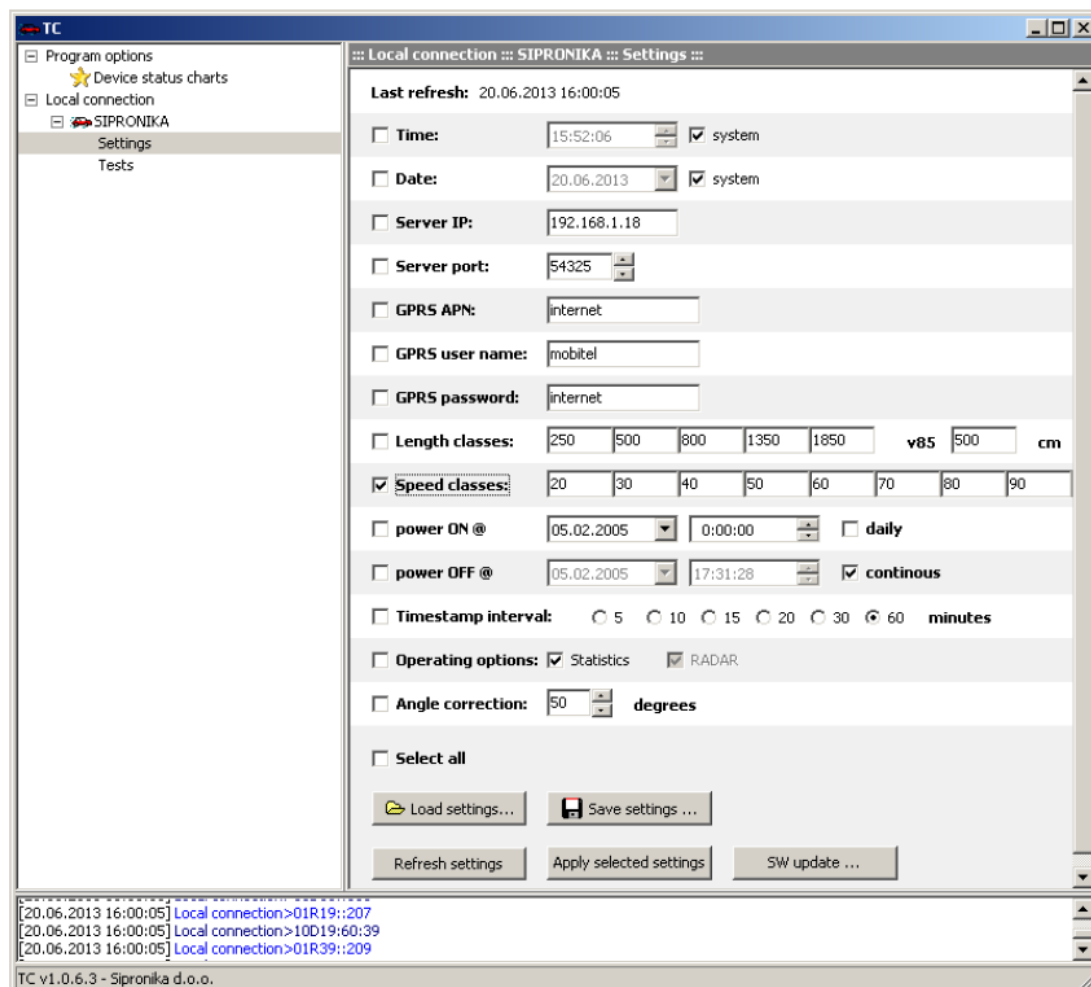
Su eismo srautų skaitiklio programine įranga galima iš prietaiso į kompiuterį perkelti įrašytus duomenis ir pateikti juos lentelių ir grafikų forma. Taip pat galima keisti kai kuriuos prietaiso parametrus. Duomenų apdorojimui ir grafikų braižymui reikalinga Microsoft Excel programinė įranga, kuri turi būti instaliuota prieš įrašant *TC* programinę įrangą.

4. Programinės įrangos paleidimas ir nustatymai

Programinė įranga *TC* turi būti paleidžiama administratoriaus teisėmis. Tai padaryti galima paspaudus pelės dešinį klavišą ant aplikacijos pavadinimu – *TC* ir pažymint „Run as administrator“.

Pirmiausia turi būti nurodoma prisijungimo tipas ir prisijungiama prie srauto skaitiklio TC25. Prisijungus galima patikrinti ar įrenginys yra įkrautas.

Prieš paleidžiant srauto skaitiklį reikia suderinti jo parametrus (2.6 pav.).



2.6 pav. Prietaiso nustatymai

5. Sukauptų duomenų apdorojimas

Po matavimų, parsisiųsti išmatuotus duomenis naudojant tą pačią TC programą. Taip pat galima patikrinti, kiek dar yra likę laisvos vietos duomenims ir ištrinti nereikalingus duomenis.

Išsaugotą .txt failą galima apdoroti pasinaudojus į Microsoft Excel programinę įrangą įdiegtu „TC“ papildiniu.



2.7 pav. „TC“ meniu ir pasirinktys

Spaudžiame „Start“ mygtuką „TC“ programoje. Tada susirandame parsisiųstą .txt failą ir jį atidarome. Paprastai failai būna du su galūnėmis _IN – tai atvažiuojančių link skaitiklio spindulio transporto priemonių duomenys ir _OUT – nuvažiuojančių transporto priemonių. Atidarius pasirinktą .txt failą įsijungia pagrindinis programos langas kuriame galima pažymėti, kokius duomenis norima importuoti į *Microsoft Excel* aplinką.

Prieš pradedant apdoroti gautus duomenis rekomenduojama ištrinti pirmąją ar kelias pirmąsias duomenų eilutes, kadangi į pirmąją paprastai įrašoma ne pilnai nustatytu laiko intervalu duomenys, o į kitas pirmąsias gali būti užfiksuotos ne visos transporto priemonės atliekamų įrenginio padėties koregavimo darbų metu. Tokie netikslūs duomenys gali labai iškreipti gautus apdorotų duomenų rezultatus.

2.2. FUNDAMENTALIŲ KREIVIŲ LYGČIŲ KOEFICIENTŲ NUSTATYMAS NAUDOJANT EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATUS

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami 2014 m. liepos 3-8 d. Vilniuje, Mokslininkų g., dviejų krypčių eismo kelyje. Šiame kelio ruože greitis yra ribojamas iki 50 km/h. Matavimai buvo atliekami TC25 (srauto skaitikliu), kurių metu buvo išmatuotas automobilių greitis ir intensyvumas. Pagal leidžiamus gamintojo nustatymus buvo pasirinktas 5 min. laiko intervalas (mažiausias galimas) išmatuotų duomenų vidurkiui gauti.



2.8 pav. Eismo srautų matavimas, Vilnius

Išmatuoto transporto priemonių srauto duomenys apdorojami sudarant fundamentalias transporto srautų kreives panaudojant Bajorų g. – Centras krypties eksperimentinius duomenis. Iš

pradžių sudaromos fundamentalios transporto srautų kreivės su išmatuotais visais duomenimis ir nustatomi jų koeficientai. Tuomet palyginamos teorinės fundamentalios kreivės nustatant jų determinacijos koeficientus. Pagal determinacijos koeficiento reikšmę nustatoma, kuri teorinė fundamentalioji kreivė tiksliausiai atkartoja išmatuotus duomenis.

Koncentraciją galima apskaičiuoti iš išmatuotų greičio ir intensyvumo duomenų pagal formulę:

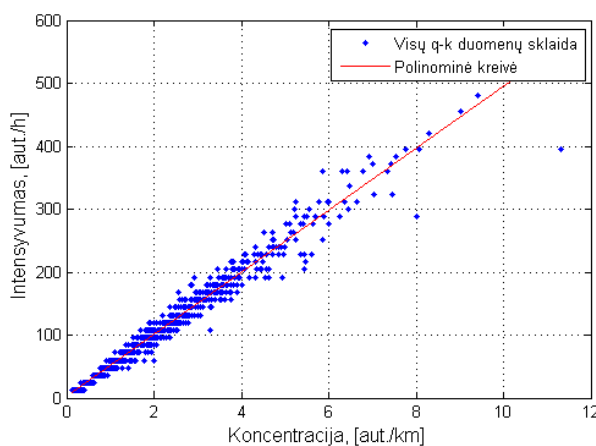
$$k = \frac{q}{v} \quad (2.3)$$

Iš (1.3) formulės ir iš regresijos lygties (1.21)

$$q = a + b \cdot v(k), \quad (2.4)$$

gaunama srauto intensyvumo funkcija.

Pagal išmatuotus viso eismo srauto greičius ir intensyvumą bei apskaičiuotą koncentraciją nubraižomos fundamentalios eismo srauto priklausomybių kreivės tarp: intensyvumo ir koncentracijos, greičio ir koncentracijos, greičio ir intensyvumo (2.9 pav.) bei nustatomi jų koeficientai.



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = 49,26k + 2,35$$

$$R^2 = 0,974$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

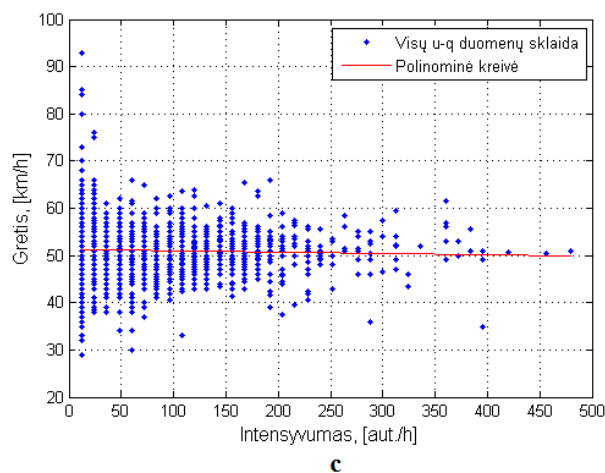
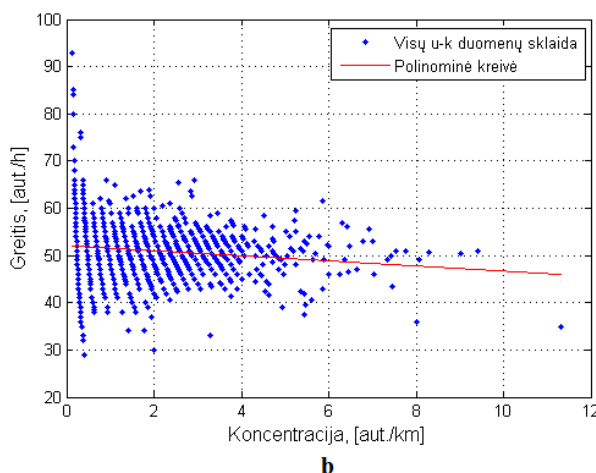
$$u = -0,54k + 52,11$$

$$R^2 = 0,019$$

Greičio ir intensyvumo priklausomybė

$$u = -0,0029q + 51,29$$

$$R^2 = 0,0014$$



2.9 pav. Fundamentalios transporto kreivės su visais Mokslininkų g. išmatuotais duomenimis: a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė

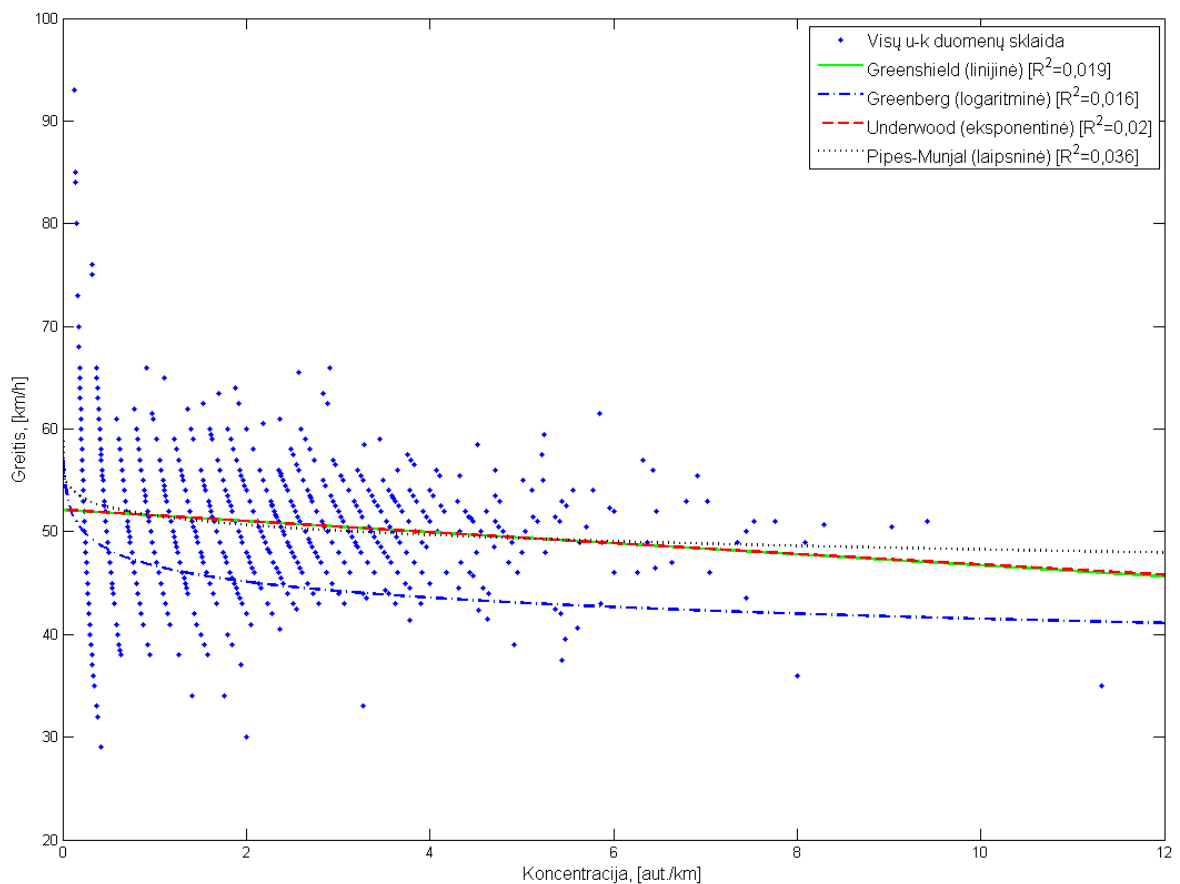
Šioje gatvėje iš gautų duomenų matyti, kad nepasireiškia jokie eismo spūsties užuomazgos požymiai. Šiame kelyje transporto priemonių koncentracijos augimui yra tiesiogiai proporcingas intensyvumo augimas.

Regresijos lygties koeficientų reikšmės nustatytos „Matlab“ programa. Gautos greičio priklausomybės nuo intensyvumo regresijos lygties koeficientų reikšmės yra: $a = -0,0029$ ir $b = 51,29$.

Tuomet ši lygtis su apskaičiuotais koeficientais užrašoma taip:

$$u = -0,0029q + 51,29. \quad (2.5)$$

Pagal gautą greičio ir koncentracijos duomenų sklaidą, atliekamas Greenshieldo (1.2), Greenbergo (1.4), Underwoodo (1.5) ir Pipes-Munjalo (1.6) fundamentalių kreivių palyginimas ir nustatoma tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis.



2.10 pav. Viso eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalių kreivės

Sulyginus visų teorinių fundamentalių kreivių determinacijos koeficientus, kurie yra: Greenshieldo ($R^2 = 0,019$), Greenbergo ($R^2 = 0,016$), Underwoodo ($R^2 = 0,02$) ir Pipes-Munjalo ($R^2 = 0,036$), nustatyta, kad tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis yra Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentali kreivė.

Analogiškai sudaromos fundamentalios transporto srautų kreivės (A priedas) suskaidant duomenis į darbo dienų, savaitgalio bei suskaidant penktadienio dienos duomenis į rytinį piką (6-10 val.), vidurdienį (10-16 val.) ir vakarinį piką (16-19 val.). Tuomet taip pat palyginamos teorinės fundamentalios kreivės nustatant jų determinacijos koeficientus. Visos determinacijos koeficientų reikšmės surašomos į 2.2 lentelę.

2.2 lentelė. Fundamentinių kreivių determinacijos koeficientai

Duomenys	Greenshieldo	Greenbergo	Underwoodo	Pipes-Munjalo
Visi	0,019	0,016	0,020	0,036
Darbo dienų	0,012	0,013	0,012	0,018
Savaitgalio	0,048	0,079	0,048	0,081
Rytinio piko	0,260	0,176	0,249	0,353
Vidurdienio	0,113	0,084	0,110	0,155
Vakarinio piko	0,034	0,025	0,034	0,034

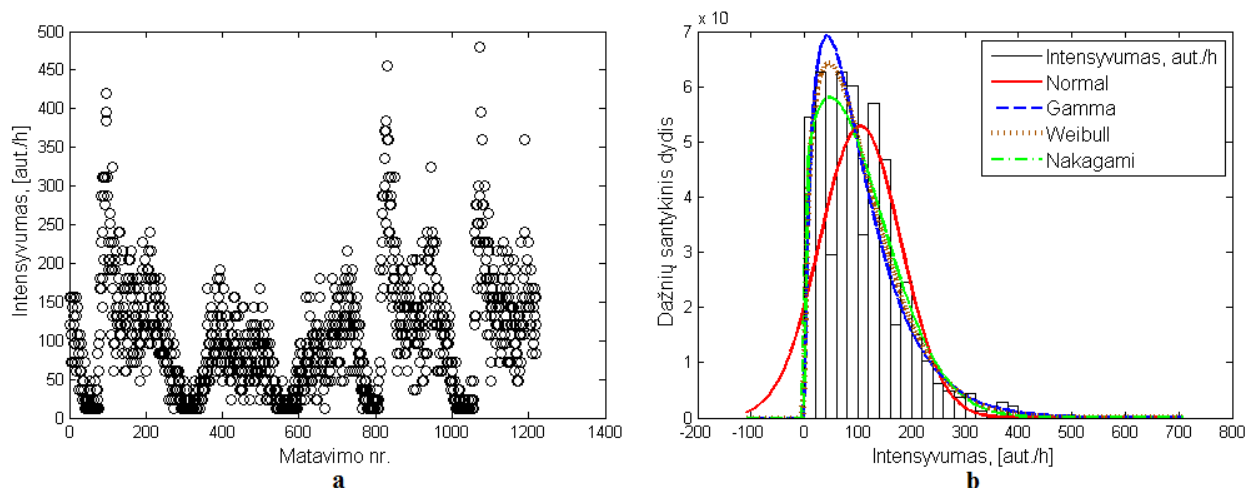
Palyginus visus gautus rezultatus nustatyta, kad Pipes-Munjalo modelio teorinės fundamentalios kreivės tiksliausiai atkartoja išmatuotus duomenis.

Tęsiant eksperimentinių tyrimų apdorojimą, buvo naudojami ir kitų gatvių eismo srautų duomenys sudarant fundamentines kreives ir nustatant jų koeficientus (A priedas): Antakalnio g.

2.3. PASISKIRSTYMO HISTOGRAMŲ SUDARYMAS IR SKIRSTINIO KREIVIŲ KOEFICIENTŲ NUSTATYMAS NAUDOJANT EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATUS

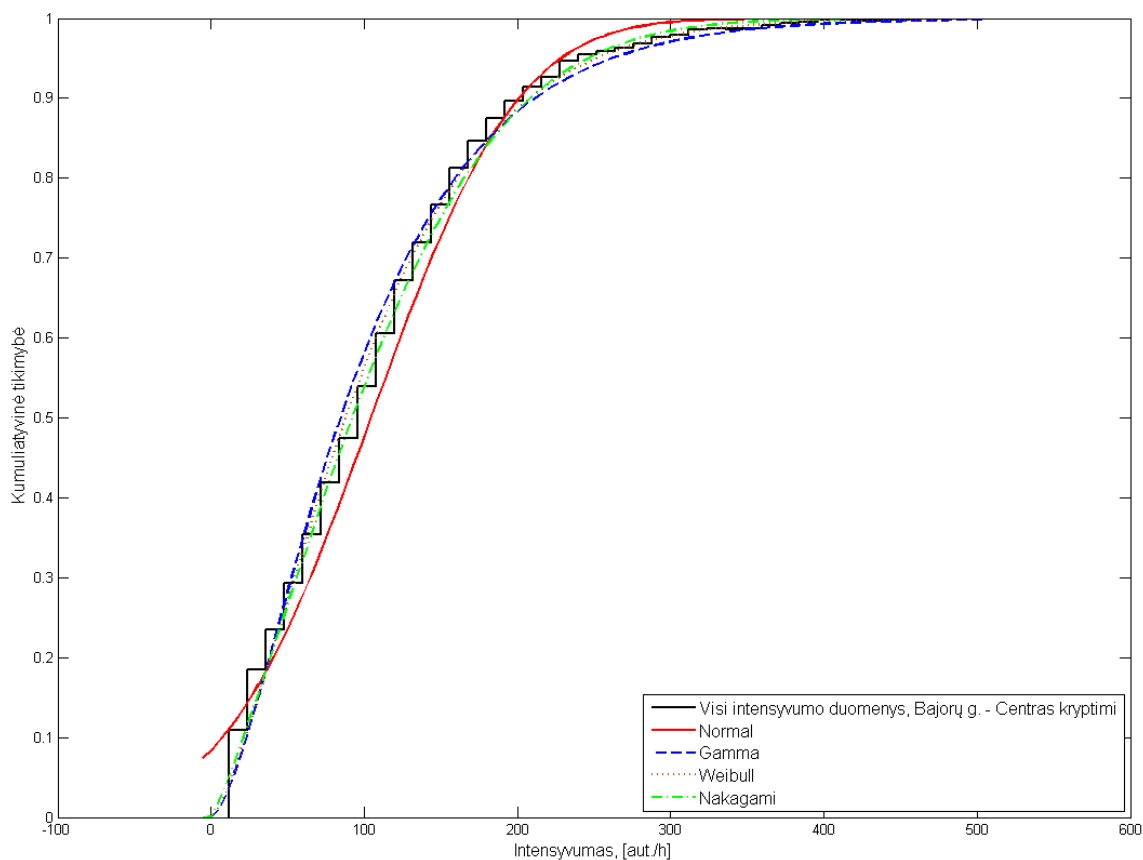
Iš eksperimento duomenų pagal pasiskirstymo dėsnį sugeneruojama automobilių imtis su skirtingais greičiais ir įvažiavimo laikais, kurie atitinkamu laiko momentu įvedami modeliavimo eigoje.

Panaudojant visus intensyvumo ir greičio eksperimentinius duomenis (2.11 pav. a ir 2.13 pav. a) sukaupus iš eismo srautų matavimų Bajorų g. – Centras kryptimi ir pasitelkiant Matlab programinę įrangą (B priedas) sudaromos intensyvumo ir greičio pasiskirstymo histogramos ir sudaromos teorinės skirstinio kreivės (2.11 pav. b ir 2.13 pav. b). Labiausiai eksperimentinius duomenims atitinkanti skirstinio kreivė naudojama automobilių, kurie atitinkamu laiko momentu įvažiuos į modeliuojamą kelio atkarpą, imčiai generuoti.



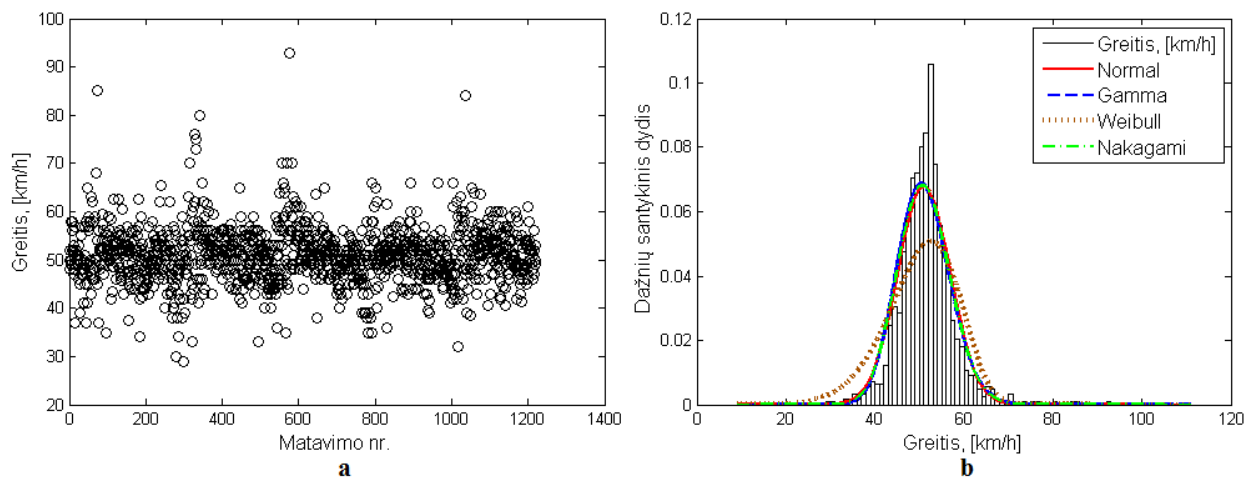
2.11 pav. Visi eksperimentiniai intensyvumo duomenys Bajorų g. – Centras kryptimi: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

Pasinaudojant *Matlab* programiniu paketu sudaromas intensyvumo skirstinio funkcijos grafikas ir vizualiai nustatoma, kuri skirstinio kreivė labiausiai atitinka išmatuotus duomenis. Kuo arčiau skirstinio kreivės išsidėsto funkcijos grafikas, tuo geresnis empirinio skirstinio suderinamumas su teoriniu.



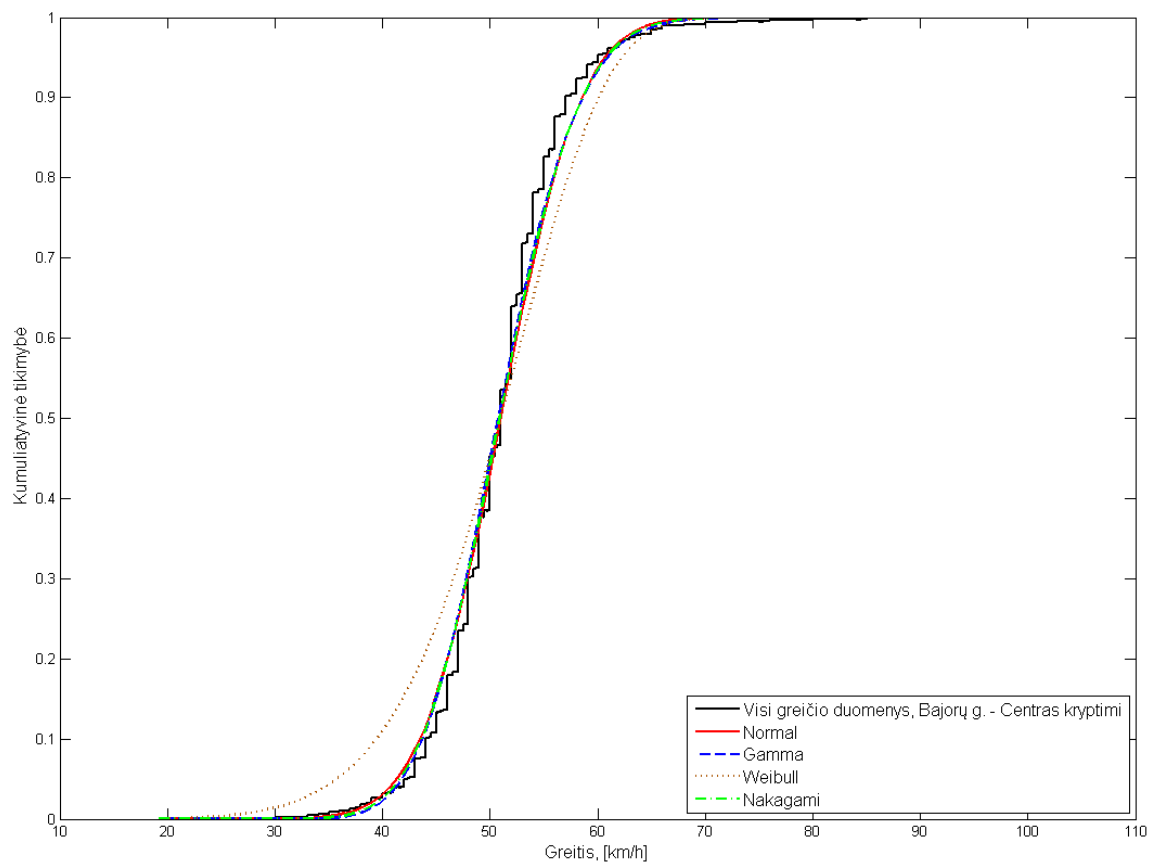
2.12 pav. Visų eksperimentinių intensyvumo duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas

Vizualiai matoma, kad labiausiai atitinkanti, eksperimentinius gatvės intensyvumo duomenis (Bajorų g. – Centras, kryptimi), skirstinio kreivė yra *Nakagami*. Jos skalės koeficiento reikšmė šiuo atveju yra $\mu = 0,578$ ir formos koeficiento reikšmė – $\omega = 16582$.



2.13 pav. Visi eksperimentiniai greičio duomenys Bajorų g. – Centras kryptimi: a) greičio duomenų sklaida; b) greičio pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

Taip pat sudaromas greičio skirstinio funkcijos grafikas ir vizualiai nustatoma, kuri skirstinio kreivė labiausiai atitinka išmatuotus duomenis.



2.14 pav. Visų eksperimentinių greičio duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas

Šiuo atveju vizualiai matoma, atitinkančios ir labai artimos eksperimentiniams gatvės greičio duomenims (Bajorų g. – Centras, kryptimi), skirstinio kreivės yra *normalinė*, *Gamma* ir *Nakagami*. Tokiu atveju pasirenkama normalinė skirstinio kreivė, kurios skalės koeficiento reikšmė šiuo atveju yra $\mu = 51$ ir formos koeficiento reikšmė – $\sigma = 5,872$.

Gautos skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios visus eksperimentinius Mokslinikų gatvės (Bajorų g. – Centras kryptimi) intensyvumo ir greičio duomenis pateiktos 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios viso išmatuoto intensyvumo ir greičio eksperimentinių duomenų pasiskirstymo histogramas

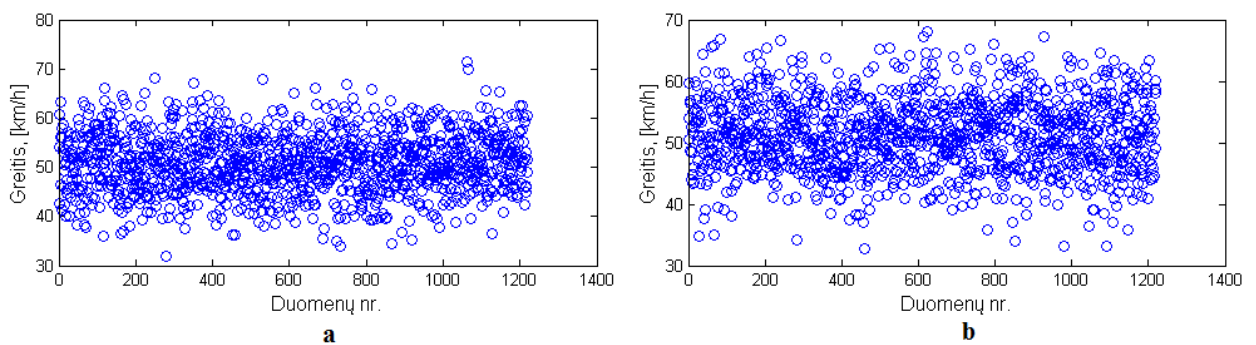
Skirstinio kreivė	Intensyvumas	Greitis
Normalinė	$\mu = 104,3;$ $\sigma = 75,51.$	$\mu = 51,00;$ $\sigma = 5,872.$
Gamma	$a = 1,677;$ $b = 62,20.$	$a = 76,84;$ $b = 0,664.$
Weibull	$a = 114,3;$ $b = 1,390.$	$a = 53,62;$ $b = 7,337.$
Nakagami	$\mu = 0,578;$ $\omega = 16582.$	$\mu = 19,25;$ $\omega = 2635.$

Analogiškai sudaromos intensyvumo ir greičio pasiskirstymo histogramos ir sudaromos teorinės skirstinio kreivės bei nustatomi jų koeficientai (C priedas) suskaidant duomenis į darbo dienų, savaitgalio bei suskaidant penktadienio dienos duomenis į rytinį piką (6-10 val.), vidurdienį (10-16 val.) ir vakarinį piką (16-19 val.).

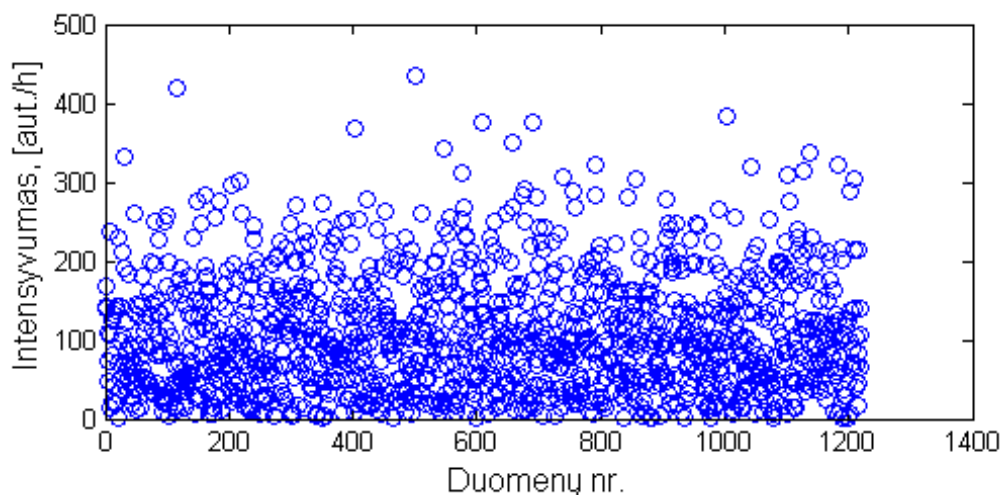
3. TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

3.1 TEORINIŲ GREIČIO IR INTENSIVUMO DUOMENŲ IMTIES GENERAVIMAS

Teoriniai greičio ir intensyvumo duomenys turi kuo tiksliau atkartoti pasirinktos gatvės eksperimentinius duomenis. Todėl jų generavimui naudojami fundamentinių transporto lygčių koeficientai ir/ar skirstinio kreivių koeficientai, kurie gaunami tiriant eksperimentinius transporto srautų parametrus. Naudojant skirstinio kreivių koeficientus, greičio duomenims generuoti taikomi normalinės kreivės koeficientai, o intensyvumui – Nakagami kreivės koeficientai, kadangi šios kreivės labiausiai atitinka eksperimentinius gatvės greičio ir intensyvumo duomenis. Teorinių duomenų generavimui naudojama *Matlab* programa.

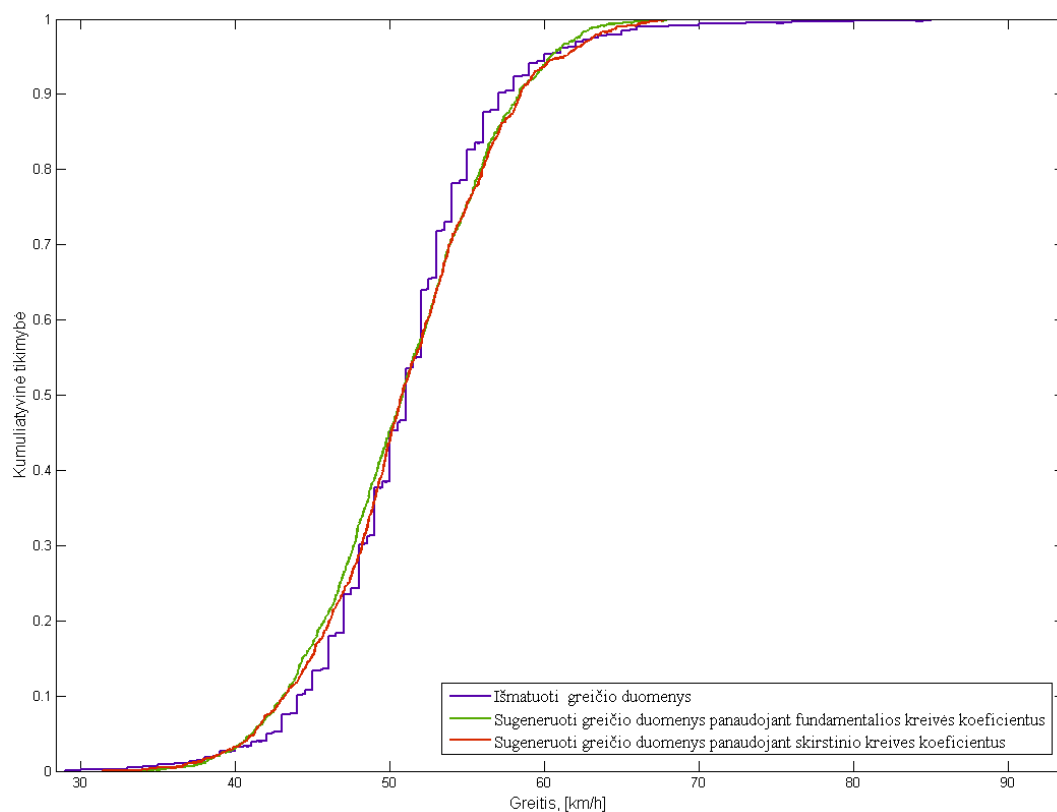


3.1 pav. Sugeneruoti teoriniai greičio duomenys: a) panaudojant fundamentalios kreivės koeficientus; b) panaudojant skirstinio kreivės koeficientus

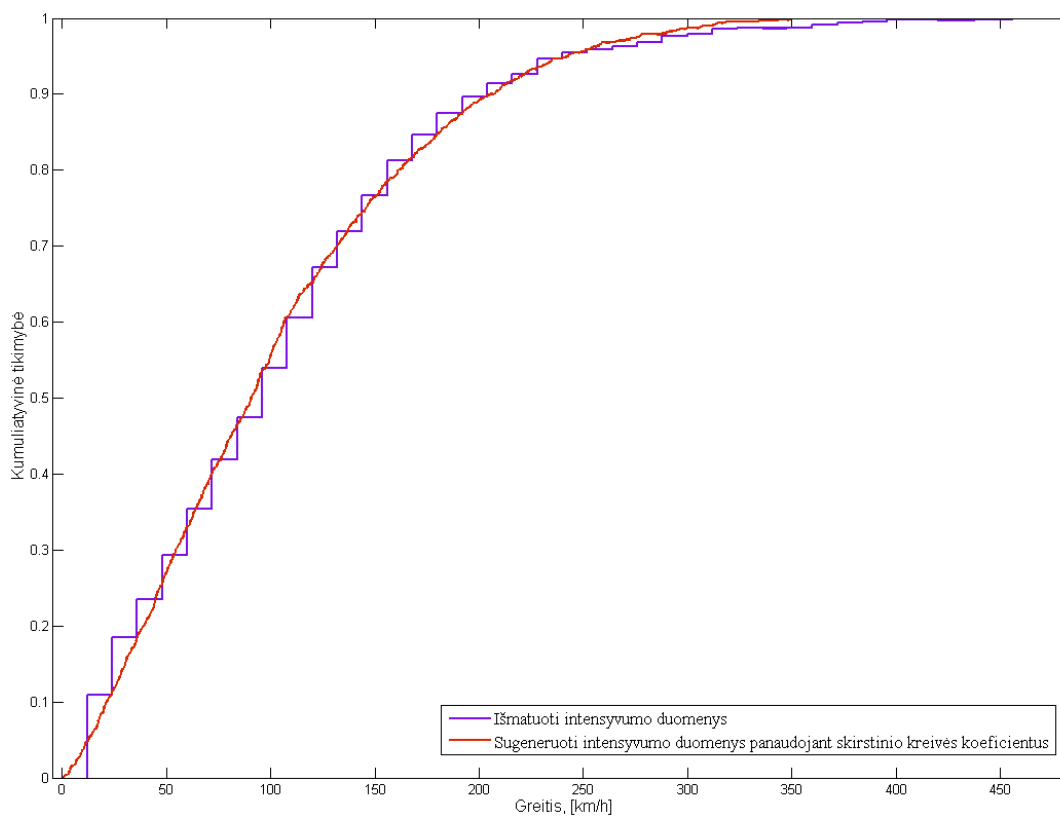


3.2 pav. Sugeneruoti teoriniai intensyvumo duomenys panaudojant skirstinio kreivės koeficientus

Sudaromi greičio ir intensyvumo skirstinių funkcijų grafikai ir vizualiai įvertinamas atitikimas sugeneruoto greičio dviem būdais ir išmatuoto greičio imčių bei sugeneruoto intensyvumo duomenimis su išmatuotais.



3.3 pav. Visų eksperimentinių ir sugeneruotų greičio duomenų Bajorų g. – Centras kryptimi skirstinio funkcijos grafikas

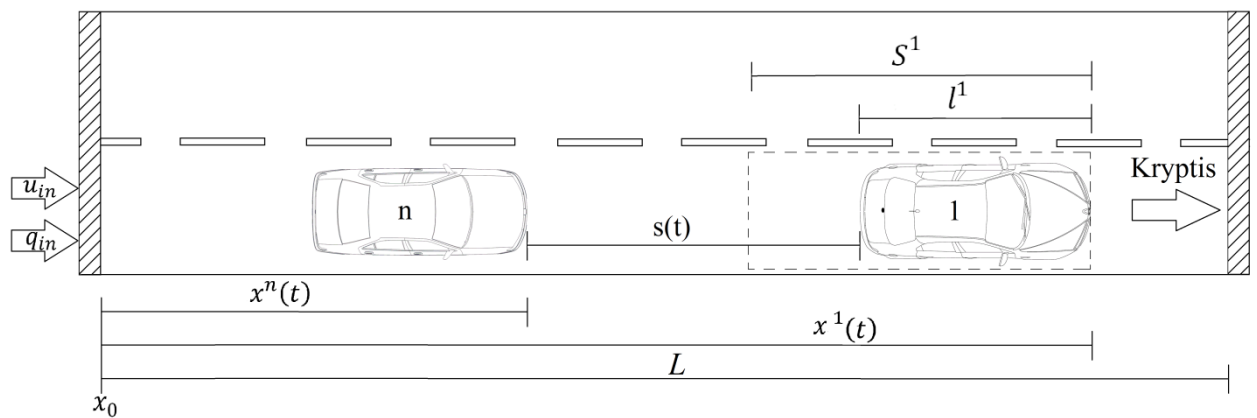


3.4 pav. Visų eksperimentinių ir sugeneruotų intensyvumo duomenų Bajorų g. – Centras ryptimi skirstinio funkcijos grafikas

Sugeneruoti greičio duomenys, panaudojant fundamentalios kreivės $u(q)$ koeficientus ir panaudojant greičio skirstinio kreivės koeficientus, yra praktiškai tokie patys (3.3 pav.), nes kreivėms sudaryti buvo naudojami tie patys eksperimentiniai duomenys. Taip pat pastarieji sugeneruoti greičio duomenys panaudojant fundamentalios kreivės koeficientus ir panaudojant skirstinio kreivės koeficientus bei sugeneruoti intensyvumo duomenys panaudojant skirstinio kreivės koeficientus (3.4 pav.) gaunami labai artimi išmatuotiems greičio ir intensyvumo duomenims.

3.2 EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATŲ PANAUDOJIMAS SEKIMO PASKUI LYDERĮ MODELyje

Tyrimo metu pasirenkama tiriama kelio atkarpa, kurios ilgis L (3.5 pav.). Į šią atkarpą tam tikru greičiu u_{in} įvedamos transporto priemonės. Transporto priemonių greičiai generuojami naudojant fundamentalių diagramų greičio funkcijas nuo intensyvumo $u(q)$ arba teorinės skirstinio kreivės, kurios sudaromos iš išmatuotų transporto priemonių greičių ir transporto srauto intensyvumo.



3.5 pav. Automobilio sekimo paskui lyderį schema kelio ruože

Į sistemą įvedamų automobilių atstumams tarp jų yra kintamas ir jis priklauso nuo koncentracijos laiko momentu:

$$k(t) = \frac{q(t)}{u(t)}. \quad (3.1)$$

Intensyvumas $q(t)$ ir greitis $u(t)$ yra nustatomas iš teorinių skirstinių kreivių, kurios gaunamos ir parenkamos tinkamiausios pagal išmatuotus eksperimentinius duomenis. Ir pagal fundamentalios kreivės sąryšį (3.1) išsiskaičiuojama koncentracija.

Turint koncentraciją, galima išsiskaičiuoti įvedamų automobilių atstumus tarp jų:

$$h_s = \frac{1}{k} \quad (3.2)$$

Nurodoma, kad pirmoji transporto priemonė modeliavimo pradžioje yra taške $x_{t=0}^1 = 700$ m nuo pasirinkto ruožo pradžios ir juda $x_{t=0}^1 = 10$ m/s greičiu. Tuomet pirmasis automobilis laiko momentu $t + \Delta t$ bus:

$$x_{t+\Delta t}^1 = x_t + u_t \cdot \Delta t \text{ m}, \quad (3.3)$$

Greičiui išliekant pastoviam:

$$u_{t+\Delta t}^1 = u_{t=0}^1 \quad (3.4)$$

kitos įvedamos taške x_0 . Įvedamų į sistemą transporto priemonių greičiai ir intensyvumas gaunami iš eksperimentinių duomenų.

Transporto priemonės padėtis x_{n+i} nuo atskaitos pradžios x_0 laiko momentu t apskaičiuojama:

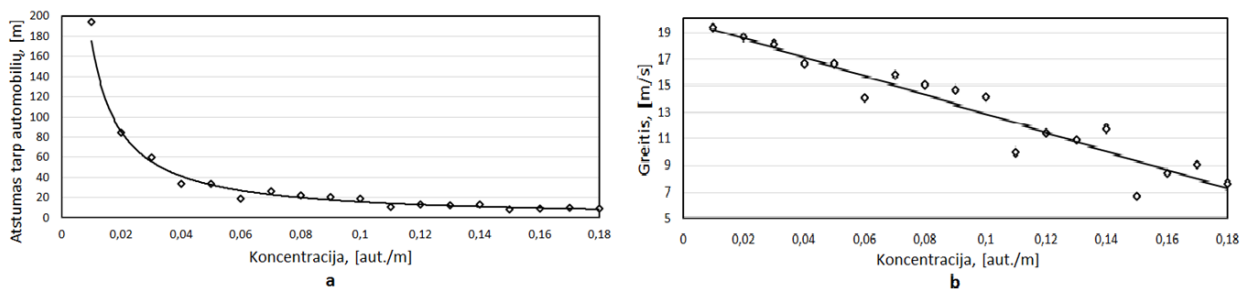
$$x_{n+i} = x_0 + u_{n+i} \cdot \Delta t. \quad (3.5)$$

Pirmosios transporto priemonės, įvestos į sistemą, nurodomas pastovus greitis $u^1(t)$ viso judėjimo užduotoje atkarpoje metu. Kitų transporto priemonių greitis apskaičiuojamas pagal Gipps modelį (1.31). Sistemoje transporto priemonių greičiai apskaičiuojami sąveikaujant dviem transporto priemonėms: n transporto priemonės greitį $u_n(t)$ įtakoja $n - 1$ transporto priemonė, $n + 1$ transporto priemonės greitį $u_{n+1}(t)$ įtakoja n transporto priemonė ir t.t.

Atliekant tyrimą įvedami parametrai, kurie skaičiavimo metu bus pastovūs: $a_n = 0,06$ m/s²; $b_n = -3$ m/s²; $\hat{b} = -6$ m/s²; $s_{n-1} = 10$ m; $\tau = 0,8$ s; $U_n = 20$ m/s.

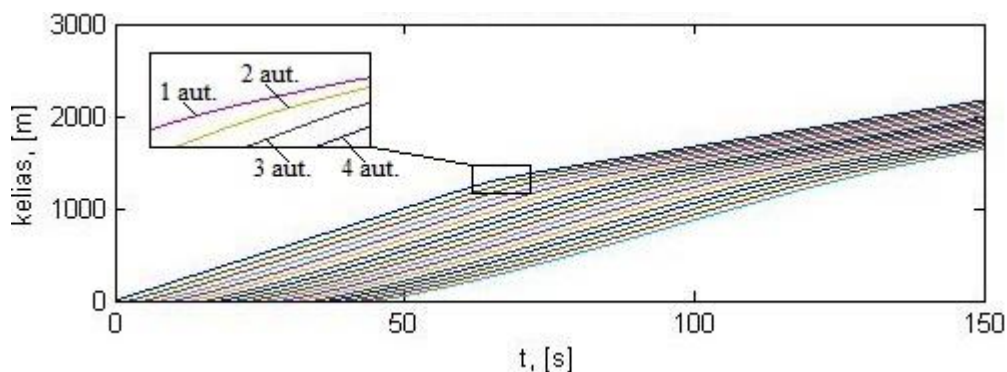
Nakagami skirstinio kreivės koeficientų reikšmės naudojamos apskaičiuojant priklausomybę nuo atstumo tarp automobilių ir koncentracijos (3.6 pav. a). Taip pat sudaroma fundamentali diagrama, kuri parodo greičio ir koncentracijos priklausomybę tiriamoje kelio atkarpoje (3.6 pav. b).

Atstumas tarp automobilių priklausomai nuo koncentracijos k apskaičiuojamas pagal (3.2) formulę. Nurodoma, kad k_{max} šioje kelio atkarpoje yra 0,18 aut./m. o koncentracija k kinta intervale nuo 0,01 iki 0,18 aut./m.



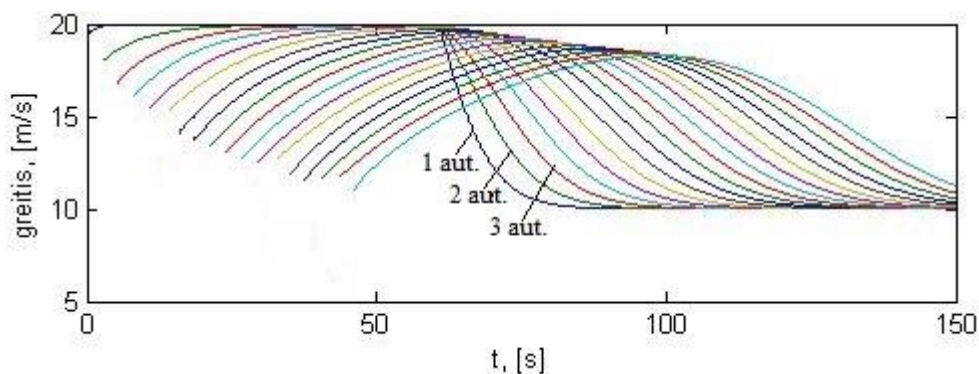
3.6 pav. Koncentracijos gatvėje įtaka: a) atstumo tarp automobilių priklausomybė nuo koncentracijos; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė

Atlikus skaičiavimus su Matlab programiniu (D priedas) paketu panaudojant Gippso modelį gauti grafikai parodo kaip kinta kiekvieno automobilio nuvažiuotas kelias (3.7 pav.), kol dar jie nėra priartėję iki priekyje važiuojančio automobilio ir kai atstumas tarp jų nedidelis. Imituojant lyderio automobilį nurodoma, kad jis nuo x_0 taško nutolęs 700 m ir jo greitis yra 10 m/s. Dėl to priartėjus iki šio automobilio atsiranda kreivės lūžis ir nuo to momento visi automobiliai važiuojantys už lyderiaujančio automobilio „kopijuoja“ lyderio automobilį.



3.7 pav. Automobilių nuvažiuoto kelio priklausomybė nuo laiko

Iš grafiko (3.7 pav.) matyti, kad tarp įvažiuojančių į modeliруемą kelio atkarpą automobilių tarpai yra mažesni, o vėliau jie padidėja. Tokį pokytį įtakoja tai, kad pagal Gippso modelį automobiliai pasiveja priekyje važiuojantį automobilį ir tada išlaiko minimalų saugų atstumą. Kaip kinta greitis viso proceso metu parodo automobilių judėjimo greičio grafikas (3.8 pav.).

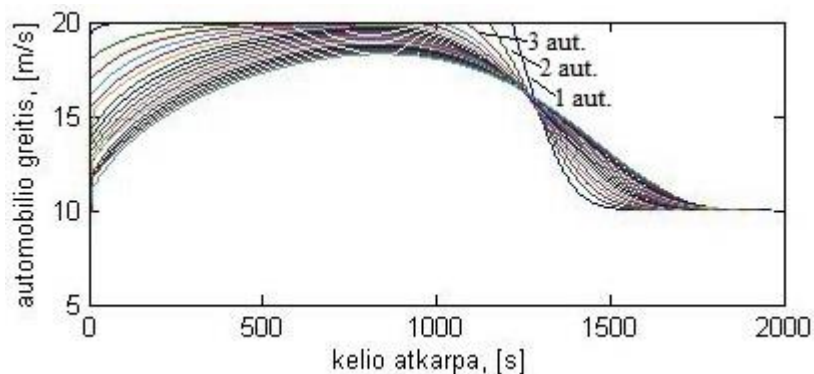


3.8 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo laiko

Kiekvienas automobilis į sistemą buvo įvedamas skirtingais greičiais panaudojus eksperimentinius duomenis. Kol atstumas iki priekyje važiuojančios transporto priemonės yra didesnis nei apskaičiuotas saugus atstumas, tai automobilis įsibėgėja iki norimo 20 m/s greičio. Toks greitis išlaikomas kol pasivejamas priekyje važiuojantis automobilis, kurio greitis yra 10 m/s. Tada automobilio greitis lėtinamas maksimaliu lėtėjimo pagreičiu $b_n = -3 \text{ m/s}^2$, kurį

vairuotojas pasirengęs atlikti, tol kol greičiai suvienodinami. Galiausiai visi automobiliai juda vienodu $u_{out} = 10$ m/s greičiu.

Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio parodyta grafike (3.9 pav.).



3.9 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio

Šis grafikas parodo, kad į sistemą įvedamoms transporto priemonėms, kurių greitis u_{in} yra didesnis, reikalingas trumpesnis laiko tarpas pasivyti priekyje važiuojančią transporto priemonę, nei toms transporto priemonėms kurių u_{in} mažesnis.

Tokią modeliavimo metodiką galima naudoti siekiant numatyti gatvės pralaidumo galimybes, eismo pokyčius įvedus eismo reguliavimo priemones ar jį apribojus ar numatyti transporto srauto pokytį atsiradus kliūčiai kelyje.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Tyrime buvo siekiama nustatyti, kaip teorinės fundamentalios kreivės ir jų lygčių koeficientai atitinka eksperimentinius matavimo duomenis ir įvertinus determinacijos koeficientus gauta, kad tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis yra Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentali kreivė, kurios $R^2 = 0,036$, lyginant su Underwoodo $R^2 = 0,020$, Greenshieldo $R^2 = 0,019$ ir Greenbergo $R^2 = 0,016$.
2. Siekiant nustatyti, kaip teorinės skirstinio kreivės ir jų koeficientai atitinka eksperimentinius matavimo duomenis, atliktas vizualinis palyginimas, ir gauta, kad labiausiai atitinkanti, eksperimentinius gatvės intensyvumo duomenis skirstinio kreivė yra *Nakagami* (2.12 pav.), o labiausiai atitinkanti, eksperimentinius gatvės greičio duomenis skirstinio kreivė yra *Normalinė* (2.14 pav.).
3. Siekiant nustatyti, kaip atitinka sugeneruoti greičio duomenys, panaudojant fundamentalios kreivės $u(q)$ koeficientus ir panaudojant greičio skirstinio kreivės koeficientus, atliktas vizualus palyginimas ir gauta, kad duomenys beveik sutampa (3.3 pav.), nes kreivėms sudaryti buvo naudojami tie patys eksperimentiniai duomenys.
4. Pasirinkto kelio ruožo modeliavimui naudojant Gippso modelį, skirtų greičio reikšmių generavimui, siūlau naudoti Pipes-Munjalo (laipsninę) fundamentalią lygtį, skirtą greičio ir koncentracijos priklausomybei aprašyti, ar Normalinę skirstinio kreivę, o intensyvumo reikšmėms generuoti – Nakagami skirstinio kreivę.

LITERATŪRA

1. „Aimsun“ Transport simulation systems. [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: http://www.aimsun.com/wp/?page_id=21.
2. Bellucci, P; Cipriani, E. Data Accuracy on Automatic Traffic Counting: The SMART Project Results. *European Transport Research Review*. 2010, 2(4): 175–187.
3. Bellucci, P.; Cipriani, E. „Smart Project: Field Test Results of Different Traffic Monitoring Technologies.“ Pranešimas konferencijoje „*European Transport Conference*“ Italy, 2005.
4. Brilon, W.; Lohoff, J. Speed-flow Models for Freeways. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2011, 16: 26–36.
5. Casas, J.; Perarnau, J.; Torday, A. The Need to Combine Different Traffic Modelling Levels for Effectively Tackling Large-Scale Projects Adding a Hybrid Meso/Micro Approach. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2011, 20: 251–262.
6. Chang, K.; Chon, K. A Car-Following Model Applied Reaction Times Distribution and Perceptual Threshold. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005, 6: 1888–1903.
7. Christian Schulte zu Berge internetinis puslapis. CityTrafficSimulator. [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.cszb.net/index.php?xid=12>.
8. Ciuffo, B.; Punzo, V.; Montanino, M. Thirty Years of Gipps' Car-Following Model. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2012, 2315(1): 89–99.
9. Coifman, B.; Kim, S. Extended Bottlenecks, the Fundamental Relationship, and Capacity Drop on Freeways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2011, 45(9): 980–991.
10. Daganzo C. F., Newell G. F. Methods of analysis for transportation operations. 2007.
11. Erlingsson, S.; Jonsdottir, A.M.; Thorsteinsson T. „Traffic Stream Modelling of Road Facilities.“ Pranešimas konferencijoje „*Transport Research Arena Europe 2006*“, Gotheburg, 2006 birželio 12–15.
12. Geroliminis, N.; Zheng, N.; Ampountolas, K. A Three-dimensional Macroscopic Fundamental Diagram for Mixed Bi-modal Urban Networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014, 42: 168–181.
13. Immers L. H. *Traffic flow theory*. 2002.
14. Keyvan-Ekbatani, M.; Papageorgiou, M.; Papamachail, I. Urban Congestion Gating Control Based on Reduced Operational Network Fundamental Diagrams. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2013, 33: 74–87.

15. Kesting, A.; Treiber, M.; Helbing, D. Enhanced Intelligent Driver Model to Access the Impact of Driving Strategies on Traffic Capacity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 368. 2010, 368(1928): 4585–4605.
16. Kim, J.; Mahmassani, H. S. Correlated Parameters in Driving Behavior Models: Car-Following Example and Implications for Traffic Microsimulation. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2011, 2249: 62–77.
17. Kirkup, L.; Mulholland, M. Comparison of Linear and Non-linear Equations for Univariate Calibration. *Journal of Chromatography A*. 2004, 1029: 1–11.
18. Klein, L.A. *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*. Artech House, Norwood, MA. 2001.
19. Krajzewicz, D.; Hartinger, M.; Hertkorn, G.; Mieth, P.; Rössel, C.; Zimmer, J.; Wagner, P. Using the Road Traffic Simulation „SUMO“ for Education Purposes. *Traffic and Granular Flow*. 2005, 3: 217–222.
20. Li, Z.; Li, W.; Xu, S.; Qian, Y. Stability Analysis of an Extended Intelligent Driver Model and its Simulations Under Open Boundary Condition. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2015, 419: 526–536.
21. Liao, D.; Ma, W.; Luo, Y. Shi, Z. Exploring Effects of Network Spatial Characteristics on Macroscopic Fundamental Diagram. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013, 96(6): 1538–1546.
22. Lu, X. Y., Varaiya, P.; Horowitz, R. Fundamental Diagram Modelling and Analysis Based NGSIM Data. *Control in Transportation Systems*. 2009, 12(1): 367–374.
23. Mimbela, Luz-Elena Y. *A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies Used in Intelligent Transportation Systems*. Washington, 2000.
24. Nagatani, T. Traffic States and Fundamental Diagram in Cellular Automaton Model of Vehicular Traffic Controlled by Signals. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2009, 388(8): 1673–1681.
25. Narems, S. Vehicle Weight Gipps' Car-Following Model. *Magistirnis darbas*. 2013.
26. Papathanasopoulou, V.; Antoniou, C. Towards Data-driven Car-following Models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015.
27. Paukštienė, A., Ragalytė, B.; Aproximavimo ir Interpoliavimo Uždavinių Sprendimas Naudojant Informacines Technologijas. *Informacinių Technologijų Taikymas Švietimo Sistemoje*. 2009, 1(1): 51–57.
28. Ranjitkar, P.; Nakatsuji, T.; Kawamura, A. Car-following Models: an Experiment Based Benchmarking. *Journal of the eastern asia society for transportation studies*. 2005, 6: 1582–1596.

29. „Quadstone Paramics“ internetinis puslapis. [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.paramics-online.com>.
30. Samonsov, M. Exactly Solvable Stochastic Processes for Traffic Modelling. *Computer and Information Sciences*. 2010, 62: 75–78.
31. Schnetzler, B. Anizotropic Second-order models and associated fundamental diagrams. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2013, 27: 131–139.
32. „Sipronika“ kompanijos internetinis puslapis [interaktyvus]. Liubliana [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.sipronika.si/products/traffic-information-systems/tc-25?searchterm=Traffi>.
33. Taniguchi, Y.; Nishi, R.; Ezaki, T.; Nishinari, K. Jam-Absorption Driving With a Car-Following Model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2015: 1–12.
34. Xia-lin, M.; Ming, C. Rendering of Dynamic Road Traffic Noise Map Based on Paramics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013, 96: 1460–1468.
35. Xi X.; ZhaoCheng, He; WenBo, S. Traffic Impact Analysis of Urban Intersections With Comprehensive Waiting Area on Urban Intersection Based on Paramics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013, 96: 1910–1920.
36. Wang, H.; Li, J.; Chen, Q.; Ni, D. Logistic Modeling of the Equilibrium Speed-density Relationship. *Transport Research Part A: Policy and Practise*. 2011, 45(6): 554–566.
37. Zhang, L.; Gu, T.; Zhao, J.; Ji, S.; Sun, Q.; Hu, M. An Adaptive Moving Total Least Squares Method for Curve Fitting. *Measurement*. 2014, 49: 107–112.
38. Zheng, J.; Suzuki, K.; Fujita, M. Car-Following Behavior with Instantaneous Driver-Vehicle Reaction Delay: A Neural-Network-Based Methodology. *Transportation Research Part C*. 2013, 36: 339–351.