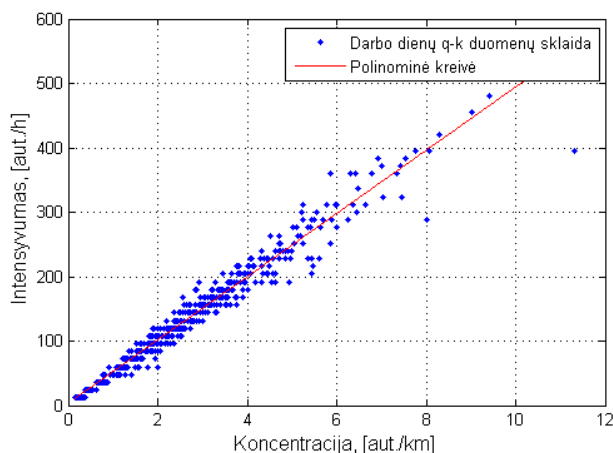


**Darbo dienų ir savaitgalio Mokslininkų g. (Bajorų g. – Centras krypties)
eksperimentiniai duomenys.**

Pagal išmatuotus darbo dienų eismo srauto greičius ir intensyvumą bei apskaičiuotą koncentraciją nubraižomos fundamentalios eismo srauto priklausomybių kreivės tarp: intensyvumo ir koncentracijos, greičio ir koncentracijos, greičio ir intensyvumo (A1 pav.).



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = 49,09k + 3,33$$

$$R^2 = 0,969$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

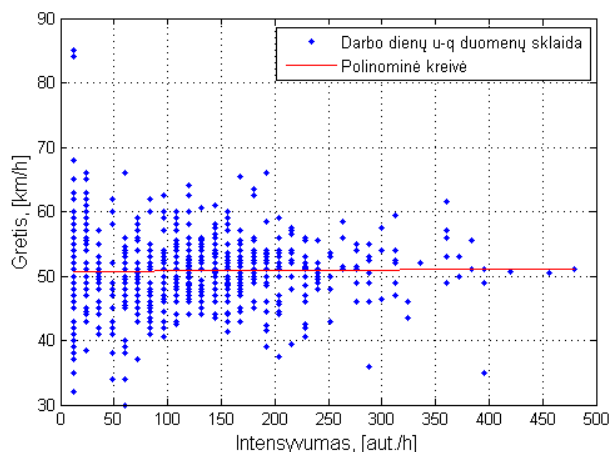
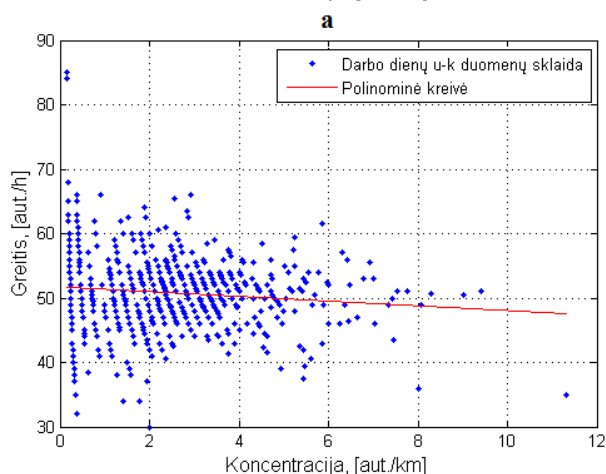
$$u = -0,368k + 51,74$$

$$R^2 = 0,019$$

Greičio ir intensyvumo priklausomybė

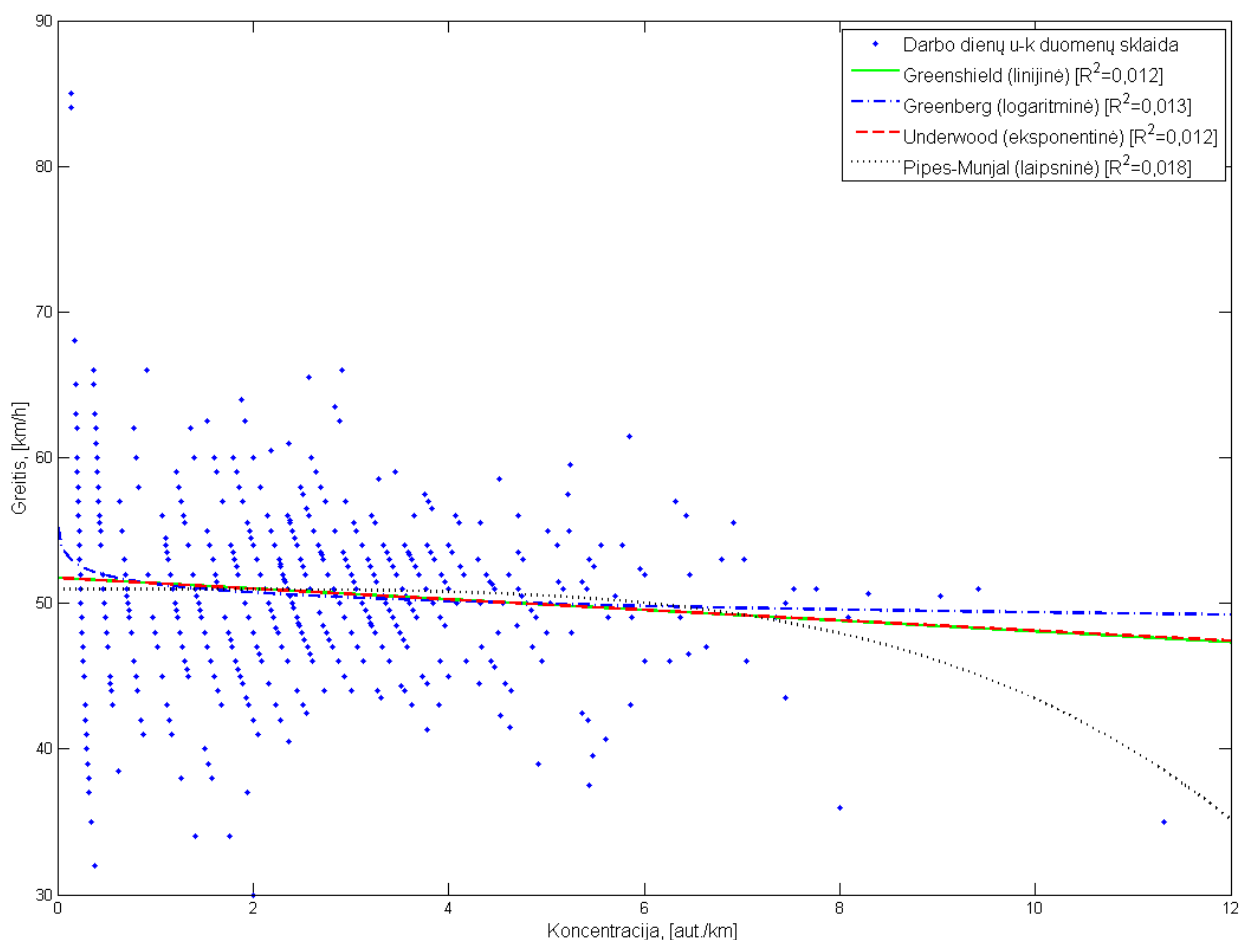
$$u = -0,0009q + 50,7$$

$$R^2 = 0,0014$$



A1 pav. Fundamentalios transporto kreivės su darbo dienų Mokslininkų g. išmatuotais duomenimis: a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė

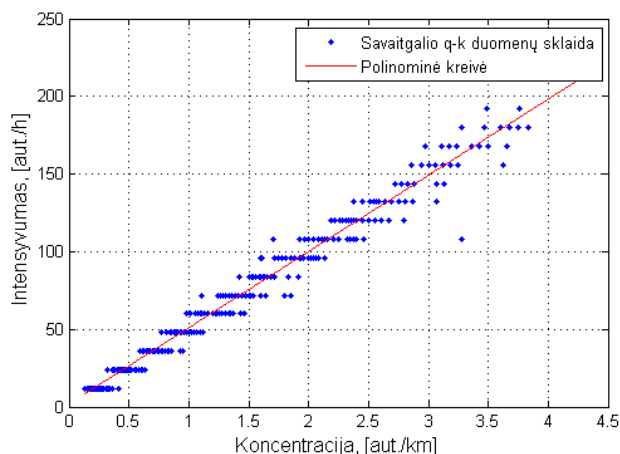
Pagal gautą greičio ir koncentracijos duomenų sklaidą, atliekamas Greenshieldo (1.2), Greenbergo (1.4), Underwoodo (1.5) ir Pipes-Munjalo (1.6) fundamentalių kreivių palyginimas ir nustatoma tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis.



A2 pav. Darbo dienų eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalios kreivės

Sulyginus darbo dienų teorinių fundamentalių kreivių determinacijos koeficientus, kurie yra: Greenshieldo ($R^2 = 0,012$), Greenbergo ($R^2 = 0,013$), Underwoodo ($R^2 = 0,012$) ir Pipes-Munjalo ($R^2 = 0,018$), nustatyta, kad tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis yra Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentali kreivė.

Analogiškai pagal išmatuotus savaitgalio eismo srauto duomenis nubraižomos fundamentalios eismo srauto priklausomybių kreivės (A3 pav.).



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = 49,08k + 1,829$$

$$R^2 = 0,979$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

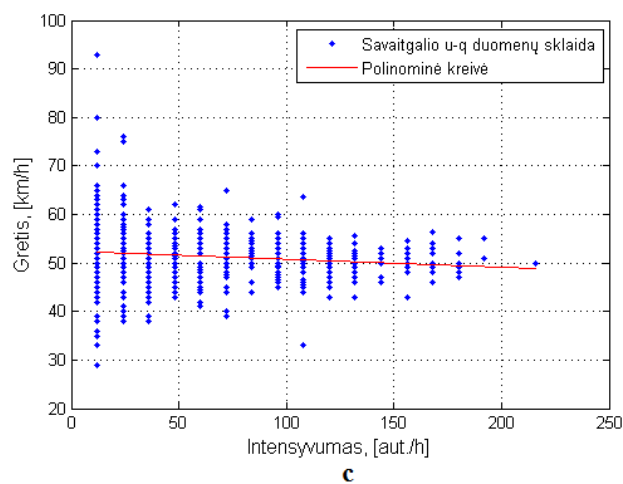
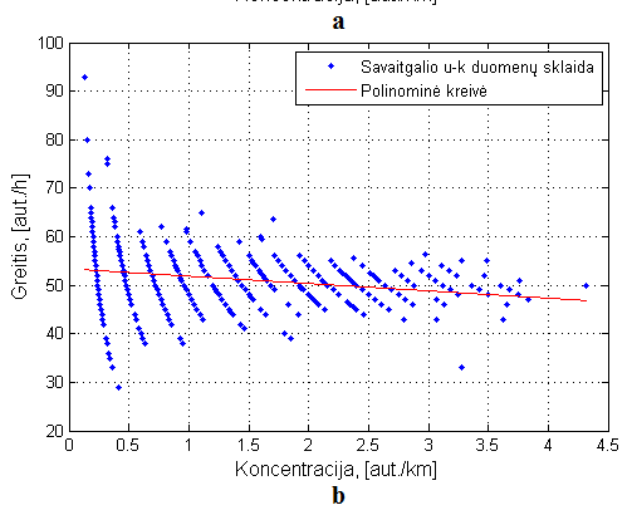
$$u = -1,51k + 53,39$$

$$R^2 = 0,048$$

Greičio ir intensyvumo priklausomybė:

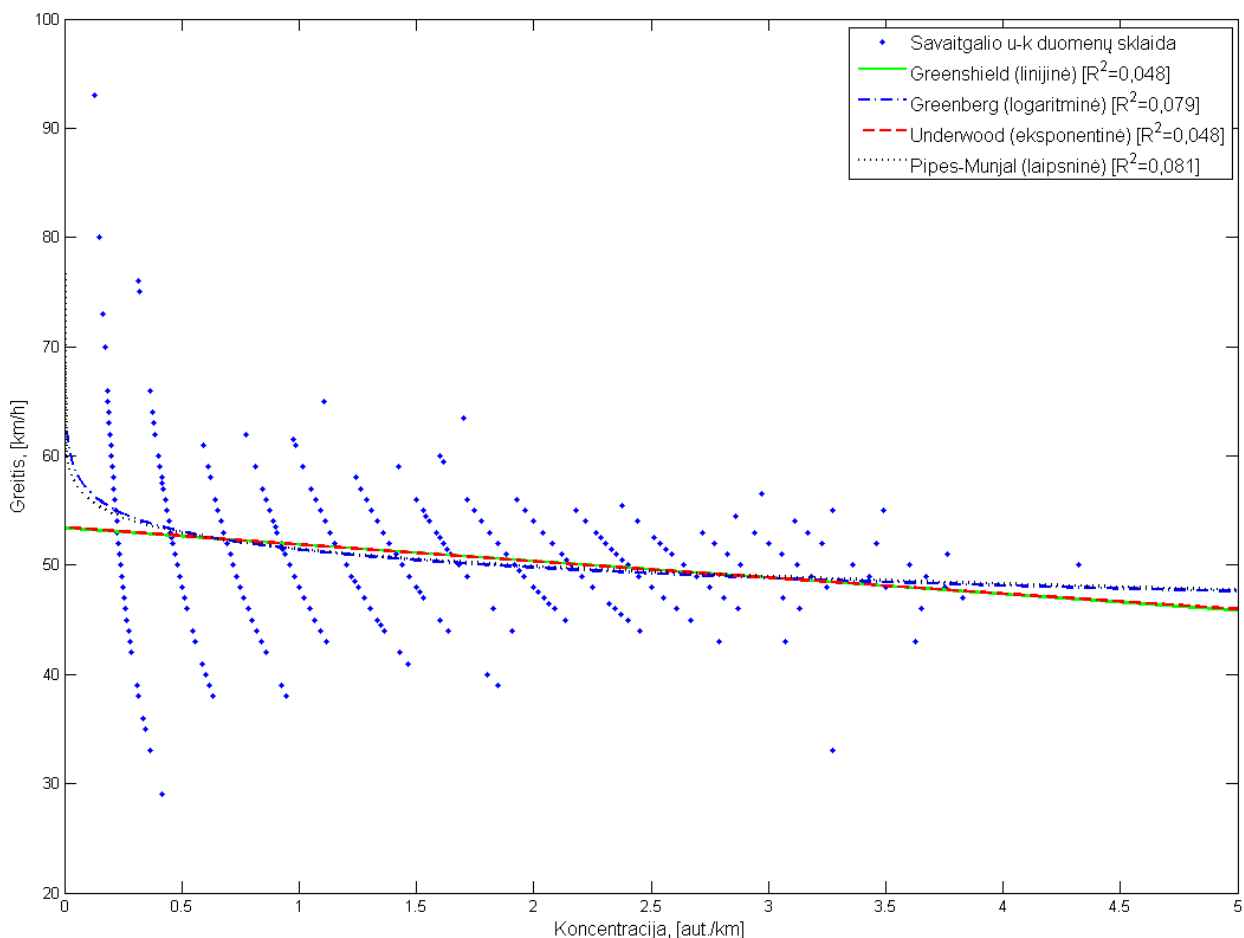
$$u = -0,017q + 52,44$$

$$R^2 = 0,014$$



A3 pav. Fundamentalios transporto kreivės su savaitgalio Mokslininkų g. išmatuotais duomenimis: a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė

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.



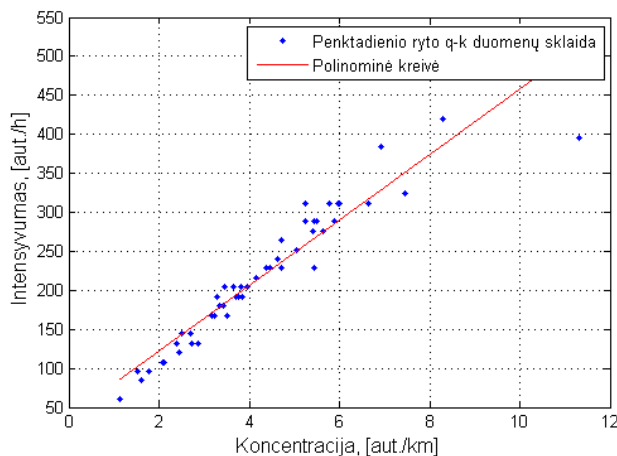
A4 pav. Savaitgalio eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalių kreivių

Sulyginus savaitgalio teorinių fundamentalių kreivių determinacijos koeficientus, kurie yra: Greenshieldo ($R^2 = 0,048$), Greenbergo ($R^2 = 0,079$), Underwoodo ($R^2 = 0,048$) ir Pipes-Munjalo ($R^2 = 0,081$), nustatyta, kad tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis yra Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentali kreivė.

Skirtingų dienos laikotarpių eksperimentiniai duomenys

Siekiant nustatyti, kaip kinta greičio, intensyvumo ir koncentracijos priklausomybės atsižvelgiant į paros laiką, suskirstomi penktadienio dienos išmatuoti duomenys į rytinio piko (6-10 val.), vidurdienį (10-16 val.) ir vakarinį piką (16-19 val.).

Pagal išmatuotus penktadienio rytinio piko eismo srauto greičius ir intensyvumą bei apskaičiuotą koncentraciją nubraižomos fundamentalios eismo srauto priklausomybių kreivės tarp: intensyvumo ir koncentracijos, greičio ir koncentracijos, greičio ir intensyvumo (A5 pav.).



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = 41,97k + 37,98$$

$$R^2 = 0,903$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

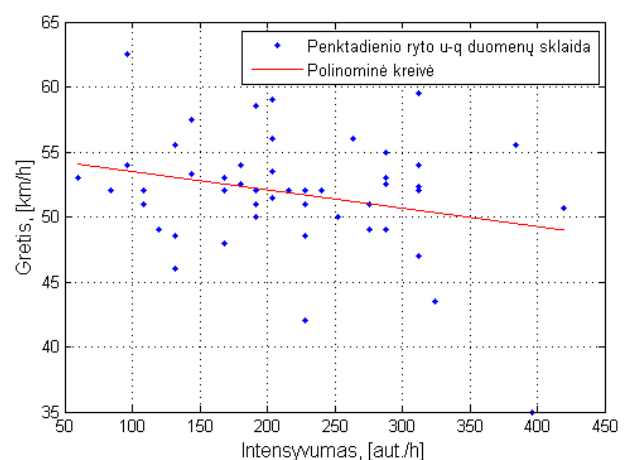
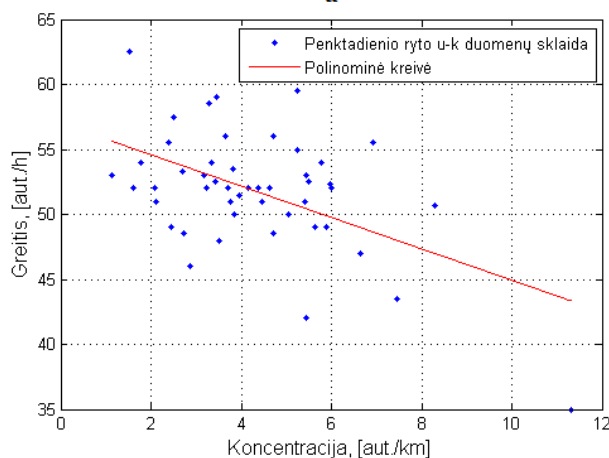
$$u = -1,21k + 57,01$$

$$R^2 = 0,26$$

Greičio ir intensyvumo priklausomybė

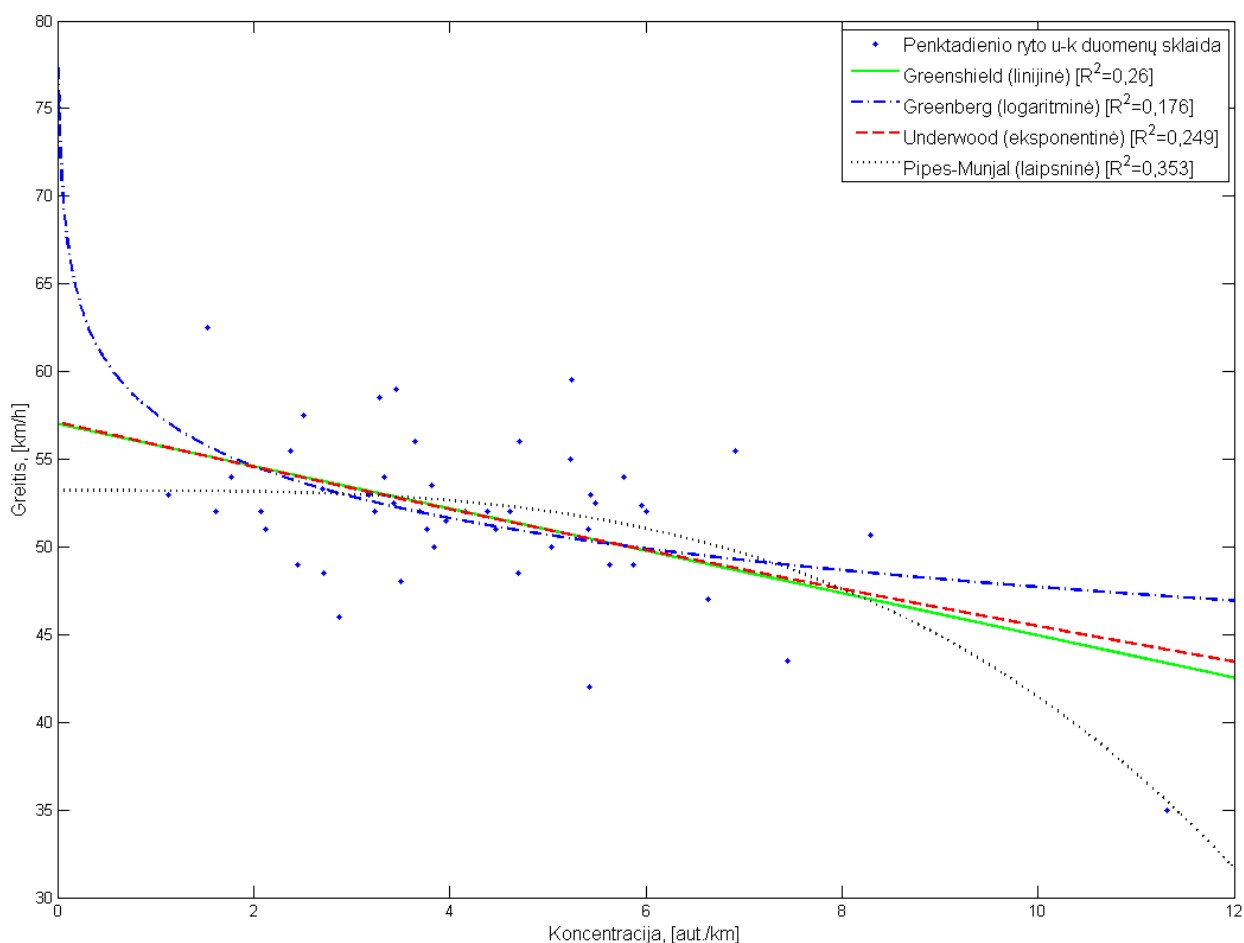
$$u = -0,014q + 54,91$$

$$R^2 = 0,069$$



A5 pav. Fundamentalios transporto kreivės su penktadienio rytinio piko Mokslininkų g. išmatuotais duomenimis: a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė

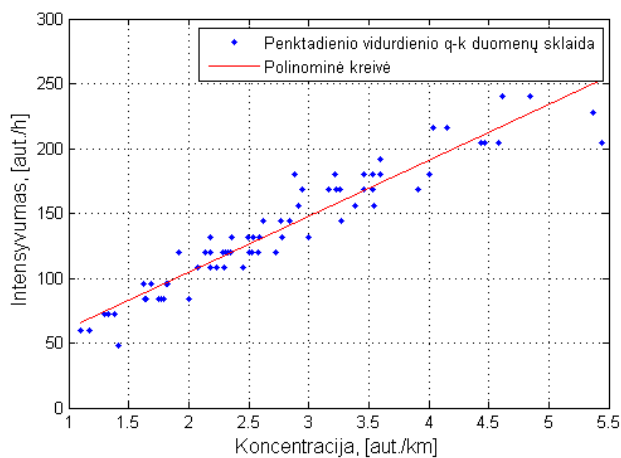
Pagal gautą greičio ir koncentracijos duomenų sklaidą, atliekamas Greenshieldo (1.2), Greenbergo (1.4), Underwoodo (1.5) ir Pipes-Munjalo (1.6) fundamentalių kreivių palyginimas ir nustatoma tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis.



A6 pav. Penktadienio rytinio piko eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalios kreivės

Sulyginus penktadienio rytinio piko teorinių fundamentalių kreivių determinacijos koeficientus, kurie yra: Greenshieldo ($R^2 = 0,26$), Greenbergo ($R^2 = 0,176$), Underwoodo ($R^2 = 0,249$) ir Pipes-Munjalo ($R^2 = 0,353$), nustatyta, kad tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis yra Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentali kreivė.

Analogiškai pagal išmatuotus vidurdienio eismo srauto duomenis nubraižomos fundamentalios eismo srauto priklausomybių kreivės (A7 pav.).



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = 41,97k + 37,98$$

$$R^2 = 0,903$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

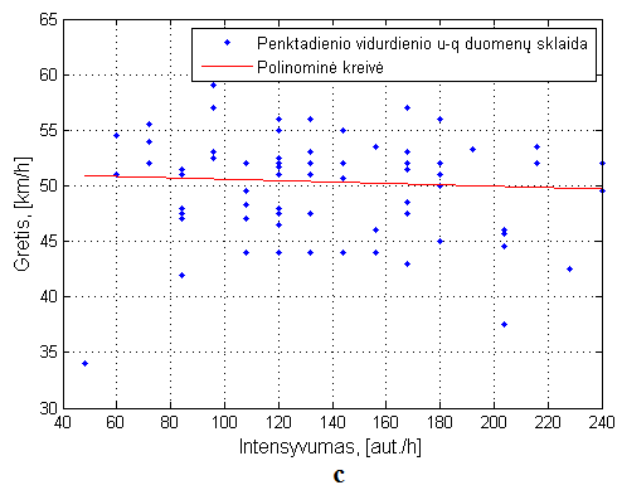
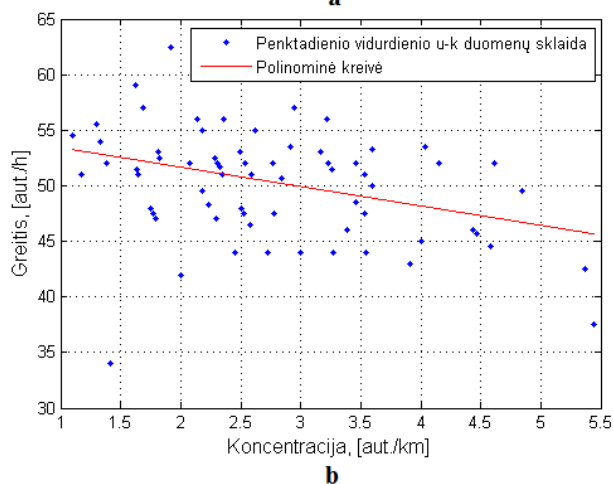
$$u = -1,21k + 57,01$$

$$R^2 = 0,26$$

Greičio ir intensyvumo priklausomybė

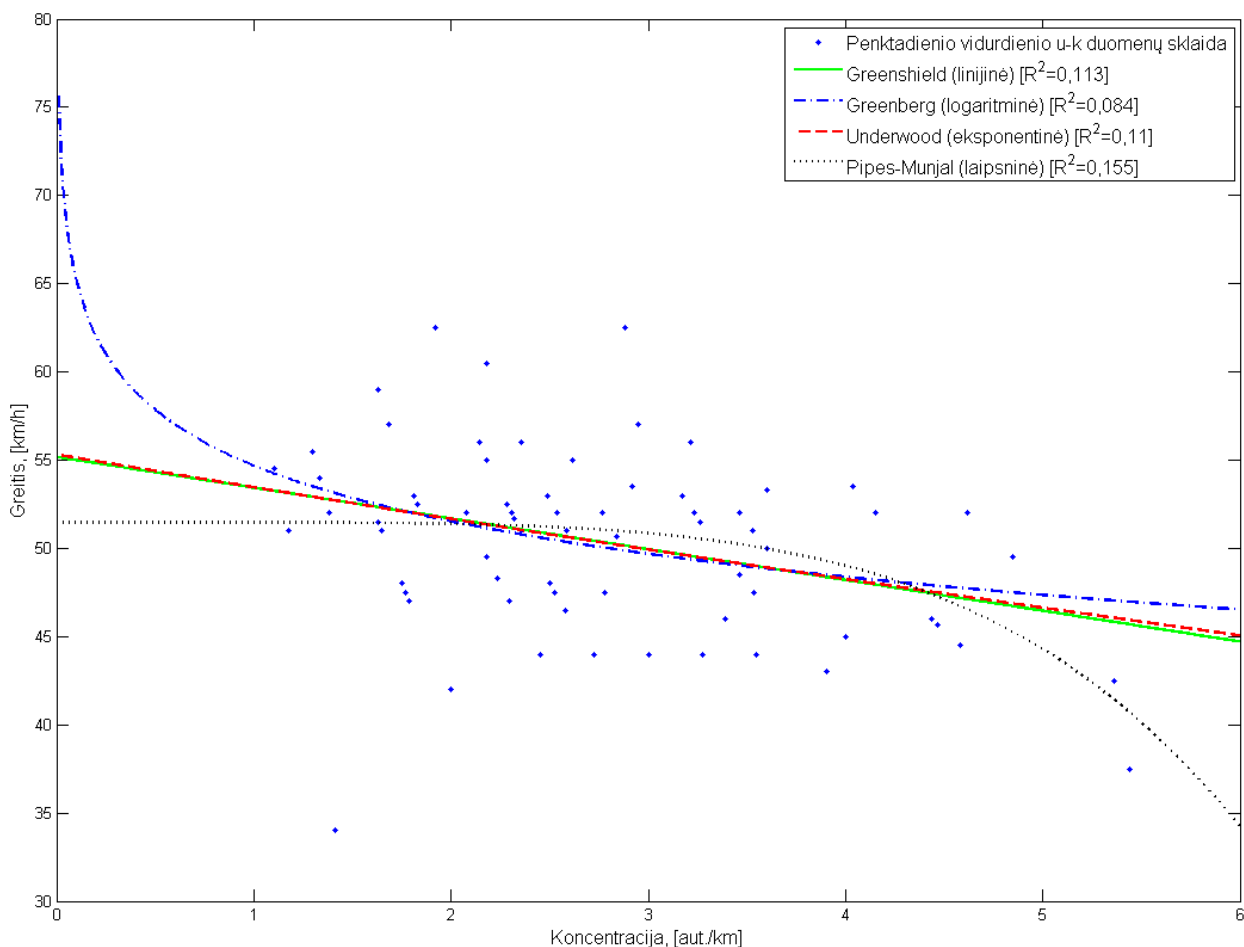
$$u = -0,014q + 54,91$$

$$R^2 = 0,069$$



A7 pav. Fundamentalios transporto kreivės su penktadienio vidurdienio Mokslininkų g. išmatuotais duomenimis: a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė

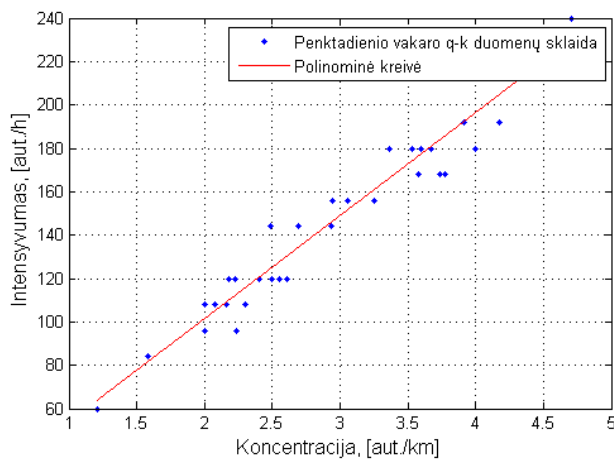
Pagal gautą greičio ir koncentracijos duomenų sklaidą, atliekamas Greenshieldo (1.2), Greenbergo (1.4), Underwoodo (1.5) ir Pipes-Munjalo (1.6) fundamentalių kreivių palyginimas ir nustatoma tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis.



A8 pav. Penktadienio vidurdienio eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalios kreivės

Sulyginus vidurdienio teorinių fundamentalių kreivių determinacijos koeficientus, kurie yra: Greenshieldo ($R^2 = 0,113$), Greenbergo ($R^2 = 0,084$), Underwoodo ($R^2 = 0,11$) ir Pipes-Munjalo ($R^2 = 0,155$), nustatyta, kad tiksliausiai atkartojanti išmatuotus duomenis yra Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentali kreivė.

Analogiškai pagal išmatuotus penktadienio vakarinio piko eismo srauto duomenis nubraižomos fundamentalios eismo srauto priklausomybių kreivės (A9 pav.).



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = 47,51k + 6,387$$

$$R^2 = 0,938$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

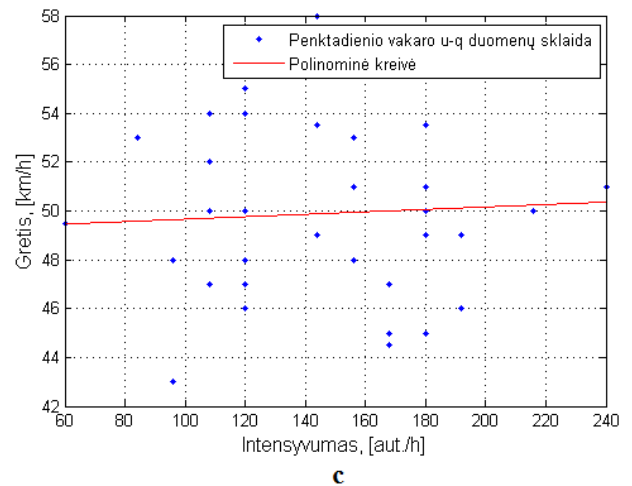
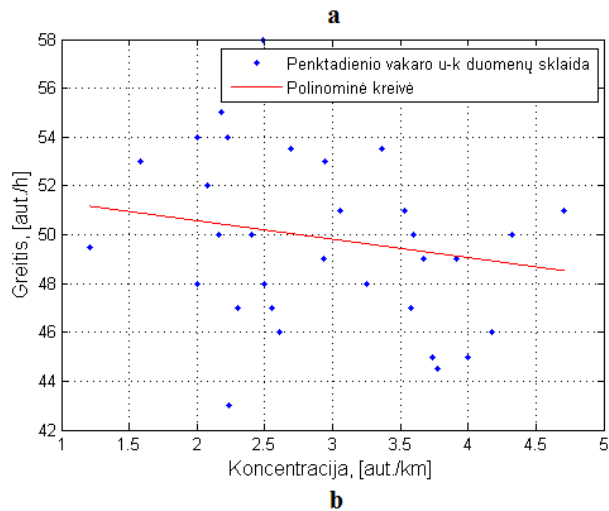
$$u = -0,756k + 52,09$$

$$R^2 = 0,034$$

Greičio ir intensyvumo priklausomybė

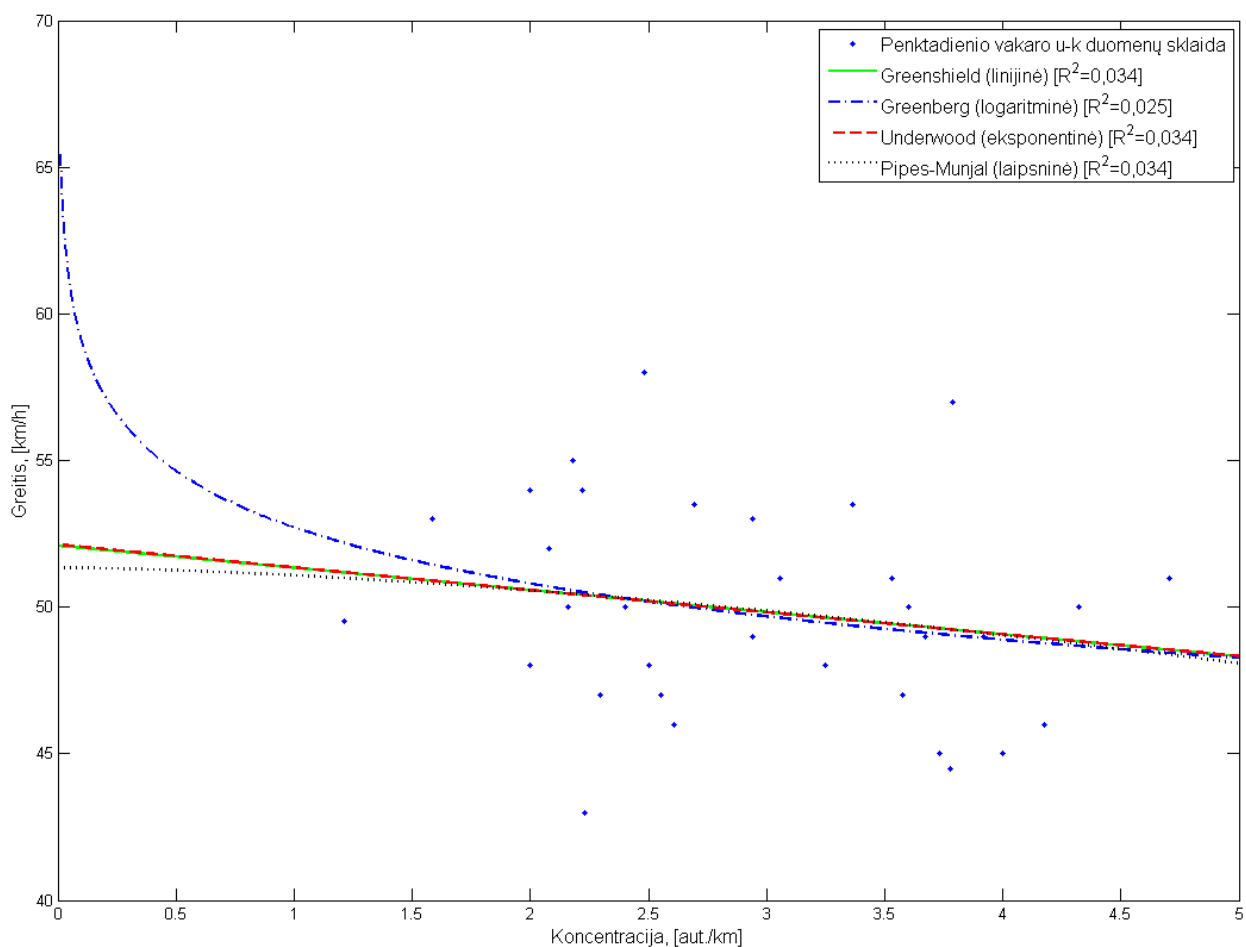
$$u = -0,005q + 49.16$$

$$R^2 = 0,004$$



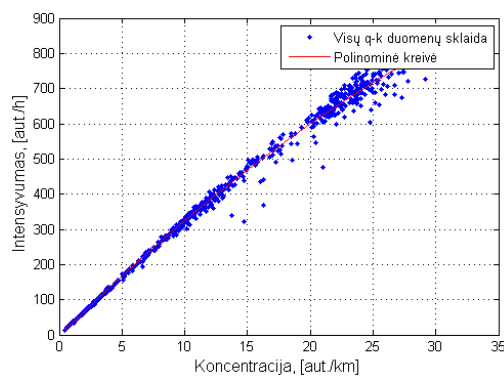
A9 pav. Fundamentalios transporto kreivės su penktadienio vakarinio piko Mokslininkų g. išmatuotais duomenimis: a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė

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.



A10 pav. Penktadienio vakarinio piko eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalios kreivės

Sulyginus penktadienio vakarinio piko teorinių fundamentalių kreivių determinacijos koeficientus, kurie yra: Greenshieldo ($R^2 = 0,034$), Greenbergo ($R^2 = 0,025$), Underwoodo ($R^2 = 0,034$) ir Pipes-Munjalo ($R^2 = 0,034$), nustatyta, kad tiksliausiai atkartojantčios išmatuotus duomenis yra Greenshieldo (linijinė), Underwoodo (eksponentinė) ir Pipes-Munjalo (laipsninė) fundamentalios kreivės.



Intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė:

$$q = -0,266k^2 + 35,5k - 4,542$$

$$R^2 = 0,938$$

Greičio ir koncentracijos priklausomybė:

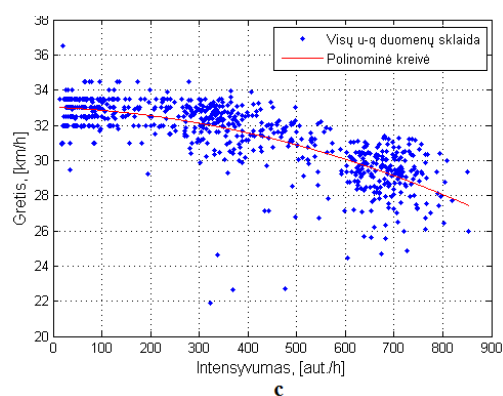
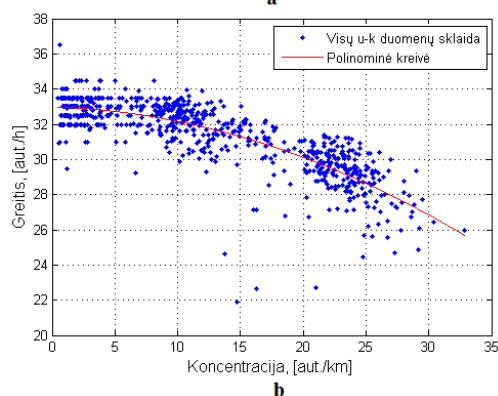
$$u = -0,006k^2 - 0,021k + 32,99$$

$$R^2 = 0,678$$

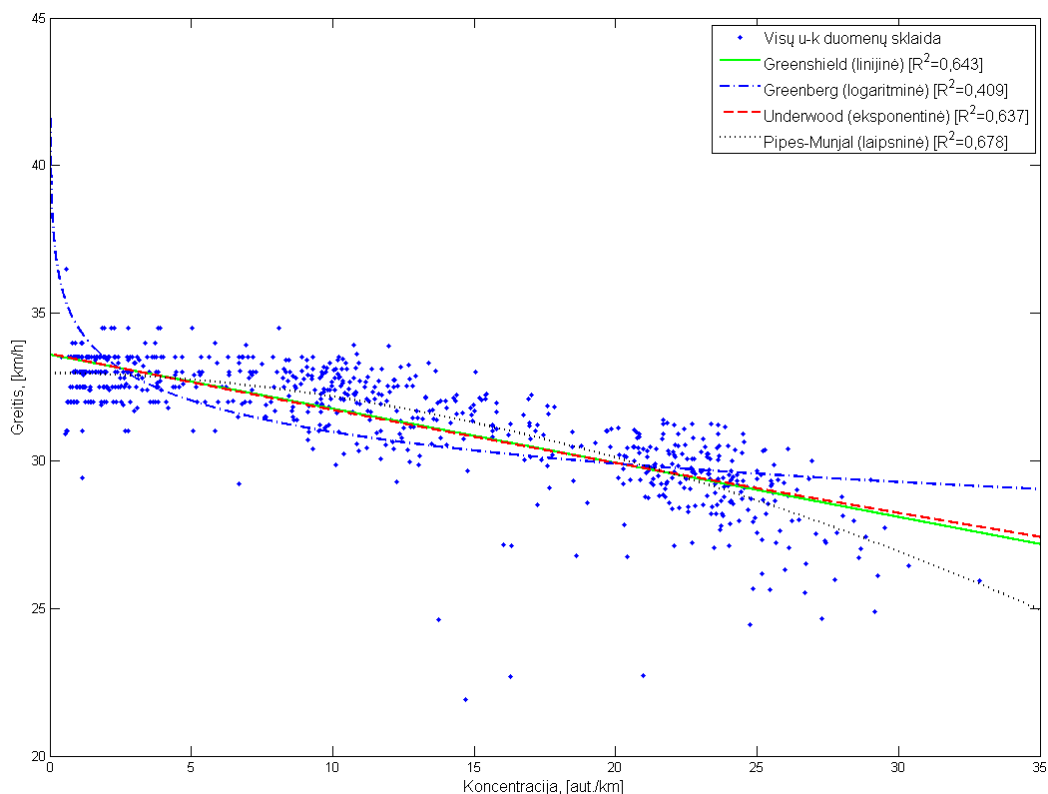
Greičio ir intensyvumo priklausomybė

$$u = -0,000006q^2 - 0,001q + 33,03$$

$$R^2 = 0,581$$



A11 pav. Fundamentalios transporto kreivės su Antakalnio g. duomenimis iškart už šviesoforo:
a) intensyvumo ir koncentracijos priklausomybė; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė; c) greičio ir intensyvumo priklausomybė.



A12 pav. Antakalnio g. iškart už šviesoforo eksperimentinių duomenų greičio-koncentracijos priklausomybės fundamentalios kreivės

Pateikiamas Matlab programos kodas skirtas sudaryti duomenų sklaidos grafikams, intensyvumo pasiskirstymo histogramoms ir skirstinio kreivėms.

```
clc
clear
clf(figure(1),'reset')

% -----Įvedami į programą eksperimentiniai intensyvumo
% duomenys-----
% Visas intensyvumas:
IBC = [Įrašomi visi eksperimento metu išmatuoti intensyvumo
duomenys (Bajorų g. - Centras kryptimi)];
ICB = [Įrašomi visi eksperimento metu išmatuoti intensyvumo
duomenys (Centras- Bajorų g. kryptimi)];
% Darbo dienų intensyvumas:
DIBC = [Įrašomi darbo dienų eksperimento metu išmatuoti
intensyvumo duomenys (Bajorų g. - Centras kryptimi)];
DICB = [Įrašomi darbo dienų eksperimento metu išmatuoti
intensyvumo duomenys (Centras- Bajorų g. kryptimi)];
% Savaitgalio intensyvumas:
SIBC = [Įrašomi savaitgalio eksperimento metu išmatuoti
intensyvumo duomenys (Bajorų g. - Centras kryptimi)];
SICB = [Įrašomi savaitgalio eksperimento metu išmatuoti
intensyvumo duomenys (Centras- Bajorų g. kryptimi)];
% Penktadienio rytinio (6-10 val.) piko intensyvumas:
PRIBC = [Įrašomi penktadienio rytinio piko eksperimento metu
išmatuoti intensyvumo duomenys (Bajorų g. - Centras kryptimi)];
% Penktadienio vidurdienio (10-16 val.) intensyvumas:
PVIBC = [Įrašomi penktadienio vidurdienio eksperimento metu
išmatuoti intensyvumo duomenys (Bajorų g. - Centras kryptimi)];
% Penktadienio vakarinio (16-19) piko intensyvumas:
PVAIBC = [Įrašomi penktadienio vakarinio piko eksperimento metu
išmatuoti intensyvumo duomenys (Bajorų g. - Centras kryptimi)];

% -----Sudaromas intensyvumo duomenų sklaidos
% grafikas, intensyvumo pasiskirstymo histogramos ir skirstinio
% kreivės-----
figure(1)
% Bajorų g. - Centras kryptis
subplot(2,2,1)
plot(IBC,'ko');
title('Bajorai - Centras');
xlabel('Matavimo nr. ');
ylabel('Intensyvumas, [aut./5 min]');

subplot(2,2,3)
title('Bajorai - Centras');
IBC = IBC(:);
% Histograma
[CdfF,CdfX] = ecdf(IBC,'Function','cdf');
BinInfo.rule = 1;
```

```

[~,BinEdge] =
internal.stats.histbins(IBC, [], [], BinInfo, CdfF, CdfX);
[BinHeight, BinCenter] = ecdfhist(CdfF, CdfX, 'edges', BinEdge);
hLine = bar(BinCenter, BinHeight, 'hist');
set(hLine, 'FaceColor', 'none');
hold on
% Create grid where function will be computed
XLim = get(gca, 'XLim');
XLim = XLim + [-1 1] * 0.01 * diff(XLim);
XGrid = linspace(XLim(1), XLim(2), 100);
%
BC_pd1 = fitdist(IBC, 'normal');
YPlot = pdf(BC_pd1, XGrid);
hLine = plot(XGrid, YPlot, 'Color', 'k', 'LineStyle', '-',
', 'LineWidth', 2);

BC_pd2 = fitdist(IBC, 'gamma');
YPlot = pdf(BC_pd2, XGrid);
hLine = plot(XGrid, YPlot, 'Color', 'g', 'LineStyle', '--
', 'LineWidth', 2);

BC_pd3 = fitdist(IBC, 'wbl');
YPlot = pdf(BC_pd3, XGrid);
hLine =
plot(XGrid, YPlot, 'Color', 'r', 'LineStyle', ':', 'LineWidth', 2);

BC_pd4 = fitdist(IBC, 'nakagami');
YPlot = pdf(BC_pd4, XGrid);
hLine = plot(XGrid, YPlot, 'Color', 'c', 'LineStyle', '-
.', 'LineWidth', 2);

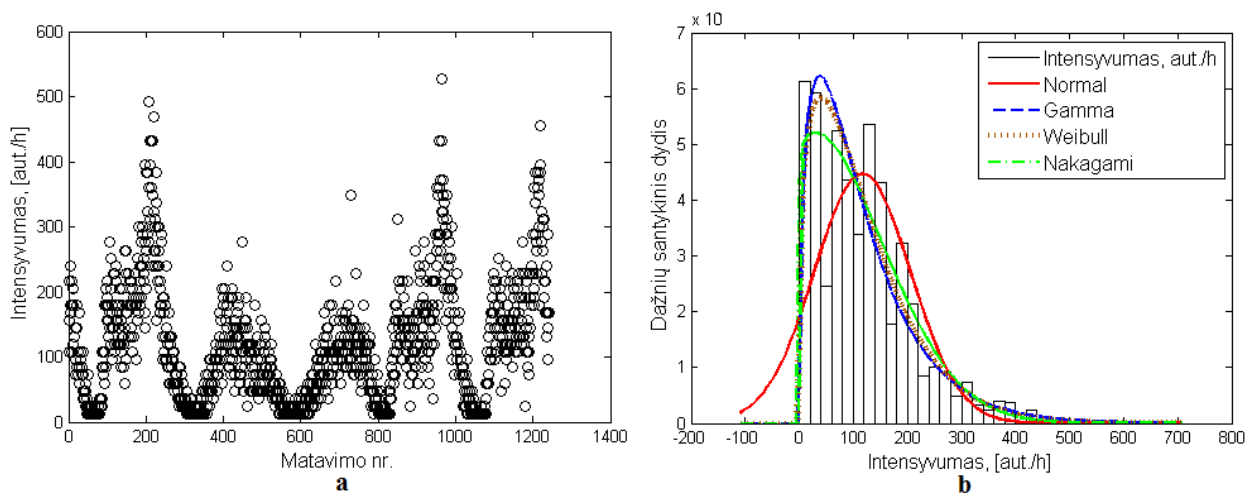
legend('Intensyvumas, aut./5
min', 'Normal', 'Gamma', 'Weibull', 'Nakagami')
xlabel('Intensyvumas, [aut./5 min]');
ylabel('Dažnių santykinis dydis');

% -----Analogiškai sudaromi kiti intensyvumo duomenų
sklaidos grafikai, intensyvumo pasiskirstymo histogramos ir
skirstinio kreivės-----

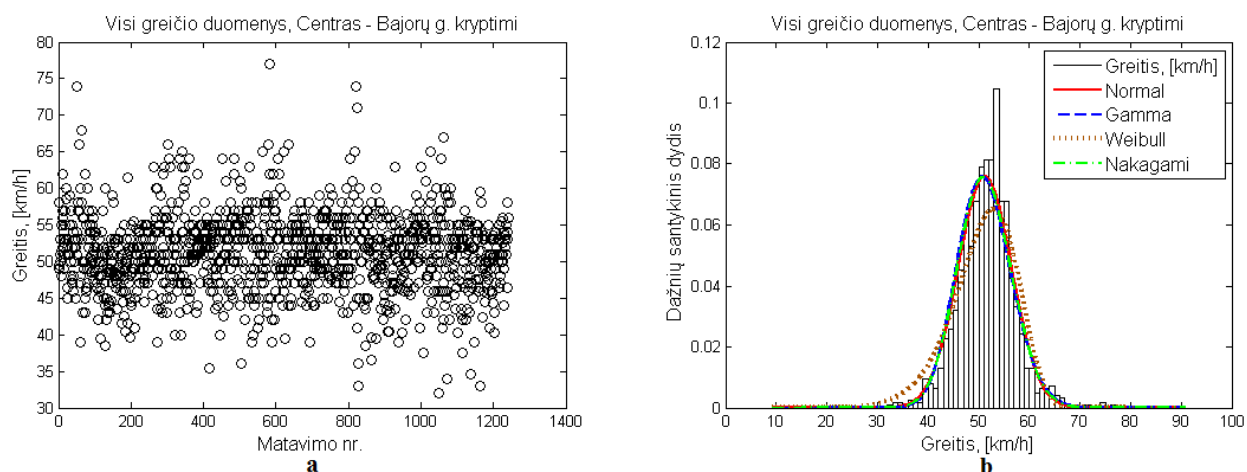
```

Visi eksperimentiniai duomenys

Panaudojant visus intensyvumo ir greičio eksperimentinius duomenis (C1 pav. a ir C2 pav. a) sukaupus iš eismo srautų matavimų Centras – Bajorų g. kryptimi ir pasitelkiant Matlab programinę įrangą (B priedas) sudaromos intensyvumo ir greičio pasiskirstymo histogramos ir sudaromos teorinės skirstinio kreivės (C1 pav. b ir C2 pav. b).



C1 pav. Visi eksperimentiniai intensyvumo duomenys Centras – Bajorų g. kryptimi: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės



C2 pav. Visi eksperimentiniai greičio duomenys Centras – Bajorų g. kryptimi: a) greičio duomenų sklaida; b) greičio pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

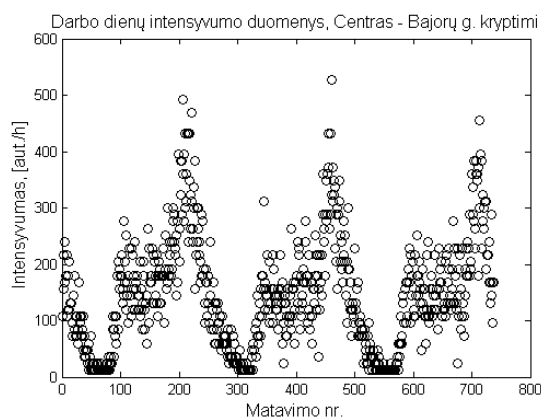
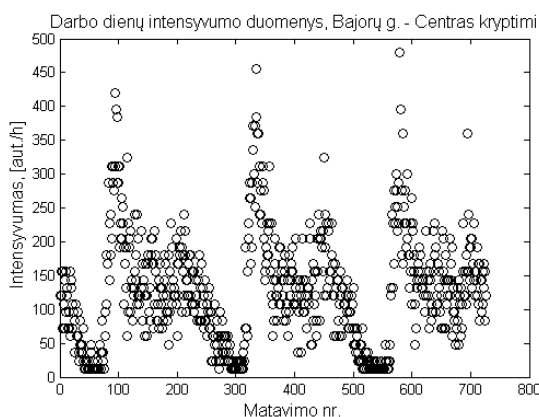
Gautos skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios visus eksperimentinius Mokslinikų gatvės (Centras – Bajorų g. kryptimi) intensyvumo ir greičio duomenis pateiktos C1 lentelėje.

C1 lentelė. Skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios viso išmatuoto intensyvumo ir greičio eksperimentinių duomenų pasiskirstymo histogramas

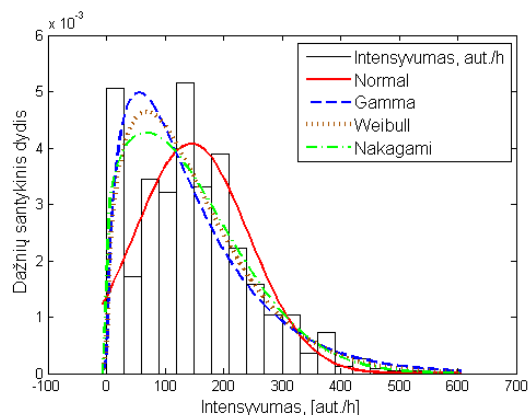
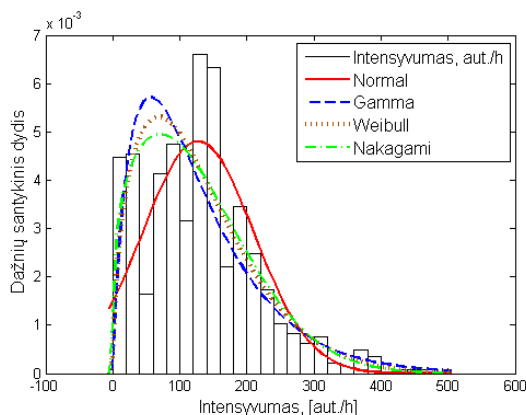
Skirstinio kreivė	Intensyvumas	Greitis
Normalinė	$\mu = 116,8;$ $\sigma = 89,31.$	$\mu = 51,18;$ $\sigma = 5,251.$
Gamma	$a = 1,476;$ $b = 79,12.$	$a = 94,00;$ $b = 0,544.$
Weibull	$a = 126,2;$ $b = 1,292.$	$a = 53,54;$ $b = 9,437.$
Nakagami	$\mu = 0,521;$ $\omega = 21608.$	$\mu = 23,84;$ $\omega = 2647.$

Darbo dienų ir savaitgalio eksperimentiniai duomenys

Panaudojant darbo dienų intensyvumo ir greičio eksperimentinius duomenis (C3 pav. a ir C4 pav. a) sukauptus iš eismo srautų sudaroma intensyvumo ir greičio pasiskirstymo histogramos (C3 pav. b ir C4 pav. b).

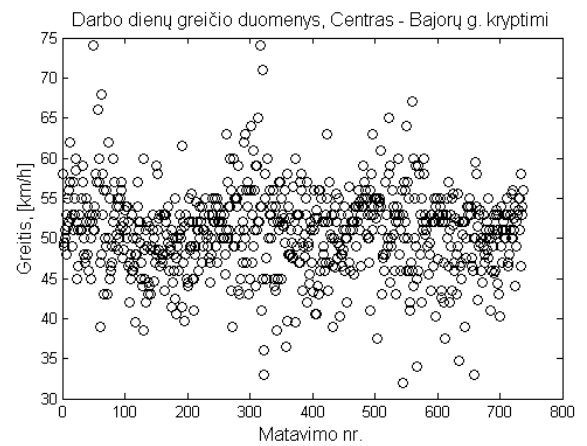
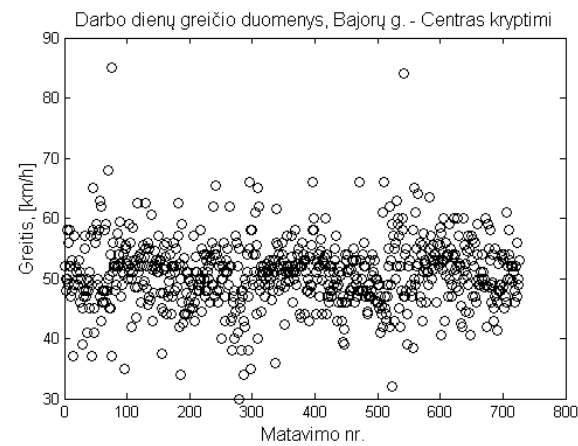


a

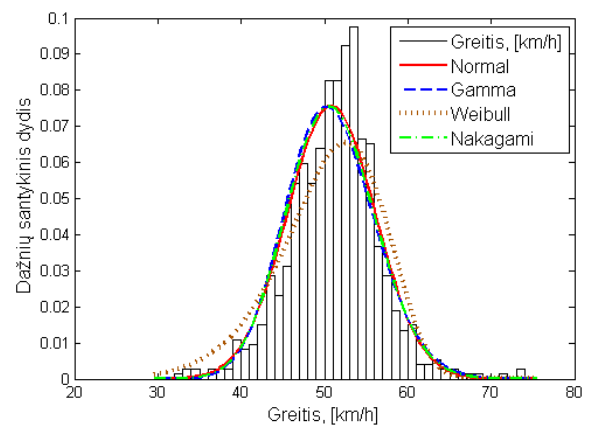
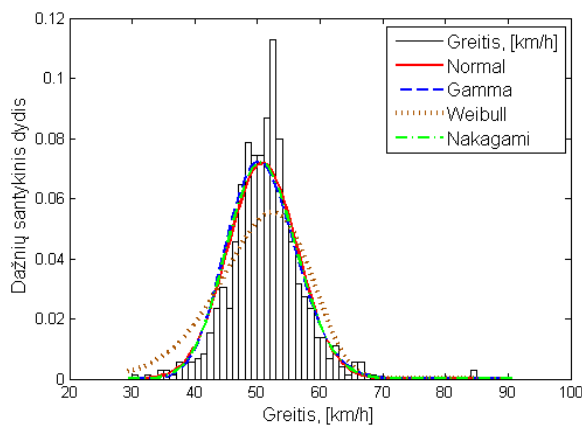


b

C3 pav. Darbo dienų eksperimentiniai intensyvumo duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės



a



b

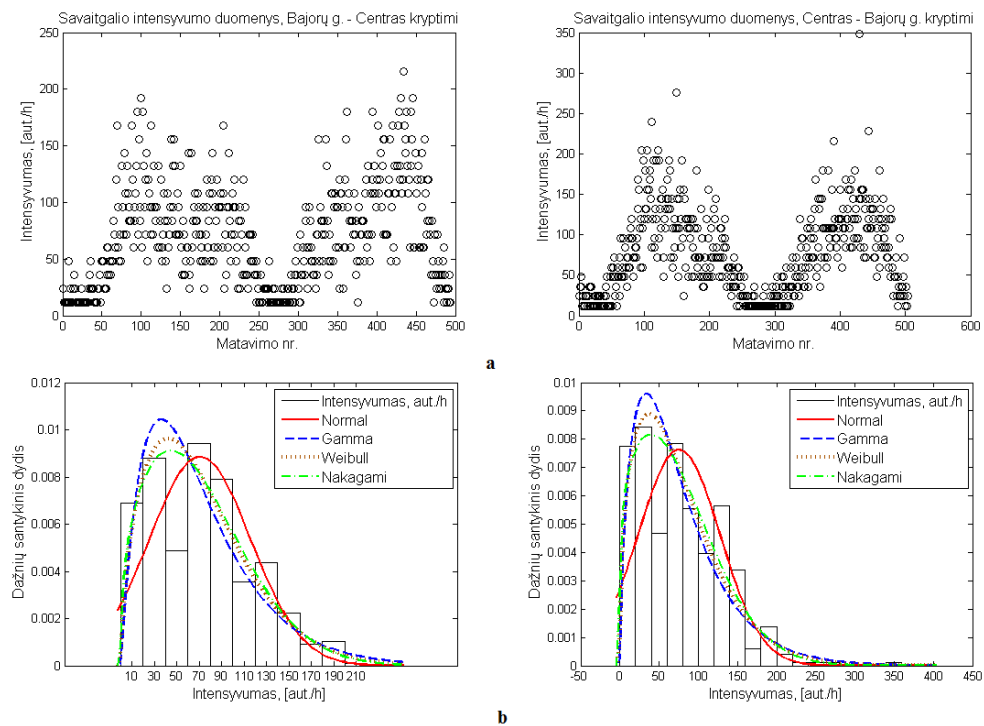
C4 pav. Darbo dienų eksperimentiniai greičio duomenys: a) greičio duomenų sklaida; b) greičio pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

Gautos skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios darbo dienų eksperimentinius Mokslinikų gatvės (Bajorų g. – Centras, Centras – Bajorų g., kryptimis) intensyvumo duomenis pateiktos C2 lentelėje.

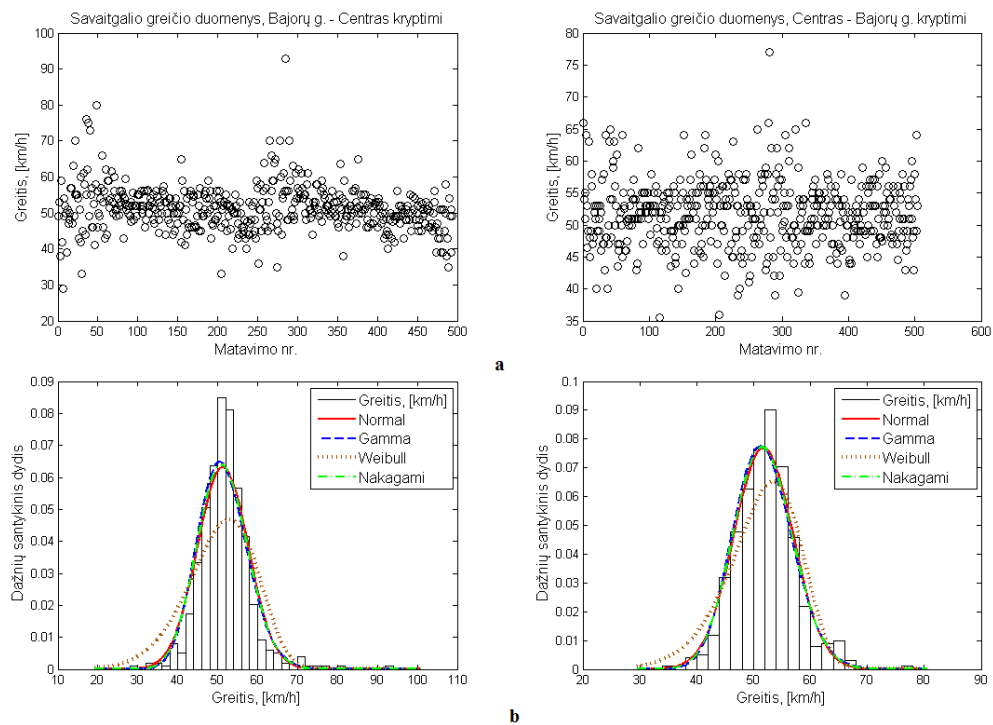
C2 lentelė. Skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios darbo dienų išmatuoto intensyvumo ir greičio eksperimentinių duomenų pasiskirstymo histogramas

	Bajorų g. – Centras		Centras – Bajorų g.	
Skirstinio kreivė	Intensyvumas	Greitis	Intensyvumas	Greitis
Normalinė	$\mu = 127,2;$ $\sigma = 83,13.$	$\mu = 50,81;$ $\sigma = 5,556.$	$\mu = 145,1;$ $\sigma = 97,96.$	$\mu = 50,81;$ $\sigma = 5,270.$
Gamma	$a = 1,798;$ $b = 70,75.$	$a = 83,86;$ $b = 0,606.$	$a = 1,613;$ $b = 89,91.$	$a = 91,31;$ $b = 0,556.$
Weibull	$a = 140,4;$ $b = 1,505.$	$a = 53,28;$ $b = 7,952.$	$a = 158,8;$ $b = 1,423.$	$a = 53,16;$ $b = 9,408.$
Nakagami	$\mu = 0,637;$ $\omega = 23079.$	$\mu = 21,16;$ $\omega = 2612.$	$\mu = 0,586;$ $\omega = 30626.$	$\mu = 23,25;$ $\omega = 2609.$

Panaudojant savaitgalio intensyvumo ir greičio eksperimentinius duomenis (C5 pav. a ir C6 pav. a) sukaupus iš eismo srautų sudaromas intensyvumo ir greičio pasiskirstymo histogramas (C5 pav. b ir C6 pav. b).



C5 pav. Savaitgalio intensyvumo eksperimentiniai duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės



C6 pav. Savaitgalio greičio eksperimentiniai duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

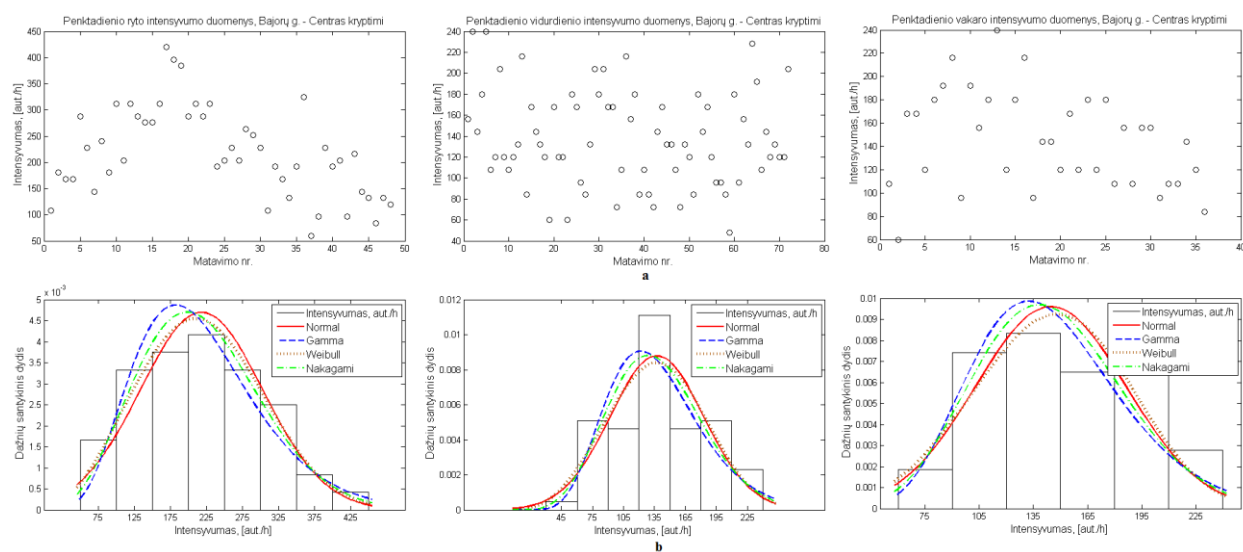
Gautos skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios savaitgalio eksperimentinius Mokslinikų gatvės (Bajorų g. – Centras, Centras – Bajorų g., kryptimis) intensyvumo ir greičio duomenis pateiktos 2.4 lentelėje.

C3 lentelė. Skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios savaitgalio išmatuoto intensyvumo ir greičio eksperimentinių duomenų pasiskirstymo histogramas

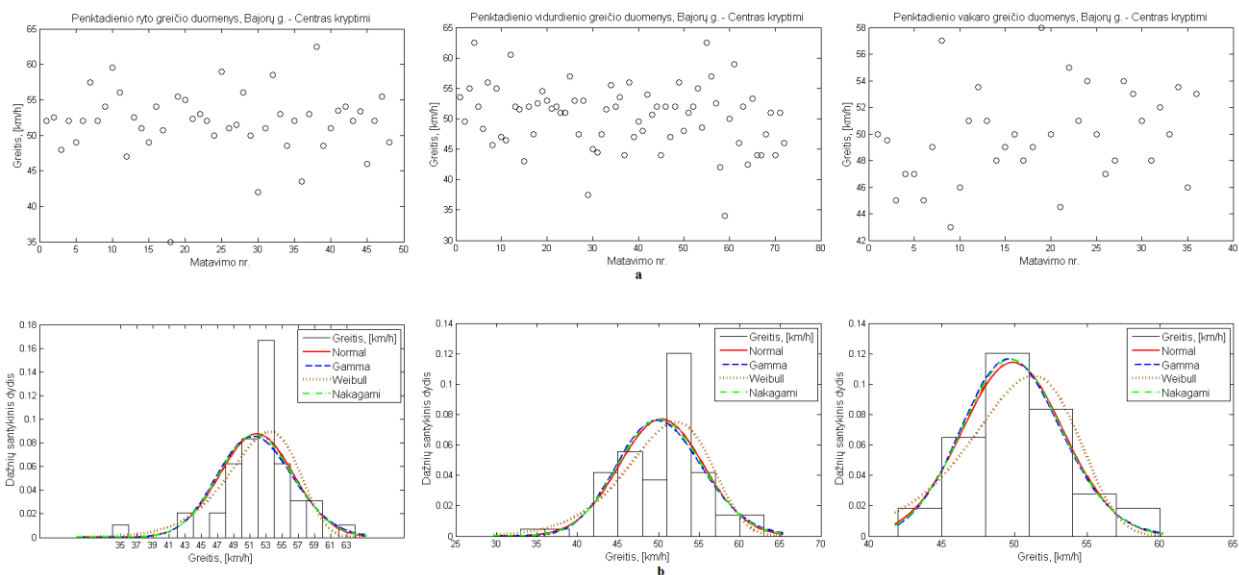
	Bajorų g. – Centras		Centras – Bajorų g.	
Skirstinio kreivė	Intensyvumas	Greitis	Intensyvumas	Greitis
Normalinė	$\mu = 70,74;$ $\sigma = 45,10.$	$\mu = 51,27;$ $\sigma = 6,304.$	$\mu = 75,43;$ $\sigma = 52,32.$	$\mu = 51,73;$ $\sigma = 5,180.$
Gamma	$a = 2,044;$ $b = 34,60.$	$a = 68,65;$ $b = 0,747.$	$a = 1,781;$ $b = 42,34.$	$a = 100,1;$ $b = 0,517.$
Weibull	$a = 78,84;$ $b = 1,587.$	$a = 54,09;$ $b = 6,816.$	$a = 83,20;$ $b = 1,448.$	$a = 54,08;$ $b = 9,536.$
Nakagami	$\mu = 0,696;$ $\omega = 7033.$	$\mu = 17,07;$ $\omega = 2668.$	$\mu = 0,613;$ $\omega = 8422.$	$\mu = 25,21;$ $\omega = 2702.$

Skirtingų dienos laikotarpių eksperimentiniai duomenys

Panaudojant penktadienio intensyvumo ir greičio eksperimentinius duomenis, suskirstant į rytinį piką, vidurdienį ir vakarinį piką (C7 pav. a ir C8 pav. a), sukaupus iš eismo srautų sudaromas intensyvumo ir greičio pasiskirstymo histogramas (C7 pav. b ir C8 pav. b).



C7 pav. Dienos suskirstytos į atskirus laikotarpius eksperimentiniai intensyvumo duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės



C8 pav. Dienos suskirstytos į atskirus laikotarpius eksperimentiniai greičio duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

Gautos skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios penktadienio rytinio piko, vidurdienio ir vakarinio piko eksperimentinius Mokslinikų gatvės (Bajorų g. – Centras kryptimi) intensyvumo duomenis pateiktos C4 lentelėje.

C4 lentelė. Skirstinio kreivių koeficientų reikšmės atitinkančios penktadienio dienos suskirstytos į rytinio piko, vidurdienio ir vakarinio piko išmatuoto intensyvumo ir greičio eksperimentinių duomenų pasiskirstymo histogramas

	Rytinis pikas		Vidurdienis		Vakarinis pikas	
Skirstinio kreivė	Intensyvumas	Greitis	Intensyvumas	Greitis	Intensyvumas	Greitis
Normalinė	$\mu = 218,3$; $\sigma = 84,98$.	$\mu = 51,83$; $\sigma = 4,556$.	$\mu = 137,3$; $\sigma = 45,43$.	$\mu = 50,36$; $\sigma = 5,194$.	$\mu = 144,7$; $\sigma = 41,56$.	$\mu = 49,89$; $\sigma = 3,495$.
Gamma	$a = 6,136$; $b = 35,57$.	$a = 122,5$; $b = 0,423$.	$a = 8,800$; $b = 15,61$.	$a = 91,54$; $b = 0,550$.	$a = 11,90$; $b = 12,16$.	$a = 211,0$; $b = 0,236$.
Weibull	$a = 245,4$; $b = 2,824$.	$a = 53,77$; $b = 13,02$.	$a = 153,2$; $b = 3,321$.	$a = 52,64$; $b = 10,66$.	$a = 160,0$; $b = 3,873$.	$a = 51,53$; $b = 14,72$.
Nakagami	$\mu = 1,783$; $\omega = 54705$.	$\mu = 31,98$; $\omega = 2707$.	$\mu = 2,444$; $\omega = 20896$.	$\mu = 23,55$; $\omega = 2562$.	$\mu = 3,236$; $\omega = 22608$.	$\mu = 52,78$; $\omega = 2501$.

Pateikiamas Matlab programos kodas skirtas sekimo paskui lyderį modeliavimui.

```

clear
clc
dt = 0.01; % skaičiavimo žingsnis
Tmax = 300; % maksimalu skaičiavimo laikas
nk = Tmax/dt;
kmax = 0.18; % auto/m
nk = [0.01:dt:kmax]; % auto/m
Lmin = random('wbl', 9.1315,1.32994,1,length(nk)); % m
Lmin_sum =sum(Lmin);
k1 = 1./Lmin*kmax;
L_tarp_automobiliu = Lmin./k1 * kmax;
u_input_free = 20;
u_input = u_input_free * (1-k1./kmax);
L0 = 0;
L = 1000;
L_lead_safe = 0;
x_lead_0 = L0 + L + L_lead_safe;
u_lead_0 = 10;
dt_input = L_tarp_automobiliu ./ u_input; %s
for i=1:length(nk)
    x0(i) = 0;
    u0(i) = u_input(i);
    s(i) = 10;
    tau(i) = 0.8; % reakcijos laikas
    u_free(i) = 20;
    a(i) = 0.06;
    b(i) = -3;
    bb(i) = -6;
end
t = 0:dt:Tmax;
time = 0;
time2 = 0;
dL=L/(length(t)-1);
kelias = [0:dL:L];
kelias_a = null(length(nk),length(t));
greitis_a = null(length(nk),length(t));
j=1;
%%
for k = 1:length(t)
    time = time + dt;
    time2 = time2 + dt;
    for tt=1:length(nk)
        if (time >= dt_input(tt))
            j=j+1;
            time = 0;
            if (j>=length(nk))
                j=length(nk);
            end
        end
    end
    end
    x_lead = x_lead_0+dt*u_lead_0; %pridedant dt*u_lead_0 keičiama
    pirmo automobilio vieta skaičiavimo metu
    u_lead = u_lead_0;

```

```

        kelias_a(1,k) = x0_(1);
        greitis_a(1,k) = u0_(1);
        [x(1),ut(1)] =
Gipss(dt,x0_(1),u0_(1),tau(1),u_free(1),a(1),b(1),bb(1),x_lead,u_lead,
s(1));
        u0_(1) = ut(1);
        x0_(1) = x(1);
        x_lead_0 = x_lead;
        u_lead_0 = u_lead;
        if (j >= 2 )
            for i = 2:j
                kelias_a(i,k) = x0_(i);
                greitis_a(i,k) = u0_(i);

                [x(i),ut(i)] =
Gipss(dt,x0_(i),u0_(i),tau(i),u_free(i),a(i),b(i),bb(i),x0_(i-
1),u0_(i-1),s(i));
                u0_(i) = ut(i);
                x0_(i) = x(i);
            end
        end
    end
end
greitis_a(greitis_a == 0) = nan;
% -----
m1 = [size(greitis_a)];
s=2;
figure(1)
for i=1:m1(1)
    subplot(2,1,1)
    f1 = plot(t,kelias_a(i,:));
    title('automobilio nuvažiuotas kelias');
    xlabel('t, [s]');
    ylabel('kelias, [m]');
    hold all
    subplot(2,1,2)
    f2 = plot(t,greitis_a(i,:));
    title('automobilio judėjimo greitis');
    xlabel('t, [s]');
    ylabel('greitis, [m/s]');
    hold all
end
hold all off
figure(2)
for i=1:m1(1)
    subplot(2,1,1)
    f3 = plot(kelias_a(i,:),greitis_a(i,:));
    xlabel('kelio atkarpa, [s]');
    ylabel('automobilio greitis, [m/s]');
    hold all
    subplot(2,1,2)
    f4 = plot(kelias_a(1,:),kelias);
    xlabel('kelio atkarpa kelias, [m]');
    ylabel('kelias, [m]');
    hold all
end

```

AUTOMOBILIŲ IMTIES GENERAVIMAS BEI REALIZAVIMAS SEKIMO PASKUI LYDERĮ MATEMATINIUIOSE MODELIOSE

Algimantas Danilevičius¹, Raimundas Junevičius²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹Algimantas.danilevicius@vgtu.lt; ²Raimundas.junevicius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnio tyrimo objektas yra sukauptų automobilių srauto duomenų pritaikymas sekimo paskui lyderį matematiniuose modeliuose. Čia sprendžiama neefektyviai apkrautos kelio atkarpos problema koreguojant automobilių greitį siekiant sumažinti atstumą tarp automobilių iki saugaus atstumo. Straipsnyje nagrinėjami sekimo paskui lyderį modeliai, kuriais įvertinama sąveika tarp transporto priemonių esančių toje pačioje eismo juostoje. Eksperimentiniai duomenys apdorojami Matlab paketu ir sudaromos transporto srauto pasiskirstymo histogramas bei parenkama tinkamiausia skirstinio kreivė. Eksperimentinė skirstinio kreivė naudojama sudarant kelio atkarpos apkrovimo scenarijų – nustatoma modeliujamos kelio atkarpos intensyvumo ir atstumų tarp transporto priemonių priklausomybė nuo laiko. Taikomas modelis naudoja fundamentalias diagramas, kurios sudaromos naudojant natūrinius eismo srauto matavimus. Matematinis modelis leidžia parinkti optimalų transporto priemonės greitį išlaikant saugų atstumą tarp transporto priemonių, ir tuo pačiu teikti rekomendacijas transporto eismui gerinti.

Raktiniai žodžiai: sekimo paskui lyderį modelis, pasiskirstymo histograma, skirstinio kreivė, Matlab, eismo intensyvumas, matematinis modeliavimas.

Įvadas

Vienas iš labiausiai įtakojančių parametrų eismo srautams yra vairuotojų pasirinktas važiavimo greitis. Dėl netinkamai pasirinkto per didelio greičio gali būti sudaryta reali rizika sukelti eismo įvykį nespėjus laiku sustabdyti transporto priemonės. Kitu atveju gali būti neefektyviai išnaudojamas gatvės pralaidumas jei transporto priemonės juda per lėtai. Su pasirinktu greičiu labai susijęs parametras yra saugus atstumas tarp automobilių. Da *et al.* (2014) straipsnyje aprašoma, kas gali įtakoti saugaus atstumo pasirinkimą. Pagrindinė vairuotojų klaida yra ta, kad neteisingai įvertinamas priekyje važiuojančio automobilio greitis ir tuo pačiu paties pasirinktas greitis. Taip pat pasirenkant saugų atstumą tarp transporto priemonių yra labai svarbu įvertinti vairuotojo reakcijos laiką. Ranjitkar *et al.* (2005) straipsnyje tirtuose sekimo modeliuose vairuotojo reakcijos laikas pateikiamas kaip visais atvejais optimizuojamas parametras.

Modelis, kuris įvertintų sąveiką tarp sraute dalyvaujančių transporto priemonių leistų padidinti gatvių pralaidumą ir padidintų saugumą dėl transporto priemonių susidūrimo.

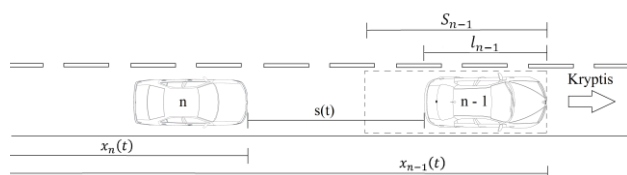
Šiame straipsnyje pateikiami metodai įvertinantys sąveiką tarp automobilių nustatytoje kelio atkarpoje ir galintys koreguoti jų greitį bei atstumą tarp transporto priemonių pasiekiant optimalias tos kelio atkarpos sąlygas.

Sekimo paskui lyderį metodų apžvalga

Gipps modelis

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.



1 pav. Sekimo paskui lyderį modelio parametrai
Fig. 1. The parameters of car-following model

Papathanasopoulou *et al.* (2015) straipsnyje pateikiamas Gipps modelis naudojamas įvairiuose mikroskopiniuose imitaciniuose modeliuose. Modelis rodo, kad automobilio n (1 pav.) greitis priklauso nuo trijų apribojimų (2). 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 apjungiamos lygtyje (1). Trečioje sąlygoje atsižvelgiama į atstumą $s(t)$ tarp transporto priemonių ir įtakojamą 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:

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

kur

$x_n(t)$ – 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 iš formulės (1):

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

kur

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 lentelė) ir koeficiento α sandauga. Kai $\alpha < 1$, transporto priemonės n lėtėjimas nepakankamas ir tampa agresyvus, o kai $\alpha > 1$ lėtėjimas atsargesnis.

1 lentelė. Gipps modelio rekomenduojamos parametrų ribos, (Kim *et al.* 2011)

Table 1. Parameter limits of the Gipps' model (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 Gipps modelį automobilio greitis parenkamas visada mažesnis iš lygtyje (2) 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).

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 medeliu. Modeliu automobilio n pagreitis

laiko momentu t (5) 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 apjungia laisvo kelio greitėjimo pagreičio

$$a_g(t) = a_n \left(1 - \left(\frac{u_n(t)}{U_n}\right)^\delta\right) \quad (3)$$

ir stabdymo pagreičio strategijas

$$a_s(t) = -a_n \left(\frac{s_{ns}(t)}{s(t)}\right)^2. \quad (4)$$

Vertinant pastarąsias dvi (3) ir (4) pagreičių strategijas kartu, gaunamas sekėjo automobilio pagreitis $a_n(t)$:

$$a_n(t) = a_n \left[1 - \left(\frac{u_n(t)}{U_n}\right)^\delta - \left[\frac{s^* + \left(u_n(t) \cdot T + \frac{u_n(t) \cdot [u_n(t) - u_{n-1}(t)]}{2\sqrt{a_n b}}\right)}{s(t)}\right]^2\right], \quad (5)$$

kur

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

b – pasirinktas norima 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.

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

Table 2. Parameter limits of the Intelligent driver model, (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.

$$a_n(t) = C_1[(u_{n-1}(t - \tau) - u_n(t - \tau)) + C_2(x_{n-1}(t - \tau) - x_n(t - \tau) - D_n(t))], \quad (6)$$

kur

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.

$$D_n(t) = (d^* + l_{n-1}) + \gamma u_n(t - \tau), \quad (7)$$

kur

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:

$$\gamma \geq \frac{-c_1 + \sqrt{c_1^2 + 2c_2}}{c_2}. \quad (8)$$

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

Table 3. Parameter limits of the Helly linear model, (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.

Krauss modelis

Krajewicz *et al.* (2005) straipsnyje pateikto Krauss 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 .

$$u_s(t) = u_{n-1}(t) + \frac{s(t) - u_{n-1}(t) \cdot \tau}{\frac{u_n(t) + u_{n-1}(t)}{2b_n} + \tau}. \quad (9)$$

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

$$U_{no}(t) = \min\{u_s(t), u_n(t) + a_n, U_n\}. \quad (10)$$

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

$$u_n(t + \tau) = \max\{0, U_{no}(t) - \varepsilon a_n\}, \quad (11)$$

kur

ε – koeficientas įvertinantis vairuotojo netolygų norimo greičio išlaikymą.

4 lentelė. Krauss modelio rekomenduojamos parametrų ribos, (Krajewicz *et al.*, 2005) ir Kim *et al.*, 2011)

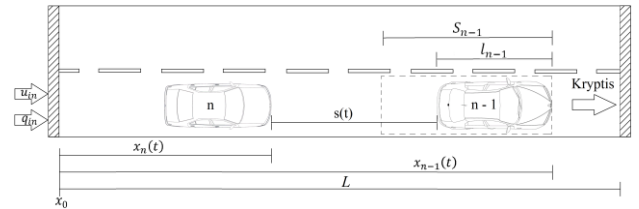
Table 4. Parameter limits of the Krauss model (Krajewicz *et al.*, 2005 and Kim *et al.*, 2011)

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.

Tyrimo metodika

Tyrimo metu pasirenkama tiriama kelio atkarpa, kurios ilgis L (2 pav.). Į šią atkarpą tam tikru greičiu u_{in} įvedamos transporto priemonės. Transporto priemonių greičiai gaunami iš fundamentalių diagramų, kurios sudaromos iš išmatuotų transporto priemonių greičių ir transporto srauto intensyvumo q_{in} . Fundamentalių diagramų sudarymas ir pritaikymas transporto srautų modeliuose išnagrinėtas straipsnyje (Danilevičius, Junevičius, 2014).



2 pav. Automobilio sekimo paskui lyderį schema kelio atkarpoje

Fig. 2. Scheme of car-following model in road section

Į sistemą įvedamų automobilių laiko tarpai gali būti paskaičiuojami pagal formulę:

$$time\ gap = \frac{3600}{q_{in}}. \quad (12)$$

Kelio atkarpoje L greičio u , intensyvumo q ir koncentracijos k parametrai yra:

kai nėra nei vieno automobilio $N_{aut.} = 0$, tai $q = 0$, $k = 0$ ir $u = 0$;

kai yra vienas automobilis $N_{aut.} = 1$, tai $u = u_{n-1}$, $k = \frac{1}{L}$ ir $q = v \cdot k$;

kai $N_{aut.} \geq 2$, tai $u = \frac{\sum_{i=1}^{N_{aut.}} u_{n+i}}{N_{aut.}}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $k = \frac{N_{aut.}}{L}$ ir $q = v \cdot k$.

Pirmoji transporto priemonė yra taške

$$x_{lyderis} = x_0 + L, \quad (13)$$

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:

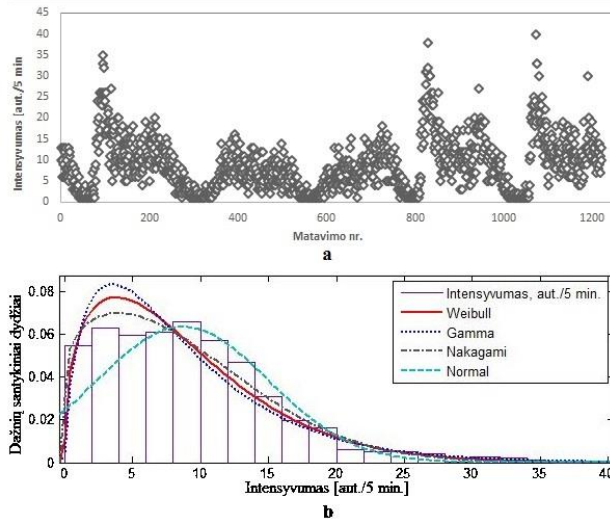
$$x_{n+i} = x_0 + u_{n+i} \cdot t. \quad (14)$$

Pirmosios transporto priemonės, įvestos į sistemą, nurodomas pastovus greitis $u_{n-1}(t)$ viso judėjimo užduotoje atkarpoje metu. Kitų transporto priemonių greitis apskaičiuojamas pagal Gipps modelį (2). 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 .

Tyrimo rezultatai

Atliekant tyrimą įvedami parametrai, kurie skaičiavimo metu bus pastovūs: $a_n = 0,06 \text{ m/s}^2$; $b_n = -3 \text{ m/s}^2$; $\hat{b} = -6 \text{ m/s}^2$; $s_{n-1} = 10 \text{ m}$; $\tau = 0,8 \text{ s}$; $U_n = 20 \text{ m/s}$. Iš eksperimento duomenų pagal pasiskirstymo dėsnį sugeneruojama automobilių imtis su skirtingais greičiais ir įvažiavimo laikais, kurie atitinkamu laiko momentu įvedami modeliavimo eigoje.

Panaudojant eksperimentinius duomenis (3 pav. a) sukaupius iš eismo srautų matavimų sudaroma intensyvumo pasiskirstymo histograma (3 pav. b). Labiausiai eksperimentinius duomenims atitinkanti skirstinio kreivė naudojama automobilių, kurie atitinkamu laiko momentu įvažiuos į modeliuojamą kelio atkarpą, imčiai generuoti.



3 pav. Eksperimentiniai duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

Fig. 3. Experimental data: a) flow data distribution; b) flow distribution histogram and distribution curves

Labiausiai atitinkanti, eksperimentinius gatvės intensyvumo duomenis, skirstinio kreivė yra Weibull. Jos skalės koeficiento reikšmė šiuo atveju yra $\alpha = 9,528$ ir formos koeficiento reikšmė – $\beta = 1,39$. Weibull

skirstinio kreivės koeficientų reikšmės naudojamos apskaičiuojant priklausomybę nuo atstumo tarp automobilių ir koncentracijos (4 pav. a). Taip pat sudaroma fundamentali diagrama, kuri parodo greičio ir koncentracijos priklausomybę tiriamoje kelio atkarpoje.

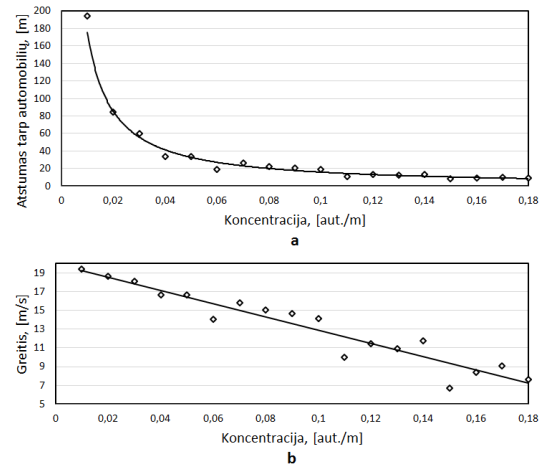
Minimalus atstumas tarp automobilių apskaičiuojamas Matlab programiniu paketu:

$$L_{min} = random('wbl', \alpha, \beta, 1, n_auto). \quad (15)$$

Atstumas tarp automobilių priklausomai nuo maksimalios koncentracijos k_{max} apskaičiuojamas:

$$k = \frac{1}{L_{min}} \cdot k_{max} \quad (16)$$

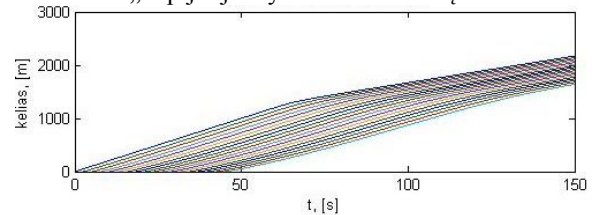
Nurodoma, kad k_{max} šioje kelio atkarpoje yra 0,18 aut./m. o koncentracija k kinta intervale nuo 0,01 iki 0,18 aut./m.



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

Fig. 4. Influence of density on the street: a) the distance between the car dependence on the density; b) speed and density dependence

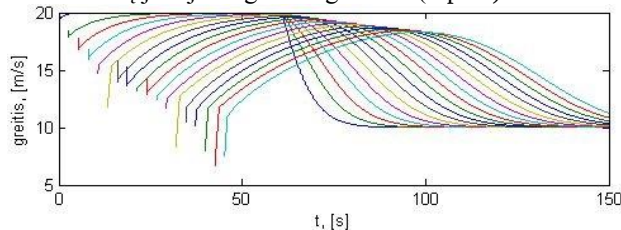
Atlikus skaičiavimus su Matlab programiniu paketu panaudojant Gipps modelį gauti grafikai parodo kaip kinta kiekvieno automobilio nuvažiuotas kelias (5 pav.), kol dar jie nėra priartėję iki priekyje važiuojančio automobilio ir kai atstumas tarp jų nedidelis. Imituojant lyderio automobilį nurodoma, kad 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.



5 pav. Automobilių nuvažiuoto kelio priklausomybė nuo laiko

Fig. 5. Car distance traveled over time

Iš grafiko (5 pav.) matyti, kad tarp įvažiuojančių į modeliруемą kelio atkarpą automobilių tarpai yra mažesni, o vėliau jie padidėja. Tokį pokytį įtakoja tai, kad pagal Gipps modelį automobiliai pasiveja priekyje važiuojančių automobilių ir tada išlaiko minimalų saugų atstumą. Kaip kinta greitis viso proceso metu parodo automobilių judėjimo greičio grafikas (6 pav.).

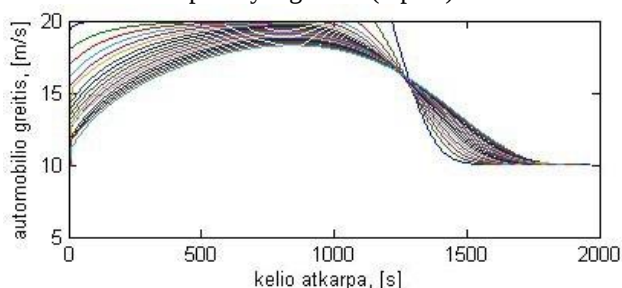


6 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo laiko

Fig. 6. Car speed over time

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 $u_{out} = 10 \text{ m/s}$ greičiu.

Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio parodyta grafike (7 pav.).



7 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio

Fig. 7. Car speed dependence on traveled distance

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.

Išvados

1. Kelio atkarpos apkrovimui modeliuoti naudotas Weibull skirstinys, bei fundamentalios diagramos. Pateiktas metodas leidžia susieti eksperimentinius matavimus ir matematinį eismo srautų modelį.

2. Pritaikius Gipps eismo srautų modelį matematinio modeliavimo ribose išlaikomas saugus

greitis iki priekyje esančios transporto priemonės įvertinant vairuotojo reakcijos laiką.

3. Po atliktų skaičiavimų panaudojant Gipps modelį sumažinti atstumai tarp transporto priemonių iki minimalaus saugaus atstumo ir tuo pačiu padidinta koncentracija kelyje efektyviai apkraunant kelio atkarpą.

4. Pagal sudarytą tyrimo metodiką naudojant fundamentalias diagramas sudarytas iš sukauptų eksperimentinių duomenų (gatvės eismo srauto intensyvumo, greičio ir koncentracijos) galima prognozuoti atskirų automobilių arba automobilių srauto judėjimą eismo juostoje.

Literatūra

- Chang, K.; Chon, K. A Car-Following Model Applied Reaction Times Distribution and Perceptual Threshold. *Jornal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005, 6: 1888-1903.
- 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.
- Da, Y.; Li-ling, Z.; Dan, Y.; Fei, Y.; Yun, P. An Enhanced Safe Distance Car-Following Model. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*. 2014, 19(1): 115-122.
- Danilevičius A., Junevičius R. Fundamentalios diagramos transporto srautų modeliuose, *17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos Transporto inžinerija ir vadyba*, 2014 m. gegužės 8 d. Vilnius
- 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.
- Kim, J.; Mahmassani, H. S. Correlated Parameters in Draving Behavior Models: Car-Following Example and Implications for Traffic Microsimulation. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2011, 2249: 62-77.
- 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.
- 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.
- Papathanasopoulou, V.; Antoniou, C. Towards Data-driven Car-following Models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015.
- Ranjitkar, P.; Kawamua, A.; Nakatsuji, T. Car-following Models: an Experiment Based Benchmarking. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005, 6: 1582-1596.

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.

VEHICLES SAMPLE GENERATION AND REALIZATION IN CAR-FOLLOWING MATHEMATICAL MODELS

A. Danilevičius, R. Junevičius

Abstract

The object of the article is the adjustment of car-following mathematical models according collected traffic data. Here is solved the problem of ineffectively burdened road section adjusting the speed of vehicles in order to reduce the distance between the car to a safe

distance. The paper analyzes the car-following models to measure the interaction between vehicles in the same lane. Experimental data processed in Matlab and traffic distribution histograms are created using the most appropriate distribution curve. Distribution curve used to compile congestion scenario of road section. Applicable model uses fundamental diagrams, which are created from the kind of traffic flow measurements. The mathematical model allows to choose the optimal vehicle speed while maintaining safe distance between vehicles, and at the same time make recommendations to improve the traffic as process.

Keywords: car-following model, distribution histogram, distribution curve, Matlab, traffic flow.

17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

FUNDAMENTALIOS DIAGRAMOS TRANSPORTO SRAUTŲ MODELIOUOSE

Algimantas Danilevičius¹, Raimundas Junevičius²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹Algimantas.Danilevicius@vgtu.lt; ²Raimundas.Junevicius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama fundamentaliųjų diagramų metodų taikymas transporto srautų modeliuose. Naudojant „Traffic counter TC25“ mikrobangų transporto priemonių srauto skaitiklį išmatuojamos pasirinktos gatvės transporto parametrų vertės. Duomenys apdorojami programiniu paketu „Matlab“. Gautų duomenų sklaida aproksimuojama mažiausių kvadratų metodu ir gautos regresijos lygtys, naudojamos matematinių modelių lygčių vertėms apskaičiuoti. Siūlomas metodas leidžia nesudėtingai parinkti parametrus transporto srautų modeliams ir susieti matematinius modelius su realiai tiriamomis gatvėmis.

Reikšminiai žodžiai: fundamentali diagrama, Matlab, mažiausių kvadratų metodas, transporto srautas.

Išvadas

Kiekvienais metais transporto priemonių skaičius gatvėse auga. Tai lemia transporto spūsčių susidarymą. Ištyrus ir įvertinus gatvių transporto srautų parametrus, galima gauti teorinių transporto srautų modelių kintamųjų reikšmes ir taip teorinius modelius susieti su konkrečiomis gatvėmis. Tikslesnis 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.

Autorių Mauro *et al.* (2013) atlikti tyrimai leidžia prognozuoti autostrados eismo srautų patikimumą, modeliuojant transporto priemonių greitį priklausomai nuo jų koncentracijos kelyje. Taip pat autoriai Sarasua *et al.* (2006) tyrė ryšį tarp greičio, koncentracijos, intensyvumo ir laiko, naudojant tiesinę priklausomybę tarp koncentracijos ir greičio.

Šiame straipsnyje pateikiamas metodas fundamentaliųjų diagramos reikšmėms nustatyti naudojant išmatuotą transporto srauto reikšmę.

Fundamentaliųjų transporto diagramų metodų apžvalga

Taikoma daug metodų, kuriais galima modeliuoti transporto priemonių greitį, intensyvumą ir koncentraciją gatvėse. Tačiau ne kiekvienas iš jų tinka konkrečių gatvių eismui esant įvairioms sąlygoms modeliuoti.

Erlingsson *et al.* (2006) konferencijos pranešime pateikiamas Greenshield metodas, kuriuo teigiama, kad

linijinė greičio–koncentracijos priklausomybė paprastai užrašoma taip:

$$v(k) = v_{\max} \left(1 - \frac{k}{k_{\max}} \right), \quad (1)$$

čia $v(k)$ – transporto srauto greičio funkcija priklausanti nuo koncentracijos k – koncentracija; $k_{\max}$ – max galima koncentracija; $v_{\max}$ – max srauto greitis.

Todėl intensyvumo ir greičio priklausomybė tampa parabolės formos:

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

čia v – transporto priemonės greitis.

Erlingsson *et al.* (2006) konferencijos pranešime taip pat pateikiamas keturių parametrų 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 v_f , optimaliu greičiu v_0 , kelio talpumu q_m ir esama spūsties koncentracija $k_{\max}$. Šie parametrai pateikiami kaip:

$$c_1 = mc_2, \quad (3)$$

$$c_2 = \frac{1}{k_{\max} \left(m + \frac{1}{m_f} \right)}, \quad (4)$$

$$c_3 = \frac{-c_1 + \frac{v_0}{q_m} - \frac{c_2}{v_f - v_0}}{v_0}, \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{c_1 + \frac{c_2}{v_f - v} + c_3 v}, \quad (6)$$

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; k – koncentracija.

Konstanta m skaičiuojama taip:

$$m = \frac{2v_0 - v_f}{(v_f - v_0)^2}. \quad (7)$$

Van Aerde modelių transporto priemonių intensyvumas užrašomas:

$$q = \frac{v}{c_1 + \frac{c_2}{v_f - v} + c_3 v}. \quad (8)$$

Lu *et al.* (2009) straipsnyje pateikiamas Edie (1961) metodas, kuris patobulino Greenberg (1959) metodą, kurio trūkumas buvo tas, kad nebuvo galima jo taikyti esant retam srautui. Šis metodas taip pat analizuojamas Leclercq *et al.* (2014) straipsnyje, kuriame jis palyginamas su kitais metodais.

$$v(k) = \begin{cases} \exp\left(-w_1 \frac{k}{k_{\max}} + w_2\right), & k \leq k_{\max}, \\ g_1 + g_2 \ln\left(\frac{k}{k_{\max}}\right), & k > k_{\max}, \end{cases} \quad (9)$$

čia w_1 , w_2 ir g_1 , g_2 – parametrai 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.

Duomenų sklaidos aproksimavimo metodai

Zhang *et al.* (2014) straipsnyje pateiktas mažiausių kvadratų metodas, suminis mažiausių kvadratų metodas ir adaptivus 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:

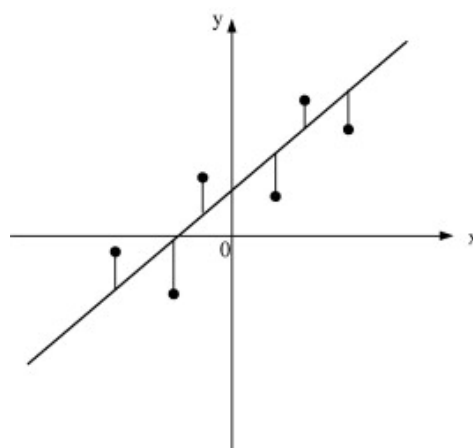
$$u(x) = \sum_{i=1}^m p_i(x) a_i(x) = p^T(x) a(x), \quad (10)$$

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:

$$J(a, b) = \sum_{i=1}^n w(x - x_i) (ax_i + b - y_i)^2. \quad (11)$$

Įprastas mažiausių kvadratų metodas tik sumažina atstumo, pakelto kvadratu, svertinę sumą neatsižvelgiant į nepriklausomų kintamųjų sklaidą (1 pav.). Čia duomenų sklaida suderinama tik vertikalia kryptimi.



1 pav. Vietos derinimas mažiausių kvadratų metodu pagal Zhang *et al.* (2014)

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

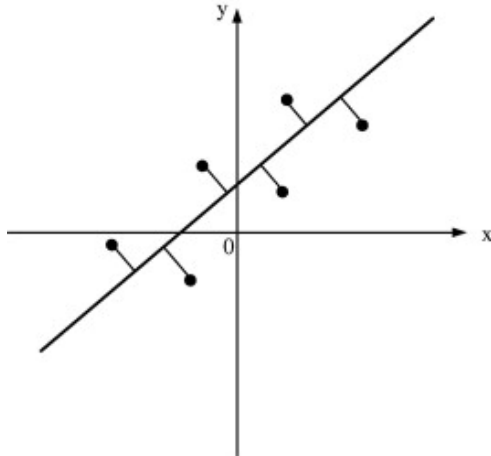
$$J(a, b) = \sum_{i=1}^n p_i w(x - x_i) \frac{(ax_i + b - y_i)^2}{a^2 + 1}. \quad (12)$$

Suminiu mažiausių kvadratų metodu nustatoma koeficientų a ir b įtaka x srities atsižvelgiant į bendrą mažiausių kvadratų reikšmę minimizuojant apibrėžtą funkciją, t. y. mažinant statmenus atstumus kvadratu suminės sumos (2 pav.). Čia duomenų sklaida suderinama tik ortogonalioje kryptimi.

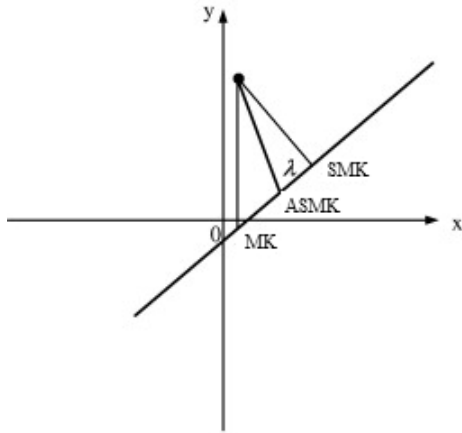
Adaptivus suminis mažiausių kvadratų (ASMK) metodas leidžia parametru λ keisti duomenų aproksimavimo kryptį, (3 pav.).

Adaptiviam suminiam mažiausių kvadratų metode vietos aproksimavimo funkcija apibūdinama taip:

$$J(a, b) = \sum_{i=1}^n w(x - x_i) \frac{\lambda^2 a^2 + 1}{a^2 + 1} (ax_i + b - y_i)^2. \quad (13)$$



2 pav. Vietos derinimas suminiu mažiausių kvadratų metodu, Zhang et al. (2014)



3 pav. Vietos derinimas adaptiviu suminiu mažiausių kvadratų metodu, Zhang et al. (2014)

Kai $\lambda = 0$, (13) gali būti pakeista į (12). Kai $\lambda = 1$, (13) gali būti pakeista į (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:

$$\min S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x, r))^2. \quad (14)$$

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

$$\frac{\partial S}{\partial r} = 0, \text{ kai } r = 1, \dots, m. \quad (15)$$

Gaunama lygčių sistema parametru r atžvilgiu:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, r)) \frac{\partial S}{\partial_1} = 0, \\ \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, r)) \frac{\partial S}{\partial_2} = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Kai empirinė funkcija yra tiesė:

$$y = ax + b, \quad (17)$$

tai dalinių išvestinių sistema bus:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))x_i = 0, \\ \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b)) = 0, \end{cases} \quad (18)$$

kuri pertvarkoma į:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b n = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases} \quad (19)$$

Išsprendus lygčių sistemą (19), nustatomos regresijos lygties konstantos a ir b .

Tyrimo įranga ir metodika

Tyrimo metu buvo naudojamas TC25 (srauto skaitiklis) mikrobangų įrenginys eismo skaičiavimui ir transporto priemonių klasifikavimui. Jame yra įmontuotas Doplerio radaro greičio jutiklis. Vidinėje atmintyje šis įrenginys gali saugoti iki 300 000 duomenų apie pravažiavusių transporto priemonių skaičių, jų greitį, ilgį ir judėjimo kryptį.

Tyrimai buvo atliekami Vilniuje Plytinės gatvėje. Transporto priemonių skaitiklis buvo tvirtinamas pagal jo techninius reikalavimus, t. y. jis tvirtinamas prie stulpo kelkraštyje ir nukreiptas į kelią 45° kampu. Tvirtinimo aukštis nustatomas iš formulių:

$$d_1 = h \cdot 1,09, \quad (20)$$

$$d_2 = h \cdot 3,17, \quad (21)$$

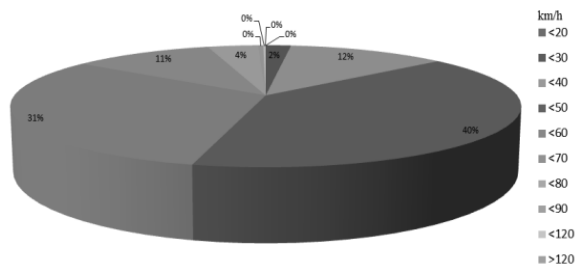
čia d_1 – kelkraščio plotis, m; d_2 – kelio važiuojamosios dalies plotis, m.

Tyrimo rezultatai

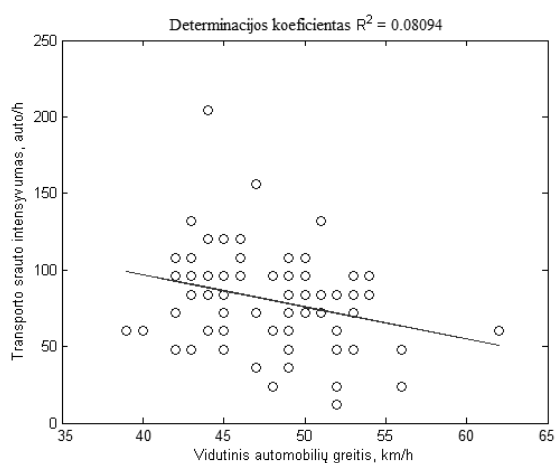
Atlikus matavimus buvo gauti pradiniai duomenys, kurie pateikti 4 pav. išreiškiant pirminius transporto priemonių intensyvumo duomenis procentine išraiška suskirstant pagal važiavimo greičius. Matyti, kad didžiąją automobilių dalį iki 5 m. ilgio sudaro važiuojantys nuo 40 km/h iki 60 km/h greičiu. Mažesnę dalį sudaro automobiliai važiuojantys nuo 30 km/h iki 40 km/h ir nuo 60 km/h iki 70 km/h greičiu.

Duomenys (5 pav.) parodo kaip pasiskirsto transporto srauto intensyvumas priklausimai nuo automobilių

greičio. Esant tam pačiam intensyvumui gaunamos kelios skirtingos greičių reikšmės, todėl duomenų sklaida yra labai didelė. Regresijos lygčiai sudaryti naudojami tik automobilių, kurių ilgis iki 5 metrų, sukaupti transporto srauto intensyvumo ir automobilių greičio duomenys.

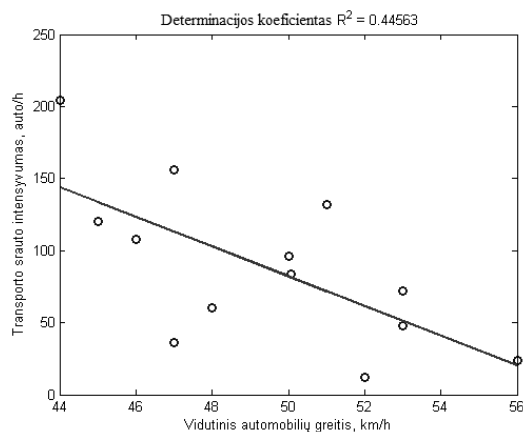


4 pav. Automobilių, kurių ilgis iki 5 m intensyvumas pagal važiavimo greičių grupes (procentinė dalis)



5 pav. Transporto srauto intensyvumo priklausomybė nuo automobilių greičio

Pradiniai duomenys buvo gauti su didele duomenų sklaida. Todėl buvo apskaičiuoti greičių vidurkiai ties kiekvienu pasikartojančiu automobilių skaičiumi ir panaudotas mažiausių kvadratų metodas regresijos lygčiai sudaryti. Tiesinei funkcijai gauti naudojama (17) išraiška. Grafike (6 pav.) parodo, kaip didėjant transporto priemonių skaičiui, tiesiškai mažėja transporto srauto intensyvumas.



6 pav. Transporto srauto intensyvumo priklausomybė nuo automobilių greičių vidurkio

Iš (2) formulės ir iš regresijos lygties

$$q = a + b \cdot v(k), \quad (22)$$

gaunama srauto intensyvumo funkcija.

Apskaičiavus (22) regresijos lygties koeficientus gautos jų reikšmės yra: $a = 599,2$ ir $b = 10,3$.

Tuomet ši lygtis su apskaičiuotais koeficientais užrašoma taip: $q = 599,2 + 10,3v(k)$.

Iš transporto srautų teorijos, bendru atveju, srauto intensyvumas skaičiuojamas pagal formulę:

$$q = v(k) \cdot k. \quad (23)$$

Sulyginamos (22) ir (23) lygčių dešinėsios pusės ir gaunama lygtis:

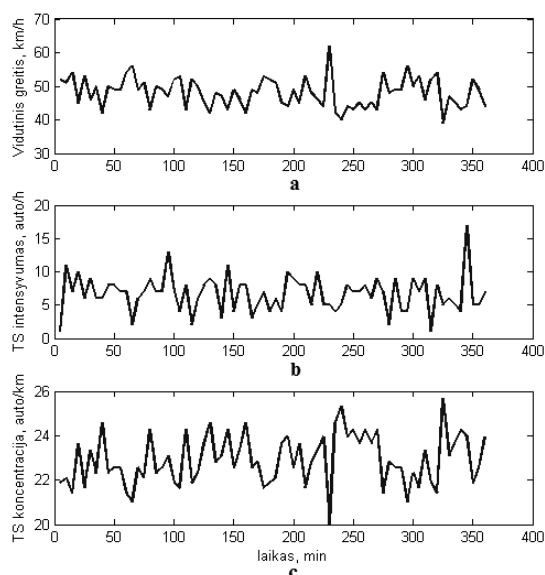
$$v(k) \cdot k = a + b \cdot v(k). \quad (24)$$

Iš (24) lygties išreiškiama transporto srauto koncentracija k . Transporto srauto koncentracijos kitimo išraiška priklausomai nuo išmatuotų verčių apskaičiuojama pagal išraišką

$$k = \frac{a + b \cdot v(k)}{v(k)}. \quad (25)$$

Šiuos duomenis galima naudoti transporto srautų modeliuose įvedant koncentraciją kraštinėse uždavinio sąlygose.

Apskaičiuota transporto srauto koncentracijos reikšmė pateikta grafike (7 pav.) kartu su išmatuotomis srauto intensyvumo ir greičio reikšmėmis:



7 pav. Pagrindiniai transporto srautų parametrai priklausomai nuo laiko: a) vidutiniai greičiai; b) transporto srautų intensyvumas; c) transporto srautų koncentracija

Šie grafikai parodo, kad transporto srautų vidutinis greitis, intensyvumas ir koncentracija yra nepastovūs skirtingu laiko momentu.

Išvados

1. Tyrimo metu nustatyta, kad didėjant transporto priemonių vidutiniam greičiui, mažėja transporto srauto intensyvumas.

2. Naudojant eksperimentinius duomenis sudaryta transporto srauto intensyvumą ir greitį siejanti regresijos lygtis, kurios $R^2 = 0,446$.

3. Pagal siūlomą metodiką apskaičiuotos transporto srauto reikšmės leidžia tiksliau susieti transporto srautų modelius su automobilių eismu gatvėse.

4. Sudarant transporto srautų modelius reikėtų kaupti duomenis skirtingomis paros, oro ir kitomis sąlygomis. Iš jų sudarytos regresijos lygtys labiau atitiktų sąlygas gatvėse.

Literatūra

- Brilon, W.; Lohoff, J. 2011. Speed-flow Models for Freeways, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 16: 26–36.
- Erlingsson, S.; Jonsdottir, A.M.; Thorsteinsson T. 2006. Traffic Stream Modelling of Road Facilities. Pranešimas konferencijoje „Transport Research Arena Europe 2006“, Gotheburg, 2006 birželio 12–15.
- Leclercq, L.; Chiabaut, N.; Trinquier, B. 2014. Macroscopic Fundamental Diagrams: A cross-comparison of estimation methods, *Transportation Research Part B: Methodological* 62: 1–12.
- Lu, X. Y., Varaiya, P.; Horowitz, R. 2009 Fundamental Diagram Modelling and Analysis Based NGSIM Data, *Control in Transportation Systems* 12(1): 367–374.
- Mauro, R.; Giuffre, O.; Grana, A. 2013. Speed Stochastic Processes and Freeway Reliability Estimation: Evidence from the A22 Freeway, Italy, *Journal of Transportation Engineering* 139(12): 1244–1256.
- Sarasua, W. A.; Davis, W. J.; Chowdhury, M. A.; Ogle, J. H. 2006. Estimating Interstate Highway Capacity for Short-Term Work Zone Lane Closures, *Transportation Research Record* 1948: 45–57.
- Wang, H.; Li, J.; Chen, Q.; Ni, D. 2011. Logistic Modeling of the Equilibrium Speed-density Relationship, *Transport Research Part A: Policy and Practise* 45(6): 554–566.
- Zhang, L.; Gu, T.; Zhao, J.; Ji, S.; Sun, Q.; Hu, M. 2014. An Adaptive Moving Total Least Squares Method for Curve Fitting, *Measurement* 49: 107–112.