



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Transporto srautų dviejų lygių sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas

Darius Zaloga
Projekto autorius

Prof. dr. Artūras Keršys
Vadovas

2018 m.



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Transporto srautų dviejų lygių sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Darius Zaloga
Projekto autorius

Prof. dr. Artūras Keršys
Vadovas

dr. J. Jablonskytė
Recenzentas / Recenzentė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Darius Zaloga

Transporto srautų dviejų lygių sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Dariaus Zalogos, baigiamasis projektas tema „Transporto srautų dviejų lygių sankryžoje tyrimas ir modeliavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nėra viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu sumokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



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

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS**

Studentui(-ei)

1. Baigiamojo projekto tema

Transporto srautų dviejų lygių sankryžoje tyrimas ir modeliavimas

Investigation and simulation of the traffic flow in a two-level intersection

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Projekto tikslas:

- *Įvertinti transporto srautų pasiskirstymą nagrinėjamame objekte rytinio ir vakarinio piko metu bei pasiūlyti sprendimo variantus, kurie pagerintų susisiekimo efektyvumą tiriamame mazge.*

Projekto uždaviniai:

- *Nustatyti transporto priemonių srautus rytinio ir vakarinio piko metu Užnemunės, Veiverių, H. ir O. Minkovskių bei Vytauto Didžiojo tilto atkarpose.*
- *Įvertinti eismo srautų pasiskirstymą bei viešojo transporto maršrutus tiriamame objekte.*
- *Atlikti sankryžos modeliavimą naudojant „Aimsun 8 expert“ programą bei pateikti ir išanalizuoti tris galimų scenarijų variantus.*

3. Pradiniai Projekto duomenys

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

Įvadas

Literatūros analizė

Tyrimų metodika

Eksperimentiniai tyrimai

Analitiniai tyrimai

Išvados

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis

7. Projekto konsultantai

Magistrantas:
(vardas, pavardė, parašas, data)

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

Krypties studijų programos vadovas
(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Paveikslų sąrašas	7
Lentelių sąrašas	9
Įvadas	12
1. Literatūros analizė	13
1.1 Eismo intensyvumas.....	13
1.2 Transporto srautų eismo intensyvumo skaičiavimo metodika	13
1.3 Žalios bangos koordinacija	16
1.4 Šviesoforinės sankryžos valdikliai	18
1.5 Koordinuotas eismas Kauno mieste	19
1.6 Viešasis transportas mieste	20
1.7 Transporto eismo jutikliai	22
1.8 Konfliktiniai taškai sankryžose	24
1.9 HCM 2010.....	25
2. Tyrimų metodika	26
3. Eksperimentiniai tyrimai	28
3.1 Tiriamo objekto šviesoforinis sankryžų valdymas.....	28
3.2 Užnemunės ir Veiverių g. šviesoforinės sankryžos valdymas	30
3.3 Užnemunės, H. ir O. g. Minkovskių ir Veiverių šviesoforinės sankryžos valdymas	31
3.4 Tiriamo objekto srautų pasiskirstymas.....	32
3.5 Eismo intensyvumo palyginimas	37
3.6 Pagrindinės tiriamo objekto problemos	38
3.7 Viešojo transporto susisiekimas	39
4. Analitiniai tyrimai	42
4.1 Scenarijaus variantas Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelis.....	44
4.2 Scenarijaus variantas Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelis.....	45
4.3 Scenarijaus variantas Nr. 3 – pakeista infrastruktūra ir eismo organizavimo tvarka.....	46
4.4 Galimų scenarijų palyginimas	48
4.5 Modelio patikimumo įvertinimas	53
Išvados	55
Informacinių šaltinių sąrašas	56
Priedai	57

Paveikslų sąrašas

1 pav. Kauno miesto koordinuoto eismo zonos	20
2 pav. Indukcinės kilpos veikimo schema.....	23
3 pav. Konfliktiniai taškai prieš ir po infrastruktūros keitimo	24
4 pav. Nagrinėjamas objektas	26
5 pav. Užnemunės ir Veiverių bei Užnemunės, Veiverių ir H. ir O. Minkovskių gatvių sankryžos detekcija	27
6 pav. HCM tyrimų metodai [9].....	27
7 pav. Užnemunės ir Veiverių gatvės sankryžos fazių sekos planas	30
8 pav. Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių gatvės sankryžos fazių sekos planas.....	32
9 pav. Rytinio ir vakarinio piko srautų pasiskirstymo kryptys	33
10 pav. Rytinio ir vakarinio piko transporto priemonių įvažiavimas į nagrinėjamą objektą.....	35
11 Rytinio ir vakarinio piko įvažiavimo į objektą srautų duomenys	35
12 pav. Rytinio ir vakarinio piko transporto priemonių srautų išvažiavimo iš nagrinėjamo objekto pasiskirstymas	36
13 pav. Rytinio ir vakarinio piko išvažiavimo iš objekto srautų duomenys	36
14 pav. Eismo intensyvumo lygis nuo maksimalios reikšmės, pagal 2011 m. rugpjūčio mėnesio tyrimus [8].....	37
15 pav. Eismo intensyvumas 2011 m. [11].....	37
16 pav. Nuvažiavimas link Užnemunės gatvės.....	39
17 pav. Viešojo transporto maršrutas K. Mindaugo pr. – Veiverių g.	40
18 pav. Pakeistas viešojo transporto maršrutas K. Mindaugo pr. – Veiverių g.	41
19 pav. Rytinio piko eismo pasiskirstymas valandoje	43
20 pav. Vakarinio piko eismo pasiskirstymas valandoje	43
21 pav. Esamos infrastruktūros tiriamo objekto modelis.....	44
22 pav. Projektinis scenarijaus variantas Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelis	44
23 pav. Pakeistos infrastruktūros tiriamo objekto modelis	45
24 pav. Projektinis scenarijaus variantas Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelis	45
25 pav. Pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos tiriamo objekto modelis rytinio piko metu.....	46
26 pav. Pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos tiriamo objekto modelis vakarinio piko metu.....	46
27 pav. Projektinis scenarijaus variantas Nr. 3 – pakeista eismo organizavimo tvarka.....	47
28 pav. Gaištis laikas visame tinkle, s/km.....	48

29 pav. Gaištis laikas atskirų transporto priemonių, s/km	49
30 pav. Tankis viso tinklo aut.sk./km	49
31 pav. Transporto srauto intensyvumas, aut.sk./val	50
32 pav. Bendras srauto greitis nagrinėjamame objekte km/h	50
33 pav. Transporto srautų stovėjimo laikas tiriamame objekte, s/km.....	51
34 pav. Viso tinklo bendras kelionės laikas, s/km	51
35 pav. Visų scenarijų vidutinė automobilių eilė, aut.sk	52
36 pav. Transporto priemonių detekcija modelio patikimumui nustatyti	53
37 pav. Rytinio piko transporto srautų pasiskirstymo duomenys	53
38 pav. Vakarinio piko transporto srautų pasiskirstymo duomenys	54
39 pav. Gaištis laikas rytinio piko metu, s/km	60
40 pav. Gaištis laikas vakarinio piko metu, s/km.....	60
41 pav. Transporto priemonių tankis rytinio piko metu, aut. sk./km.....	60
42 pav. Transporto priemonių tankis vakarinio piko metu, aut. sk./km.....	61
43 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis rytinio piko metu, km/h.....	61
44 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis vakarinio piko metu, km/h.....	61
45 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas rytinio piko metu, aut. sk./val	62
46 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas vakarinio piko metu, aut. sk./val.....	62
47 pav. Gaištis laikas rytinio piko metu, s/km	63
48 pav. Gaištis laikas vakarinio piko metu, s/km.....	63
49 pav. Transporto priemonių tankis rytinio piko metu, aut. sk./km.....	63
50 pav. Transporto priemonių tankis vakarinio piko metu, aut. sk./km.....	64
51 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas rytinio piko metu, aut. sk./val	64
52 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas vakarinio piko metu, aut. sk./val.....	64
53 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis rytinio piko metu, km/h.....	65
54 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis vakarinio piko metu, km/h.....	65
55 pav. Gaištis laikas rytinio piko metu, s/km	66
56 pav. Gaištis laikas vakarinio piko metu, s/km.....	66
57 pav. Transporto priemonių tankis rytinio piko metu, aut. sk./km.....	66
58 pav. Transporto priemonių tankis vakarinio piko metu, aut. sk./km.....	67
59 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis rytinio piko metu, km/h.....	67
60 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis vakarinio piko metu, km/h.....	67
61 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas rytinio piko metu, aut. sk./val	68
62 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas vakarinio piko metu, aut. sk./val.....	68

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Rekomenduojamos savaitės eismo intensyvumui matuoti [4]	14
2 lentelė. Mažiausias eismo intensyvumas, kuriam esant įrengiamas šviesoforinis reguliavimas [10].	19
3 lentelė. Užnemunės ir Veiverių g. signalinių grupių duomenys	30
4 lentelė. Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių g. signalinių grupių duomenys.....	31
5 lentelė. Rytinio piko transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte	33
6 lentelė. Vakarinio piko transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte	33
7 lentelė. Rytinio piko krovinio transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte	34
8 lentelė. Vakarinio piko krovinio transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte	34
9 lentelė. Eismo intensyvumo pokytis	38
10 lentelė. Viešojo transporto grafikas [13]	39
11 lentelė. A – B atkarpos įveikimo laiko trukmė	40
12 lentelė. Tiriamo objekto susisiekimo infrastruktūros variantai.....	42
13 lentelė. Projektinis scenarijus Nr. 2 palyginamas su esamos situacijos rezultatais	52
14 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 07:30 – 07:45	58
15 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 07:45 – 08:00	58
16 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 08:00 – 08:15	58
17 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 08:15 – 08:30	58
18 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 16:30 – 16:45	59
19 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 16:45 – 17:00	59
20 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 17:00 – 17:15	59
21 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 17:15 – 17:30.....	59

Zaloga Darius. Transporto srautų dviejų lygių sankryžoje tyrimas ir modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Artūras Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: transporto priemonių pasiskirstymas, viešasis transportas, projektuojamas scenarijus.

Kaunas, 2018. 68 p.

Santrauka

Magistro baigiamojo darbo tikslas – išanalizuoti transporto priemonių pasiskirstymą tiriamame objekte bei pateikti du infrastruktūros pakeitimo scenarijus, kurie išspręstų šiuo metu susidarancias problemas ir padidintų susiekimo efektyvumą nagrinėjamame mazge. Šis darbas yra tiriamojo pobūdžio.

Tiriamasis objektas, atsižvelgiant į srautų pasiskirstymą, gatvės kategoriją bei eismo juostų skaičių, buvo suskirstytas į keturias atkarpas. Rytinio (07:30 – 08:30) ir vakarinio (16:30 – 17:30) piko eismo srautų duomenys, kuriais remiamasi magistriniame darbe, paimti iš sankryžoje esančio šviesoforo valdiklio duomenų bazės. Tyrimas atliktas – 2018 m. kovo 21d (trečiadienį).

Iš indukcinių kilpų paimtų duomenų apie transporto srautus buvo nustatytos labiausiai apkrautos kryptys, kuriomis pasiskirsto tiek atvažiuojantis į objektą, tiek išvažiuojantis iš objekto transporto srautas. Taip pat įvertintas viešojo transporto susisiekimas tiriamame mazge. Palyginti transporto priemonių intensyvumai su UAB „Urbanistika“ atliktais tyrimais 2011 m.

Transporto srautų pasiskirstymas tiriamame objekte sumodeliuotas naudojant pasaulyje pripažintą „AIMSUN 8 expert“ programą. Atliktas trijų projektinių scenarijų modeliavimas ir gauti atskirtų gatvių bei viso tinklo parametrai, kuriais remiantis buvo galima nustatyti, kuris projektuojamas scenarijus yra efektyviausias tiriamam objektui. Nustatyta, jog modeliuojamas „scenarijus Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelis“ pagerintų eismo dalyvių susisiekimą nagrinėjamame gatvės mazge.

Zaloga Darius. Investigation and simulation of the traffic flow in a two-level intersection. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Artūras Keršys; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Vehicle distribution, public transport, scenario simulation/designed scenario.

Kaunas, 2018. 68 pages.

Summary

The aim of this investigatory Master thesis – is to analyze the distribution of vehicles in the object under study and provide two scenarios for infrastructure changes, which would solve current problems and increase the traffic efficiency in the analyzed junction.

Analyzed junction has been divided into four sections according to traffic flow distribution, street category and number of traffic lanes. Traffic flow data of morning (07:30 -08:30 AM) and evening (16:30-17:30 PM) peaks, which is used in this Master thesis, has been collected from junction's traffic light controller database. The data has been collected on the 21st of March, 2018 (Wednesday).

The most overloaded directions of the junction, where oncoming and outbound traffic is distributed, have been identified using traffic flow data taken from inductive loops. Public transport traffic also has been evaluated within analyzed junction. The data of traffic intensity has been compared to research findings carried out by JSC „Urbanistika“ in 2011.

Distribution of traffic flows in the analyzed junction has been modeled using „AIMSUN 8 Expert“ software. Modeling of three project scenarios has been carried out and parameters for separated streets and whole network were obtained, in order to evaluate which of the three scenarios is the most effective in the analyzed junction. It has been found that 2nd scenario – model of changed infrastructure, would improve traffic conditions in the analyzed junction.

Ivadas

Eismo spūstys – visų vairuotojų bei keleivių gyvenimo dalis, su kuria dažniausiai susiduriama keliaujant į darbą ar judant greitkeluose šventiniu laikotarpiu. Susidarantys transporto kamščiai yra ne tik varginantys ir vedantys iš kantrybės vairuotojus, tačiau ir stipriai prisideda prie oro taršos, o tai blogai ne tik dėl mūsų klimato, bet ir dėl visų žmonių sveikatos. Žinoma, tai įtakoja kelios esminės problemos:

- Didžioji dauguma žmonių nori vairuoti nuosavus automobilius ir apie kitokias susisiekimo alternatyvas nė negalvoja.
- Nerandantys parkavimo vietos vairuotojai yra priversti ieškoti kitos vietos, kur būtų galima palikti transporto priemonę.
- Vairuotojai nėra itin patyrę eismo dalyviai.

Sprendimo būdai yra įvairūs ir kiekvienas miestas nusprendžia, koks variantas gali būti efektyviausias. Kai kurie kuria naujas gatves, keičia esamą infrastruktūrą, diegia parkavimo – važiavimo sistemas (angl. park and ride) kad tik galėtų lengviau kontroliuoti susidarančias eismo spūstis. Kiti miestai imasi drastiškesnių priemonių ir apriboja transporto priemonių judėjimą maršrutuose tam tikromis dienomis ar leidžia važiuoti tik tam transportui, kurio valstybiniai numeriai baigiasi nelyginiu skaičiumi. Prieš priimant vienokį ar kitokį sprendimą pirmiausia reikia gerai išsiaiškinti kokios eismo spūstčių atsiradimo priežastys. Vienos spūstys gali susidaryti dėl akivaizdžiai per didelio automobilių kiekio gatvėse ar esančių kliūčių jose, tačiau kai kurios spūstys susiformuoja dėl vienintelio vairuotojo, kuris staigiai pakeitęs eismo juostą priverčia kitus eismo dalyvius staigiai stabdyti ir to pasėkmės nusidriekia per visą likusią atkarpą.

Dažnu atveju sprendimų, kurie teikia naudos ir dėl kurių miestuose yra išsprendžiamos susisiekimo problemos, tenka laukti ilgus metus. Jei įgyvendintos idėjos pasitvirtina ir žmonės lengviau ir greičiau pasiekia savo kelionės tikslą, nauda padaroma ne tik vairuotojams bet ir gamtai.

Darbo tikslas:

Įvertinti transporto srautų pasiskirstymą nagrinėjamame objekte rytinio ir vakarinio piko metu bei pasiūlyti sprendimo variantus, kurie pagerintų susisiekimo efektyvumą tiriamame mazge.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti transporto priemonių srautus rytinio ir vakarinio piko metu Užnemunės, Veiverių, H. ir O. Minkovskių bei Vytauto Didžiojo tilto atkarpose.
2. Įvertinti eismo srautų pasiskirstymą bei viešojo transporto maršrutus tiriamame objekte.
3. Atlikti sankryžos modeliavimą naudojant „Aimsun 8 expert“ programą bei pateikti ir išanalizuoti tris galimų scenarijų variantus.

1. Literatūros analizė

1.1 Eismo intensyvumas

Eismo intensyvumą galima apibrėžti kaip transporto priemonių skaičių, pravažiavusių pasirinktą kelio atkarpą per pasirinktą laiko vienetą.

Transporto srautų tyrimai atliekami siekiant nustatyti tam tikroje vietoje esančių transporto priemonių skaičių, pasiskirstymo kryptis bei klasifikaciją. Šie duomenys gali padėti rasti didžiausią gatvės mazgo apkrovą tam tikru laiko momentu, transporto priemonių bei pėsčiųjų skaičių tiriamuoju laiku. Transporto intensyvumo skaičiavimas priklauso nuo skaičiavimo tipo ir norimo duomenų panaudojimo. Galima atlikti valandinį eismo skaičiavimą rytinio bei vakarinio piko metu, kuomet formuojasi didžiausios spūstys, rezultatus fiksuoti kas 15 minučių ir taip gauti esamo srauto apimties duomenis. Atliekant tokius skaičiavimus reikia įvertinti ir atsižvelgti į metų laikotarpį, savaitės dieną bei šventinė / nešventinė yra diena [3].

Dažniausiai eismo intensyvumas skaičiuojamas vienu iš dviejų būdų. Tai gali būti rankinis arba automatinis skaičiavimas. Pirmuoju būdu dažniausiai skaičiuojama, norint nustatyti transporto klasifikaciją, važiavimo kryptis, pėsčiųjų veiksmus reguliuojamoje ar nereguliuojamoje sankryžoje bei įvertinti automobilio užimtumą. Automatinis skaičiavimo būdas naudojamas, kuomet norima rinkti duomenis, pagal kuriuos yra nustatomi transporto priemonių valandos, dienos, sezoniniai ar metiniai svyravimai bei kitimo tendencijos. Dažniausiai automatiniai skaitikliai turi tris – penkis registravimo mygtukus. Kiekvienas atskiras mygtukas turi tam tikrą eismo dalyvių reikšmę (automobiliai, sunkiasvorės transporto priemonės, dviračiai, pėstieji) [3].

1.2 Transporto srautų eismo intensyvumo skaičiavimo metodika

Pagrindinis tiklas – skaičiuojant trumpalaikį transporto srautų eismo intensyvumą – suskaičiuoti vidutinį metinį paros eismo intensyvumą (VMPEI), naudojantis atitinkamais skaičiavimais ir sezoninėmis pasikliaunamosiomis reikšmėmis [4].

Pagrindinės sąvokos:

Eismo intensyvumas – transporto priemonių skaičius, pravažiavusių pasirinktą kelio atkarpą per pasirinktą laiko vienetą;

Matavimo para – pasirinktos atkarpos matavimas, trunkantis neilgiau nei 24 val;

Matavimo savaitė – savaitė, kurios metu yra atliekamas trumpalaikis matavimas;

Paros eismo intensyvumas – įvairiarūšio transporto skaičius, pravažiavusių pasirinktą kelio atkarpą per vieną parą;

Vidutinis savaitės paros eismo intensyvumas – per vieną savaitės parą pravažiuojančio transporto srauto skaičiaus vidurkis;

Vidutinis mėnesio paros eismo intensyvumas – per vieną mėnesio parą pravažiuojančio transporto srauto skaičiaus vidurkis;

Vidutinis metų paros eismo intensyvumas – per vieną metų parą pravažiuojančio transporto srauto skaičiaus vidurkis.

Pagrindiniai VMPEI skaičiavimo etapai:

Paros eismo intensyvumo skaičiavimas (aut./h);

Vidutinis savaitės paros eismo intensyvumas (aut./p);

Vidutinis metinis paros eismo intensyvumo skaičiavimas (aut./p).

1 lentelėje pateikti duomenys, kuomet eismo srautų matavimai yra atliekami vieną kartą ar periodiškai ir jo trukmė nesiekia 12 valandų, tuomet yra rekomenduojamas metų laikotarpis, kuriomis savaitėmis yra tikslinga atlikti tokius matavimus.

1 lentelė. Rekomenduojamos savaitės eismo intensyvumui matuoti [4]

Sezoniškumo koeficientas K_{sez}	Rekomenduojamos matavimų savaitės
Nežinomas	11 – 22, 35 – 47
$K_{sez} < 1,5$	2 – 49
$K_{sez} = (1,5 – 2,0)$	7 – 26, 35 – 49
$K_{sez} > 2,0$	7 – 22, 35 – 47

Pirmiausia randamas matavimo paros eismo intensyvumas (PEI):

$$I_p = N \cdot K_p, \quad (1)$$

čia:

I_p – matuotos paros eismo intensyvumas (aut./p.);

N – transporto priemonių skaičius matavimo laikotarpiu (aut.);

K_p – matavimo paros eismo intensyvumo koeficientas.

Paros eismo intensyvumo pasikliautinis intervalas:

$$\delta(I_p) = \delta(K_p), \quad (2)$$

čia:

$\delta(I_p)$ – pasikliautinis intervalas (%);

$\delta(K_p)$ – pasikliautinis intervalas (%);

Vidutinis savaitės paros eismo intensyvumas (VSPEI):

VSPEI skaičiuojamas tos savaitės, kuomet buvo matuojamas transporto priemonių eismo intensyvumas. Jei matavimai atliekami nenutrūkstamai, tuomet naudojama formulė:

$$I_s = \frac{1}{7} \sum_{i=n}^7 I_{pi}, \quad (3)$$

čia:

I_{pi} – savaitės i-osios paros eismo intensyvumas (aut./p.);

I_s – VSPEI (aut./p.).

Jei transporto priemonių eismo matavimai atliekami trumpiau nei savaitę, tuomet, norint apskaičiuoti VSPEI, naudojama formulė:

$$I_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{pi} K_{Si}, \quad (4)$$

čia:

I_{pi} – savaitės i-osios paros eismo intensyvumas (aut./p.);

K_{Si} – savaitės paros eismo intensyvumas;

n – matavimo dienų skaičius.

Jei eismo intensyvumo tyrimai truko mažiau nei savaitę, VSPEI pasikliautinis intervalas skaičiuojamas naudojantis formule:

$$\delta(I_s) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta(I_{pi}) + \delta(K_{Si}))^2}, \quad (5)$$

čia:

$\delta(I_s)$ – reikšmės I_s pasikliautinis intervalas (%);

$\delta(I_{pi})$ – reikšmės I_{pi} pasikliautinis intervalas (%);

$\delta(K_{Si})$ – reikšmės K_{Si} pasikliautinis intervalas (%);

n – matavimo dienų skaičius.

Vidutinio metinio paros eismo intensyvumo apskaičiavimas:

$$I_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{Si} K_{Mi}, \quad (6)$$

čia:

I_M – VMPEIS (aut./p.);

I_{Si} – i-tojo matavimo savaitės VSPEI (aut./p.);

K_{Mi} – Metų savaitės eismo intensyvumo koeficientas;

n – matavimo savaitių skaičius per metus.

VMPEI pasikliautinis intervalas lygus:

$$\delta(I_M) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta(I_{Si}) + \delta(K_{Mi}))^2}, \quad (7)$$

$\delta(I_M)$ – reikšmės I_M pasikliautinis intervalas (%);

$\delta(I_{Si})$ – reikšmės I_{Si} pasikliautinis intervalas (%);

$\delta(K_{Mi})$ – reikšmės K_{Mi} pasikliautinis intervalas (%);

n – matavimo savaitių skaičius per metus.

1.3 Žalios bangos koordinacija

Transporto priemonių skaičius didėja visame pasaulyje, todėl didžiuosiuose miestuose eismo spūstys didėja. Išaugusios degalų sąnaudos, aplinkos užterštumas skatina imtis priemonių, mažinant transporto priemonių gaisrį. Siekiant sumažinti spūstis, turi būti pagerintas visuomenis transportas arba gali būti išplėsta miesto infrastruktūra. Trumpalaikėje perspektyvoje efektyviausias būdas sumažinti eismo spūstis, gali būti infrastruktūros tobulinimas (naujų kelių tiesimas), tačiau dažnu atveju tai nėra tinkama išeitis dėl gyvenamųjų rajonų greta esamų kelių, nepakankamo biudžeto, aplinkosaugos ar visuomenės reikalavimų. Todėl kur kas veiksmingiau naudoti esamą infrastruktūrą, naudojant tinkamą transporto srautų valdymą [5].

Pagrindinės miesto susisiekimo gatvės patrauklios vairuotojams, tačiau tai sukelia eismo spūstis ar net eismo įvykius. Vienas pagrindinių miesto uždavinių yra sumažinti vairuotojų kelionės laiką bei transporto priemonių sustojimų skaičių kelionės metu ir gauti kuo sklandesnį eismą pagrindinėmis miesto gatvėmis.

Koordinuotas eismas – nenutrūkstamas transporto priemonių judėjimas miesto gatvėmis. Tai gretimose sankryžose tinkamai suderintų signalų veikimas. Pagrindiniai tokio eismo valdymo privalumai:

- padidėja eismo srauto greitis bei sumažėja sustojimų maršruto atkarpoje skaičius;
- eismas yra sklandesnis, patrauklesnis vairuotojams;
- transporto priemonių greitis yra vientisas, nėra priežasties viršyti greitį, kadangi kitoje sankryžoje reiktų sustoti prie raudono šviesoforo signalo;
- pernelyg lėtai važiuojantys vairuotojai turi padidinti greitį, norėdami išvengti raudono šviesoforo signalo;
- sumažėja vairuotojų važiavimas per raudoną šviesoforo signalą;
- dėl mažesnio sustojimų skaičiaus sumažėja avarių skaičius.

Toks eismo paskirstymas gali būti rengiamas vienos eismo krypties gatvėje arba dviejų eismo krypčių gatvėse, kai atstumai tarp sankryžų yra vienodi arba skirtingi. Vienos eismo krypties žaliojo signalo perstūmimo laiko radimas:

$$L_i = V \times t_i, \quad (8)$$

čia:

L_i – atstumas tarp sankryžų, (m);

V – transporto priemonių srauto greitis, (m/s);

t_i – žaliojo signalo perstūmimo laikas.

Dvipusio eismo gatvės pagrindinis koordinuoto eismo kriterijus:

$$L_m = \frac{V_{zb} \times T_c}{2}, \quad (9)$$

čia:

L_m – mažiausias kartotinis ilgis tarp reguliuojamų sankryžų, (m);

V_{zb} – koordinuoto eismo greitis, (m/s);

T_c – ciklo laikas, (s).

Kuomet atstumai tarp reguliuojamų sankryžų yra skirtingi, galima daryti skirtingas žaliojo signalo laiko trukmes priešpriešinėse sankryžose. Jos negali nesutapti daugiau nei:

$$k_b = \frac{t_i}{t_{ij}} \geq 0,5, \quad (10)$$

čia:

k_b – koordinuoto eismo krypčių nesutapimo koeficientas;

t_i – žaliojo signalo trukmė vienai kryptiai;

t_{ij} – bendra žaliojo signalo abiejų krypčių trukmė.

Koordinuotas eismas gali būti dvejose gretimose sankryžose, taipogi gali apimti kur kas daugiau reguliuojamų sankryžų. Didžiausias dėmesys yra kreipiamas į pagrindinę gatvę važiuojančias transporto priemones, būtent tame maršrute yra didžiausias žaliosios bangos poreikis [6].

Pagrindinės sąvokos:

Signalinė grupė – šviesoforai reguliuojantys konkrečias eismo kryptis sankryžoje ir turintys vienodą signalų seką.

Ciklas – žalio, geltono bei raudono šviesoforo signalo bendras laikas. Ciklo laikas yra vienas svarbiausių kintamųjų dydžių eismo signalo nustatyme.

Fazė – vienos ar kelių krypčių judėjimas reguliuojamoje sankryžoje.

Adaptyvus reguliavimas – šviesoforų persijungimo tvarka ir trukmė, priklausanti nuo transporto priemonių skaičiaus.

Ciklo laikas, žaliojo signalo paskirstymas, laiko perstūmimas – pagrindiniai reguliuojamos sankryžos parametrai. Ilga ciklo trukmė gali sustabdyti transporto priemonių grupę, kuriai tenka patirti gan didelę laiko gaištį, tačiau šios transporto priemonės yra sustabdomos tik vieną kartą. Esant trumpai ciklo trukmei vairuotojai nėra priversti ilgai laukti žalio šviesoforo signalo, tačiau jiems tenka dažniau sustoti prie sankryžų. Ciklas svarbus ir tuo, kad jame nustatoma minimali ir maksimali fazių trukmė žalio šviesoforo signalui. Tai susiję su gatvės tinklo saugumu, kadangi esant per ilgam raudonam šviesoforo signalui, dalis vairuotojų gali pradėti ignoruoti juos. Jei reguliuojamos sankryžos šviesoforų signalai yra per dažni, padidėja susidūrimų pavojus [6].

Kompensavimo laikas (angl. Offset) arba kitaip perstūmimo laikas reikalingas norint susieti gretimų sankryžų žaliosios bangos veikimą, kad transporto priemonės iš vienos sankryžos į kitą važiuotų tam tikru greičiu. Šis parametras reikalingas, norint optimizuoti pagrindinių miesto ruožų signalinius planus, kuriuose transporto priemonių srautas kerta eilę sankryžų.

Šviesoforų reguliavimo tipai, kuriais nustatomas šviesoforų darbas, gali būti:

- preliminarūs;
- įjungiamieji;
- adaptyvūs.

Preliminarus reguliavimas naudoja statinius planus, kuriuose fazė, ciklo trukmė, žaliojo signalo trukmė yra pastovūs nustatyti dydžiai pagal paros laiką. Šie planai pagrįsti transporto priemonių srauto stabilumu tam tikru paros metu. Norint išvengti didelių eismo spūsčių, paruošiamos programos su tam tikrais fazių ir ciklų laikais, kurios naudojamos didelių renginių, festivalių, miesto švenčių metu, kuriose prognozuojamas didelis pėsčiųjų ar transporto priemonių srautas tam tikra kryptimi. Sankryžas, kuriose yra nustatyti statiniai planai, reikia reguliariai stebėti, kad būtų galima atlikti tam tikrus pakeitimus.

Įjungiamasis šviesoforo reguliavimas veikia kaip ir preliminarus reguliavimas, pagal iš anksto paruoštą programą, tačiau gali padidinti tam tikros krypties žalio šviesoforo signalo laiką, jei yra fiksuojamas transporto priemonių srautas. Norint to pasiekti, reikalingi detektoriai, kurie fiksuotų pravažiuojantį transportą ir duomenys būtų siunčiami į šviesoforo valdiklį.

Adaptyvi sankryža veikia realiu laiku, jos signalinės programos kitimas priklauso nuo esamo eismo dydžio. Adaptyvus reguliavimas yra trumpalaikis prognozavimas iš sankryžoje esančių detektorių gaunamų duomenų apie eismo srautus. Signalai naudoja sukauptus duomenis tam, kad galėtų greitai nustatyti ir įvertinti kas įvyks per artimiausias minutes [6].

1.4 Šviesoforinės sankryžos valdikliai

Kiekviena šviesoforais reguliuojama sankryža turi valdiklį, kurio pagrindinė funkcija – užtikrinti tinkamą šviesoforų veikimą. Vieni valdikliai sugeba veikti pagal nustatytą norimą darbo planą ir nieko daugiau atlikti negali, kiti valdikliai geba veikti tarpusavyje su kitų sankryžų valdikliais pagal transporto srautų kiekį, taip keisdami ir parinkdami optimalius fazių laikus kiekvienai eismo kryptčiai. Naujų valdiklių privalumai:

- sklandus veikimas tiek dideliuose tiek mažuose miestuose;
- užtikrinamos optimaliausios eismo sąlygos sankryžose;
- paprastas eismo planavimas;
- adaptyvus lokalus sankryžos kontroliavimas;
- galimas koordinuoto eismo užtikrinimas su kitų tipų valdikliais.

Galimos valdiklių funkcijos:

„Išmanioji žalia“ (angl. smart green) – sumažina išmetamųjų teršalų kiekį ir eismo spūstis miestuose. Taip pat galimas planų parinkimas pagal dienos laiką ar esamus renginius mieste.

„Išmanioji sankryža“ (angl. smart intersection) – vienos sankryžos optimaliausio veikimo užtikrinimo funkcija, kuri gali parinkti efektyviausią žaliojo signalo laiką, bei jį automatiškai reguliuoti, kad būtų optimizuotas sankryžos pravažiavimo greitis.

„Išmanus planas“ (angl. smart plan) – veiksmingas, kuomet srautų pasiskirstymas keičiasi dienos metu ar dėl tam tikrų renginių, tuomet galima suplanuoti ir parinkti norimą veikimo planą kiekvienai sankryžai. Taip pat norimą veikimo planą galima lengvai paskirti kitai pasirinktai sankryžai.

„Išmanus koordinuoto eismo koridorius“ (angl. smart corridor) – žaliosios bangos užtikrinimas pagrindinėse miesto susisiekimo gatvėse, siekiant pagertinti oro kokybę bei sumažinti vairuotojų stresą kelionės metu. Valdikliai automatiškai apskaičiuoja optimaliausią šviesoforo veikimo planą naudodami sankryžose esančių detektorių duomenis. Ši funkcija užtikrina optimalias eismo sąlygas bet kuriuo metu.

Transporto bei pėsčiųjų srautams valdyti įrengiami šviesoforai, jei susidaro bent viena sąlyga:

- per parą yra 8 valandos, kuriomis eismo intensyvumas pagrindiniame kelyje yra didesnis nei 600 aut./h ir per kiekvieną valandą kuria nors kryptimi pereina 150 pėsčiųjų;
- eismo intensyvumas didesnis nei nurodyta 2 lentelėje;
- metų laikotarpyje sankryžoje yra įvykę bent trys eismo įvykiai, kurių būtų galima išvengti šviesoforo pagalba.

2 lentelė. Mažiausias eismo intensyvumas, kuriam esant įrengiamas šviesoforinis reguliavimas [10]

Eismo juostų viena kryptimi skaičius	Pagrindinėje gatvėje	1	2 ir daugiau	2 ir daugiau
	Šalutinėje gatvėje	1	1	2 ir daugiau
Transporto priemonių eismo intensyvumas, aut./h	Pagrindinėje gatvėje abiem kryptimis	750, 670, 580, 500, 410, 380	900, 800, 700, 600, 500, 400	900, 825, 750, 675, 600, 525, 480
	Šalutinėje gatvėje viena kryptimi	75, 100, 125, 150, 175, 190	75, 100, 125, 150, 175, 200	100, 125, 150, 175, 200, 225, 240

Taip pat šviesoforai gali būti įrenginėjami tose vietose, kur tai yra techniškai bei ekonomiškai pagrįsta (koordinavimo poreikis). Šviesoforai, kurie reguliuoja dviračių eismą, turi būti įrengiami tose vietose, kur dviračių eismas yra nuolatinis ir dviratininkų intensyvumas yra didesnis nei 50 dviratininkų per valandą [11].

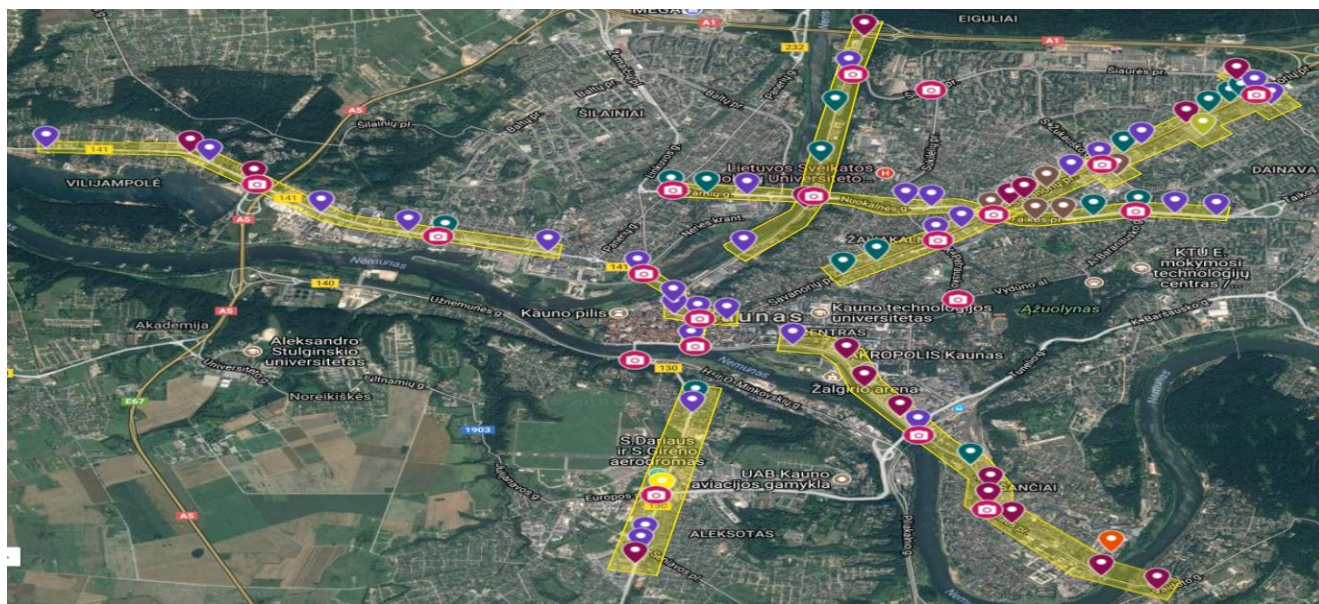
1.5 Koordinuotas eismas Kauno mieste

Kauno mieste didžioji dauguma gatvių atkarpų veikia koordinuoto eismo principu, taip vadinamąja „žalioji banga“. Pasitaikantys pavieniai šviesoforai veikia atskirai – statinio plano režimu. Kaip matoma 1 pav. Kauno mieste yra penki tiesioginiai koridoriai, skirti patogiam susisiekimui su miesto centru ir vienas koordinuotas koridorius, palengvinantis susisiekimą tarp vakarinės miesto zonos ir rytinės. Šiuose miesto pagrindiniuose maršrutuose yra privalomas sklandus ir efektyvus srauto

valdymas, kadangi šiose atkarpose pravažiuojančių transporto priemonių srautai yra didžiausi. Pagrindinės susisiekimo atkarpos:

- Savanorių pr. (nuo Savanorių pr. sankryžos su Žemaičių g. iki Savanorių pr. sankryžos su Šiaurės pr.)
- Karaliaus Mindaugo pr. – Juozapavičiaus pr.
- Raudondvario pl.
- Varnių g. – Taikos pr.
- Veiverių g.
- Jonavos g.

Ilgiausias koordinuoto eismo koridorius Kauno mieste yra Karaliaus Mindaugo pr. – Juozapavičiaus pr., kurio atstumas siekia 5100 m. Šiek tiek mažesnė atkarpa Savanorių pr. – 4550 m. Jonavos gatvėje koordinuotas eismas tęsiasi – 3900 m., Raudondvario plente – 3260 m. Taikos pr. – 2680 m., Veiverių g. – 2300 m.



1 pav. Kauno miesto koordinuoto eismo zonos

1.6 Viešasis transportas mieste

Greitas transporto priemonių skaičiaus augimas pasaulyje jau nieko nebestebina. Lietuvos statistikos departamentu duomenimis 2016 m. lengvieji automobiliai sudarė apie 88,18 % viso kelių transporto priemonių parko. 2014 m. Lietuvoje transporto priemonės dėl pasibaigusio draudimo ir techninės apžiūros buvo nurašomos, todėl 1000 gyventojų tenkančių individualių automobilių skaičius ženkliai sumažėjo, nuo 570 automobilių 2013 m. iki 360 automobilių 2014 m. Sunku būtų įsivaizduoti

miestą be viešojo transporto tinklo. Žmonėms būtų gerokai sunkiau keliauti į darbus, mokyklas ar susitikimus, kadangi tą jie galėtų padaryti tik nuosavu automobiliu [7].

Didėjantis gyventojų gyvenimo lygis lemia lengvųjų automobilių skaičiaus augimą, dėl kurio nepakanka kelių tinklo pajėgumų. Viena pagrindinių miesto užduočių, siekiant pagerinti šią situaciją – padidinti viešojo transporto vartotojų skaičių. Siekiant užtikrinti tvarią miesto plėtrą yra būtina veiksmingai pristatyti viešojo transporto privalumus ir skatinti jų paslaugas. Pagrindiniai viešojo transporto skatinimo tikslai:

- išryškinti viešojo transporto pranašumus lyginant su individualiomis transporto priemonėmis;
- pritraukti naujus keleivius išlaikant esamus;
- gerinti informacijos apie transporto paslaugas teikimą;
- didinti informaciją apie viešojo transporto naudą;
- gerinti paslaugų prieinamumą, teikiant tikslesnę informaciją keleiviams.

Tai pasiekti galima įdiegiant viešojo transporto pirmumo sistemas, sukuriant patogų susisiekimą tarp miesto ir priemiesčio zonų, sukuriant bike and ride, park and ride sistemas. Viešojo transporto naudojimas taupo ne tik pinigus bet ir laiką tėvams, jei jų vaikai gali savarankiškai keliauti į mokyklas. Mažesnis automobilių skaičius aplink mokyklas, šias miesto zonas padaro saugesnes ir patrauklesnes tiems, kurie vaikšto, važiuoja dviračiu.

Taip pat galima išskirti viešojo transporto naudojimosi privalumus socialine prasme:

- padeda ugdyti bendruomenės jausmą. Pavyzdžiui, žmonės keliaujantys kartu dažniau jaučia ryšį su bendruomene, nei tie, kurie keliauja atskirais automobiliais;
- skatina žmones rinktis aktyvesnę ir sveiką gyvenimo būdą;
- mažinamas sužalojimų ir mirčių skaičius dėl nelaimingų atsitikimų;
- viešasis transportas prieinamas žmonėms, neatsižvelgiant į demografinius rodiklius (amžių ar pajamas);
- važiuojant viešoju transportu nereikia švaistyti laiko, ieškant stovėjimo aikštelės. Esamą laiką galima skirti muzikos klausymui ar knygos skaitymui.

Viešojo transporto naudojimosi privalumai ekonomine prasme:

- kelionės tikslą pasiekti kainuoja pigiau nei asmeniniu transportu;
- miestuose sumažėja poreikis statyti didelius automobilių parkus vertingoje žemėje, kurios vietoje galima pastatyti biurius ar prekybos centrus;
- mažinama priklausomybė nuo naftos.

Viešojo transporto naudojimosi privalumai aplingosaugos prasme:

- sumažėja tarša ir eismo spūstys – kuo daugiau žmonių keliauja traukiniais, tramvajais ar autobusais, tuo mažiau automobilių važiuoja keliu;
- reikia mažiau žemės naujai kelių infrastruktūrai.

1.7 Transporto eismo jutikliai

Transporto eismo jutikliai yra kiekvieno didesnio miesto eismo infrastruktūros dalis. Šių jutiklių dėka galima žinoti realius duomenis apie transporto priemonių pasiskirstymą mieste, nustatyti labiausiai apkrautas miesto zonas bei sukurti bendrą miesto eismo judumo planą. Taipogi galima įvertinti ir daryti prielaidas, ar norimas miesto gatvės dalies infrastruktūros keitimas pagerins esamą situaciją.

Eismo detektoriai gali būti [1]:

- Keliuose – montuojami į šaligatvius arba ant kelio paviršiaus.
- Virš kelio – įrengiami virš kelio dangos arba greta kelio.

Pagrindiniai kelio dangoje montuojamų detektorių tipai [1]:

- Indukcinės kilpos detektoriai
- Magnetiniai jutikliai
- Pneumatiniai vamzdžiai
- Pjezoelektriniai jutikliai

Pagrindiniai virš kelio dangos montuojamų detektorių tipai [1]:

- Vaizdo apdorojimo įrenginiai
- Mikrobangų jutikliai
- Infraraudonųjų spindulių detektoriai
- Lazeriniai jutikliai
- GPS (mobilieji, erdviniai jutikliai)

Vaizdo apdorojimo įrenginiai

Vaizdo apdorojimo įrenginiu galima nustatyti esamą transporto priemonių srautą, buvimo vietą, greitį. Įrenginio pliusai – vienu metu yra stebimos kelios eismo juostos, suteikiamas platus matymo laukas transporto priemonėms nustatyti, didelė turima duomenų bazė bei lengva pridėti ar keisti transporto priemonių aptikimo zonas. Minusai – vaizdo apdorojimą gali paveikti rūkas, sniegas, lietus, automobilių šešėliai, dienos perėjimas į naktį. Taipogi prietaiso montavimo ir priežiūros išlaidos yra ganėtinai didelės [1].

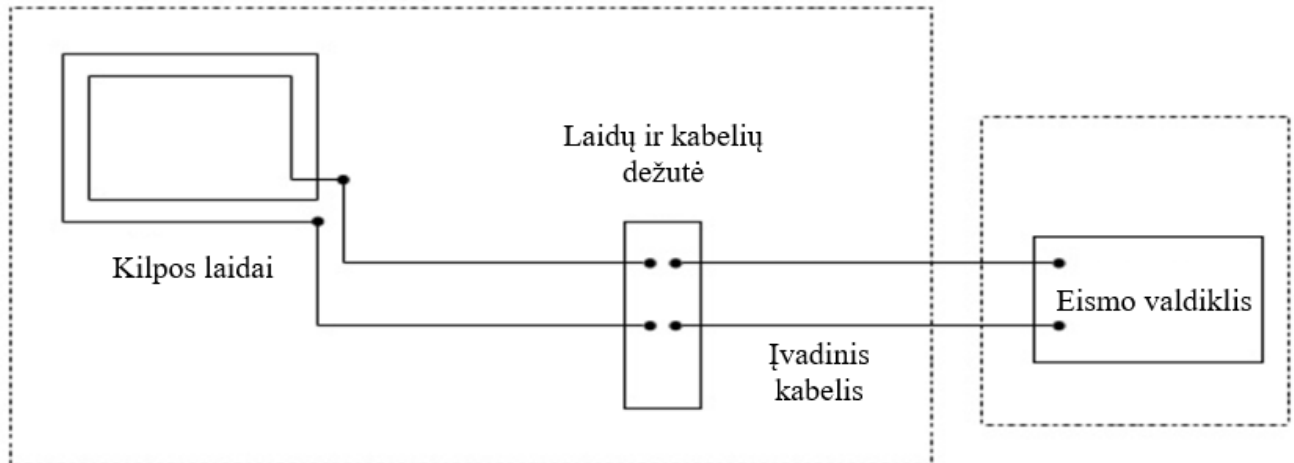
Mikrobangų jutikliai

Mikrobangų jutiklis pigus ir efektyvus jutiklis, skirtas aptikti ir matuoti eismą sankryžose ir keliuose. Šis jutiklis yra nedidelis radaras, veikiantis mikrobangų juostoje ir galintis nustatyti juostos

užimtumą, transporto priemonių greitį bei kiekį. Vienas prietaisas gali lengvai pakeisti keletą indukcinį kilpų detektorių ir pagalbinių valdiklių. Mikrobangų jutiklis montuojamas ant kelio šoninių stulpų, jį lengva ir saugu sumontuoti ir prižiūrėti, netrikdant eismo ir neuždarant eismo juostų [2].

Indukcinės kilpos

Indukcinės kilpos yra vienos patikimiausių eismo klasifikacijų nustatymo metodų. Kilpos susideda iš vielos, kuri yra susukta ir dažniausiai yra kvadrato, apskritimo arba stačiakampio formos ir yra montuojama į kelio dangą. Pastarosios veikimo principas panašus į metalo detektoriaus, nes yra matuojami lauko pokyčiai, kuomet objektai juda per juos. Kuomet transporto priemonė važiuoja per kilpos daviklį, keičiasi kilpos laukas, kuris įtaisui leidžia aptikti pravažiuojančius automobilius šviesoforinės sankryžos ar greitkelių link. Tokiu būdu galima rasti pravažiavusių transporto priemonių greičio, ilgio, svorio bei eismo užimtumo duomenis, kurie yra renkami ir siunčiami į eismo valdymo serverį. Vienas iš indukcinės kilpos minusų yra svorio nustatymas, kadangi dangoje įmontuotas prietaisas nesuveiks, jei pravažiuojantis objektas bus nepakankamo svorio. Tai reiškia kad dviračiai ar motoriniai sankryžose, kuriose tokie davikliai gali būti ignoruojami, tada šviesoforo signalas šiems eismo dalyviams gali nepasikeisti, jei yra sudaryta tokia sankryžos veikimo programa. Tačiau nedidelio svorio ignoravimas leidžia išvengti teigiamų – klaidingų rezultatų (pėsčiųjų perėjimo per indukcinę kilpą) [2].



2 pav. Indukcinės kilpos veikimo schema

Magnetiniai jutikliai

Magnetinių jutiklių detektorius fiksuoja transporto priemones, matuojant kelio dangos magnetinio lauko pokyčius, kuomet automobiliai pravažiuoja detektorių. Jutikliai yra montuojami kelio dangoje arba statomi greta važiuojamosios kelio dangos. Važiuojant transporto priemonėms šalia, magnetinis jutiklis gali fiksuoti tai kaip vieną vienetą [2].

Pneumatiniai vamzdžiai

Pneumatiniai vamzdžiai jau daugelį metų populiarūs transporto priemonių jutimo sistema. Šio jutiklio veikimo sistema ganėtinai paprasta. Vienas ar keli guminės juostos vamzdžiai yra ištempti skersai kelio dangos, vienas galas yra prijungiamas prie duomenų laikmenos, antrasis juostos galas uždaromas. Transporto priemonės priekiniams ratams pravažiuojus pneumatinių vamzdžių, viduje esantis oras yra išstumiamas, susidaręs oro slėgis įjungia jungiklį, taip fiksuodamas srauto vienetą. Tačiau, jei du automobiliai važiuoja greta vienas kito ir vamzdžius pravažiuoja vienu metu, sistema gali matyti juos kaip vieną transporto priemonę. Tokiu būdu duomenų laikmenoje yra fiksuojami netikslūs transporto priemonių srautų skaičiai.

Pagrindinis sistemos pliusas – patogus ir greitas trumpalaikių matavimų radimas. Pneumatinius vamzdžius nesunku perkelti į pasirinktą gatvės atkarpą [2].

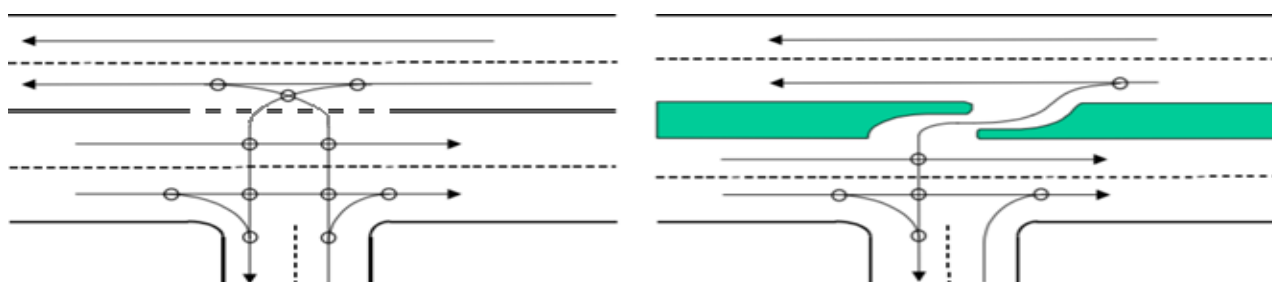
Pjezoelektriniai jutikliai

Pjezoelektriniai jutikliai renka duomenis, paverčiantys mechaninę energiją į elektros energiją. Tokie jutikliai montuojami supjaustytuose kelio paviršiaus grioveliuose.

Automobilis važiuodamas per šį jutiklį sukelia elektros potencialą – įtampos signalą. Signalų dydis yra proporcingas deformacijos laipsniui. Kuomet automobilis pravažiuoja, įtampa dingsta. Toks įtampos pokytis naudojamas transporto priemonių aptikimui ir skaičiavimui [2].

1.8 Konfliktiniai taškai sankryžose

Konflikto taškas – bet koks taškas, kuriame du skirtingų transporto priemonių važiuojimo maršrutai skiriasi. Konfliktiniai taškai dažniausiai naudojami kelių eismo įvykių potencialo paaiškinimui. Eismo valdymo strategijos yra skirtos sumažinti konfliktinių taškų skaičių sankryžose. 3 pav. lyginami eismo konflikto taškai, susiję su keturių juostų važiuojamosios dalies keliu. Įrengus juostą su kairiuoju posūkiu, sumažėja net 5 konfliktinių taškų skaičius. Konfliktiniai taškai yra itin susiję su padidėjusiais eismo įvykiais keliuose [10].



3 pav. Konfliktiniai taškai prieš ir po infrastruktūros keitimo

Sankryžos sudėtingumas nustatomas pagal penkiabalę sistemą, kuomet yra skaičiuojamas bendras konfliktinių taškų (atsišakojimų, susiliejamų, susikirtimų) skaičius:

$$M = \sum n_a + 3 \sum n_s + 5 \sum n_p \quad (x)$$

Čia:

n_a – atsišakojimų skaičius;

n_s – susiliejamų skaičius;

n_p – susikirtimų skaičius.

Kuomet yra nustatinėjamas sankryžos sudėtingumas, atsišakojimų skaičius vertinamas 1 balu, susiliejamų skaičius – 2 balais, susikirtimų skaičius – 5 balais. Įvertinus ir suskaičiavus bendrą konfliktinių taškų skaičių, galima spręsti apie sankryžos sudėtingumą. Jei $M < 40$ – sankryža nesudėtinga, jei $40 < M < 80$ – sankryža vidutinio sudėtingumo. Kuomet $80 < M < 150$ – sankryža sudėtinga ir tokiu atveju, kai $M > 150$ sankryža yra labai sudėtinga.

Norint sumažinti konfliktinių taškų skaičių, reikia apriboti dalį esamų manevrų: kairiuosius bei dešiniuosius posūkius, jei įmanoma, dvipusį eismo judėjimą pakeisti į vienpusį [10].

1.9 HCM 2010

HCM 2010 (Highway Capacity Manual) – naujausias Jungtinių Amerikos Valstijų reglamentas, reikalingas norint įvertinti poveikį aplinkai ir eismui. Šis naujausias Europos ir viso pasaulio reglamentas nurodo, kokiais standartais reiktų vadovautis taikant sprendimus, susijusius su transportu ar infrastruktūra. Taip pat šiuo reglamentu yra nusakoma miesto gatvių analizė ir gatvės įvertinimas iš automobilių vairuotojų, keleivių, dviratininkų bei pėsčiųjų perspektyvos. Dauguma eismo analizę įvertinančių programų yra susijusios su panašiomis geometrinėmis ir operacinėmis savybėmis, kurios nurodo tas pačias charakteristikas, nors skaičiavimo algoritmai ir pasirinkta metodika skiriasi. Kol dar kompiuteriai neturėjo tokios didelės reikšmės žmonių gyvenime, HCM išsiskyrė vien dėl savo pripažintos vertinimo metodikos. Kuomet kompiuteriai tobulėjo ir tapo vis labiau reikalingi darbo našumo didinimo procese, HCM reglamentas vartotojams buvo itin naudinga priemonė išplėsti analizės sritį. Šiuo metu HCM remiasi dauguma eismo modeliavimo sistemų. Yra daugybė skaičiavimo algoritmų, esamo scenarijaus, automobilių, srautų dinamikos ir kitų parametru metodikos ir viskas priklauso nuo inžinieriaus – projektuotojo, kaip bus pasirinktas kurti modelis [9].

2. Tyrimų metodika

Nagrinėjamo objekto vieta Kauno miestui turi didelę reikšmę, kadangi Vytauto Didžiojo tiltu yra sujungiamas miesto centras, Aleksoto ir Lampėdžių mikrorajonai (4 pav.). Tiriama Užnemunės ir Veiverių bei Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių gatvių sankryžos bei jų prieigos, kuriose rytą ir vakare formuojasi didelės eismo spūstys. Tyrimo tikslas – išsiaiškinti transporto srautų kiekius, jų pasiskirstymą nagrinėjamame objekte rytinio (07:30 – 08:30) ir vakarinio (16:30 – 17:30) piko metu bei pasiūlyti galimus sprendimo variantus, kurie nagrinėjamą objektą padarytų patrauklesnį eismo dalyviams ir būtų pagerintas susisiekimo efektyvumas šiame nagrinėjamame objekte.

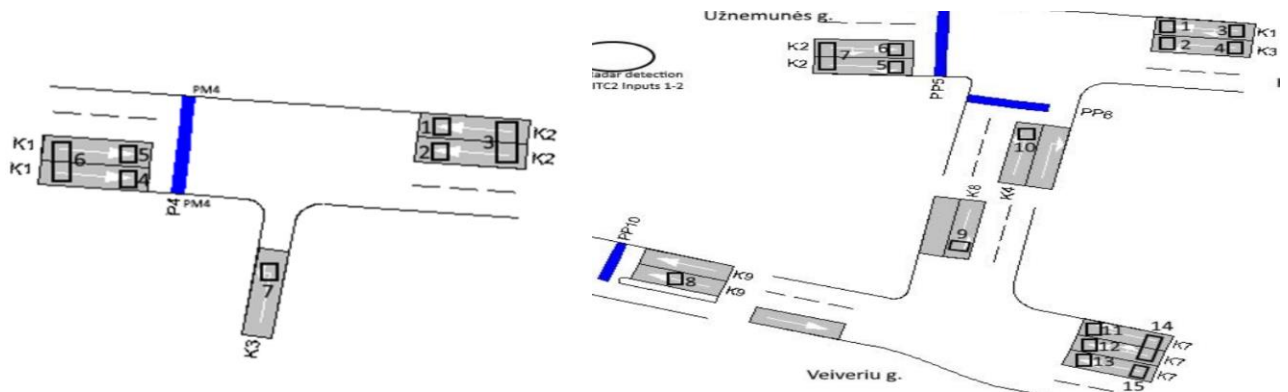


4 pav. Nagrinėjamas objektas

Vytauto Didžiojo tiltas priskiriamas C1 gatvės kategorijai, į kurią įeina miesto plano funkcinės ir kompozicinės ašys, pagrindinės keleivių viešojo susisiekimo linijos bei miesto transporto vidaus ryšiai. Likusios Užnemunės, H. ir O. Minkovskių, Veiverių gatvės yra priskiriamos B2 kategorijos gatvėms, kurių paskirtis – susisiekimas tarp miesto funkcinėse zonų, rajonų, centro, didžiųjų transporto stočių, ryšiai su užmiesčio keliais. Šiame gatvės mazge didžioji transporto dalis tenka Vytauto Didžiojo tiltui, kadangi tai pagrindinis kelias, norint pasiekti miesto centrinę dalį.

Tiriamo objekto sankryžose esamų indukcinėse kilpų detekcija pavaizduota (5 pav.). Mažoje Užnemunės – Veiverių g. sankryžoje, bei Didžiojoje Užnemunės, Veiverių ir H. ir O. Minkovskių g. sankryžoje kiekvienoje kelio juostoje prie „stop“ linijos yra detektoriai, fiksuojantys pravažiuojantį transporto priemonių skaičių ir gauti rezultatai yra siunčiami ir saugomi duomenų bazėje. Taip pat

matoma detekcija, kuri įmontuota toliau nuo „stop“ linijos. Ši indukcinė kilpų detekcija nefiksuoja transporto srautų, tačiau yra reikalinga šviesoforo signalinių grupių laikų parinkimui nustatyti. Jei toliau nuo „stop“ linijų esanti detekcija nefiksuoja transporto priemonės ilgiau nei 3 – 5 sekundes ir yra praėjęs minimalus signalinės grupės žaliojo signalo laikas, tuomet išsijungia mirksintis žaliojo šviesoforo signalas ir yra pereinama prie kitos fazės.

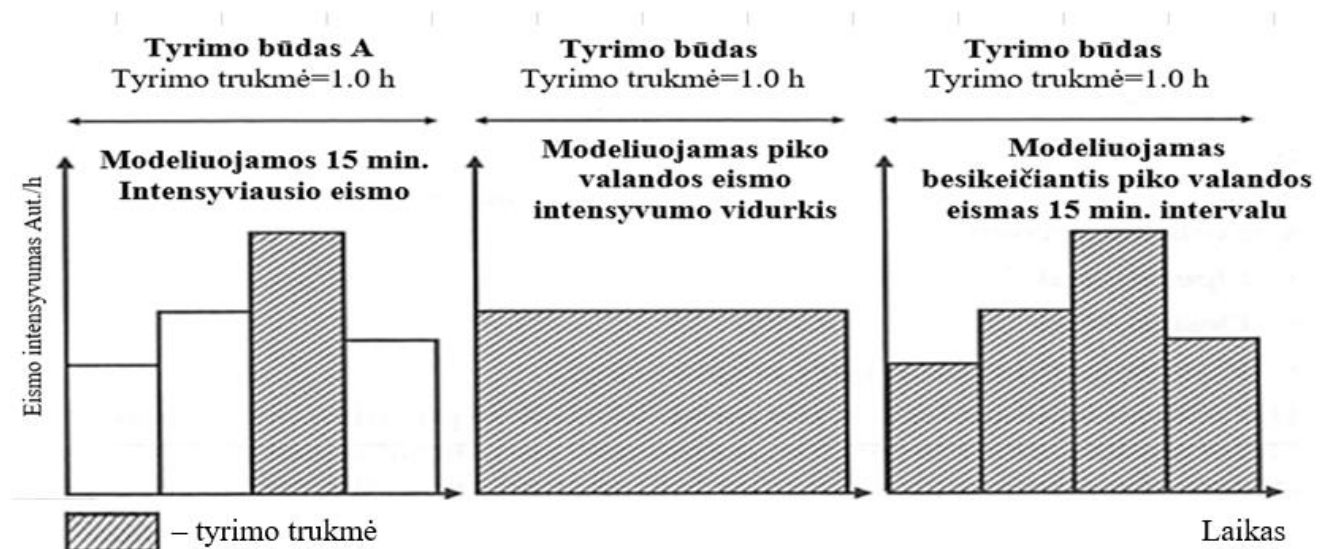


5 pav. Užnemunės ir Veiverių bei Užnemunės, Veiverių ir H. ir O. Minkovskių gatvių sankryžos detekcija

Tiriamo objekto modeliavimas atliktas 1 valandos laikotarpiu rytinio (07:30 – 08:30) ir vakarinio (16:30 – 17:30) piko laiku. Pasirinktas tyrimų laikas yra tipinis tokio dydžio miestams. Didžiausias transporto srautas pasiekiamas minėtu laikotarpiu. Jo metu miesto gatvėse yra sudėtingiausios eismo sąlygos. Taip pat išskirtas lengvasis, sunkusis bei viešasis transportas.

Tyrimui pasirinktas HCM 2010 (Highway Capacity Manual) aprašytas tyrimo metodas „C“ (6 pav.), kuomet eismo intensyvumas tiriamu laikotarpiu (aut./val.) yra dalinamas į ketvirčius po 15 min. Šis pasirinktas metodas tiksliausiai atspindi piko valandos eismo pokyčius bei susidarancias eismo situacijas

[9].



6 pav. HCM tyrimų metodai [9]

3. Eksperimentiniai tyrimai

3.1 Tiriamo objekto šviesoforinis sankryžų valdymas

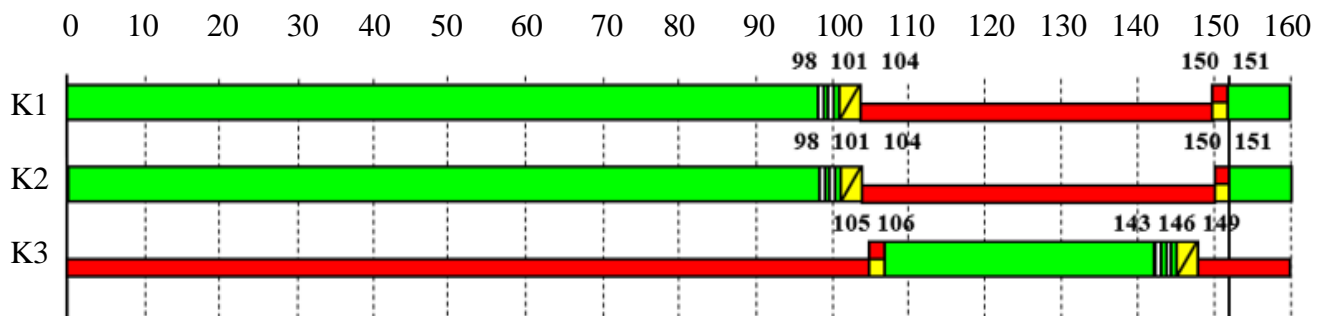
Šių dviejų šviesoforais valdomų sankryžų ciklo ir fazių trukmės laikai priklauso nuo sankryžose esančio transporto priemonių skaičiaus ir veikia planų parinkimo principu. Pagrindiniai šio valdymo būdo privalumai:

- Nėra įjungiamas žalias šviesoforo signalas, jei kažkuri kryptis yra tuščia ir joje nėra važiuojančių transporto priemonių;
- Kiekvienos signalinės grupės žalio signalo laikas turi nustatytą minimalią ir maksimalią reikšmę, kuri priklauso nuo eismo dalyvių skaičiaus.
- Šiuo valdymo būdu yra mažinamas vairuotojų gaišties laikas sankryžose ir didinamas susisiekimo greitis atkarpose.

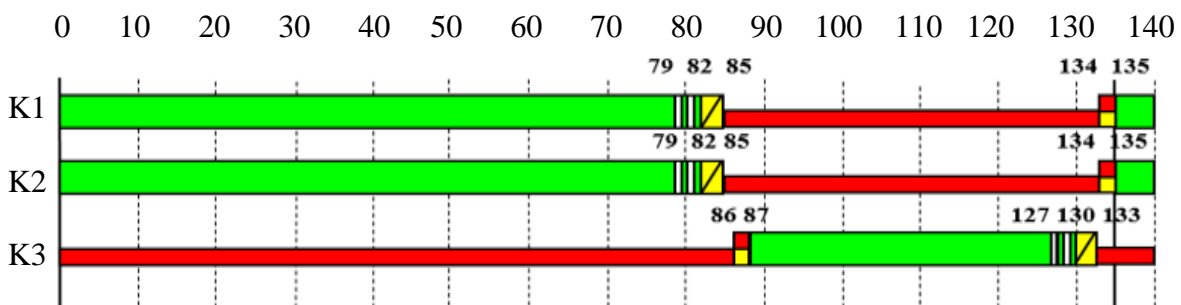
Tačiau piko metu, kuomet gatvių apkrovimas ženkliai padidėja visomis kryptimis ir signalinių grupių laikai pasiekia maksimalias reikšmes, besikeičiantys ciklai tampa vienodi. Sukurtame tiriamo objekto modelyje abiejų šviesoforinių sankryžų ciklo ir fazių trukmės laiko duomenys tiek rytinio tiek vakarinio piko metu parinkti tokie, kokie buvo tiriamą dieną. Duomenys gauti iš sankryžose esančių eismo valdiklių duomenų bazės.

Nagrinėjamo objekto rytinio ir vakarinio piko programos fazių diagrama:

Užnemunės – Veiverių g. sankryža 07:30 – 08:30 ($T_c=151s$)



Užnemunės – Veiverių g. sankryža 16:30 – 17:30 ($T_c=135s$)



Signalinė grupė:

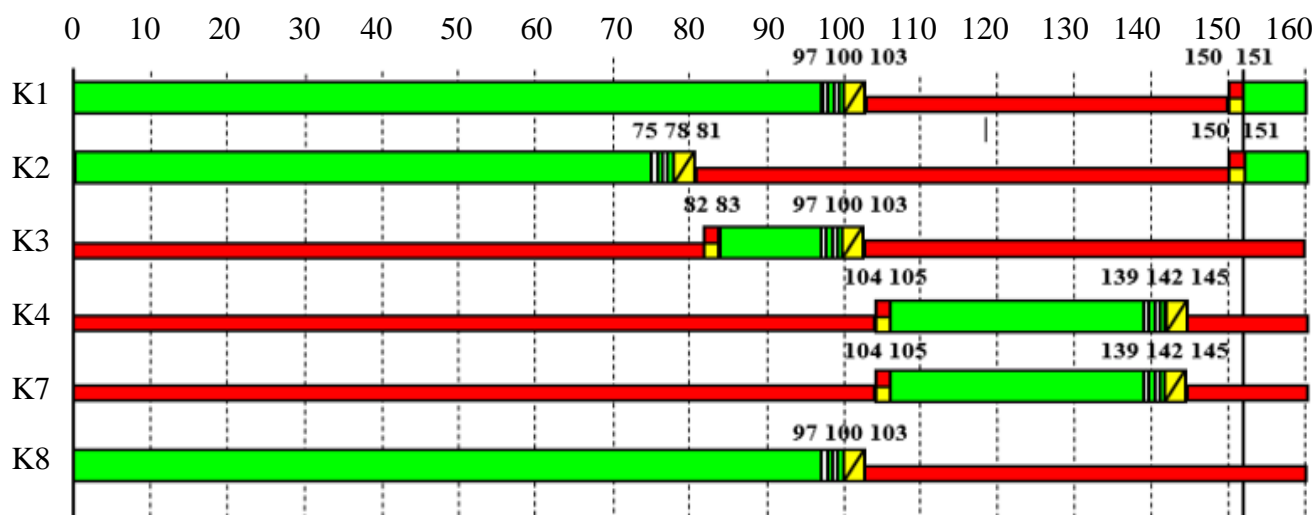
K1 – Užnemunės g. link H. ir O. Minkovskių g.

K2 – Užnemunės g. link Lampėdžių mikrorajono.

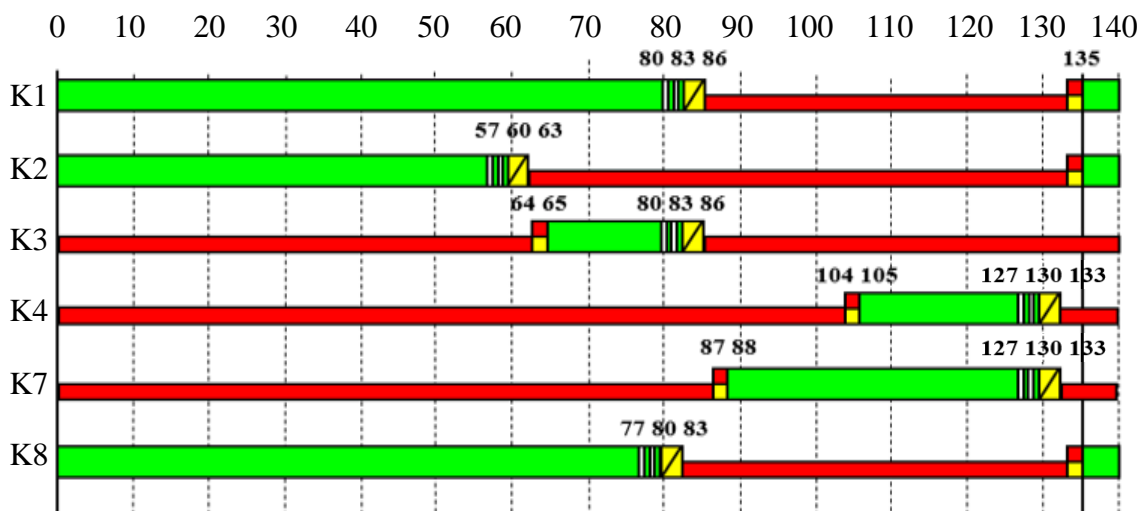
K3 – Veiverių g. link Užnemunės g. (Lampėdžių mikrorajono).

Iš pateiktų programos fazių diagramų matome, jog Užnemunės – Veiverių g. šviesoforais valdomos sankryžos ciklų trukmė rytą ir vakare skiriasi. Rytą – 151 s., vakare – 135 s. Ilgiausias žalio šviesoforo signalas tenka pagrindine Užnemunės gatve važiuojančioms transporto priemonėms. Rytą – 101 sekundė, vakare – 82 sekundės. Dėl didesnio transporto srauto vakarinio piko metu iš miesto centro į Užnemunės gatvę šviesoforo žaliasis signalas šiai kryptčiai dega ilgiau nei rytinio piko metu.

Užnemunės, Veiverių ir H. ir O. Minkovskių g. sankryža 07:30 – 08:30 ($T_c=151s$)



Užnemunės, Veiverių ir H. ir O. Minkovskių g. sankryža 16:30 – 17:30 ($T_c=135s$)



Signalinė grupė:

K1 – H. ir O. Minkovskių g. link Užnemunės g.

K2 – Užnemunės g. link H. ir O. Minkovskių g., Veiverių g.

K3 – H. ir O. Minkovskių g. link Veiverių g.

K4 – Veiverių g. link Užnemunės g.

K7 – Veiverių g. link Vytauto Didžiojo tilto

K8 – Užnemunės, H. ir O. Minkovskių g. link Veiverių g.

3.2 Užnemunės ir Veiverių g. šviesoforinės sankryžos valdymas

Šioje sankryžoje eismas valdomas 3 fazėmis ir 4 signalinėmis grupėmis (7 pav.).

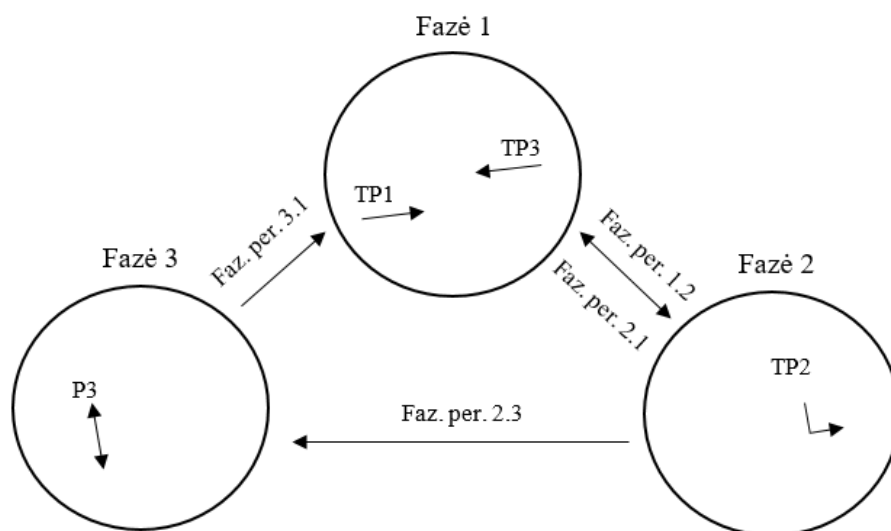
- **Fazė 1.** Transporto priemonių eismas leidžiamas Užnemunės gatve abejomis kryptimis.
- **Fazė 2.** Automobiliams važiuojantiems iš Veiverių g. leidžiama sukti į kairę.
- **Fazė 3.** Pėsčiųjų mygtuko paspaudimo atveju įsijungia trečia fazė, kuri leidžia pėstiesiems kirsti Užnemunės gatvę.

Galima fazių seka:

- Fazė 1 → Fazė 2 → Fazė 3
- Fazė 1 → Fazė 2

3 lentelė. Užnemunės ir Veiverių g. signalinių grupių duomenys

Žymėjimas	Signalinė grupė	Juostos nr.	Gatvės atkarpa
→	TP1	1	Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių g. sankryža – Užnemunės g. (link Lampėdžių mikr.)
		2	
←	TP3	1	Užnemunės g. – Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių g. sankryža
		2	
↙	TP2	2	Veiverių g. – Užnemunės g. (link Lampėdžių mikr.)
↕	P3		Užnemunės g. pėsčiųjų perėja



7 pav. Užnemunės ir Veiverių gatvės sankryžos fazių sekos planas

3.3 Užnemunės, H. ir O. g. Minkovskių ir Veiverių šviesoforinės sankryžos valdymas

Šioje sankryžoje eismas valdomas 4 fazėmis ir 9 signalinėmis grupėmis (8 pav.).

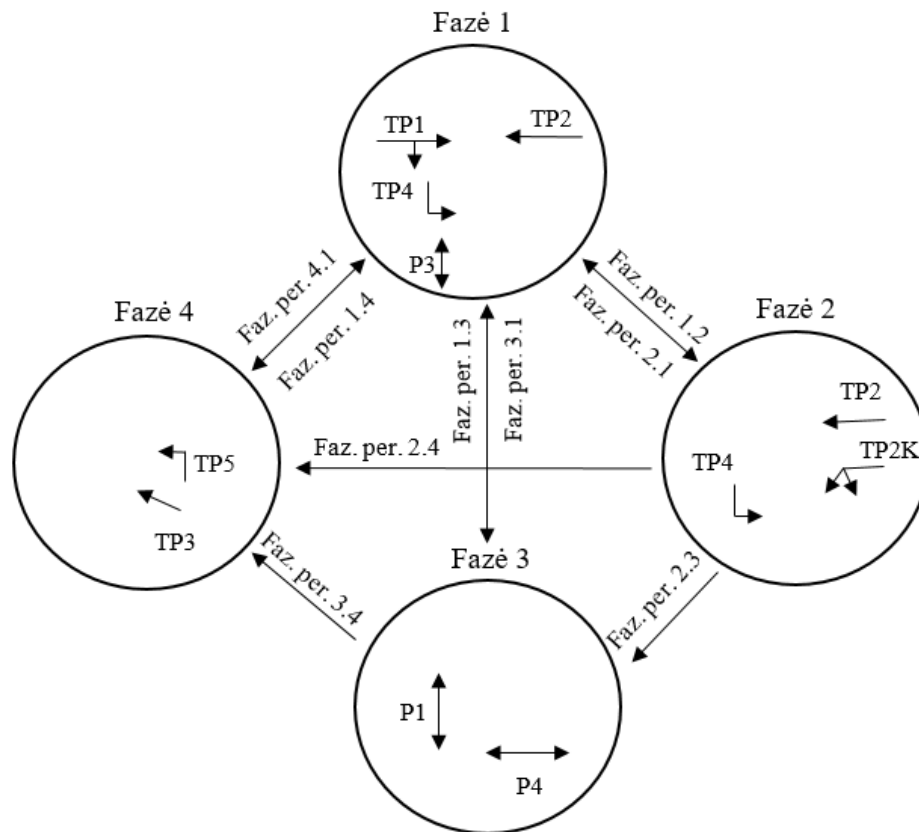
- **Fazė 1.** Atvažiuojantiems automobiliams Užnemunės gatve leidžiama važiuoti visomis kryptimis, kartu su transporto priemonėmis, kurios važiuoja iš H. ir O. Minkovskių g. link Užnemunės g. Esant pėsčiųjų mygtuko paspaudimui leidžiama pėstiesiems kirsti Veiverių gatvės atkarpą.
- **Fazė 2.** Išjungiamas žaliojo šviesoforo signalas Užnemunės gatve atvažiuojantiems automobiliams. Prie srauto, kuris važiuoja H. ir O. Minkovskių g. Užnemunės g. link, prisijungia transporto priemonės sukančios į kairę miesto centro ar Veiverių g. link.
- **Fazė 3.** Sustabdomas eismas visomis kryptimis ir per Užnemunės gatvės perėją ir greta esančią perėją praleidžiami pėstieji.
- **Fazė 4.** Atvažiuojantiems automobiliams Veiverių gatve leidžiama važiuoti visomis kryptimis.

Galima fazių seka:

- Fazė 1 → Fazė 2 → Fazė 3 → Fazė 4
- Fazė 1 → Fazė 3 → Fazė 4
- Fazė 1 → Fazė 4

4 lentelė. Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių g. signalinių grupių duomenys

Žymėjimas	Signalinė grupė	Juostos nr.	Gatvės atkarpa
	TP1	1	Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas
		2	Užnemunės g. – H. ir O. Minkovskių g.
		2	Užnemunės g. – Veiverių g.
	TP2	1	H. ir O. Minkovskių g. – Užnemunės g.
	TP4		Užnemunės bei H. ir O. Minkovskių g. – Veiverių g.
	P3		Pėsčiųjų perėja per Veiverių g.
	TP2K	2	H. ir O. Minkovskių g. – Vytauto Didžiojo tiltas
	TP2K	2	H. ir O. Minkovskių g. – Veiverių g.
	P1		Pėsčiųjų perėja per Užnemunės g.
	P4		Pėsčiųjų perėja
	TP5	1	Veiverių g. – Užnemunės g.
	TP3	1	Veiverių g. – H. ir O. Minkovskių g.
		2	Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas
		3	Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas



8 pav. Užnemunės, H. ir O. Minkovskių ir Veiverių gatvės sankryžos fazių sekos planas

3.4 Tiriama objekto srautų pasiskirstymas

Tolimesniems skaičiavimams ir modeliavimui iš eismo srautų duomenų bazės pasirinkti 2018-03-21 (trečiadienio) rytinio (07:30 – 08:30) bei vakarinio (16:30 – 17:30) piko duomenys. Kadangi nėra indukcinės kilpos daviklio, kuris fiksuotų atvažiuojantį transportą Vytauto Didžiojo tiltu nuo miesto centro pusės, tai tą dieną buvo stebimas ir skaičiuojamas transporto pasiskirstymas šioje atkarpoje. Taip pat norint išsiaiškinti kuriose ir dėl kokių priežasčių objekto vietose susidaro didžiausios transporto priemonių spūstys, nagrinėjamas mazgas buvo stebimas vizualiai.

Suskaičiuoti rytinio bei vakarinio eismo intensyvumo pasiskirstymai Vytauto Didžiojo tiltu, Užnemunės, H. ir O. Minkovskių bei Veiverių gatvėse pateikti 5 ir 6 lentelėje. Minėtą dieną, kurios metu buvo pasirinkti duomenys, buvo stebimas ne tik eismo intensyvumas, srautų pasiskirstymas, transporto sudėtis, bet ir atkreipiamas dėmesys į atliekamų manevrų trajektorijas, horizontalaus kelio ženklavimo taisyklių laikymąsi/nesilaikymą.

Norint žinoti tikslų srautų pasiskirstymą laike eismo duomenys detalizuoti 15 minučių tikslumu ir pateikti P – 1 ir P – 2 prieduose. Pateikti duomenys parodo ne tik transporto priemonių gatvių atkarpose skaičių, tačiau ir kryptis, kuriomis pasiskirsto rytinio bei vakarinio piko metu užfiksuotos transporto priemonės.

5 lentelė. Rytinio piko transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte (Aut./h)

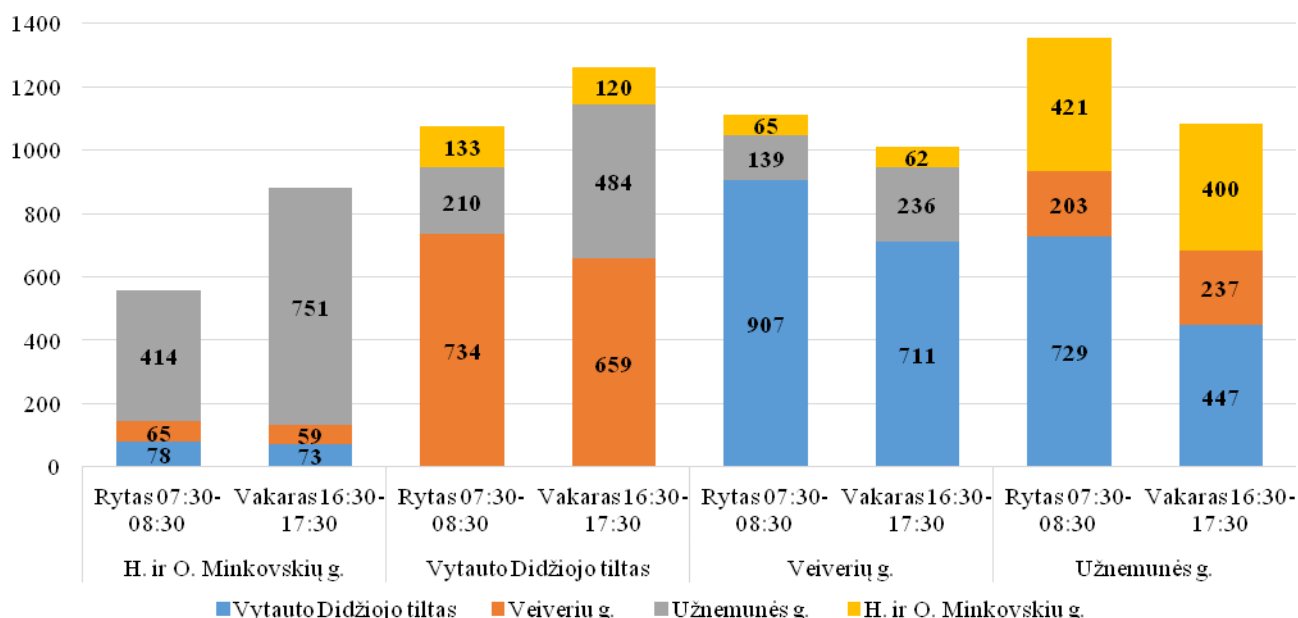
07:30 – 08:30	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		210	734	133
Užnemunės g.	729		203	421
Veiverių g.	907	139		65
H. ir O. Minkovskių g.	78	414	65	

Didžiausias transporto srautų judėjimas fiksuojamas į miesto centrą iš Užnemunės ir Veiverių gatvės bei iš miesto centro į Veiverių gatvę.

6 lentelė. Vakarinio piko transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte (Aut./h)

16:30 – 17:30	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		484	659	120
Užnemunės g.	447		237	400
Veiverių g.	711	236		62
H. ir O. Minkovskių g.	73	751	59	

Vakarinio piko metu transporto srautų judėjimas šioje miesto zonoje išlieka didelis, tačiau padaugėja krypčių, kuriomis juda panašus srautų dydis. Maršrutas Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g., Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas, kaip ir rytinio piko metu, turi didžiausius transporto srautus. Taip pat padidėja eismas iš H. ir O. Minkovskių gatvės į Užnemunės gatvę.



9 pav. Rytinio ir vakarinio piko srautų pasiskirstymo kryptys

Pateikti rytinio ir vakarinio piko srautų duomenys (9 pav.) parodo transporto pasiskirstymo kryptis, kurių didžioji dalis dėsningai keičiasi esant skirtingam paros metui. Kaip matome eismo sruto pasiskirstymas iš H. ir O. Minkovskių gatvės į Veiverių gatvę bei miesto centrą tiek rytą, tiek vakare

yra panašus ir ganėtinai nedidelis. Daugiausia eismo dalyvių iš šios gatvės važiuoja į Užnemunės gatvę, kuria galima pasiekti Lampėdžių mikrorajoną. Rytą – 414 transporto priemonių, kurios sudaro 74 % bendro srauto. Vakare šis skaičius padidėja iki 751 transporto ir tai sudaro 85 %. Pasiskirstymas iš miesto centro Vytauto Didžiojo tiltu į H. ir O. Minkovskių gatvę abiem nagrinėjamais laikais yra panašus ir siekia šiek tiek daugiau nei 120 transporto priemonių. Maršrute Vytauto Didžiojo tiltas – Užnemunės g. rytinio piko metu fiksuojamas dvigubai mažesnis srautas nei vakare (ryte – 210, vakare – 484). Didžiausias eismas iš miesto centro tenka Veiverių gatvei, kur rytą važiuoja 734 eismo dalyviai ir jie sudaro 69 % visų transporto priemonių išvažiuojančių iš miesto centro. Vakare judėjimas šia gatve šiek tiek sumažėja ir nukrenta iki 659 automobilių, tai sudaro 52 %. Atvažiuojančių vairuotojų Veiverių gatve pagrindinis maršrutas fiksuojamas miesto centro link Vytauto Didžiojo tiltu, čia tiek rytą, tiek vakare srautų pasiskirstymas fiksuojamas panašus. Rytą į miesto centrinę dalį vyksta 907 vairuotojai, kurie sudaro net 81 % bendro užfiksuoto srauto. Vakarinio piko metu galime pastebėti šiek tiek mažesnę judėjimą – 711 vairuotojų. Užnemunės gatvė yra viena problematiškiausių rytinio piko atkarpų šiame nagrinėjamame objekte. Šioje akarpoje, ypač ryte, didžiausias srautas tenka Vytauto Didžiojo tiltui – 729 transporto priemonės. Vakare eismo dalyvių skaičius šioje atkarpoje sumažėja iki 447. Taip pat galime pastebėti, kad tiek ryte tiek vakare srautų pasiskirstymai į H. ir O. Minkovskių bei Veiverių gatves yra identiški.

Norint įvertinti sunkiasvorių transporto priemonių įtaką tiriamo objekto eismui, rytinio ir vakarinio piko metu, vizualiniu būdu buvo fiksuojamas šių eismo dalyvių pasiskirstymas nagrinėjamame mazge.

7 lentelė. Rytinio piko krovinio transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte (Aut./h)

07:30 – 08:30	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		16	56	11
Užnemunės g.	35		17	40
Veiverių g.	85	10		4
H. ir O. Minkovskių g.	4	37	4	

Ryte ir vakare daugiausia sunkiasvorių transporto važiuoja iš Veiverių gatvės į miesto centrą, bei priešinga kryptimi. Ta pati situacija fiksuojama tarp Užnemunės ir H. ir O. Minkovskių g.

8 lentelė. Vakarinio piko krovinio transporto srautų pasiskirstymas nagrinėjamame objekte (Aut./h)

16:30 – 17:30	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		42	61	8
Užnemunės g.	27		20	34
Veiverių g.	64	19		4
H. ir O. Minkovskių g.	6	68	5	

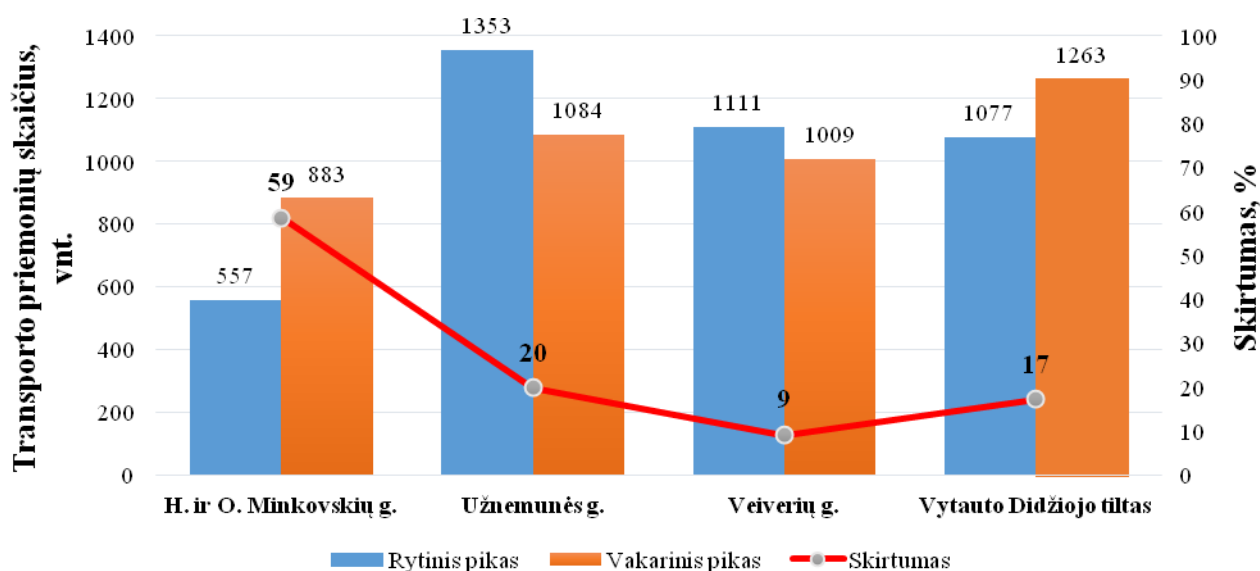
Rytinio piko (5 lentelė) ir vakarinio piko (6 lentelė) transporto priemonių srautų įvažiavimo į nagrinėjamą objektą pasiskirstymas pavaizduotas 10 pav.



10 pav. Rytinio ir vakarinio piko transporto priemonių įvažiavimas į nagrinėjamą objektą

Ryte didžiausias transporto priemonių srautas tenka Užnemunės gatvei – 1353 transporto priemonės, Vytauto Didžiojo tilto bei Veiverių gatvės užimtumas panašus, atitinkamai 1077 ir 1111 automobiliai. Mažiausias srautas rytinio piko metu tenka H. ir O. Minkovskių gatvei – 557 automobiliai. Bendras eismo dalyvių skaičius šiame mazge – 4098.

Vakarinio piko metu Užnemunės gatve į nagrinėjamą objektą įvažiuoja – 1084 automobiliai. Veiverių gatvei tenka 1009 transporto priemonės. Matomas padidėjęs transporto priemonių skaičius vykstantiems nuo miesto centro Vytauto Didžiojo tiltu – 1263. H. ir O. Minkovskių gatve fiksuotos 883 transporto priemonės. Bendras eismo dalyvių skaičius vakarinio piko metu šiame gatvės mazge didesnis nei ryte ir yra 4239.



11 Rytinio ir vakarinio piko įvažiavimo į objektą srautų duomenys

Iš turimų rezultatų (11 pav.) galime pasakyti, jog H. ir O. Minkovskių gatve į tiriamą gatvės mazgą vakarinio piko metu įvažiuoja 59 % daugiau transporto priemonių nei ryte. Taip pat didesnis eismas fiksuojamas ir Vytauto Didžiojo tiltu – +17 %. Tačiau Užnemunės ir Veiverių gatvėse vakare eismas sumažėja. Užnemunės g. – 20 %, Veiverių g. – 9 %.

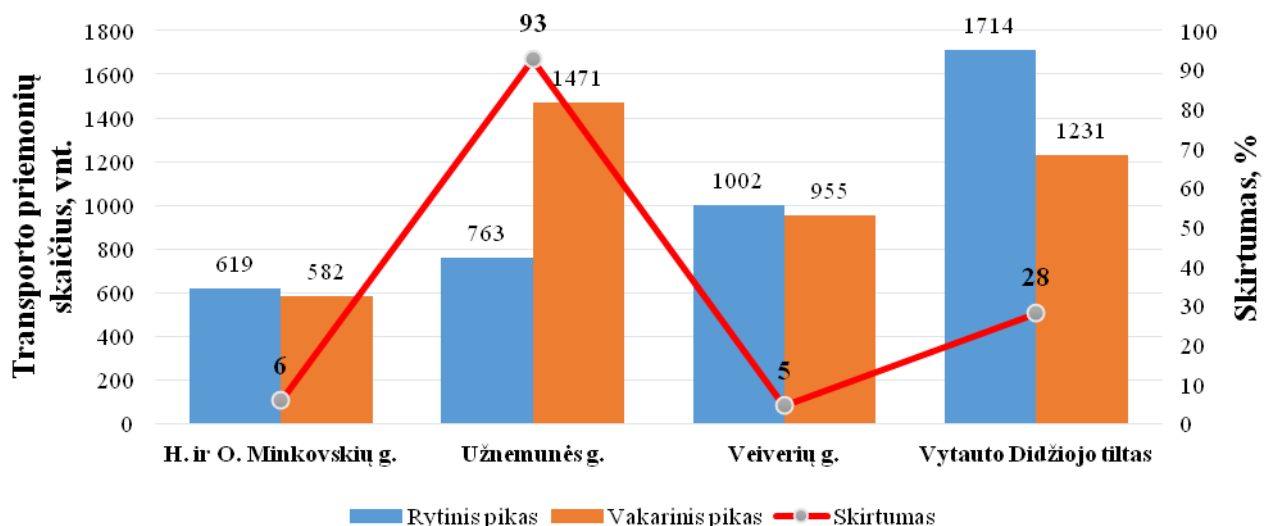
12 pav. matomi rytinio ir vakarinio piko transporto priemonių srautų išvažiavimo iš nagrinėjamo objekto pasiskirstymo dydžiai.



12 pav. Rytinio ir vakarinio piko transporto priemonių srautų išvažiavimo iš nagrinėjamo objekto pasiskirstymas

Ryte nagrinėjamame objekte daugiausia transporto priemonių vyksta į miesto centrą, todėl Vytauto Didžiojo tilto apkrovimas yra didžiausias – 1714 eismo dalyvių. Taip pat ganėtinai daug vairuotojų Veiverių gatve vyksta į Aleksoto rajoną – 1002 transporto priemonės. Iš nagrinėjamo objekto Užnemunės bei H. ir O. Minkovskių gatve išvažiuoja atitinkamai 763 ir 619 automobilių.

Vakarinio piko transporto srautų pasiskirstymas: Užnemunės g. – 1471, Vytauto didžiojo tiltas – 1231, Veiverių g. – 955, H. ir O. Minkovskių g. – 582.

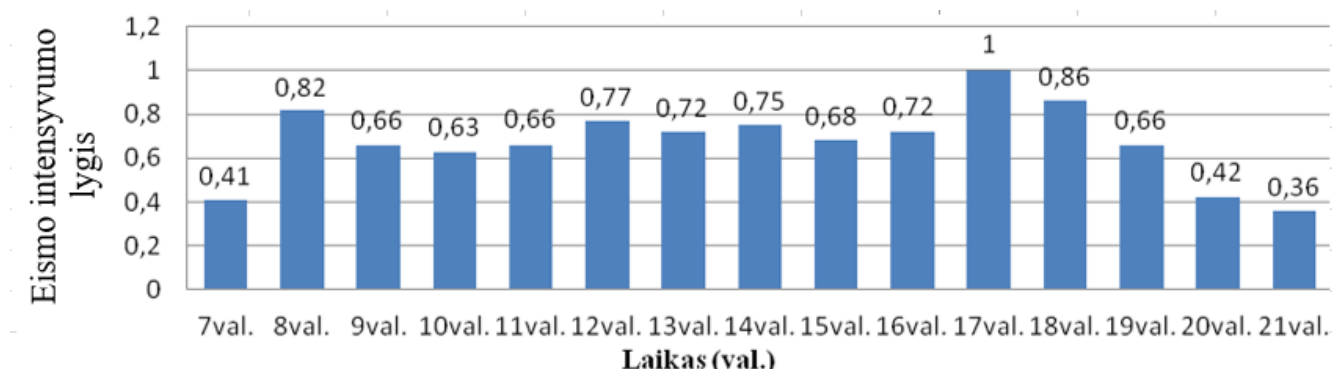


13 pav. Rytinio ir vakarinio piko išvažiavimo iš objekto srautų duomenys

Kaip matome (13 pav.) srautų pasiskirstymas iš šio mazgo rytinio ir vakarinio piko metu labiausiai skiriasi Užnemunės gatvėje, kur vakare šia gatvės atkarpa išvažinėja 93 % daugiau transporto nei ryte. Tiek H. ir O. Minkovskių gatve tiek Veiverių gatve išvažinėjančio transporto skaičius panašus tiek ryte tiek vakare ir stipriai nepakinta. Didžiausias sumažėjimas lyginant su rytiniais duomenimis matomas Vytauto Didžiojo tilto atkarpoje link miesto centro, šia kryptimi vyksta 28 % mažesnis eismo dalyvių skaičius.

3.5 Eismo intensyvumo palyginimas

Remiantis 2011 m. Kauno mieste UAB „Urbanistika“ atliktų tyrimų eismo intensyvumo duomenimis galima teigti, kad Kauno mieste vakarinis pikas yra didesnis nei rytinis. Dieną eismo intensyvumas siekia 0,63 – 0,72 maksimalios reikšmės.



14 pav. Eismo intensyvumo lygis nuo maksimalios reikšmės, pagal 2011 m. rugpjūčio mėnesio tyrimus [8]

Pateiktame 14 pav. matomas maksimalus srautų pasiskirstymas 17 val. (vakarinio piko metu) 2011 metais. Didžiausias transporto srautas fiksuojamas K. Mindaugo pr. – 2812 aut./h. Šiek tiek mažesnis eismas matomas Veiverių g. – 2371. Užnemunės ir H. ir O. Minkovskių gatvėse eismas mažiausias, atitinkamai 1472 aut./h ir 939 aut./h. Šiems rezultatams įtakos galėjo turėti tuo metu nerekonstruotas Raudondvario plentas. Taip pat tyrimų laikas – vasara, rugpjūčio mėnuo. Vasaros laikotarpiu eismas miestuose yra gerokai mažesnis, kadangi studentai bei moksleiviai atostogauja.



15 pav. Eismo intensyvumas 2011 m. [11]

Atsižvelgiant į turimus 9 lentelės duomenis, galima teigti, jog eismas tiriamame objekte 2018 metais yra gerokai didesnis. Veiverių, H. ir O. Minkovskių gatvėse bei Vytauto Didžiojo tilto atkarpoje eismas kito, tačiau ne taip drastiškai kaip Užnemunės gatvėje. Šioje gatvėje tiek rytinio, tiek vakarinio piko metu 2018 metais užfiksuotas net 1000 aut./h didesnis judėjimas nei 2011 metų atliktų tyrimų metu. Kaip jau buvo minėta duomenų rezultatams didelę įtaką galėjo turėti vasaros laikotarpis, kuomet buvo atliekami UAB „Urbanistika“ tyrimai.

9 lentelė. Eismo intensyvumo pokytis

Tyrimų laikas		Transporto priemonių skaičius, aut./h			
		Veiverių g.	Užnemunės g.	H. ir O. Minkovskių g.	Vytauto Didžiojo tiltas
2011 m. UAB „Urbanistika“	Rytas	1944	1170	769	2305
	Vakaras	2371	1472	939	2812
2018 m. kovo 21 d.	Rytas	2113	2116	1176	2791
	Vakaras	1964	2555	1465	2494

3.6 Pagrindinės tiriamo objekto problemos

Rytinio piko metu

Dėl didelio darbo vietų skaičiaus, švietimo bei ugdymo įstaigų miesto centre, ryte didžioji dauguma miesto gyventojų važiuoja į centrinę miesto dalį. Dėl šios priežasties pagrindinės miesto susisiekimo gatvės tampa sunkiai įveikiamos ir vairuotojai yra priversti stovėti spūstyse. Nagrinėjamame objekte rytinio piko metu didžiausi transporto priemonių srautai:

- Užnemunės g. – centras;
- Užnemunės g. – H. ir O. Minkovskių g.;
- Veiverių g. – centras;
- centras – Veiverių g.

Rytinio piko metu iš Lampėdžių mikrorajono atvažiuojantis transporto srautas yra didžiausias (1353 aut./h). Nenuostabu, jog Užnemunės gatvėje nusidriekiančios spūstys, kurių atstumas siekia iki 1500 metrų, reikalauja daugiausiai vairuotojų kantrybės. Viena iš susidarančių kamščių priežasčių yra ta, jog tik iš pirmos eismo juostos Užnemunės, Veiverių ir H. ir O. Minkovskių g. sankryžoje galima važiuoti Vytauto Didžiojo tilto link, o to tokių vairuotojų rytinio piko metu yra apie 730. Be to trumpoje atkarpoje eismą stabdo ir dvi šviesoforinės sankryžos.

Vakarinio piko metu

Vakare eismo pasiskirstymas tampa visiškai priešingas nei ryte, didžiausias transporto priemonių judėjimas fiksuojamas iš miesto centro. Vakarinio piko metu Vytauto Didžiojo tiltu važiuojantis srautas neretai yra priverstas visiškai sustoti ir spūstys nusidriekia iki Karaliaus Mindaugo

pr. – Birštono g. sankryžos. Tai nutinka, kuomet visiškai prisipildo trumpo atstumo dviejų eismo juostų nuvažiavimas link Užnemunės gatvės (16 pav).



16 pav. Nuvažiavimas link Užnemunės gatvės

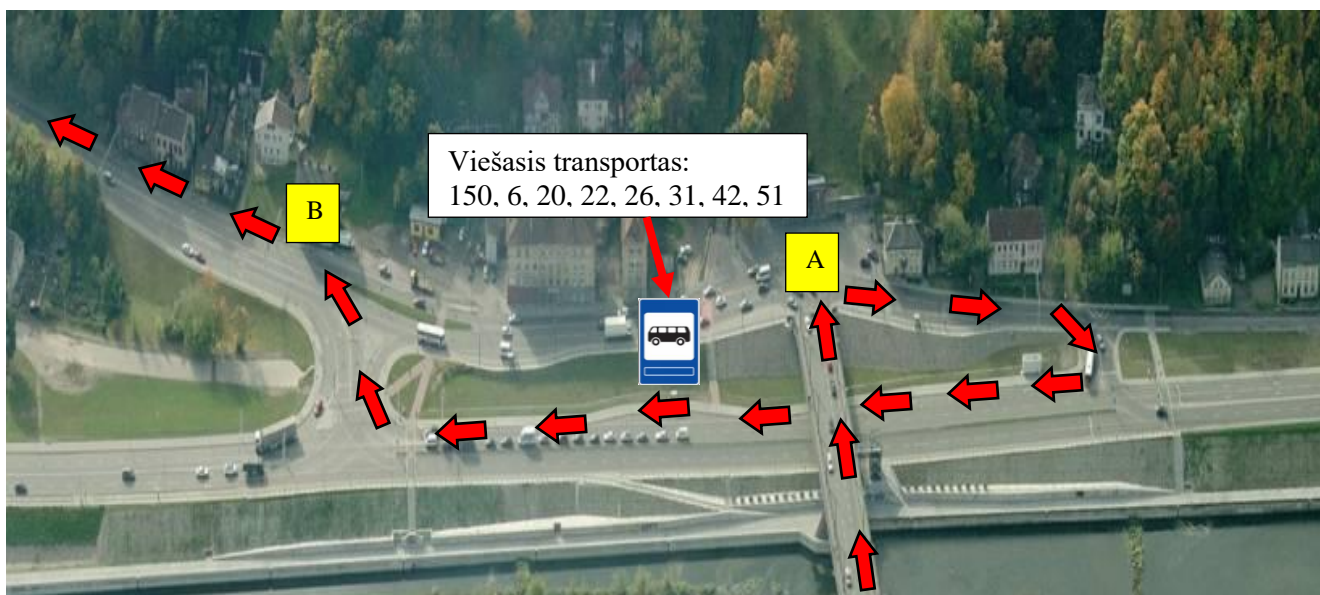
3.7 Viešojo transporto susisiekimas

Viešasis transportas stipriai įtakoja esamo srauto judėjimą nagrinėjamame objekte. Didžiausias susisiekimo poreikis yra tarp miesto centro ir Aleksoto rajono. Tiriamame objekte yra trys „Vytauto Didžiojo tilto“ viešojo transporto stotelės – K. Mindaugo pr., Marvelės g. bei Veiverių g. link. Rytinio ir vakarinio piko viešojo transporto maršrutų grafikas pateiktas 10 lentelėje. Be miesto autobusų ir maršrutinių taksi šis maršrutas taip pat reikalingas ir aštuoniems skirtingiems priemiestiniams autobusams.

10 lentelė. Viešojo transporto grafikas [13]

STOTELĖ – Vytauto Didžiojo tiltas	
Link K. Mindaugo pr.	
07 30 34 35 36 38 39 40 41 43 45 48 51 53 55 56 57 58	16 31 32 37 38 39 40 42 43 46 51 52 53 55
08 01 02 05 09 11 12 14 15 16 17 18 19 27 29 30	17 00 01 03 04 06 13 15 18 19 20 23 24 27 29
Link Marvelės g.	
07 33 40 53 57	16 32 50 51
08 17 21	17 12 19 30
Link Veiverių g.	
07 31 32 38 41 42 45 46 48 50 56 57	16 33 35 36 37 38 41 42 45 50 52
08 00 04 05 06 08 11 12 14 15 21 24 25 27 28	17 01 03 04 05 09 12 14 15 19 21 22 26 30

Ilgiausias ir daugiausiai autobusų vairuotojų ir keleivių laiko reikalaujantis maršrutas nuo K. Mindaugo pr. link Veiverių gatvės yra ne toks efektyvus, koks galėtų būti (17 pav.). Rytinio piko metu pažymėtu maršrutu pravažiuoja 25 viešojo transporto autobusai, vakarinio piko metu – 23. Laiko trukmė, kuri autobusų vairuotojai užtrunka įveikti 450 metrų atkarpą A – B yra gerokai per didelis tokiam trumpam gatvės ruožui. Suskaičiuoti rytinio ir vakarinio piko dešimties autobusų A – B atkarpos įveikimo laikai ir vidurkiai pateikti 11 lentelėje. Ryte atkarpos įveikimo laikas – 3:20 min., vakare šis maršrutas įveikiamas dar lėčiau, per 4:15 min.



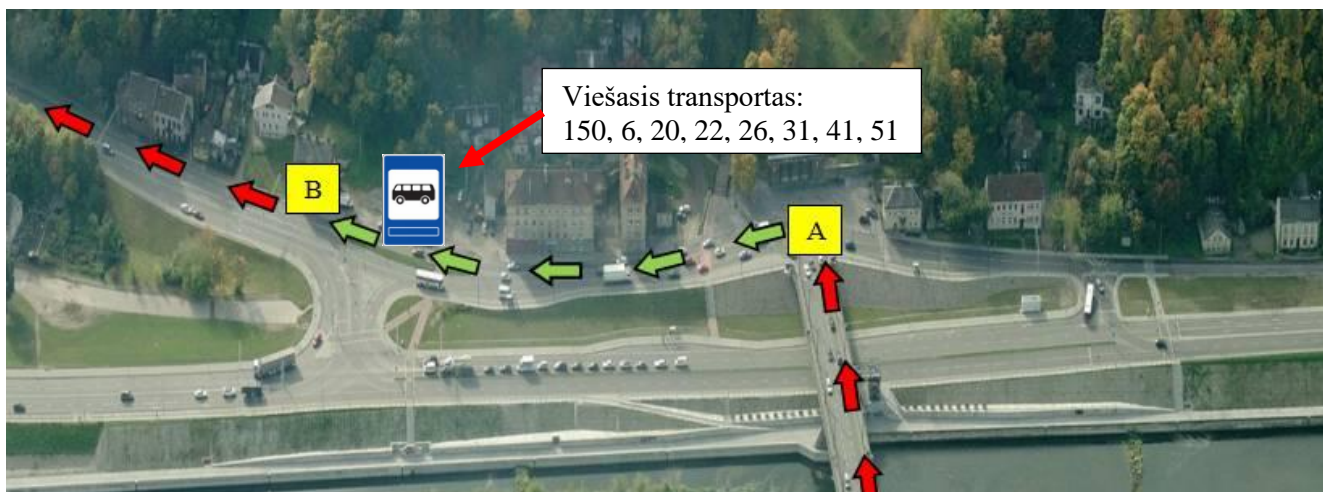
17 pav. Viešojo transporto maršrutas K. Mindaugo pr. – Veiverių g.

Didelių gabaritų autobusams yra nepatogu atlikti staigų dešinį posūkį nuo Vytauto Didžiojo tilto Veiverių g. link, dėl didelio transporto priemonių judėjimo Užnemunės gatve ganėtinai sunku įvažiuoti į šią gatvę ir dažnai tenka laukti, kol eismas šioje gatvėje bus sustabdomas ir tik tuomet bus galima atlikti šį manevrą. Autobusui sustojus stotelėje ir išlaipinus keleivius, trumpame kelio ruože reikia persirikiuoti iš pirmosios juostos į antrąją, kadangi tik iš antrosios juostos galima važiuoti į Veiverių gatvę.

11 lentelė. A – B atkarpos įveikimo laiko trukmė

	Atkarpos A – B įveikimo laikas										Vidurkis
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
07:30 – 08:30	3:40	3:20	2:20	4:15	3:05	3:10	2:50	3:25	2:45	4:20	3:20
16:30 – 17:30	4:25	3:05	3:20	4:35	5:20	4:30	3:25	4:00	4:30	3:55	4:15

Vakarinio piko metu išryškėja kita problema – Vytauto Didžiojo tiltu nuo centro važiuojančios transporto priemonės dažnai patenka į dideles spūstis, kurios nusidriekia beveik iki K. Mindaugo pr. – Birštono g. sankryžos. Pagrindinė to priežastis – maksimaliai užpildytos dvi eismo juostos nuo tilto galo iki reguliuojamos šviesoforinės sankryžos. Minėta atkarpa, ypatingai piko metu, yra pilna ir į šias juostas įvažiuoti norinčioms transporto priemonėms nepakanka vietos. Visi išvardinti teiginiai rytinio bei vakarinio piko metu ne tik didina viešojo transporto susisiekimo laiką, bet ir pasunkina kitų eismo dalyvių situaciją. Galime daryti prielaidą, jog vienas autobusas, kurio ilgis yra apie 15 metrų, atstoja tris lengvuosius automobilius, tokiu atveju nusileidimo atkarpai į Užnemunės gatvę, bei Užnemunės gatvės atkarpai tarp dviejų šviesoforų, per 1 valandą tenka papildomi 75 automobiliai.



18 pav. Pakeistas viešojo transporto maršrutas K. Mindaugo pr. – Veiverių g.

Pagerinti viešojo transporto susiekimą šiame nagrinėjamame objekte galima, įrengiant viešojo transporto stotelę Veiverių g. pradžioje, kaip pavaizduota 18 pav. Šio sprendimo nauda:

- išvengiama viešojo transporto laiko gaištis prie dviejų šviesoforų;
- sumažėja atkarpos nuo Vytauto Didžiojo tilto galo link Užnemunės g. užimtumas;
- A – B atkarpa įveikiama netrukdant kitiems eismo dalyviams;
- atkarpos A – B įveikimo laikas trunka iki 1 minutės.

4. Analitiniai tyrimai

Tiriamo objekto analitiniai tyrimai atlikti, naudojant pasaulyje pripažintą modeliavimo programą – AIMSUN 8 Expert. Pagrindinis modeliavimo tikslas – rasti ir tarpusavyje palyginti visų scenarijų gaunamus parametrus (srauto greitis, gaištis laikas, tankis, srautų intensyvumas, automobilių stovėjimo eilė ir kt.), nustatyti, kuris scenarijus tiriamam objektui suteikia geriausią susisiekimo efektyvumą [12].

Kuriant nagrinėjamo objekto bei galimų scenarijų modelius, buvo atsižvelgiama į:

- Lengvojo, krovinio bei viešojo transporto srautų pasiskirstymo dydžius (aut./h) ir kryptis;
- Gatvių atkarpose leistiną greitį: (Veiverių g., Vytauto Didžiojo tiltas, H. ir O. Minkovskių g. – 50 km/h, Užnemunės g. – 70 km/h);
- Esamą objekto infrastruktūrą (eismo juostų skaičius, gatvių atkarpų ilgį, viešojo transporto stoteles);
- Šviesoforų veikimo parametrus skirtingu paros laiku;
- Transporto srautą stabdančių objektų įtaką.

Sudarintėjant visus scenarijus, nebuvo atsižvelgiama į pėsčiųjų įtaką eismui, kadangi tiriamais laikais pėsčiųjų srautai yra itin maži.

Remiantis rytinio ir vakarinio piko transporto srautų pasiskirstymo duomenimis, analizuojami trys scenarijai, kurie pateikti 12 lentelėje. Pirmiausia sukurtas realus tiriamo objekto mikro modelis. Taip pat sukurti du galimi projektiniai scenarijai, kurie galėtų padidinti esamo objekto susisiekimo efektyvumą.

12 lentelė. Tiriamo objekto susisiekimo infrastruktūros variantai

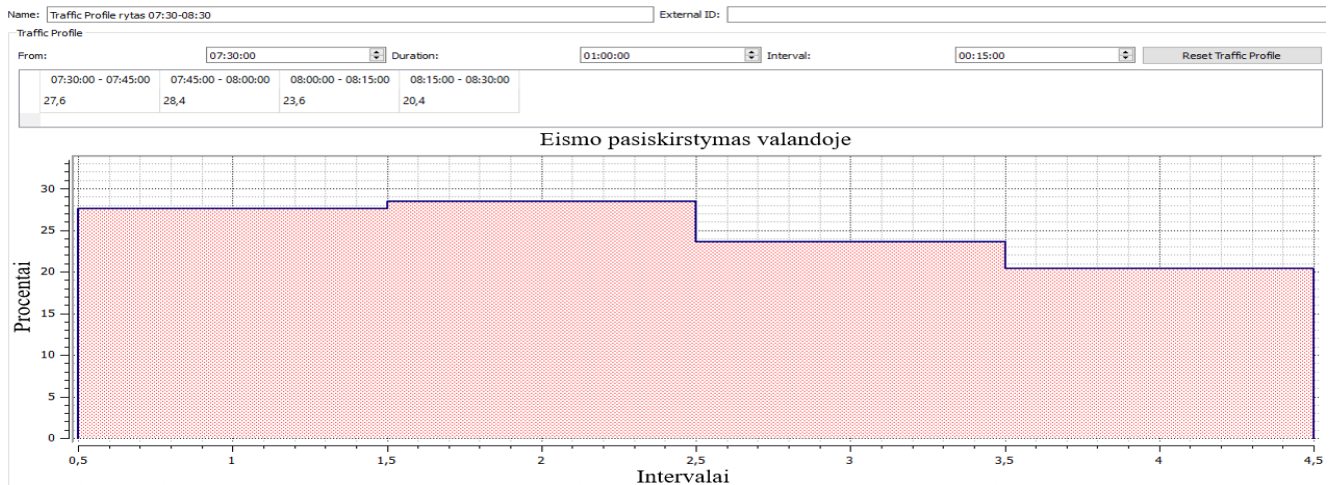
Scenarijaus Nr.	Scenarijaus aprašymas
1	esamos infrastuktūros modelis
2	pakeistos infrastruktūros modelis (papildomas eismo juostų skaičius)
3	Pakeista infrastruktūra bei eismo organizavimo tvarka Vytauto Didžiojo tilto atkarpoje

Esamos infrastruktūros modelis – sukuriamas mikro modelis, atitinkantis visus šiuo metu esančius tiriamo objekto infrastruktūrinius parametrus.

Pakeistos infrastruktūros modelis – modeliuojamas mikro modelis su papildomomis eismo juostomis gatvių atkarpose.

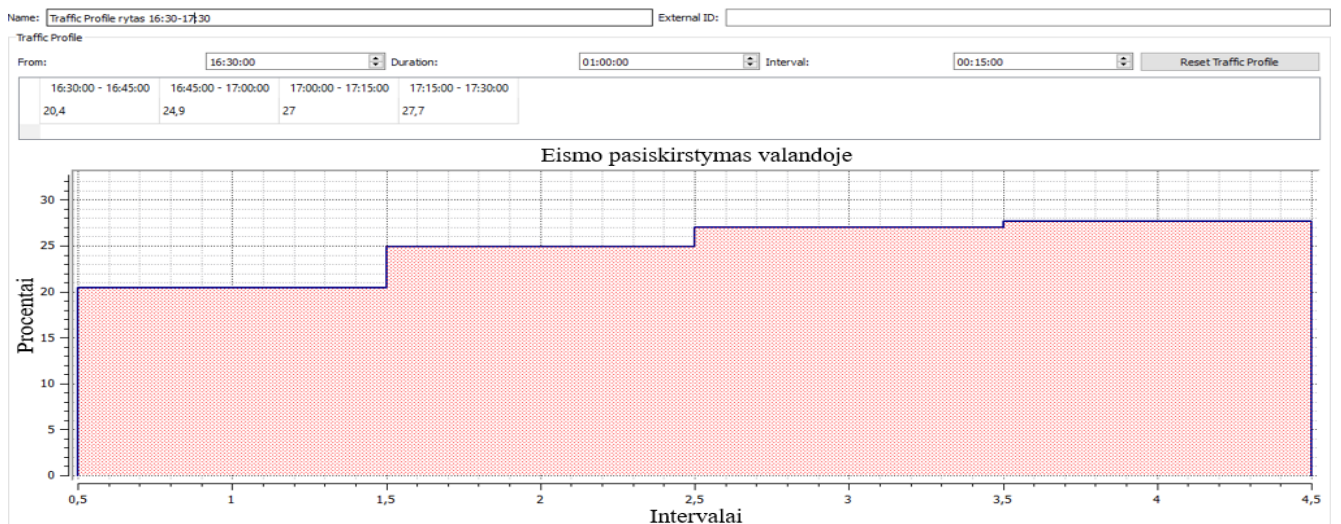
Pakeista infrastruktūra bei eismo organizavimo tvarka – keičiama modelio infrastruktūra bei eismo organizavimas Vytauto Didžiojo tilto priklausomai nuo paros meto.

Suvedus tiriamo objekto srautų kiekio duomenis į modeliavimo programą, buvo gautas rytinio ir vakarinio piko eismo srautų pasiskirstymo grafikas (19 ir 20 pav.). Galima teigti, jog duomenys paimti iš sankryžose esančių daviklių yra teisingi, kadangi kaip matoma 19 pav. rytinio piko metu eismo srautų pasiskirstymas yra logiškas ir dėsningas rytinio piko esamai situacijai. Iki 08:00 valandos ryto transporto priemonių skaičius tiriamame objekte didėja, nuo 08:00 valandos eismas pradeda mažėti.



19 pav. Rytinio piko eismo pasiskirstymas valandoje

Vakarinio piko eismo srautų pasiskirstymas (20 pav.) dažnu atveju būna didesnis nei rytinio piko metu. Galima pastebėti, jog atlikto tyrimo metu (16:30 – 17:30), eismo srautai tiriamame objekte tik didėjo ir nepavyko nustatyti eismo srautų mažėjimo. Galima daryti išvadą jog šiame gatvės mazge eismo spūstys pradeda formuotis šiek tiek vėliau nei įprastu laiku. Norint nustatyti tikslų laiką, kuomet nagrinėjamose sankryžose susiformuoja didžiausios eismo spūstys, būtina tyrimus atlikti ne vieną valandą, kaip šiuo atveju, bet mažiausiai dvi valandas.



20 pav. Vakarinio piko eismo pasiskirstymas valandoje

4.1 Scenarijaus variantas Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelis

Modeliuojamas esamos infrastruktūros gatvių tinklas pavaizduotas (19 pav.)



21 pav. Esamos infrastruktūros tiriamo objekto modelis

Modeliuojant esamos infrastruktūros modelį, įvertinamas eismo juostų skaičius ir galimos važiavimo kryptys. Taip pat nurodomos viešojo transporto sustojimų vietos:

Veiverių g.:

- 1 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g. arba Užnemunės g;
- 2 ir 3 eismo juosta – link Vytauto Didžiojo tilto.

Užnemunės g.:

- 1 eismo juosta – link Vytauto Didžiojo tilto;
- 2 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g. arba Veiverių g.

Vytauto Didžiojo tiltas:

- 1 eismo juosta – link Užnemunės g. arba Veiverių g.

Nuvažiavimas nuo Vytauto Didžiojo tilto:

- 1 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g;
- 2 eismo juosta – link Užnemunės g.

H. ir O. Minkovskių g.:

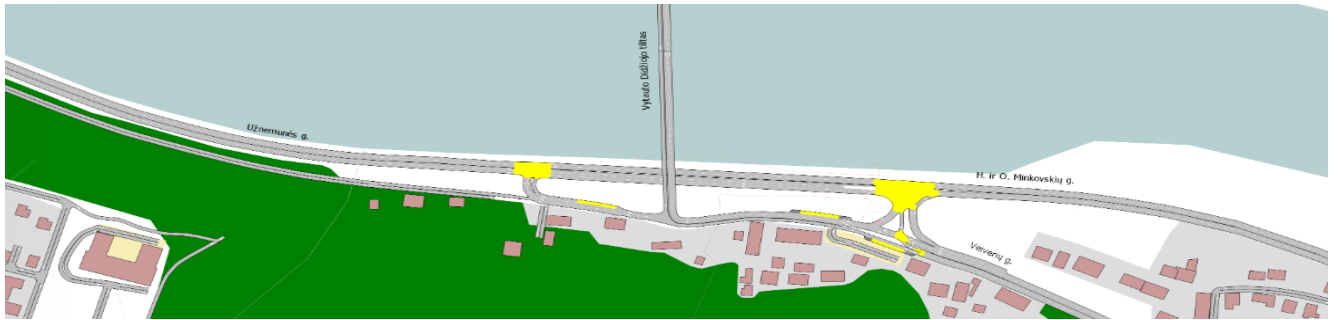
- 1 eismo juosta – link Užnemunės g;
- 2 eismo juosta – link Veiverių g. arba Vytauto Didžiojo tilto.



22 pav. Projektinis scenarijaus variantas Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelis

4.2 Scenarijaus variantas Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelis

Modeliuojamas pakeistos infrastruktūros gatvių tinklas pavaizduotas (23 pav.)



23 pav. Pakeistos infrastruktūros tiriamo objekto modelis

Modeliuojant pakeistos infrastruktūros modelį įvertinamas eismo juostų skaičius ir galimos važiavimo kryptys. Taip pat nurodomos viešojo transporto sustojimų vietos:

Veiverių g.:

- 1 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g. arba Užnemunės g;
- 2 ir 3 eismo juosta – link Vytauto Didžiojo tilto.

Užnemunės g.:

- 1 eismo juosta – link Vytauto Didžiojo tilto;
- 2 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g., Veiverių g. arba **Vytauto Didžiojo tilto;**
- **3 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g.**

Vytauto Didžiojo tiltas:

- 1 eismo juosta – link Užnemunės g., Veiverių g.

Nuvažiavimas nuo Vytauto Didžiojo tilto:

- 1 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g;
- **2 ir 3 eismo juosta – link Užnemunės g.**

H. ir O. Minkovskių g.:

- 1 eismo juosta – link Užnemunės g;
- 2 eismo juosta – link Veiverių g. arba Vytauto Didžiojo tilto.



24 pav. Projektinis scenarijaus variantas Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelis

Pagrindiniai nagrinėjamo objekto infrastruktūros pakeitimai:

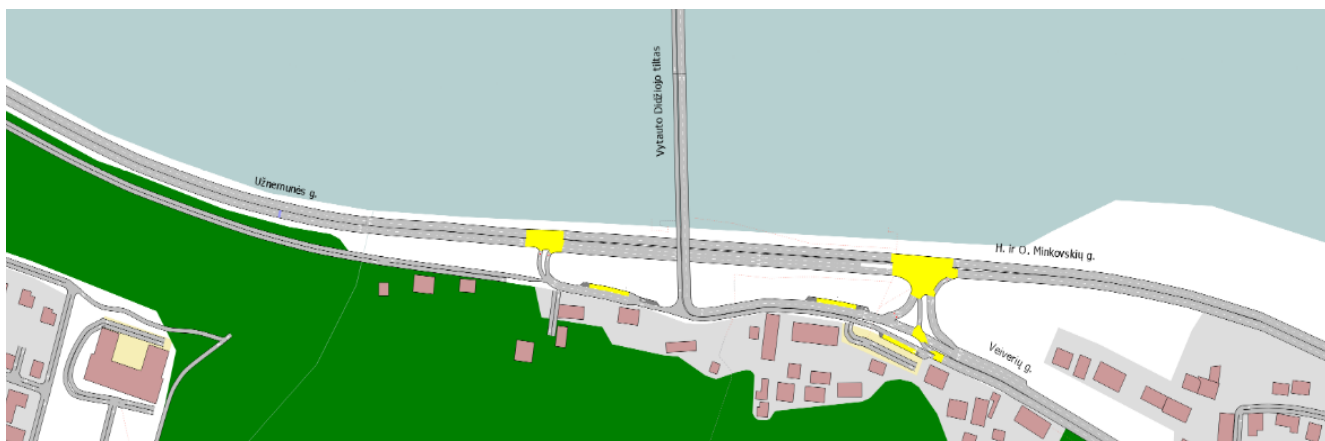
Atvažiuojant Užnemunės gatve, pirma eismo juosta skirta sukti tik į dešinę, Vytauto Didžiojo tilto link, kaip yra ir šiuo metu. Antrąją eismo juosta galima važiuoti trimis kryptimis –H. ir O. Minkovskių g., Veiverių g. link arba Vytauto Didžiojo tilto link. Trečiają eismo juosta galima važiuoti tik į H. ir O. Minkovskių gatvę.

Nuvažiavimo nuo Vytauto Didžiojo tilto Užnemunės gatvės link atkarpoje suprojektuota 1 papildoma eismo juosta, skirta sukti į kairę Užnemunės gatvės link.

Viešojo transporto stotelė iš Užnemunės gatvės perkeliama į Veiverių gatvę.

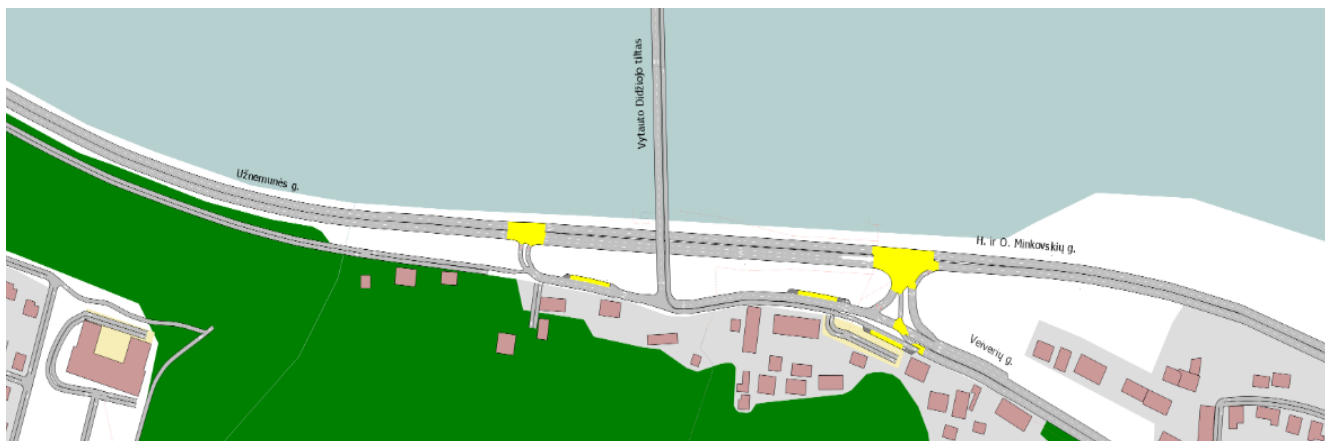
4.3 Scenarijaus variantas Nr. 3 – pakeista infrastruktūra ir eismo organizavimo tvarka

Modeliuojamas pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos gatvių tinklas **rytinio** piko metu pavaizduotas (25 pav.)



25 pav. Pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos tiriamo objekto modelis rytinio piko metu

Modeliuojamas pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos gatvių tinklas **vakarinio** piko metu pavaizduotas (26 pav.)



26 pav. Pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos tiriamo objekto modelis vakarinio piko metu

Modeliuojant pakeistos infrastruktūros bei eismo organizavimo tvarkos modelį įvertinamas eismo juostų skaičius ir galimos važiavimo kryptys. Taip pat nurodomos viešojo transporto sustojimų vietos:

Veiverių g.:

- 1 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g. arba Užnemunės g;
- 2 ir 3 eismo juosta – link Vytauto Didžiojo tilto.

Užnemunės g.:

- 1 eismo juosta – link Vytauto Didžiojo tilto;
- 2 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g., Veiverių g. arba **Vytauto Didžiojo tilto;**
- **3 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g.**

Vytauto Didžiojo tiltas:

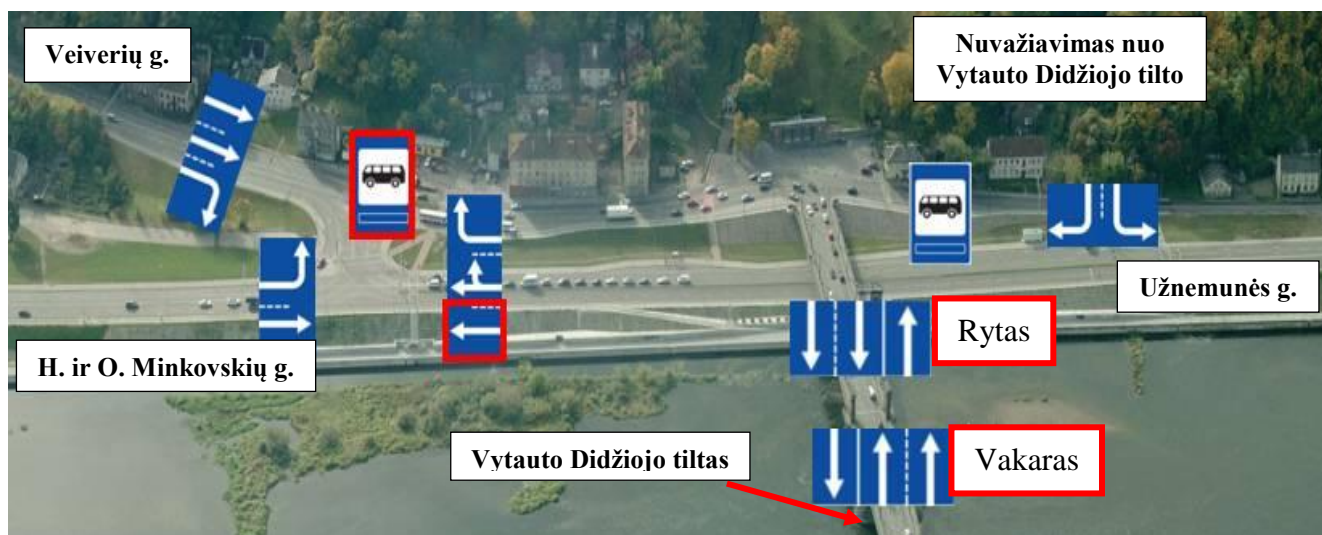
- Rytas (07:30 – 08:30):
1 eismo juosta – link Užnemunės g., Veiverių g.
- **Vakaras (16:30 – 17:30):**
1 eismo juosta – link Užnemunės g.
2 eismo juosta – link Veiverių g.

Nuvažiavimas nuo Vytauto Didžiojo tilto:

- 1 eismo juosta – link H. ir O. Minkovskių g;
- 2 eismo juosta – link Užnemunės g.

H. ir O. Minkovskių g.:

- 1 eismo juosta – link Užnemunės g;
- 2 eismo juosta – link Veiverių g. arba Vytauto Didžiojo tilto.



27 pav. Projektinis scenarijaus variantas Nr. 3 – pakeista eismo organizavimo tvarka

Pagrindiniai nagrinėjamo objekto infrastruktūros bei eismo organizavimo tvarkos pakeitimai:

Atvažiuojant Užnemunės gatve, pirma eismo juosta skirta sukti tik į dešinę, Vytauto Didžiojo tilto link, kaip yra ir šiuo metu. Antrąją eismo juosta galima važiuoti trimis kryptimis –H. ir O. Minkovskių g., Veiverių g. link arba Vytauto Didžiojo tilto link. Trečiąją eismo juosta galima važiuoti tik į H. ir O. Minkovskių gatvę.

Ryte Vytauto Didžiojo tiltu nuo miesto centro važiuojama viena eismo juosta, miesto centro link – dviem eismo juostomis. Vakarinio piko metu (16:30 – 17:30) Vytauto Didžiojo tiltu nuo miesto centro važiuojama dviem eismo juostomis, miesto centro link – viena eismo juosta.

Viešojo transporto stotelė iš Užnemunės gatvės perkeliama į Veiverių gatvę.

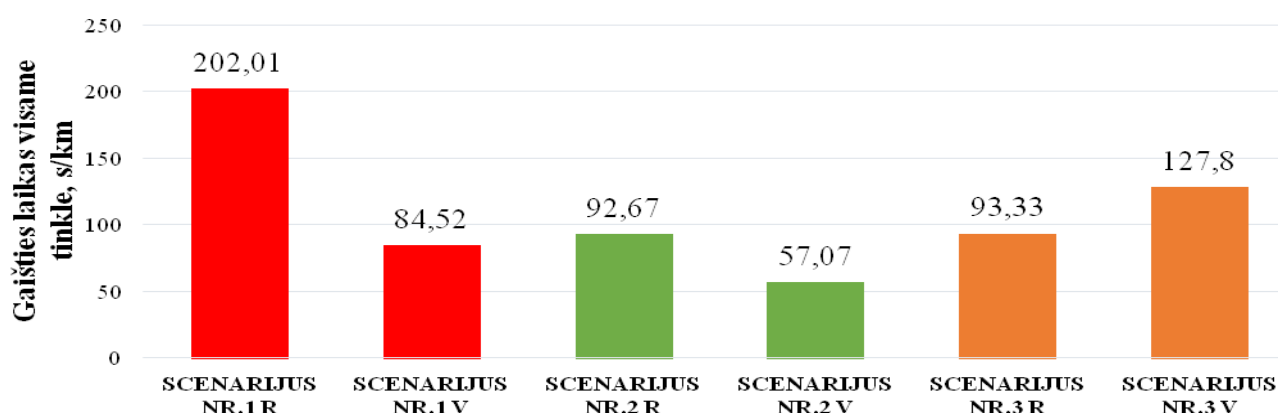
Scenarijų rezultatai

Visų scenarijų, rytinio ir vakarinio piko, rezultatų kartogramos pateiktos P – 3 ir P – 4 prieduose.

4.4 Galimų scenarijų palyginimas

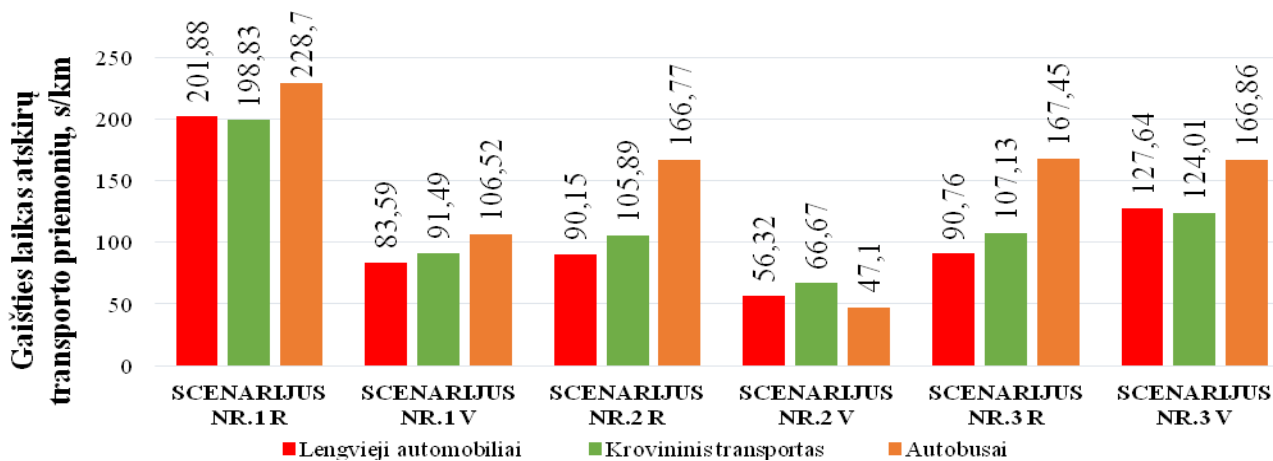
Visi modeliuojamų projektinių scenarijų variantai palyginti tarpusavyje ir gauti rezultatai pateikti grafiškai (28 pav. – 35 pav.).

(28 pav.) matomas, tiriamo objekto, visų projektuojamų scenarijų gaištis laikas, tai transporto priemonės vidutinis sugaištas laikas viename kilometre. Mažiausias gaištis laikas rytinio piko metu yra „SCENARIJUS NR.2 R“ projektuojamame variante. Lyginant su realios situacijos gaištimi („SCENARIJUS NR.1 R“), gaištis nagrinėjamame objekte sumažėja 54,1 %. Didžiausias gaištis laikas rytinio piko metu matomas „SCENARIJUS NR.1 R“ variante – 202,01 s/km. Vakarinio piko metu mažiausia gaištis fiksuojama „SCENARIJUS NR.2 V“ tiriamame scenarijuje – 57,07 s/km, kai realaus scenarijaus gaištis laikas vakarinio piko metu yra 84,52 s/km. Didžiausias gaištis laikas vakariniame pike matomas „SCENARIJUS NR.3 V“ variante ir siekia 127,8 s/km.



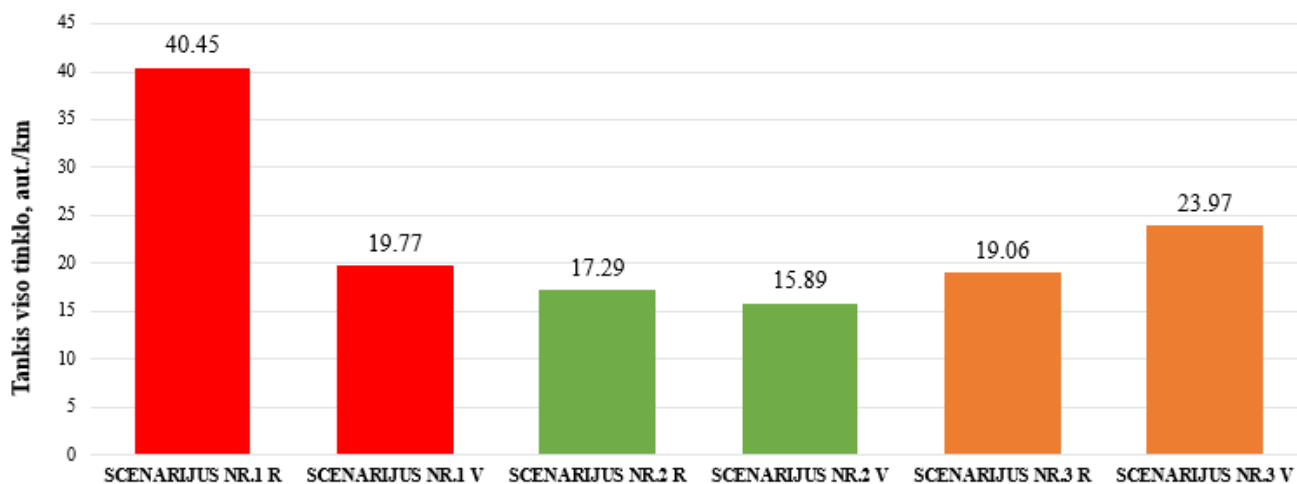
28 pav. Gaištis laikas visame tinkle, s/km

Pateikiamas visų scenarijų gaišties laikas, išskiriant atskiras transporto priemones (29 pav.). Atlikus viešojo transporto maršruto pakeitimus, matomas ženklus šios transporto rūšies susisiekimo efektyvumo pagerėjimas tiriamame objekte. „SCENARIJUS NR.2 R“ ir „SCENARIJUS NR.2 V“ viešojo transporto gaišties laikas atitinkamai lygus 166,77 s/km ir 47,1 s/km. Lyginant su realiu viešojo transporto gaišties laiku, fiksuojamas 61,93 s/km sumažėjimas rytiniame pike bei 59,42 s/km vakariniame pike.



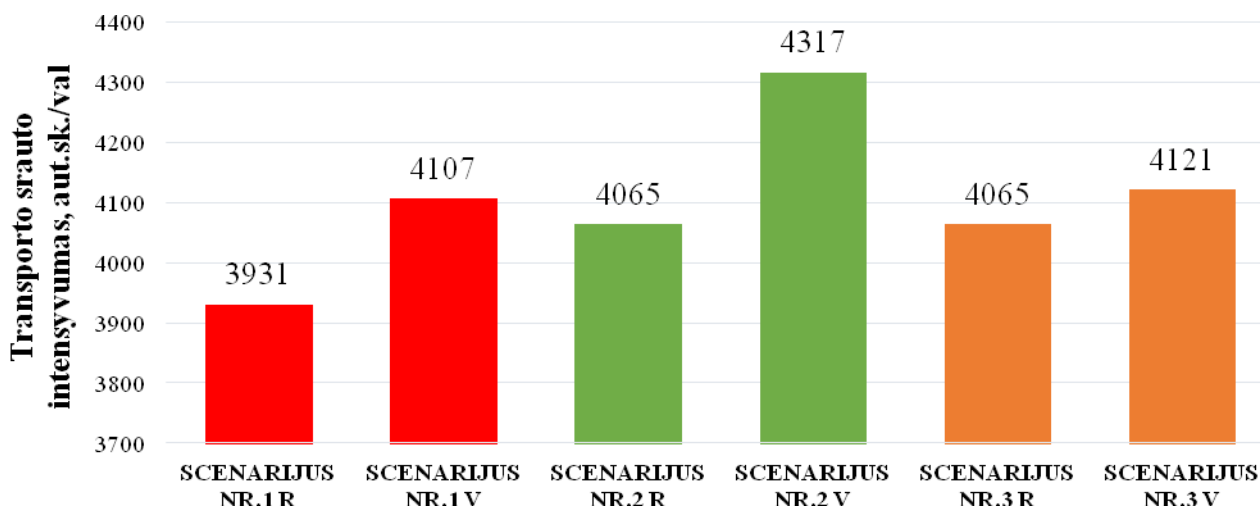
29 pav. Gaišties laikas atskirų transporto priemonių, s/km

Viso tiriamo objekto eismo tankis (transporto priemonių skaičius viename kilometre) pateikiamas (30 pav.) Kuo didesnis eismo tankis, tuo mažesnis atliekamų manevrų skaičius. „SCENARIJUS NR.1 R“ didžiausias objekto užimtumas, kuris siekia 40,45 transporto priemones viename kilometre. Esamos situacijos, vakarinio piko, viso tinklo tankis yra dvigubai mažesnis nei rytinio piko metu – 19,77 aut.sk./km. „SCENARIJUS NR.2 R“ ir „SCENARIJUS NR.2 V“ matomi geriausi rezultatai. Viso tinklo tankis pakeitus infrastruktūrą yra labai panašus tiek ryte tiek vakare (16 – 17 aut./km).



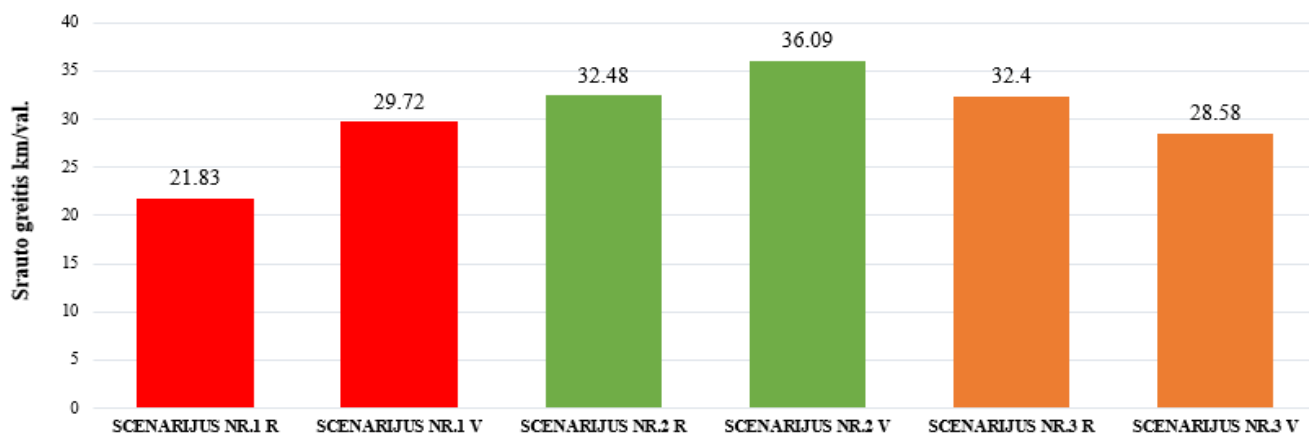
30 pav. Tankis viso tinklo aut.sk./km

Transporto priemonių valandinis srautų pasiskirstymas pateikiamas (31 pav.). Įvažiuojantys į nagrinėjamą objektą transporto srautai vakarinio piko metu visuose scenarijuose yra didesni nei rytinio piko metu. Padidėję eismo srautai matomi „SCENARIJUS NR.2 R“ ir „SCENARIJUS NR.2 V“ scenarijuose, tai reiškia, jog esamos infrastruktūros keitimas padidina transporto priemonių pralaidumą nagrinėjamame mazge. Mažiausias eismo pralaidumas matomas šiuo metu esančios infrastruktūros pateiktame scenarijuje.



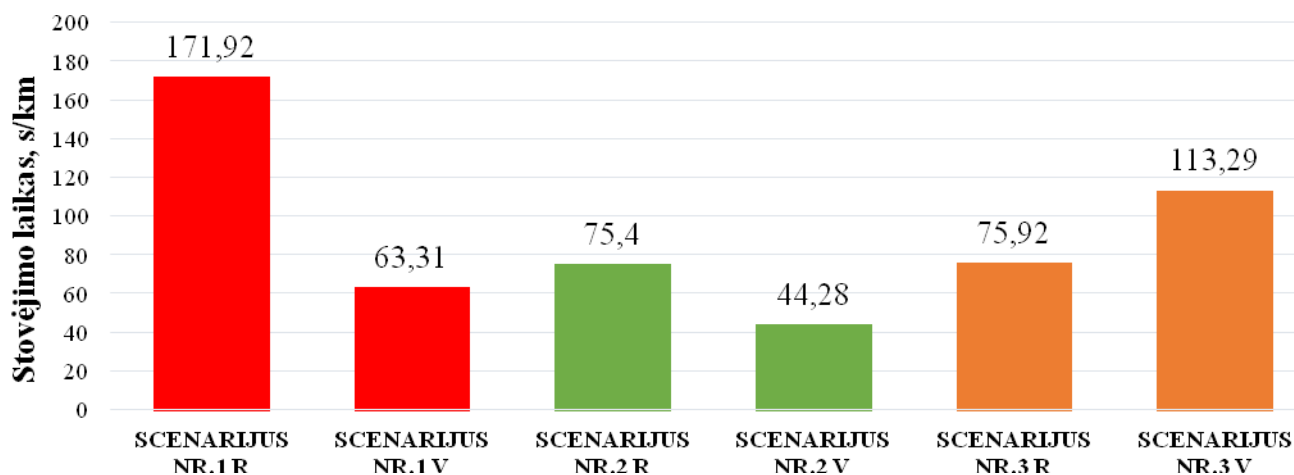
31 pav. Transporto srauto intensyvumas, aut.sk./val

(32 pav.) pateikiami galimų scenarijų vidutiniai transporto priemonių srautų greičiai. Pirmame bei antrame scenarijuje, vakarinio piko metu transporto priemonių vidutinis greitis yra didesnis nei rytinio piko metu. Antrame scenarijuje tiek ryte, tiek vakare gaunami didžiausi srauto greičiai, atitinkamai 32,48 km/h ir 36,09 km/h. Lyginant su šiuo metu esama situacija (pirmas scenarijus), transporto priemonių srautų greitis rytinio piko metu padidėja 10,65 km/h, o vakarinio piko metu 6,37 km/h. Pakeitus infrastruktūrą bei eismo organizavimą pagal trečią scenarijų, vakarinio piko metu srauto greitis neženkliai sumažėtų – 1,14 km/h.



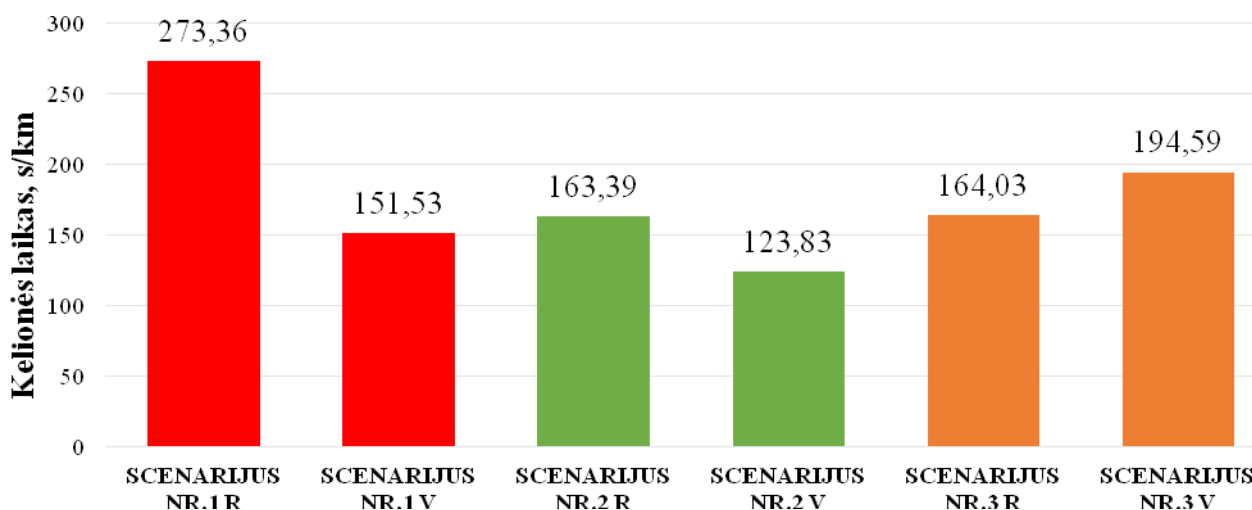
32 pav. Bendras srauto greitis nagrinėjamame objekte km/h

(33 pav.) pateikiamas transporto srautų stovėjimo laikas nagrinėjamame objekte. Didžiausias stovėjimo laikas gaunamas rytinio piko metu, šiuo metu esančioje situacijoje (SCENARIJUS NR.1 R). Taip pat padidėja stovėjimo laikas pritaikius reversinį srautų judėjimą vakarinio piko metu (SCENARIJUS NR.3 V). Taikant „SCENARIJUS NR.2 R“ infrastruktūros pakeitimus, stovėjimo laikas rytinio piko metu lyginant su esama situacija sumažėja 96,52 s/km, vakarinio piko metu – 44,28 s/km. Antrame scenarijuje gaunamas mažiausias stovėjimo laikas iš visų tiriamų scenarijų rytinio ir vakarinio piko metu.



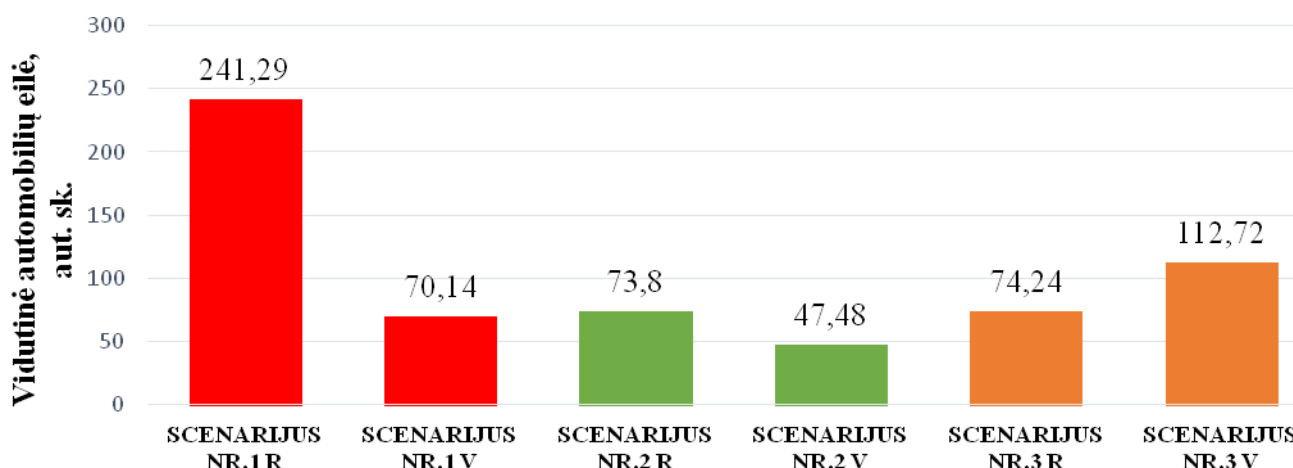
33 pav. Transporto srautų stovėjimo laikas tiriamame objekte, s/km

Viso tinklo bendras kelionės laikas pavaizduotas 34 pav. Esamoje situacijoje, ryte, transporto srautas vieną kilometrą vidutiniškai įveikia per 273,36 s. Vakarinio piko metu įveikimo laikas yra mažesnis – 151,53 s. „SCENARIJUS NR.3 V“, kuomet yra taikomas reversinis judėjimas vakarinio piko metu, bendras kelionės laikas išauga 28 % lyginant su „SCENARIJUS NR.1 V“ rezultatais.



34 pav. Viso tinklo bendras kelionės laikas, s/km

(35 pav.) pavaizduota vidutinė susidaranti automobilių eilė. „SCENARIJUS NR.1 R“ rezultatai matomi didžiausi, vidutiniškai 241 automobilio eilė. Tai galima pagrįsti tuo, jog rytinio piko metu, Užnemunės gatvės atkarpoje susidarancios spūstys, yra didžiausios ir nusidriekia iki 2 km. Pakeitus objekto infrastruktūrą ir atkarpoje tarp dviejų šviesoforų įrengus papildomą eismo juostą, gaunami rezultatai ženkliai sumažėja. Tai parodo „SCENARIJUS NR.2 R“ ir „SCENARIJUS NR.3 R“ rezultatai. Vidutinė automobilių eilė sumažėja iki 74 automobilių.



35 pav. Visų scenarijų vidutinė automobilių eilė, aut.sk

Gauti rezultatai leidžia daryti išvadą, jog scenarijus Nr.2 yra efekyviausias tiriamam objektui. „SCENARIJUS NR.1“ ir „SCENARIJUS NR.2“ gautų rezultatų parametrai palyginami tarpusavyje ir pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Projektinis scenarijus Nr.2 palyginamas su esamos situacijos rezultatais

	Scenarijus Nr.1		Scenarijus Nr.2	
	Rytas	Vakaras	Rytas	Vakaras
Gaišties laikas, s/km	202	85	93	57
Srautų intensyvumas, aut./h	3931	4107	4065	4317
Srautų greitis, km/h	22	30	33	36
Stovėjimo laikas, s/km	172	63	75	44
Vidutinė automobilių eilė, aut.sk	241	70	74	48
Tankis viso tinklo, aut.sk./km	40	20	17	16

Gaišties laikas tiriame objekte „Scenarijus Nr.2“ projektuojamame variante lyginant su esama situacija „Scenarijus Nr.1“ rytinio piko metu sumažėja 109 s/km, vakarinio piko metu – 27 s/km. Srautų intensyvumas padidėja 100 – 200 aut./h. Srautų greitis ryte padidėja 11 km/h, vakare – 6 km/h. Stovėjimo laikas rytinio piko metu sumažėja 97 s/km, vakariniame pike – 19 s/km. Vidutinė automobilių eilė ryte sumažėja daugiau nei trečdaliu, nuo 241 aut. iki 74 automobilių, vakare sumažėja nuo 70 automobilių iki 48.

4.5 Modelio patikimumo įvertinimas

Norint įsitikinti, jog sukurtame modelyje gaunami teisingi rezultatai ir modeliavimo programa naudoja teisingus transporto srautų intensyvumo dydžius – įvertintas modelio patikimumas. Modeliavimo programoje, 14-oje skirtingų vietų, kiekvienoje eismo juostoje nustatyti davikliai fiksuojantys pravažiuojančias transporto priemones (36 pav.).



36 pav. Transporto priemonių detekcija modelio patikimumui nustatyti

37 pav. palyginamas rytinio piko suskaičiuotas transporto priemonių pasiskirstymas ir transporto srautai atlikus modeliavimo simuliaciją. Didžiausias transporto priemonių skaičiaus neatitikimas fiksuojamas Užnemunės gatve važiuojančiam transporto srautui miesto centro link – 113 automobilių ir tai sudaro 8,35 % bendro transporto priemonių kiekio šioje gatvės atkarpoje. Ryte viso tinklo bendras neatitikimas yra tik 1,36 %.

From: 07:30:00 Duration: 01:00:00

Object	Flow - Real Data Set 5185 - All	Flow - Replication 5074 - All	Absolute Difference	Relative Difference (%)
5169: d14	155	168	13	8,3871
5168: d13	234	244	10	4,2735
5167: d12	707	721	14	1,9802
5166: d11	1554	1602	48	3,0888
5165: d10	1374	1310	-64	-4,65793
5164: d9	499	533	34	6,81363
5163: d8	1077	1128	51	4,73538
5162: d7	1515	1611	96	6,33663
5161: d6	557	555	-2	-0,359066
5160: d5	581	581	0	0
5159: d3	950	961	11	1,15789
5158: d4	1111	1158	47	4,23042
5156: d1	1353	1240	-113	-8,35181
5155: d2	750	774	24	3,2
Mean	886,929	899	12,0714	1,36104

37 pav. Rytinio piko transporto srautų pasiskirstymo duomenys

From: 16:30:00 Duration: 01:00:00

Object	Flow - Real Data Set 5160 - All	Flow - Replication 5082 - All	Absolute Difference	Relative Difference (%)
5158: d5	505	527	22	4,35644
5157: d6	883	915	32	3,62401
5156: d3	833	845	12	1,44058
5155: d4	1009	995	-14	-1,38751
5154: d12	545	524	-21	-3,85321
5153: d11	1302	1338	36	2,76498
5152: d10	1224	1207	-17	-1,38889
5151: d9	901	921	20	2,21976
5150: d13	455	467	12	2,63736
5149: d14	108	120	12	11,1111
5148: d8	1263	1111	-152	-12,0348
5147: d7	1255	1350	95	7,56972
5146: d1	1084	1099	15	1,38376
5131: d2	1425	1396	-29	-2,03509
Mean	913,714	915,357	1,64286	0,1798

38 pav. Vakarinio piko transporto srautų pasiskirstymo duomenys

38 pav. palyginamas vakarinio piko suskaičiuotas transporto priemonių pasiskirstymas ir transporto srautai atlikus modeliavimo simuliaciją. Didžiausias transporto priemonių skaičiaus neatitikimas fiksuojamas Vytauto Didžiojo tilto atkarpoje nuo miesto centro – 152 automobių ir tai sudaro 12,03 % bendro transporto priemonių kiekio šioje gatvės atkarpoje. Vakarinio piko viso tinklo bendras neatitikimas yra tik 0,17 %.

Išvados

1. Nustatytos dominuojančios eismo kryptys nagrinėjamame objekte (Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas, H. ir O. Minkovskių g. – Užnemunės g., Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas, Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g.), kurios dėl juostų skaičiaus ir esamos infrastruktūros sudaro eismo spūstis rytinio ir vakarinio piko metu.
2. Transporto srautų pasiskirstymo nustatymui pasirinktas tinkamiausias laikas paroje (rytinis (07:30 – 08:30) ir vakarinis (16:30 – 17:30) pikas). Išanalizuota objekto sankryžos infrastruktūra atsižvelgiant į gatvės kategoriją, eismo juostų skaičių, valandinį eismo intensyvumą ir kitus parametrus.
3. Eismo intensyvumas tiriamame objekte rytinio piko metu (4098 aut./h) yra mažesnis nei vakarinio piko metu (4239 aut./h), todėl susisiekimas rytinio piko metu yra efektyvesnis.
4. Intensyvus viešojo transporto eismas maršrute Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g. yra neefektyvus laiko atžvilgiu. Rytinio piko metu atkarpa tarp Vytauto Didžiojo tilto ir Veiverių g. pradžios įveikiama per 3:20 min., vakarinio piko metu užgaištama – 4:15 min.
5. Įrengus papildomą eismo juostą nuvažiavime nuo Vytauto Didžiojo tilto link Užnemunės g. bei vieną papildomą eismo juostą Užnemunės g. miesto centro link (Scenarijus Nr.2), rytinio piko metu gais ties laikas sumažėja 109 s/km, vakarinio piko metu – 27 s/km. Srautų intensyvumas tiriamame objekte padidėja apie 200 aut./h. Srautų greitis ryte padidėja 11 km/h, vakarinio piko metu – 6 km/h. Stovėjimo laikas rytinio piko metu sumažėja 98 s/km, vakarinio – 19 s/km. Vidutinė automobilių eilė tiriamame mazge ryte sumažėja daugiau nei tris kartus.
6. Taikant infrastruktūros keitimą ir reversinį judėjimą Vytauto Didžiojo tiltu (Scenarijus Nr.3) rytinio piko metu gais ties laikas sumažėja 109 s/km, vakarinio piko metu padidėja – 43 s/km. Srautų intensyvumas tiriamame objekte padidėja iki 100 aut./h. Srautų greitis ryte padidėja 11 km/h, vakarinio piko metu sumažėja – 1 km/h. Stovėjimo laikas rytinio piko metu sumažėja 98 s/km, vakarinio piko metu padidėja – 50 s/km. Vidutinė automobilių eilė tiriamame mazge ryte sumažėja daugiau nei tris kartus, vakare padidėja iki dviejų kartų.

Informacinių šaltinių sąrašas

1. Subhashis Charaadhuri, Tom V. Mathew, Gopal R. Paril, Urban Mobility – challenges, solutions, and prospects, Indian Institute of Technology (2012).
2. Federal Highway Administration traffic monitoring guide.
3. Currin, T. R. 2001. Turning Movement Counts. In Introduction to Traffic Engineering: A Manual for Data Collection and Analysis, ed. B. Stenquist. Stamford, Conn.: Wadsworth Group, pp. 13– 23.
4. H. Sivilevičius, Š. Šukevičius, L. Maskeliūnaitė, J. Bražiūnas. Transporto sistemos elementai: praktinių darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika, 2012. 97 p.
5. Xiangjie Kong, Guojiang Shen, Feng Xia, and Chuang Lin, International Journal of Control, Automation, and Systems. Institute of Control, Robotics and Systems and The Korean Institute of Electrical Engineers (2011) 9(1):60-68 ISBN 2005-4092. [žiūrėta 2018-02-05]. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-011-0108-4>
6. Warberg, A., Larsen, J., & Jørgensen, R. M. (2008). Green Wave Traffic Optimization - A Survey. Informatics and Mathematical Modelling. (D T U Compute. Technical Report; No. 2008-01).
7. Lietuvos statistikos departamentas. [žiūrėta 2018-02-11]. Prieiga per internetą <http://www.stat.gov.lt>
8. Kauno miesto bendrasis planas esamos būklės analizė miesto aplinka, I tomas: susisiekimo infrastruktūra (2011), Kaunas. [žiūrėta 2018-02-11]. Prieiga per internetą: http://old.kaunoplanas.lt/bendrieji_planai/kauno_miesto_bendrasis_planas_esama_bukle
9. HCM (Highway Capacity Manual 2010).
10. Paliulis G. M., Eismo inžinerija (2007), Vilnius, Technika
11. Kauno miesto bendrasis planas esamos būklės analizė miesto aplinka, I tomas: susisiekimo infrastruktūra - eismo intensyvumo schema (2011), Kaunas. [žiūrėta 2018-04-21]. Prieiga per internetą: http://old.kaunoplanas.lt/bendrieji_planai/kauno_miesto_bendrasis_planas_esama_bukle
12. Aimsun modeliavimo programa. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per internetą: <https://www.aimsun.com/>
13. Kauno miesto savivaldybė. Viešasis transportas. [žiūrėta 2018-03-15]. Prieiga per internetą: <http://www.kaunas.lt/transportas/viesasis-transportas/>

Priedai

P – 1, 2018 m. kovo 21 d. rytinio piko transporto srautų rezultatai

14 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 07:30 – 07:45

07:30 – 07:45	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		53	185	38
Užnemunės g.	214		55	121
Veiverių g.	256	31		6
H. ir O. Minkovskių g.	24	137	12	

15 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 07:45 – 08:00

07:45 – 08:00	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		66	236	38
Užnemunės g.	203		50	108
Veiverių g.	259	33		26
H. ir O. Minkovskių g.	25	98	21	

16 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 08:00 – 08:15

08:00 – 08:15	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		45	179	33
Užnemunės g.	186		46	95
Veiverių g.	185	34		16
H. ir O. Minkovskių g.	17	109	21	

17 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 08:15 – 08:30

08:15 – 08:30	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		46	134	24
Užnemunės g.	126		52	97
Veiverių g.	205	41		17
H. ir O. Minkovskių g.	12	70	11	

P – 2, 2018 m. kovo 21 d. vakarinio piko transporto srautų rezultatai

18 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 16:30 – 16:45

16:30 – 16:45	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		129	155	31
Užnemunės g.	69		49	67
Veiverių g.	130	47		16
H. ir O. Minkovskių g.	17	143	11	

19 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 16:45 – 17:00

16:45 – 17:00	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		119	146	42
Užnemunės g.	118		60	104
Veiverių g.	168	72		13
H. ir O. Minkovskių g.	19	181	12	

20 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 17:00 – 17:15

17:00 – 17:15	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		122	181	22
Užnemunės g.	137		53	99
Veiverių g.	203	68		19
H. ir O. Minkovskių g.	20	203	18	

21 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymas 17:15 – 17:30

17:15 – 17:30	Vytauto Didžiojo tiltas	Užnemunės g.	Veiverių g.	H. ir O. Minkovskių g.
Vytauto Didžiojo tiltas		114	177	25
Užnemunės g.	123		75	130
Veiverių g.	210	49		14
H. ir O. Minkovskių g.	17	224	18	

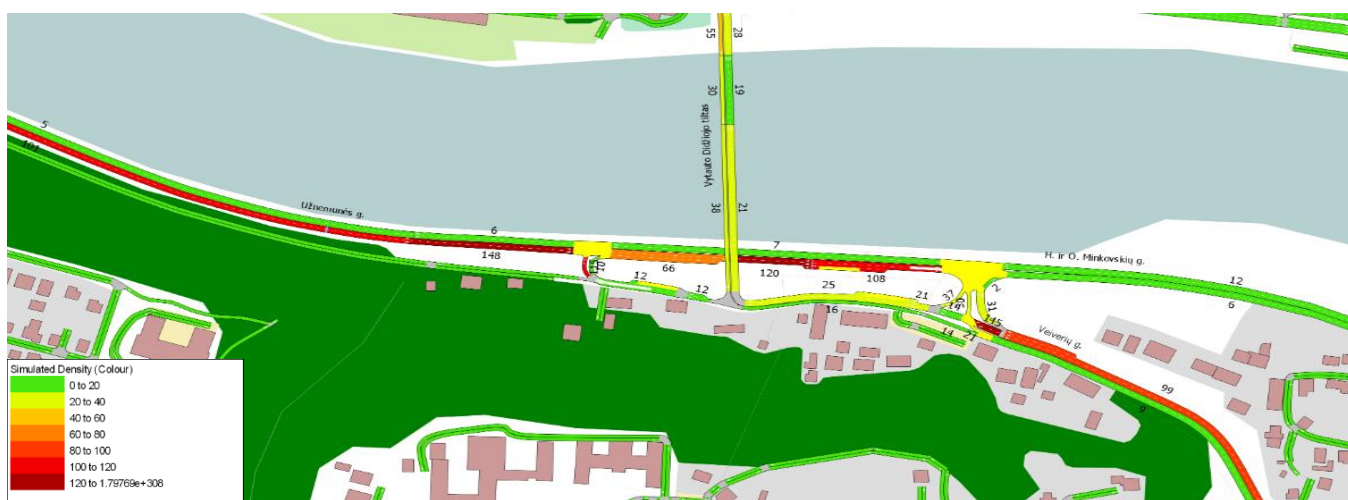
P – 3, scenarijus Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelio rezultatų kartogramos



39 pav. Gaišties laikas rytinio piko metu, s/km



40 pav. Gaišties laikas vakarinio piko metu, s/km



41 pav. Transporto priemonių tankis rytinio piko metu, aut. sk./km

P – 4, scenarijus Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelio rezultatų kartogramos



42 pav. Transporto priemonių tankis vakarinio piko metu, aut. sk./km

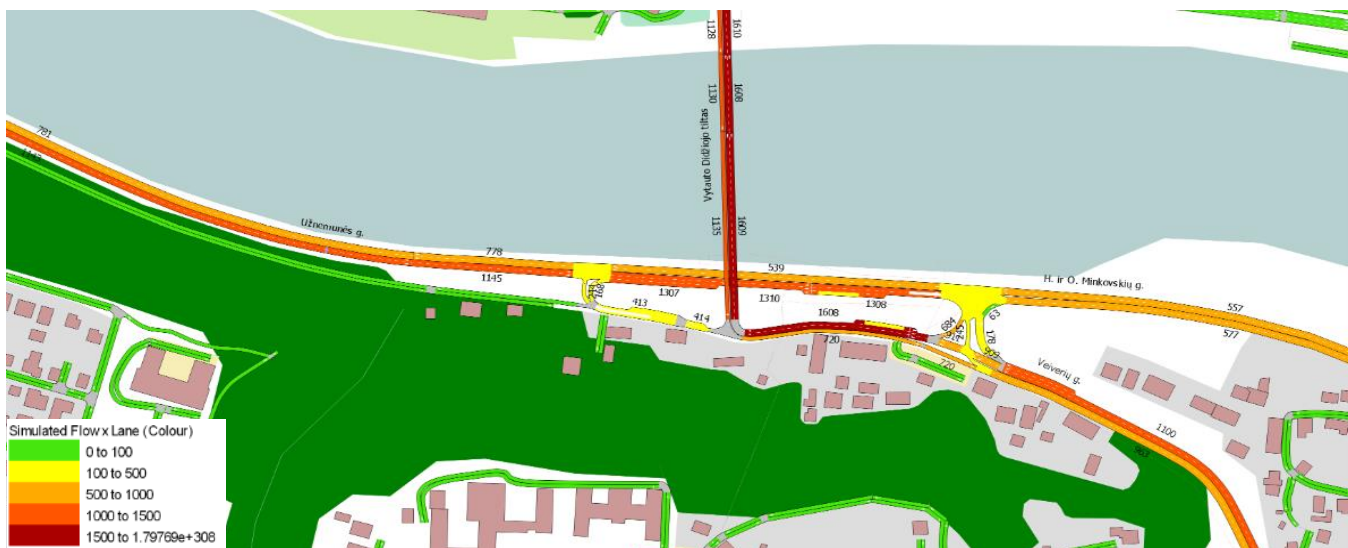


43 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis rytinio piko metu, km/h



44 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis vakarinio piko metu, km/h

P – 5, scenarijus Nr. 1 – esamos infrastruktūros modelio rezultatų kartogramos



45 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas rytinio piko metu, aut. sk./val



46 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas vakarinio piko metu, aut. sk./val

P – 6, scenarijus Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelio rezultatų kartogramos



47 pav. Gaišties laikas rytinio piko metu, s/km



48 pav. Gaišties laikas vakarinio piko metu, s/km

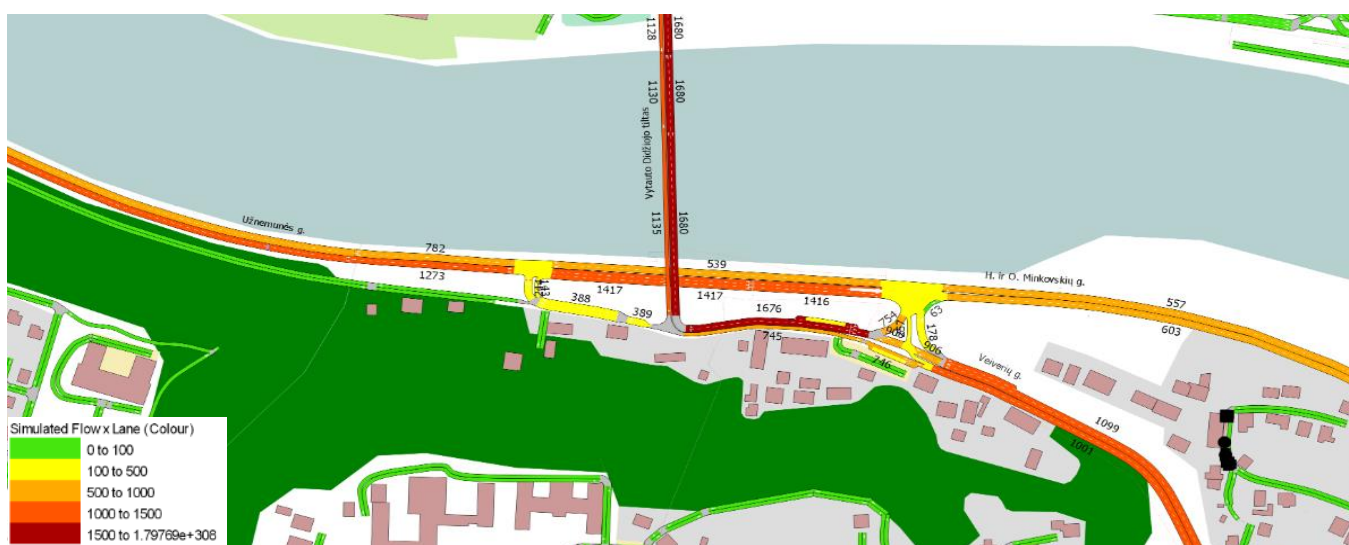


49 pav. Transporto priemonių tankis rytinio piko metu, aut. sk./km

P – 7, scenarijus Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelio rezultatų kartogramos



50 pav. Transporto priemonių tankis vakarinio piko metu, aut. sk./km



51 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas rytinio piko metu, aut. sk./val



52 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas vakarinio piko metu, aut. sk./val

P – 8, scenarijus Nr. 2 – pakeistos infrastruktūros modelio rezultatų kartogramos



53 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis rytinio piko metu, km/h



54 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis vakarinio piko metu, km/h

P – 9, scenarijus Nr. 3 – pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos modelio rezultatų kartogramos



55 pav. Gaišties laikas rytinio piko metu, s/km



56 pav. Gaišties laikas vakarinio piko metu, s/km



57 pav. Transporto priemonių tankis rytinio piko metu, aut. sk./km

P – 10, scenarijus Nr. 3 – pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos modelio rezultatų kartogramos



58 pav. Transporto priemonių tankis vakarinio piko metu, aut. sk./km



59 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis rytinio piko metu, km/h



60 pav. Transporto priemonių vidutinis greitis vakarinio piko metu, km/h

P – 11, scenarijus Nr. 3 – pakeistos infrastruktūros ir eismo organizavimo tvarkos modelio rezultatų kartogramos



61 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas rytinio piko metu, aut. sk./val



62 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas vakarinio piko metu, aut. sk./val