



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas

Valentinas Leskauskas
Projekto autorius

Prof. Dr. Artūras Keršys
Vadovas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą tyrimas ir modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Valentinas Leskauskas

Projekto autorius

Prof. Dr. Artūras Keršys

Vadovas

Asist. Dr. Janina Jablonskytė

Recenzentė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Valentinas Leskauskas

Naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą tyrimas ir modeliavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektualinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Valentinas Leskauskas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Išduota studentui (-ei) – Valentinas Leskauskas

1. Projekto tema

Naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą tyrimas ir modeliavimas

(Lietuvių kalba)

Investigation and Modeling of the Integration of the New Link into the Kaunas City Street Network

(Anglų kalba)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: Ištirti naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą įtaką susisiekimo efektyvumui.

Uždaviniai:

- Apžvelgti eismo organizavimo ir valdymo aspektus bei išanalizuoti eismo intensyvumą nagrinėjamame Kauno miesto gatvių tinklo segmente nesant Kėdainių g. tilto.
- Atlikti transporto srautų tiriamoje teritorijoje (Raudondvario pl., Jurbarko g., P. Vileišio tiltas, Šv. Gertrūdos g., Birštono g., Karaliaus Mindaugo pr., Vytauto Didžiojo tiltas, Užnemunės g., Veiverių g., H. ir O. Minkovskių g.) tyrimą.
- Išanalizuoti naujos jungties integravimo ir eismo organizavimo/valdymo scenarijus.
- Atlikti transporto srautų naujoje jungtyje modeliavimą ir pasiūlyti efektyviausią Kėdainių g. tilto integravimo į gatvių tinklą sprendimą.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Projektas turi atitikti keliamus reikalavimus.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Netaikoma.

Projekto autorius Valentinas Leskauskas 2024-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Projekto vadovas Prof. Artūras Keršys 2024-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Krypties studijų programų vadovas Prof. Artūras Keršys 2024-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Leskauskas, Valentinas. Naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą tyrimas ir modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Prof. 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: Nauja jungtis, integravimas, spūsčių susidarymas, modeliavimas, eismo srautas, eismo srautų pasiskirstymas.

Kaunas, 2024. 61 p.

Santrauka

Magistro baigiamojo darbo tikslas - ištirti naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą įtaką susisiekimo efektyvumui. Tyrimo objektu pasirinktas Kėdainių g. tiltas, sujungiantis Užnemunės g ir Brastos g. Darbe įgyvendinti tyrimo uždaviniai: apžvelgti eismo organizavimo ir valdymo aspektai, bei išanalizuotas eismo intensyvumas nagrinėjamame Kauno miesto gatvių tinklo segmente nesant Kėdainių g. tilto, atlikti transporto srautų tiriamoje teritorijoje (Raudondvario pl., Jurbarko g., P. Vileišio tiltas, Šv. Gertrūdos g., Birštono g., Karaliaus Mindaugo pr., Vytauto Didžiojo tiltas, Užnemunės g., Veiverių g., H. ir O. Minkovskių g.) tyrimai, išanalizuoti naujos jungties integravimo ir eismo organizavimo/valdymo scenarijai, pasitelkiant programinę įrangą PTV Vissim atliktas transporto srautų naujoje jungtyje modeliavimas.

Transporto srautų naujoje jungtyje modeliavimo išdavoje Kėdainių g. tilto jungimas su Užnemunės g. dviejų lygių sankryža įvertintas kaip efektyvesnis ir eismo saugumą bei mažą gaištį įveikiant sankryžą užtikrinantis sprendimas nei turbo žiedinė sankryža. Šio integravimo scenarijaus racionalumas darbe grindžiamas modeliavimo esant nustatytiems ir prognozuojamiems transporto srautams metu nustatytais kriterijais - vidutiniu maršrutui įveikti užtrunkamu laiku, bendru vidutiniu srauto greičiu, susidarantių spūsčių ilgiais, vidutinėmis prastovomis prie įvažiavimų į sankryžas, eismo sankryžose kokybės lygį (LOS).

Leskauskas, Valentinas. Investigation and Modeling of the Integration of the New Link into the Kaunas City Street Network. Masters's Final Degree Project / supervisor Prof. Dr. Artūras Keršys; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: New link, integration, congestion, modeling, traffic flow, distribution of traffic flows

Kaunas, 2024. 61 pages

Summary

The aim of the master's final project – investigate the impact of integrating new link into the Kaunas city street network efficiency. The object of research is chosen Kėdainiu str. bridge who is connecting Užnemunės str. and Brastos str. In this project realized research tasks: reviewing traffic organization and management aspects, analysing traffic intensity in the investigated segment of Kaunas city street network without the Kėdainių Street bridge, was made traffic flow investigation in the area under investigation (Raudondvario Street, Jurbarko Street, P. Vileišis Bridge, Šv. Gertrūdos Street, Birštono Street, Karaliaus Mindaugo Avenue, Vytautas Didysis Bridge, Užnemunės Street, Veiverių Street, H. and O. Minkovskiai Streets), analyzed scenarios of integrated new link and traffic organization/management scenarios, using PTV Vissim software was made traffic flow modeling in the new junction.

In the traffic flow modeling output, the connection of Kėdainių Street bridge with the two-level intersection of Užnemunės Street was evaluated as more effective and ensuring traffic safety, as well as minimizing delay in crossing the intersection, compared to a turbo roundabout solution. The rationale for this integration scenario is based on modeling under defined and projected traffic flows, using criteria such as average time to traverse the route, overall average traffic speed, lengths of resulting congestion, average delays at intersection approaches, and level of service (LOS) at intersections.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Įvadas.....	9
1. Literatūros apžvalga	10
1.1. Eismo spūstys mieste.....	10
1.1.1. Eismo spūsčių formavimasis ir susidarymas.....	10
1.1.2. Eismo spūsčių mažinimo sprendimai	11
1.2. Transporto eismo intensyvumas	13
1.2.1. Transporto eismo intensyvumo nustatymo metodai.....	13
1.2.2. Transporto srautų stebėjimo priemonės.....	14
1.3. Transporto srautu modeliavimas	18
1.3.1. Transporto srautų modeliai.....	19
1.4. Kelių pralaidumo reglamentas (HCM).....	20
1.5. Transporto organizavimas ir susisiekimo sistema mieste	21
1.5.1. Gatvių klasifikacija.....	21
1.5.2. Vietinės reikšmės gatvių pagrindiniai techniniai parametrai	23
1.5.3. Sankryžos ir transporto mazgai	24
1.6. Viešasis transportas mieste.....	25
2. Transporto srautų nagrinėjamoje teritorijoje tyrimas.....	27
2.1. Tiriamos teritorijos apžvalga ir naujoji jungtis (Kėdainių g. tiltas)	27
2.2. Transporto srautų gatvių tinklo dalyje Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas tyrimai.....	28
2.2.1. Transporto srautų tyrimo metodika	28
2.2.2. Transporto srautų tyrimų rezultatai ir jų analizė	30
3. Eismo naujoje gatvių tinklo jungtyje modeliavimas	43
3.1. Eismo modeliavimo lygmenys ir naudojama programinė įranga.....	43
3.2. Naujos gatvių tinklo jungties (Kėdainių g. tilto) modelio sudarymas.....	45
3.3. Kėdainių g. tilto integravimo į gatvių tinklą scenarijai ir modeliavimo rezultatų analizė	47
3.4. Modelių patikimumo tikrinimas	54
Išvados	57
Literatūros sąrašas	59

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Savaitės dienų rekomendacija eismo intensyvumui matuoti[2]	13
2 lentelė. Automobilių kelių klasifikacija pagal kategorijas ir reikšmes[5].....	22
3 lentelė. gatvių pagrindiniai techniniai parametrai[6]	23
4 lentelė. sankryžų ir sankirtų parinkimo metodika[6]	24
5 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas (rytinis pikas)	31
6 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas (rytinis pikas)	31
7 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi H. ir O. Minkovskių g.– Vytauto Didžiojo tiltas (rytinis pikas).....	32
8 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas (vakarinis pikas)	33
9 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas (vakarinis pikas)	33
10 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi H. ir O. Minkovskių g.– Vytauto Didžiojo tiltas (vakarinis pikas)	34
11 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Užnemunės g. (rytinis pikas)	35
12 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – H. ir O. Minkovskių g. (rytinis pikas).....	35
13 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g. (rytinis pikas)	36
14 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Užnemunės g. (vakarinis pikas)	37
15 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – H. ir O. Minkovskių g. (vakarinis pikas)	37
16 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g. (vakarinis pikas)	38
17 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi P. Vileišio tiltas – Šauklių g. (rytinis pikas)	39
18 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Šauklių g. – P. Vileišio tiltas (rytinis pikas)	39
19 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi P. Vileišio tiltas – Šauklių g. (vakarinis pikas)..	40
20 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Šauklių g. – P. Vileišio tiltas (vakarinis pikas)..	40
21 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimis P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas ir Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas.....	42
22 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymo numatytais kryptimis modelyje duomenys maršrutus	46

Paveikslų sąrašas

1 pav. Indukcinės kilpos detektoriaus principinė schema[25].....	16
2 pav. Peumatinių vamzdelių eismo srauto matavimo sistema[26].....	16
3 pav. Radarinis jutiklis[27].....	17
4 pav. Magnetinio lauko jutiklis[28].....	17
5 pav. Automatinio numerių atpažinimo sistemos veikimo schema[29].....	18
6 pav. Neužpildyto srauto charakteristikos[8]	19
7 pav. Tolimesnio automobilio modelis[35]	20
8 pav. Žiedinės sankryžos[6]	25
9 pav. Naujos gatvių tinklo jungties – Kėdainių g. tilto vizualizacija[9].....	27
10 pav. Tyrimo veiklų seka.....	28
11 pav. Esamas ir potencialus (integravus Kėdainių g. tiltą) kelionės maršrutas (atitinkamai pažymėti žalia ir raudona spalva).....	29
12 pav. Transporto srautų stebėjimo postai	30
13 pav. Poste Nr.1 fiksuojamų transporto srautų schema	30
14 pav. Poste Nr.2 fiksuojamų transporto srautų schema	34
15 pav. Poste Nr.3 fiksuojamų transporto srautų schema	38
16 pav. Poste Nr.4 fiksuojamų transporto srautų schema	41
17 pav. Poste Nr.5 fiksuojamų transporto srautų schema	41
18 pav. Eismo modeliavimo lygmenys[27]	43
19 pav. Programinės įrangos PTV Vissim veikimo algoritmas[8]	44
20 pav. 1-asis modeliavimo scenarijus	45
21 pav. 2-asis modeliavimo scenarijus	45
22 pav. Vidutinis maršrutui įveikti užtrunkamas laikas esant nustatytiems transporto srautams.....	47
23 pav. Vidutinis srauto greitis esant nustatytiems transporto srautams	48
24 pav. Spūsties formavimasis vakarinio piko metu ties įvažiavimu į turbo žiedinę sankryžą Užnemunės g.	48
25 pav. Susidarančių spūsčių didžiausi ilgiai esant nustatytiems transporto srautams.....	49
26 pav. Vidutinis prastovos laikas esant nustatytiems transporto srautams	50
27 pav. Kokybės lygių vertinimo lentelė[31].....	50
28 pav. Eimo sankryžose kokybės lygiai, 1-asis scenarijus.....	51
29 pav. Eimo sankryžose kokybės lygiai, 2-asis scenarijus.....	51
30 pav. Vidutinis maršrutui įveikti užtrunkamas laikas esant nustatytiems ir prognozuojamiems srautams.....	52
31 pav. Susidarančių spūsčių didžiausi ilgiai esant prognozuojamiems transporto srautams	52
32 pav. Vidutinis prastovos laikas esant prognozuojamiems transporto srautams	53
33 pav. Eismo sankryžose kokybės lygiai esant prognozuojamiems eismo srautams.....	53
34 pav. Pirmo scenarijaus, rytinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama.....	54
35 pav. Pirmo scenarijaus, vakarinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama... 54	54
36 pav. Antro scenarijaus, rytinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama	55
37 pav. Antro scenarijaus, vakarinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama... 55	55
38 pav. Pirmo scenarijaus, rytinio piko modeliavimo su padidintais eismo srautais, fundamentalioji patikimumo diagrama	55
39 pav. Pirmo scenarijaus, vakarinio piko modeliavimo su padidintais eismo srautais, fundamentalioji patikimumo diagrama.....	56

Įvadas

Eismo spūstys – su šiuo reiškiniu dažnai susiduria kiekvienas kelių eismo dalyvis mieste, keliaudamas į darbą ar iš jo, nesvarbu ar jis keliauja su viešuoju transportu, ar nuosavu. Susidariusios transporto spūstys ne tik lemia laiko praradimą, įveikiant važiuojamą maršrutą, bet ir prisideda prie oro taršos didėjimo. Didėjanti oro tarša gali nulemti ne tik klimato atšilimą, bet ir pakenkti žmonių sveikatai. Todėl šis reiškinys paliečia ne tik motorinius transporto dalyvius, bet ir tuos, kurie yra pasirinkę keliauti nemotorinėmis transporto priemonėmis. Matomos pagrindinės eismo spūsčių susidarymo priežastys:

- Prieš kelis dešimtmečius suprojektuotos miestų transporto sistemos, dėl didėjančio miesto ir miesto rajono gyventojų tankumo, nesugeba užtikrinti tinkamo pralaidumo.
- Dėl netinkamos miesto transporto sistemos tranzitinis eismas maišosi su miesto transportu.
- Didėjantis automobilių skaičius mieste.
- Viešojo transporto sistemos sunkiai prisitaiko prie esamų miesto gyventojų poreikių.

Atsižvelgiant į transporto sistemas, Lietuvos didžiuosiuose miestuose galima pastebėti, kad viena iš didžiausių problemų yra tranzitinio eismo judėjimas per miesto centrą. Šią problemą iššaukia vis didėjantis gyventojų skaičius miestų rajonuose, vienas iš tokių miestų yra Kaunas. Dėl laiku nepriimtų sprendimų eismo sistemoje yra susiduriama su didžiulėmis eismo spūstimis piko metu, miesto centre. Kaip išspręsti šią kylančią eismo transporto problemą gali būti keli būdai: tai esamos sistemos modernizacija, naujų jungčių ar aplinkkelių diegimas, modernių sistemų pritaikymas, viešojo transporto patrauklumo kėlimas ar įvairių apribojimų įvykdymas. Nors variantų kaip šią problemą išspręsti yra daug, bet norint rasti efektyvų sprendimą, prieš atliekant eismo sistemos pakeitimus, būtina visuomet yra būtina išanalizuoti esamos sistemos būklę bei nustatyti, dėl kokių priežasčių būtent formuojasi eismo spūstys ir tik tuomet kai bus atlikta išsami analizė Pradėti ieškoti tinkamo sprendimo sprendimą problemai panaikinti. Efektyvūs sprendimai galintys pagerinti situaciją eismo sistemoje dažniausiai reikalauja didelių finansų, užtrunka ilgai, sukelia laikinus nepatogumus miesto gyventojams, bet tolimoje ateityje tinkamai parinkti sprendimai, ne tik pagerina susisiekimą mieste, bet ir prisideda prie mažesnio oro užterštumo, kas kelia viso miesto gyventojų gyvenimo kokybę

Darbo tikslas:

Ištirti naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą įtaką susisiekimo efektyvumui.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti eismo organizavimo ir valdymo aspektus bei išanalizuoti eismo intensyvumą nagrinėjamame Kauno miesto gatvių tinklo segmente nesant Kėdainių g. tilto.
2. Atlikti transporto srautų tiriamoje teritorijoje (Raudondvario pl., Jurbarko g., P. Vileišio tiltas, Šv. Gertrūdos g., Birštono g., Karaliaus Mindaugo pr., Vytauto Didžiojo tiltas, Užnemunės g., Veiverių g., H. ir O. Minkovskių g.) tyrimą.
3. Išanalizuoti naujos jungties integravimo ir eismo organizavimo/valdymo scenarijus.
4. Atlikti transporto srautų naujoje jungtyje modeliavimą ir pasiūlyti efektyviausią Kėdainių g. tilto integravimo į gatvių tinklą sprendimą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Eismo spūstys mieste

Gerėjant pragyvenimo lygiu, didėjant gyventojų skaičiui miestuose, žmonių būdo pasikeitimai, didėjantis privačių automobilių patogumas ir prieinamumas, viešojo transporto nesugebėjimas užtikrinti gyventojų lūkesčius per paskutinius kelis dešimtmečius sukėlė didelį transporto augimą miestuose. Tai iššaukė stiprų eismo srautų augimą. Didėjantys eismo srautai, lauku nepriimti eismo infrastruktūros atnaujinimo sprendimai ir viešojo transporto nepatrauklumas ir nesugebėjimas prisitaikyti iššaukė vis didėjančias eismo spūstis[10].

1.1.1. Eismo spūsčių formavimasis ir susidarymas

Eismo spūsčių susidarymą gali lemti ne viena priežastis, spūstys gali susidaryti ir dėl eisme dalyvaujančių transporto priemonių veiksmų ar pašalinių veiksmų, tiesiogiai nesusijusių su transporto priemonėmis. Eismo spūstys klasifikuojamos į dvi rūšis: pasikartojančias ir nepasikartojančias. Pasikartojančios – tai spūstys, susidarančios dėl eismo sistemos negalėjimo užtikrinti reikiamo eismo srauto pralaidumo, nepasikartojančios – laikinos spūstys susidarančios dėl įvairių laikinų nenuspėjamų priežasčių kurių neįmanoma kontroliuoti, tokių kaip avarijos ar oro sąlygos. Šias dvi eismo spūsčių rūšis galima išskaidyti į smulkesnes dalis ir klasifikuoti į keturias kategorijas pagal veiksnys, dėl kurių jos susidaro [11]:

- Aplinkos
- Mechaninis
- Žmogaus
- Infrastruktūros

Pirmieji trys veiksniai t.y aplinkos, mechaninis ir žmogaus, daro įtaką nenumatytų spūsčių susidarymui. O Infrastruktūros veiksnys yra priskiriamas numatytų spūsčių susidarymo rūšiai[13].

Aplinkos veiksnys – tai spūsčių susidarymo priežastis dėl aplinkos sąlygų, tokių kaip lietus, sniegas, stiprus vėjas ar audra. Remiantis amerikiečių mokslininkų Dr. Jean Andrey ir Daniel Unrau atliktu tyrimu, lyjant ar sningant eismo įvykių kiekis padidėja iki 50 proc.[12]. Blogos oro sąlygos ne tik gali daryti įtaką didesniai eismo įvykių skaičiui bet ir sulėtinti eismo dalyvių važiavimo tempą. Net menkiausias lietus gali turėti įtakos eismo srauto greičiui, o sumažėjęs greitis, sumažina eismo pralaidumą ir taip vykstat grandininei reakcijai gali susiformuoti eismo spūstis. Apskritai lyginant visus spūsčių susidarymo veiksnys, blogos oro sąlygos gali sudaryti iki 15proc. visų nepasikartojančių eismo spūsčių[13].

Mechaninis veiksnys – tai priežastis, kuomet eismo sistemoje susidaro spūstys dėl transporto priemonių gėdimų. Šiam veiksniai įtaką gali daryti transporto priemonės vairuotojas, kai naudoja netvarkingą transporto priemonę. Taip pat šį veiksni gali įtakoti ir išorinės priežastys tokios kaip pasitaikančios kliūtys kelyje ar netvarkinga kelio danga[13].

Žmogaus veiksnys – Tai yra dažniausiai pasitaikantis veiksnys susijęs su nepasikartojančių eismo spūsčių susidarymu. Vairuotojai, kurie eisme dalyvauja paveikti: psichotropinių medžiagų, tokių kaip alkoholis ar narkotinės medžiagos, nestabilios emocinės būklės, patiriamo didelio nuovargio, nepaisant jų turimos patirties gali padaryti klaidų, kurios darytų įtaką avarinėms situacijoms,

avarijoms, eismo blokavimui ir panašiai. Atlikti tokie veiksmai ypač mietuose esant piko valdomis gali stipriai sumažinti gatvių pralaidumą ir formuoti eismo spūstis.

Infrastruktūros veiksnys – Tai pasikartojančių spūsčių susidarymo veiksnys. Netinkamai suprojektuota, laiku netvarkoma, neteisingai kontroliuojama infrastruktūra ar jos elementas gali turėti didelę įtaką eismo spūsčių susidarymui. Taip pat į šį veiksnį įtraukiami eismo sistemos elementų atnaujinimo metu susidarantys trukdžiai[13].

Nagrinėjant situaciją tiriamojoje teritorijoje, galima pastebėti, kad didžiąją dalį susidariusiu spūsčių galima priskirti prie pasikartojančių spūsčių kategorijos ir pagrindinis veiksnys, kuris lemia spūstis yra infrastruktūros, kadangi esama infrastruktūra nesugeba užtikrinti tinkamo pralaidumo.

1.1.2. Eismo spūsčių mažinimo sprendimai

Norint sumažinti eismo spūsčių kiekį ir dydį reikia atlikti esamos sistemos modernizaciją arba pertvarkymą. Teoriškai paprasčiausias ir efektyviausias eismo spūsčių mažino sprendimas yra eismo sistemos perdarymas, atsižvelgiant į šiuo metu esančius ir numatomus ateityje, reikiamus eismo priemonių pralaidumus. Bet tai nėra taip paprasta įgyventi, dėl miestų apstatymo, saugomų ir privačių teritorijų, finansų. Dažniausiai didžiausios eismo spūstis susidaro miesto centrinėse dalyse, kurias pilnai perdaryti fiziškai neįmanoma. Todėl siekiant sumažinti eismo spūstis yra diegiamos įvairios sistemos, kurios senoje infrastruktūroje gali padėti sumažinti spūstis išnaudojant maksimaliai esamų elementų potencialą. Remiantis įvairiomis, gerosiomis praktikomis yra siūlomi tokie efektyvus spūsčių mažinimo sprendimai[15]:

- Intelektualios eismo valdymo sistemos diegimas
- Automobilių statymo apribojimai prie judrių sankryžų
- Alternatyvių maršrutų naudojimo skatinimas
- Viešojo transporto modernizavimas
- „Park and Ride“ sistemos diegimas
- Skatinti vieno automobilio dalijimasis „Ride – sharing“

Intelektuali eismo valdymo sistema – Tai kompleksinė eismo valdymo sistema susidedanti iš atskirų sistemų. Pargininės jos dalys yra vaizdo kameros ir joms reikalingos sistemos, duomenų perdavimui reikalingos sistemos, perduotų duomenų apdorojimo įrankiai ir sistemos reikalingos automatiniam valdymui. Naudojant šią sistemą galima pasiekti geresnį eismo srauto pasiskirstymą, kas gali lemti sumažėjusį eismo įvykių kiekį, bei prisidėti prie oro taršos mažinimo. Šios sistemos vienas iš didžiausių privalumų yra galimybė valdyti eismą realiu laiku. Naudojant tokią sistemą yra reguliuojamas šviesoforų ir kitų eismo valdymo elementų veikimo laikais. Tai yra didelis privalumas, kad atsižvelgiant į reikimą situaciją galima parinkti reikiamus parametrus realiu metu. Taip yra gaunamas maksimalus gatvių tinklo efektyvumas. Šios sistemos veikimo principas: Pagrindinė šios sistemos sudedamoji dalis yra transporto eismo intensyvumo duomenų rinkimo mechanizmas. Surinkti duomenys yra naudojami vaizdo stebėjimo sistemai, kuri geba apdoroti vaizdo signalą. Vaizdo stebėjimo sistemos pagrindinės funkcijos yra stebėti eismo intensyvumą, įvertinti transporto srautus tam tikruose taškuose, ieškoti transporto priemonės. Taip pat šia sistema galima panaudoti kaip saugumo elementą mieste apsaugantį nuo vandalizmo, bei vagysčių. Užfiksuotas vaizdas vaizdo kameromis yra perduodamas į centrinį stebėjimo centrą kur operatorius matydamas realią situaciją eisme gali koreguoti eismą valdančių sistemų parametrus, taip didindamas eismo pralaidumą realiu laiku. Taip pat į šią sistemą galima integruoti moderniausias technologijas, kurios naudoja dirbtinį

intelektą ir robotizuotus procesus. Integravus šias technologijas srautų valdymas gali vykti be žmogaus įsikišimo, taip yra optimizuojama ir dar greičiau reaguojama į realiai vykstančią situaciją eisme[7,14,22].

Automobilių statymo apribojimai prie judrių sankryžų – transporto priemonės, kurios nori įvažiuoti į aikšteles, esančias netoli didelį eismo intensyvumą turinčių transporto elementų ar iš jų išvažiuoti, gali sukelti eismo blokavimus. Apribojus automobilių statymą aikštelėse, išsidėsčiusiose netoli judrių sankryžų galima sumažinti spūsčių susidarymą. Automobilių statymo aikšteles rekomenduojama perkelti į mažiau judrias vietas. Jei tokios galimybės nėra ir yra poreikis būtent toje vietoje turėti stovėjimo aikštelę, tuomet reikėtų jas apmokestinti, taip būtų sumažinamas pasiekiamumas ir pasiekiamas mažesnis eismo trukdymas[15].

Alternatyvių maršrutų naudojimo skatinimas – siekiant atlaisvinti miesto centrą nuo didelių spūsčių, miesto valdymo institucijos turi skatinti ir sudaryti galimybes vairuotojams pasirinkti alternatyvius maršrutus. Išskirstytas eismo srautas gali stipriai prisidėti prie sklandesnio eismo judėjimo centrinėse miesto dalyse.

Viešojo transporto modernizavimas – Modernus, kokybiškas ir patrauklus viešasis transportas gali būti stiprus spūsčių mažinimo sprendimas. Vienu autobusu galima pervežti keliasdešimt automobilio keleivių. Tad tai ne tik sumažintų spūstis bet ir prisidėtų prie mažesnės į aplinką išskiriamos taršos.

„Park and Ride“ sistema – tai integruoto transporto forma, kurioje nuosavo transporto turėtojas palieka savo transporto priemonę specialioje aikštelėje ir tęsia kelionę link miesto centro viešuoju transportu. Dažniausiai šios aikštelės būna išsidėsčiusios už miesto centro. Paprastai vartotojas, kuris naudoja šią sistemą susimoką už transporto priemonės stovėjimą ir už viešąjį transportą nemoką, taip pat galimas ir atvirkštinis variantas. Paprastai iš šios aikštelės kursuoja specialus viešasis transportas visa dieną. Aktyviai naudojant šią sistemą galima ne tik sumažinti eismo spūstis, bet ir prisidėti prie klimato kaitos mažinimo[16].

Vieno automobilio dalijimasis „Ride – sharing“ – Tai šiuolaikinio keliavimo sistema mieste, kai atsitiktiniai vartotojai dalindamiesi vienu automobiliu keliauja į pasirinktus miesto taškus. Šios sistemos išskirtinumas yra tas, kad transporto priemonės savininkas gauna užmokestį tik už sunaudotus degalus, papildomo darbo užmokesčio jis negauna. Tad tokiu principu paimtam keleiviui kelionė kainuoja tiek pat kiek jis važiuotu nuosavu automobiliu, o jei automobilyje yra užpildomos visos keleivių vietos, kelionės kaina gaunasi net mažesnė, nei važiuoti vienam. Taip efektyviai išnaudojamas nuosavas transportas gali sumažinti spūstis iki 50 proc. Taip pat vienas iš sistemos privalumų yra tai, kad sistema funkcionuoja be jokių papildomų, brangių prietaisų, kuriuos reikia integruoti į automobilį, nes visa komunikacija ir aptarnavimas vyksta per mobilųjį telefoną ir jame instaliuotą specialią programėlę[17,18].

Žvelgiant į šią tyrime nagrinėjamą gatvių tinklą, siekiant sumažinti eismo spūstis efektyviausias būdas yra infrastruktūros atnaujinimas į esamą sistemą diegiant naują jungtį. Tačiau, kaip papildomos priemonės galinčios pasiekti dar geresnių rezultatų galėtų būti intelektualių sistemų plėtojimas, „park and ride“ sistemos diegimas ir siekis įdiegti vieno automobilio dalijimosi sistemą, verslo partnerių pritraukimas.

1.2. Transporto eismo intensyvumas

Prieš taikant sprendimus, kurie mažintų eismo sistemoje susidarančias spūstis, svarbu išsiaiškinti esamą situaciją. Vienas iš pagrindinių rodiklių nusakančių esamos sistemos būklę ir gebėjimą efektyviai užtikrinti tinkamą pralaidumą yra transporto eismo intensyvumas. Šis rodiklis nusako transporto priemonių judėjimo intensyvumą, tam tikroje sistemos dalyje, tam tikru laiko momentu.

1.2.1. Transporto eismo intensyvumo nustatymo metodai

Transporto eismo intensyvumo tyrimai yra atliekami norint nustatyti kritinius srauto laiko periodus, transporto priemonių pasiskirstymą bei klasifikacija tam tikrose atkarpose. Atsižvelgiant į sprendžiamas problemas transporto eismo intensyvumas pasirinktoje atkarpoje gali būti skaičiuojamas valandos, paros, savaitės, mėnesio, metų laikotarpiu[1]. Kadangi skaičiuoti eismo intensyvumą ilgu periodu užtrunka ilgai ir reikalauja daug resursų dažniausiai užtenka atlikti trumpalaikius eismo intensyvumo matavimus ir remiantis jais nustatyti tiriamos atkarpos vidutinį metinį paros eismo intensyvumą (VMPEI) ir vidutinę metinę paros eismo sudėtį. Tam, kad užtikrinti matavimų patikimumą rekomenduojama remtis šiais metodiniais nurodymais[2].

„VMPEI“ nustatyti galima dvejais būdais, kuomet skaičiavimai yra atliekami ištisus metus arba kuomet yra skaičiuojama remiantis trumpalaikiais matavimais. Kai atliekami transporto priemonių skaičiavimai ištisus metus „VMPEI“ apskaičiuojami remiantis šia formule:

$$VMPEI = \frac{Aut.Sk}{365} \quad (1)$$

Norint apskaičiuoti „VMPEI“ remiantis trumpalaikiais eismo intensyvumo matavimais, reikia remtis metodiniais nurodymais. Kurie nusako, kad vidutinis metinis paros eismo intensyvumas nustatomas apskaičiuojant iš gautų trumpalaikių intensyvumo matavimo duomenų, paros eismo intensyvumo ir vidutinio savaitės paros eismo intensyvumo. Kuomet matavimai atliekami vieną kartą arba atliekami periodiškai bei vieno matavimo trukmė trunka neilgiau 12 val. rekomenduojama laikytis lentelėje 1 pateiktomis rekomendacijomis, kuriomis savaitėmis geriausia atlikti eismo intensyvumo matavimus [2].

1 lentelė. Savaitės dienų rekomendacija eismo intensyvumui matuoti[2]

Sezoniškumo koeficientas K_{SEZ}	Rekomenduojamos matavimo savaitės (savaitės kalendorinis numeris)
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

Taip pat atliekant matavimus reikia atsižvelgti į savaitės dieną, bei valanda, kuomet atliekamas trumpalaikis matavimas, iki 12val. trunkantis eismo intensyvumo matavimas. Rekomenduojama nuo pirmadienio iki ketvirtadienio, visų metų laikotarpį, matavimus atlikti nuo 8val. ryto iki 18val vakaro. Kuomet matavimai atliekami penktadienį rekomenduojama visų metų laikotarpį matavimus atlikti nuo 12val iki 17val. vakaro. Atliekant matavimus savaitgalį rekomenduojama šeštadieniais, visų metų

laikotarpį, matavimus atlikti nuo 10val ryto iki 13val. O sekmadieniais, nuo balandžio 1 iki rugsėjo 30d., matavimus atlikti nuo 13val iki 18val vakaro, ir nuo spalio 1 iki kovo 31d atlikti nuo 11val iki 18val. Taip pat reikia atsižvelgti į kalendorines šventines dienas, tokiomis dienomis matavimų atlikti – negalima. Laikantis šių rekomendacijų galima išvengti netikslumų matavimuose.[2]

Atlikus eismo intensyvumo matavimus atliekami matematiniai skaičiavimai remiantis šiomis formulėmis[2]:

Pirmiausiai yra apskaičiuojamas paros eismo intensyvumas (PEI):

$$I_p = N * K_p, \quad (2)$$

Čia : I_p – Matavimo eismo paros intensyvumas (aut./p)

N – Per matavimo laikotarpį pravažiavusių transporto priemonių skaičius (aut.)

K_p – Matavimo paros eismo intensyvumo koeficientas

Toliau yra skaičiuojamas vidutinis savaitės eismo intensyvumas (VSPEI):

Kuomet eismo intensyvumas buvo matuojamas visą savaitę nepertraukiamai:

$$I_S = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 I_{Pi} \quad (3)$$

Čia: I_{Pi} – Savaitės paros eismo intensyvumas (aut./p)

I_S – VSPEI (aut./p)

Kuomet eismo intensyvumo matavimas truko trumpiau nei savaitę, vidutinio savaitės paros intensyvumas yra skaičiuojamas taip:

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

Čia: I_{Pi} – matavimo dienos paros eismo intensyvumas

K_{Si} – Savaitės paros eismo intensyvumo koeficientas

n – Matavimo dienų skaičius

Atlikus šiuos skaičiavimus galime skaičiuoti vidutinį metinį paros eismo intensyvumą (VMPEI):

$$I_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{Si} K_{Mi} \quad (5)$$

Čia: I_M – Vidutinis metinis eismo intensyvumas

I_{Si} – Matavimo savaitės, vidutinio savaitės paros eismo intensyvumas

K_{Mi} – Metų savaitės eismo intensyvumo koeficientas

n – Matavimų skaičius per metus

Atsižvelgiant į šias rekomendacijas šiam tyrimui reikalingi duomenys apie eismo srautus bus renkami antradienį ir ketvirtadienį, 15 ir 16 savaitė.

1.2.2. Transporto srautų stebėjimo priemonės

Tam, kad atlikti transporto intensyvumo skaičiavimus pirmiausia reikia atlikti transporto srautų tyrimą. Transporto srautų tyrimai - vienas iš pagrindinių būdų/priemonių nustatyti ir įvertinant, ar

esama transporto sistema užtikrina reikiamą transporto priemonių pralaidumą. Praktikoje taikomi dveji srautų tyrimai: nuolatiniai ir trumpalaikiai. Nuolatiniai – tai transporto srautų tyrimai, kuriuose duomenys skaičiuojami/kaupiami ištisus metus, t.y. dirbama nepertraukiamai ir duomenys yra renkami 365 dienas per metus. Trumpalaikiai – visi tyrimai, kurie matuojami mažiau, nei 365 dienas per metus. Trumpalaikių tyrimų duomenis galima koreguoti ir perskaičiuoti atsižvelgiant į nuolatinių postų duomenis. Dažnai tai tyrimai, kuriuose skaičiavimai atliekami kelias paras arba savaitę.

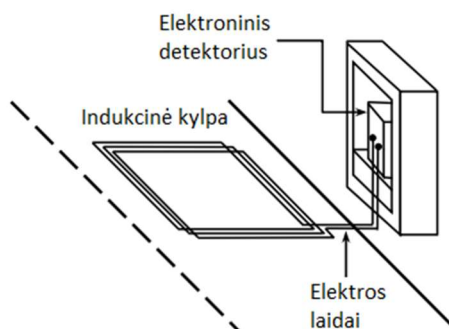
Atliekant transporto srautų tyrimus, surenkami faktiniai eismo srautų duomenys - tam galimas pasitelkimas trijų rūšių duomenų rinkimo metodų:

- Automatinis;
- Rankinis;
- Vaizdo medžiaga.

Automatinis duomenų rinkimas – tai duomenų rinkimas naudojant automatinę registravimo įrangą. Šis metodas naudojamas tiek nuolatinių tyrimu metu, tiek trumpalaikių. Šiuo metodu matuojami eismo srautai yra pasitelkiant įvairią automatinę tiesiogine ir netiesiogine srauto skaičiavimo įrangą[24]:

- Indukcinės kilpas
- Pneumo vamzdelių jutiklius
- Radarinius matuoklius
- Magnetinio lauko jutiklius
- Automatinio numerių atpažinimo sistema (ANPR)

Indukcinės kilpos: Tai jutiklis skirtas fiksuoti transporto priemonę pravažiuojančia per jį. Šis jutiklis naudoja žemos įtampos kintamą elektros srovę, kuri teka per suformuotą vielos ritę, įtemptą ant važiuojamosios kelio dalies. Dažniausiai šios ritės yra montuojamos viršutiniame asfalto sluoksnyje. Šis jutiklis veikia taip, kad elektros srovė tekanti per vielos rites sukuria elektrinį lauką virš jo, kuomet pravažiuoja laidininkas, t.y. transporto priemonė, yra sutrikdomas elektrinis laukas. Iš anksto suprogramuotas kompiuteris gauna signalą apie sutrikdymą ir jei jis atitinka nustatytus parametrus, fiksuoja šį signalą kaip transporto priemonę. Tokio jutiklio principinė schema pavaizduota (1 pav.) Šiuo jutiklių pagrindiniai plusai: labai patikima ir ilgai naudojama technologija, ši sistema gali skaičiuoti transporto greitį, srautą, atstumus tarp transporto priemonių bei klasifikuoti eismo dalyvius, tinka naudoti bet kokiomis oro sąlygomis, matuojant su šiais jutikliais yra užtikrinamas aukštas tikslumas. Tačiau, ši technologija turi ir minusų: norint sumontuoti šiuos jutiklius, yra privaloma sustabdyti eismą, o netinkamai ją įrengus, ši technologija gali prisidėti prie greitesnio kelio dangos dėvėjimosi, bei prarasti galimybę aptikti ašių skaičių, kiekvienai eismo juostai reikalingas atskiras jutiklių komplektas[3,23].



1 pav. Indukcinės kilpos detektoriaus principinė schema[25]

Pneumatinių vamzdelių jutikliai: Ši sistema dėl savo paprastos konstrukcijos yra labai populiari ir jau ilgą laiką naudojama trumpalaikiams matavimams. Ši jutiklių sistema susideda iš vieno arba dviejų guminių vamzdelių, vienas vamzdelio galas yra prijungiamas prie duomenis skaičiuojančio kompiuterio, o kitas yra laisvas ir aklinai uždengtas. Šios sistemos veikimo principas labai paprastas, guminis vamzdelis yra patiesiamas ant važiuojamosios dalies ir kuomet transporto priemonė pravažiuoja jį vamzdelyje suspaustas oras keliauja į kompiuterį, kuriame yra įtaisytas jungiklis, kuris įsijungia tuomet kai jį pasiekia oro srautas, ir taip yra fiksuojamas srauto vienetas. Galima išdėlioti kelis vamzdelius šalia vienas kito, tuomet yra gaunama galimybė fiksuoti transporto priemonių ašių skaičių. Ši sistema pavaizduota 2 pav. Šios technologijos pagrindiniai plusai: patikima, ilgą laiką naudojama technologija, gali skaičiuoti eismo srautą, ašių skaičių bei klasifikuoti transporto priemones, greitai įrengiama. Taip pat ši technologija turi ir minusų: norint sumontuoti jutiklius, net ir neilgam laikui, reikia sustabdyti eismą, blogai veikia esant intensyviai eismui, galimi duomenų iškraipymai, kai ant vamzdelio užvažiuoja vienu metu kelios transporto priemonės, matavimo laukas yra apribotas iki dviejų eismo juostų[3,23].



2 pav. Pneumatinių vamzdelių eismo srauto matavimo sistema[26]

Radariniai matuokliai: Šio tipo jutikliai veikia perduodami elektromagnetinę energiją keliu važiuojančio transporto link. Kuomet transporto priemonė pravažiuoja antenos skleidžiamo elektromagnetinį lauką, dalis energijos atsispindi nuo transporto priemonės. Ši atsispindėjusi energija patenka į jutiklio imtuvą, ir taip užfiksuojama transporto priemonė. Šie jutikliai veikia Doplerio principu, artėjant transporto priemonei prie jutiklio imtuvo signalo dažnis didėja, tolstant mažėja. Šios technologijos didžiausi privalumai yra patogumas montuoti ir išmontuoti, nes tai atliekant yra netrukdomas eismas, taip pat ji yra patikima ir jau ilgą laiką naudojama, gali skaičiuoti eismo srautą, ašių skaičių, nustatyti transporto priemonių greitį, klasifikuoti transporto priemones. Didžiausi minusai: šie jutikliai yra tinkami tik dviejų juostų keliui, gali skaičiuoti tik tose vietose, kuriose

vidutinis paros eismo intensyvumas iki 10000 transporto priemonių per parą, nesugeba aptikti prasilenkiančių transporto priemonių. Šis matuoklis pavaizduotas 3 pav.[3,23].



3 pav. Radarinis jutiklis[27]

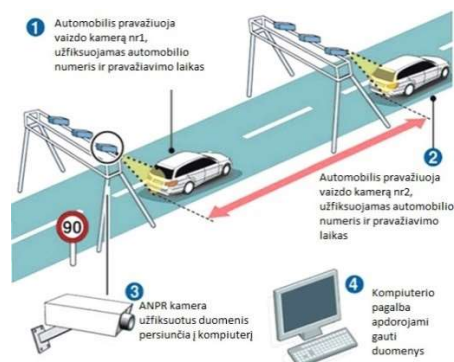
Magnetinio lauko jutikliai: Šie jutikliai fiksuoja transporto priemones magnetinių laukų pokyčių pagalba. Jutiklio detektorius yra montuojamas ant kelio paviršiaus. Pravažiavus transporto priemonei šį jutiklį pakeičia magnetinis laukas, šį pokytį užfiksavęs jutiklis skaito jį kaip transporto priemonę. Šio matavimo būdo plusai: oro sąlygos neturi įtakos matavimams, gali skaičiuoti transporto priemonių srautą, greitį bei jas klasifikuoti, puikiai veikia esant intensyviai eismui, atliekami matavimai yra tikslūs, galima matuoti didelį kiekį eismo juostų. Minusai: šie jutikliai nefiksuoja stovinčių ar labai lėtai judančių transporto priemonių, įrengiant jutiklius yra gadinama kelio danga Tokio tipo jutiklis pavaizduotas 4 pav.[3,23].



4 pav. Magnetinio lauko jutiklis[28]

Automatinė numerių atpažinimo sistema (ANPR): Ši sistema veikia naudojant specialius mobilius radarus, kurie turi galimybę nuskaityti transporto priemonės valstybinį numerį. Ji veikia paprastu principu, užfiksuoja transporto priemonės valstybinius numerius taip pat užfiksuoja transporto priemonę. Apjungus kelis tokio tipo radarus galima nustatyti tikslus automobilių srautus tam tikrose atkarpose. Šios sistemos plusai: galima nustatyti transporto maršrutus, esant atitinkamoms sąlygoms, matavimai gali vykti ilgą laiką, yra užtikrinamas matavimų tikslumas. Taip pat ši sistema turi savų minusų: sudėtingas įrengimas, sunku klasifikuoti transporto priemones, matavimų tikslumui didelę

įtaką turi oro sąlygos, matavimo trukmę apriboja išorinės baterijos dydis. Ši sistema pavaizduota 5 pav.[23].



5 pav. Automatinio numerių atpažinimo sistemos veikimo schema[29]

Rankinis – duomenų rinkimo metodas, kuomet stebėtojai registruoja transporto srautų duomenis gatvėse/sankryžose. Stebėtojai skaičiuoja pravažiuojančias transporto priemones per tam tikrus laiko intervalus ir žymi šiuos duomenis specialiose spausdintose arba e-formose[24].

Vaizdo medžiaga – tyrimo metodas, kuomet transporto srautai yra nustatomi naudojant stacionarias vaizdo kameras arba pasitelkiant dronus. Vaizdo kamera yra pastatoma tiriamoje vietoje, o eismo srautų parametrai nustatomi naudojantis vaizdo medžiaga, kuri vėliau yra analizuojama „rankiniu“ būdu arba pasitelkiant išmanias programas yra apskaičiuojami eismo srauto parametrai. Taip pat galimas transporto srautų stebėjimas vaizdo kamera iš drono, pakeliamo ir pozicijuoto aktualioje tyrimų teritorijoje.

1.3. Transporto srautu modeliavimas

Tam, kad teisingai parinkti Efektyviausius sprendimus į atsiradusias problemas eismo sistemoje, ir norint išvengti klaidų prieš diegiant pasirinktą sprendimą, svarbu jį patikrinti modeliavimo metodu. Transporto eismo modeliavimo sistemos – tai matematinis transporto sistemos modeliavimas, naudojant kompiuterinę programinę įrangą. Ši įranga suteikia galimybę imituoti realius eismo srautus ir elementus. Tokia galimybė leidžia, paprastai naudojant nedidelį išteklių kiekį, atlikti įvairių scenarijų analizę ir priimti tinkamus sprendimus[21].

Transporto srautų modeliavimo pagrindinis tikslas yra ganėtinai paprastomis priemonėmis iširti esamų, modernizuojamų ar naujai kuriamų transporto jungčių ir jų sistemų veikimą ir bendra darną transporto sistemoje. Naudojant simuliacijos programas galima įvertinti visus kintamuosius, tokius kaip šviesoforai, transporto priemonių atsitiktiniai veiksmas, kelių ir jungčių tipus. Šiuos elementus įvertinti, atliekant tik matematinius skaičiavimus yra sunku, o kai kuriu net nėra galimybės įvertinti[20].

Modeliavimo programų pasirinkimas šiuo metu rinkoje yra nemažas, bet iš visų tiekėjų lyderiauja gamintojas „PTV Group“ su savo geriausiu ir rinkoje lyderiaujančiu srautų modeliavimo įrankiu „Vissim“. Ši programinė įranga pasižymi lengvu valdymu ir didelėmis galimybėmis modeliavimo aplinkoje, taip pat viena iš didžiausių inovacijų yra transporto priemonių nekontroliuojamų veiksmų įvertinimas. Kitas didelis žaidėjas rinkoje yra „Micro nav limited“. Tik šio tiekėjo produktas yra specializuotas oro uostų ir su jais susijusios infrastruktūros modeliavimais. Šio tiekėjo produktas

„Best“ pasižymi dideliu tikslumu modeliavimo sprendimuose ir valdiklių naudojime bei yra patikimas ir nuolat atnaujinamas. Be šių išvardintų modeliavimo įrangų taip pat rinkoje yra vertinami „AnyLogic“, „Intro“ ir „Fujitsum“ modeliavimo įrankiai, šie trys įrankiai yra panašūs į „PTV Vissim“ tik nusileidžia savo techninėmis galimybėmis modeliavime[21].

Šiame tyrime, siekiant ištirti naujos jungties efektyvumą atsižvelgus į modeliavimo galimybes, bus naudojama „PTV Vissim“ modeliavimo programinė įranga.

1.3.1. Transporto srautų modeliai

Kiekviena transporto eismo modeliavimo sistema modeliuojant transporto eismo srautus naudoja joje integruotus transporto srautų modelius.

Neužpildyto srauto charakteristikos – kuomet eismo srautas artėja prie prisotinimo ribos arba ją pasiekia, eismo srauto charakteristikos ženkliai pasikeičia ir tampa nestabiliomis. Esant tokioms sąlygoms bet kurio eisme dalyvaujančio dalyvio, bet koks nenumatytas veiksmas gali sumažinti eismo pralaidumą. Tais atvejais kai tikslų matavimų atlikti negalima, determinuotas eilės sudarymo modelis gali būti naudojamas įvertinti eilės ilgį, tuomet, dėl ciklų nesutapimų, spūstys gali plisti į gretimas sankryžas (6 pav.). Norint išvengti tokių situacijų eismo valdymas turėtų būti naudojamas tokiose vietose, kuriose eismas yra prisotintas[8].

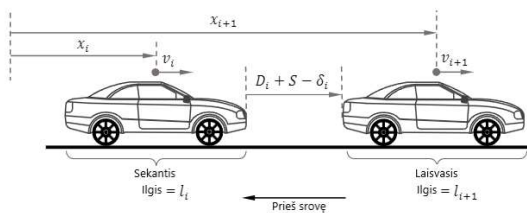


6 pav. Neužpildyto srauto charakteristikos[8]

Tolimesnio automobilio modelis (7 pav.) – Šis modelis yra skirtas nustatyti transporto priemonės veiksmus atžvelgiant į priešais važiuojančia transporto priemonę. Kai transporto priemonės veikimas yra apribotas priekyje esančios transporto priemonės tai ji yra laikoma sekančia schemeje ar modelį. O kuomet priešais automobili kliūčių nėra, jis yra laikomas laisvu, laisvasis automobilis gali pasirinkti savo norimą greitį. Dažniausiai sekančios transporto priemonės veiksmai būna priklausomi nuo priešais jį važiuojančios transporto priemonės pagreičio. Bet taip pat galima rasti šių modelių, kuomet sekančios transporto priemonės veiksmai yra vertinami pagal priešais važiuojančios transporto priemonės greitį. Ne visi modeliai remiasi tik priekį važiuojančia transporto priemone, yra ir pilnesnių modelių, kuriuose yra nusakomi tolimesnės transporto priemonės veiksmai įvairiose situacijose. Sudarytam modeliui taip pat būna numatomas eismo režimas pagal kurį yra numatomas laisvojo automobilio judėjimas ir papildomi veiksmai[35].

Paprastai tolimesnės transporto priemonės moduliai būna nustatomi trimis režimais: laisvuju, įprasto sekimo ir avarinio stabdymo. Laisvajame režime važiuojančios transporto priemonės pasirenka greitį pačios, įprasto sekimo režime transporto priemonės greitį renka pagal priešais važiuojančią transporto priemonę, avarinio stabdymo režime įimituojamas avarinis stabdymas, kuomet sekančioji

transporto priemonės privalo staigiai stabdyti, kad išvengtų susidūrimo su priekyje esančią transporto priemonę[35].



7 pav. Tolimesnio automobilio modelis[35]

Saugumo vertinimo modelis – Pagrindiniai šiuo metu naudojami saugos įvertinimo metodai yra avarių analizė ir eismo konfliktai. Naudojant avarių analizės metodą yra vertinamas saugumas, naudojant realius duomenis, tokius kaip avarių duomenis. Naudojant konfliktinių taškų metodą saugumas vertinamas yra analizuojant galimybes ir sudėtingumą atsižvelgiant į tokius rodiklius kaip persirikiavimo laikas ar laikas iki susidūrimo. Konfliktinių taškų metodą naudoti yra paprasčiau ir jis yra efektyvesnis dėl paprasčiau apskaičiuojamos apimtys. Eismo konflikto sudėtingumą galima išreikšti formule[34]:

$$S_{ij} = \frac{\Delta KE_{ij}}{e^{PET_{ij}}} \quad (6)$$

$$PET_{ij} = I'_{ij} + t_{ej} - \frac{x_i + S_{ci}}{v_{ci}} \quad (7)$$

Čia, KE_{ij} – Kinetinė energija prieš susidūrimą, J

t_{ej} – Pirmosios transporto priemonės įvažiavimo laikas, s

x_i – Atstumas iki sustojimo linijos ir paskutinės transporto priemonių grupės K_i

S_{ci} – Signalų grupės laisvasis atstumas nuo K_i , m.

I'_{ij} - Integruotos žalios laikas tarp grupių K_i ir K_j , s

v_{ci} – Eismo greitis, m/s

Mobilumo mieste modulis (SUMO) – Tai modeliavimo programa turinti atvirą kodą ir yra skirta modeliuoti transporto priemonių srautus mikroskopiniame lygyje. Šis modulis yra skirtas imituoti individualių transporto priemonių veiksmus. Tokių veiksmų įvertinimas kelia modelio tikslumą[33]. Naudojant šio modelio programą, Yra suteikiamas individualus maršrutas ir atsitiktiniai veiksmai kiekvienai eisme dalyvaujančiai transporto priemonei. Šios modeliavimo programos atsiradimas leidžia transporto eismo tyrėjams lengviau ir paprasčiau patikrinti ar pasirinkti eismo valdymo algoritmai veiks teisingai ir efektyviai. Šios priemonės vienas iš privalumų yra, kad norint atlikti pilną transporto eismo modeliavimą nereikia pilnų duomenų[37].

1.4. Kelių pralaidumo reglamentas (HCM)

Kelių pralaidumo reglamentas (HCM) tai vienas iš pagrindinių dokumentų kuris apibrėžia kaip turi būti atliekami transporto sistemos kelių pralaidumų vertinimai ir modeliavimas. Šis reglamentas taip pat nusako kokiais standartais ir priemonėmis reikia laikytis projektuojant naujus transporto sistemos elementus. Šį dokumentą paskelbė Amerikos kelių ir transporto inžinerijos institutas. Remiantis šiuo dokumentu galima tiksliai įvertinti kelių ir gatvių veiksmingumą ir efektyviai juos modernizuoti ar

kurti naujus. Šis dokumentas turi šešis leidimus. Šiuo metu naujas ir kuriuo reikėtų remtis yra HCM 2017. Per šiuos šešis leidimo variantus nuo 2000m. buvo atlikti apie 5 milijonai tyrimu kuriais yra remiamasi reglamente. Dėl turimos pripažintos vertinimo metodikos, šiuo reglamentu remiasi didžioji dalis modeliavo programų. Žvelgiant į paskutinius atnaujinimus, paskutiniame leidime, pateikiama naujausia metodika kaip reikia planuoti naujus eismo elementus, kad jie būtų draugiški aplinkai[38,39].

1.5. Transporto organizavimas ir susisiekimo sistema mieste

Susisiekimo sistema susideda iš pėsčiųjų, keleivių ir transporto priemonių bei visų inžinerinių sprendimų, reikalingų jų darniam judėjimui. Ši bendra visuma privalo užtikrinti eismo dalyvių patogų susisiekimą ir maksimalų saugumą[19]. Tam kad būtų sklandžiai organizuojamas eismas ir susisiekimo sistemoje nesusidarytų didelės eismo spūstys, gatvių sankryžos privalo atitikti pralaidumo ir struktūrinius keliamus reikalavimus.

Planuojant naują ar modernizuojant esamą susisiekimo sistemą ar jos elementą privaloma tinkamai susiplanuoti kaip atrodys ir kaip bus atliekamas pakeitimas. Naujos susisiekimo sistemos kūrimo ar senos modernizavimo planavimą sudaro[4]:

- Esamos situacijos nustatymas aktualiame gatvių tinkle
- Nagrinėjamos susisiekimo sistemos analizė ir tyrimas
- Probleminių vietų nustatymas susisiekimo sistemoje
- Nustatytų susisiekimo sistemoje esančių problemų likvidavimas

Planuojant nauja ar modernizuojant seną susisiekimo sistemą privaloma atsižvelgti į esamų ir būsimų poreikių užtikrinimą, bendra darba transporto sistemoje, aplinkosauga, techninę infrastruktūrą. Taip pat labai svarbu įvertinti ar planuojami pakeitimai neturės neigiamos įtakos eismo organizavimui netoliese esančiuose gatvėse[4].

Susisiekimo sistemą sudaro dvi dalys: statinė ir dinaminė. Statinė dalis – miesto gatvės, dviračių takai, pėsčiųjų takai ir k.t. Dinaminė dalis – tai visos transporto priemonės dalyvaujančios eisme. Svarbu, kad šios dalys veiktų darniai, nekeldamos trukdžių jokiais eismo dalyvių grupei. Grupės yra skirstomos pagal naudojamą transporto rūšį dalyvaujančią eisme. Atsižvelgiant į visas transporto rūšis ir į jų poreikius, yra suformuoti techniniai reikalavimai. Taip pat projektuojant susisiekimo sistemą svarbu atkreipti dėmesį į sunkiųjų ir specialiųjų transporto priemonių poreikius, atsižvelgti, kad šios transporto priemonės galėtų nenutrūkstamai funkcionuoti, specialusis transportas turi turėti galimybę netrukdomas aplenkti transporto srautą. Tinkamai suprojektuota susisiekimo sistema turi nustatyti kiekvienam eismo dalyviui konkrečią vietą, kuri leistų saugiai, ekologiškai ir ekonomiškai dalyvauti eisme. Teisingai paruošta eismo organizavimo sistema padeda sutaupyti finansus, mažina sugaištamą laiką, gerina ekologiją [4].

1.5.1. Gatvių klasifikacija

Gatvės motorizuotoms ir nemotorizuotoms transporto priemonėms, pėsčiųjų šaligatviai ir takai, aikštelės, bei kitos eismo zonos sudaro transporto sistemos susisiekimo tinklą. Kuomet yra projektuojamas susisiekimo tinklas miestuose, turi būti įvertinamos esamos ir perspektyvinės gatvių pagrindinės paskirtys, įvertinti esami ir būsimi eismo srautai bei jų pasiskirstymas, įvertinamas apstatymo tankis, bei užtikrinamas dokumentuotų reikalavimų atitikimas. Globaliai Lietuvoje visi keliai yra skirstomi į dvi pagrindines grupes pagal savo reikšmę eismo sistemoje, tai valstybinės

reikšmės keliai ir vietinės reikšmės keliai. Valstybinės reikšmės kelius sudaro: magistralės, krašto keliai ir rajono keliai. Kitaip sakant valstybinės reikšmės keliai, tai visos pagrindinės Lietuvos kelių arterijos jungiančios miestus ir kaimus. O vietinės reikšmės keliai tai visi keliai esantys mieste[5].

Keliai yra skirstomi ne tik pagal jų reikšmes eismo sistemoje, taip pat jie yra skirstomi kategorijomis atsižvelgiant į projektinį vidutinį metinį paros eismą ir projektinį greitį. Metodika kaip turi būti klasifikuojami keliai yra pateikta techniniame reglamente KTR. 1.01:2008. Atsižvelgiant į šį techninį reglamentą automobilių kelių klasifikacija pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė. Automobilių kelių klasifikacija pagal kategorijas ir reikšmes[5]

Kelio reikšmė		Kelio kategorija	Projektinis vidutinis metinis paros eismo intensyvumas Aut./parą	Projektinis greitis km/h	Eismo juostų skaičius
Valstybinės reikšmės	Magistraliniai	AM	>45000	130/110	3+S+3
		AM	12000-55000	130/110	2+S+3
	Krašto	I	12000-55000	110/110	2+S+2
		II	Iki 15000 (20000)	90	2
		IIa	Iki 18000 (23000)	100	2+1
Rajono	III	Iki 15000 (20000)	90	2	
	IV	1000-2000	50/40	2	
Vietinės reikšmės		IIv	500-1000	40/30	1
		IIIv	Iki 500	30/20	1

*S - Skiriamoji juosta

Vienas iš pagrindinių norminių dokumentų nusakantis reikalavimus vietinės reikšmės keliams yra teisinis reglamentas STR 2.06.04:2014. Šis dokumentas aprašo aiškiai kaip turi būti suprojektuoti ir įrengti visi vietinės reikšmės keliai. Remiantis šiuo dokumentu Lietuvoje esančios susisiekimo linijos yra skirstomi į šias klasifikavimo grupes[6]:

- A. Greito eismo gatvė
- B. Pagrindinės gatvės
- C. Aptarnaujančios gatvės
- D. Pagalbinės gatvės

Greito eismo juostos – ši kategorija yra skiriama motorizuoto transporto keliams kuriuose yra ilgi ir pastovūs transporto ryšiai, vyksta susisiekimas su užmiesčio svarbiausiai keliais ir vyksta tranzitinis eismas[6].

Pagrindinės gatvės – Ši kategorija skiriama motorizuoto transporto keliams, kuriuose vyksta susisiekimas tarp miesto funkcinių zonų, rajonų bei centrų. Taip pat kelias gali turėti ryšius su užmiesčio keliais[6].

Aptarnaujančios gatvės – Tai yra motorizuoto transporto miesto funkcinės ir kompozicinės ašys. Taip pat šiuose keliuose išsidėsčiusios pagrindinės viešojo transporto linijos[6].

Pagalbinės gatvės – Tai motorizuoto transporto lokalinės, funkcinės ir kompozicinės ašys. Šiomis gatvėmis srautai paskirstomi į smulkesnius, taip pat keliai skirti privažiuoti prie atskirų pastatų ar statinių[6].

Kiekviena klasifikavimo grupė dar yra klasifikuojama pagal jose judančių transporto dalyvių projekcinį greitį. Gatvių pagrindiniai techniniai parametrai kiekvienai kategorijai yra skirtingi. Remiantis techninių reglamentų lentelėje 3 yra pateikti reikalavimai gatvėms pagal jos kategorija.

3 lentelė. gatvių pagrindiniai techniniai parametrai[6]

Gatvės kategorija	Min. atstumas tarp gatvės	Projektinis greitis km/h	Bendras eismo juostų skaičius		Eismo juostų plotis, m	Max. Išilginis nuolydis %	Min. horizontali kreivė, m
A	70	80	4	6*	3,75	4	400
B	30	60	2	6*	3,25	6	200
C	20	50	2	4	3,00	7	120
D	12	30	2	2	2,75	10	10

* - Esant poreikiui eismo juostų skaičius gali būti didinamas

1.5.2. Vietinės reikšmės gatvių pagrindiniai techniniai parametrai

Norint įrengti vietinės reikšmės kelius, reikia žinoti kokius techninius reikalavimus turi atitikti šie transporto infrastruktūros elementai. Prieš pradėdant bet kokio kelio įrengimo darbus, pirmiausia būtina teisingai parengti naujo kelio projektą. Projektuojamas kelias privalo būti patvarus, turėti pastovumą, jame privaloma užtikrinti eismo saugumą. Svarbu, kad projektuojamas kelias būtų patogus eismo dalyviams ir atitiktų visus reikalavimus. Sudarytas vietinės reikšmės kelio projektas turi atitikti esminius teritorijos planavimo ir statiniams keliamų reikalavimų reglamentus. Taip pat reikia atsižvelgti į eksploataavimo laikotarpį, naujai įrengta kelio atkarpa pagal parinktą asfalto rūšį privalo tarnauti ne trumpiau kaip 10 metų. Rekonstruojamų ir tiesiamų naujų kelių skersiniai ir išilginiai profiliai turi būti parinkti atsižvelgiant į gatvės kategoriją. Vietinės reikšmės keliai atsižvelgiant į projekcinį kelio greitį ir į juostų skaičių yra klasifikuojami į keturias kategorijas. Kuomet projektinis greitis yra iki 50km/h ir numatytos 2 eismo juostų kelias yra priskiriamas 1 kategorijai. Kelias, kurio projektinis greitis neviršija 40km/h ir turi vieną eismo juostą yra priskiriamas 2 kategorijai. Kuomet projektinis greitis siekia 30km/h ir turi vieną eismo juostą kelias yra priskiriamas 3 kategorijai. Ir kuomet projektinis greitis siekia tik 20km/h ir turi vieną eismo juostas toks kelias yra priskiriamas 4 kategorijai. Atsižvelgiant į šias kategorijas projektuojamas kelias turi atitikti šioms kategorijoms keliamus išilginio ir skersinio profilio reikalavimus[6].

Jungiant atskiras gatves į gatvių tinklą privaloma įsivertinti esamus ir perspektyvinius eismo srautus. Tam reikia atlikti eismo srautų ir sudėties nustatymo tyrimus. Kuomet prie gatvių sankirtos yra dideli traukos centrai privaloma įvertinti sankirtos pralaidumą esant piko metui. Kuomet yra atnaujinama gatvių sankirta, rengiant projektą privaloma atsižvelgti į paskutinių keturių įskaitinių eismo įvykių analizę.

1.5.3. Sankryžos ir transporto mazgai

Sankryža – tai yra vieta, kur susitinka kelio ar kitų transporto infrastruktūros elementų linijos arba kelio atšakos. Transporto sankryžos yra svarbios eismo organizavimui ir saugumui, nes jose susiduria skirtingų kelių dalyvių srautai, pvz., automobiliai, dviračiai arba pėstieji. Transporto mazgas - tai vieta, kur susitinka arba susijungia skirtingi transporto maršrutai arba keliai. Tai gali apimti kelių, geležinkelio linijų, vandens ar oro kelių sankryžas arba jungtis. Transporto mazgai gali būti įrengti siekiant optimaliai valdyti eismą ir lengvinti keleivių ar krovinių perkėlimą iš vienos transporto sistemos dalies į kitą. Sankryžoms ir transporto mazgams reikalavimai yra nustatomi siekiant užkrinti sklandžią ir saugią transporto sistemą. Reikalavimai šiems transporto elementams yra aprašyti teisės aktuose. Vienas iš jų yra techninis reglamentas STR 2.06.04:2014. Remiantis šiuo teisiniu techniniu reglamentu susisiektinio tinklo mazgai ir sankryžos turi atitikti šiuos reikalavimus[6]:

- Užtikrinti maksimalia visų eisme dalyvaujančių dalyvių saugą
- Užtikrinti reikiamą transporto ir pėsčiųjų pralaidumą
- Diegiami nauji ar atnaujinami seni infrastruktūros elementai privalo užtikrinti minimalias prastovas
- Diegiami nauji infrastruktūros elementai turi turėti galimybę ateityje būti pritaikomi prie pasikeitusiu eismo sąlygų

Planuojamos sankryžos ar sankirtos tarp atskirų kategorijų gatvių privalo būti parinkto pagal 4 lentelėje pateikta metodika, norint priimti kitokį jungimo sprendimą privalomą atlikti eismo srautų tyrimą kuriame būtų įrodyta, kad metodiškai nurodomas sprendimas bus efektyvus[6].

4 lentelė. sankryžų ir sankirtų parinkimo metodika[6]

Gatvės kategorija	A	B	C	D
A	Skirtingų lygių sankryžą	Skirtingų lygių sankryžą arba sankirta	Sankirta	sankirta
B	Skirtingų lygių sankryžą arba sankirta	Vieno lygio sankryžą	Vieno lygio sankryžą	Sankryža parenkama pagal srautų tyrimus
C	Sankirta	Vieno lygio sankryžą	Vieno lygio sankryžą	Vieno lygio sankryžą
D	Sankirta	Sankryža parenkama pagal srautų tyrimus	Sankirta	Sankirta

Taip pat įrenginėjant sankryžas privaloma laikytis reglamentuotų reikalavimų nurodančių kokie minimalūs atstumai privalo būti tarp sankryžų. Atstumai yra nustatomi pagal gatvės kategoriją. A kategorijos gatvėje minimalus atstumas 1000m, B kategorijos 600m, C kategorijos 200m ir D kategorijos 50m.[6]

Kuomet naujai yra įrenginama transporto eismo sankryžą, reikia įvertinti ne tik susikertančių gatvių kategorijas bet taip pat įvertinti šalimai esančias sankryžas, įvertinti transporto ir pėsčiųjų srautus, įsivertinti eismo saugumo sąlygas. Transporto sistemoje yra kelių tipo sankryžos, jos yra skirstomos pagal savo technines charakteristikas:

- Vieno lygio sankryžos
- Kelių lygių sankryžos

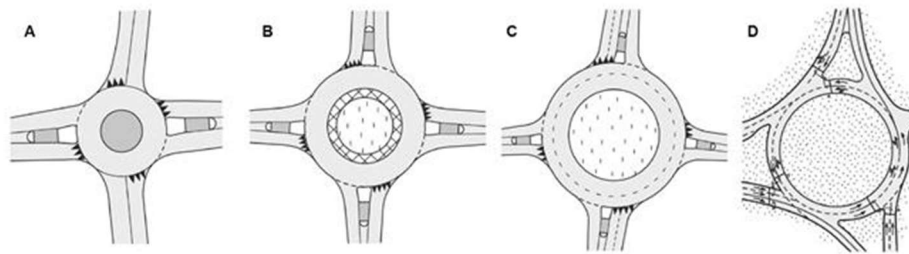
- Reguliuojamos sankryžos
- Žiedinės sankryžos

Vieno lygio sankryžos – tai tokios sankryžos, kuomet eismo srautai kerta vienas kita lygiagrečiai. Pagrindiniai reikalavimai šio tipo sankryžoms: gatvių ašys turi kirtis ne mažesniu kaip 70° kampu, gatvės ir įvažiavimo į greta esančias teritorijas ašių sankirtos kampas, kuomet įvažiavimas į sankryžą su išvažiavimu turi būti nuo 70° iki 110° , o kai įvažiavimas yra vienos krypties, įvažiavimas turi būti nuo 45° iki 90° , o išvažiavimas nuo 90° iki 120° , prie sankryžos 0,8m atstumu negali būti pastoviai stovinčių kliūčių trukdančių matomumą[6].

Kelių lygių sankryžos – Tai infrastruktūros elementas, kuomet keliai yra išsidėstę skirtinguose lygiuose, pagrindiniai keliai ar geležinkeliai susitinka lygiagrečiai be tiesioginio susijungimo. Tai gali būti išpildoma naudojant tokius statinius kaip tiltus, viadukus ar rampų sistemas. Tokios sankryžos yra projektuojamos atsižvelgiant į susikertančių gatvių parametrus. Skirtingu lygių sankryžos yra projektuojamos vadovaujantis techniniu reglamentu STR.2.06.02:2001[6].

Reguliuojamos sankryžos – Tai dažniausiai vieno lygio sankryžos reguliuojamos eismo ženklais arba šviesoforo pagalba. Tokio tipo sankryžos reikalingos norint sklandžiau reguliuoti eismo srautus.

Žiedinės sankryžos – Tai sankryžos, kuomet kelių sankirtos vietoje eismas organizuojamas ratu. Toks kelio sankirtos eismo reguliavimo būdas padeda efektyviai sureguliuoti eismo srautus. Žiedinės sankryžos yra skirstomos kategorijomis pagal jų dydį, yra keturių dydžių sankryžos: A- mini, B – mažoji vienos eismo juostos, C – mažoji dviejų eismo juostų, D – didžioji. Kaip atrodo šios žiedinės sankryžos pateikiama 8 pav.[6].



8 pav. Žiedinės sankryžos[6]

Vienas iš pagrindinių rodiklių norint pritaikyti žiedinę sankryžą tai eismo pralaidumo dydis. Šias sankryžas galima projektuoti tik tuomet, kai reglamentuojamas eismo intensyvumas yra ne mažesnis realiam eismo intensyvumui. Mini pralaidumas 1500aut/h, mažoji vienos eismo juostos pralaidumas yra 2500aut/h ir mažosios dviejų eismo juostų pralaidumas yra 4500aut/h. Taip pat galima nepaisyti šios taisyklės, atliekant išsamius eismo pralaidumo tyrimus ir įrodžius, kad sankryža sugebės užtikrinti tinkamą veiksmingumą esant didesniems transporto priemonių kiekiams per valandą. Taip pat žiedinės sankryžos mieste gali būti diegiamos kaip saugesnė alternatyva paprastoms keturšalėms sankryžoms. Tai yra dėl to, kad žiedinėje sankryžoje galime pamatyti tik 20 teorinių konfliktinių taškų, kai keturšalėje sankryžoje galima pamatyti 32 tokius taškus [19].

1.6. Viešasis transportas mieste

Viešasis transportas – tai viešai prieinamas keliavimo būdas, kuomet vienoje transporto priemonėje keliauja didelis skaičius skirtingų asmenų numatytais maršrutais. Viešasis transportas skirstomas į

kelias grupes: miesto viešasis transportas, priemiestinis viešasis transportas, bei tolیمasis viešasis transportas. Šiam keliavimo būdui galimos naudoti transporto priemonės tokios kaip: autobusai, troleibusai, tramvajai, metro, traukiniai, keltai. Lietuvoje miestuose plačiausiai išsiplėtojęs viešas transportas susideda iš autobusų ir troleibusų. Šios transporto priemonės mieste vežioja keleivius iš anksto numatytais maršrutais kurie driekiasi mieste ir miesto prieigose.

Viešojo transporto sistema mieste yra labai svarbi kelių tinklo eismo sistema. Puikiai funkcionuojanti ši sistema gali sumažinti eismo srautus, sumažinti eismo įvykius, bei pagerinti ekologinę situaciją. Tai yra pasiekama, kuomet miesto gyventojai savo nuosavą transportą kasdieniniams susisiekimams iškeičia į viešąjį. Tam, kad tai įvyktų reikia sudaryti sąlygas, kad viešasis transportas atrodytu patraukli keliavimo alternatyva. Pagrindinės priemonės, kurios gali padėti skatinti miesto gyventojus naudotis viešuoju transportu:

- Tinkamai sudaryti maršrutai atitinkantys klientų poreikius
- Maža laiko gaištis kelionės metu
- Patogus eismo grafikai ir jų prisitaikymas realiomis sąlygomis
- Klientų aptarnavimo kokybė
- Naudojamų transporto priemonių amžius ir draugiškumas aplinkai
- Paslaugų kaina

Plačiai naudojamas viešasis transportas gali ne tik sukontroliuoti eismo srautus bet ir prisidėti prie miesto, bei šalies ekonominės situacijos gerinimo. Sumažėjas nuosavo transporto kiekis mieste reikštų mažesnę poreikį automobilių parkavimo aikštelėms, tad laisvus patrauklius plotus galima paversti traukos objektais ar verslo centrais, kurie generuotų papildomas pajamas ir gerintų gyvenimo kokybę. Taip pat žvelgiant platesniu kampu sumažėtų naftos produktų naudojimas, kas leistų būti mažiau priklausomiems.

Taip pat viešojo transporto naudojimas, kaip pagrindinis susisiekimo elementas mieste taip pat gali prisidėti prie aktyvesnio gyventojų būdo. Sumažėję transporto srautai gali sudaryti patrauklias sąlygas saugiai naudoti ne motorines transporto priemones. Tokias kaip dviračiai, riedučiai ar tiesiog ėjimas pėsčiomis. Tai tiesiogiai gali prisidėti prie miestų gyventojų geresnės gyvenimo kokybės, bei bendro didesnio fizinio aktyvumo Lietuvoje, kas gali lemti mažesnius susirgimus ir geresnę sveikatos būklę.

2. Transporto srautų nagrinėjamoje teritorijoje tyrimas

2.1. Tiriamos teritorijos apžvalga ir naujoji jungtis (Kėdainių g. tiltas)

Palaiapsniui augant Lietuvos ekonomikai, per pastaruosius du dešimtmečius ženkliai padidėjo individualių transporto priemonių naudotojų skaičius. To pasėkoje, miestuose, ypatingai miestų centrinėse dalyse, didėjantys transporto srautai sąlygoja spūsčių susidarymą. Ženkliai didėjantys transporto srautai tampa dideliu išūkiu visai miesto transporto sistemai. Kaunas, kaip ir kiti didieji Lietuvos miestai, buvo projektuojami prieš dešimtmečius, kuomet individualių transporto priemonių kiekis mieste buvo nedidelis ir nebuvo įvertintas toks spartus automobilizacijos lygio augimas. Esama transporto sistema nepajėgia užtikrinti reikiamo laidumo – šiam kontekste savalaikiai yra vykdomi transporto kelių, jungčių, sankryžų modernizavimai ir naujų gatvių tinklo jungčių integravimas. Su vienu tokių projektų – Kėdainių g. tilto (9 pav.) integravimu į gatvių tinklą susijęs šis darbas.



9 pav. Naujos gatvių tinklo jungties – Kėdainių g. tilto vizualizacija[9]

Tyrime nagrinėjama kokia naujos jungties svarba/įtaka susiekimo sistemos efektyvumui turės naujo transporto jungties „Kėdainių tilto“ integravimas į sistemą. Kauno miesto centras susiduria su tranzitinio transporto problema, kadangi transporto priemonės norinčios patekti iš pietinės miesto dalies į kelius Via Baltica ir kelią A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda turi kirsti miesto centrą. Dėl šios priežasties susidaro didelis eismo intensyvumas Raudondvario pl., Jurbarko g., Šv. Gertrūdos g., Birštono g., Karaliaus Mindaugo pr., Užnemunės g., Veiverių g., H. ir O. Minkovskių g. Didžioji dalis tranzitinio eismo judančio šiomis gatvėmis, kerta Vytauto Didžiojo ir P. Vileišio tiltus, kurie yra pagrindinės jungtys link anksčiau paminėtų valstybinės reikšmės kelių.

Suprojektuotas ir Nemuno ir Neries upių santakos smaigalyje (maždaug 350 m atstumu) pradėtas statyti Kėdainių g. tiltas leis sumažinti miesto gyventojų ir svečių keliones centrine miesto dalimi, iš pietinės miesto dalies eismo dalyviams siekiant patekti į Via Baltica arba Vilnius – Klaipėda magistralę. Šio tilto atsiradimas turėtų tapti efektyvi priemonė norint atlaisvinti senamiestį nuo piko metu susidarančių eismo spūsčių.

Šio projekto įgyvendinimas pagerins susisiekimą tarp Vilijampolės ir Aleksoto mikrorajonų, bei tuo pačiu prisidės prie aplinkosaugos. Tikėtina, kad į B kategorijos gatvių tinklą integruotas tiltas ne tik pagerins srautų pasiskirstymą bet ir pagyvins veiklą aplinkinėse teritorijose, kas savo ruožtu atneš tikėtiną naudą miestui. Tiltas iš esmės yra ne tik laidumo gerinimo priemonė, bet taip pat sujungs ir praplės dviračių ir pėsčiųjų takus.

Šio tilto atsiradimas gali prisidėti prie Vilijampolės ir Fredos rajonų augimo. Kėdainių g. tiltas pagerins Šilainių ir Vilijampolės mikrorajonų gyventojų susisiekimą su kitomis miesto dalimis, nuo transporto spūsčių pavyktų dalinai išvaduoti Karaliaus Mindaugo prospektą, Šv. Gertrūdos, Birštono bei Jonavos gatves. Ilgamečiai periodiniai transporto srautų stebėjimai rodo, kad per parą Šv. Gertrūdos g. ir Gimnazijos g. sankryžą kerta apie 70 tūkst. automobilių visomis kryptimis. Didžioji šių transporto srautų dalis yra tranzitinis transportas. Naujasis tiltas potencialiai taps elementu, prisidėsiančiu prie taršos ir triukšmo miesto centre ir senamiestyje mažinimo[9].

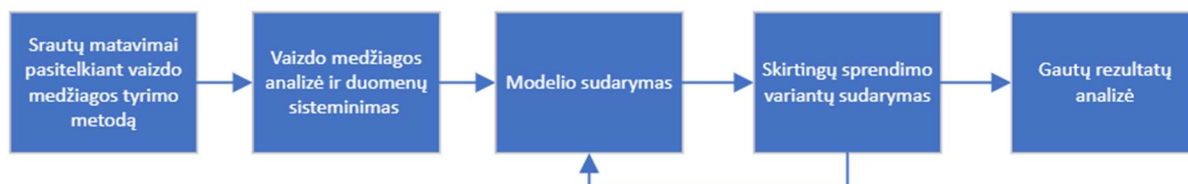
Pagrindiniai Kėdainių g. tilto techniniai parametrai:

- Gatvės tinklas ant tilto - B2 kategorijos,
- Tiltas bendras ilgis - 417 m,
- Tiltas plotis - 23 m,
- Važiuojamosios dalies plotis - 14 m,
- Numatytos 4 eismo juostos abejomis kryptimis,
- Eismo juostos plotis - 3,25 m,
- Bendras statinio aukštis 3- 5 m

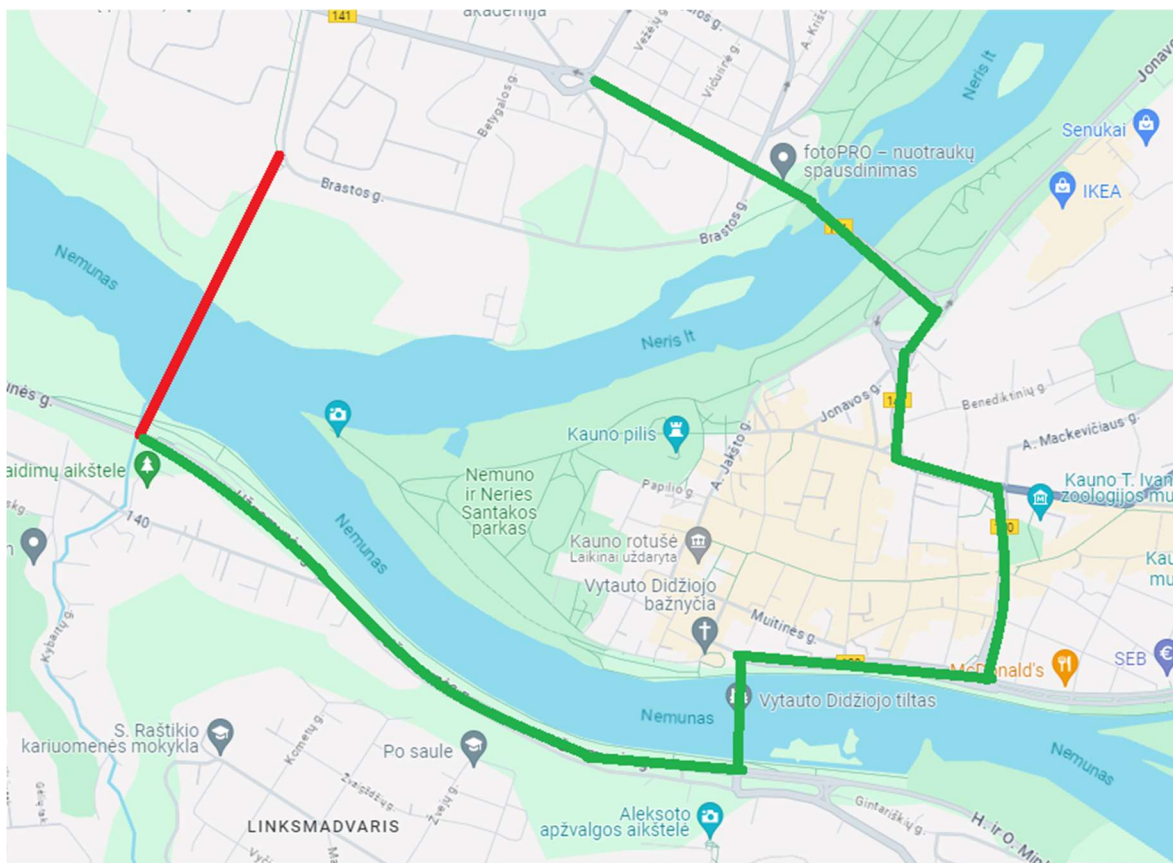
2.2. Transporto srautų gatvių tinklo dalyje Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas tyrimai

2.2.1. Transporto srautų tyrimo metodika

Siekiant iširti naujos jungties integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą įtaką susisiekimo efektyvumui, aktualu apžvelgti eismo organizavimo ir valdymo aspektus bei išanalizuoti eismo intensyvumą nagrinėjamame Kauno miesto gatvių tinklo segmente nesant Kėdainių g. tilto. Atlikus transporto srautų tiriamoje teritorijoje (Raudondvario pl., Jurbarko g., P. Vileišio tiltas, Šv. Gertrūdos g., Birštono g., Karaliaus Mindaugo pr., Vytauto Didžiojo tiltas, Užnemunės g., Veiverių g., H. ir O. Minkovskių g.) tyrimą, sekantis darbo etapas susijęs su naujos jungties integravimo ir eismo organizavimo/valdymo scenarijų analize. Transporto srautų naujoje jungtyje modeliavimo išdavoje pasiūlomas efektyviausias Kėdainių g. tilto integravimo į gatvių tinklą sprendimas. Tyrimų veiklų/etapų seka pateikta 10 pav.



10 pav. Tyrimo veiklų seka

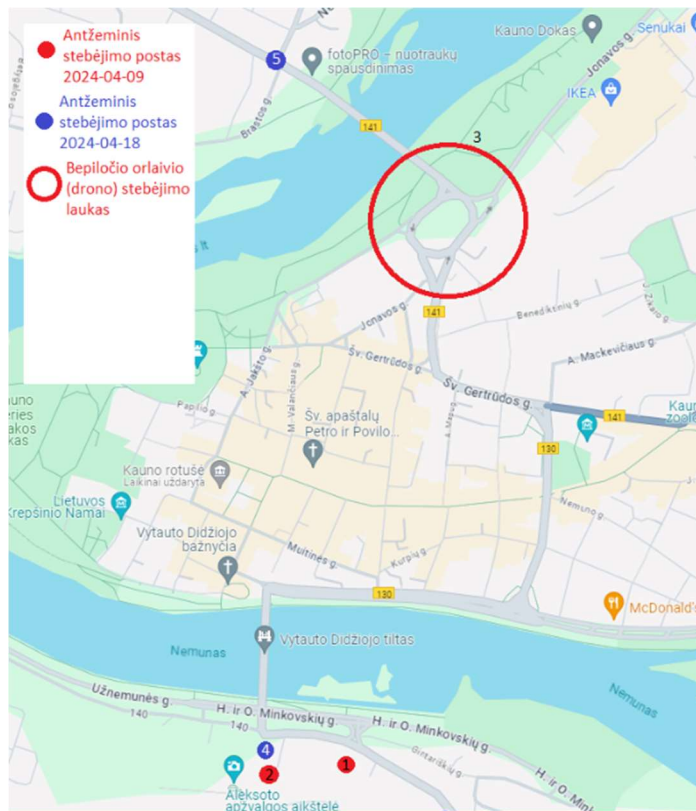


11 pav. Esamas ir potencialus (integravus Kėdainių g. tiltą) kelionės maršrutas (atitinkamai pažymėti žalia ir raudona spalva)

Siekiant įvertinti naujos jungties įtaką transporto srautų persiskirstymui, aktualu nustatyti potencialiai galimus transporto srautus šia jungtimi. Tam reikalinga esamo kelionės maršruto ir potencialaus maršruto analizė (11 pav.). Tuo tikslu atliekami transporto srautų tyrimai esamame maršrute.

Transporto srautų tyrimai praktikoje atliekami 3 būdais. Pirmasis jų – automatinis, vykdomas naudojant automatinius jutiklius. Taikant šį būdą, informacija renkama tiriamame taške visomis važiavimo kryptimis, jutikliui fiksuojant pravažiuojančias transporto priemones. Surinkti duomenys sisteminami/analizuojami pasitelkiant Microsoft Excel programą. Antrasis būdas – rankinis, vykdomas stebėtojų specialiuose lapuose, žymint pravažiuojančias transporto priemones. Vėlgi, tyrimo duomenys vertinami pasitelkiant Microsoft Excel programą. Trečiasis tyrimų būdas – video stebėjimai. Šiuo atveju vykdomi antžeminiai transporto srautų video stebėjimai arba pasitelkiant bepilotį orlaivį (droną). Tyrėjui išanalizavus vaizdo medžiagą ir nustatius transporto srautus, duomenys vėlgi sisteminami/analizuojami pasitelkiant Microsoft Excel programą.

Tyrime transporto srautų nustatymui pasirinktas trečiasis būdas. Transporto srautų fiksavimui pasitelkti mobilieji telefonai „Apple iPhone 14Pro“, „Samsung S22“ ir „Huawei P20 Pro“. Kad užtikrinti filmuojamo vaizdo stabilumą, buvo naudojami trikojai stovai. Transporto srautų stebėjimai (P. Vileišio tiltas – Šauklių g.) taip pat atlikti su bepiločiu orlaiviu (dronu), „DJI Mavic 3 Pro“.

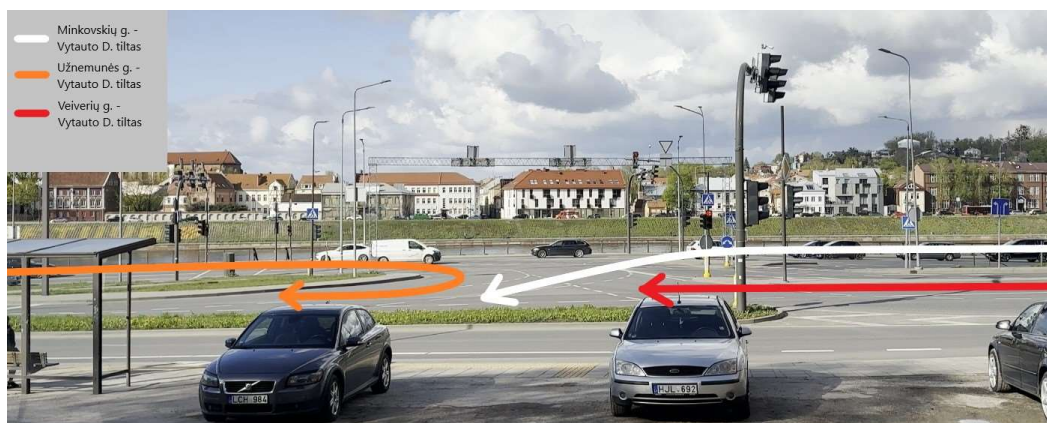


12 pav. Transporto srautų stebėjimo postai

Transporto srautų stebėjimai atlikti balandžio 9 – 18 d., antradieniais – ketvirtadieniais, siekiant išvengti transporto srautų tiriamoje teritorijoje svyravimų, kas būdinga pirmadieniui ir penktadieniui. Stebėjimai postuose (12 pav.) atlikti du kartus per dieną – rytinio piko (nuo 7.20 val. iki 8.20 val.) ir vakarinio piko (nuo 16.40 val. iki 17.40 val.) metu.

2.2.2. Transporto srautų tyrimų rezultatai ir jų analizė

Stebėjimo poste Nr. 1 (pozic. 7 pav.) buvo fiksuojami transporto srautai kryptimis Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas, Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas ir H. ir O. Minkovskių g.– Vytauto Didžiojo tiltas. Fiksuojamų srautų schema pateikta 13 pav.



13 pav. Poste Nr.1 fiksuojamų transporto srautų schema

Atliekant transporto srautų stebėjimo video medžiagos analizę, nustatyti transporto srautai rytinio ir vakarinio piko metu. Transporto priemonių skaičius buvo nustatomas 5 minučių intervalais, susiskirstant jas į tris kategorijas: lengvieji automobiliai, sunkvežimiai ir autobusai. Gautieji transporto srautų duomenys pateikti 5 - 10 lentelėse.

5 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	98	0	0	98
Nuo 7:25val iki 7:30val	100	2	0	102
Nuo 7:30val iki 7:35val	82	0	0	82
Nuo 7:35val iki 7:40val	92	0	1	93
Nuo 7:40val iki 7:45val	94	1	0	95
Nuo 7:45val iki 7:50val	80	0	0	80
Nuo 7:50val iki 7:55val	104	0	0	104
Nuo 7:55val iki 8:00val	77	0	0	77
Nuo 8:00val iki 8:05val	61	0	0	61
Nuo 8:05val iki 8:10val	64	0	0	64
Nuo 8:10val iki 8:15val	80	0	0	80
Nuo 8:15val iki 8:20val	84	1	2	87
Nuo 7:20val iki 8:20val	1016	4	3	1023

6 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	79	0	0	79
Nuo 7:25val iki 7:30val	82	0	2	84
Nuo 7:30val iki 7:35val	67	0	1	68
Nuo 7:35val iki 7:40val	75	1	1	77
Nuo 7:40val iki 7:45val	77	0	2	79
Nuo 7:45val iki 7:50val	65	0	1	66
Nuo 7:50val iki 7:55val	85	1	1	87
Nuo 7:55val iki 8:00val	62	0	1	63
Nuo 8:00val iki 8:05val	50	0	1	51
Nuo 8:05val iki 8:10val	53	0	1	54
Nuo 8:10val iki 8:15val	65	1	1	67
Nuo 8:15val iki 8:20val	69	0	4	73
Nuo 7:20val iki 8:20val	829	3	16	848

7 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi H. ir O. Minkovskių g.– Vytauto Didžiojo tiltas (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	9	0	0	9
Nuo 7:25val iki 7:30val	10	0	0	10
Nuo 7:30val iki 7:35val	8	0	0	8
Nuo 7:35val iki 7:40val	9	0	0	9
Nuo 7:40val iki 7:45val	9	0	0	9
Nuo 7:45val iki 7:50val	8	0	0	8
Nuo 7:50val iki 7:55val	10	0	0	10
Nuo 7:55val iki 8:00val	7	0	0	7
Nuo 8:00val iki 8:05val	6	1	0	7
Nuo 8:05val iki 8:10val	6	1	0	7
Nuo 8:10val iki 8:15val	8	0	0	8
Nuo 8:15val iki 8:20val	8	0	0	8
Nuo 7:20val iki 8:20val	98	2	0	100

Analizuojant Vytauto Didžiojo tiltu, rytinio piko metu, pravažiuojančių transporto priemonių duomenis (5-7 lentelės), pažymėtinos dominuojančios (95 proc.) srautų iš Užnemunės g. ir Veiverių g. kryptys – atitinkamai 1023 ir 848 aut./h.

Vakarinio piko metu (8-10 lentelės) stebima analogiška situacija – iš Užnemunės g. ir Veiverių g. atvykstančios priemonės sudaro didžiąją dalį (atitinkamai 477 ir 579 aut./h) Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojančių transporto priemonių.

Transporto srautas Vytauto Didžiojo tiltu, miesto centro link, rytinio piko metu maždaug 70 proc. didesnis nei vakarinio piko metu – atitinkamai 1971 aut./h ir 1148 aut./h.

8 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	42	0	0	42
Nuo 16:45val iki 16:50val	35	0	0	35
Nuo 16:50val iki 16:55val	41	0	0	41
Nuo 16:55val iki 17:00val	34	2	1	37
Nuo 17:00val iki 17:05val	38	0	0	38
Nuo 17:05val iki 17:10val	44	0	2	46
Nuo 17:10val iki 17:15val	36	2	0	38
Nuo 17:15val iki 17:20val	40	0	1	41
Nuo 17:20val iki 17:25val	46	0	0	46
Nuo 17:25val iki 17:30val	37	0	0	37
Nuo 17:30val iki 17:35val	35	0	0	35
Nuo 17:35val iki 17:40val	39	1	1	41
Nuo 16:40val iki 17:40val	467	5	5	477

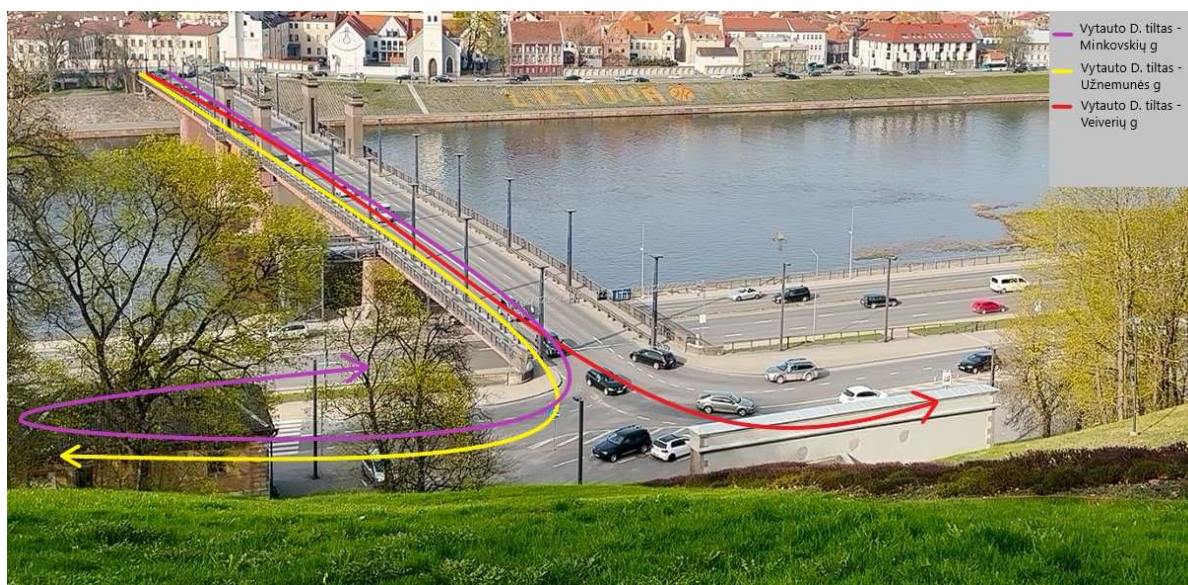
9 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Veiverių g. – Vytauto Didžiojo tiltas (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	50	0	1	51
Nuo 16:45val iki 16:50val	43	0	1	44
Nuo 16:50val iki 16:55val	50	0	1	51
Nuo 16:55val iki 17:00val	41	0	0	41
Nuo 17:00val iki 17:05val	47	0	1	48
Nuo 17:05val iki 17:10val	54	0	2	56
Nuo 17:10val iki 17:15val	41	0	0	41
Nuo 17:15val iki 17:20val	49	0	1	50
Nuo 17:20val iki 17:25val	57	0	2	59
Nuo 17:25val iki 17:30val	46	0	0	46
Nuo 17:30val iki 17:35val	43	0	1	44
Nuo 17:35val iki 17:40val	47	0	1	48
Nuo 16:40val iki 17:40val	568	0	11	579

10 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi H. ir O. Minkovskių g.– Vytauto Didžiojo tiltas (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	7	0	0	7
Nuo 16:45val iki 16:50val	7	0	0	7
Nuo 16:50val iki 16:55val	9	0	0	9
Nuo 16:55val iki 17:00val	7	0	0	7
Nuo 17:00val iki 17:05val	8	0	0	8
Nuo 17:05val iki 17:10val	9	0	0	9
Nuo 17:10val iki 17:15val	4	0	0	4
Nuo 17:15val iki 17:20val	8	0	0	8
Nuo 17:20val iki 17:25val	10	0	0	10
Nuo 17:25val iki 17:30val	8	0	0	8
Nuo 17:30val iki 17:35val	7	0	0	7
Nuo 17:35val iki 17:40val	8	0	0	8
Nuo 16:40val iki 17:40val	92	0	0	92

Stebėjimo poste Nr. 2 (pozic. 7 pav.) buvo fiksuojami transporto srautai kryptimis Užnemunės g. – Vytauto Didžiojo tiltas, Vytauto Didžiojo tiltas - Veiverių g. ir Vytauto Didžiojo tiltas - H. ir O. Minkovskių g. Fiksuojamų srautų schema pateikta 14 pav.



14 pav. Poste Nr.2 fiksuojamų transporto srautų schema

Atliekant transporto srautų stebėjimo video medžiagos analizę, nustatyti transporto srautai rytinio ir vakarinio piko metu. Transporto priemonių skaičius buvo nustatomas 5 minučių intervalais, susiskirstant jas į tris kategorijas: lengvieji automobiliai, sunkvežimiai ir autobusai. Gautieji transporto srautų duomenys pateikti 11 - 16 lentelėse.

11 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Užnemunės g. (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	13	0	0	13
Nuo 7:25val iki 7:30val	24	1	1	26
Nuo 7:30val iki 7:35val	20	0	1	21
Nuo 7:35val iki 7:40val	29	0	0	29
Nuo 7:40val iki 7:45val	31	0	1	32
Nuo 7:45val iki 7:50val	24	1	0	25
Nuo 7:50val iki 7:55val	24	0	0	24
Nuo 7:55val iki 8:00val	22	0	0	22
Nuo 8:00val iki 8:05val	31	4	0	35
Nuo 8:05val iki 8:10val	25	1	1	27
Nuo 8:10val iki 8:15val	13	0	0	13
Nuo 8:15val iki 8:20val	22	0	0	22
Nuo 7:20val iki 8:20val	278	7	4	289

12 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – H. ir O. Minkovskių g. (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	7	1	0	8
Nuo 7:25val iki 7:30val	4	1	0	5
Nuo 7:30val iki 7:35val	8	0	0	8
Nuo 7:35val iki 7:40val	11	0	0	11
Nuo 7:40val iki 7:45val	9	0	0	9
Nuo 7:45val iki 7:50val	4	0	0	4
Nuo 7:50val iki 7:55val	6	0	0	6
Nuo 7:55val iki 8:00val	5	0	0	5
Nuo 8:00val iki 8:05val	11	0	0	11
Nuo 8:05val iki 8:10val	6	0	0	6
Nuo 8:10val iki 8:15val	3	1	0	4
Nuo 8:15val iki 8:20val	4	0	0	4
Nuo 7:20val iki 8:20val	78	3	0	81

13 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g. (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	44	0	1	45
Nuo 7:25val iki 7:30val	53	1	1	55
Nuo 7:30val iki 7:35val	59	0	1	60
Nuo 7:35val iki 7:40val	56	0	1	57
Nuo 7:40val iki 7:45val	63	0	3	66
Nuo 7:45val iki 7:50val	62	0	0	62
Nuo 7:50val iki 7:55val	43	0	1	44
Nuo 7:55val iki 8:00val	47	0	1	48
Nuo 8:00val iki 8:05val	36	0	0	36
Nuo 8:05val iki 8:10val	61	0	0	61
Nuo 8:10val iki 8:15val	34	0	2	36
Nuo 8:15val iki 8:20val	44	0	1	45
Nuo 7:20val iki 8:20val	602	1	12	615

Vertinant Vytauto Didžiojo tiltu, rytinio piko metu, pravažiuojančių transporto priemonių duomenis (11 - 13 lentelės), stebimas dominuojantis srautas į Veiverių g. – 62 proc. ir nedidelis – 81 aut./h į H. Ir O. Minkovskių g. Vakarinio piko metu (14 – 16 lentelės) pažymėtinos dominuojančios (95 proc.) srautų į Užnemunės g. ir Veiverių g. kryptys – atitinkamai 610 ir 749 aut./h.

Transporto srautas Vytauto Didžiojo tiltu, nuo miesto centro, vakarinio piko metu maždaug 45 proc. didesnis nei rytinio piko metu – atitinkamai 1432 aut./h ir 985 aut./h.

Apibendrinant transporto srautų Vytauto Didžiojo tiltu duomenis, atkreiptinas dėmesys, kad rytinio piko metu link miesto centro važiuoja du kartus daugiau transporto priemonių nei iš centro – 1971 ir 985 aut./h atitinkamai. Rytinio piko metu stebimas nuolatinis spūsčių Užnemunės g. ir Veiverių g. susidarymas – eismo tiltu link miesto centro organizavimas dvejomis eismo juostomis reikiamo laidumo neužtikrina. Tuo tarpu, didelis eismo tiltu iš miesto centro intensyvumas (1432 aut./h) sąlygoja sistemingai susidaranti spūstis ant tilto ir jo prieigose, t.y. Karaliaus Mindaugo pr.

14 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Užnemunės g. (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	48	0	0	48
Nuo 16:45val iki 16:50val	61	0	1	62
Nuo 16:50val iki 16:55val	58	0	1	59
Nuo 16:55val iki 17:00val	51	0	0	51
Nuo 17:00val iki 17:05val	45	0	1	46
Nuo 17:05val iki 17:10val	49	0	0	49
Nuo 17:10val iki 17:15val	50	0	1	51
Nuo 17:15val iki 17:20val	46	1	0	47
Nuo 17:20val iki 17:25val	52	0	0	52
Nuo 17:25val iki 17:30val	46	0	0	46
Nuo 17:30val iki 17:35val	45	0	1	46
Nuo 17:35val iki 17:40val	52	0	1	53
Nuo 16:40val iki 17:40val	603	1	6	610

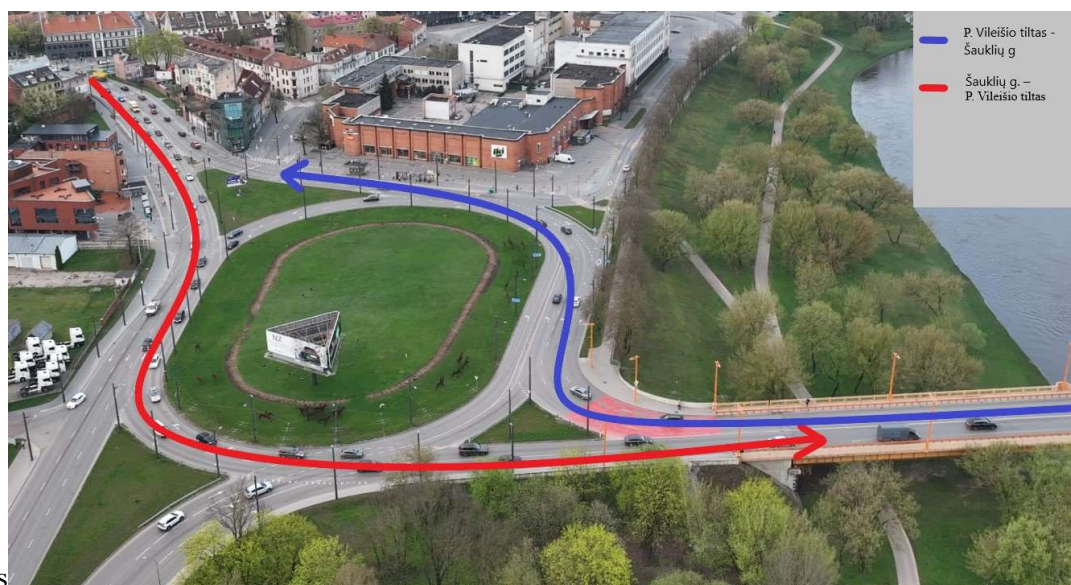
15 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – H. ir O. Minkovskių g. (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	7	0	0	7
Nuo 16:45val iki 16:50val	4	0	0	4
Nuo 16:50val iki 16:55val	7	0	0	7
Nuo 16:55val iki 17:00val	5	0	0	5
Nuo 17:00val iki 17:05val	11	0	0	11
Nuo 17:05val iki 17:10val	9	0	0	9
Nuo 17:10val iki 17:15val	6	0	0	6
Nuo 17:15val iki 17:20val	6	0	0	6
Nuo 17:20val iki 17:25val	3	0	0	3
Nuo 17:25val iki 17:30val	4	0	0	4
Nuo 17:30val iki 17:35val	5	0	0	5
Nuo 17:35val iki 17:40val	6	0	0	6
Nuo 16:40val iki 17:40val	73	0	0	73

16 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – Veiverių g. (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	59	0	1	60
Nuo 16:45val iki 16:50val	59	0	1	60
Nuo 16:50val iki 16:55val	54	0	1	55
Nuo 16:55val iki 17:00val	67	0	0	67
Nuo 17:00val iki 17:05val	71	0	0	71
Nuo 17:05val iki 17:10val	62	0	1	63
Nuo 17:10val iki 17:15val	66	0	1	67
Nuo 17:15val iki 17:20val	63	0	3	66
Nuo 17:20val iki 17:25val	62	0	0	62
Nuo 17:25val iki 17:30val	64	0	1	65
Nuo 17:30val iki 17:35val	64	0	2	66
Nuo 17:35val iki 17:40val	47	0	0	47
Nuo 16:40val iki 17:40val	738	0	11	749

Stebėjimo poste Nr. 3 (pozic. 7 pav.) buvo fiksuojami transporto srautai kryptimis P. Vileišio tiltas – Šauklių g. ir Šauklių g. – P. Vileišio tiltas. Fiksuojamų srautų schema pateikta 15 pav.



15 pav. Poste Nr.3 fiksuojamų transporto srautų schema

Atliekant transporto srautų stebėjimo video medžiagos analizę, nustatyti transporto srautai rytinio ir vakarinio piko metu. Transporto priemonių skaičius buvo nustatomas 5 minučių intervalais, susiskirstant jas į tris kategorijas: lengvieji automobiliai, sunkvežimiai ir autobusai. Gautieji transporto srautų duomenys pateikti 17 - 20 lentelėse.

17 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi P. Vileišio tiltas – Šauklių g. (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	132	0	3	135
Nuo 7:25val iki 7:30val	96	1	4	101
Nuo 7:30val iki 7:35val	129	0	4	133
Nuo 7:35val iki 7:40val	99	1	5	105
Nuo 7:40val iki 7:45val	98	0	2	100
Nuo 7:45val iki 7:50val	96	0	5	101
Nuo 7:50val iki 7:55val	76	0	2	78
Nuo 7:55val iki 8:00val	59	0	1	60
Nuo 8:00val iki 8:05val	90	0	7	97
Nuo 8:05val iki 8:10val	93	2	6	101
Nuo 8:10val iki 8:15val	94	2	1	97
Nuo 8:15val iki 8:20val	110	0	7	117
Nuo 7:20val iki 8:20val	1172	6	47	1225

18 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Šauklių g. – P. Vileišio tiltas (rytinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 7:20val iki 7:25val	77	0	3	80
Nuo 7:25val iki 7:30val	81	0	5	86
Nuo 7:30val iki 7:35val	92	1	3	96
Nuo 7:35val iki 7:40val	73	1	3	77
Nuo 7:40val iki 7:45val	50	0	4	54
Nuo 7:45val iki 7:50val	108	0	3	111
Nuo 7:50val iki 7:55val	84	0	4	88
Nuo 7:55val iki 8:00val	96	0	5	101
Nuo 8:00val iki 8:05val	89	0	1	90
Nuo 8:05val iki 8:10val	74	0	3	77
Nuo 8:10val iki 8:15val	85	0	3	88
Nuo 8:15val iki 8:20val	62	0	4	66
Nuo 7:20val iki 8:20val	971	2	41	1014

Analizuojant P. Vileišio tiltu pravažiuojančių transporto priemonių duomenis (17 - 20 lentelės), pažymėtinas artimas savo dydžiu transporto srautas rytinio ir vakarinio piko metu kryptimis P. Vileišio tiltas – Šauklių g. – atitinkamai 1225 aut./h ir 1216 aut./h.

Tuo tarpu, vertinant transporto srautus kryptimi P. Vileišio tiltas – Šauklių g., pažymėtina, kad vakarinio piko metu tiltu pravažiuoja 30 proc. daugiau transporto priemonių nei rytinio piko metu – atitinkamai 1318 aut./h ir 1014 aut./h.

Atliekant tyrimus šiame transporto mazge fiksuotas spūsčių formavimasis ant P. Vileišio tilto ir jo prieigose. Naujos jungties – Kėdainių g. tilto integravimas į gatvių tinklą ir eismo organizavimas juo sąlygos mažesnę eismo intensyvumą šiame transporto mazge ir padidins gatvių tinklo laidumą.

19 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi P. Vileišio tiltas – Šauklių g. (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	116	0	6	122
Nuo 16:45val iki 16:50val	100	0	4	104
Nuo 16:50val iki 16:55val	94	0	6	100
Nuo 16:55val iki 17:00val	84	0	4	88
Nuo 17:00val iki 17:05val	111	0	6	117
Nuo 17:05val iki 17:10val	102	0	4	106
Nuo 17:10val iki 17:15val	94	0	4	98
Nuo 17:15val iki 17:20val	126	0	2	128
Nuo 17:20val iki 17:25val	96	0	3	99
Nuo 17:25val iki 17:30val	88	0	3	91
Nuo 17:30val iki 17:35val	95	0	1	96
Nuo 17:35val iki 17:40val	63	1	3	67
Nuo 16:40val iki 17:40val	1169	1	46	1216

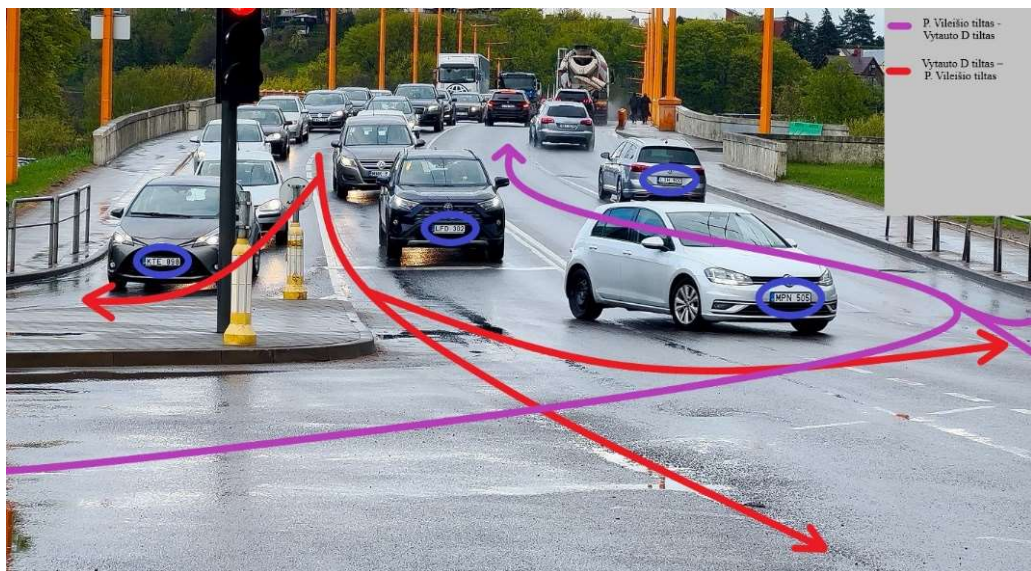
20 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimi Šauklių g. – P. Vileišio tiltas (vakarinis pikas)

Stebėjimo laikas	Transporto priemonės			
	Lengvieji automobiliai	Sunkvežimiai	Autobusai	Bendras transporto priemonių skaičius
Nuo 16:40val iki 16:45val	100	1	1	102
Nuo 16:45val iki 16:50val	107	0	2	109
Nuo 16:50val iki 16:55val	111	1	3	115
Nuo 16:55val iki 17:00val	129	0	3	132
Nuo 17:00val iki 17:05val	114	0	3	117
Nuo 17:05val iki 17:10val	110	0	1	111
Nuo 17:10val iki 17:15val	104	1	0	105
Nuo 17:15val iki 17:20val	108	0	3	111
Nuo 17:20val iki 17:25val	92	1	2	95
Nuo 17:25val iki 17:30val	97	0	2	99
Nuo 17:30val iki 17:35val	106	0	4	110
Nuo 17:35val iki 17:40val	108	0	4	112
Nuo 16:40val iki 17:40val	1286	4	28	1318

Stebėjimo poste Nr. 4 ir 5 (pozic. 7 pav.) buvo fiksuojami transporto srautai kryptimis P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas ir Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas. Fiksuojamų srautų schemos pateiktos 16 ir 17 pav.



16 pav. Poste Nr.4 fiksuojamų transporto srautų schema



17 pav. Poste Nr.5 fiksuojamų transporto srautų schema

Atliekant transporto srautų stebėjimo video medžiagos analizę, nustatyti transporto srautai rytinio ir vakarinio piko metu kryptimis P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas ir Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas. Kad identifikuoti nuo vieno iki kito tilto atvykstančias transporto priemones, buvo fiksuojami pravažiuojančių transporto priemonių valstybiniai (registracijos) numeriai, juos užrašant stebėjimo duomenų registravimo lapuose. Siekiant paspartinti transporto priemonių sutapties 4 ir 5 postuose paiešką, pasitelkta „Python“ programavimo programa. Gautieji transporto srautų duomenys pateikti 21 lentelėje.

21 lentelė. Transporto srautų duomenys kryptimis P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas ir Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas

	P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas		Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas	
	Rytinis pikas	Vakarinis pikas	Rytinis pikas	Vakarinis pikas
Bendras transporto priemonių skaičius	157	186	191	146

Apibendrinant atliktų transporto srautų tyrimų duomenis, galima konstatuoti, kad rytinio piko metu dešimtadalis Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojančių transporto priemonių (srautai iš Užnemunės g., H. Ir O. Minkovskių g. ir Veiverių g.), judėdamos Karaliaus Mindaugo, Birštono, Šv. Gertrūdos ir Šauklių g., pravažiuoja P. Vileišio tiltą (~191 aut./h). Vakarinio piko metu fiksuota didesnė - 13 procentų siekianti transporto srauto kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas dalis (~146 aut./h).

Priešinga tendencija nustatyta analizuojant transporto srautus kryptimi P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas. Didesnė transporto srauto minėtu maršrutu dalis – 16 procentų, stebėta rytinio piko metu (~157 aut./h). Tuo tarpu vakarinio piko metu, Vytauto Didžiojo tiltą pasiekia 13 procentų P. Vileišio tiltu pravažiuojančių transporto priemonių (~186 aut./h).

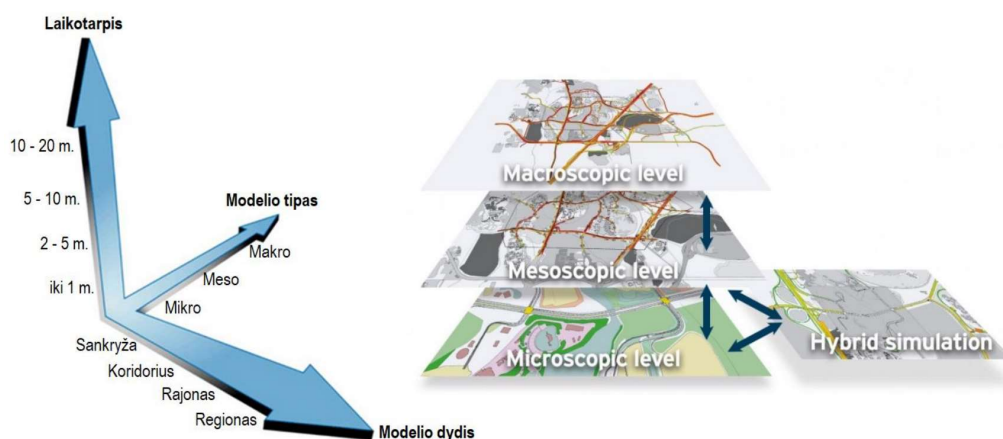
Gautieji transporto tyrimų duomenys leidžia teigti, kad naujos jungties – Kėdainių g. tilto integravimas į miesto gatvių tinklą ir potencialus transporto srautų persiskirstymas sąlygotų 10 – 16 procentų sumažėjusį eismo Šauklių g., Šv. Gertrūdos g., Gimnazijos g., Birštono g. ir Karaliaus Mindaugo pr. intensyvumą, atitinkamai, padidėjusį gatvių tinklo laidumą ir mažėjančias eismo spūstis. Eismas naujajai gatvių tinklo jungtimi potencialiai lems mažėjančią miesto gyventojų kelionėms gaištamą laiką, mažėjančią oro taršą ir triukšmą.

3. Eismo naujoje gatvių tinklo jungtyje modeliavimas

3.1. Eismo modeliavimo lygmenys ir naudojama programinė įranga

Makroskopiniame lygyje sprendžiamas didelis transporto tinklas regiono lygiu. Šis modelis leidžia palyginti bendrą miesto susisiekimo lygį ir įvertinti naujų infrastruktūros pokyčių įtaką dideliame tinklui. Tai padeda bendram miesto ar regiono srautų planavimui ilgalaikėje perspektyvoje. Šiam modeliavimo lygiui pradinių duomenų kiekiui užtenka apytikslių skaičiavimų. Modelio kūrimui reikiami duomenys: žemės naudojimas, transporto tinklas/geometrija, atributai, kelionių skaičius bei pobūdis (srautai, OD matricos), kelionės rodikliai (modalinis pasidalijimas, kelionės trukmė, kaina) [27,40].

Mezoskopinio lygmens atveju modelis kuriamas bendru miesto ar jo rajono lygiu. Jo tikslumas yra tarp makroskopinio ir mikroskopinio modelių, neapima smulkių charakteristikų, pvz. pėsčiųjų eismas, lenkimo galimybės, tačiau įvertina sankryžų ir gatvių susikirtimo parametrus. Modeliuojant mezoskopiniame lygmenyje, aktualūs duomenys: detalus transporto tinklas/geometrija, atributai, kelionių skaičius bei pobūdis (srautai, OD matricos), kelionės rodikliai (modalinis pasidalijimas, kelionės trukmė, kaina), detalūs sankryžų parametrai.



18 pav. Eismo modeliavimo lygmenys[27]

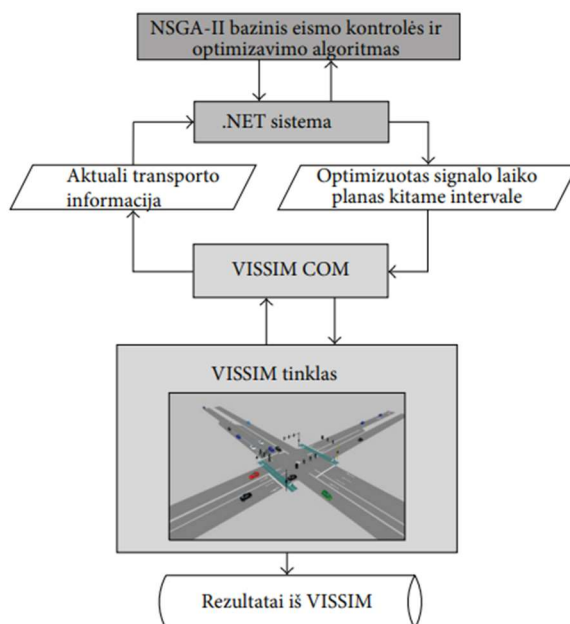
Praktikoje naudojamas ir hibridinis lygmuo - jame programa susieja mikro ir mezo tinklų duomenis į vieną sąsają, išskiriant juos kaip atskirus plotus ar kelis sluoksnius. Tai leidžia analizuoti didesnes teritorijas, norit jose išnagrinėti ir atskiras konkrečias vietas (sankryžas, įvažiavimus, persirikiavimo juostas, viešojo transporto juostas ir stotelės), kuriose reikia mikroskopinio modeliavimo charakteristikų, siekiant įvertinti jų įtaką platesniam gatvių ar kelių tinklui. Šiuo atveju pasitelkiami mezoskopinio ir mikroskopinio lygio duomenys[36].

Mikroskopiniame lygmenyje analizuojami transporto priemonių srautai lokaliame miesto gatvių tinkle, kuriame vertinama jų charakteristikos, lenkimo galimybės, šviesoforų darbo laikas, viešojo transporto ir pėsčiųjų eismas. Kuriant tokias simuliacijas, dėl didelio įvertinamų parametrų skaičiaus, reikalingas didelis kiekis duomenų. Šiame lygmenyje aktualūs duomenys: labai detalus transporto tinklas/geometrija, atributai, kelionių skaičius bei pobūdis (srautai, OD matricos) kelionės rodikliai (modalinis pasidalijimas, kelionės trukmė, kaina), detalūs sankryžų parametrai įvedimas ir visų kitų eismo infrastruktūros objektų ir valdikių įvedimas[33].

Šiame darbe modeliavimui atlikti pasirinkta pasaulyje lyderiaujanti programinė įranga PTV Vissim. Su šia programine įranga galima ganėtinai paprastai atlikti transporto priemonių, viešojo transporto, dviračių ir motociklų, bei pėsčiųjų srautų modeliavimą. Sudarytuose modeliuose nesudėtingai integruojamos transporto jungtys, galimas jų modifikavimas pagal realią situaciją. Vienas didžiausių šios programinės įrangos privalumų yra tai, kad viename modelyje analizuojami visi kelių eismo dalyviai ir jų sąveika tarpusavyje. Atliekant modeliavimą atsižvelgiama ir įvertinami moksliskai pagrįsti transporto priemonių judėjimo modeliai. Pagrindiniai PTV Vissim privalumai, lyginant su kitais įrankiais [8]:

- PT Vissim sukurta naudojant .NET sistemą, kas leidžia lengvai kurti ir pridėti papildomus programinius priedelius prie pagrindinės sistemos;
- plačios galimybės kalibruoti vairuotojų elgesį ir eismo sąlygas;
- naudojantis šia programine įranga, pasitelkiami geriausi įrankiai signalų valdymo strategijoms sudaryti: NEMA valdiklio emuliatorius, VAP aktyvuojamo programavimo kalba, SCAPI signalų valdymo taikomųjų programų programavimo sąsajos ir kt.

PTV Vissim veikimas yra pagrįstas NSGA-II algoritmu (19 pav.). Tai - vienas iš dažniausiai naudojamų daugiatakslinių genetinių paieškos algoritmų. Siekiant užtikrinti dideles paieškos erdves, šis algoritmas buvo kuriamas taip, kad būtų galima taikyti baigtinių galimų sprendimų sąrašus. Šis algoritmas mažomis sąnaudomis gali generuoti aukštos kokybės Pareto optimalių sprendimų frontus, kitaip sakant optimalių sprendimų rinkinius, vadinamuosius nedominuojančius sprendimus. Nedominuojantys sprendimai – sprendimai, suteikiantys tinkamą sprendimo variantą nepažeidžiant nei vieno išsikelto tikslo. Taip ieškant sprendimo variantų yra atsakoma į visas optimizavimo klausimus [32]. Šis algoritmas dirba kartu su jau minėta .NET sistema, suteikiančia prieigą prie įvairių jau sukurtų bibliotekų, taip suteikiant galimybę lengvai pritaikyti programą specialioms poreikiams.



19 pav. Programinės įrangos PTV Vissim veikimo algoritmas[8]

3.2. Naujos gatvių tinklo jungties (Kėdainių g. tilto) modelio sudarymas

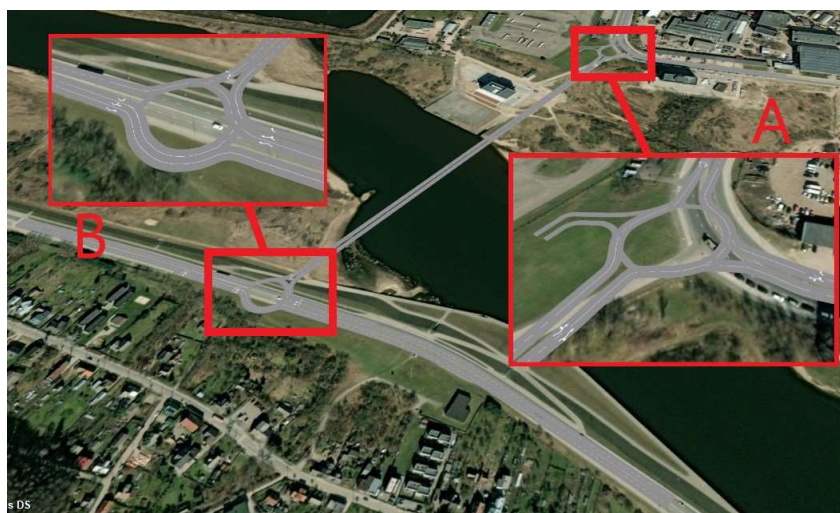
Siekiant nustatyti racionaliausią eismo organizavimo požiūriu naujos transporto jungties – Kėdainių g. tilto integravimo į Kauno miesto gatvių tinklą scenarijų/ atvejį, PTV Vissim programine įranga atliekamas modeliavimas. Atsižvelgiant į 2-ajame skyriuje gautus transporto srautų tyrimų rezultatus ir įvertinant esamus bei perspektyvinius galimus transporto srautus naujos jungties integravimo vietų priegose (Brastos g., Užnemunės g.), šiame tyrimo etape modeliuojami du jungties integravimo scenarijai.

1-asis scenarijus. Kėdainių g. tiltas su Brastos g. jungiamas žiedine sankryža, o su Užnemunės g. – dviejų lygių sankryža (20 pav., atitinkamai A ir B pozic.).



20 pav. 1-asis modeliavimo scenarijus

2 – asis scenarijus. Kėdainių g. tiltas su Brastos g. jungiamas žiedine sankryža, o su Užnemunės g. - turbo žiedine sankryža (21 pav., atitinkamai A ir B pozic.).



21 pav. 2-asis modeliavimo scenarijus

Sudarant naujos jungties modelį, įvertinami realūs gatvių tinklo elementais/geometrija ir detalūs sankryžų parametrai, greičio pokyčiai sankryžų posūkiuose ir konfliktinėse vietose. Modelyje

neįvertinamas pėsčiųjų eismas, lenkimo galimybės, tačiau įvertinami sankryžų ir gatvių susikirtimo parametrai.

Kitame žingsnyje numatomas transporto priemonių judėjimas modelyje, remiantis transporto srautų tyrimų rezultatais. Modelyje numatyta dvylika galimų transporto priemonių judėjimo krypčių:

- H. ir O. Minkovskių g. (nuo Vytauto Didžiojo tilto) – Užnemunės g. (link Marvelės);
- H. ir O. Minkovskių g. (nuo Vytauto Didžiojo tilto) – Brastos g. (link P. Vileišio tilto);
- H. ir O. Minkovskių g. (nuo Vytauto Didžiojo tilto) – Brastos g. (link Raudondvario pl.);
- Raudondvario pl. – H. ir O. Minkovskių g. (link Vytauto Didžiojo tilto);
- Raudondvario pl. – Užnemunės g. (link Marvelės);
- Raudondvario pl. – Brastos g. (link P. Vileišio tilto);
- Brastos g. (nuo P. Vileišio tilto) – Užnemunės g. (link Marvelės);
- Brastos g. (nuo P. Vileišio tilto) – Užnemunės g. (link Vytauto Didžiojo tilto);
- Brastos g. (nuo P. Vileišio tilto) – Raudondvario pl.;
- Užnemunės g. (nuo Marvelės) – Brastos g. (link P. Vileišio tilto);
- Užnemunės g. (nuo Marvelės) – Raudondvario pl.;
- Užnemunės g. (nuo Marvelės) – Užnemunės g. (link H. ir O. Minkovskių g.).

Eismo intensyvumas kiekvienoje šių krypčių užduodamas įvertinant atliktų transporto srautų tyrimų duomenis. Nesant galimybės tiksliai numatyti Kėdainių g. tiltu pravažiuojančių transporto priemonių pasiskirstymą įvairiomis kryptimis, šie duomenys užsiduodami procentinėmis dalimis nuo nustatytų transporto srautų kryptimis P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas ir Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas. Transporto srautų pasiskirstymo numatytais kryptimis modelyje duomenys pateikti 22 lentelėje.

22 lentelė. Transporto srautų pasiskirstymo numatytais kryptimis modelyje duomenys maršrutus

Rytinis pikas (nuo 7.20 val. iki 8.20 val.)			
Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojantis transportas (157 aut./h)		Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojantis transportas (191 aut./h)	
Kryptis į	Procentinė dalis	Kryptis nuo	Procentinė dalis
Užnemunės g	29	Užnemunės g	52
Veiverių g.	63	Veiverių g.	43
H. ir O. Minkovskių g.	8	H. ir O. Minkovskių g.	5
Vakarinis pikas (nuo 16:40 val. iki 17:40 val.)			
Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojantis transportas (186 aut./h)		Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojantis transportas (146 aut./h)	
Kryptis į	Procentinė dalis	Kryptis nuo	Procentinė dalis
Užnemunės g	43	Užnemunės g	40
Veiverių g.	52	Veiverių g.	52
H. ir O. Minkovskių g.	5	H. ir O. Minkovskių g.	8

Modeliuojant transporto srautus, įvertinamas transporto priemonės tipas (lengvasis automobilis, sunkvežimis, autobusas). Remiantis gautais tyrimų duomenimis, modelyje procentine dalimi skirtingomis kryptimis užsiduodami minėtų transporto priemonių tipų srautai. 93 proc. bendro nuo Marvelės ir H. O. Minkovskių g. atvažiuojančių transporto priemonių skaičiaus sudaro lengvieji

automobiliai, 2 proc. - sunkvežimiai ir 5 proc. - autobusai. Nuo Brastos g. visos atvažiuojančios transporto priemonės yra lengvieji automobiliai.

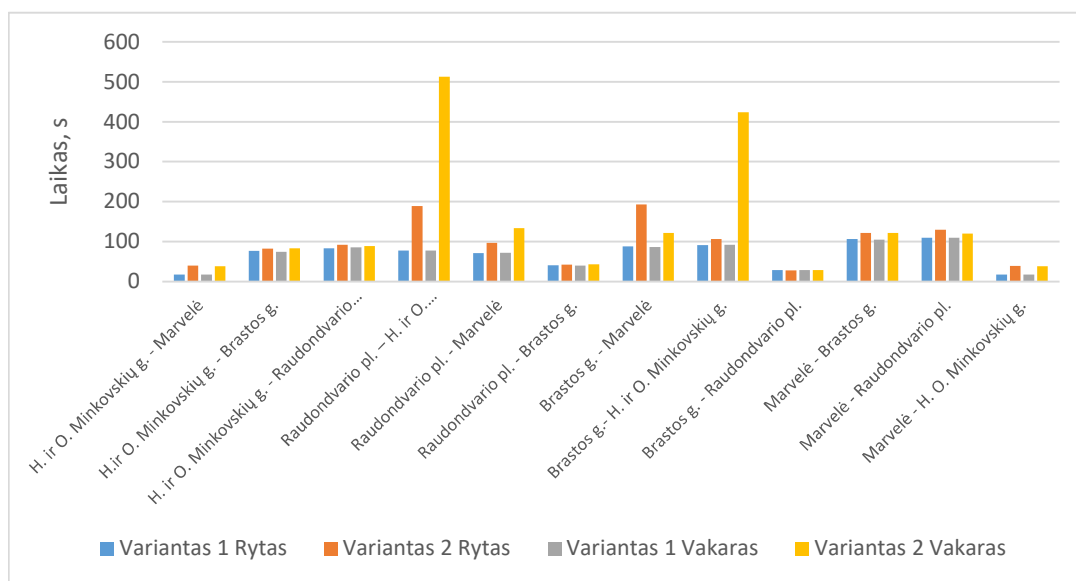
3.3. Kėdainių g. tilto integravimo į gatvių tinklą scenarijai ir modeliavimo rezultatų analizė

Pradiniame modeliavimo etape, abiejų scenarijų modeliavimas atliktas remiantis 2-ajame skyriuje pateiktais transporto srautų tyrimų duomenimis rytinio ir vakarinio piko metu – atitinkamai nuo 7:20 iki 8:20 val. ir nuo 16:40 iki 17:40 val. Lyginamoji 1-ojo ir 2-ojo scenarijaus analizė atlikta įvertinant šiuos kriterijus:

- vidutinis maršrutui įveikti užtrunkamas laikas;
- bendras vidutinis srauto greitis;
- susidarančių spūsčių ilgiai;
- Vidutines prastovas prie įvažiavimų į sankryžas
- eismo sankryžose kokybės lygį (LOS).

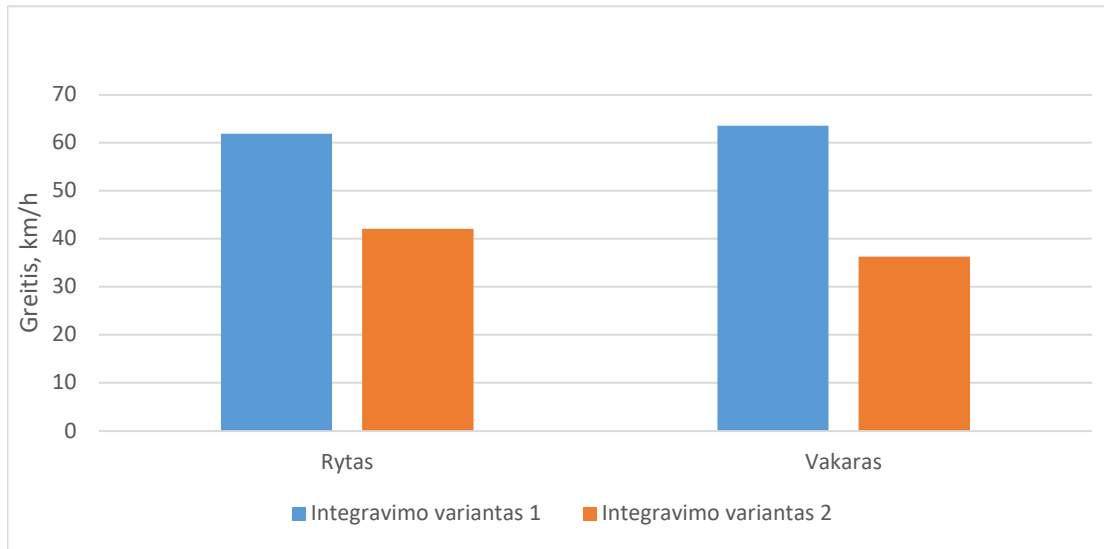
Laikas, užtrunkamas įveikiant galimus maršrutus, indikuoja sprendimų modelyje efektyvumą. Abiejų scenarijų modeliuose užtrunkamas laikas nustatomas vienoduose matavimo pradžios ir pabaigos pozicijose. Gautieji vidutiniai maršruto įveikimo laikai pateikiami 22 pav.

Lyginant modeliavimo, abiem scenarijais, rezultatus, stebimas ženklus vidutinio maršrutui įveikti užtrunkamo laiko reikšmių skirtumas, transporto priemonėms judant nuo Vilijampolės pusės Kėdainių g. tiltu. Tai būdinga tiek rytiniam, tiek vakariniam pikui.



22 pav. Vidutinis maršrutui įveikti užtrunkamas laikas esant nustatytiems transporto srautams

Didžiausi skirtumai stebimi kryptimi Raudondvario pl. – H. ir O. Minkovskių g. Rytinio piko metu vidutinio kelionės laiko reikšmės 1-uoju ir 2-uoju scenarijumi skiriasi apie 2,5 karto, o vakarinio piko metu - netgi 6,6 karto. Lygint kitas kryptis, pažymėtinas tolygumas, kartu atkreipiant dėmesį, kad 2-ajame scenarijuje vidutinio maršrutui įveikti užtrunkamo laiko reikšmės yra didesnės.



23 pav. Vidutinis srauto greitis esant nustatytiems transporto srautams

Kitas vertinamas svarbus eismo kokybės, kartu ir siūlomų sprendimų efektyvumą, charakterizuojantis rodiklis - vidutinis greitis, kuriuo įveikiamas tiriamas transporto sistemos elementas. Lyginant vidutinio srauto greičio reikšmes 1-uoju ir 2-uoju scenarijumi, stebimas ryškus dėsningumas (23 pav.).

Kėdainių g. tilto jungimo su Užnemunės g. dviejų lygių sankryža atveju, vidutinis greitis rytinio piko metu yra 61,89 km/h, o vakarinio piko metu - 63,52km/h. Tuo tarpu Turbo žiedinės sankryžos Užnemunės g. atveju, greičio reikšmės rytinio ir vakarinio piko metu mažesnės atitinkamai 33,7% ir 42,84 % - 42,1 km/h ir 36,31km/h.

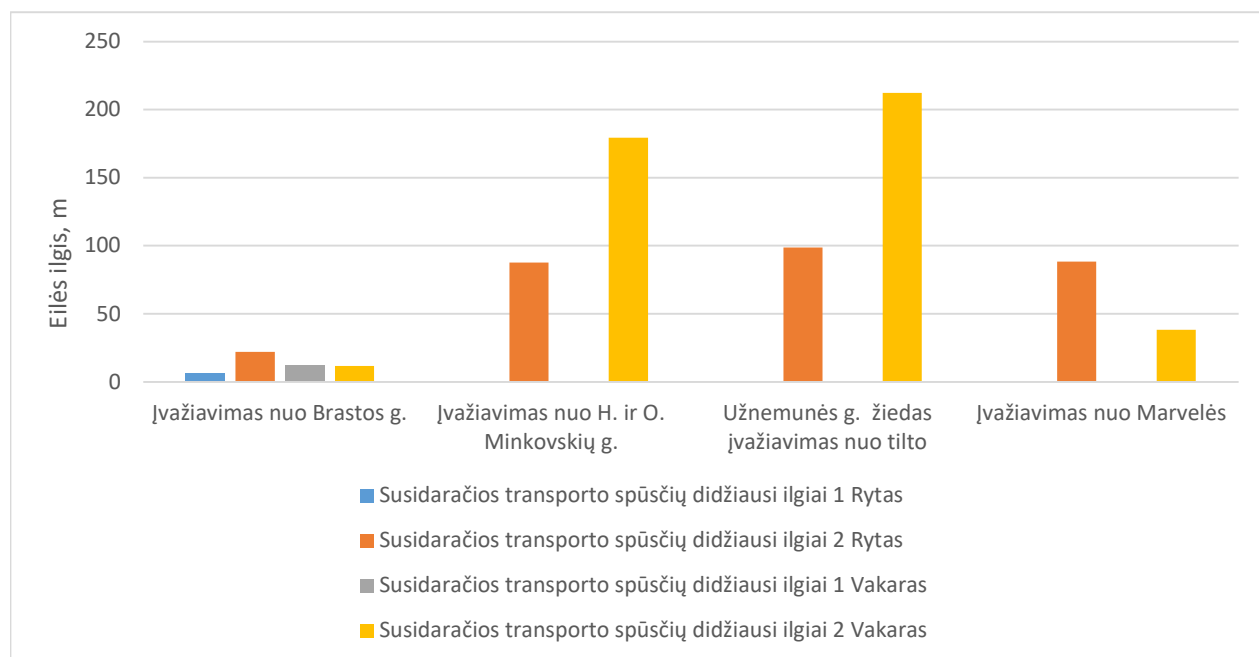


24 pav. Spūsties formavimasis vakarinio piko metu ties įvažiavimu į turbo žiedinę sankryžą Užnemunės g.

(2-asis scenarijus)

Mažesnes vidutinio srauto greičio reikšmes lemia kelios priežastys, kurių viena pagrindinių - priverstinis greičio mažinimas norint įveikti žiedinę sankryžą. Prieš įvažiudama į žiedinę sankryžą transporto priemonė privalo praleisti joje jau važiuojančias transporto priemones. Tokie privalomi sustojimai ne tik stabdo eismo srautą, formuoja spūstis, bet gali sukelti ir konfliktines/avarines

situacijas. Tai - iš esmės vieni pagrindinių žiedinės sankryžos trūkumų, lygint ją su dviejų lygių sankryža. Esant ganėtinai dideliems transporto srautams, modeliuojant nustatyta, kad žiedinė Turbo sankryža neužtikrina efektyvaus transporto srautų judėjimo - ties visais įvažiavimais ima formuotis spūstys, kas nebuvo stebima dviejų lygių sankryžos atveju (24 pav.).

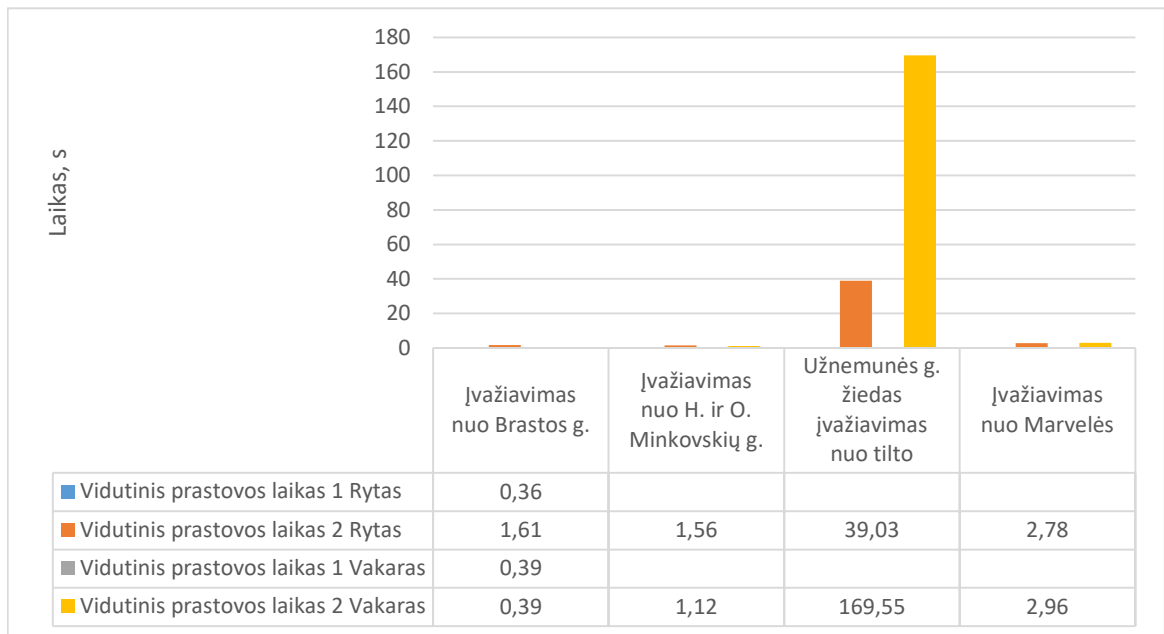


25 pav. Susidarančių spūsčių didžiausi ilgiai esant nustatytiems transporto srautams

Rytinio piko metu spūstys susidaro ties kiekvienu įvažiavimu į žiedinę sankryžą. Didžiausia spūstis rytinio piko metu modeliuojant susidarė tie įvažiavimu į Užnemunės g. nuo Kėdainių g. tilto - siekė 98,97 m. Įvažiavime nuo Marvelės – 88,42 m ir įvažiavime nuo H. ir O. Minkovskių g. krypties - 87,56 m. Vakarinio piko metu stebima situacijos blogėjimo tendencija, ties įvažiavimo nuo H. ir O. Minkovskių g. susidaro 179,2 m ilgio ir ties įvažiavimu nuo Kėdainių g. tilto į Užnemunės g. – 212,17 m (25 pav.). Įvažiavime nuo Marvelės dėl mažesnio transporto eismo stebimas situacijos pagerėjimas - susidarančių spūsčių didžiausias ilgis – 38,23 m.

Abiem modeliuotais scenarijais fiksuotas nežymus spūsčių formavimasis su Brastos g. Kėdainių g. tiltą jungiančioje žiedinėje sankryžoje (Vilijampolėje). Ties įvažiavimu nuo Brastos g. abiejų scenarijų atveju spūstys ima formuotis tiek rytinio, tiek vakarinio piko metu. Pirmajame scenarijuje varianto rytinio piko metu – 6 m, vakarinio piko metu – 11,82 m., tuo tarpu antrajame - varianto rytinio piko metu – 22,13 m ir vakarinio piko metu – 11,66 m.

Siekiant įvertinti susidarančių spūsčių įtaką efektyvumui, aktualu išnagrinėti, kiek laiko sugaištama jose. Tuo tikslu abiejuose modeliuojamuose scenarijuose buvo nustatytas vidutinis prastovos laikas vienam automobiliu kiekvienoje susidarančioje eismo spūstyje (26 pav.).



26 pav. Vidutinis prastovos laikas esant nustatytiems transporto srautams

26 pav. pateikiama vidutinė prastova, tenkanti kiekvienai transporto priemonei, pravažiuojančiai žiedine sankryža. Kaip matyti iš pateiktų duomenų, kaip blogesnis sprendimas galėtų būti įvardinta Turbo žiedinė sankryža (2-asis scenarijus). Vidutinė transporto priemonės prastova rytinio piko metu siekia 39,03 s, o vakarinio piko metu - 169,55 s. Vertinant rezultatus kituose įvažiavimuose į sankryžas, galima konstatuoti, kad prastovos nesudaro didelės ir yra toleruotinos.

Išnagrinėjus abu modeliuojamus scenarijus, galimas jų vertinimas pagal kokybės lygius (LOS). Eismo sankryžoje kokybės lygis vertinamas pagal vidutinę prastovą joje - 27 pav. pateikti kokybės lygiai.

	Reguliuojama sankryža	Nereguliuojama Sankryža
Aptarnavimo lygis	Vid. prastova, s	Vid. prastova, s
A	0-10	0-10
B	10-20	10-15
C	21-35	16-25
D	36-55	26-35
E	56-80	36-50
F	>80	>50

27 pav. Kokybės lygių vertinimo lentelė[31]

Remiantis 1-ojo scenarijaus modeliavimo rezultatais tiek rytinio, tiek vakarinio piko metu, dviejų lygių sankryža vertinama kaip A kokybės lygio sankryža. Eismo spūsčių formavimasis šioje sankryžoje nebuvo nustatytas. Toks pats vertinimas taikytinas ir žiedinei sankryžai Vilijampolėje, jungiančiai Kėdainių g. tiltą su Brastos g. (28 pav.).



28 pav. Eimo sankryžose kokybės lygiai, 1-asis scenarijus

Remiantis 2-ojo scenarijaus modeliavimo rezultatais rytinio piko metu, Turbo žiedinė sankryža vertinama kaip B kokybės lygio sankryža. Eismo spūsčių formavimasis buvo fiksuojamas, bet prastovos jose nebuvo didelės. Tuo tarpu vertinant modeliavimo rezultatus vakarinio piko metu, šios sankryžos kokybė siekia F lygį – fiksuotos didelės eismo spūstys, jose užtrunkamas laikas ženkliai padidėjęs (29 pav.).

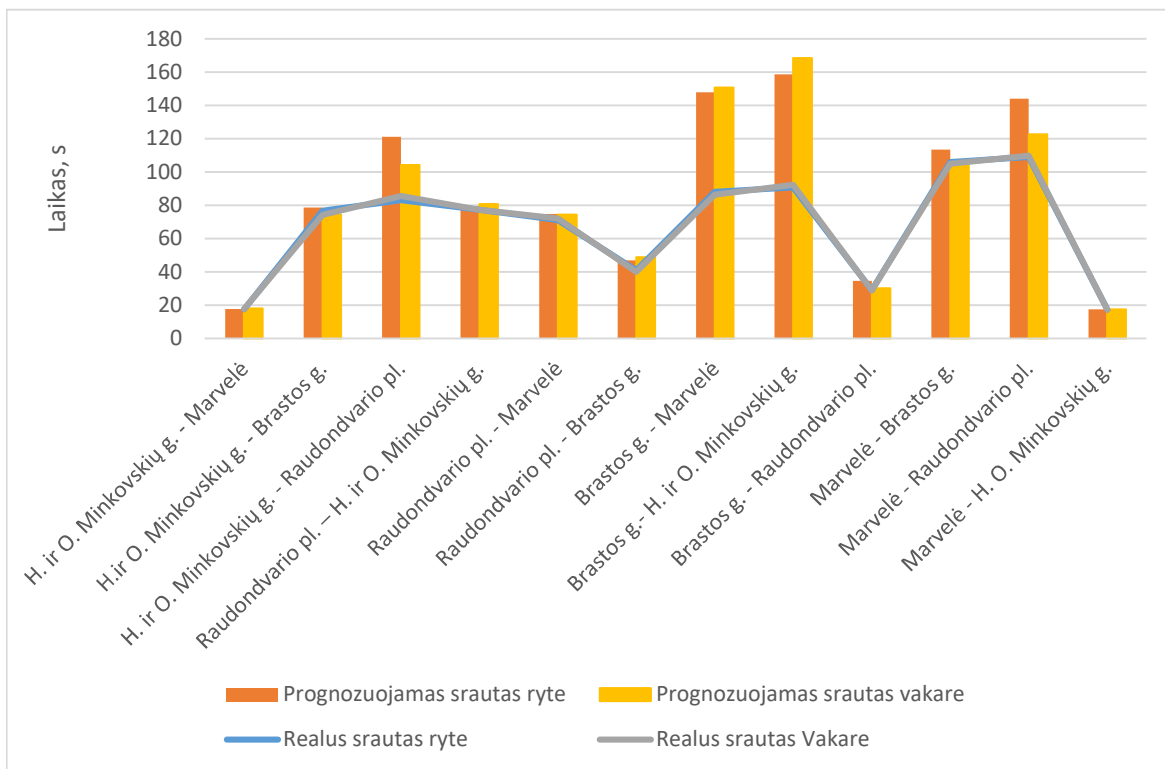


29 pav. Eimo sankryžose kokybės lygiai, 2-asis scenarijus

Apibendrinat modeliavimo rezultatus, darytina išvada, kad 1-asis scenarijus, kuomet Kėdainių g. tiltas su Užnemunės g. jungiamas dviejų lygių sankryža, yra efektyvesnis, eismo saugumą ir mažą gaištį įveikiant sankryžą užtikrinantis tvarus sprendimas.

Integruojant naujas jungtis transporto sistemoje, aktualu atlikti modeliavimą esant ne tik realiems transporto srautų duomenims, bet ir esant ateityje prognozuojamiems. Tikslu įvertinti, ar nauja transporto jungtis integruojama deramai, t.y. ar ir ateityje bus užtikrinamas reikalingas efektyvumas, atliekamas papildomas modeliavimas, naudojant teorinius, 2030 m. prognozuojamus transporto srautus. Atsižvelgiant į statistiką laikotarpyje nuo 2018 m. iki 2022 m., galima pastebėti, kad automobilių skaičiaus augimas Kauno miesto ir Kauno rajono savivaldybėse vidutiniškai didėjo apie 3,5 proc. per metus [30]. Įvertinant tai, kad naujoji jungtis – Kėdainių g. tiltas gali paspartinti Vilijampolės rajono augimą, bei spėjant, kad Kėdainių g. tiltas ilgainiui gali tapti paklausia kelionės

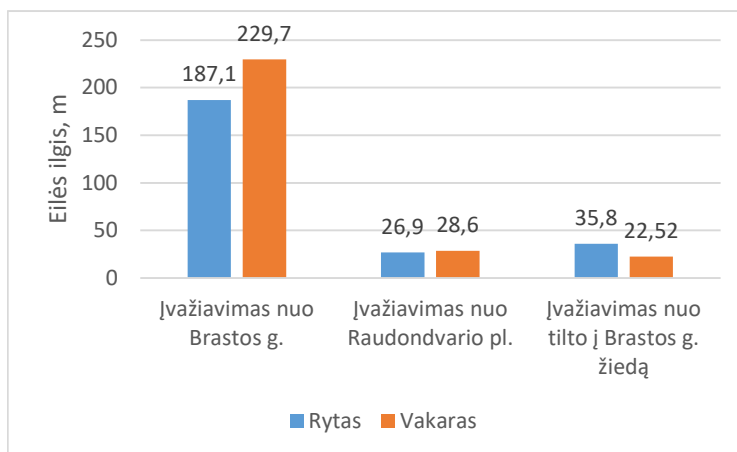
maršruto alternatyva, tyrimų metu nustatyti transporto srautai Kėdainių g. tiltu padidinami 5 kartus, tuo tarpu kiti – tiltu nejudantys transporto srautai – penktadaliu.



30 pav. Vidutinis maršrutui įveikti užtrunkamas laikas esant nustatytiems ir prognozuojamiems srautams

Lyginant vidutinių, maršrutui įveikti, užtrunkamų laikų reikšmes, esant prognozuojamiems ir nustatytiems transporto srautams (30 pav.), galima pastebėti, kad daugumos krypčių atvejais įveikimo laikai sutampa arba yra nežymiai didesni. Žymus skirtumas matomas tik kryptimi nuo Brastos g. link Kėdainių g. tilto ir nuo tilto link Raudondvario pl. Darytina prielaida, kad padidėję transporto srautai generuoja problemą Kėdainių g. tiltą su Brastos g. jungiančioje žiedinėje sankryžoje, ypač įvažiavimo iš Brastos g. atveju.

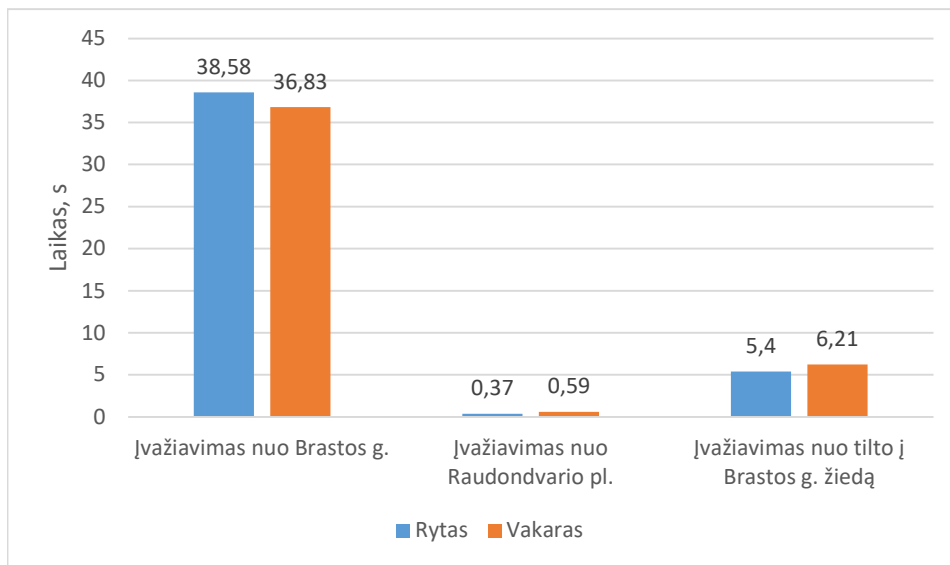
Besirandančią problemą Brastos g. žiede patvirtina modeliavimo metu nustatyti didžiausi susidarantių spūsčių ilgiai (31 pav.).



31 pav. Susidarantių spūsčių didžiausi ilgiai esant prognozuojamiems transporto srautams

Galima pastebėti, kad šioje žiedinėje sankryžoje padidėjus srautams, didėja susidarančių spūsčių ilgiai. Modeliuojant su tyrimais nustatytais transporto srautais, buvo gauta, kad šioje žiedinėje sankryžoje susidaro tik viena spūstis ties įvažiavimu nuo Brastos g. ir jos ilgis buvo tebuvo 6 m. rytinio piko metu ir 11,66 m vakarinio piko metu. Padidėjus transporto srautams, situacija ženkliai kinta ir ties šiuo įvažiavimu rytinio piko metu susiformuoja 187,1 m ilgio spūstis, o vakarinio piko metu - 229,7 m ilgio spūstis. Taip pat atsiranda spūstys ir ties kitai įvažiavimais.

Padidėjus spūstims, automatiškai didėja ir prastovos laikas jose. 32 pav. pateikiamas vidutinis prastovimas laikas prie kiekvieno įvažiavo į sankryžą.



32 pav. Vidutinis prastovos laikas esant prognozuojamiems transporto srautams

Analogiškai, kitiems aukščiau aptartiems kriterijams, labiausiai išauga vidutinė prastova ties įvažiavimu iš Brastos g. Rytinio piko metu ji siekia 38,58 s, o vakarinio piko metu - 36,83 s. Remiantis šiais duomenimis, įvažiavimą iš Brastos g. abiejų piko metu galima laikyti atitinkantį E kokybės lygį. Kiti įvažiavimai atitinka A kokybės lygio reikalavimus.

Padidėjęs srautas ir susidarančios didesnės spūstys taip pat turi įtaką vidutiniam greičiui. Esant nustatytiems transporto srautams, modeliuojant, buvo rasta, kad tiek rytinio, tiek vakarinio piko metu vidutinis greitis sistemoje siekia 60km/h. Padidėjus srautams ir atsiradus didesniai judėjimui tiltu, šis rodiklis pakito - atliktas modeliavimas su prognozuojamais transporto srautais parodė, kad vidutinis greitis sistemoje rytinio piko metu siekia 47,71 km/h, o vakarinio piko metu - 49.77 km/h.

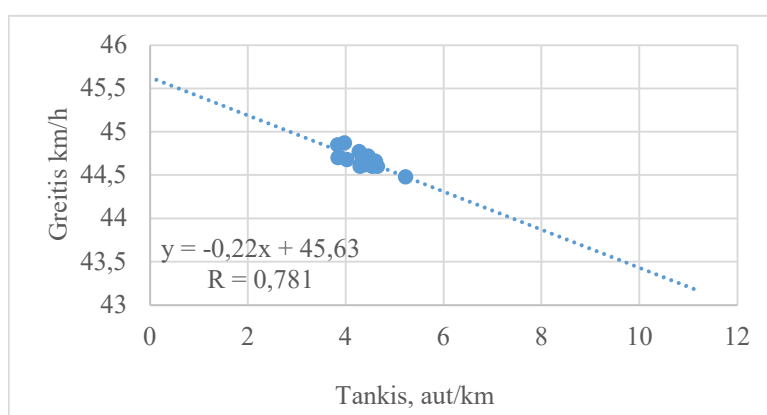


33 pav. Eismo sankryžose kokybės lygiai esant prognozuojamiems eismo srautams

Išanalizavus atlikto modeliavimo su prognozuojamais (2030 m.) transporto srautais rezultatus, galima teigti, kad Kėdainių g. tiltą su Užnemunės g. sujungianti dviejų lygių sankryža užtikrins A kokybės eismo laidumą. Tuo tarpu vertinant dėl didėjančių transporto srautų, Brastos g. žiede lauktini eismo trikdžiai. Ši sankryža, įvertinant prastovos laiko reikšmes, laikytina kaip C kokybės lygiu.

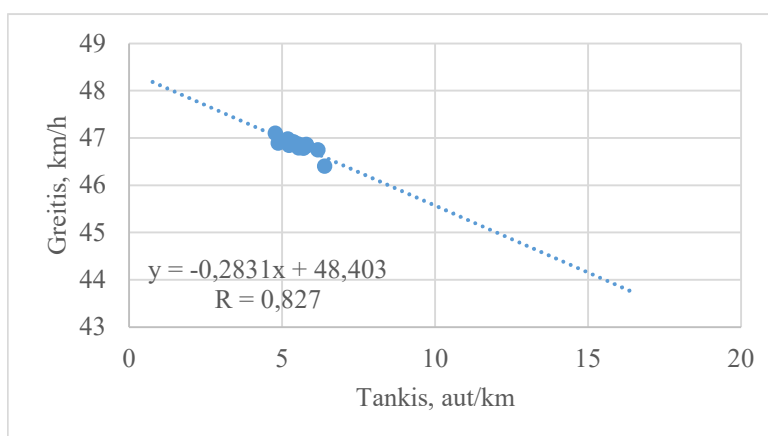
3.4. Modelių patikimumo tikrinimas

Tam, kad įsitikinti, kad modeliavimo metu gautai duomenimis galima pasikliauti, reikia atlikti kiekvieno modelio patikimumo patikrinimą. Tam buvo naudojama tiesinės regresijos analizė pasitelkiant fundamentaliomis diagramomis sudarytomis pagal Greenshieldo modelį. Rezultatų patikimumas bus matuojamas visuose modeliuose, toje pačioje atkarpoje. Buvo pasirinkta patikimumą matuoti Kėdainių g. tilte esančioje atkarpoje nuo Brastos g. žiedinės sankryžos iki įvažiavimo į Užnemunės g.



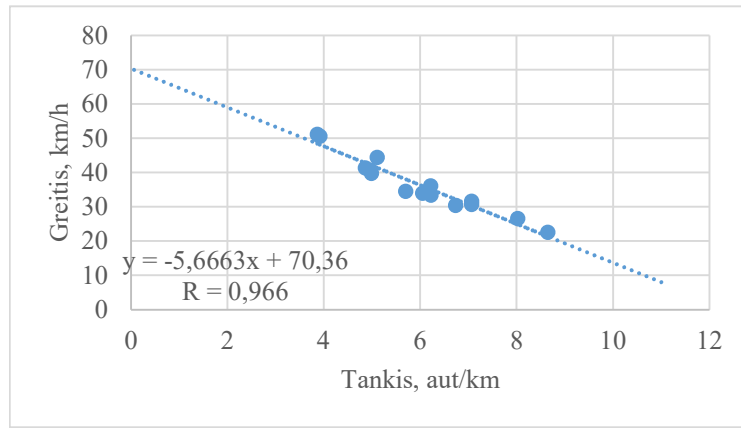
34 pav. Pirmo scenarijaus, rytinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama

Atlikus patikimumo vertinimą pirmajame modeliavimo scenarijuje, modeliuojant rytinį piką (34 pav.) gauta, kad koreliacijos koeficientas R yra lygus 0,781. Kas nurodo kad 78,1 proc. duomenų yra patikimi. Vertinama, kad norint skaityti modelį teisingu, jo duomenų patikimumas turi prilygti bent 70 proc.



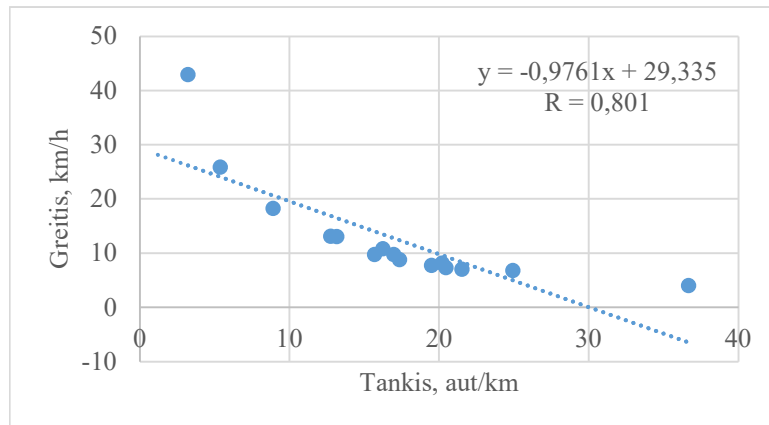
35 pav. Pirmo scenarijaus, vakarinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama

Pagal sudarytą diagramą (35 pav.) galime matyti, kad pirmo modeliavimo scenarijaus vakarinio piko metu, koreliacijos koeficientas buvo gautas 0,827. Kas nurodo, kad 82,7 proc. duomenų yra patikimi.



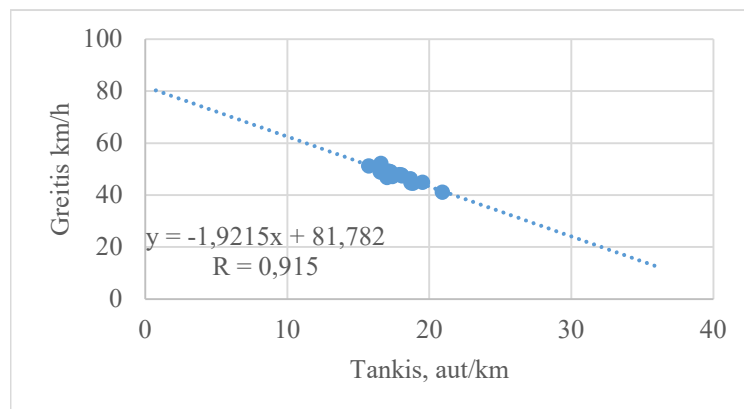
36 pav. Antro scenarijaus, rytinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama

Sudarius diagrama (36 pav.) pagal antrojo modeliavimo scenarijaus, rytinio piko metu gautus rezultatus, nustatyta, kad koreliacijos koeficientas lygus 0,966. Tai nurodo, kad 96,6 proc. gautų duomenų galime laikyti patikimais.



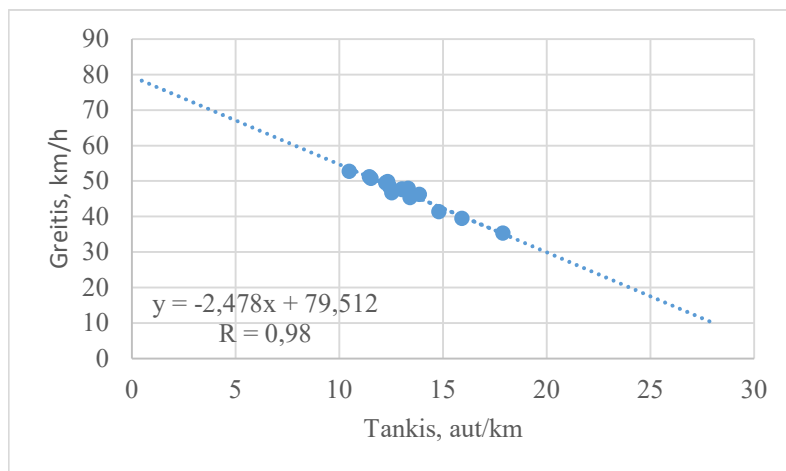
37 pav. Antro scenarijaus, vakarinio piko modeliavimo, fundamentalioji patikimumo diagrama

Iš sudarytos diagramos (37 pav.) pagal antrojo modeliavimo scenarijaus, vakarinio piko metu gautus rezultatus, nustatyta, kad koreliacijos koeficientas lygus 0,801. Tai nurodo, kad 80,1 proc. gautų duomenų galime laikyti patikimais.



38 pav. Pirmo scenarijaus, rytinio piko modeliavimo su padidintais eismo srautais, fundamentalioji patikimumo diagrama

Atlikus modeliavimą pirmame scenarijuje rytinio piko metu su padidintais eismo srautais ir sudarius diagramą (38 pav.) pagal gautus rezultatus, nustatyta, kad koreliacijos koeficientas lygus 0,915. Iš to galime nustatyti, kad 91,5 proc. modeliavimo rezultatų yra patikimi.



39 pav. Pirmo scenarijaus, vakarinio piko modeliavimo su padidintais eismo srautais, fundamentalioji patikimumo diagrama

Taip pat atlikus modeliavimą pirmame scenarijuje vakarinio piko metu su padidintais eismo srautais ir sudarius diagramą (39 pav.) pagal gautus rezultatus, nustatyta, kad koreliacijos koeficientas lygus 0,98. Iš to galime nustatyti, kad 98 proc. modeliavimo rezultatų yra patikimi.

Atlikus visų sudarytų modelių rezultatų patikrinimus, pasitelkiant fundamentaliąsias diagramas kurios buvo sudarytomis pagal Greenshieldo modelį, galima teigti, kad visi modeliavimo rezultatai yra tinkami vertinti. Mažiausias rezultatų patikimumas tikėtinas iš pirmo scenarijaus rytinio piko modeliavimo su esamais tyrimo metu nustatytais eismo srautais 78,1 proc. O didžiausias pirmo modeliavimo scenarijaus, vakarinio piko su padidintais eismo srautais 98 proc.

Išvados

1. Remiantis atliktų transporto srautų tyrimų duomenimis, galima teigti, kad naujos jungties – Kėdainių g. tilto integravimas į miesto gatvių tinklą ir potencialus transporto srautų persiskirstymas sąlygotų 10 – 16 procentų sumažėjusių eismo Šauklių g., Šv. Gertrūdos g., Gimnazijos g., Birštono g. ir Karaliaus Mindaugo pr. intensyvumą, atitinkamai, padidėjusių gatvių tinklo laidumą ir mažėjančias eismo spūstis. Eismas naujajai gatvių tinklo jungtimi potencialiai lems mažėjančią miesto gyventojų kelionėms gaištamą laiką, mažėjančią oro taršą ir triukšmą.
 - 1.1. Rytinio piko metu dešimtadalis Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojančių transporto priemonių (srautai iš Užnemunės g., H. Ir O. Minkovskių g. ir Veiverių g.), judėdamos Karaliaus Mindaugo, Birštono, Šv. Gertrūdos ir Šauklių g., pravažiuoja P. Vileišio tiltą (~191 aut./h). Vakarinio piko metu fiksuota didesnė - 13 procentų siekianti transporto srauto kryptimi Vytauto Didžiojo tiltas – P. Vileišio tiltas dalis (~146 aut./h).
 - 1.2. Priešinga tendencija nustatyta kryptimi P. Vileišio tiltas – Vytauto Didžiojo tiltas. Didesnė transporto srauto minėtu maršrutu dalis – 16 procentų, stebėta rytinio piko metu (~157 aut./h). Tuo tarpu vakarinio piko metu, Vytauto Didžiojo tiltą pasiekia 13 procentų P. Vileišio tiltu pravažiuojančių transporto priemonių (~186 aut./h).
2. Transporto srautų Vytauto Didžiojo tiltu duomenys rodo, kad rytinio piko metu link miesto centro važiuoja du kartus daugiau transporto priemonių nei iš centro – 1971 ir 985 aut./h atitinkamai. Rytinio piko metu stebimas nuolatinis spūsčių Užnemunės g. ir Veiverių g. susidarymas – eismo tiltu link miesto centro organizavimas dvejomis eismo juostomis reikiamo laidumo neužtikrina. Tuo tarpu didelis eismo tiltu iš miesto centro intensyvumas (1432 aut./h) sąlygoja sistemingai susidarancias spūstis ant tilto ir jo prieigose, t.y. Karaliaus Mindaugo pr.
 - 2.1. Vytauto Didžiojo tiltu rytinio piko metu pravažiuojančių transporto priemonių duomenys parodė dominuojantį srautą į Veiverių g. – 62 proc. ir nedidelį – 81 aut./h į H. Ir O. Minkovskių g. Vakarinio piko metu pažymėtinos dominuojančios (95 proc.) srautų į Užnemunės g. ir Veiverių g. kryptys – atitinkamai 610 ir 749 aut./h. Transporto srautas Vytauto Didžiojo tiltu nuo miesto centro vakarinio piko metu maždaug 45 proc. didesnis nei rytinio piko metu – atitinkamai 1432 aut./h ir 985 aut./h.
 - 2.2. Analizuojant Vytauto Didžiojo tiltu rytinio piko metu pravažiuojančių transporto priemonių duomenis, pažymėtinos dominuojančios (95 proc.) srautų iš Užnemunės g. ir Veiverių g. kryptys – atitinkamai 1023 ir 848 aut./h. Vakarinio piko metu stebima analogiška situacija – iš Užnemunės g. ir Veiverių g. atvykstančios priemonės sudaro didžiąją dalį (atitinkamai 477 ir 579 aut./h) Vytauto Didžiojo tiltu pravažiuojančių transporto priemonių. Transporto srautas Vytauto Didžiojo tiltu miesto centro link rytinio piko metu maždaug 70 proc. didesnis nei vakarinio piko metu – atitinkamai 1971 aut./h ir 1148 aut./h.
3. Atliktu transporto srautų P. Vileišio tiltu tyrimu nustatytas spūsčių formavimasis ant P. Vileišio tilto ir jo prieigose. Naujos jungties – Kėdainių g. tilto integravimas į gatvių tinklą ir eismo organizavimas juo sąlygos mažesnę eismo intensyvumą šiame transporto mazge ir padidins gatvių tinklo laidumą.
 - 3.1. Vadovaujantis P. Vileišio tiltu pravažiuojančių transporto priemonių duomenimis, pažymėtinas artimas savo dydžiu transporto srautas rytinio ir vakarinio piko metu kryptimi kryptimis P. Vileišio tiltas – Šauklių g. – atitinkamai 1225 aut./h ir 1216 aut./h.

- 3.2. Vertinant transporto srautus kryptimi P. Vileišio tiltas – Šauklių g., pažymėtina, kad vakarinio piko metu tiltu pravažiuoja 30 proc. daugiau transporto priemonių nei rytinio piko metu – atitinkamai 1318 aut./h ir 1014 aut./h.
4. Remiantis transporto srautų naujoje jungtyje modeliavimo rezultatais, Kėdainių g. tilto jungimas su Užnemunės g. dviejų lygių sankryža yra efektyvesnis ir eismo saugumą bei mažą gaištį įveikiant sankryžą užtikrinantis sprendimas nei turbo žiedinė sankryža. 1-ojo scenarijaus racionalumas grindžiamas modeliavimo esant nustatytiems ir prognozuojamiems transporto srautams metu nustatytais kriterijais - vidutiniu maršrutui įveikti užtrunkamu laiku, bendru vidutiniu srauto greičiu, susidarančių spūsčių ilgiais, vidutinėmis prastovomis prie įvažiavimų į sankryžas, eismo sankryžose kokybės lygį (LOS).

Literatūros sąrašas

1. *Traffic Volume Counts*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-02-20]. Prieiga per: https://www.academia.edu/24386959/Traffic_Volume_Counts
2. SIVILEVIČIUS, Henrikas, Šarūnas ŠUKEVIČIUS, Lijana MASKELIŪNAITĖ ir Justas BRAŽIŪNAS. *Transporto sistemos elementai: praktinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika, 2012. ISBN 9786094573477
3. U.S Department of transportation, federal highway administration. *Traffic monitoring guide*. [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2024-03-10]. Prieiga per: <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tmguide/>
4. STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS. [STR 2.06.01.1999]. Miestų, miestelių ir kaimų susisiekimo sistemos. Vilnius: Lietuvos respublikos aplinkos ministerija, 1999.
5. KELIŲ TECHNINIS REGLAMENTAS. [KTR.1.01:2008]. Automobilių keliai. Vilnius: Lietuvos respublikos aplinkos ministerija, 2008.
6. STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS. [STR.2.06.04:2014]. Gatvės ir vietinės reikšmės keliai. Bendrieji reikalavimai. Vilnius: Lietuvos respublikos aplinkos ministerija, 2014.
7. MARMA, A., D. EIDUKAS, A. VALINEVIČIUS, M. ŽILYS. Intelektualiosios transporto valdymo sistemos. Elektronika ir elektrotechnika. *Technologija*. 2004. Nr.7 (56). 49-54. ISSN 1392-1215.
8. LI Yan, Lijie YU, Siran TOA, Kuanmin CHEN. Multi-objective optimization of traffic signal timing for oversaturated intersection. In: *Mathematical problems in engineering*. 2013 [žiūrėta 2024-03-10]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1155/2013/182643>
9. *Kėdainių tilto architektūriniai pasiūlymai*. [interaktyvus]. 2017. [Žiūrėta 2024-01-10] Prieiga per: https://www.laskaunas.lt/wp-content/uploads/2017/11/SANTYKIS_Aiskinamasis-rastas-1.pdf
10. Burinskienė, Marija, Gražvydas Mykolas PALIULIS, Rasa UŽPALYTĖ – VITKŪNIENĖ. *Miestų viešasis transportas*. Vilnius: Technika, 2009.
11. *21ST century operations using 21ST century technologies*. [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2024-03-20] Prieiga per: <https://ops.fhwa.dot.gov/aboutus/opstory.htm>
12. *If you think traffic is bad now when it rains, just wait*. [interaktyvus] 2017. [žiūrėta: 2024-03-25]. Prieiga per: <https://www.theglobeandmail.com/globe-drive/culture/commuting/if-you-think-traffic-is-bad-now-when-it-rains-just-wait/article24098577/>
13. *What causes traffic congestion?* [interaktyvus]. 2021. [Žiūrėta 2024-03-25] Prieiga per: www.geotab.com/blog/traffic-congestion/
14. MARMA, A., D. EIDUKAS, A. VALINEVIČIUS, M. ŽILYS. Intelektualiosios transporto valdymo sistemų efektyvumas. Elektronika ir elektrotechnika. Iš: *Technologija*. 2005. Nr.6. 61-66. ISSN 1392-1215.
15. *7 tips on how to reduce traffic congestion in cities*. [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2024-03-27] Prieiga per: <https://lyt.ai/blog/on-the-road/how-to-reduce-traffic-congestion/>
16. *Park and ride*. [interaktyvus]. [žiūrėta: 2024 – 03-30] Prieiga per: https://www.its.leeds.ac.uk/projects/konsult/private/level2/instruments/instrument035/l2_035summary.htm
17. HARTWIG, Stephan, Micheal BUCHMAN. *Empty seats traveling next generation ridesharing and its potential to mitigate traffic – and emission problems in the 21 century*. Bochum. 2007.

18. *An economic way of reducing health, environmental, and other pressures of urban traffic: a decision analysis on trip aggregation*. [interaktyvus]. 2005. [žiūrėta 2024-03-10] Prieiga per: <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-5-123>
19. PALIULIS, Gražvydas Mykolas. *Eismo inžinerija. Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2007.
20. *Top free traffic simulation software list*. [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta: 2024-03-20] Prieiga per: <https://technologytraffic.com/2022/11/02/top-free-traffic-simulation-software-list/>
21. *Top 5 leaders in traffic simulation systems improving transportation logistics*. [interaktyvus]. 2023. [žiūrėta 2024-03-20] Prieiga per: <https://www.kingsresearch.com/blog/top-5-traffic-simulation-systems-improving-logistics>
22. MIHAI, George Dionisie. The intelligent transport system is a reality in Romania. In *6th international multidisciplinary conference*. 2005 m.
23. Federal Highway administration. U.S department of transportation. *Traffic detector handbook: third edition – Vol2*. 2006.
24. Federal Highway Administration traffic monitoring guide. *Traffic monitoring guide*, Chapter-1. 2016.
25. LAMAS-SECO, José J., Paula M. CASTRO, Adriana DAPENA and Francisco J. VAZQUEZ - ARAUJO. *SiDIVS: Simple Detection of Inductive Vehicle Signatures with a Multiplex Resonant Sensor*. 2019 [žiūrėta 2024-03-25]. Prieiga per: DOI: 10.3390/s16081309.
26. *Peak Hour Measurements: How accurate do data sources need to be?* [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta: 2024-03-26]. Prieiga per: <https://urbanlogiq.com/peak-hour-measurements-how-accurate-do-data-sources-need-to-be/>
27. URBELIS Benas. Paskaitų konspektas. *Transporto srautų tyrimai ir modeliavimas. Laboratoriniai darbai*. 2022. Prieiga per: <https://2023p.moodle.ktu.edu/course/view.php?id=3225>
28. GAMBATESE, John, Ziyu JIN. *Speed variation and safety in work zones*. 2021. [žiūrėta: 2024-04-01] Prieiga per: DOI: 10.13140/RG.2.2.27396.86401
29. *ANPR is a very useful tool in traffic management enforcement tolling and security*. [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2024-04-02] Prieiga per: <https://trafficinfratech.com/anpr-is-a-very-useful-tool-in-traffic-management/>
30. *Statistinių rodiklių duomenų bazė*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-05-05] prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=3fbce17f-da54-432e-8d6e-0343f067891a#/>
31. *What if we calculated level of service for pedestrians?*. [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2024-05-06] Prieiga per: <https://urbankchoze.blogspot.com/2015/01/what-if-we-calculated-level-of-service.html>
32. MKAOUER, Mohamed Wiem, Marouane KESSENTINI. Model Transformation Using Multiobjective Optimization. In: *Advances in computers*. Rolla: Elsevier, 2014. pp. 161-202. ISBN: 9780124202320
33. HELBING, D. et al. Micro- and macro-simulation of freeway traffic. In: *Mathematical and Computer Modelling*. 2002. Vol. 35, no. 5–6, p. 517–547.
34. WANG, Fen, Keshuang TANG, Keping LI, Zhigang LIU, Lin ZHU. *A Group-Based Signal Timing Optimization Model Considering Safety for Signalized Intersection*. In: *Journal of advanced transportation*. 2019. p1-13. 13p. Prieiga per: DOI: 10.1155/2019/2747569

35. KHOUND, Parthib, Peter WILL, Antoine TORDEUX, Frank GRONWALD. *Extending the adaptive time gap car-following model to enhance local and string stability for adaptive cruise control systems*. In: Journal of intelligent transportation. 2021. p1-21. 21p. Prieiga per: DOI: 10.1080/15472450.2021.1983810
36. ELHMAM Mohamed said, Hassane ABOUAISSA, Daniel JOLLY. Macro – micro simulation of traffic flow. In: *IFAC Proceedings Volumes*. Bethune: Codex. 2006. Volume 39, Issue 3, p351-356. 6p.
37. ACOSTA Andres F., Jairo ESPINOSA. *Developing Tools for Building Simulation Scenarios for SUMO Based on the SCRUM Methodology*. In: Proceedings of the 3rd SUMO User Conference 2015. Berlin. pp 23-35.
38. AKÇELIK, Rahmi. *An assessment of the highway capacity manual edition 6 roundabout capacity model*. In: 5th international roundabout conference, transportation research board. 2017. Wisconsin p18–20. 2p.
39. *Highway capacity manual: A guide for multimodal mobility analysis*. V.3, Interrupte flow/ , Washington [D. C.], Transportation Research Board, 2016.
40. TREIBER, M., KESTING, A. *Traffic flow dynamics: data, models and simulation*, Heidelberg: Springer, 2013.