



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Nikita Kolyško

**VILNIAUS MIESTO OZO G. EISMO ORGANIZAVIMO, SUTEIKIANT
PRIORITETĄ VIEŠAJAM TRANSPORTUI, EFEKTYVUMO TYRIMAS**

**VILNIUS CITY OZO STR. STUDY ON THE EFFICIENCY OF TRAFFIC
SYSTEMS ORGANIZATION WITH PRIORITY TO PUBLIC TRANSPORT**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Nikita Kolyško

**VILNIAUS MIESTO OZO G. EISMO ORGANIZAVIMO, SUTEIKIANT
PRIORITETĄ VIEŠAJAM TRANSPORTUI, EFEKTYVUMO TYRIMAS**

**VILNIUS CITY OZO STR. STUDY ON THE EFFICIENCY OF TRAFFIC
SYSTEMS ORGANIZATION WITH PRIORITY TO PUBLIC TRANSPORT**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. doc. Robertas Pečeliūnas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Angelika Petrėtienė

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2022-05-18

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2022-02-02 Nr.

Vilnius

Studentui Nikitai Kolyško

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Vilniaus miesto Ozo g. eismo organizavimo,

suteikiant prioritetą viešajam transportui, efektyvumo tyrimas

patvirtinta 2022 m. vasario mėn. 02 d. dekanų potvarkiu Nr. 26ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2022 m. gegužės mėn. 13 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti mokslinių darbų, susijusių su eismo reguliavimu, organizavimu ir optimizavimu, apžvalgą.

Išnagrinėti eismo reguliavimo sistemų įtaką eismo srautų pasiskirstymui.

Atlikti pasirinkto ruožo eismo srautų statistinę analizę.

Naudojantis programiniais paketais, atlikti kompiuterinį nagrinėjamo ruožo modeliavimą, parenkant optimalų variantą.

Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

lekt. Angelika Petrėtienė

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

Vadovas

(Parašas)

dr. doc. Robertas Pečeliūnas

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

Užduotį gavau

(Parašas)

Nikita Kolyško

(Vardas, pavardė)

2022-02-02

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Vilniaus miesto Ozo g. eismo organizavimo, suteikiant prioritetą viešajam transportui, efektyvumo tyrimas**

Autorius **Nikita Kolyško**

Vadovas **Robertas Pečeliūnas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šio darbo tikslas yra remiantis statistiniais duomenimis apie Vilniaus miesto Ozo gatvės kelio ruožo eismo intensyvumo indeksą, sudaryti teorinį matematinį modelį ir patikrinti eismo rodiklių pokyčius suteikiant prioritetą viešajam transportui. Tyrimo tikslas yra išsigryninti teorines prielaidas, kurios galėtų parodyti, kokiomis sąlygomis prioritetas viešajam transportui yra efektyvus, kada toks sprendimas galėtų būti neįmanomas, arba kaip turėtų būti organizuojamas eismas suteikiant prioritetą viešajam transportui.

Darbą sudaro: įvadas, literatūros apžvalga, kitų šalių praktinių sprendimų pavyzdžiai, Vilniaus eismo valdymo centro kaupiamų duomenų statistinė analizė, teorinio matematinio modelio analizė ir simuliacijos, išvados, literatūros sąrašas.

Prasminiai žodžiai: Eismo valdymas, matematinis modelis, viešojo transporto prioritetas, prioritetinės sistemos, viešasis transportas, kelių eismo srautai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Engineering

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Vilnius city Ozo str. study on the efficiency of traffic systems organization with priority to public transport**

Author **Nikita Kolyško**

Academic supervisor **Robertas Pečeliūnas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The work purpose is to compile a theoretical mathematical model and checking the changes in traffic factors on the priority of public transport, by utilising statistical data on the traffic intensity index of the Ozo st. road section in Vilnius. The aim of the study is to refine the theoretical assumptions that could show under what conditions the priority of public transport is effective, when such a solution might not be possible, or how traffic could be organized by utilising the priority to public transport model.

Structure: introduction, literature review, examples of practical solutions from other countries, statistical analysis of data collected by Vilnius Traffic Management Center, analysis of theoretical mathematical model and simulations, conclusions, references.

Keywords: Traffic management, mathematical model, public transport priority, priority systems, public transport, road traffic flows.

Turinys

Paveikslų sąrašas	6
Lentelių sąrašas	7
Santrumpų sąrašas	8
Įvadas.....	9
Problemos aktualumas	9
Darbo užduotis.....	16
Darbo tikslas	16
Pagrindinės keliamos hipotezės	16
1. Literatūros apžvalga	17
1.1 Eismo reguliavimo priemonės	17
1.1.1 Kelių ženklavimas	18
1.1.2 Inžinerinės greičio mažinimo priemonės	19
1.2 Intelektinės transporto sistemos	21
1.3 Optimizavimo būdai ir tyrimai	23
1.3.1 ITS įtaka eismo organizavimui	23
1.3.2 Prioritetas viešajam transportui, naudojant ITS	25
1.3.3 ITS rūšys ir jų panaudojimo galimybės.....	28
2. Tyrimo metodika.....	32
2.1 Tyrimo eiga	32
2.2 Statistinių duomenų rinkimas ir apdorojimas.....	35
2.3 Simuliacijos kūrimas	38
2.4 Simuliacijos rezultatai	39
Išvados	52
Literatūra	54

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Eismo įvykio tikimybės priklausomybė nuo greičio	11
2 pav.	Valandinis Vilniaus kelių užimtumo grafikas	14
3 pav.	Užfiksuotų T.P. skaičius per savaitę intensyviausiose sankryžose	15
4 pav.	Užfiksuotų T.P. sk. per savaitę intensyviausiose sankr. (padidinta grafiko versija)	15
5 pav.	Vertikalusis kelio ženklavimas	18
6 pav.	Horizontalus kelio ženklavimas	18
7 pav.	Iškili inžinerinė priemonė – kalnelis	19
8 pav.	Konflikto taškai ir transporto srautų trajektorijos žiedinėje sankryžoje	20
9 pav.	Kintamosios informacijos kelio ženklas	21
10 pav.	Pasauliniai eismo pokyčiai	24
11 pav.	Mėnesinis eismo intensyvumo pokytis 2019–2020 metais	25
12 pav.	Greičio priklausomybė nuo gatvės užimtumo	27
13 pav.	RTA transporto sistemos plėtros strategija	29
14 pav.	Nagrinėjamas San Francisko kelių tinklas	30
15 pav.	Transporto sistemos pralaidumo priklausomybė nuo transporto priemonių skaičiaus	31
16 pav.	Eismo tankio priklausomybė nuo laiko	31
17 pav.	Analizuojamas eismo ruožas	32
18 pav.	Nauja A-juosta tarp Gelvonų ir Kernavės gatvių	33
19 pav.	Ozo gatvės rekonstravimo planas	33
20 pav.	Ozo gatvės rekonstravimo pjūvis	34
21 pav.	Konvertuojama Vilniaus miesto žemėlapis dalis į SUMO programą	38
22 pav.	Pirminės simuliacijos vaizdas (SUMO programa)	38
23 pav.	Kelio ruožo parametrų koregavimas (SUMO programa)	39
24 pav.	Kelionės laikų palyginimas pagal vidutinių srautų parametrus	40
25 pav.	Kelionės laikų palyginimas piko metu	41
26 pav.	Laukimo laikų palyginimas pagal vidutinių srautų parametrus	43
27 pav.	Laukimo laikų palyginimas piko metu	44
28 pav.	Laiko praradimo palyginimas pagal vidutinių srautų parametrus	45
29 pav.	Laiko praradimo palyginimas piko metu	47
30 pav.	Rekonstruoto kelio modelis SUMO programoje	49

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Pirmą kartą Lietuvoje registruojamų automobilių skaičius.....	12
2 lentelė. Eismo spūsčių skaičius ir trukmės laikas	13
3 lentelė. Simuliacijos rezultatai, be prioriteto viešajam transportui	26
4 lentelė. Simuliacijos rezultatai, esant viešojo tr. prioritetui	26
5 lentelė. Simuliacijų žemėlapis.....	32
6 lentelė. Piko valandomis fiksuojamų T.P. duomenys	35
7 lentelė. Vidutinis fiksuojamų T.P. skaičius per valandą	35
8 lentelė. Kelio atkarpų valandiniai transporto srautų vidurkiai	36
9 lentelė. Kelio atkarpų valandinės transporto srautų piko reikšmės.....	36
10 lentelė. Eismo ruožų ilgiai	37
12 lentelė. Vidutinis laukimas.....	42
13 lentelė. Laiko praradimas	44
14 lentelė. Įstrigusių žmonių skaičius.	46
15 lentelė. Kelionės laikų santykiai tarp simuliacijų be prioriteto V.T. ir su prioritetu.....	47
16 lentelė. Kelionės laikų santykiai tarp simuliacijų be prioriteto V.T. ir rekonstruoto kelio.....	48
17 lentelė. Kelionės laikų santykiai tarp simuliacijų su prioritetu V.T. ir rekonstruoto kelio	49
18 lentelė. V.T. simuliacijos rezultatų lyginamosios charakteristikos.....	52

Santrumpų sąrašas

SUMO – miesto mobilumo simuliacija (angl. *Simulation of Urban MObility*);

ITS – intelektinės transporto sistemos;

ATMS – pažangi eismo valdymo sistema (angl. *Advanced Traffic Management System*);

RRA – maršruto rezervavimo algoritmas (angl. *Road reservation algorithm*);

V.T. – viešasis transportas;

N.T. – nuosavas transportas;

T.P. – transporto priemonė.

Ivadas

Pastaruoju metu, esant pasaulio globalizacijai, pasaulio miestų automobilizacija eksponentiškai didėja, dabar ne vienas išsivystęs miestas sprendžia eismo reguliavimo problemas. Urbanistai bando tobulinti miestus, pagerinti gyvenimo lygį, padaryti juos palankius. Vilniaus miestas taip pat netapo išimtimi. Didėjantis transporto priemonių skaičius daro neigiamą įtaką kelių transporto sektoriui – spūstys gatvėse, žalingas poveikis aplinkai.

Eismo reguliavimo priemonės yra vienas iš miesto organizavimo būdų. Geras transporto susisiekimas, palankios sąlygos pėstiesiems ir automobilinekams padaro miestą draugišką ir patogesnę savo gyventojams, mažėja spūstys ir žala aplinkai. Todėl transporto reguliavimo priemonės veikia miestiečių kasdieninį gyvenimą.

Pagal Lietuvos susisiekimo ministerijos tikslus transporto sistema turi būti saugi, integrati ir inovatyvi. Tokia, kuri kurtų saugią ir patogią aplinką visiems eismo dalyviams.

Šio darbo tikslas yra pasinaudojant statistiniais duomenimis apie Vilniaus miesto Ozo gatvės kelio ruožo eismo intensyvumo indeksą, sudaryti teorinį matematinį modelį ir patikrinti eismo rodiklių pokyčius suteikiant prioritetą viešajam transportui. Tyrimo tikslas yra išsigryninti teorines prielaidas, kurios galėtų parodyti, kokiomis sąlygomis prioritetas viešajam transportui yra efektyvus, kada toks sprendimas galėtų būti neįmanomas, arba kaip turėtų būti organizuojamas eismas suteikiant prioritetą viešajam transportui.

Problemos aktualumas

Kaip buvo minėta anksčiau, transporto sistema turi didelę įtaką mūsų gyvenimui. Jos efektyvumas veikia ekologiškumą, saugumą ir susisiekimą. Eismo spūstys, kurios susidaro dėl neefektyvaus eismo dalyvių pasiskirstymo, kelia šias problemas:

- ekonominiai nuostoliai;
- aplinkos tarša;
- laiko praradimas.

Sudėtingos transporto infrastruktūros savybės ir poveikis miestų gyvenimui lėmė transporto tvarumo sistemų organizavimo ir tvarumo tyrimus. Darnus judėjimas ilgai buvo dėmesio centre, o stabilios transporto sistemos įtaka ekonomikai tampa vis svarbesniu tyrimo objektu. Be to, atliekamas tinklo struktūros optimizavimas ir infrastruktūros funkcionavimo erdvinį ryšių analizė – pagrindiniai būdai užtikrinti miesto ekonominį stabilumą (Berman, 2020). Berman (2020) taip pat pabrėžia, kad transporto infrastruktūros poveikis apima daug kategorijų:

- poveikis žmogui;
- poveikis ekonomikai;

- poveikis ekologijai.

Kokybiška infrastruktūra yra būtina sąlyga teikti efektyvias krovinių ir keleivių vežimo paslaugas, o tai savo ruožtu remia pagrindinę ekonominę veiklą ir pašalina geografines kliūtis. Patikimai veikiančios logistinės sistemos palengvina prekybą mažindamos patekimo į tarptautines rinkas kaštus ir didindamos šalies įmonių ir prekių konkurencingumą.

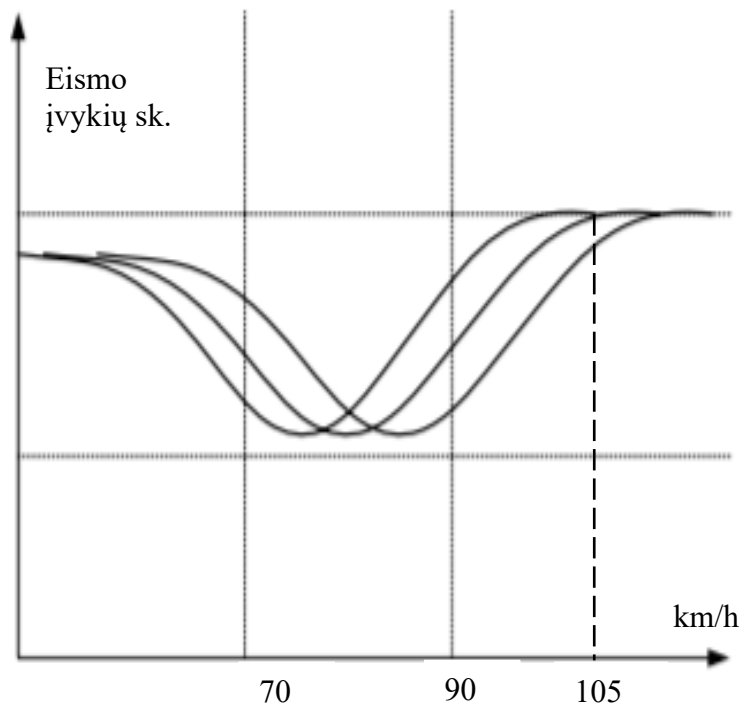
Keleivinio transporto ryšiai didina ūkio gamybos pajėgumus ir yra prielaida rinkos plėtimui. Auga darbo jėgos mobilumas, aglomeracijų skaičius, didėja įmonių bendradarbiavimas.

Taigi transporto infrastruktūra yra viena pagrindinių ekonomikos sistemos dalių, kuri yra susijusi su visais jos elementais, nuo kurių priklauso darni jos plėtra. Tvarios transporto sistemos plėtojimas ir toliau lieka pagrindiniu šių laikų tyrimų objektu. Dėl to, kad ši koncepcija ir toliau išlieka labai svarbi, ji ir toliau lems aplinkosaugos, žmogiškųjų ir gamtos išteklių, kapitalo saugojimo pagrindus (Berman, 2020).

Pagal atliktus tyrimus NO_2 ir NO_x emisija Europos miestuose didėja piko metu dėl to, pagal Green (2017), kad sustojus automobilio variklis keičia savo darbo režimą. Taip pat esant sparčiam sūkių (greičio) padidėjimui, atliekant lenkimo manevrą arba startuojant transporto priemonė išskiria į atmosferą gerokai didesnę kenksmingų medžiagų kiekį, negu esant tolydžiam važiavimo režimui. Tai reiškia, kad, esant eismo spūstims, kai transporto priemonių darbo režimas yra nepastovus, pastovi kaita tarp stabdymo ir įsibėgėjimo – oro tarša tik didėja. Benzininio variklio išmetamosiose dujose, esant normaliam važiavimo režimui, vidutiniškai išsiskiria apie 2,7 % anglies monoksido. Mažėjant greičiui anglies monoksido kiekio dalis padidėja iki 3,9 %, o mažose atkarpose – iki 6,9 %.

Atlikus EK Pasaulinės kelių perkrovos studiją, paaiškėjo kad būtent kelių transportas į aplinką išmeta net 70 % viso ES transporto sektoriaus išmetamo CO_2 kiekio (Pečiukėnas et al., 2017). Taip pat nors kiekvienos transporto sistemos tikslas užtikrinti saugumą, o tai reiškia greičio ribojimą ir mažinimą, yra tyrimų, kurie rodo, kad eismo įvykių skaičius nesumažėja, jeigu eismas vyksta mažu greičiu.

JAV atlikti tyrimai rodo, kad daug eismo įvykių tenka greičio intervalui iki 70 km/val. Įvykių skaičius mažėja didėjant greičiui, pasiekiant minimumą ir po to vėl pradeda didėti ir nusistovėjus 105 km/val greičiui. Pasinaudodami šiuo tyrimu Berežnoj ir Smirnov (2008) pateikė statistinę priklausomybę, kuri parodo greičio įtaką eismo įvykio tikimybei (1 pav.).



1 pav. Eismo įvykio tikimybės priklausomybė nuo greičio (Berežnoj ir Smirnov, 2008)

Taip pat reikia turėti omenyje, kad esant mažesniems negu 40 km/val. greičiams, eismo įvykių skaičius, kada padaroma žala žmonių sveikatai, – mažėja, bet didėja žala aplinkai ir infrastruktūrai. Todėl „sveikai“ veikiančios transporto sistemos kūrimas yra neatsiejamas valstybės tikslas. Gerai veikianči transporto sistema reikalinga tiek paprastam vartotojui, tiek valstybei bei turizmui (Serdiukova et al., 2018).

Pastaruoju metu Vilniaus miesto transporto sistema sparčiai plečiasi, didėja transporto priemonių skaičius, buvo pertvarkyti daugelis kelių ruožų, 2016 metais buvo baigtas tiesti Vilniaus vakarinis aplinkkelis, atnaujinti magistraliniai keliai ir pertvarkytos žiedinės sankryžos. Per pastaruosius 10 metų miesto susisiekimo sistema buvo kelis kartus atnaujinta, sąlygos automobilinei gerėjo, buvo atnaujintas viešojo transporto autobusų parkas ir t. t. Automobilių savininkų sparčiam skaičiaus augimui įtakos turėjo ne tik pagerėjusios sąlygos, bet ir LR Vyriausybės įvestas automobilių registravimo mokestis, kuris padidino automobilių paklausą rinkoje. Pagal įstaigos „Regitra“ atvirus duomenis (1 lentelė) registruojamų automobilių skaičius Lietuvoje kiekvienais metais sparčiai didėjo (Regitra, 2021).

1 lentelė. Pirmą kartą Lietuvoje registruojamų automobilių skaičius (paimta iš www.regitra.lt/ 2021-10-03)

Metai	Iš viso naudotų transporto priemonių	M1 klasės naudotų lengvųjų automobilių	Iš viso naujų transporto priemonių	M1 klasės naujų lengvųjų automobilių
2017	180 659	156 677	48 345	25 645
2018	196 521	171 501	60 179	32 272
2019	221 920	190 796	72 589	46 200
2020	170 105	141 789	59 560	40 232
2021	173 847	140 679	61 475	31 371

Per pastaruosius metus nuosavo transporto skaičius Lietuvoje, ypač didmiesčiuose, – didėjo. Dėl to nuo 2019 metų padidėjęs nuosavo transporto skaičius lėmė eismo spūsčių augimą, 1 lentelėje matoma, kad iki 2019 metų Lietuvoje naujai registruojamų transporto priemonių skaičius nuolat didėjo, o 2020–2021 mažėjo, tam yra kelio prielaidos:

- Pirma, tai susiję su „Covid-19“ pandemijos Lietuvos valstybės ekstremaliąja situacija, kurios metu naujų nuosavų automobilių poreikis sumažėjo, nes gyventojų judumas buvo apribotas, žmonės buvo mažiau linkę įsigyti transporto priemonę esant nestabiliai finansinei situacijai.
- Antra, 2019 metų šuolis taip pat yra susijęs su nauju nuo 2020 m. liepos 1 dienos įsigaliojusi taršos mokesčiu, kuris taikomas registruojant lengvuosius ir lengvuosius krovininius automobilius (M1 ir N1 kategorijos) priklausomai nuo degalų rūšies bei jų kombinacijų ir kai išmetamo CO₂ kiekis viršija daugiau nei 130 g/km.

Tokios aplinkybės turėjo įtakos transporto priemonių registravimo tendencijoms. Todėl galima teigti, kad pagerėjusios sąlygos automobilineiškams lemia automobilių skaičiaus augimą keliuose, o tai neišvengiamai vėl sudarys sąlygas eismo spūsčių formavimuisi. Toliau taip pat matoma, kad pandemijos ekstremalioji situacija paveikė eismo intensyvumo sumažėjimą (2 pav.) ir transporto indekso tyrimą (TomTom, 2022).

Kalbant apie kažkokį objektą, visada yra labai svarbu susitarti dėl apibrėžimų, svarstant eismo reguliavimo efektyvumą, dažniausiai užduodamas klausimas yra: „Kaip išvengti eismo spūsčių susidarymo?“ Todėl pradžioje reikia apibrėžti eismo spūsties ribas ir terminus. Pagal Zhu (2010), eismo spūstis – tai eismo situacija, kai tam tikrą laiką (5 min. ir daugiau) visos transporto priemonės stovi vietoje, t. y. visiškai nejuda.

Pagal kitą apibrėžimą – tai eismo situacija, kai transporto priemonių skaičius viršija kelio pralaidumo galimybes, dėl to eismo greitis yra ženkliai mažesnis nei nustatytą (Stepanchuk et al., 2013). Vilniuje tokių situacijų, kai transporto priemonės nejuda – beveik nebūna, todėl, toliau šiame darbe transporto spūstį nustatysime kaip: situaciją kai, dėl apsunkintų eismo sąlygų sumažėja gatvės laidumas ir ženkliai nukrenta transporto priemonių važiavimo greitis, dėl ko ir susiformuoja transporto priemonių eilės.

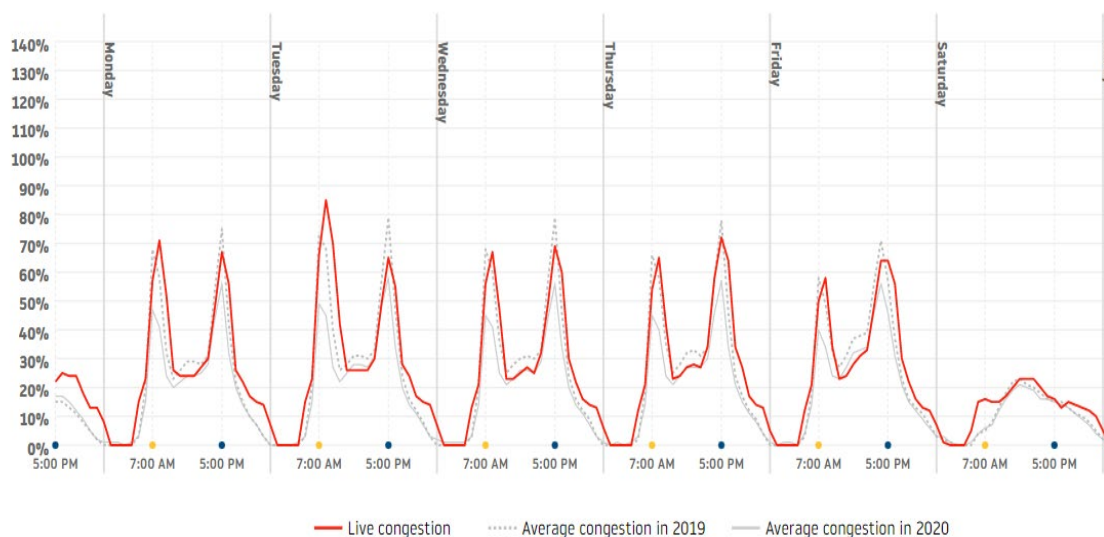
Vadovaujantis projekto „Atviras Vilnius“ statistiniais duomenimis, kurie pateikti 2 lentelėje, galima daryti prielaidas, kuriose Vilniaus miesto vietose transporto situacija yra pati blogiausia ir kur daugiausiai laiko parandama dėl eismo spūsčių piko valandomis.

2 lentelė. Eismo spūsčių skaičius ir trukmės laikas (paimta iš <https://atviras.vilnius.lt> 2021-10-03)

Vieta:	Bendras spūsčių laikas, val.	Spūsčių skaičius, vnt.	Vidutinė eismo sulėtėjimo trukmė, min.
Ozo g. link Ozo–Kalvarijų–Kareivių g. sankryžos	3194	1638	117
Olandų g. link Olandų žiedo	3106	1520	123
Lukiškių g. link Lukiškių–Gynėjų g. sankryžos	2464	972	152
G. Vilko g. link G. Vilko–Žalgirio g. sankryžos (iš centro)	2387	1136	126
G. Vilko g. link G. Vilko–Ukmergės g. sankryžos (į centrą)	2190	968	136
Kalvarijų g. link Kalvarijų–Kareivių–Ozo g. sankryžos (į centrą)	1909	1113	103
Kareivių g. link Kareivių–Kalvarijų - Ozo g. sankryžos	1788	907	118
J. Jasinskio g. link J. Jasinskio–V. Kudirkos–Pamėnkalnio g. sankryžos	1689	1188	85
Ukmergės g. link Ukmergės–G. Vilko g. sankryžos	1525	876	104
Kalvarijų g. link Kalvarijų–Žalgirio g. sankryžos (iš centro)	1389	825	101

Kitas išsamus atliekamas tyrimas yra bendrovės „TomTom International BV“ darbas, kurio statistiniais duomenimis galima laisvai naudotis nekomerciniais tikslais. Darbas apima 416 miestų iš 57 skirtingų šalių, 6-iose žemynuose. „Tomtom“ eismo indeksas nustato eismo intensyvumus miestuose visame pasaulyje ir suteikia nemokamą prieigą prie šios informacijos apie miestus. Miesto planuotojai, automobilių gamintojai ar vietinė valdžia gali naudoti šį indeksą, sprendžiant su eismu susijusius iššūkius. Šiam tarptautiniam tyrimui jau 9 metai, Lietuva yra prisijungusi prie šio tyrimo nuo 2017 metų. Šio tyrimo pagrindinis tikslas – rinkti statistinius duomenis iš vietinių eismo infrastruktūros valdytojų, mobiliojo ryšio, GPS ir kitų šaltinių, kurie gali suteikti informaciją apie žmonių srautų judėjimą ir stebėti jų dėsningumus lyginant, kaip eismo intensyvumas pasikeitė palyginus su praeitais metais.

Vilniaus miesto tyrimo rezultatai parodo, kad „Covid-19“ pandemijos metu gatvių užimtumas ir eismo spūsčių susidarymo intensyvumas 2020 metais palyginti su 2019 metais sumažėjo 6 %. Tokios tendencijos dėl pandemijos buvo stebimos visame pasaulyje. Tyrimas vyksta realiuoju laiku ir 2021 bei 2022 metų duomenys rodo, kad nors dėl pandemijos pasaulio infrastruktūros varduotojų skaičius sumažėjo, bendros nuolatinio augimo tendencijos vis dar yra stebimos: kelių užimtumas 2021 metais padidėjo 5 % palyginus su 2019 metais ir 11 % palyginus su 2020 metais. Tyrimo duomenimis, Vilnius 2020 metais užėmė 93 vietą pasaulyje pagal eismo indeksą.

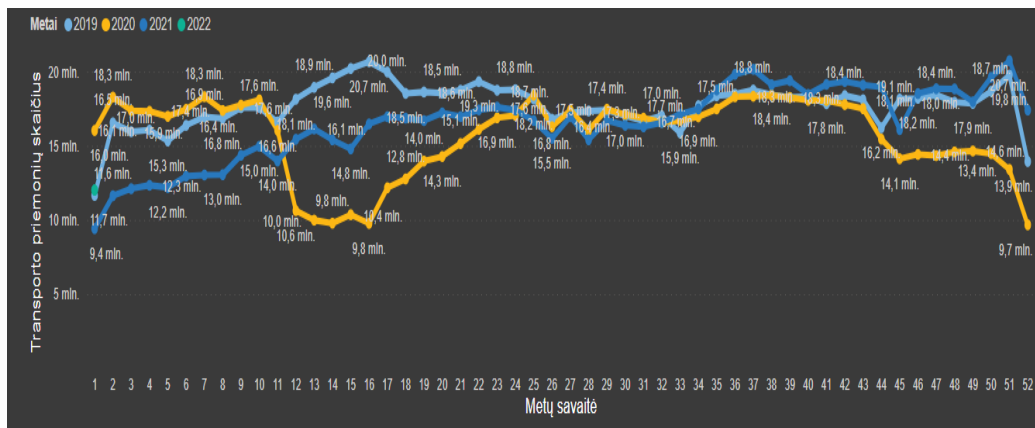


2 pav. Valandinis Vilniaus kelių užimtumo grafikas (paimta iš <https://www.tomtom.com 2021-10-03>)

Prieš tai pateiktame grafike (2 pav.) pavaizduoti 2021 m. (raudona linija), 2020 m. (pilka linija) ir 2019 m. (punktyrinė) eismo intensyvumo dėsningumai. „Tomtom“ indeksas parodo, kiek procentų pailgėja kelionės trukmė nurodytu laiku palyginus su kontrolinės kelionės laiku be sunkinančių aplinkybių. Tyrimo duomenys taip pat parodo, kad netgi pandemijos metu esant plačiam spektrui eismo ribojimo vidutinė kelionės trukmė piko valandomis 2020 metais, kuri

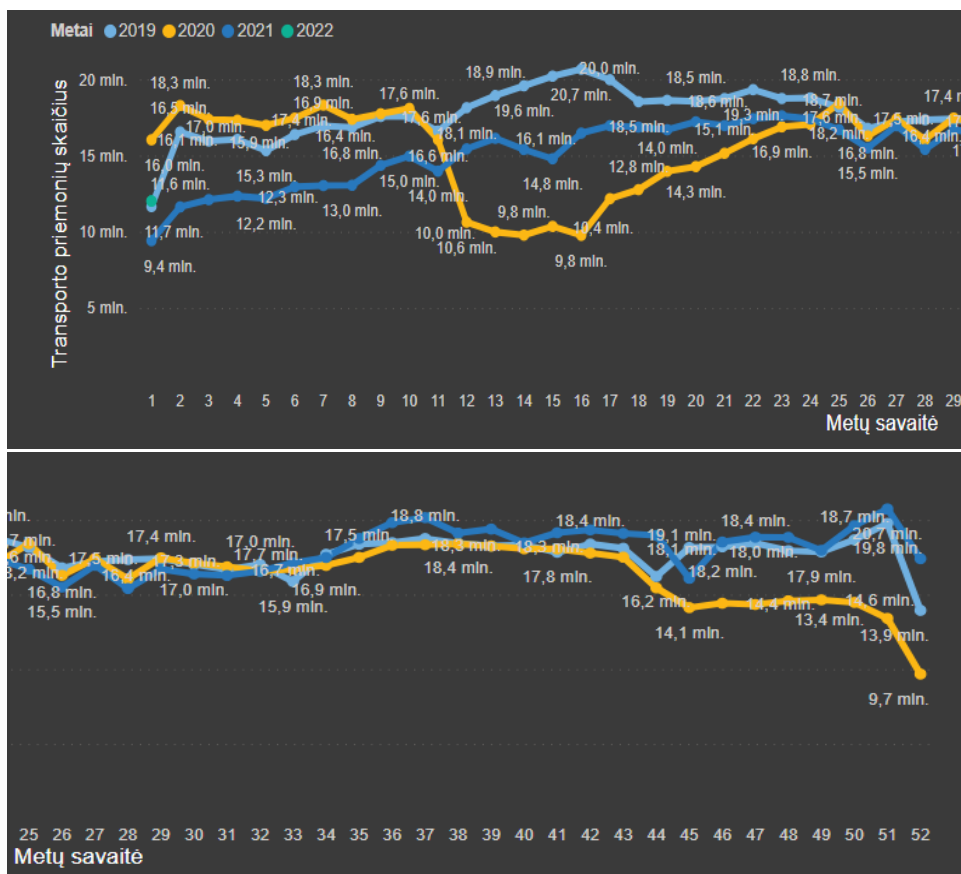
vidutiniškai turėtų užimti 30 minučių lyginant su kontroline kelione – pailgėja 14 min. ryte ir 18 min. vakare. Tai parodo problemos aktualumą, nes pagal šiuos duomenis vidutinės kelionės trukmė piko valandomis padidėja 1,5 karto.

Šito tyrimo duomenys taip pat sutampa su oficialia Vilniaus eismo valdymo centro viešąja statistika (žr. 3 ir 4 pav.).



3 pav. Užfiksuotų transporto priemonių skaičius per savaitę intensyviausiose sankryžose (paimta iš <https://portal.sisp.lt/> 2022-01-20)

Analizuojant anksčiau pateiktą grafiką galima stebėti, kad 2020 metais iki 10–11 metų savaitės Vilniaus miesto sankryžose buvo fiksuojama daugiau automobilių negu 2019 ir 2021 metais.



4 pav. Užfiksuotų transporto priemonių skaičius per savaitę intensyviausiose sankryžose (padidinta grafiko versija)

Tačiau didėjant apribojimams dėl „Covid-19“ pandemijos, eismo intensyvumas sumažėjo. Pandemijos periodas smarkiai sulėtino eismo intensyvumo didėjimo tendencijas tiek 2020, tiek 2021 metais. Nors 2021 metais galima stebėti ryškią augimo tendenciją ir nuo 3 metų ketvirčio pusės fiksuojamų automobilių skaičius sankryžose vėl pradėjo siekti piko reikšmes, kurios viršija 2019 metų duomenis.

Kaip matoma, Vilniaus eismo sistemos apkrovos augimo tendencijos nors ir sulėtėjo, bet išliko. Todėl šiuo darbu siūloma atlikti statistinį ir teorinį tyrimą, siekiant suprasti, kaip galima būtų optimizuoti Vilniaus miesto eismą. Pasirenkant tam tikras gatves, galima pabandyti atlikti teorinius skaičiavimus ir palyginti eismo ruožus su viešojo transporto privalumu ir be jo. Atlikti moduliacijas siekiant sukurti teorinį matematinį modelį, kur būtų galima sumažinti laiko praradimą eismo spūstyse.

Darbo užduotis

1. Surinkti ir apdoroti nagrinėjamo kelio ruožo (Vilniaus miesto Ozo g.) eismo intensyvumo rodiklių statistinius duomenis.
2. Esamos eismo intensyvumo situacijos statistinių duomenų analizė, panaudojant eismo srautų modeliavimo programą SUMO.
3. Naudojant intelektines valdymo sistemas ir inžinerines eismo reguliavimo priemones, atlikti nagrinėjamo kelio ruožo eismo srautų modeliavimą, numatant jame pirmenybę viešajam transportui.
4. Palyginti esamų srautų ir modeliavimo metu gautų srautų rezultatus ir suformuluoti išvadas.

Darbo tikslas

Atlikus nagrinėjamo kelio ruožo eismo srautų statistinę analizę, atlikti šio ruožo eismo srautų modeliavimą, numatant pirmenybę viešajam transportui ir nustatyti viso transporto srauto intensyvumo pokytį.

Pagrindinės keliamos hipotezės

- Atliekant to paties eismo ruožo simuliacijas su ir be prioriteto viešajam transportui kelionės trukmė viešuoju transportu bus mažesnė, kai yra suteikiamas prioritetas V.T.
- Atliekant to paties eismo ruožo simuliacijas su ir be prioriteto viešajam transportui kelionės trukmė nuosavu transportu bus didesnė, kai yra suteikiamas prioritetas V.T.
- Ozo gatvės transporto srauto greitis padidės įrengus nenutrūkstamą A-juostą palyginus su esama situacija.

1. Literatūros apžvalga

Kaip jau buvo minėta anksčiau, transporto sistema yra neatsiejama miesto dalis. Todėl jos įtaka tokia svarbi kasdieniniam miesto gyvenimui, laiko praradimas kelyje yra vienas iš esminių parametrų, kuris turi įtakos žmonių judumui, o žmonių judumas visada koreliuoja su ekonomikos išsivystymu. Toliau atliekama trumpa apžvalga apie tai, kaip galima valdyti eismo situaciją ir ją kontroliuoti, kokios yra eismo valdymo priemonės ir organizavimo kryptys, kokie tyrimo metodai gali būti taikomi siekiant optimizuoti mūsų eismą.

1.1 Eismo reguliavimo priemonės

Eismo valdymas arba reguliavimas – tai priemonių sistema, kuria siekiama efektyviausio transporto priemonių judėjimo gatvėse ir keliuose. Šiuolaikinėmis sąlygomis šiam tikslui pasiekti naudojama nemažai įvairių metodinių sprendimų, techninių ir organizacinių priemonių, iš viso jie gavo sąlyginį pavadinimą – intelektinė transporto sistema (Baublys ir Jarašūnienė, 2005).

Eismo organizavimo būdai gali būti tokie:

- transporto srautų paskirstymas laike;
- pėsčiųjų ir transporto priemonių judėjimo laiko paskirstymas;
- greičio ribojimų nustatymas;
- lenkimo ir kitų manevrų ribojimas ar draudimas.

Visi prieš tai išvardyti būdai taikomi naudojant techninius eismo valdymo įrenginius:

- šviesoforai;
- vertikalusis ir horizontalusis kelio ženklavimas (5 ir 6 pav.);
- greičio mažinimo priemonės (kalneliai ir pan.);
- saugumo priemonės.

Reikia taip pat pabrėžti, kad eismo reguliavimo priemonės pasaulyje skirstomos į dvi dalis: eismo greičio mažinimo priemonės ir eismo srautų optimizavimas. Pirmas būdas skirtas sumažinti vidutinį eismo greitį padidinant saugumą keliuose, tokios priemonės dažniau taikomos ten, kur greičio sumažėjimas neturėtų didelės įtakos, nes kelio pralaidumas sutampa su srauto intensyvumu. Tai gali būti valstybinės reikšmės keliai, arba privažiuojamieji, šalutiniai keliai, kur greičio mažinimas yra esminė priemonė užtikrinant eismo saugumą, siekiant atkreipti eismo dalyvių dėmesį į galimą pavojų.

Kita kryptis tiria dėsningumus ir būdus optimizuoti, valdyti eismo srautus. Kaip nukreipti vieną iš srautų per aplinkkelius, kaip juos tinkamai paskirstyti, suteikti vienam iš srautų prioritetą tam tikrame laiko intervale, kad eismo dalyviai galėtų greičiau pasišalinti iš sankryžos. Šiai

krypčiai svarbios yra tiek valdymo priemonės, tiek inžinerinės kelių projektavimo priemonės, tokios kaip sankryžų eismo srautų lygiavertiškumas, kelių pralaidumas ir konfliktinių taškų skaičius. Visos išvardytos priemonės aprašytos kitame šio darbo poskyryje.

1.1.1 Kelių ženklinimas

Kelių ženklinimas pagal KET (Kelių eismo taisyklių įstatymas) yra kelio ženklai, kuriais nustatoma eismo tvarka, įspėjami eismo dalyviai arba jiems suteikiama informacija. Kelio ženklaus taip pat priskiriami kintamosios informacijos kelio ženklai, kurių pavyzdžiai pateikti šių taisyklių 2 priede.



5 pav. Vertikalusis kelio ženklinimas (paimta iš <http://argentecorreduria.com/> 2020-01-14)

Horizontalusis ženklinimas (linijos, strėlės, užrašai ir kitokie simboliai ant važiuojamosios dalies) pagal KET nustato tam tikrą eismo režimą ir tvarką.



6 pav. Horizontalus kelio ženklinimas (paimta iš <http://argentecorreduria.com/> 2020-01-14)

1.1.2 Inžinerinės greičio mažinimo priemonės

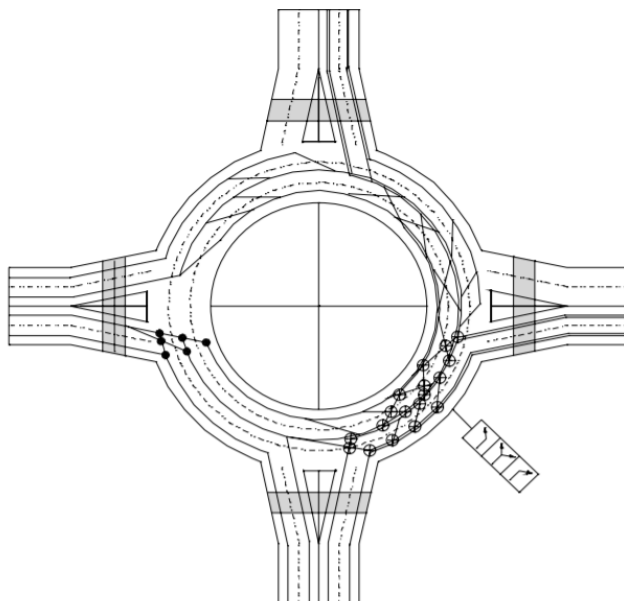
Tai yra priemonės, skirtos sumažinti transporto priemonių, dalyvaujančių eisme, greitį, atkreipiant dėmesį į konfliktinius taškus. Tai gali būti išskirti inžinerinė priemonė, skirta transporto priemonių greičiui sumažinti arba saugiam greičiui palaikyti kelio (gatvės) ruože. Taip oficialiai vadinami greičio mažinimo kalneliai (7 pav.).



7 pav. Išskirti inžinerinė priemonė – kalnelis (paimta iš <http://www.keliozenklai.lt> 2020-01-14)

Taip pat inžinerinės priemonės gali būti naudojamos eismui reguliuoti – ne tik greičiui mažinti, bet ir srautams paskirstyti. Klibavicius (2008) savo darbe analizuoja skaičiavimo metodus, kuriuos būtų galima taikyti optimaliam žiedinių sankryžų projektavimui. Lietuvoje galiojančiuose standartuose (STR) nėra vertinimo ir projektavimo metodikos žiedinių sankryžų veikimo kokybei nustatyti. Straipsnyje analizuojama įvažiavimų į žiedines sankryžas ir išėjimų iš jų pralaidumo, transporto laiko nuostolių ir linijos ilgio apskaičiavimo metodika atsižvelgiant į darnios miestų plėtros principus.

Žiedinės sankryžos dažnai naudojamos, kai yra siekiama sumažinti konfliktinių taškų tarp artėjančių prie sankryžos eismo srautų skaičių. Produktiviausia naudoti žiedines sankryžas, kai artėjančios srautai yra lygiaverčiai. Kai transporto priemonių srautas yra itin didelis, naudojamos turbožiedinės sankryžos, šio tipo žiedinės sankryžos rekomenduojamos siekiant sumažinti konfliktų riziką, pagerinti eismo saugumą ir pagreitinoti važiavimą žiedine sankryža.



8 pav. Konflikto taškai ir transporto srautų trajektorijos žiedinėje sankryžoje įvertinant persirikiavimą (Klibavičius, 2008)

Konflikto taškų skaičius žiedinėse sankryžose (8 pav.) literatūroje pateikiamas neįvertinus transporto srautų trajektorijų susimaišymo ir persirikiuojamo, transporto srauto trajektorijos žiedinėje sankryžoje priklauso nuo šių veiksnių (Klibavičius, 2008):

- eismo organizavimas eismo juostose žiedinė sankryžą;
- žiedinės sankryžos vidinis skersmuo;
- visų žiedinės sankryžos įvažiavimo srautų dydis;
- srautų pasiskirstymas kiekviename įvažiavime ir išvažiavime;
- eismo juostų skaičius žiedinėje sankryžoje;
- eismo juostų skaičius prie įėjimo, įvažiavimų ir išvažiavimų.

Šio tyrimo moduliacijos parodo, kad sudaryti saugią, produktyvią ir tvarią aplinką eismui projektuojant arba rekonstruojant žiedines sankryžas labai rekomenduojama, kad žiedo eismo juostų skaičius (n_i) būtų didesnis negu eismo juostų skaičius ant įvažiavimo (n_r):

$$n_r = n_i + 1; \quad (1)$$

čia:

n_r – eismo juostų skaičius ant įvažiavimo;

n_i – žiedo eismo juostų skaičius (Klibavičius, 2008).

1.2 Intelektinės transporto sistemos

Intelektinės transporto sistemos (angl. *Intelligent transportation systems*) yra belaidžiu ir laidiniu ryšiu pagrįstos informacinės, technologinės sistemos (Pečiukėnas et al., 2017). Intelektinė elektroninė transporto valdymo sistema paprastai susideda iš šių pagrindinių dalių:

- duomenų surinkimas;
- duomenų apdorojimas;
- duomenų perdavimas;
- valdymas;
- atskirų hierarchinių lygių tarpusavio sąsajos.

Vienas didžiausių šių laikų kelių transporto uždavinių – optimizuoti ir efektyviai paskirstyti transporto srautus. Optimalus sprendimo metodas leistų ne tik sumažinti neigiamus poveikius transporto sektoriui, tačiau ir sumažintų žuvusiųjų keliuose skaičių (Pečiukėnas et al., 2017).

Vilniaus miesto ITS taip pat plačiai naudojamos, Vilniaus miesto eismo valdymo centras – visų posistemių jungiamoji grandis. Visas valdymas yra realizuotas su „SITRAFFIC Server“ programine įranga. „SITRAFFIC Server“, veikianti ištisą parą, seka tikslų sistemos darbą ir esant bet kokiems gedimams siunčia pranešimus Eismo valdymo centro operatoriams. Į visus gedimus yra reaguojama operatyviai ir stengiamasi per valandą juos pašalinti. Kita programinė įranga – „SITRAFFIC Scala“ leidžia operatoriui tikruoju laiku keisti sankryžų darbo režimus norint pagerinti esamą eismo situaciją. Įmanomas automatinis ir specialus signalinių programų perjungimas. Labai svarbu yra palaikyti nenutrūkstamą ryšį su sankryžų valdikliais, kadangi eismo srautų optimizavimas yra vykdomas tiesiogiai iš Eismo valdymo centro.



9 pav. Kintamosios informacijos kelio ženklas (paimta iš <https://kaunas.kasvyksta.lt/>)

Kaip pavyzdį galima paminėti kintamosios informacijos išpėjamuosius skydus (9 pav.), taip pat nuo 2014 metų reguliuojamose pėsčiųjų perėjose bei sankryžose buvo įrengta nauja tvarka. Pagal ją eismo dalyviams, kuriems dega draudžiamasis šviesos signalas, žalia šviesa neužsidega, kai draudžiamasis signalas jau dega kitiems eismo dalyviams. Taip sistema suteikia laiko visiems eismo dalyviams pabaigti manevrą ir tik tada leidžia eismą kitiems dalyviams.

Ką mums suteikia ITS? Pritaikius pažangias navigacijos sistemas ir palydovinį sekimą, panaudojant europietiškas sekimo platformas „Galileo“ ir „Egnos“, būtų įmanoma:

- stebėti saugumo situaciją keliuose;
- gauti skubios pagalbos keliuose informaciją iš *eCall* ir *SoL* (Safety of Life Service) tarnybų;
- stebėti laisvas parkavimo vietas ir jas rezervuoti;
- atsiskaityti už su transportu susijusias mokamas paslaugas;
- stebėti viešąjį transportą;
- stebėti pavojingųjų krovinių gabenimo informaciją;
- susekti prarastą ar pavogtą turtą (Zavaglia, 2016).

Lietuvoje išsamiai ITS rūšis ir klasifikavimą bei Lietuvos Respublikos ITS priemonių raidos strategiją aprašė Jarašūnienė (2008) savo vadovyje: „Intelektinės transporto sistemos“. ITS yra bendras integruotų ryšių, kontrolės ir informacijos apdorojimo technologijų taikymo transporto sistemoje terminas. Jų teikiama nauda padeda tausoti žmonių gyvybes, laiką, pinigus, energiją ir aplinką. Terminas ITS yra lankstus ir gali būti interpretuojamas platesne ar siauresne prasme. Transporto telematika yra ES (Europos Sąjungoje) vartojamas terminas, nusakantis grupę technologijų, palaikančių ITS.

ITS apima transporto šakas ir atsižvelgia į visus dinamiškai sąveikaujančius transporto sistemos elementus, t. y.: transporto priemones, infrastruktūrą, vairuotoją ir vartotoją.

Atsakydama į transporto sistemos optimizavimo uždavinius, Jarašūnienė (2008) savo darbe šį teiginį formuluoja taip: „Pagrindinis investavimo į ITS argumentas – tai keleivių ir krovinių vežimo sistemų darbo tobulinimas, didinant produktyvumą, išsaugant gyvybes, taupant laiką, lėšas ir energiją“.

Jarašūnienė (2008) išskiria šias ITS Lietuvoje pritaikymo sritis:

- eismo sąlygų prognozavimas;
- transporto grūsčių stebėjimas vaizdo kameromis;
- automobilių atpažinimas ir ribėjimas;
- elektroninio apmokėjimo sistemos (kelių, parkavimo mokesčiai);

- dinamiškų sistemų sukūrimas, kurios reaguoja į eismo pasikeitimus;
- „žaliųjų koridorių“ įvedimas eismo signalizavimo būdu, siekiant suteikti prioritetą viešajam transportui, greitosios pagalbos arba avarinių tarnybų automobiliams.

1.3 Optimizavimo būdai ir tyrimai

Šiuolaikiniame pasaulyje intelektinės transporto sistemos plačiai plėtojamos, jų įtaka transporto srautų ir eismo reguliavimui nuolat didėja. Greitai tobulėjančios naujos technologijos, žmonių socialinės ekonominės padėties gerėjimas daro įtaką visuotiniam automobilizacijos lygiui. Siekiant suvaldyti ir racionaliai paskirstyti kelių transporto priemonių judėjimą, srautą buvo pradėtos diegti intelektinės transporto sistemos (ITS). Paprasčiausios ITS padeda išvengti neefektyvaus transporto infrastruktūros panaudojimo – didelės žalos keliams keliančių perkrauto sunkiasvorio transporto srautų, naudotojų nepadengiamų realios infrastruktūros naudojimo sąnaudų bei transporto spūsčių miestuose.

1.3.1 ITS įtaka eismo organizavimui

Stepanchuk et al. (2013) teigia, kad ekonomikos atžvilgiu efektyviausia taikyti įvairius eismo organizavimo metodus taip, kad būtų užtikrintas tinkamas srautų pasiskirstymas.

Savo darbe autorius išskiria šias eismo organizavimo būsenas:

- vienpusis eismas;
- savireguliuojantis judėjimas;
- reguliuojamas judėjimas, naudojant kelių ženklumą;
- izoliuotas reguliavimas šviesoforais;
- „žalias koridorius“ magistraliniuose keliuose;
- automatizuotų eismo valdymo sistemų taikymas.

Iš visų išvardytų metodų pats efektyviausias yra automatizuotų sistemų taikymas, arba ITS (intelektinės transporto sistemos) (Pečiukėnas et al., 2017). Kijeve atlikti tyrimai parodė, kad ruožuose, kur naudojamos vizualaus stebėjimo sistemos, eismo spūsčių trukmė yra mažesnė. Pagal juos ITS suteikia mums šias galimybes:

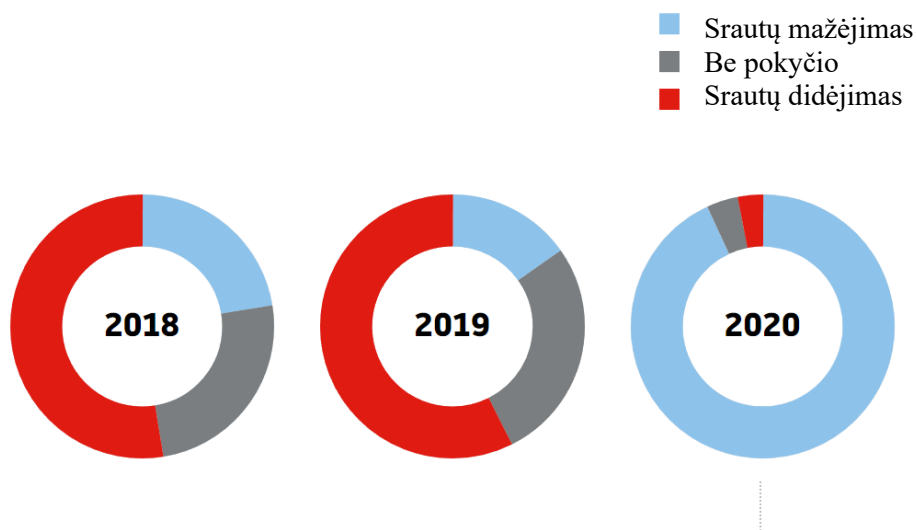
- operatyvus eismo valdymas, iš esmės padidinant jo saugumą;
- sumažinamas netyčinis transporto priemonių vėlavimas, kartu mažinant spūsties susidarymo galimybes;
- laiko, reikalingo aptikti ir ištaisyti periferinių sistemų gedimus, mažinimas;
- išmetamųjų dujų kiekio sumažinimas kartu su transporto priemonių keliamo triukšmo mažinimu;
- automatiškai priimami tinkamiausi sprendimai organizuojant eismą.

Kita labai svarbi ITS įtaka transportui ir jos panaudojimo sritis tai yra duomenų apdorojimas. Šiuolaikinės IT sistemos apima daug veiklų ir viena iš jų – tai GPS navigacija. Vienas iš jau minėtų tyrimų yra „TomTom trafick index“, naudojasi ne tik duomenimis ir sankryžų jutikliu, bet ir duomenimis, kuriuos surenka „TomTom“ GPS navigacija ir kitos programos, skirtos padėti eismo dalyviams. Tokie duomenys būna nuasmeninti, jų pagrindinė paskirtis – suteikti mokslininkams ir specialistams pakankamai statistinių duomenų apie žmonių judėjimą.

Tokio tyrimo metodika turi savo išskirtinių privalumų:

- Duomenų imtis – duomenys gali apimti visą statistiką iš faktinių vairavimo kelionių, tokie duomenys gali parodyti ne tik aktualų eismo srautų judėjimą, bet ir esant pokyčiui stebėti, kur perteklinis vairuotojų srautas galėtų būti nukreiptas.
- Duomenų rinkimo statistika padeda rinkti duomenis ne tik iš sankryžų, todėl galima atskirti magistralinius ir nemagistralinius kelius.

Kita vertus, tokie duomenys ne visada apima visa duomenų statistinę imtį, todėl mūsų duomenys turi būti patikrinti, pasinaudojant kitais šaltiniais, kitaip nebus galima įvertinti statistinės paklaidos.

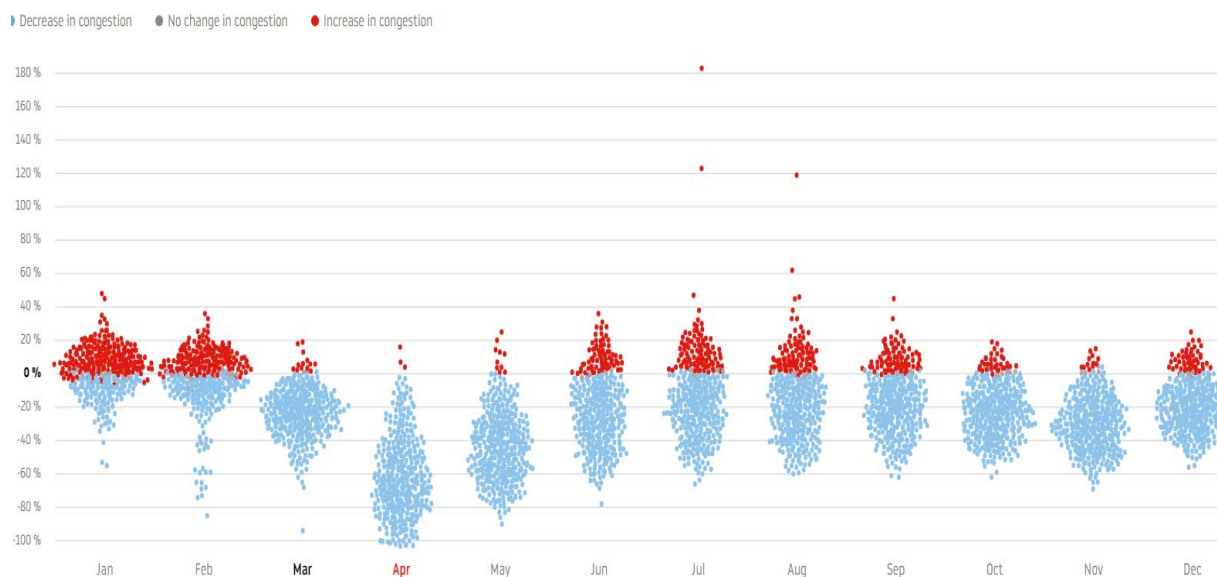


10 pav. Pasauliniai eismo pokyčiai (raudona spalva – srautų didėjimas, mėlyna – mažėjimas, pilka – be pokyčio) (paimta iš <https://www.tomtom.com 2021-10-03>)

Tyrimas apėmė 416 miestų 57 šalyse, jo tikslas buvo sudaryti objektyvų vaizdą, kaip keičiasi žmonių judumas ir eismo apkrovos palyginti su praeitais metais. Statistiniai duomenys rodo, kad pandemijos metu, o ypač 2020 m. balandžio mėnesį (10 pav. ir 11 pav.) eismo intensyvumas sumažėjo. Iki 2019 metų buvo aiškios tendencijos transporto srauto intensyvumui

augti (10 pav.), o po „Covid-19“ apribojimų 2020 metais visame pasaulyje buvo stebimas transporto eismo kritimas.

Balandžio mėnesį buvo pastebėtas esminis eismo spūsčių sumažėjimas viso pasaulio miestuose. Kai kuriuose miestuose buvo fiksuojamas net 30 dienų periodas, kai eismas buvo mažai intensyvus – spūstys buvo bent 50 % mažesnės nei tą pačią dieną 2019 m.



11 pav. Mėnesinis eismo intensyvumo pokytis 2019–2020 metais (raudona spalva – srautų didėjimas, mėlyna – mažėjimas, pilka – be pokyčio) (paimta iš <https://www.tomtom.com 2021-10-03>)

1.3.2 Prioritetas viešajam transportui, naudojant ITS

Kitas tyrimas atliktas Lietuvoje. Pečiukėnas et al. (2017) taip pat aprašo ITS įtaką eismo organizavimui, o atliktas tyrimas parodo, kaip pasikeistų srautas Vilniaus mieste, suteikus viešajam transportui judėjimo privalumą, naudojant ITS. Buvo atliktas statistinių duomenų rinkimas ir srauto moduliavimas su prielaida, kad viešajam transportui būtų suteiktas privalumas. Programoje aprašius greitojo autobuso judėjimą, įvedama sąlyga, kad likus iki sankryžos 200 m ir važiuojant pastoviu greičiu, būtų uždegtas žalias šviesoforo signalas po tam tikro laiko, kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$t = \frac{s}{v}; \quad (2)$$

čia:

t – laikas, po kurio užsidega žalias šviesoforo signalas, s;

$S = 200$ m, atstumas iki sankryžos;

v – autobuso greitis, m/s (Newton, 1728)

Simuliacijos rezultatai buvo pateikti 3 ir 4 lentelėse.

Tyrimui atlikti buvo pasirinkta Švitrigailos gatvė, kaip atitinkanti šias prielaidas:

- pagrindinėje gatvėje turi būti įrengtos „A“ juostos;
- „A“ juostoje turi vykti greitųjų autobusų eismas;
- pagrindinės ir šalutinės sankryžos gatvės intensyvumas turi gerokai skirtis.

3 lentelė. Simuliacijos rezultatai be prioriteto viešajam transportui (Pečiukėnas et al., 2017)

Data	1	2	3	4	5	6
2016 m. spalio 20 d.	3600	3,6	15,3	87,3	127	1676
2016 m. lapkričio 20 d	3600	3,9	14,9	101,0	128	1698

4 lentelė. Simuliacijos rezultatai, esant viešojo transporto prioritetui (Pečiukėnas et al., 2017)

Data	1	2	3	4	5	6
2016 m. spalio 20 d.	3600	3,7	12,5	117,3	87	1685
2016 m. lapkričio 20 d	3600	4,1	12,3	110,0	89	1704

Lentelių grafų reikšmės: 1 – simuliacijos trukmė, s; 2 – vidutinis sustojimų skaičius, tenkantis vienam automobiliui; 3 – vidutinis greitis, km/h; 4 – vieno automobilio vidutinė sustojimo trukmė, s; 5 – autobuso kelionės trukmė kertant tris sankryžas, s; 6 – bendras sustojimų skaičius.

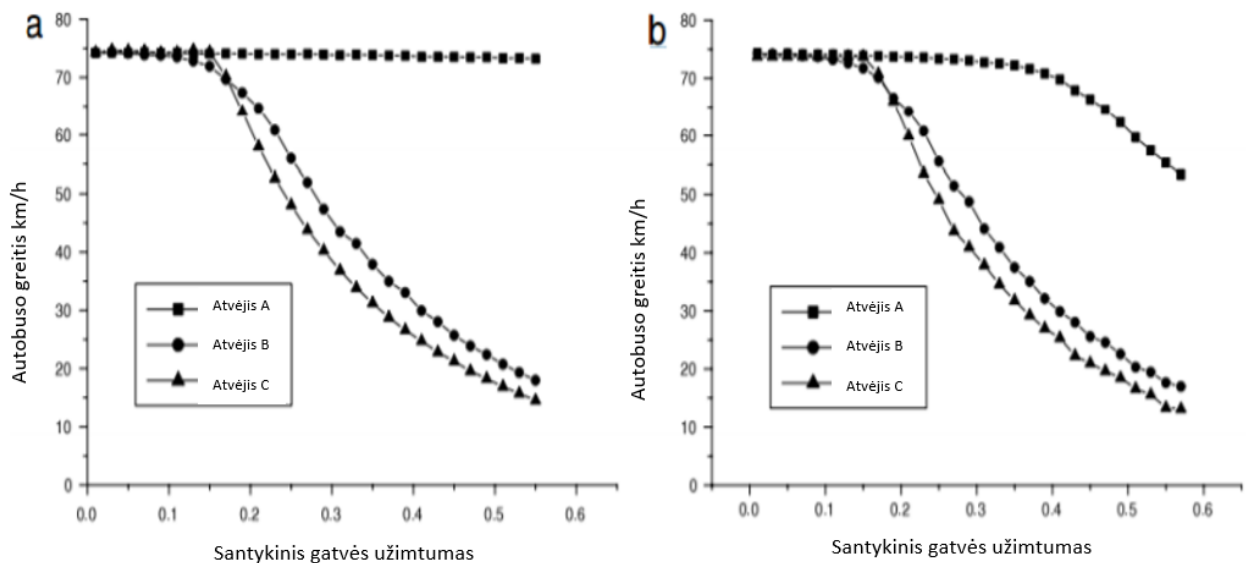
Tyrimas parodė, kad įgyvendinus tokias prielaidas, transporto priemonių srautas sumažėtų daugiau nei 10 %, kadangi viešasis transportas taptų populiaresnis ir konkurencingesnis. Viešojo transporto prastovos sankryžose sumažėja vidutiniškai apie 33 %, kadangi prioritentinė sistema leidžia išvengti raudono šviesoforo signalo, o laikas sugaištamas tik įveikiant pasirinktą ruožą.

Zhu (2010) atliko trijų viešojo transporto prioritetų modelių tyrimą, kuriame buvo lyginami trys modeliai:

- prioritetas viešajam transportui, kai dešinioji eismo juosta skirta tik viešajam transportui;
- dalinis prioritetas viešajam transportui, kai dešinioji eismo juosta skirta tik viešajam transportui tik tam tikruose ruožuose;
- be prioriteto – viešasis transportas nėra išskiriamas nuo kitų eismo dalyvių ir važiuoja bendrame eismo sraute.

Tyrimui buvo pasirinktas dviejų eismo juostų kelias. Atliekant tyrimą buvo keičiamos pagrindinės transporto srautui įtakos turinčios funkcijos ir jų parametrai: greitis, srauto

pasiskirstymas, transporto priemonių skaičius sraute ir pan. Atlikęs šių modelių simuliacijas Zhu (2010) nustatė, kad modelis su daliniu prioritetu turi aiškų pranašumą dėl to, kad viešasis transportas yra visiškai atskirtas nuo bendro automobilių srauto ir taip nėra jokių faktorių, varžančių viešojo transporto greitį ar reguliarumą. Pagal tyrimo rezultatus buvo sudaryti grafikai, kuriuose matoma viešojo transporto greičio priklausomybė nuo gatvės užimtumo visais trim atvejais (12 pav.). Nustatyta, kad kai gatvių užimtumas mažas – greitis visais atvejais yra toks pat ir viešasis transportas gali judėti reikiamu greičiu, nes tam nėra jokių kliūčių.



12 pav. Greičio priklausomybė nuo gatvės užimtumo: (a) $R = 0,1$, (b) $R = 0,2$ (Zhu, 2010)

Čia greičiai A, B ir C yra atitinkami srautų greičiai esant skirtingiems viešojo transporto prioritetams. A – pilnas, B – dalinis, C – be prioriteto. Koeficientas R – tai santykis tarp viešojo transporto skaičiaus ir viso transporto priemonių skaičiaus sraute. Tokiu būdu matoma, kad didėjant gatvių užimtumui „A“ atveju viešojo transporto judėjimo greitis nesikeičia. Tai pažymi A modelio privalumą, tačiau jeigu viešojo transporto skaičius padidėja, tada judėjimo greitis irgi pradeda mažėti, nors vis tiek ir išlieka aukštesnis. Dėl to galima spręsti, kad optimizuojant transporto sistemą, viešojo transporto naudojimo skatinimas yra efektyvesnis už kitus modelius.

Viešasis transportas vienu metu gali pervežti daugiau vartotojų, o jeigu jis bus konkurencingas, tai skatins žmones daugiau juo naudotis, jo paslaugos bus pigesnės, o transporto priemonių skaičius gatvėse sumažės. Kaip jau buvo minėta, infrastruktūros gerinimas nuosavo transporto atžvilgiu turi trumpalaikį efektą iki tol, kol transporto priemonių skaičius vėl nepasieks kritinės reikšmės.

1.3.3 ITS rūšys ir jų panaudojimo galimybės

Dabartinis pasaulis ir mokslas ieško naujų sprendimų ir taikymo metodų įvairiose gyvenimo srityse. Dėl to, kad transporto klausimas tiek ekologijos, tiek ekonomikos atžvilgiu yra labai aktualus, visada ieškoma naujų galimybių taikyti pažangias technologijas. Pagal Pallavi et al., (2018) publikuotą tyrimą buvo sudarytas pačių pažangiausių ir efektyviausių intelektinių transporto sistemų algoritmų, kurie naudojami visame pasaulyje, sąrašas. Tyrimo išvada buvo platinti ir tobulinti šiuos algoritmus kaip labiausiai atsiperkančius.

Pažangi keleivių informacijos sistema ATIS (angl. *Advanced Traveler Information System*): ji naudoja platų spektrą technologijų, tokių kaip internetas, telefonai, mobilieji telefonai, televizija, radijas ir kt., kad padėtų keliautojams ir vairuotojams gauti informacijos sprendimų dėl išvykų, optimalių maršrutų ir galimų kelionės būdų, taip pat informaciją dėl laisvų stovėjimo aikštelių, eismo spūsčių ir t. t.

Pažangi eismo valdymo sistema ATMS (angl. *Advanced Traffic Management System*): ja naudojasi kelių policijos departamentai ir eismo reguliavimo institucijos kaip valdymo ir kontrolės priemonė stebint eismo srautą ir padeda operatyviai priimti tinkamus sprendimus. Eismo valdymo sistema optimizuoja transporto priemonių judėjimą, realiuoju laiku įsiterpiančią į eismo valdymo įrenginių darbą: šviesoforus, valdiklius ir t. t.

Pažangi viešojo transporto sistema (APTS): tai apima visų viešojo transporto atliekamų operacijų efektyvumo užtikrinimą padarant ją labiau patikimą. Su APTS keičiamas pats paslaugų spektras, kurį sistema gali pasiūlyti vartotojui. Maršrutų sudarymas, jūsų judėjimo mieste stebėjimas, žmonių informavimas laiku dėl spūsčių ar kitų kelionę apsunkinančių aplinkybių.

Avarinių situacijų valdymo sistema (EMS): tai yra naujausia ITS tyrimų sritis. EMS daugiausia apima skirtingų intelektinių sistemų pritaikymą vežimams – sukurti tokią transporto sistemą, kuri galėtų suteikti pagalbą kritinėmis sąlygomis, laiku perspėjant apie gedimus ir kitus trikdžius.

Labai įdomios praktikos ir patirties įgijo transporto inžinieriai iš Dubajaus (JAE). Chaudhry (2012) savo darbe pateikė išsamią šalies transporto sistemos diegimo ir plėtros istoriją. Dubajus yra žinomas dėl savo novatoriškos plėtros požiūrio Vidurio Rytuose ir iš jų yra ko pasimokyti. Pagrindiniai transporto iššūkiai, su kuriais susidūrė Dubajus 2005 metais, buvo eismo spūstys, didelis mirtingumas dėl eismo įvykių, žemas viešojo transporto populiarumas, transporto tarša. Apskaičiuota, kad apie 4,6 milijardo JAE dirhamų buvo prarandama dėl transporto spūsčių. Tai yra darbuotojų laiko, praleisto eismo spūstyje. Nuosavų automobilių skaičius Emyratuose siekė 541 automobilį – 1 tūkst. žmonių, o tai yra vienas aukščiausių rodiklių, palyginti su panašiais miestais pagal gyventojų skaičių visame pasaulyje. Mirtingumas dėl eismo įvykių: 100 000 žmonių, tai buvo 24 mirtys, iki 6 mirčių 100 000 žmonių tokiose šalyse, kaip JK ir Švedija. Viešasis transportas sudarė tik apie 6 % visų transporto priemonių Dubajuje. Tuo metu iki 65 %

Singapūre ir 87 % Honkonge. Todėl 2005 m. lapkričio mėn. Dubajus įsteigė nepriklausomą nuo Vyriausybės įstaigą – Kelių transporto tarnybą (RTA) (angl. *Roads and Transport Authority*).

TRA paskelbė šiuos tikslus (13 pav.):

- kelių tinklo tobulinimas;
- viešojo transporto sistemos plėtra ir tobulinimas;
- pėsčiųjų ir dviratininkų tinklų kūrimas;
- įstatymų leidyba;
- pažangios transporto technologijos plėtra;
- eismo ir saugos supratimo gerinimas.



13 pav. RTA transporto sistemos plėtros strategija (Chaudhry, 2012)

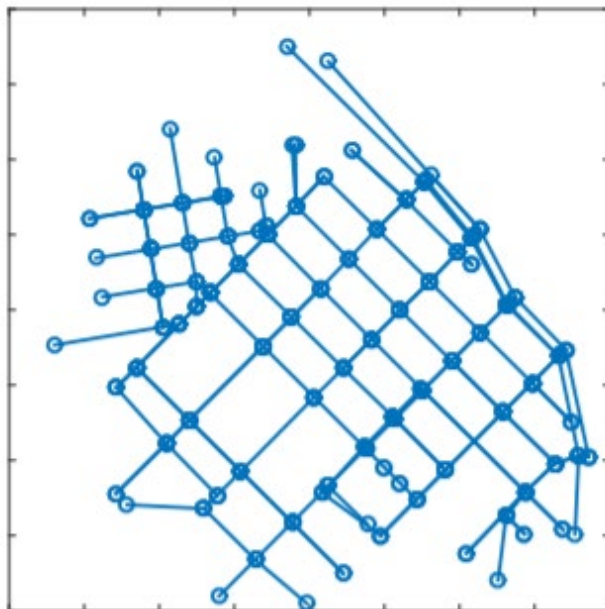
RTA padarė didelę pažangą naudodama intelektinę transportavimo sistemą, siekdama maksimaliai padidinti Dubajaus transporto efektyvumą socialinei bei ekonominei naudai. Šiame sąraše yra keletas sistemų, kurios buvo įgyvendintos:

- bendra automatinė tarifų rinkimo sistema;
- dinaminė navigacijos sistema;
- kintamosios informacijos ženklai;
- eismo signalų valdymo sistema SCOOT;
- centrinė automobilių stovėjimo aikštelių valdymo sistema.

Diegiant šias intelektines transporto sistemas Dubajus pasiekė didelių pokyčių (Chaudhry, 2012). Pagal esamus tyrimus iki 2012 metų nuosavo transporto Dubajuje atsisakė 9,45 % vartotojų ir perėjo į viešąjį. Nuosavo transporto skaičius sumažėjo 8 %, o laikas, kurį žmonės praranda eismo spūstyse, beveik 18,56 %.

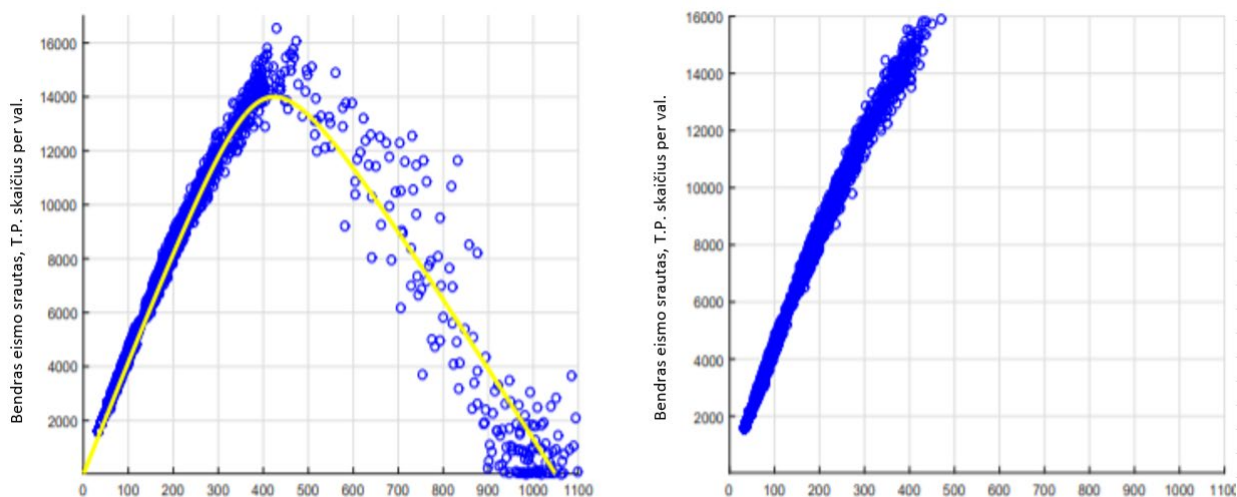
Kitas tyrimas, susijęs su ITS panaudojimo galimybėmis, yra aprašytas Menelaou et al. (2015) darbe. Šis darbas pristato naują maršrutų rezervavimo architektūrą, skirtą valdyti kelių eismą miesto teritorijoje. Išvystyta eismo planavimo architektūra išsklaido kelių infrastruktūrą į erdvės ir laiko juostas kiekvienai transporto priemonei. Sistema rezervuoja transporto priemonėms atitinkamus maršrutus taip, kad eismo dalyviai maksimaliai išvengtų eismo spūsčių ir sumažinant kelionės laiką.

Pagal šią transporto sistemos architektūrą bet kuriuo kelio ruožu leidžiama važiuoti tik tam tikrais laiko tarpais, kai sukauptas kelių rezervacijos kiekis neviršija kritinio tankio. Kelyje esantis palydovas seka visas rezervacijas, kurios vėliau naudojamos kiekvienos transporto priemonės maršrutui moduluoti. Naudojant maršruto parinkimo mechanizmą, transporto priemonės gali būti atidėtos arba nukreiptos ilgesniais, bet neperkrautais maršrutais, kad jų kelionės laikas būtų kuo mažesnis. Tyrime siūloma sistemos architektūra ir matematiškai suformuluota gauta maršruto rezervavimo problema.



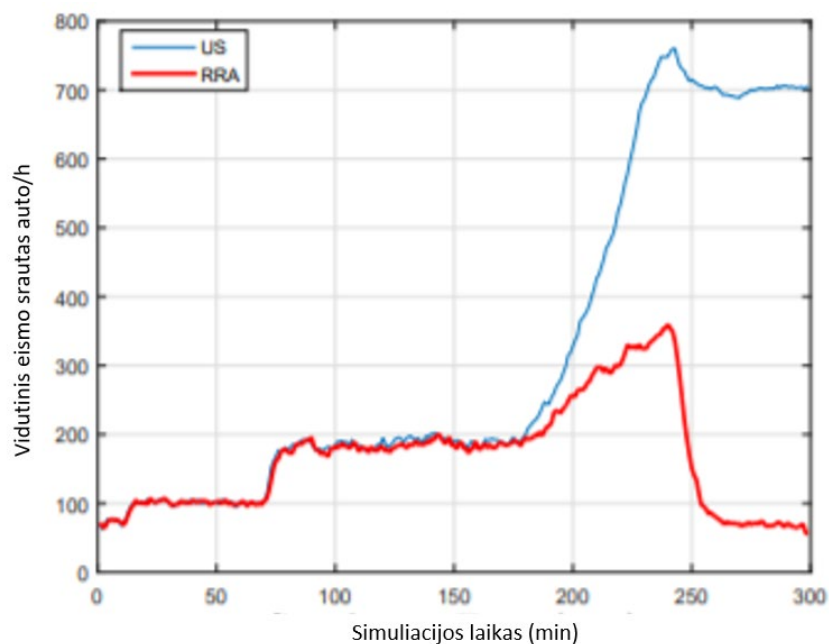
14 pav. Nagrinėjamas San Francisko kelių tinklas (Menelaou et al., 2015)

Atliekant tyrimą buvo lyginamos eismo situacijos San Francisko miesto centre (14 pav.) su ir be RRA (*road reservation algorithm*, liet. *maršruto rezervavimo algoritmas*). Duomenys rodo, modeliuojant eismo sąlygas, nagrinėjamos sistemos pralaidumo priklausomybė nuo transporto priemonių skaičiaus tiek naudojant RRA, tiek esant nekontroliuojamam eismo srautui beveik nesiskiria, kai eisme dalyvauja iki 400–500 transporto priemonių (15 pav.).



15 pav. Transporto sistemos pralaidumo priklausomybė nuo transporto priemonių skaičiaus.
(Kairė be RRA, dešinė su RRA) (Menelaou et al., 2015)

Didėjant eismo dalyvių skaičiui, labai didėja sistemos, naudojančios RRA, pranašumas, nes be jos gatvių pralaidumas pradeda mažėti. Norint pamatyti sistemos našumą reikia atkreipti dėmesį į 16 pav. Grafikas atvaizduoja vidutinį visų simuliacijų eismo tankį nuo simuliacijos laiko.



16 pav. Eismo tankio priklausomybė nuo laiko
US – *uncontrolled scenario* (liet. *nekontroliuojamos sąlygos*), RRA – *road reservation algorithm* (liet. *maršruto rezervavimo algoritmas*) (Menelaou et al., 2015).

Iš grafiko aiškiai matyti, kad išankstinis maršruto rezervavimas (planavimas) atsižvelgiant į eismo intensyvumą realiuoju laiku gerokai mažina eismo tankį ir padeda palaikyti jį tam tikro lygio. Pagrindinis siūlomo algoritmo pranašumas yra tas, kad atsižvelgiant į regionų erdvės ir laiko tankį, naudojamas tikslesnis ateities srauto prognozavimas, dėl to algoritmas sukuria nesudėtingus, bet artimus optimaliems sprendimus paskirstant transporto srautą erdvėje ir laike.

2. Tyrimo metodika

Tyrimui atlikti buvo pasirinktas eismo ruožas su pirmenybe viešajam transportui (A-juosta). Tyrimo objektas yra eismo ruožas, einantis per Ozo gatvę nuo Buivydiškių gatvės iki Ozo ir Kalvarijų gatvių sankryžos (17 pav.). Darbo tikslas yra ištirti eismo sistemos valdymo efektyvumą suteikiant prioritetą viešajam transportui.



17 pav. Analizuojamas eismo ruožas (sudaryta darbo autoriaus)

2.1 Tyrimo eiga

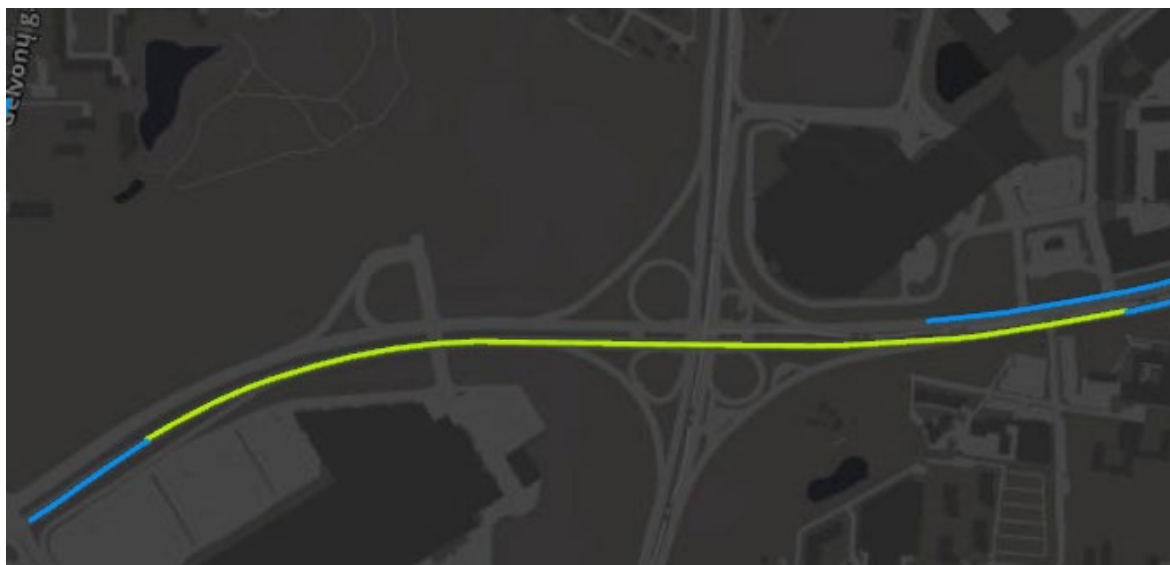
1. Nustatyti pasirinkto ruožo pagrindines kryptis ir padalinti ją į svarbiausias atkarpas, kur susijungia arba išsiskiria eismo srautai.
2. Surinkti eismo srautų duomenis.
3. Sukurti matematinį eismo modelį.
4. Atlikti simuliacijas.

Esant veikiančiai virtualiai eismo sistemai, bus atliekamos šešios simuliacijos pagal pagrindinius eismo scenarijus (5 lentelė).

5 lentelė. Simuliacijų žemėlapis (sudaryta darbo autoriaus)

Simuliacijos tipas	Pagal srauto valandinį vidurkį	Pagal piko reikšmės vidurkį
Simuliacijos be prioriteto V.T.	1 simuliacija	2 simuliacija
Esamos situacijos simuliacija (su prioritetu V.T.)	3 simuliacija	4 simuliacija
Simuliacijos pagal 2022 Ozo g. rekonstrukcijos patvirtintą planą	5 simuliacija	6 simuliacija

Išvardytų simuliacijų tikslas – palyginti teorinius srautus su esamais rodikliais ir patikrinti, kaip keičiasi kelionės laikas skirtingomis sąlygomis. Kaip A-juostos projektavimas gali paveikti eismą, esant vienodam transporto priemonių skaičiui. Taip galima palyginti eismo sistemos efektyvumą Ozo gatvėje su ir be A-juostos, taip pat ir prognozuoti, kaip turėtų pasikeisti eismo situacija pertvarkant Ozo gatvės ruožą tarp Gelvonų ir Kernavės gatvių (18 pav.).



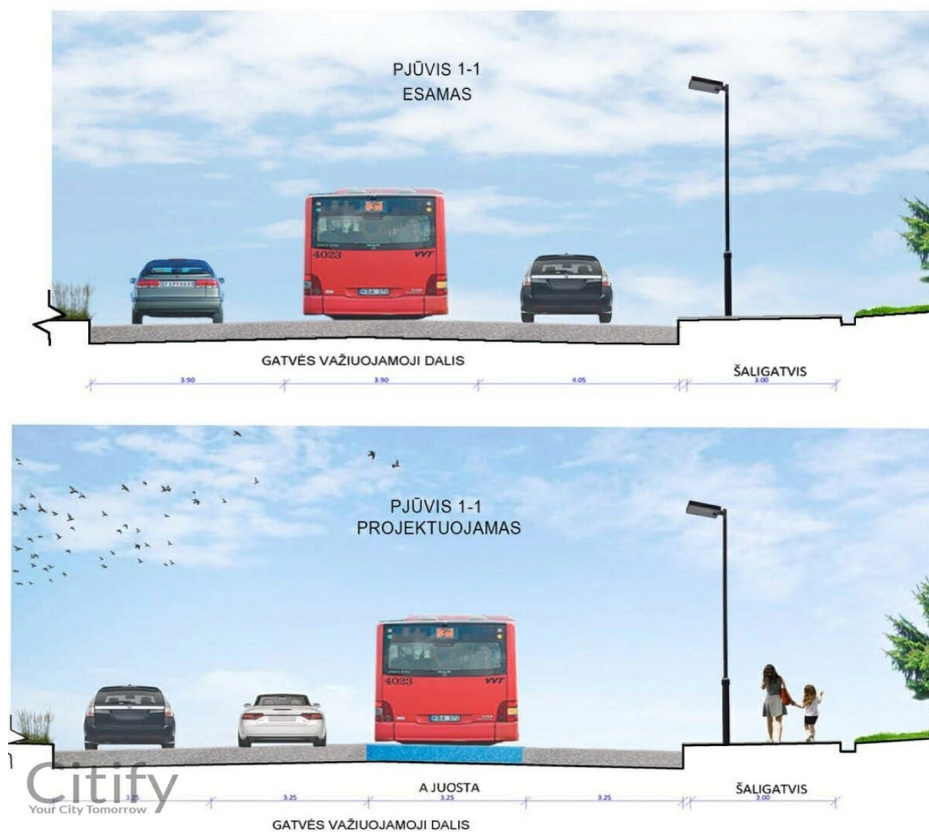
18 pav. Nauja A-juosta tarp Gelvonų ir Kernavės gatvių (paimta iš <https://maps.vilnius.lt/> 2021-10-03)

Projekte numatoma, kad bus parengta ištininė A eismo juosta (19 pav.), tai suteiks didesnę prioritetą viešajam transportui ir sumažins persirikiavimų skaičių nuosavam transportui, taip pat sumažinant konfliktinių taškų skaičių tarp viešojo ir nuosavo transporto judėjimo trajektorijų.



19 pav. Ozo gatvės rekonstravimo planas (paimta iš <https://citify.eu/> 2022-01-03)

Atliekant rekonstrukciją: Ozo gatvės atkarpa tarp Gelvonų ir Kernavės gatvių bus praplatinta įrengiant joje papildomą autobusų ir specialiojo transporto juostą. Taip pat bus pertvarkytas eismas sankryžoje ties PC „Ozas“. Čia bus įrengtas eismą reguliuojantis šviesoforas, taip pat panaikintas apsisukimas per skiriamąją juostą. Kartu bus sutvarkyti gatvės atkarpoje esantys pėsčiųjų ir dviračių takai, modernizuotas apšvietimas.



20 pav. Ozo gatvės rekonstravimo pjūvis (paimta iš <https://citify.eu/2022.01.03>)

Tyrimo metu atliekant moduliacijas vadovautasi paviešinta informacija apie Ozo gatvės rekonstravimo projektą iš CVP IS sistemos (Centrinė viešųjų pirkimų informacinė sistema). Projekto svarbiausių pakeitimų vizualizacija pateikiama 20 paveiksle per skersinį gatvės pjūvį.

Prieš sukuriant matematinį eismo modelį, pasirinktas ruožas padalijamas į tris atkarpas. Šios atkarpos sukuriamos siekiant palengvinti tolesnes moduliacijas, vertinant srautų pasiskirstymą sankryžose:

- Ozo g. nuo Buivydiškių g. link Ukmergės g.;
- Ozo g. nuo Ukmergės g. link Gelvonų g.;
- Ozo g. nuo Gelvonų g. link Kalvarijų g.

Paskutinis ruožas yra pats ilgiausias, bet moduliacijos atžvilgiu jis išskiriamas būtent taip, kad būtų palengvintas gatvės parametų keitimas išskiriant šį ruožą į atskirą posistemę.

2.2 Statistinių duomenų rinkimas ir apdorojimas

Naudojant Vilniaus eismo valdymo centro statistinius modelius sudaromos pirminės duomenų lentelės (paimta iš <https://portal.sisp.lt> 2022-01-13)

Analizuojamuose kelio ruožuose esančių sankryžų duomenys pateikiami 6–7 lentelėse.

Darbe naudojamas terminas – piko metus, tai vidurkis tarp transporto priemonių nuo 8–9 valandos ryto ir 17–18 valandos vakaro srautų parametrų. Toliau darbe apdorojant statistinius duomenis ir rengiant simuliacijas bus naudojama sąvoka: piko metu.

6 lentelė. Piko valandomis fiksuojamų T.P. duomenys (2021 metų statistika) (sudaryta darbo autoriaus)

Piko valanda, auto/h	Rytas 8–9 val.	Vakaras 17–18 val.	Vidurkis
Ozo g. nuo Buivydiškių g. link Ukmergės g.	2988 auto/h	3500 auto/h	3244 auto/h
Ozo g. nuo Ukmergės g. link Gelvonų g.	3878 auto/h	4474 auto/h	4176 auto/h
Ozo g. nuo Gelvonų g. link Kalvarijų g.	5411 auto/h	5682 auto/h	5547 auto/h

7 lentelė. Vidutinis fiksuojamų T.P. skaičius per valandą (2021 metų statistika) (sudaryta darbo autoriaus)

Sankryžos	Vidutinis srautas, auto/h
Ozo g. nuo Buivydiškių g. link Ukmergės g.	1924 auto/h
Ozo g. nuo Ukmergės g. link Gelvonų g.	3419 auto/h
Ozo g. nuo Gelvonų g. link Kalvarijų g.	3927 auto/h

Toliau reikia sugrupuoti srautų duomenis pasirinktose tiriamojo ruožo atkarpose (8 ir 9 lentelių duomenys).

Visi papildomi skaičiavimai atliekami „Microsoft Excel“ programoje naudojant formulę:

$$x_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (3)$$

čia:

x_{vid} – ieškomo vidurkio reikšmė;

n – reikšmių skaičius;

i – i -tojo sumos nario reikšmė (Krylovas, 2009).

8 lentelė. Kelio atkarpų valandiniai transporto srautų vidurkiai (2021 metų statistika) (sudaryta darbo autoriaus)

Kelio atkarpos valandinio srauto vidurkių reikšmės, auto/h			
Mėnuo	Ozo g. nuo Buivydiškių g. link Ukmergės g.	Ozo g. nuo Ukmergės g. link Gelvonų g.	Ozo g. nuo Gelvonų g. link Kalvarijų g.
1	437	598	351
2	522	653	480
3	525	875	944
4	537	968	997
5	578	1052	1091
6	585	1064	1099
7	561	1050	1097
8	573	1350	1075
9	637	1791	1065
10	659	1799	1022
11	581	1651	1017
12	570	1576	997
Vidurkis:	564	1202	936

9 lentelė. Kelio atkarpų valandinės transporto srautų piko reikšmės (2021 metų statistika) (sudaryta darbo autoriaus)

Kelio atkarpos piko valandų srauto reikšmės, auto/h			
Mėnuo	Ozo g. nuo Buivydiškių g. link Ukmergės g.	Ozo g. nuo Ukmergės g. link Gelvonų g.	Ozo g. nuo Gelvonų g. link Kalvarijų g.
1	721	748	509
2	861	816	696
3	866	1094	1369
4	886	1210	1446
5	954	1315	1582
6	965	1330	1594
7	926	1313	1591
8	945	1688	1559
9	1051	2239	1544
10	1087	2249	1482
11	959	2064	1475
12	941	1970	1446
Vidurkis:	930	1503	1358

Modeliuojant eismą naudojamas SUMO (angl. *Simulation of Urban MObility*) programos paketas. Tyrimo metu buvo pasirinkta naudoti Krausso automobilio judumo modelį (Menelaou et al., 2015).

Buvo naudojami standartiniai automobilio parametrai:

- transporto priemonės ilgis 5 m;
- didžiausias greitis 15 m/s;
- pagreitis $2,5 \text{ m/s}^2$;
- lėtėjimo pagreitis $4,5 \text{ m/s}^2$;
- vairuotojo netobulumo koeficientas 5 %;
- vairuotojo reakcijos laikas 0,5 s;
- minimalus atstumas tarp transporto priemonių 2,5 m;
- moduliacijos laiko žingsnis buvo nustatytas 0,1 s;
- algoritmo laiko žingsnis nustatomas lygus $T = 1 \text{ s}$.

SUMO algoritmai naudoja *Python* programavimo kalbą, pradinis algoritmas, kuris buvo panaudotas simulacijai kurti, yra nurodytas pagrindiniame SUMO puslapyje (<https://sumo.dlr.de/>).

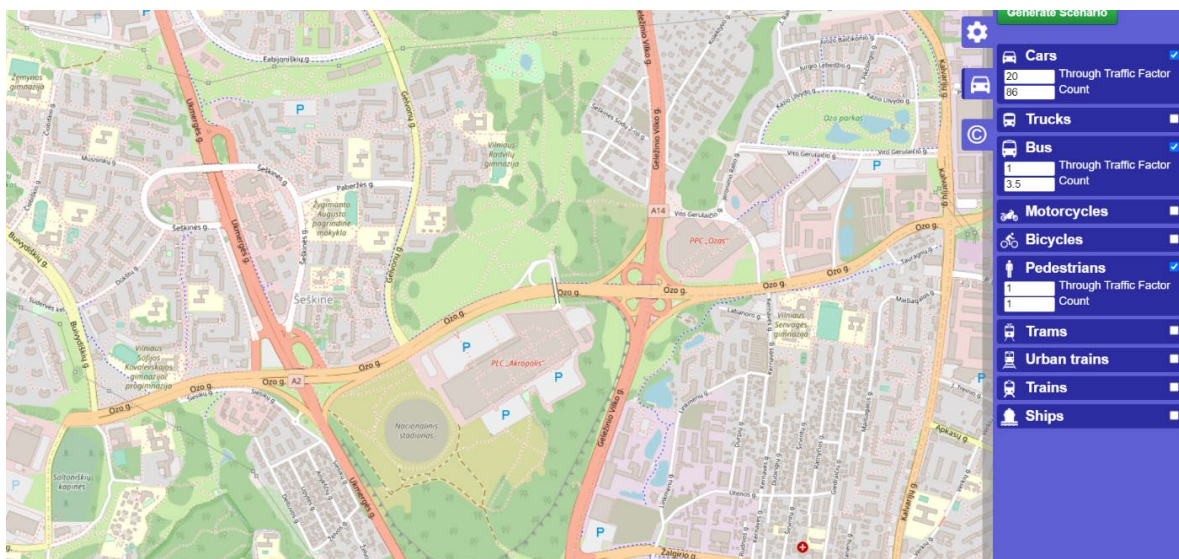
Analizuojamų kelio ruožų ilgiai pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. Eismo ruožų ilgiai (sudaryta darbo autoriaus)

Eismo ruožas	Ilgis, km
Ozo g. nuo Buivydžiškių g. link Ukmergės g.	0,750 km
Ozo g. nuo Ukmergės g. link Gelvonų g.	0,400 km
Ozo g. nuo Gelvonų g. link Kalvarijų g.	2,000 km

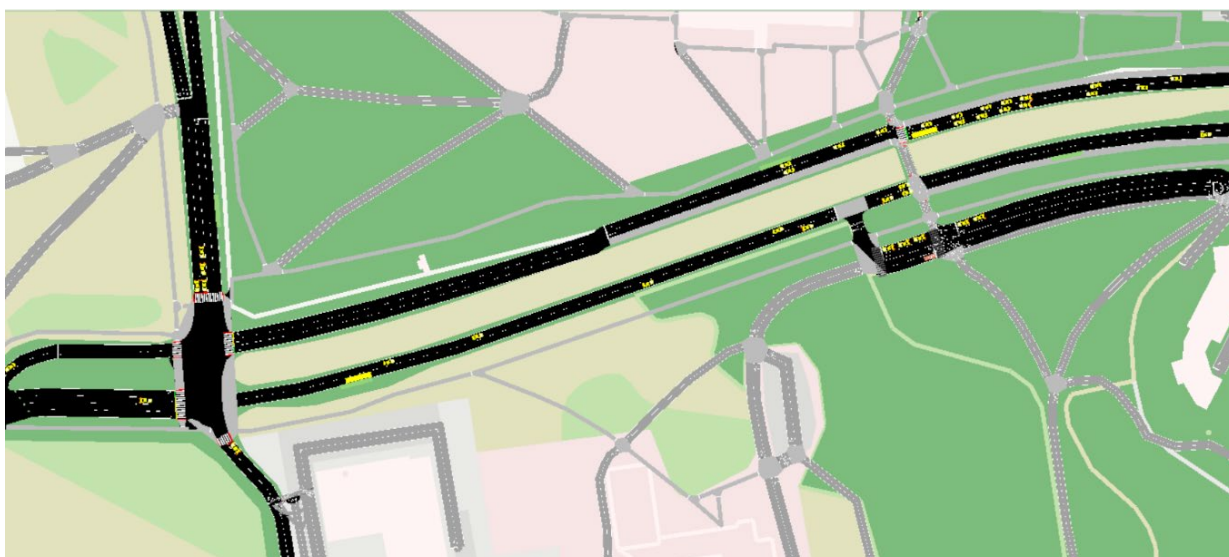
2.3 Simuliacijos kūrimas

Atlikus ruožo formavimo darbus, tai atliekama pasinaudojant „Python“ algoritmu, konvertuojamas reikiamo ruožo žemėlapis (kartu su viešojo transporto tvarkaraščiais) į SUMO programą ir sugeneruojama pirminė simuliacija (21 pav.).

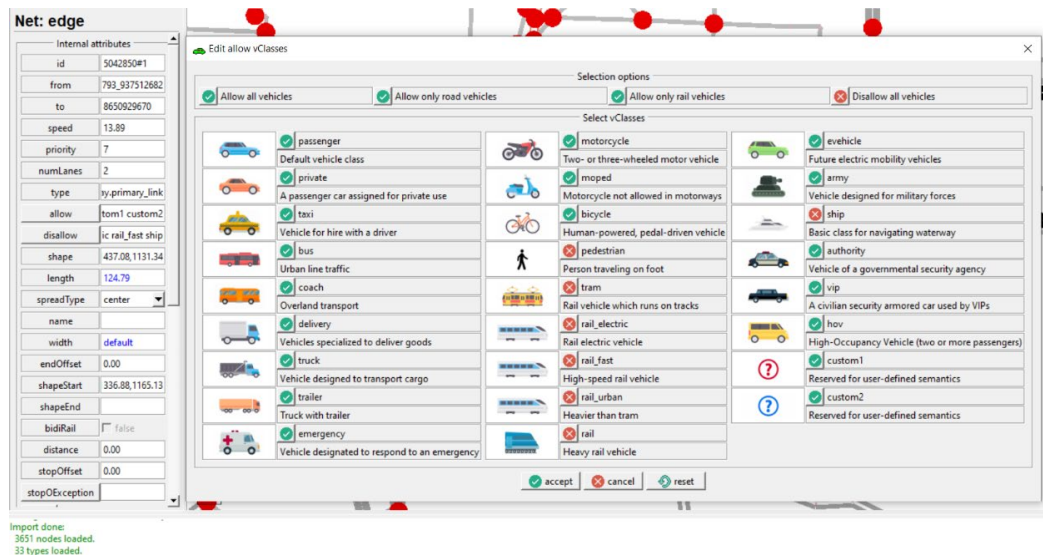


21 pav. Konvertuojama Vilniaus miesto žemėlapio dalis į SUMO programą

Gaunama pirminė simuliacija (22 pav.), kuri veikia, bet reikia atlikti ruožų ir esamų eismo srautų korekcijas, suvedant į gatvių parametrus duomenis iš 8 ir 9 lentelių bei sutvarkyti neveikiančius kelių ruožus suteikiant transporto priemonėms naujus eismo leidimus bei draudimus (23 pav.).



22 pav. Pirminės simuliacijos vaizdas (SUMO programa)



23 pav. Kelio ruožo parametrų koregavimas (SUMO programa)

SUMO programos paketas suteikia galimybę koreguoti eismo taisyklės pasirinktame ruože, keičiant kelio tipą, transporto priemonių važiavimo leidžiamuosius greičius. Keičiant eismo apribojimus (važiavimo leidimus) eismo dalyviams.

2.4 Simuliacijos rezultatai

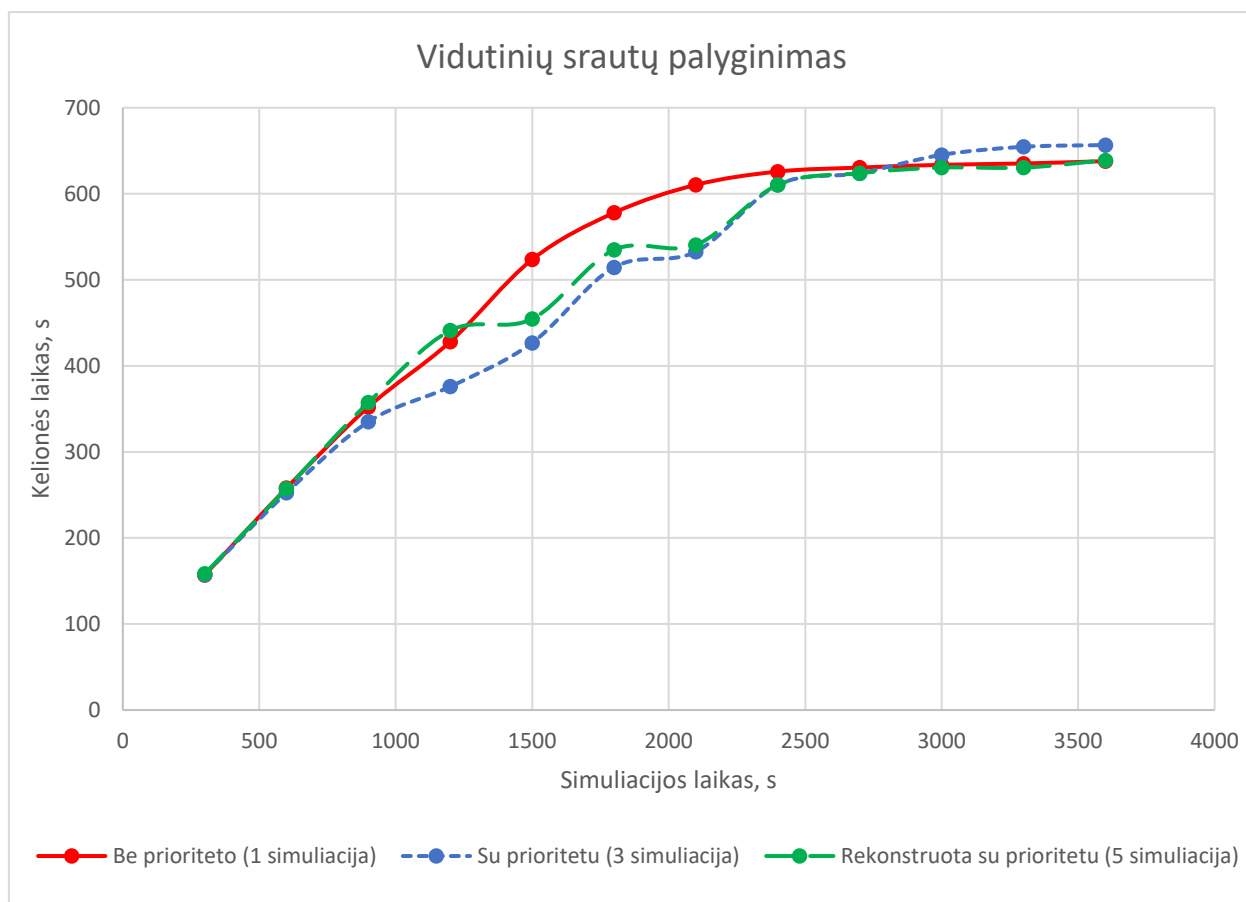
Atlikus simuliacijas, naudojant vidutinių ir maksimalių srautų duomenis, gauti pirmieji lyginamieji rezultatai – vidutinė kelionės trukmė Ozo g., kai viešajam transportui suteikiama pirmenybė, be prioriteto viešajam transportui ir važiuojant rekonstruota kelio atkarpa.

Rezultatai apima tiek eismo situaciją esant maksimaliam gatvės užimtumui, tiek ir vidutiniam. Pirminiai rezultatai pateikiami grafiškai, vertinant bendrą vidutinės kelionės laiką (24 ir 25 pav.).

Grafikų *X*-ašyje yra pavaizduotas simuliacijos laikas milisekundėmis, o *Y*-ašyje atidedamas laikas sekundėmis realiuoju laiku. Dėl to, kad simuliacijos laikas yra 3600 sekundžių, o simuliacijos laiko žingsnis yra 1 sekundė.

Lyginant vidutinės kelionės laiko priklausomybę reikia įvertinti, kad rodiklis kumuliatyvus ir parodo, kaip greitai kelionės laikas padidėja nuo minimalaus iki maksimalaus. Šitas rodiklis nėra dinamiškas ir neleidžia stebėti kelionės trukmės kitimo, o atvaizduoja desningumus, būtent kaip ir kokiais tempais kelionės laikas didėja. Jeigu sistemoje bus perteklinis eismo dalyvių skaičius, kelionės laikas pasieks maksimumą tik pasibaigus simuliacijai. Tai reiškia, kad simuliacijos laiko neužtenka tam, kad visos transporto priemonės pasiektų savo kelionės tikslą. Pirminiai grafikai rodo, kad modeliuojant scenarijų be prioriteto viešajam transportui (24 ir 25 pav.), kelionės laiko augimo greitis pradėda mažėti arčiau simuliacijos pabaigos nusistovint po 3000 s.

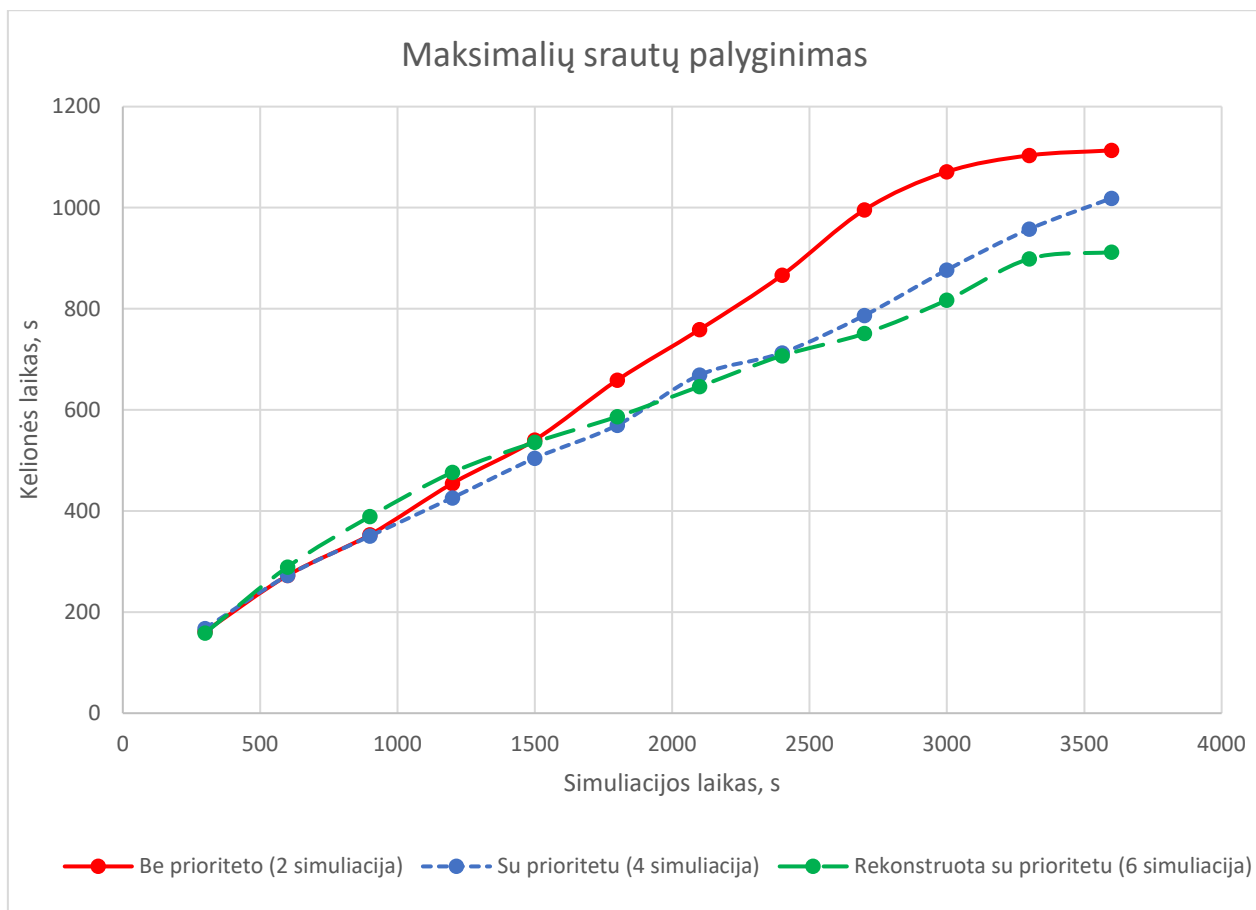
Esant viešojo transporto prioritetui, atkartojant asamą situaciją Ozo g., kai yra vidutinio srauto reikšmės, dėsningumas nesikeičia ir netgi pastebimas lengvas santykinis kelionės pailgėjimas (26 pav.) lyginant su modeliu be prioriteto V.T.



24 pav. Kelionės laikų palyginimas pagal vidutinių srautų parametrus (sudaryta darbo autoriaus)

Vertinant dėsningumus suteikiant prioritetą V.T. pagal piko meto parametrus (25 pav.) matoma, kad priklausomybė tampa nuoseklesnė, o kelionės laikas yra mažesnis 5–20 % priklausomai nuo simuliacijos laiko.

Analizuojant rekonstruotos Ozo g. modelį, taip pat yra pastebimos panašios tendencijos. Esant vidutiniam srautui (24 pav.) eismo situacija beveik nesikeičia, nors yra artimesnė pagal savo rodiklius modeliui be prioriteto V.T., tai galima paaiškinti tuo, kad rekonstruotas ruožas, nors ir turi atskirą eismo juostą V.T., taip pat yra praplatintas ir turi mažiau konflikto taškų palyginti su esama situacija, kaip ir atvejis be prioriteto.



25 pav. Kelionės laikų palyginimas piko metu (sudaryta darbo autoriaus)

Pats maksimalus kelionės laikas yra mažiausias būtent 6-je simuliacijoje, esant rekonstruoto ruožo scenarijui su maksimalia apkrova. 25 paveiksle pateiktame grafike matoma, kad suteikiant prioritetą V.T. kelionės trukmės priklausomybė nuo simuliacijos laiko išlieka arčiau linijinės. O nusistovėjęs kelionės laikas pasiekiamas esant 3200 s simuliacijos laikui.

Maksimalių simuliacijos reikšmių palyginimas yra pateikiamas toliau. Pirmas parametras, pagal kurį vertinamas modelių eismo valdymo efektyvumas, yra vidutinis kelionės laikas, rezultatų palyginimas pateikiamas 11 lentelėje. Tolesnis vertinimas apima ne tik parametrų palyginimą, bet ir išsamesnę gautų rezultatų analizę.

Lyginant vidutinės kelionės trukmės duomenis, galima teigti, kad atlikus simuliacijas matomos tokios tendencijos: esant vidutiniam transporto priemonių srautui bendri srauto parametrai yra geriausi, kai V.T. nesuteikiamas prioritetas, o blogiausi – modeliuojant esamą eismo situaciją iki tiriamojo ruožo rekonstrukcijos.

11 lentelė. Vidutinė kelionės trukmė (sudaryta darbo autoriaus)

Eilės Nr.	Bandymas	Vidutinė kelionės trukmė, s	Vidutinė kelionės trukmė V.T., s	Vidutinė kelionės trukmė N.T., s
1	Be prioriteto V.T. pagal srauto vidurkį	637,95	737,95	625,84
2	Be prioriteto V.T. piko metu	1113,40	1254,58	1025,07
3	Esamas ruožas pagal srauto vidurkį	656,66	736,11	654,61
4	Esamas ruožas piko metu	1018,87	961,54	1028,39
5	Rekonstruotas ruožas pagal srauto vidurkį	638,91	687,27	643,09
6	Rekonstruotas ruožas piko metu	912,19	875,81	905,76

Kitas vertinamas parametras, kurį leidžia stebėti SUMO programa, tai vidutinis laukimas. Juo šiame darbe apibrėžiama, kiek transporto priemonės praleidžia laiko nejudėdamos (12 lentelė). Atliekant transporto sistemos vertinimą, taip pat svarbu įvertinti ne tik laiką, kurį transporto priemonė praleidžia eismo spūstyje, bet ir koks yra santykinis laiko praradimas lyginant su važiavimu be kliūčių ir apsunkinančių aplinkybių. SUMO programoje kaip lyginamasis vidurkis paimamas laikas, per kurį T.P. pasiekia savo numatytą kelionės tikslą, važiuodama pastoviu leidžiamuoju greičiu ir sustojant sankryžose, vykdant eismo tvarkos numatytus algoritmus.

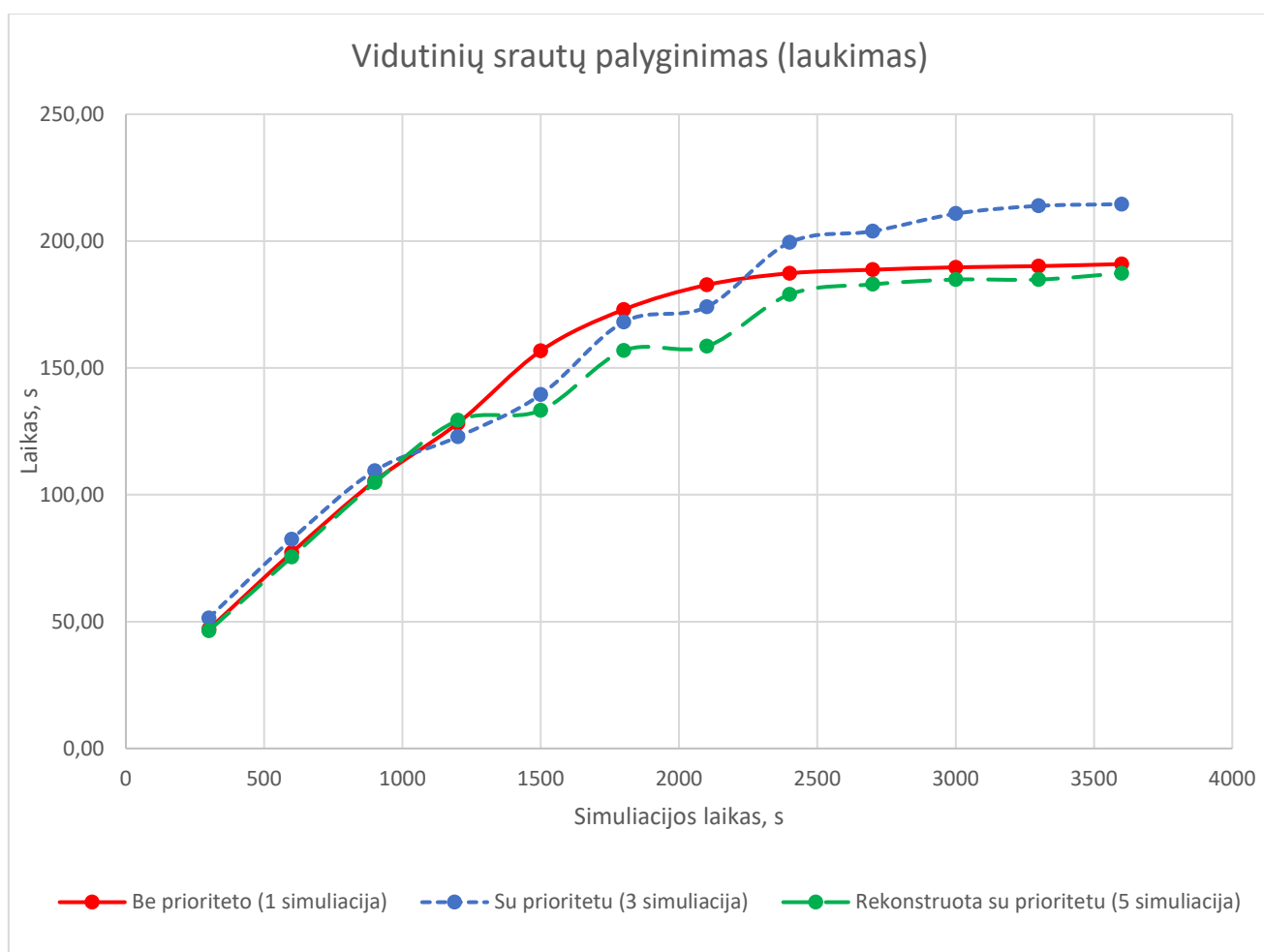
12 lentelė. Vidutinis laukimas (sudaryta darbo autoriaus)

Eilės Nr.	Bandymas	Vidutinis laukimas, s	Vidutinis laukimas V.T., s	Vidutinis laukimas N.T., s
1	Be prioriteto V.T. pagal srauto vidurkį	190,93	102,11	181,97
2	Be prioriteto V.T. piko metu	542,86	484,52	477,48
3	Esamas ruožas pagal srauto vidurkį	214,53	105,54	212,94

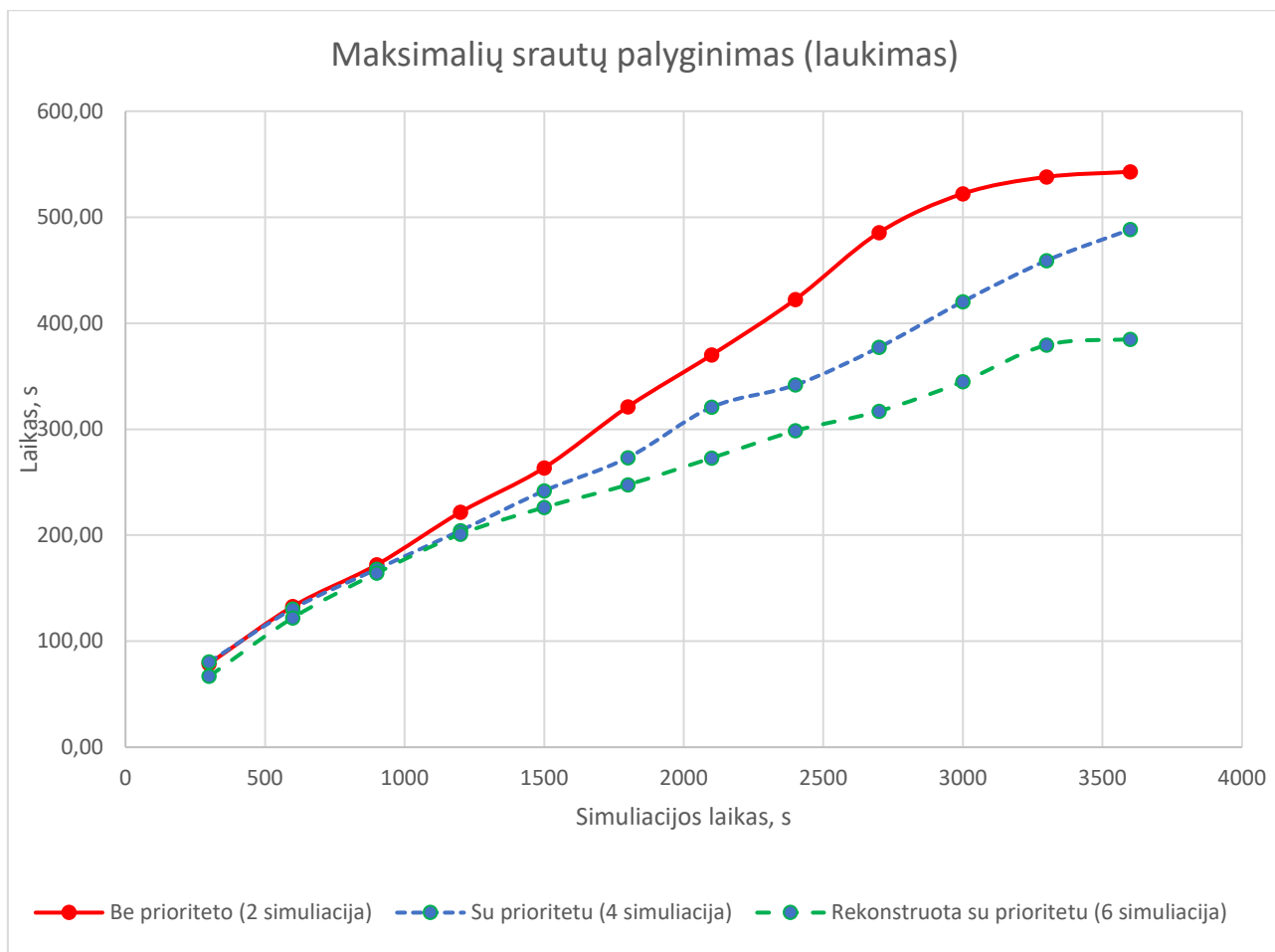
12 lentelės tęsinys.

4	Esamas ruožas piko metu	477,14	280,35	502,78
5	Rekonstruotas ruožas pagal srauto vidurkį	187,31	63,14	190,33
6	Rekonstruotas ruožas piko metu	385,01	199,53	380,36

Laiko praradimo ir laukimo parametrų rezultatai rodo, kad esant vidutiniam srautui modelis be privalumo viešajam transportui turi didesnę, bet neženklų privalumą tiek apskritai, tiek nuosavo transporto atžvilgiu, nors reikia pabrėžti, kad esant vidutiniam srautui laiko praradimo parametrai tiek V.T., tiek N.T. visuose modeliuose parodė artimus rezultatus. Laiko kurį T.P. praleidžia laukiant paliginamieji grafikai pateikiami 26 ir 27 paveiksluose.



26 pav. Laukimo laikų palyginimas pagal vidutinių srautų parametrus (sudaryta darbo autoriaus)



27 pav. Laukimo laikų palyginimas piko metu (sudaryta darbo autoriaus)

Laiko praradimas apima ne tik stovėjimo laiką, bet ir lėtėjimo, stabdymo ir išibėgėjimo laikus, taip pat laiko praradimą dėl staigaus stabdymo konflikto taškuose. Duomenys pateikiami 13 lentelėje.

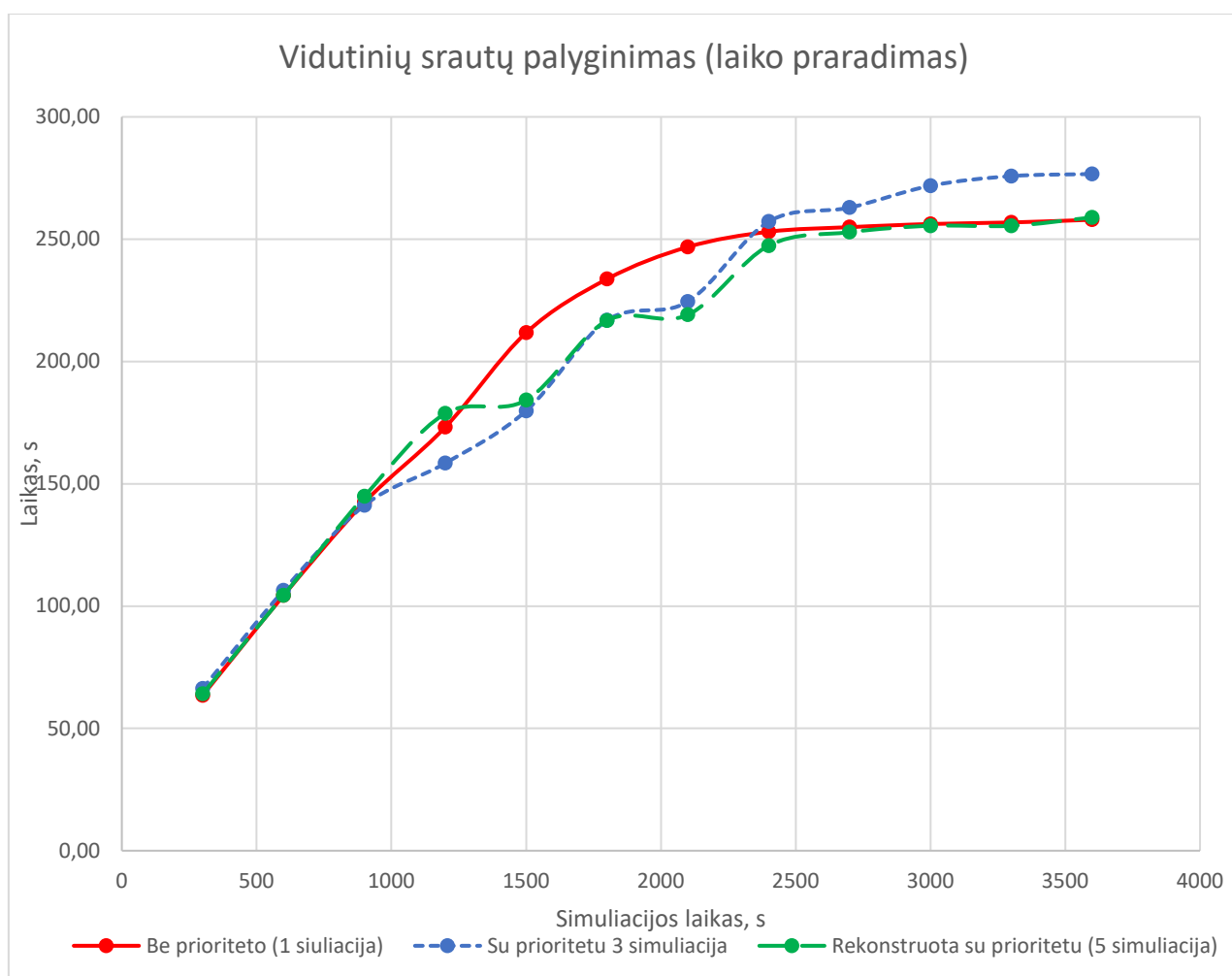
13 lentelė. Laiko praradimas (sudaryta darbo autoriaus)

Eilės Nr.	Bandymas	Laiko praradimas, s	Laiko praradimas V.T., s	Laiko praradimas N.T., s
1	Be prioriteto V.T. pagal srauto vidurkį	257,95	137,95	245,84
2	Be prioriteto V.T. piko metu	733,40	654,58	645,07
3	Esamas ruožas pagal srauto vidurkį	276,66	136,11	274,61

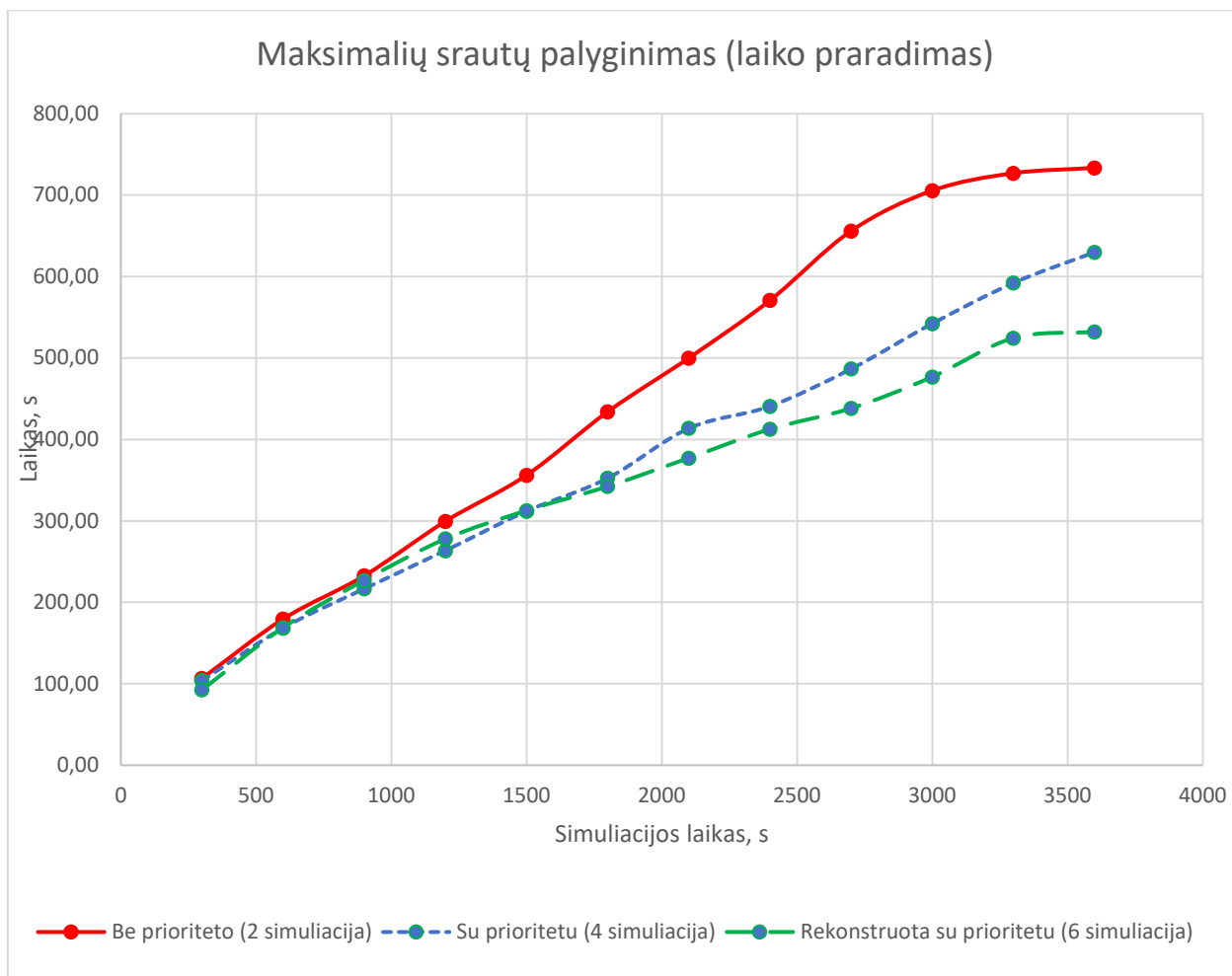
13 lentelės tęsinys.

4	Esamas ruožas piko metu	615,32	361,54	648,39
5	Rekonstruotas ruožas pagal srauto vidurkį	258,91	87,27	263,09
6	Rekonstruotas ruožas piko metu	532,19	275,81	525,76

Bendrai T.P. srauto laiko praradimo palyginamieji grafikai pateikiami 28 ir 29 paveiksluose.



28 pav. Laiko praradimo palyginimas pagal vidutinių srautų parametrus (sudaryta darbo autoriaus)



29 pav. Laiko praradimo palyginimas piko metu (sudaryta darbo autoriaus)

Lyginant rezultatus, gautus modeliuojant srautus piko metu, galima stebėti tendenciją, kad nors suteikiant prioritetą viešajam transportui susiaurinamos gatvės, nes pats populiariausias sprendimas suteikti prioritetą V.T. – tai A-juostų rengimas, vis tiek gaunami mažesni laiko nuostoliai visam srautui.

14 lentelė. Įstrigusių žmonių kiekis skaičius (sudaryta darbo autoriaus)

Eilės Nr.	Bandymas	Žmonės, sk.
1	Be prioriteto V.T. pagal srauto vidurkį	23
2	Be prioriteto V.T. piko metu	661
3	Esamas ruožas pagal srauto vidurkį	37
4	Esamas ruožas piko metu	509
5	Rekonstruotas ruožas pagal srauto vidurkį	24
6	Rekonstruotas ruožas piko metu	285

Nors viešojo transporto priemonių skaičius simuliacijoje yra fiksuotas, simuliacijos metu keičiasi toks parametras, kaip keleivių skaičius, taip pat keičiasi pėsčiųjų ir lengvųjų automobilių maršrutai. Kitas svarbus parametras, kurį leidžia stebėti simuliacija, tai įstrigusių eismo spūstys žmonių skaičius per vieną simuliacijos ciklą. Šitas parametras yra dinamiškas ir leidžia stebėti spūsties dėsningumus, bet šiam vertinimui naudojamas maksimalus užfiksuotas rodiklis, kuris gali parodyti srauto maksimalią apkrovą simuliacijos metu (14 lentelė).

Šitas rodiklis parodo, kiek maksimaliai žmonių, tai yra bendras skaičius visų eismo dalyvių, kurie tam tikru simuliacijos metu įstrigo ir negalėjo laiku pasiekti savo kelionės tikslo.

Vertinant simuliacijos grafikus ir duomenų lenteles galima teigti, kad esant vidutiniam srautui sistemų bendras efektyvumas yra panašus, nes kelionių laiko skirtumas yra iki 5 %.

Nors reikia pabrėžti, kad sistemos be prioriteto viešajam transportui kelionės laikas keliaujant N.T. yra 4 % mažesnis už kelionę tuo pačiu maršrutu lyginant su esama Ozo g. situacija teikiant prioritetą V.T. ir 3 % mažesnis lyginant su kelionės laiku važiuojant rekonstruota gatve. Sistemos be prioriteto V.T. bendras srauto kelionės laikas (pagal vidutinius srautų parametrus) yra 3 % didesnis už kelionės laiką su pirmenybę V. T. ir nesiskiria lyginant su rekonstruotu keliu.

Visi lyginamieji parametrai pateikiami toliau (15 ir 16 lentelė). Duomenys apskaičiuojami pagal formulę:

$$x = 100\% \cdot \left(1 - \frac{x_i}{x_n}\right); \quad (4)$$

čia:

x — ieškomas santykis, %;

x_i — reikšmė, nuo kurios skaičiuojamas santykis;

x_n — reikšmė su kuria lyginama (Krylovas, 2009).

15 lentelė. Kelionės laikų santykiai tarp simuliacijų be prioriteto V.T. ir su prioritetu (sudaryta darbo autoriaus)

Srauto parametrų reikšmė	Bendras kelionės laikas	Laikas V.T.	Vidutinė kelionės trukmė N.T., s
Pagal vidurkį	3 %	0 %	4 %
Piko metu	-12 %	-31 %	0 %

Neigiamas procentas reiškia, kad lyginant simuliacijos rezultatus tarp eismo organizavimo sistemos be prioriteto V.T. kelionės laikas sumažėjo, suteikus prioritetą V.T. Kaip matyti, lyginant esamą situaciją su modeliu, kur transporto srautas išlieka tas pats, bet nėra suteikiama prioriteto

viešajam transportui, kai srauto parametrai yra vidutiniai, bendras kelionės laikas yra mažesnis tiek bendram srautui, t. y. visoms T.P., tiek ir nuosavam transportui, o viešojo transporto kelionės laikas ir prastovos padidėja neženkliai. Piko metu situacija keičiasi, ir nors nuosavas transportas vis dar išlaiko nedidelį pranašumą, kai prioriteto nėra suteikta, bet viešasis transportas tokiomis aplinkybėmis lieka visiškai nekonkurencingas ir jo kelionės laikas teikiant prioritetą yra net 30 % didesnis lyginant su esama situacija, kai prioritetas yra suteikiamas. Matyti, kad iš esmės viso srauto kelionės laikas yra trumpesnis suteikiant prioritetą viešajam transportui.

Iš pirmo žvilgsnio tai yra nesuprantama, nes gatvės pralaidumas teoriškai turėtų sumažėti, vadinasi, V.T. prioritetas turėtų sumažinti kitų transporto priemonių greitį ir padidinti kelionės laiką. Bet taip nėra, norint suprasti, dėl ko taip vyksta, reikia sugrįžti prie simuliacijos parametrų.

Kaip jau buvo minėta, tyrimo tikslais simuliacijos metu santykis tarp viešojo transporto ir kitų transporto priemonių bei kitų eismo dalyvių išlaikomas tas pats, bet kiekvienas eismo dalyvis turi savo kelionės tikslą ir pasirinkimą iš kelių įmanomų maršrutų. Todėl esant siauresnei gatvei N.T. priemonės dažniau pasirenka kitą maršrutą, o V.T. keleivių skaičius esant prioritetui kaip tik didėja, dėl to V.T. įtaka bendrai statistikai yra tokia didelė. Taip pat sumažėja konfliktų taškų skaičius tarp viešojo transporto ir kitų eismo dalyvių, todėl mažėja persirikiavimų skaičius.

Lyginant situaciją be prioriteto viešajam transportui ir atvejį po Ozo gatvės rekonstrukcijos, matoma, kad esant vidutinėms srauto reikšmėms (16 lentelė) modelis be prioriteto V.T. išlaiko didesnę kelionės greitį, bet artėjant maksimaliems srauto parametrams tiek viešasis transportas, tiek nuosavas išlaiko didesnę vidutinį srauto greitį ir kelionės laikas užima mažiau laiko.

16 lentelė. Kelionės laikų santykiai tarp simuliacijų be prioriteto V.T. ir rekonstruoto kelio (sudaryta darbo autoriaus)

Srauto parametrų reikšmė	Bendras kelionės laikas	Laikas V.T.	Vidutinė kelionės trukmė N.T., s
Pagal vidurkį	0 %	-7 %	3 %
Piko metu	-22 %	-43 %	-13 %

Palyginus nagrinėjamos Ozo g. situacijos ir rekonstruoto kelio ruožo skirtumus, N.T. transporto pranašumas mažėja, nes rekonstruojamoje kelio atkarpoje yra praplečiama važiojamoji dalys, tai suvienodina kelio ruožų pralaidumus ir panaikina sistemos su prioritetu viešajam

transportui trūkumus. Esamos Ozo gatvės situacijos palyginimas su rekonstruota gatve pateikiamas 17 lentelėje.

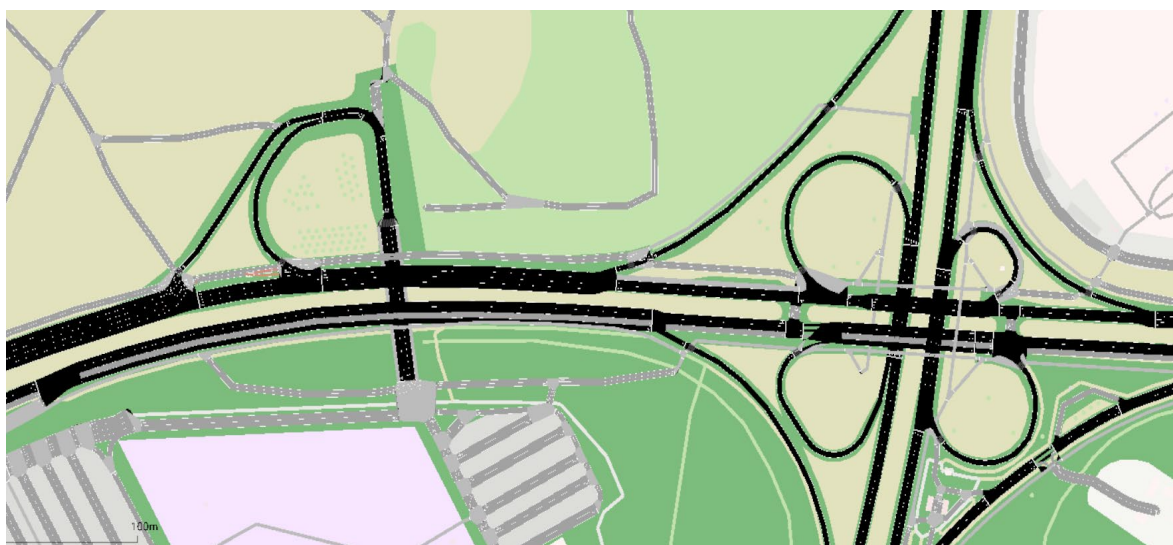
17 lentelė. Kelionės laikų santykiai tarp simuliacijų su prioritetu V.T. ir rekonstruoto kelio (sudaryta darbo autoriaus)

Srauto parametrų reikšmė	Bendras kelionės laikas	Laikas V.T.	Vidutinė kelionės trukmė N.T., s
Pagal vidurkį	-3 %	-7 %	-2 %
Piko metu	-9 %	-10 %	-14 %

Matoma, kad rekonstruoto ruožo matematinio modelio vidutinės kelionės laiko parametrai yra mažesni visais tyrimo metu matuojamais atvejais, lyginant juos su teorine situacija be prioriteto viešajam transportui. Kaip matoma, esant vidutiniams srauto parametrams kelionės laikas skiriasi nežymiai, didžiausias skirtumas atsiranda būtent piko metu. Vertinant kelionės laiką važiuojant viešuoju transportu matoma, kad didžiausias skirtumas yra tarp atvejo be prioriteto ir kelio rekonstrukcijos.

Parametrų pagerėjimas po kelio rekonstrukcijos buvo tikėtinas, tam yra kelios prielaidos:

- juostų platinimas ruože tarp Gelvonų ir Kernavės gatvių, tai suteikia keliui didesnę pralaidumą;
- A-juostos pratęsimas suteikia didesnę ir pastovų prioritetą viešajam transportui, be konflikto taškų atkarpoje, kur dabar A-juosta nutrūksta ir viešasis transportas važiuoja bendru srautu.



30 pav. Rekonstruoto kelio modelis SUMO programoje (sudaryta darbo autoriaus)

Dėl papildomos įsibėgėjimo ir lėtėjimo juostos (20 ir 32 pav.) didėja kelio pralaidumas, taip pat tai suteikia geresnes sąlygas srautams susilieti padidinant saugius eismo ruožus lėtėjimui ir įsiliejimui į eismą.

Įrengiant A-juostą šioje atkarpoje, nesumažinamos kelio pralaidumo galimybės, dėl to padidinamas V.T. kelionės greitis ir jo konkurencingumas su N.T. Tokiu atveju atlikus simuliacijas gauta, kad vidutinės kelionės sulėtėjimas keliaujant V.T. sumažėja net 43 %, lyginant su eismo parametrais, kai prioriteto V.T. nėra suteikiama.

Kita prieš tai minėta prielaida yra, kad įrengiant ištisinę eismo A-juostą, sumažinamas viešojo transporto konfliktų su kitais eismo dalyviais skaičius. Šiai prielaidai patvirtinti pasirenkamas toks simuliacijos metu fiksuojamas parametras ir palyginimo sąlygos:

- Pasirenkamos trys viešojo transporto priemonės, kiekviena iš jų turi savo ID numerį ir visose simuliacijose pradės savo maršrutą vienodu laiku pagal transporto priemonių nustatytą judėjimo scenarijų.
- Transporto priemonės pasirenkamos taip, kad kiekviena iš jų priklausytų skirtingiems viešojo transporto maršrutams.
- Pasirenkami trys maršrutai: 7 ir 5G.
- Fiksuojami parametrai: stabdymų ir įsibėgėjimų intervalų skaičius bei maksimalus stabdymo pagreitis.

Fiksuojamų parametrų rezultatai pateikiami 18 lentelėje. Pagal matematinio modelio rezultatus galima teigti, kad prielaida, pagal kurią viešojo transporto vienetai po rekonstrukcijos turi mažiausiai konflikto taškų su kitomis transporto priemonėmis – pasiteisino.

18 lentelė. V.T. simuliacijos rezultatų lyginamosios charakteristikos (sudaryta darbo autoriaus)

	5 G maršrutas		7 maršrutas	
	Stabdymo pagreitis, m/s ²	Stabdymų ir įsibėgėjimų sk.	Stabdymo pagreitis, m/s ²	Stabdymų ir įsibėgėjimų sk.
Be prioriteto V.T. vid. s.	1,2	12	1,2	8
Be prioriteto V.T. piko metu	1,18	14	1,2	22

18 lentelės tęsinys.

Su prioritetu V.T. vid. s.	1,19	14	1,19	20
Su prioritetu V.T. piko metu	1,19	10	1,2	12
Rekonstruotas vid. s.	1,2	8	1,18	8
Rekonstruotas piko metu	1,2	7	1,16	8

Buvo mažai tikėtina, kad modeliuojant esamą Ozo gatvės eismo situaciją, bus gauta, kad stabdymo ir įsibėgėjimo atvejų yra daugiausiai ne piko metu, o modelyje su vidutiniais srauto parametrais. Modelio be prioriteto V.T. stabdymo ir įsibėgėjimo atvejų taip pat yra daugiau negu rekonstruotame kelyje, bet jų maksimalūs rodikliai pasiekiami piko metu. Stabdymo ir įsibėgėjimų maksimalūs pagreičiai šio tyrimo dalyje yra artimi, bet mažiausi pagreičiai buvo užfiksuoti simuliacijoje su rekonstruotu kelio ruožu.

Išvados

Atlikus simuliacijos bandymus, simuliuojant eismą Ozo gatvėje pagal vidutinius ir maksimalius srautų parametrus, lyginant teorinius eismo sistemos modelius be prioriteto viešajam transportui, su esamos situacijos modeliu, teikiant prioritetą viešajam transportui ir teikiant prioritetą viešajam transportui po gatvės rekonstrukcijos, gauti tokie rezultatai:

- Lyginant esamą situaciją su teorine sistema, kai esant tokiems pat eismo parametrams V.T. nebūtų suteikiama prioriteto, pagal teorinį modelį tikėtina, kad N.T. kelionės laikas vidutiniškai būtų 4 % trumpesnis, kai nėra prioriteto V.T. ir nesiskiria piko metu, bet tokiu atveju V.T. kelionės laikas ilgėja net -30 % piko metu, o vidutiniškai beveik nesikeičia – tik 0,25 %.
- Pagal simuliacijos rezultatus tikėtina, kad rekonstravus Ozo gatvę bendras kelionės laikas vidutiniškai sutrumpės 3 %, o piko metu net 9 %, lyginant su esama situacija, V.T. kelionės trukmė vidutiniškai sumažės 7 %, maksimaliai 10 % piko metu. Rekonstrukcijos įtaka N.T. kelionės trukmei vidutiniškai turi siekti 2 %, o piko metu laikas, praleidžiamas kelyje, turi sutrumpėti iki 14 %.

Simuliacijos rezultatai rodo, kad išlaikant tą patį eismo intensyvumą ir eismo dalyvių pasiskirstymą, eismo organizavimas suteikiant prioritetą viešajam transportui yra efektyvus. Nors gatvės pralaidumas gali sumažėti, o bendras srauto vidutinis greitis per parą neišvengiamai krinta, bet viešojo transporto įtaka bendriems srauto parametrams yra gerokai didesnė, kas lemia tai, kad netgi jeigu nuosavo transporto kelionės laikas ir pailgėja, viešojo transporto kelionės laikas piko metu sumažėja beveik 30 %, tai reiškia, kad suteikiant prioritetą viešajam transportui jo konkurencingumas padidinamas daug labiau, negu sumažinamas komfortas nuosavam transportui.

Reikia pažymėti, kad simuliacijos rezultatai neįtraukia socialinių rodiklių ir tyrimo metu nebuvo įvertintas faktas, kad besiplečiant viešojo transporto infrastruktūrai – didėja jo prieinamumas ir naudojamų vienetų skaičius. Simuliacijos metu galima stebėti tik eismo dalyvių polinkį, kurie gali rinktis iš kelių kelionės būdų pasirinkti viešąjį transportą, bet neįvertinama, kad didėjant viešosios infrastruktūros naudotojams, turi mažėti nuosavo transporto skaičius. Todėl galima daryti prielaidą, kad suteikiant prioritetą viešajam transportui, bus pasiekta geresnių rezultatų.

Simuliacija taip pat parodo, kad organizuojant eismą teikiant prioritetą viešajam transportui svarbus rodiklis yra, ar kitos transporto priemonės gali pasirinkti kitą maršrutą. Taip pat svarbu vengti konfliktinių taškų, kaip buvo parodyta šiame tyrime. Ozo gatvės dalis nuo Gelvonų g. iki Kernavės g. neturėjo A-juostos, o tai didindavo konfliktinių taškų skaičių tarp viešojo transporto ir kitų eismo dalyvių. Toks eismo organizavimas sumažina sistemos

efektyvumą, taip pat svarbi simuliacijos aplinkybė yra tai, kad tiriamasis ruožas turi A-juostą su leidimu ja važiuoti transporto priemonėms, vežančioms 4 ir daugiau keleivių bei TAKSI transporto priemonėms, jeigu simuliacijos metu tai nebūtų vertinama, tikėtina, kad rezultatai būtų kitokie. Simuliacijos metu nevertinama žaliojo transporto įtaka simuliacijos rezultatams.

Teoriniai rodikliai rodo, kad Ozo g. rekonstrukcijos projektas ne tik labai padidina viešojo transporto efektyvumą, bet ir turi rezervo eismo intensyvumui augti, nes pagal teorinius rezultatus padidinus eismo juostų skaičių gatvėje, tai turėtų sumažinti nuosavo transporto vidutinį kelionės laiką -2 %, o piko metu apie 14%.

Literatūra

1. Atviras Vilnius. <https://atviras.vilnius.lt/eismo-situacijos>
2. Baublys, A., Jarašūnienė, A. (2005). *Eismo įvykių valdymas naudojant intelektualias sistemas (ITS): mokslo darbo ataskaita*. VGTU.
3. Berman, N. D. (2020). Influence of transport infrastructure on sustainable development: trends and challenges International, *Journal of Advanced Studies*, 10(2), 104–106.
4. Chaudhry, G.A. (2012). Evolution of the transportation system in Dubai, *Network Industries Quarterly* 14, 7–11.
5. Eismo valdymo centras. <https://www.sviesoforai.lt/>
6. Eismo valdymo centras duomenys. <https://portal.sisp.lt/>
7. Gorina, E., Morozova, Y., Zatsepina, A., Ryabchikov, D. (2018). *Improving the method of freight vehicles: traffic modeling*. SPbOTSIC.
8. Green, J. (2018) *Effects of Car Pollutants on the Environment*. <https://sciencing.com/effects-car-pollutants-environment-23581>
9. Jarašūnienė, A. (2008). *Intelektualiosios transporto sistemos: vadovėlis*. VGTU.
10. Klibavicius, A. (2008). Simulation of capacity of roundabouts applying principles of Sustainable urban development. In *7th International Conference*, VGTU.
11. Krauss, S., Wagner, P., Gawron, C. (1997). *Metastable states in a microscopic model of traffic flow: Physical Review*. Cambridge.
12. Krylovas, A. (2009). *Diskrečioji matematika: vadovėlis*. VGTU.
13. Newton, I. (1728). *Philosophiae naturalis principia mathematica*. J. Societatis Regiae ac Typis J. Streater.
14. Menelaou, C., Kolios, P., Timotheou, S., Panayiotou, C.G. and Polycarpou, M.P. (2015). *Congestion Free Vehicle Scheduling Using a Route Reservation Strategy*. Cyprus.
15. Ozo gatvės rekonstravimo projektas žemėlapiai. <https://citify.eu/>
16. Ozo gatvės projekto rekonstrukcijos viešųjų pirkimų dokumentai iš CVP IS sistemos https://pirkimai.eviesiejipirkimai.lt/app/rfq/publicpurchase_docs.asp?PID=587202
17. Paliulis, G. M., Valeika, V. (2008). Transport tests related to improvement of Vilnius street network and results of their analysis. *The 7th International Conference*. VGTU.
18. Pallavi, A. M., Vilas, K., Patil, C.Y. (2018). Intelligent Road Traffic Control System for Traffic Congestion: A Perspective. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(7), 908–915.
19. Pečiukėnas, A., Pečeliūnas, R., Nagurnas, S. (2017). Intelektinių transporto sistemų įtaka kelių transporto priemonių srautų reguliavimui. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos 1*, 33–38.

20. *Įmonės „Regitra“ duomenys*. <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>
21. Stepanchuk, A., Bieliatynskyi, A., Pylypenko, A. (2013). *Particularities of automated traffic control systems in the cities of Ukraine*. VGTU.
22. *SUMO programinio paketo darbo patarimai*. <https://sumo.dlr.de/>
23. *Tomtom traffic index*. <https://www.tomtom.com/>
24. *Vilniaus miesto transporto sistemos žemėlapiai*. <https://maps.vilnius.lt>
25. Zavaglia, C. (2016). European Union instruments and strategies for sustainable urban mobility: Exploiting PUMS and ITS to develop an efficient car sharing proposal. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 223, 542–548.
26. Zhu, H. B. (2010). Numerical study of urban traffic flow with dedicated bus lane and intermittent bus lane. *China Physic A* 389, 3134–3139a.
27. Бережной, А., Смирнов, И. (2008). *Выбор и анализ показателей для оценки эффективности автоматизированных систем управления дорожным движением*, [Berežnoj, A., Smirnov, I. (2008). Automatizuotų eismo valdymo sistemų analizė ir atrankos rodikliai.] TSI, Riga.
28. Клиновштейн, Г. И., Афанасьев, М. Б. (2001). *Организация дорожного движения*. Транспорт, [Klinkovštejn, G., Afanasjevas, M. (2001). Eismo organizavimas. Transport.]
29. Сердюкова, А. Ф., Барабанщиков, Д. А. (2018). *Влияние автотранспорта на окружающую среду. Молодой ученый*. 25(211), 28–36. [Serdiukova, A., Barabanšikov, D. (2018). Autotransporto įtaka aplinkai. *Molodoy Učenyj*. 25(211), 28–36.]