



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Vladislav Kondratovič

**KELIŲ INFRASTRUKTŪROS PRITAIKYMO SAVIVALDŽIAMS
AUTOMOBILIAMS VERTINIMAS
THE EVALUATION OF ROAD INFRASTRUCTURE FOR SELF-DRIVING
CARS**

Baigiamasis magistro darbas

Kelių eismo saugumo inžinerija, valstybinis kodas 6211EX044

Statybos inžinerija

Vilnius, 2019

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Kelių katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Kelių eismo saugos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Kelių infrastruktūros pritaikymo savivaldžiams automobiliams vertinimas**

Autorius **Vladislav Kondratovič**

Vadovas prof. dr. **Donatas Čygas**

Kalba

☐

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos savivaldžių automobilių naudojimo viešuosiuose keliuose ir kelių infrastruktūros pritaikymo jų eismui problemos, vertinimo būtinumas ir tikslai, užsienio šalių patirtis šioje srityje. Išnagrinėti pagrindiniai faktoriai, turintys įtaką savivaldžių automobilių eismui. Sukurtas savivaldžiams automobiliams infrastruktūros pritaikymo vertinimo modelis, leidžiantis racionaliai planuoti bei parinkti tinkamiausius savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutus. Siekiant efektyviai integruoti savivaldžius automobilius į susisiekimo sistemas, rekomenduojama potencialias maršrutų alternatyvas vertinti taikant SAW metodą ir taip pat naudoti darbe pasiūlytus efektyvumo rodiklius bei jų reikšmingumus. Išnagrinėjus teorinius ir praktinius kelių infrastruktūros pritaikymo savivaldžiams automobiliams vertinimo aspektus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir siūlymai.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, apžvalginė dalis, analitinė dalis, eksperimentinė dalis, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 58 p. teksto be priedų, 12 iliustr., 11 lent., 38 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: savivaldis automobilis, savivaldė transporto priemonė, miestų infrastruktūra, rodikliai, keliai, daugiakriterinis vertinimas, SAW

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Roads department

ISBN ISSN

Copies No.

Road Safety Engineering study programme bachelor (master) thesis.

Title: **The Evaluation of Road Infrastructure for Self-Driving Cars**

Author **Vladislav Kondratovič** Academic supervisor **Donatas Čygas**

Thesis language

☐

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

The Master thesis deals with the problems of the use of self-driving cars on public the adaptation of road infrastructure as well as with, the necessity and objectives of assessment, and the experience of foreign countries in this field. The main factors influencing for self-driving cars were analyzed. An evaluation model of infrastructure adaptation for self-driving cars has been developed, allowing rational planning and selection of the most appropriate self-driving public transport routes. In order to efficiently integrate self-driving cars into transport systems, it is recommended to evaluate the potential route alternatives using the SAW method and also to use the efficiency indicators proposed in the thesis and their significance. After analyzing the theoretical and practical aspects of road infrastructure adaptation for self-driving cars, conclusions and suggestions are given.

Structure: introduction, overview, analytical part, experimental part, conclusions and suggestions, references.

Structure: introduction, overview, analytical part, experimental parts, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 58 p. text without appendixes, 12 pictures, 11 tables, 38 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: self-driving cars, self-driving vehicle, urban infrastructure, indicators, roads, multi-criteria evaluation, SAW

Turinys

SIMBOLIAI	6
SANTRUMPOS	6
TERMINAI IR APIBRĖŽIMAI	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
IVADAS	9
1. APŽVALGINĖ DALIS	11
1.1 Savivaldis automobilis, jo sandara ir charakteristikos	11
1.1.1. Savivaldžių automobilių ekosistema	11
1.1.2. Kelių infrastruktūra ir jos pritaikymas savivaldžiams automobiliams	12
1.1.3. Savivaldžiai automobiliai	14
1.1.4. C-ITS ir telekomunikacijos sprendiniai	18
1.1.5. Patraukli teisinė bazė	19
1.2. Savivaldžių automobilių plėtros tendencijos ir problematika	22
1.2.1. Savivaldžio transporto politikos formavimas ir įgyvendinimas	22
1.2.2. Savivaldžių automobilių plėtros problemos	23
1.3. Apžvalginės dalies išvados	30
2. ANALITINĖ DALIS	26
2.1. Savivaldžių automobilių plėtros gera praktika	26
2.2. Savivaldžių automobilių technologijų reguliavimas Lietuvoje	28
2.3. Savivaldžių automobilių technologijų plėtros Lietuvoje apžvalga	31
2.4. Analitinės dalies išvados	35
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	36
3.1. Daugiatikslis vertinimas. Paprastų svorių sudėjimo metodas (SAW)	36
3.2. SAW skaičiavimo metodo taikymas savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutų nustatymui	37
3.2.1. Vertinimo rodiklių parinkimas	37
3.2.2. Vertinimo rodiklių reikšmingumas	38
3.2.3. Pradiniai duomenys	40

3.2.4.	Sprendimų priėmimo matricos sudarymas ir jos normalizavimas.....	44
3.2.5.	Alternatyvų skaičiavimas ir prioritetinė eilutė.....	46
3.3	STP viešojo transporto maršrutų plėtros pasiūlymas.....	48
3.4	Ekspperimentinės dalies išvados	49
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....		50
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....		51

SIMBOLIAI

q_j – efektyvumo rodiklio reikšmingumas;

r_{ij} – i -ojo rodiklio reikšmė j -ajam objektui;

S_j – matematinė variantų racionalumo išraiška;

t_{jk} – k eksperto nustatytos j kriterijaus reikšmė;

r – ekspertų skaičius;

SANTRUMPOS

C-ITS – sąveikiosios intelektinės transporto sistemos (angl. Cooperative-Intelligent Transport Systems);

GIS – geografinės informacinės sistemos;

EC – Europos Komisija;

ES – Europos Sąjunga;

ITS – intilektinės transporto sistemos;

SAW – paprastųjų svorių sudėjimo metodas (angl. Simple Additive Weighting);

STP – savivaldžios transorto priemonės (angl. Self-driving Vehicle);

TERMINAI IR APIBRĖŽIMAI

Ekspertas – mokslo, meno ar kitų sričių specialistas, kviečiamas atsakyti į klausimus, reikalaujančius specialių žinių;

Savivaldis automobilis – save valdantis automobilis, kuris dalyvauja viešajame eisme be asmens įsikišimo, taip pat kuris gali būti tiesiogiai ar nuotoliniu būdu valdomas asmens, jeigu šią galimybę

Koncepcija – STP eismui infrastruktūros pritaikymo vertinimo modelio koncepcija; Sprendinių įgyvendinimo alternatyvios galimybės;

Rangas – hierarchijos lygmuo hierarchinėje sistemoje, kurios elementus galima sudėti vienus su kitais ir dauginti iš skaičių; tarpusavyje teisiškai nepriklausomų elementų skaičius;

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1.2.1 lentelė. Būtinai kelių infrastruktūros pakeitimai pritaikant STP eismui (IPA 2017).

3.2.2.1 lentelė. Kelių infrastruktūros vertinimo modelio efektyvumo rodiklių reikšmingumai

2.2.1.1 lentelė. Kriterijai, turintys įtakos elektromobilių infrastruktūros plėtros vietoms (pagal Didžiosios Britanijos mokslininkus)

2.2.1.2 lentelė. Kriterijai, turintys įtakos elektromobilių infrastruktūros plėtros vietoms (pagal kitus mokslininkus)

3.2.2.1 lentelė. Rodiklių, lemiančių elektromobilių lėto įkrovimo aikštelių parinkimo vietas reikšmingumai

3.2.2.2 lentelė. Rodiklių, lemiančių elektromobilių greito įkrovimo aikštelių parinkimo vietas reikšmingumai

3.2.3.1 lentelė. Maršruto M1, M2 ir M3 pradinių duomenų lentelė

3.2.4.1 lentelė. Maršrutų M1, M2 ir M3 normalizuota sprendimų priėmimo matrica

3.2.5.1 lentelė. Planuojamo STP maršruto M1 prioritetinės eilutės racionaliausias variantas

3.2.5.2 lentelė. Planuojamo STP maršruto M2 prioritetinės eilutės racionaliausias variantas

3.2.5.3 lentelė. Planuojamo STP maršruto M3 prioritetinės eilutės racionaliausias variantas

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1.1.1 pav. STP ekosistemos komponentai (Kurk Lietuvai 2017)

1.1.2.1 pav. STP eismui reikalingi kelių infrastruktūros elementai (IPA 2017)

1.1.3.1 pav. STP automatizacijos lygiai (EC 2019)

1.1.3.2 pav. STP valdymo elementai (GM, 2018)

1.1.3.3 pav. STP privalumai (EC 2019)

1.1.4.1 pav. STP ryšys su visa aplinka, V2X

2.1.1 pav. „WEpod” autobusiukas

2.1.2 pav. Savivaldžio autobusiuko shema

2.2.1 pav. Reikalavimai 5G ir galimi scenarijai

2.3.1 pav. STP sprendimai leidžia sujungti 3 modernaus transporto elementus

2.3.2 pav. Principinis C-ITS technologijų plėtros mieste modelis ((Palevičius *et al.* 2018)

3.2.2.1 pav. Kelių infrastruktūros vertinimo modelio efektyvumo rodiklių reikšmingumo kriterijų svoriai

3.2.3.1 pav. Maršrutas M1, ištrauka iš „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“.

3.2.3.2 pav. Maršrutas M2, ištrauka iš „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“

3.2.3.3 pav. Maršrutas M3, ištrauka iš „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“

IVADAS

Temos aktualumas ir problema. Darnus vystymasis šiandien yra tapęs pagrindiniu žmogiškosios veiklos principu, ne išimtis – ir darni transporto sektoriaus plėtra. Lietuvoje transportas turi ypač didelę reikšmę bendram ekonomikos lygiui, todėl darnus transporto sistemos plėtojimas yra būtinas siekiant bendrų darnaus vystymosi tikslų. Nors šiuo metu pasaulinė savivaldžių automobilių rinka dar tik plečiasi, akcentuotina savivaldžio automobilio, kaip vienos iš pagrindinių technologinių alternatyvų, turinčių didelį potencialą sumažinti eismo įvykių skaičių ir padidinti eismo saugumą keliose, svarba. Savivaldžiai automobiliai jau dabar yra laikomos naujos kartos transporto priemonėmis. Prognozuojama, kad per artimiausius 10-20 metų mūsų gatvėse turėtų būti įprasta sutikti autonominį automobilį. Infrastruktūros pritaikymas šiai transporto priemonei yra gan problemiškas, todėl artimiausiu laiku autonominiai automobiliai greičiausiai gali netapti plačiai naudojama transporto priemone, o faktas, kad keliuose vis dar dominuos „tradiciniai“ automobiliai, kardinaliai nesumažins avaringumo tikimybės ir nepadidins eismo pralaidumo net ir vairuojant autonominį automobilį. Pritaikant infrastruktūrą savivaldžių automobilių eismui, ženkli nauda bus pasiekta: įgyvendinant valstybinius ir Europos Sąjungos eismo saugos tikslus; mažinant eismo įvykių skaičių; skatinant ekologišką miesto transportą bei efektyvų energijos vartojimą; sudarant galimybę patogiai keliauti seniems ir neįgaliems žmonėms.

Visi savivaldžiai automobiliai turi sąveikauti su aplinka, todėl norint, jog savivaldžiai automobiliai galėtų dalyvauti eisme, bus reikalinga tam tikrų standartizuotų parametrų kelių infrastruktūra. Todėl svarbu nustatyti svarbiausias šalies kelių infrastruktūros plėtros kryptis, siekiant kuo labiau kelių infrastruktūrą pritaikyti savivaldžių automobilių eismui. Kokios investicijos bus reikalingos, kokio biudžeto reikės – galiausiai priklausys nuo to, kaip bus nuspręsta vystyti savivaldžių ekosistema Lietuvoje.

Nepriklausomai nuo savivaldžių automobilių technologinio išvystymo ir dabartinių galimybių dalyvauti eisme, komunikacija su kelių infrastruktūra ir susijusiomis sistemomis, pvz., šviesoforai, išmanieji kelio ženklai ir pan., yra neišvengiama, siekiant sklandesnio eismo valdymo. Nors dabar kuriamų savivaldžių automobilių judėjimui naudojami duomenys gaunami tik iš įrengtų sensorių, didėjant savivaldžių automobilių skaičiui keliuose ir tobulėjant jų technologinėms galimybėms, reikės užtikrinti C-ITS plėtrą ir sklandų veikimą.

Kaip atskaitos taškas, darbe analizuojamas Vilniaus miestas, siekiant įvertinti alternatyvius savivaldžio viešojo transporto maršrutus mažo eismo intensyvumo Vilniaus zonoje. Savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutų planavimas priklauso nuo prieinamų statinių ir dinaminių duomenų bei jų kokybės, tačiau sklandžiam ir efektyviam savivaldžių transporto priemonių veikimui svarbiausia tinkama ir pritaikyta susisiekimo infrastruktūra.

Tyrimo objektas. Nagrinėjama teritorija – Lietuvos Respublika. Tiriamasis objektas – miestų susisiekimo infrastruktūra, reikalinga sklandžiam savivaldžių automobilių eismui pritaikyti. Eksperimentinėje dalyje nagrinėjama teritorija – Vilniaus miestas.

Darbo tikslas - panaudojant daugiakriterinės analizės skaičiavimo algoritmą, bus sukurtas savivaldėms viešojo transporto priemonėms infrastruktūros pritaikymo vertinimo modelis, leidžiantis racionaliai planuoti bei parinkti tinkamiausius savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutus.

Darbo uždaviniai:

- apžvelgti esamą situaciją, plėtros galimybes;
- atlikti pasaulinės mokslinės literatūros apžvalgą;
- atlikti ekspertinę apklausą kriterijų reikšmingumams nustatyti;
- atlikti duomenų analizę ir pasirinktą daigiatikslį metodą;
- paruošti metodiką, skirtą nustatyti tinkamiausią maršrutą savivaldžiam viešajam transportui;
- pasiūlyti kelių infrastruktūros pritaikymo savivaldžiam transportui vertinimo koncepciją, ją apibendrinti.

Tyrimo metodai. Baigiamajame darbe atliekama mokslinės literatūros, publikacijų, daugiakriterio vertinimo, teisės norminių aktų, kiekybinių ir kokybinių duomenų analizė.

Šių metodų taikymu siekiama įvertinti alternatyvius maršrutus kontroliuojamoje mažo eismo intensyvumo Vilniaus zonoje. Metodų taikymo tikslas – identifikuoti esamus trūkumus maršrute, kurie trukdo sklandžiam autonominių automobilių judėjimui bei įvertinti tų trūkumų svarbą ir reikšmingumą.

1. APŽVALGINĖ DALIS

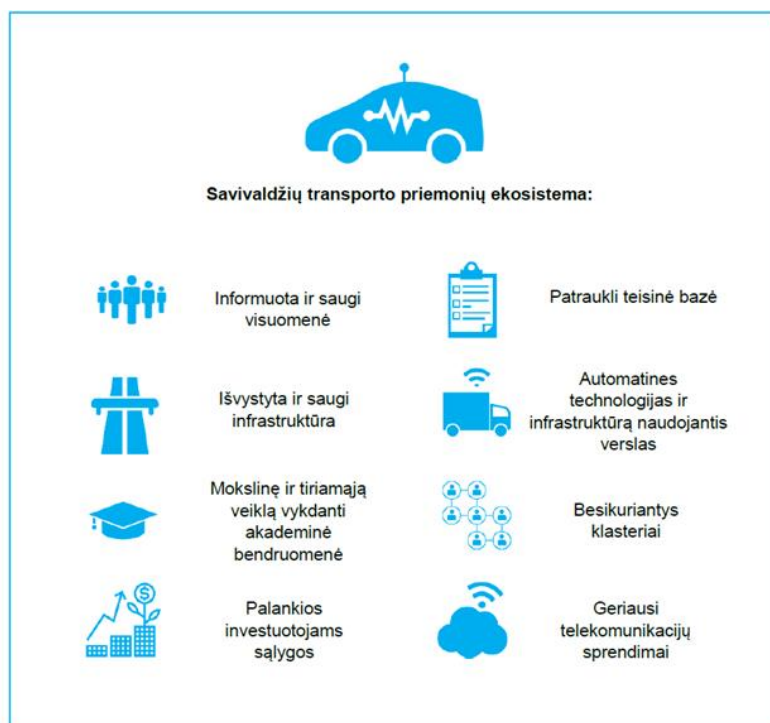
Šioje dalyje trumpai apžvelgiama saviavaldžių automobilių raida, jų techninės savybės, nagrinėjamos plėtros galimybės bei problematikos.

1.1. Savivaldis automobilis, jo sandara ir charakteristikos

Kaip ir bet koks kitas sektorius, automobilių pramonė laikui bėgant dinamiškai keičiasi. Pasaulinės automobilių pramonės tendencijos: elektriniai automobiliai, elektros varikliai ir jų komponentai, automobilių skaitmeninė ir komunikacinė sistema, saviavaldžiai automobiliai ir jų sistemos, automobilių dalinimosi platforma.

1.1.1. Savivaldžių automobilių ekosistema

Naujų technologijų atsiradimas reikalauja imtis neatidėliotinių veiksmų, siekiant pritaikyti esamą transporto ekosistemą prie sparčiai besivystančios intelektinių transporto sistemų (ITS) ir saviavaldžių automobilių pramonės. Tai yra didelis iššūkis, todėl būtina kooperuotis ir dalintis šioje srityje sukaupta patirtimi ir žiniomis, sudarant pagrindą vystyti saugia ir patrauklią saviavaldžių automobilių ekosistemą Lietuvoje (1.1.1.1 pav.).

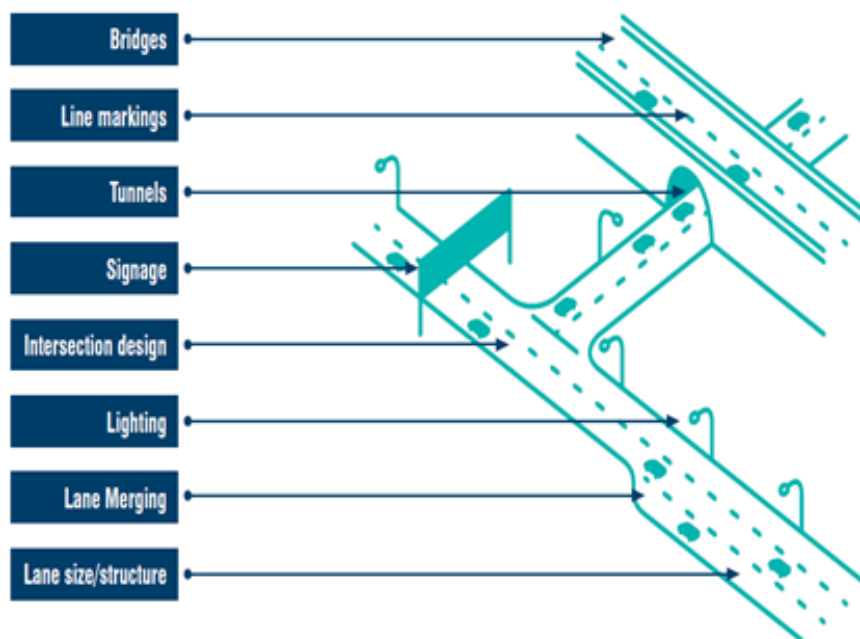


1.1.1.1 pav. STP ekosistemos komponentai (Kurk Lietuvai, 2017)

Nepriklausomai nuo STP technologinio išvystymo ir dabartinių galimybių dalyvauti eisme, komunikacija su kelių infrastruktūra ir susijusiomis sistemomis, pvz., šviesoforai, išmanieji kelio ženklai ir pan., yra neišvengiama, siekiant sklandesnio eismo valdymo. Nors dabar kuriamų STP judėjimui naudojami duomenys gaunami tik iš įrengtų sensorių, didėjant STP skaičiui keliuose ir tobulėjant jų technologinėms galimybėms, reikės užtikrinti C-ITS plėtrą ir sklandų veikimą. Savivaldis automobilis privalės gerai atpažinti aplinką, sugebėti atlikti saugumą užtikrinančius veiksmus ir ilgalaikėje perspektyvoje pakeisti žmogaus, kaip vairuotojo vaidmenį.

1.1.2. Kelių infrastruktūra ir jos pritaikymas savivaldžiams automobiliams

Tikėtina, kad pirminiuose STP kelių infrastruktūros plėtros etapuose, kai STP aktyviau bus naudojamos susisiekimo sistemose, atsirast problemos sąveikaujant su tradicinėmis transporto priemonės bendrame kelių tinkle. Šių problemų būtų įmanoma išvengti STP skiriant atskiras kelių juostas ar net atskiras miesto dalis skirtas tik STP eismui. Jei to padaryti nėra įmanoma, tokiu atveju C-ITS technologijos turi būti ypatingai gerai išvystytos pagrindinių kelių atkarpose, kur tikėtinas didžiausias STP eismas (Palevičius et al., 2018). 2 paveiksle pavaizduoti kelių infrastruktūros elementai, kurie ateityje turėtų būti standartizuoti, norint, kad STP eismas būtų nepertraukiamas ir kuo efektyvesnis (1.1.2.1 pav.) (IPA 2017).



1.1.2.1 pav. STP eismui reikalingi kelių infrastruktūros elementai (IPA, 2017)

1 lentelėje pateikiami būtini kelių infrastruktūros pakeitimai pritaikant STP eismui ir siūlymai, kaip šie pokyčiai galėtų būti valdomi (1.1.2.1 lentelė) (IPA, 2017).

1.1.2.1 lentelė. Būtini kelių infrastruktūros pakeitimai pritaikant STP eismui (IPA, 2017)

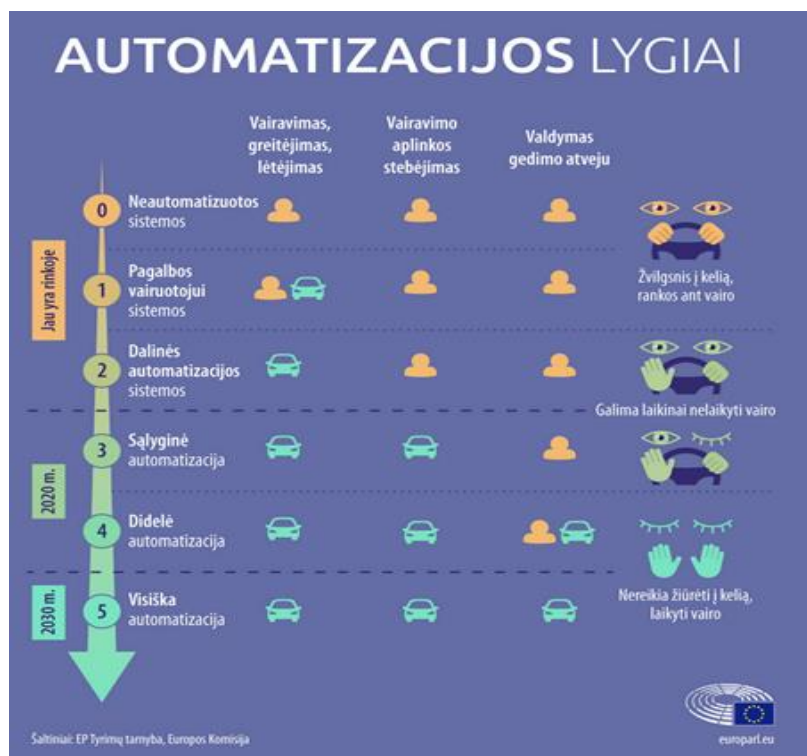
<i>Galimas nukrypimas nuo standartinių reikalavimų</i>	<i>Reikalingos investicijos</i>
<u>Kelio konstrukciją, paviršiaus, kelio pločio ir linijų ženklinimo reikalavimus reikės keisti, nes:</u> • STP gali judėti arčiau viena kitos, palaikant saugų ir fiksuotą atstumą, todėl reikia mažesnio kelio pločio; • STP valdymui bus naudojamos ženklinimo linijos. Neaiškos arba prastai prižiūrimos linijos trikdydys sklandų STP eismą; • STP atskyrimas nuo tradicinių transporto priemonių užtikrins didesnę saugumą; • STP gali važiuoti greičiau įvertinant kelio būklę, eismą realiuoju laiku ir supančius aplinkos elementus; • STP gali būti sunku naviguoti važiuojant per tiltus, viadukus ir kitas gan atviras vietas, nes aplinkos atpažinimui trūksta orientyrų; • Kelių ženklinimo juostų susiliejimo vietų konfigūracijos turės būti standartizuotos ir aiškiai aprašytos.	<u>Projektavimo standartų peržiūra, siekiant užtikrinti suderinamumą su STP eksploatavimu, įskaitant:</u> • STP ir tradicinių transporto priemonių sąveiką ir su tuo susijusį poveikis saugai; • Išskyrimą specialių kelio juostų STP greitkeliuose ir didelio intensyvumo keliuose; • Standartizuotų kelių projektavimą ir diegimą; • Atnaujintas kelių priežiūros ir stebėjimo programas pagal naujus standartus; • Kelių remonto darbų eigos stebėsenos užtikrinimą, kad STP galėtų naudotis naujausia informacija; • Tiltų projektavimo standartus, kad jie būtų suderinami su STP technologijomis; • STP kelių standarto laikymosi ir (arba) užtikrinant, kad STP būtų galima naudoti standartui neatitinkančiuose keliuose.

2016 m. ES valstybės narės ir EK pradėjo platformos „C-Roads“ iniciatyvą, kad susietų įvairią C-ITS diegimo veiklą, kartu parengtų ir bendrai naudotų technines specifikacijas ir patikrintų sąveikumą bandymais įvairiose vietose (C-ROADS, 2016). Tarp automobilio ir infrastruktūros turi būti užtikrintas bent šių duomenų apsikeitimas (C-ITS Platform, 2016):

- Informacija apie pavojus kelyje;
- Informacija apie kelio darbus;
- Oro sąlygos;
- Kelio ženklai;
- Greičio ribojimai;
- Iš automobilio daviklių siunčiami duomenys;
- Automobilio pakabos duomenys.

1.1.3. Savivaldžiai automobiliai

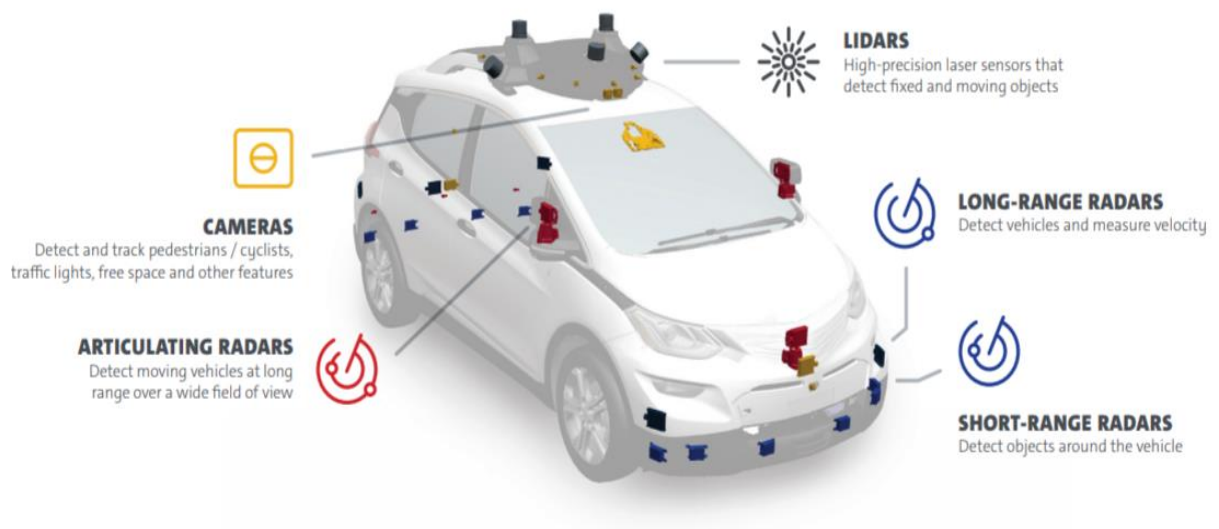
Per pastarosios metų buvo atliekami įvairūs bandymai ir pristatinėjami vis nauji savivaldžių automobilių prototipai. Išmaniosios pagalbinės vairavimo sistemos, tokios kaip automatinis stabdymas su pėsčiųjų aptikimo funkcija, išmanusis greičio reguliavimas ar eismo juostos laikymosi sistema, naujuose automobiliuose gana įprastas dalykas.



1.1.3.1 pav. Savivaldžių automobilių automatizacijos lygiai (EC, 2019)

Tačiau automobilis, kuris važiuotų be vairuotojo pagalbos, vis dar retenybė. Prognozuojama, kad tokie visiškai automatizuoti ir savivaldžiai bei tarpusavyje bendraujantys automobiliai rinkoje pasirodys iki 2030 m. „PwC“ prognozuoja, kad 2030 m. STP sudarytų net 40% viso automobilio eismo (SAE, 2019).

Žadama, kad jie padės sumažinti avaringumą, spūstis ir poveikį aplinkai, sukurs naujų verslo galimybių. Kita vertus, įvardijama nauja rizika, susijusi su civiline atsakomybe, kibernetiniu saugumu ir poveikiu darbo vietoms.



1.1.3.2 pav. STP valdymo elementai (GM, 2018)

STP yra skirstomi į skirtingus lygius. 2014 metais Tarptautinė automobilių inžinerinė organizacija (angl. SAE international) paskelbė STP klasifikacijos sistemą. Ji yra sudaryta iš 6 lygių, pradedant nuo jokio iki pilno transporto priemonės autonomiškumo (SAE, 2014; Kurk Lietuvai, 2017):

- 0 lygis – be automatikos (angl. „No Automation“) – vairuotojas privalo pilnai kontroliuoti automobilį. Galimos tik tam tikros vairavimo pagalbos (pavyzdžiui, aklosios zonos stebėjimo sistema).
- 1 lygis – pagalba vairuotojui (angl. „Driver Assistance“) – vairuotojas privalo kontroliuoti automobilį. Pats automobilis gali turėti automatinę greičio palaikymo sistemą (angl. „Adaptive Cruise Control“), pagalbą parkuojantis (angl. „Parking assistance with automated steering“) ir išlaikymo eismo juostoje pagalbą (angl. „Lane

Keeping Assistance“). Šios funkcijos reikalauja, kad eismo aplinkybės visada prižiūrėtų vairuotojas.

- 2 lygis – pusiau automatizuotas (angl. „Partial Automation“) – STP pats išibėgėja, stabdo, vairuoja, tačiau vairuotojas privalo būti pasiruošęs valdyti automobilį pasikeitus eismo sąlygoms ir bet kada perimti transporto priemonės valdymą. Vairuotojas stebi vairavimo aplinką.
- 3 lygis – sąlyginis automatizavimas (angl. „Conditional Automation“) – Vairuotojas gali nekontroliuoti transporto priemonės, tačiau reikalui esant turi galėti bet kada perimti valdymą. Vairavimo aplinką stebi sistema.
- 4 lygis – aukšto lygio automatizavimas (angl. „High Automation“) – Automatinis valdymas gali pilnai kontroliuoti transporto priemonę. Sistema palaiko automobilio valdymą net ir tada, kai vairuotojas neįsiterpia esant pasikeitusioms vairavimo sąlygoms (pavyzdžiui, susidarius kritinei situacijai).
- 5 lygis – visiškas automatizavimas (angl. „Full Automation“) – Jokio žmogaus įsikišimo į automatinės sistemos valdymą nereikia. STP gali vykti į bet kokią pritaikytą vietą ir pati save pilnai kontroliuoti, žmogus transporto priemonės vairuoti neprivalo.

Pasak Kinijos automobilių inžinierių asociacijos (angl. „Society of Automotive Engineers“), sąveikaujanti ir išmani transporto priemonė yra transporto ateitis. Automobilis turės pažangiąsias komunikacijos sistemas, sensorius, įvairius daviklius bei kitas sistemas. Savivaldis automobilis sugebės komunikuoti ir keisti informaciją su kitais eismo dalyviais, pėsčiaisiais, keliais, infrastruktūra ir kt.). Savivaldis automobilis privalės gerai atpažinti aplinką, sugebėti atlikti saugumą užtikrinančius veiksmus ir ilgalaikėje perspektyvoje pakeisti žmogaus, kaip vairuotojo vaidmenį.



1.1.3. E pav. STP privalumai (EC, 2019)

Pagrindinius savivaldžio automobilio plusus galima būtų išskirti šiuos (Kurk Lietuvai, 2017; The Automated Driving Community, 2019) :

1. Eismo įvykių mažinimas. Eismo įvykiai nužudo maždaug 1,25 mln. žmonių pasaulyje kiekvienais metais. Žmogaus klaida yra pagrindinė priežastis 90 % visų auto katastrofų. Bendrai, eismo įvykiai yra 9-oje vietoje pagal pagrindines mirties priežastis, t.y. 2,2 % iš visų nelaimių. Maždaug 26 % visų eismo nelaimių JAV yra dėl to, kad vairuotojai rašė trumpąsias žinutes arba kalbėjo telefonu. Paskaičiuota, kad savivaldžiai automobiliai turėtų sumažinti eismo nelaimių skaičių 80 % iki 2040 metų.
2. Efektyvesni eismo srautai. Automobilių skaitmeninė ir komunikacinė sistema leis 500 proc. padidinti greitkelių eismo pralaidumą, nuolat palaikant saugų ir fiksuotą atstumą. Paskaičiuota, kad 2014 m. JAV buvo sugaištama 6,9 mlrd. valandų eismo spūstyse.
3. Galimybė patogiai keliauti seniems ir neįgaliems žmonėms. STP išspręs senstančios populiacijos vairavimo problemas.
4. Mažesnė tarša ir degalų sąnaudos. Transporto priemonės yra vienos iš pagrindinių 30 % globalinio atšilimo priežasčių. Be to, vairuotojai yra linkę nuolat neefektyviai spausti greičio ir stabdžio pedalus. Savivaldžiai automobiliai padės padidinti kuro efektyvumą iki

10 %. Skaičiuojama, kad transporto priemonės ateityje bus lengvesnės – 50 % iki 2050 metų, tai lems ir efektyvesnį kuro ar kitų alternatyvių energijos išteklių vartojimą.

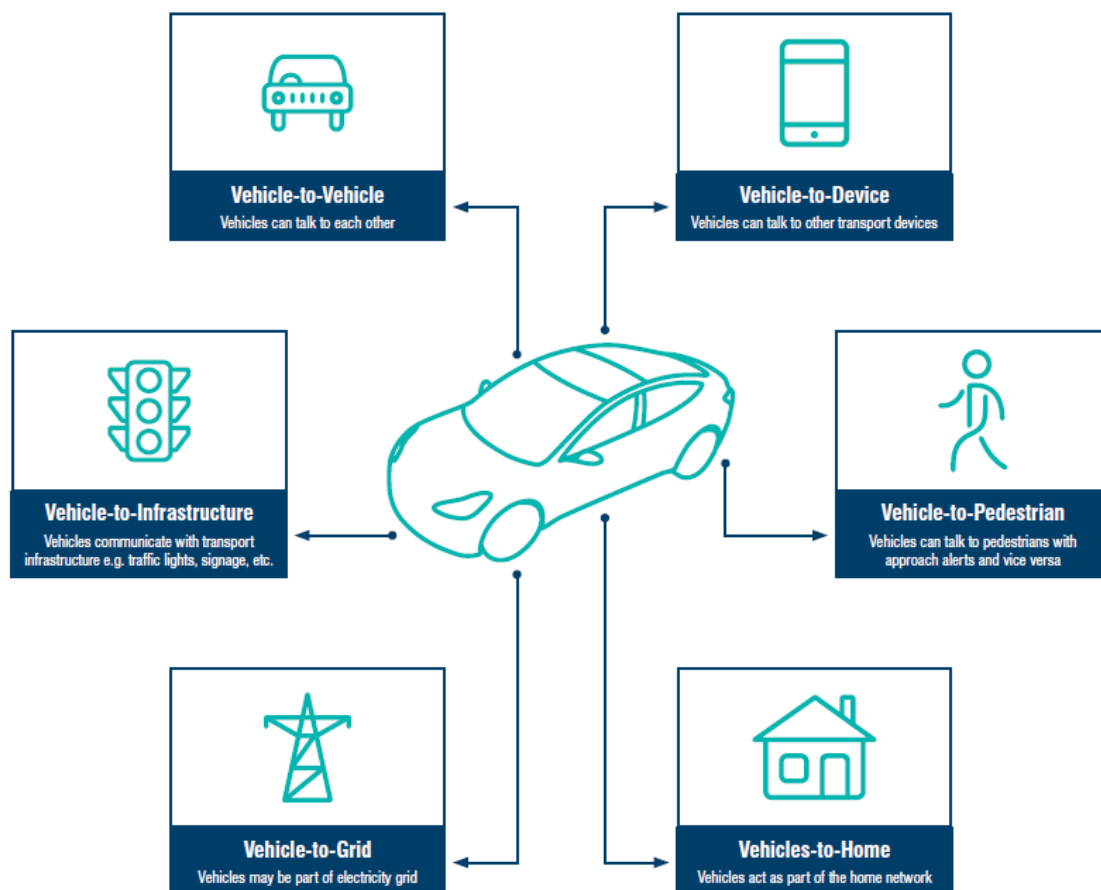
1.1.4. C-ITS ir telekomunikacijos sprendiniai

Daugeliu atžvilgių šiuolaikinės transporto priemonės jau yra tapusios susietaisiais įrenginiais. Tačiau artimiausioje ateityje jos taip pat tiesiogiai sąveikaus tarpusavyje ir su kelių infrastruktūra. Ši sąveika yra sąveikiųjų intelektinių transporto sistemų (C-ITS) sritis. Šios sistemos kelių naudotojams ir eismo valdytojams užtikrins galimybę keistis ir naudotis informacija, kuri anksčiau nebuvo prieinama, ir koordinuoti savo veiksmus.

Transporto priemonių tarpusavio ryšys ir ryšys su infrastruktūra bei kitais eismo dalyviais yra labai svarbus ir siekiant didinti STP saugą bei jas visiškai integruoti į bendrą transporto sistemą. Sąveika, susiejamumas ir automatizavimas yra viena kitą papildančios technologijos, kurios viena kitą stiprina ir ilgainiui visiškai susilies. Sinchronizuotas sunkvežimių vairavimas (angl. platooning) (kai sunkvežimiai palaiko ryšį, kad automatiškai ir saugiai važiuotų vienas paskui kitą labai mažai vienas nuo kito nutolę) yra geras pavyzdys – jam kartu būtini junglumas, sąveika ir automatizavimas. Tačiau sąveikos reikės dar labiau, kai būsimos STP turės saugiai ir efektyviai važiuoti daug sudėtingesnėse eismo situacijose (EC, 2016).

Kelių transporto sektoriuje naudojant C-ITS paprastai palaikomas ryšys tarp transporto priemonių (V2V), tarp transporto priemonių ir infrastruktūros objektų (V2I) ir (arba) tarp infrastruktūros objektų (I2I), taip pat ryšys tarp transporto priemonių ir pėsčiųjų arba dviratininkų (transporto priemonių ryšys su visa aplinka, V2X). Tai suteikia galimybę teikti įvairias informavimo ir bendradarbiavimo paslaugas (žr.1.1.4.1 pav.).

Koordinačių nustatymo kokybė priklauso nuo GPS transliuojamos informacijos tikslumo, signalo priėmimo sąlygų bei GPS imtuvo kokybės (LI, Yicheng, et al., 2019). Priartėjus 2020 metams 5G tinklas galės pasiūlyti didesnę, nei 1 Gbps spartą. Ateities mobiliojo ryšio technologijos leis pasiekti minimalią 100 megabitų per sekundę (Mbps) naršymo spartą net judant, o didžiausia sparta idealiomis sąlygomis bus 10 kartų didesnė, todėl prie tinklo prijungti įrenginiai galės maksimaliai išnaudoti jo suteikiamus išteklius (Shah A, 2019).



1.1.4.1 pav. STP ryšys su visa aplinka, V2X(IPA, 2017)

Siekiant visapusiškai pasinaudoti C-ITS teikiamais pranašumais, reikės užtikrinti infrastruktūros ir transporto priemonių sprendimų suderinamumą visoje ES. Be to, labiau suderintas ES lygmens požiūris būtinas ir siekiant užtikrinti veiksmingą sinergiją su naujų saugos technologijų ir sąveikiųjų susietojo ir automatizuotojo judumo sistemų diegimo visoje ES veikla. Be įtraukios ir perspektyvios ES lygmens sistemos diegimo veiksmai tikriausiai ir toliau būtų paskiri, nesuderinti ir jais nebūtų įmanoma užtikrinti geografinės C-ITS paslaugų aprėpties vientisumo visoje ES ir prie jos išorės sienų(EC 2019).

1.1.5. Patraukli teisinė bazė

Skatinat savivaldžių automobilių plėtrą visame pasaulyje svarbi ir reikalinga yra vyriausybinių iniciatyvų. Šiuo metu, neegzistuojantys, neišsamūs ar skirtingi nacionalinių teisės požiūriai vis dar sudaro didelę kliūtį STP plėtrai. Pagrindinė užduotis yra atitinkamos reguliacinės sistemos sukūrimas, o įvairių taisyklių harmonizavimas yra bendros ir vidinės Europos rinkos interesas (EC, 2019).

1968 m. lapkričio 8 d. Vienoje (toliau – Vienos konvencija) buvo pasirašyta Kelių eismo konvencija. Tai yra tarptautinė sutartis, skirta palengvinti tarptautinį kelių eismą ir padidinti jo saugumą, nustatant standartines eismo taisykles tarp susitariančiųjų šalių. Daugelis šalių yra pasirašiusios Vienos konvenciją (tarp jų ir Lietuva), todėl iki šiol, šalims, norinčioms įteisinti savivaldžių transporto priemonių eksploatavimą kildavo tam tikrų keblumų. Vienos konvencijos, 8 straipsnio 1 dalyje nustatyta, kad „kiekviena judanti transporto priemonė ar transporto priemonių junginys turi būti su vairuotoju“. Vienos konvencijos 1 straipsnio v) punkte nustatyta, kad „vairuotojas – tai bet koks asmuo, vairuojantis automobilį ar kitą transporto priemonę [...]“. Taip pat, Vienos konvencijos 13 straipsnio 1 dalyje yra nustatyta, kad „kiekvienas transporto priemonės vairuotojas bet kokiomis aplinkybėmis taip valdo savo transporto priemonę, kad galėtų tinkamai ir pakankamai saugiai važiuoti ir kad bet kuriuo metu galėtų atlikti reikiamus manevrus [...]. Tačiau Jungtinių Tautų Europos ekonominės komisijos (angl. - UNECE) Vidaus transporto komiteto Eismo saugumo darbo grupė 2014 m. sausio 10 d. išleido dokumentą Nr. ECE/TRANS/WP.1/2014/1, kuris papilde Vienos konvencijos nuostatas, siekiant numatyti sistemas, kurios turi įtakos transporto priemonių vairavimui, ir atsižvelgti į technikos pažangą, Vienos konvencijos 8 straipsnis papildomas šiais punktais (Kirk Lietuvai, 2017; EC, 2016):

a) Transporto priemonių sistemos, kurios turi įtakos transporto priemonių vairavimui, laikomos atitinkančiomis Vienos konvencijos 8 straipsnio 1 dalį ir 13 straipsnio 1 dalį, kai šios transporto priemonių sistemos atitinka surinkimo (įrengimo) ir naudojimo sąlygas pagal tarptautinius teisės aktus dėl ratinių transporto priemonių, įrangos ir dalių, kurios gali būti įrengiamos ir (arba) naudojamos ratinėse transporto priemonėse.

b) Transporto priemonių sistemos, kurios turi įtakos transporto priemonių vairavimui ir neatitinka minėtų sąlygų dėl surinkimo (įrengimo) ir naudojimo, laikomos atitinkančiomis Vienos konvencijos 8 straipsnio 1 dalį ir 13 straipsnio 1 dalį, kai tokios sistemos gali būti perimtos arba išjungtos vairuotojo.

Šis pakeitimas atvers kelių savivaldžių automobilių naudojimui viešuosiuose keliuose. Tad STP potencialas, infrastruktūros ir naujausių technologijų tobulėjimas yra laikomas kaip viena iš geriausių priemonių pagerinti eismo saugumo situaciją.

2016 m. balandžio mėn. Amsterdamo deklaracijoje dvylika Europos transporto ministrų paragino Europos Komisiją parengti Europos strategiją dėl sąveikiųjų, susietųjų ir automatizuotų transporto priemonių. Tačiau norint, kad tai įvyktų, būtina skubiai imtis koordinavimo Europos

lygmeniu. 2016 m. spalio m EK išleido komunikatą, kuriame pristatoma koordinuoto C-ITS diegimo ES strategija, siekdama išvengti vidaus rinkos susiskaidymo C-ITS srityje ir užtikrinti įvairių iniciatyvų sinergiją. Ja sprendžiami svarbiausi klausimai, įskaitant kibernetinio saugumo, duomenų apsaugos (nuo šių abiejų labai priklauso visuomenės pritarimas) ir sąveikos, ir rekomenduojama imtis veiksmų įvairiais lygmenimis, kad būtų pasiektas 2019 m. tikslas. Todėl šis komunikatas yra svarbus žingsnis kuriant ES strategiją dėl sąveikiųjų, susietųjų ir automatizuotų transporto priemonių (EC, 2016).

2017 m. kovo. 23 d. 29 Europos šalys, esančios Europos Sąjungos ir Europos ekonominės erdvės narės, pasirašė Ketinimų protokolą (angl. – Letter of Intent), siekiant stiprinti bendradarbiavimą tarpvalstybinių automatizuoto kelių transporto bandymų sferoje. Šia iniciatyva yra skatinama Europos Komisijos strategija, kuria siekiama sukurti Europos Duomenų Ekonomiką (angl. – European Data Economy) (EC, 2017). Tuo yra siekiama supaprastinti ir kuo efektyviau vykdyti mokslinius tyrimus, bandymus ir didelio masto demonstracijas kelių saugos, duomenų apsaugos, atsakomybės, ryšio ir skaitmeninių technologijų srityse. Taip pat, bus remiamas radijo dažnių spektro išteklių prieinamumas kooperatyviam, sąveikiam ir automatizuotam mobilumui vystyti. Siekiant palengvinti bendradarbiavimą, papildomai, bus paskirti kontaktiniai asmenys kitoms valstybėms ir Komisijai.

C-ROADS platforma yra valstybių-narių ir kelių operatorių bendradarbiavimas dirbant ties harmonizuotų ir sąveikių C-ITS paslaugų įdiegimu Europoje. Oficialus C-ROADS platformos paleidimas įvyko 2016 m. gruodžio 12 d. C-ROADS platforma skatina bendradarbiavimą holistiniame lygmenyje, siekiant padengti visas sferas, susijusias su C-ITS įdiegimu. Bendradarbiavimas apima tokias sferas kaip dalinimasis patirtimi ir žiniomis įdiegimo ir implementavimo klausimais, o taip pat, vartotojų priėmimo klausimu. Tai tiesiogiai susiję su „Iš apačios į viršų“ metodo taikymu, įtraukiant nacionalines pilotų programas (C-ROADS, 2016; Kurk Lietuvai 2017).

C-ROADS iniciatyva sudarys pagrindinius elementus vėlesniai C-ITS implementacijai visoje Europoje.

Nacionalinės pilotų iniciatyvos judės link tarpvalstybinių bandymų, kas leis šalims augti kartu ir pasiekti tarpvalstybinį sąveikumą. Tokiu būdu, C-ROADS užtikrins Europos sanglaudą C-ITS įdiegimo procese ilgalaikėje perspektyvoje.

Pagrindinės C-ROADS platformos nuostatos yra suderintos ir visiškai atspindi EK lūkesčius(C-ROADS, 2016; Kurk Lietuvai, 2017):

- Pagrindinis tikslas yra apjungti C-ITS pilotų įdiegimo projektus ES valstybėse-narėse;
- Plėtoti, dalintis ir publikuoti bendrą techninę specifikaciją (įskaitant ir bendrus komunikacijos profilius);
- Užtikrinti sąveiką vykdant tarpvalstybinius bandymus;
- Plėtoti sistemos bandymus, remiantis bendrais komunikacijos profiliais ir fokusuojantis ties hibridiniu komunikacijos mišiniu;
- Kasdieninio bendradarbiavimo detalės C-ROADS platformos rėmuose yra nustatytos Įgyvendinimo sąlygose (Terms of Reference).

1.2. Savivaldžių automobilių plėtros tendencijos ir problematika

Pasauliui vis labiau kalbant apie eismo įvykių daromą žalą, didėjančias aplinkos taršos problemas, priklausomybę iškastiniam kurui, siekiant gerinti aplinkosauginius tikslus, intensyviau pradedama ieškoti alternatyvų, padėsiančių pakeisti nusistovėjusią transporto politiką. Nors artimiausiu laiku STP netaps plačiai naudojama transporto priemone, ateityje jie bus viena iš tokių alternatyvų (IPA, 2017; EC, 2019).

1.2.1. Savivaldžio transporto politikos formavimas ir įgyvendinimas

STP turi tapti neatsiejama vyriausybių vizija, siekiant nulinio mirčių skaičiaus keliose. 2011 m. Europos Komisijos paskelbė Europos Sąjungos (ES) transporto politikos Baltąją knygą „Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektingu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas“, kurioje keliami vieni iš pagrindinių uždavinių:

- iki 2030 m. pasiekti dvigubai mažesnę įprastiniu kuru varomų automobilių naudojimą miestuose;
- iki 2050 m. pasiekti, kad tokių transporto priemonių miestuose nebeliktų;
- iki 2030 m. pasiekti, kad miestų logistikos veikla urbanistiniuose centruose būtų visiškai be CO₂ emisijų.

Svarbiausias Europos transporto politikos tikslas – padėti sukurti sistemą, kuri sudarytų sąlygas skatinti Europos ekonominę pažangą, didinti konkurencingumą ir teikti aukštos kokybės judumo skatinimo paslaugas, o išteklius naudoti kur kas efektyviau. Iš tiesų tai reiškia, kad transporto sektorius turi geriau išnaudoti modernią infrastruktūrą ir mažinti neigiamą poveikį aplinkai ir tokiems pagrindiniams gamtos ištekliams kaip vanduo, žemė ir ekosistemos (EC, 2011).

1.2.2. Savivaldžių automobilių plėtros problemos

Artimiausiu laiku savivaldžiai automobiliai netaps plačiai naudojama transporto priemone. Infrastruktūros pritaikymas šiai transporto priemonei yra gan problematiškas, o faktas, kad keliuose vis dar dominuos „tradiciniai“ automobiliai, kardinaliai nesumažins avaringumo tikimybės ir nepadidins eismo pralaidumo net ir vairuojant savivaldį automobilį.

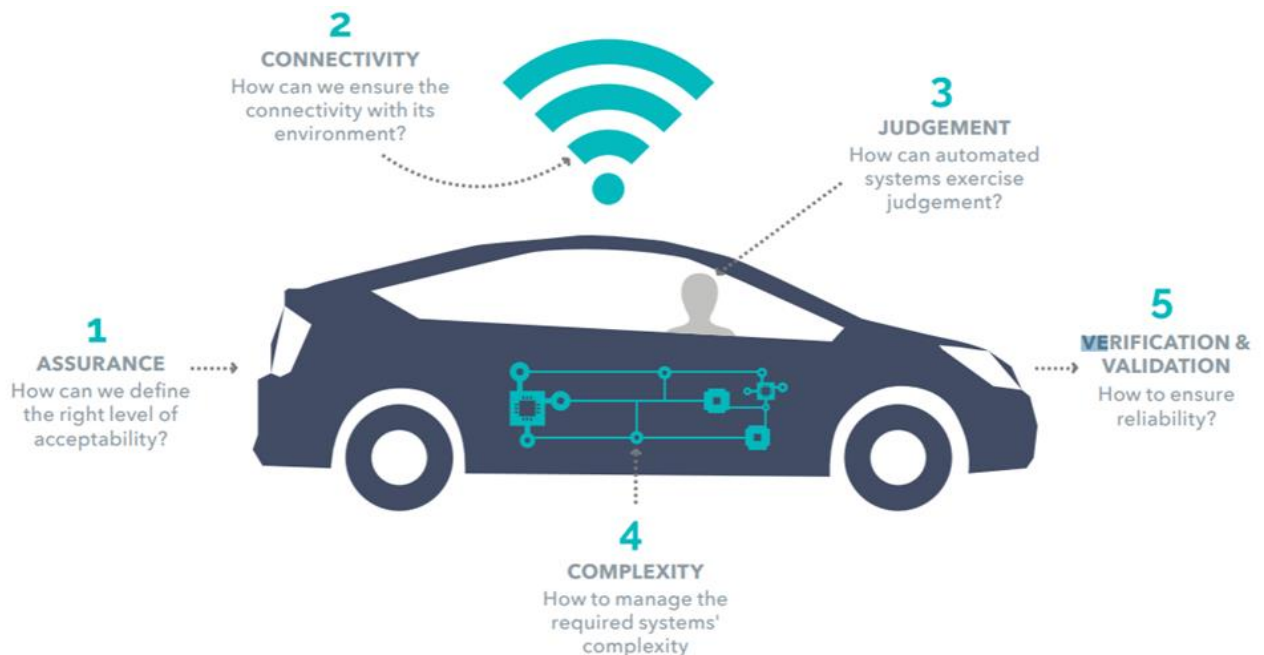
Tokios šalys kaip JAV, Australija, Japonija, Pietų Korėja ir Kinija sparčiai kuria savivaldį transportą todėl Europai reikia vieningiau ir sparčiau veikti šioje srityje. Visų pirma tam būtina išspręsti eismo saugos, civilinės atsakomybės ir žalos draudimo, duomenų naudojimo ir kibernetinio saugumo, taip pat intelektinės nuosavybės ir dirbtinio intelekto etikos klausimus. ES teisinė sistema turi būti pritaikyta šiems uždaviniams deramai spręsti, todėl Europos Komisija turėtų nedelsiant pristatyti STP strategiją, kurioje ypatingas dėmesys būtų skirtas duomenų apsaugai bei kibernetiniam saugumui. ES valstybės raginamos įtraukti viešąjį transportą į šios srities plėtrą, taip pat iki 2020 m. įrengti aikšteles, skirtas naujoms technologijoms išbandyti. EP taip pat pabrėžia, kad transporto priemonių ir infrastruktūros techniniai standartai (pavyzdžiui, kelio ženklai ir kelių ženklavimas) turėtų būti kuriami ir derinami tarptautiniu lygmeniu, visų pirma ES mastu (EP, 2019).

C-ITS technologijos šiuo metu orientuotos į gero signalo priėmimą atviroje erdvėje, tačiau svarbu išspręsti GNSS ir GPS sistemos signalo praradimo problemą tokiose vietose kaip tuneliai ir požeminės automobilių stovėjimo aikštelės. Norint išspręsti šį klausimą, Norvegijoje buvo sėkmingai atliktas V2X technologijos bandymas. Viduryje, 1,3 km (2,2 km) naujai pastatyto kelių tunelio, bandymams buvo įrengtas „V2X-Locate“ ruožas. Buvo naudojami keturi kelio įrenginiai (RSU), išdėstyti per intervalą tunelio viduje. Judant, STP tiksliai nustatė savo koordinatės, nesukeliant trikdžių kitiems tunelyje naudojamiems radijo signalams. Tyrimo sėkmė reiškia, kad technologija atveria kelią C-ITS diegimui ir STP eismui tuneliuose (James Billington, 2019).

Kita nemažiau svarbi užduotis yra užtikrinti STP kibernetinį saugumą. GPS klaidingo signalo siuntimas tam, kad suklaidinti GPS imtuvus ir manipuliacijos, keičia tikrąjį GPS signalą. Southwest Research Institute“ („SwRI“) sukūrė kibernetinio saugumo sistemą skirtą STP, naudojančioms GPS imtuvus, klaidinančiam signalui aptikti, navigacijai ir laikui nustatyti.

STP yra sudėtingiausias kada nors atliktas automatizavimo projektas. Reikia automatizuoti visa vairavimo procesą, nuo didelio kiekio informacijos apdorojimo iki sprendimų priėmimo. Be to, yra daug nenuspėjamų išorinių veiksnių į kuriuos reikia atsižvelgti. Automobilai yra sunkūs, greitai judantys objektai, veikiantys viešose erdvėse. Už saugą daugiausia atsako vairuotojas, kuris nuolat turi stebėti, analizuoti ir priimti sprendimus kaip veikti. Vairuotojai ne tik turi laikytis kelių taisyklių, bet ir bendrauti tarpusavyje bei su kitais kelių eismo dalyviais. STP turi atlikti visas šias funkcijas ir tai daryti tiksliai, patikimai ir saugiai įvairiose situacijose ir sąlygose.

Per jutiklius ir išsamią žemėlapių sudarymo programinę įrangą, sistemos sukuria savo aplinkos vaizdus ir atnaujina jas daug kartų per sekundę. Jie klasifikuoja matomus objektus ir nuspėja jų tikėtiną elgesį prieš pasirinkdami atitinkamus sprendimus. Šių sistemų greitis ir tikslumas daugelyje situacijų jau viršija žmogaus galimybes. Lazeriai gali matyti tamsoje, o reakcijos laikas gali būti beveik akimirksniu.



1.2.2.1 pav. Pagrindiniai uždaviniai, kurie sprendžiami vykdant STP plėtrą (Altran, 2018)

Tačiau kai kurios sąlygos jas vis dar riboja. Kameroms gali trukdyti stipri saulės šviesa (svarbu šviesoforų skaitymui), o lazeriai gali sutrikti dėl rūko ir sniego. Neįprastos, nepažįstamos ir nestruktūrizuotos kritinės situacijos tokios kaip, avarijos, kelių darbai arba sutiktas grietosios pagalbos automobilis, gali būti sunkiai klasifikuojamos. STP sistemos nepajėgios aptikti ir interpretuoti žmogiškuosius gestus ir akių kontaktus, kurie palengvina vairuotojams veiksmų koordinavimą keliose. STP projektuotojai tiesiog negali numatyti visų situacijų kelyje.

Laikui bėgant sumažės situacijų skaičius, kurių sistemos negali atpažinti. Iš tiesų, automatizuotų sistemų mokymasis greičiausiai bus greitesnis, nes kai įvyksta incidentas ir jis klasifikuojamas ir aprašomas, tai galima pritaikyti visose STP. Šiuo metu mokymasis iš esmės apsiriboja atskirais STP ir nėra taikomas visai sistemai. Tačiau tikimybė atsirasti naujai situacija lieka visada, o kartais tai gali turėti sunkių pasekmių. Todėl didžiausios problemas kils per pereinamąjį laikotarpį. Tam, kad STP technologija pagerėtų, ji turi būti bandoma eisme. Pradiniame diegimo etape teiktina, kad bus nekvalifikuotų situacijų, todėl STP turės perduoti valdymą žmogui.

1.4. Apžvalginės dalies išvados

- 1) Prognozuojama, kad STP padės sumažinti avaringumą, spūstis ir poveikį aplinkai, sukurs naujų verslo galimybių;
- 2) STP sugebės komunikuoti ir keisti informaciją su kitais eismo dalyviais, pėsčiaisiais, keliais, infrastruktūra ir kt.).
- 3) Artimiausiu laiku savivaldžiai automobiliai netaps plačiai naudojama transporto priemone. Infrastruktūros pritaikymas STP yra gan problematiškas. Keliuose vis dar dominuos „tradiciniai“ automobiliai;
- 4) STP ir infrastruktūros techniniai standartai (pavyzdžiui, kelio ženklai ir kelių ženklavimas) turėtų būti kuriami ir derinami tarptautiniu lygmeniu, visų pirma ES mastu;
- 5) Numatoma, kad iki 2030 m. keliose pasirodys 5 lygio STP, kurie bendraus tarpusavyje. Prognozuojama, kad 2030 m. STP sudarytų net 40% viso automobilio eismo.

2. ANALITINĖ DALIS

Šioje dalyje trumpai apžvelgiami moksliniai šaltiniai, ES direktyvos, nacionalinės gairės bei strategijos, susijusios su savivaldžių automobilių plėtra, infrastruktūros pritaikymu.

2.1. Savivaldžių automobilių technologijų plėtros gerąją praktika

Darni plėtra yra ilgalaikė ES strategija, užtikrinanti švarią ir sveiką aplinką bei gerėjančią gyvenimo kokybę dabartinei ir ateinančioms kartoms. Įgyvendinant šią strategiją būtina, kad ekonominis augimas spartintų socialinę pažangą ir gerintų aplinkos būklę, kad socialinė politika skatintų ekonominį augimą, o aplinkos politika būtų ekonomiškai efektyvi (Barysienė ir Speičytė, 2009).

Augantis automobilizacijos lygis iššaukė visą eilę neigiamų pasekmių, iš kurių labiausiai juntamos netektys ir sužalojimai eismo įvykiuose. 2017 m. kovo 29 d., Maltos pirmininkavimo Europos Sąjungos Tarybai laikotarpiu, Valetyje susitikę Europos Sąjungos valstybių narių transporto ministrai dar kartą patvirtino savo įsipareigojimą gerinti kelių eismo saugumą. Nuolat didelis žūčių keliuose (2015 m. – 26 100 žuvusiųjų ES) ir sunkių sužalojimų per eismo įvykius skaičius yra viena iš didžiausių visuomenės problemų, dėl kurios kenčia žmonės ir patiriama nepriimtinių ekonominių išlaidų, kurios vien dėl avarių, kuriose žuvo žmonės, siekia 50 mlrd. EUR per metus, o įskaitant sunkias avarijas – daugiau kaip 100 mlrd. EUR (EC, 2018).

Šiuo metu, neegzistuojantys, neišsamūs ar skirtingi nacionalinės teisės požiūriai vis dar sudaro didelę kliūtį automatinių, o ypač savivaldžių transporto priemonių rinkos vystymuisi. Žvelgiant iš šios perspektyvos, pagrindinis įstatymų leidėjų tikslas turėtų būti atitinkamos reguliacinės sistemos sukūrimas, o įvairių taisyklių harmonizavimas yra bendros ir vidinės Europos rinkos interesas. Siekiant šio tikslo, daugelių ES šalių vyriausybės paskelbė savivaldžio transporto plėtros strategijas.

Olandijoje, Gelderland provincija kartu su Ede ir Wageningen savivaldybėmis bei Wageningen universiteto ir tyrimų centru (WUR) parengė planą, kaip sukurti pilnai automatizuotą transporto priemonių sistemą viešuosiuose keliuose tarp Ede ir Wageningen miestų. 2016 m. pradėti autobusiuko „WEpod“ bandymai. Pirmojo bandymo metu, WEpod paėmė šešis keleivius ir operavo 200 metrų ilgio ruože.



2.1.1 pav. „WEpod” autobusiukas

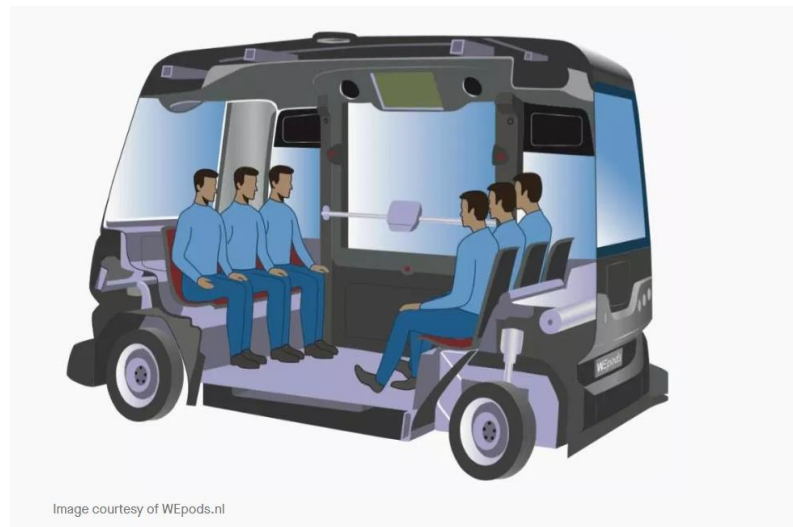
Investicinio stimulo iš Briuselio dėka, Olandijos Gelderland provincija ir toliau išliks eksperimentine laboratorija viešojo transporto WEpods autobusiukų bandymams. Šios transporto priemonės ir toliau bus bandomas tarp Ede ir Wageningen miestų. Be to, ten bus tarpvalstybiniai bandomųjų važiavimų. Tuo tarpu, papildomai, Weeze oro uoste bus atliekami bandymai su keleiviais ir siuntomis. Taip pat, bus testuojamas ir sunkusis transportas judant vilkstine bei yra planuojamas tarpvalstybinis bandymų ruožas su Vokietija. Pagrindinės sritys, į kurias yra orientuojamasi išlieka technologijų ir programinės įrangos plėtojimas, teisės aktų peržiūra bei saugumas. Ryškus šio pilotinio projekto bruožas projekto yra atviras dalijimasis tiek techninėmis žiniomis, tiek patirtimi, susijusia su visuomenės informavimo klausimais.

WEpod autobusiuko charakteristika:

- 6 asmenis talpinanti kabina, automatinė durų ir platformos keltuvo sistema, skirta neįgaliesiems
- Aukštis 275 cm, plotis 199 cm, ilgis 393 cm
- Maksimalus greitis 40 km/h greičiu (bandymų etape WEpod operuoja ne 25 km/h greičiu)
- Elektra varomas variklis, kurio pagalba WEpod automobilis gali įveikti apie 100 kilometrų atstumą
- Skaitmeninė navigacija

Gera navigacija yra labai svarbus įrankis savivaldžiams automobiliams, siekiant savarankiškai, saugiai ir patikimai įveikti nustatytą maršrutą. Tam buvo pagamintas ypatingai detalus maršruto žemėlapis. Be kelio išdėstymą, žemėlapis taip pat vaizduoja visus matomus

objektus (medžius, stulpus ir t.t. Tikslus automobilio maršrutas yra planuojamas žemėlapyje, kur kiekvienoje kelio dalyje yra nustatytas maksimalus greitis. Tokio pobūdžio žemėlapis yra visiškai



2.1.2 pav. Savivaldžio autobusiuko schema

naujove ir buvo sukurtas būtent WEpod projekto metu. Kameros, radariniai ir lazeriniai jutikliai pateikia WEpod precizišką jį supančią aplinką tam, kad automobilis gebėtų atlikti būtinus veiksmus. Įvairūs borto kompiuteriai surenka visus duomenis ir duoda komandas, įskaitant stabdymo ir vairavimo sistemoms. Tokiu būdu, transporto priemonė gali atsakyti į kitų eismo dalyvių staigius maneversus. Tuo tarpu kontroliniame centre esantis operatorius gauna signalą iš anksto nustatytuose taškuose arba kai transporto priemonė sustoja. Tada operatorius nagrinėja situaciją ir, esant būtinybei, nurodo transporto priemonei imtis atitinkamų veiksmų. Važiuojant WEpod, keleiviams yra sudaryta galimybė bet kuriuo momentu kreiptis į kontrolinį centrą (Kurk Lietuvai, 2017).

2.2. Savivaldžių automobilių technologijų reguliavimas Lietuvoje

Nors Lietuva dar nėra įtraukiama į pasirengusiųjų autonominiams automobiliams valstybių reitingus, toks šalies kelių modernizacijos poreikis būtinas. Lietuva yra pasiryžusi diegti inovacijas transporto sektoriuje, viena iš jų – STP technologijos plėtra. Teisinė bazė, apibrėžianti tokių transporto priemonių testavimo sąlygas ir procesą bei jų dalyvavimą viešajame eisme, buvo paruošta dar 2017 metais.

2017 m. pabaigoje Seimas priėmė Saugaus eismo automobilių keliais įstatymo pakeitimus, kuriais apibrėžė sąvoką "savivaldis automobilis" bei nustatė pagrindinius tokių transporto priemonių bandymų ir dalyvavimo viešajame eisme principus.

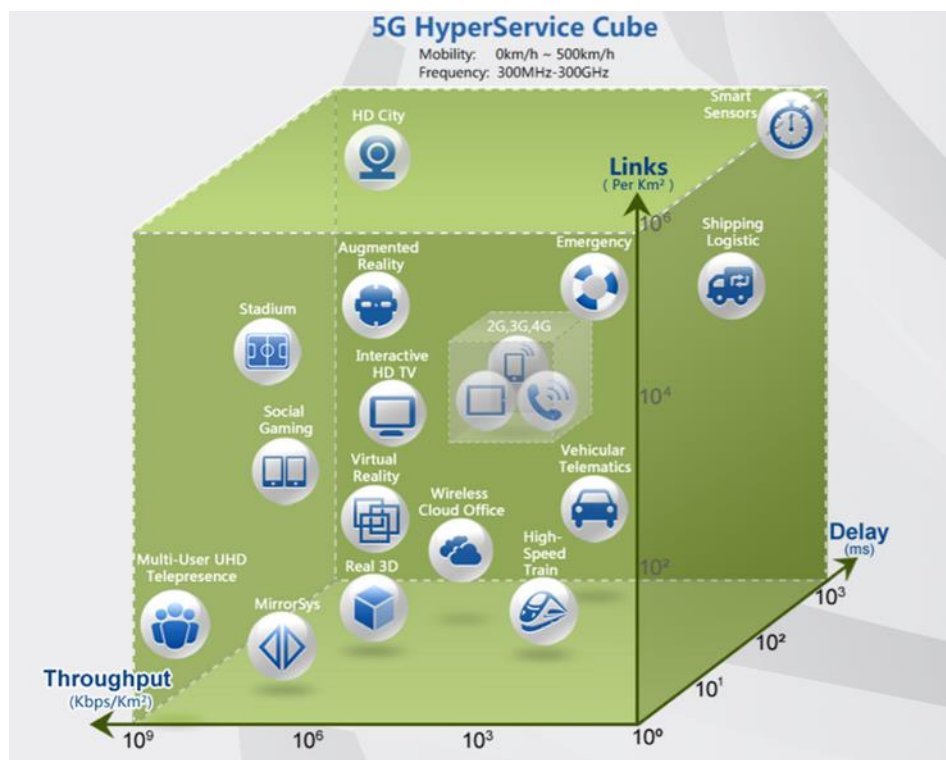
Tais pačiais metais atlikti ir pirmieji bandymai. 2018 sausio 12 d. Susisiekimo ministro įsakymu patvirtintas lankstus savivaldžių automobilių naudojimo reglamentavimas, kuris bus taikomas jų gamintojams, savininkams, valdytojams ir vairuotojams, bandysiantiems savivaldžių automobilių technologijas ir dalyvausiantiems viešajame eisme. Taip tikimasi pritraukti savivaldžių automobilių gamintojų dėmesį ir paskatinti šias novatoriškas transporto priemones bandyti Lietuvos keliuose. Šiuo teisės aktu numatytos tik esminės sąlygos, nes perteklinių reikalavimų nustatymas galėtų turėti neigiamos įtakos savivaldžių automobilių plėtrai Lietuvoje. Svarbu, kad gamintojas užtikrintų, jog pagamintas savivaldis automobilis yra saugus, nekelia grėsmės aplinkiniams ir gali saugiai atlikti bandomuosius važiavimus viešajame eisme (LR Susisiekimo ministerija, 2018).

Susisiekimo ministro patvirtintame savivaldžių automobilių bandymų ir dalyvavimo viešajame eisme sąlygų ir tvarkos apraše nurodoma, kad dalyvaudami viešajame eisme savivaldžiai automobiliai, jų valdytojai ir vairuotojai turi laikytis Saugaus eismo automobilių keliais įstatymo (SEAKĮ) ir Kelių eismo taisyklių nuostatų, taip pat nustatytos kitos sąlygos, kurias privalo atitikti savivaldis automobilis (pvz., turi būti užtikrintas eismo, kibernetinis saugumas, atitiktis techniniams reikalavimams privalo būti suderinta su Lietuvos transporto saugos administracija, važiavimo maršrutas – su kelio (gatvės) savininku).

Be to, savivaldžiuose automobiliuose turi būti įrengta duomenų įrašymo įranga, kuri leistų nustatyti eismo įvykio ir (arba) nusižengimo priežastį ir kaltininką. Įvykus eismo įvykiui ir (arba) nusižengimui, duomenų valdytojai privalės bendradarbiauti su tyrimą vykdančiomis institucijomis ir pagal užklausą pateikti visą būtiną informaciją. Tik išpildžius įsakyme nustatytas sąlygas savivaldis automobilis galės dalyvauti viešajame eisme (LR Susisiekimo ministerija, 2018).

Duomenų mainų tinklas būtų beveik neįmanomas be 5G. Kadangi jis perduoda duomenis efektyviau, 5G gali būti 40 kartų greitesnis nei dabartinis 4G standartas. Šis greitis yra labai svarbus savivaldžiams automobiliams, kur reikia laiku priimti sprendimus, kad būtų išvengta avarių (Huawei, 2019).

Naudojant 5G taip pat bus galima greitai persiųsti vaizdo įrašus, leidžiant vienai transporto priemonei dalintis gyvais vaizdais su daugeliu kitų (Agam Shah, 2019).



2.2.1 pav. Reikalavimai 5G ir galimi scenarijai (Huawei, 2019)

5G ryšio plėtra yra vienas strateginių Europos Sąjungos tikslų (EC, 2015), todėl Lietuva skatina jos rinkoje veikiančius mobiliojo ryšio operatorius kuo greičiau pradėti diegti šią sistemą. Prieš pradėdant plačiai naudoti šį ryšį reikia pašalinti visas potencialias kliūtis bei pasiruošti visiems galimiems iššūkiams sistemai pradėjus veikti. Lietuva tapo viena pirmųjų šalių, pradėjusių intensyviai ruoštis 5G ryšio plėtrai. Susisiekimo ministerijos inicijuota viešojo sektoriaus ir verslo ekspertų grupė iki 2019 metų pabaigos turi parengti 5G ryšio plėtros gaires, apimsiančias įrangos saugumo taisykles, sistemos diegimo sąlygas, 5G ryšio plėtrą pagrindiniuose šalies transporto koridoriuose, investicinės aplinkos kūrimą, turimų tinklų modernizavimą.

Plečiant savivaldžių automobilių eksploatavimui reikiamą infrastruktūrą, Lietuva kartu su kaimyninėmis šalimis kuria pirmąjį Baltijos šalyse 5G koridorių, kuris bus pritaikytas savivaldžių transporto priemonių judėjimui. Dar du tokius koridorius planuojame įgyvendinti didžiausiose ir aktyviausiai naudojamose Lietuvos magistralėse. 2019 metais ketinama parengti 5G ryšio plėtros keliuose žemėlapi. Tikimasi, kad 5G keliuose įgyvendinimas prasidės 2021 metais (LR Susisiekimo ministerija, 2019).

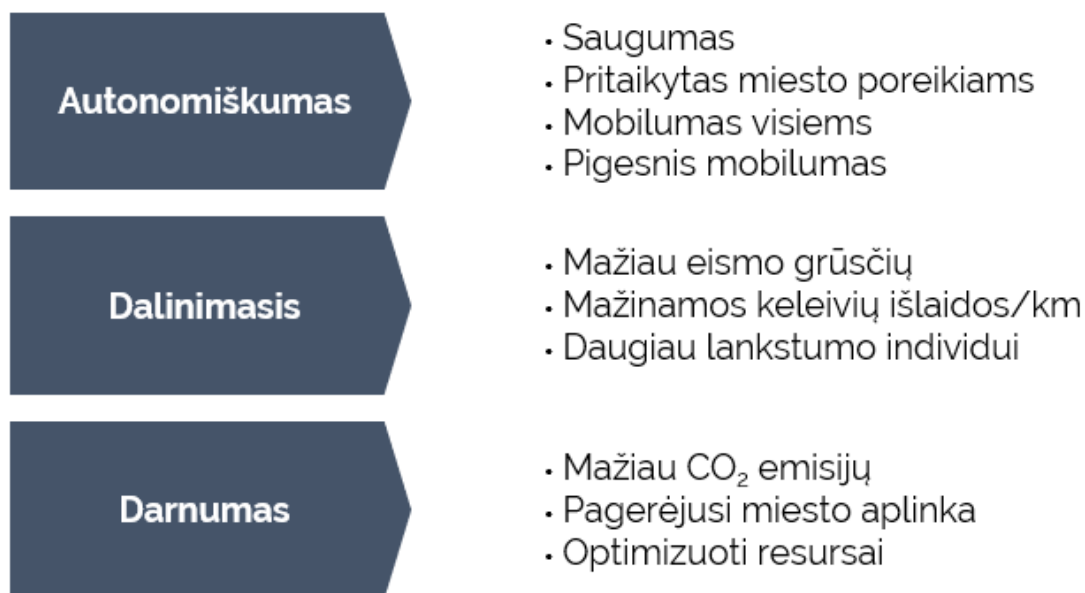
2.3. Savivaldžių automobilių technologijų plėtra Lietuvoje

Vilniuje žuvusiųjų skaičius 1 mln. gyventojų yra dvigubai mažesnis nei Lietuvoje, ir siekia 33. Atlikta Vilniaus miesto įskaitinių eismo įvykių analizė leido nustatyti bendrąsias avaringumo tendencijas bei juodųjų dėmių vietas. Bendroji įskaitinių autoįvykių analizė buvo atliekama jau penkti metai iš eilės, kas leidžia nustatyti taikomų priemonių efektyvumą bei bendrąsias jų tendencijas, lokalizuoti labiausiai avaringus gatvių ruožus ir sankryžas. Vilniaus miesto įskaitinių eismo įvykių statistinius duomenis pateikė Vilniaus apskrities Kelių policijos tarnyba. Įskaitinių eismo įvykių skaičius Vilniuje ženkliai mažėjo nuo 2007 metų. Po to įvyko nedidelis eismo įvykių augimas, kuris paskutiniaisiais metais vėl sumažėjo. Lyginant su Lietuvos rodikliais galima pastebėti, kad situacija Vilniuje yra palankesnė, nors paskutiniųjų metų tendencijos išlieka nepalankios. 2015-2016 metais Vilniuje žuvusiųjų skaičius nepakito, tačiau 5 procentais išaugo įskaitinių eismo įvykių skaičius, 1,6 procento – sužeistųjų skaičius. Įskaitinių eismo įvykių skaičius atskirais metų mėnesiais Vilniuje rodo, kad egzistuoja tiesioginė priklausomybė nuo transporto eismo intensyvumo miesto gatvėse. Didžiausias avaringumas pavasarį ir rudenį, kuomet transporto srautai siekia maksimalias reikšmes, ir mažiausi vasaros metu, kuomet transporto srautai Vilniuje sumažėja iki minimumo dėl studentų ir moksleivių atostogų, o taip pat ir dėl pačių vilniečių atostogavimo už miesto teritorijos ribų. Natūralu, kad yra ir visa eilė kitų svarbių priežasčių, kurios sunkina eismo sąlygas: oro sąlygos, paros laikas, apšvietimas, užstatymo pobūdis, matomumas (VMDJP, 2018).

Įskaitinių eismo įvykių skaičius atskiromis paros valandomis Vilniuje koreliuoja su transporto eismo dinamika: autoįvykių skaičius išauga rytinėmis ir vakarinėmis spūsties valandomis, kuomet transporto srautų greičiai yra mažiausi. Tai reiškia, kad pagrindinės priežastys yra sudėtingos eismo sąlygos su maksimaliu eismo dalyvių skaičiumi. Tuomet yra didžiausi ir viešojo transporto keleivių srautai, kurie pakeliui į/iš stotelės tampa pėsčiaisiais, ir ženkliai įtakoja bendrą situaciją. Pagrindiniai įskaitiniai eismo įvykiai yra tiesiogiai susiję su užvažiavimu ant pėsčiųjų, kurie bendroje įvykių struktūroje sudaro net 44,6 procentus. Reikšmingi eismo įvykiai yra susiję su transporto priemonių susidūrimu (31,2%) ir užvažiavimu ant dviratininkų (3,7%). Daugiausia pėsčiųjų nukenčia gatvėse, kur nėra perėjos. 2016 metas jos sudarė 33,2 procentus nuo visų užvažiavimų ant pėsčiųjų ir nekinta pastaruosius tris metus. Tai lyg ir būtų galima priskirti prie neleistinų ėjimų per gatvę, tačiau iš esmės tai gali būti trūkstamų perėjų reikiamose vietose nebuvimu (VMDJP, 2018).

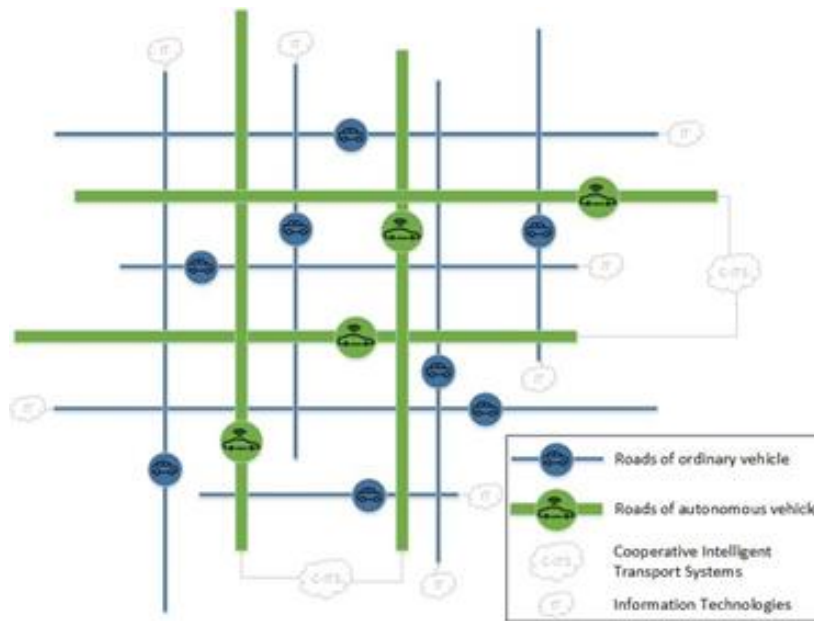
Savivaldis automobilis gali padėti susitvarkyti su šiais iššūkiais. The Bloomberg Aspen Initiative's Global Atlas of Autonomous Vehicles (AVs) teigiama, kad miesto centras yra bandymo aikštelė STP technologijai, nes tikimasi, kad būsimi klientai ten gyvens ir dirbs. Atlas atliko 38 miestų apklausą ir nustatė, kad maždaug pusė apklaustų miestų per pastaruosius 12–36 mėnesius pradėjo rūpintis STP. Taip pat daugiau nei 36 proc. didžiųjų miestų gali įdiegti šią technologiją (Jack Aldane, 2018).

Remdamasi 2017 m. kovo mėn. ES transporto ministrų deklaracija dėl kelių eismo saugumo, EC šiuo metu rengia naują 2020–2030 m. kelių eismo saugumo sistemą kartu su keletu saugesniems keliams užtikrinti skirtų konkrečių priemonių. Jos galėtų apimti Europos transporto priemonių saugos taisyklių ir infrastruktūros saugumo valdymo taisyklių peržiūrą, taip pat saugaus perėjimo prie sąveikiojo, susietojo ir autonominio judumo iniciatyvą (EC, 2018).



2.3.1 pav. STP sprendimai leidžia sujungti 3 modernaus transporto elementus

Tikėtina, kad pirminiuose STP kelių infrastruktūros plėtros etapuose, kai STP aktyviau bus naudojamos susisiekimo sistemose, atsiras problemos sąveikaujant su tradicinėmis transporto priemonės bendrame kelių tinkle. Šių problemų būtų įmanoma išvengti STP skiriant atskiras kelių juostas ar net atskiras miesto dalis skirtas tik STP eismui. Jei to padaryti nėra įmanoma, tokiu atveju C-ITS technologijos turi būti ypatingai gerai išvystytos pagrindinių kelių atkarpose, kur tikėtinas didžiausias STP eismas (3 pav.) (Palevičius et al., 2018).



2.3.2 pav. Principinis C-ITS technologijų plėtros mieste modelis

Kelyje A1 Vilnius–Kaunas buvo įgyvendintas bandomasis projektas, kurio metu sėkmingai atlikti automobilio ir infrastruktūros komunikavimo įrangos (angl. Vehicle to Infrastructure interaction V2I) bandymai. Naudojant V2I įrangą, keičiamasi duomenimis tarp transporto priemonių ir kelių infrastruktūros, panaudojant bevielės ryšio priemones. Pagrindinė informacija siunčiama ir gaunama realiuoju laiku, siekiant padėti visiems kelių naudotojams ir eismo informaciniais centrams priimti sprendimus. Bandymų metu, naudojant V2I įrangą A1 kelyje Vilnius–Kaunas, informacija apie keliuose vykdomus darbus, oro sąlygas, greičio apribojimus realiuoju laiku buvo perduodama į transporto priemones, o iš transporto priemonių gauti daviklių duomenys – į Eismo informacijos centrą. Šios sistemos tikslas – realiuoju laiku, perduodant duomenis bevieliu ryšiu į automobilį, pranešti apie kelyje esančias kliūtis. Taip pat ši sistema gali veikti ir priešingai: įrenginiai keliuose gali būti prijungiami prie elektroninių automobilių sistemų, nuskaitoma jutiklių informacija ir gauti duomenys (pvz., rūko žibintų, priekinio stiklo valytuvų ir avarinės signalai) siunčiami į kelyje esančią įrangą (LAKD, 2018).

Vis labiau besivystant komunikacijos technologijoms, transporto priemonių, vairuotojų ir eismo informacinių centrų apsikeitimas informacija yra būtinybė. Šia technologija siekiama žengti pirmąjį žingsnį savivaldžių transporto priemonių link, sukurti ir išbandyti sistemas, būtinas ateities transporto plėtrai. 2017 m. Vilniuje buvo pirma karta išbandytas savivaldis automobilis - autobusiukas, kuris važinėja jam parengtam maršrute. Tokio tipo 15 vietų

savivaldis elektromobilis gali važiuoti 45 km/val. greičiu, jo 15 kW nominalios galios varikliui energiją tiekia 33 kWh talpos LiFePO₄ tipo akumulatoriai (Navya 2019). Pastarųjų įkrovimas trunka vidutiniškai 8 valandas, tačiau gamintojai tvirtina, kad vienos įkrovos pakanka maždaug 9 valandų darbui. Nuo 2016 metų balandžio 6 „Navya Arma“ autobusiukai naudojami Prancūzijoje esančios Sivo atominės elektrinės teritorijoje. Tų pačių metų liepos mėnesį du automobiliai pradėti naudoti Šveicarijoje, Siono mieste, 2016 m. rugsėjį pradėti eksperimentiniai tokių savivaldžių autobusų reisai Prancūzijoje, Lione (Navya, 2019; Susisiekimo paslaugos, 2017).

2017 metų gegužę bandomieji maršrutai atidaryti Zalcburge, Austrijoje. Tu pačiu metu lapkričio mėnesį tokie autobusai pradėjo važinėti ir JAV miestuose Los Andžele bei Las Vegase. Pastarajame pirmoji savivaldžio automobilio diena paženklinta eismo įvykiu, kai STP susidūrė su staiga į kelią išvažiavusiu sunkvežimiu. Pirmasis bandymas Vilniuje taip pat nevyko sklandžiai: dėl silpno 4G interneto, startas užtruko maždaug 20 minučių, kol STP valdantis kompiuteris nustatė maršruto pradinį tašką. STP pavyzdingai praleisdavo pėsčiuosius, bet sutriko įvažiavęs į judrią Gedimino prospekto ir Jogailos gatvių sankryžą. Jos viduryje jis sustojo ir stovėjo, kol išsiskirstė aplinkiniai automobiliai. Pristatymo metu STP važiavęs Vilniaus meras Remigijus Šimašius tvirtino, kad tokių transporto priemonių atsiradimas Vilniuje yra visai realus, o STP ateitis nebekelia abejonių (Vilnius, 2017; VŽ, 2017).

„Navya“ pažymėjo, kad visi nesklandumai susiję tik su transporto priemonės parengimu konkrečiam darbui, o Vilniaus yra miestas, kuriame galima parinkti savivaldžiam transportui tinkamus maršrutus ir STP galėtų papildyti ir dabar sostinėje veikiančią viešojo transporto sistemą (Vilnius, 2017; VŽ, 2017).

Remiantis užsenio praktika vienas pirmųjų žingsnių STP integravimui yra bandomųjų ruožų įrengimas. Realizuojant vieną reprezentacinį maršrutą kontroliuojamoje mažo intensyvumo Vilniaus zonoje ir paleisti jį kaip pilotinį, Pagrindinis tokio sprendimo tikslas – įgyti STP naudojimo patirtį savivaldybėje (VDJP, 2017)

2.4. Analitinės dalies išvados

- 1) STP yra vienas iš būdų siekiant įgyvendinti bendrą Europos sąjungos transporto politiką: iki 2030 m. sumažinant perpus, o iki 2050 m. išvis nebe eksploatuoti įprastiniu kuru varomų automobilių;
- 2) Atlikta 38 miestų apklausa nustatė, kad maždaug pusė apklaustų miestų per pastaruosius 12–36 mėnesius pradėjo rūpintis STP. Taip pat daugiau nei 36 proc. didžiųjų miestų gali įdiegti šią technologiją;
- 3) Vystant STP plėtrą būtinas suderinamumas tarp kaimyninių šalių bei koordinuotas technologijų taikymas;
- 4) C-ITS technologijos turi būti ypatingai gerai išvystytos pagrindinių kelių atkarpose, kur tikėtinas didžiausias STP eismas;
- 5) Pagrindiniai kriterijai, turintys įtakos STP plėtrai yra: teisinės reguliavimas, C-ITS infrastruktūros plėtra, 5G ryšio standarto plėtra, , bandomųjų ruožų įrengimas;
- 6) STP eliminuos poreikį turėti asmeninius automobilius, gyvenamąsias zonas pavers „žalesnėmis“ ir patrauklesnėmis vystytojams bei gyventojams;
- 7) STP galėtų papildyti sostinėje veikiančią viešojo transporto sistemą.
- 8) Įskaitinių eismo įvykių skaičius atskiromis paros valandomis Vilniuje koreliuoja su transporto eismo dinamika: autoįvykių skaičius išauga rytinėmis ir vakarinėmis spūsties valandomis, kuomet transporto srautų greičiai yra mažiausi. Tai reiškia, kad pagrindinės priežastys yra sudėtingos eismo sąlygos su maksimaliu eismo dalyvių skaičiumi;
- 9) Pagrindiniai įskaitiniai eismo įvykiai Vilniuje yra tiesiogiai susiję su užvažiavimu ant pėsčiųjų, kurie bendroje įvykių struktūroje sudaro net 44,6 procentus. Reikšmingi eismo įvykiai yra susiję su transporto priemonių susidūrimu (31,2%.) ir užvažiavimu ant dviratininkų (3,7%);
- 10) Atlikus STP bandymus, Vilnius turės kur kas geresnes galimybes tapti vienu pirmųjų miestų pasaulyje, kuriame bus pradėti diegti STP sistemas, kardinaliai transformuosiantys šiandieninį transporto suvokimą
- 11) Atlikus STP bandymus Vilniaus mieste, , buvo nustatyta, kad STP eismui didžiausią įtaką turėjo mobiliojo ryšio sparta, eismo intensyvumas ir pėsčiųjų eismas.

3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

Šioje dalyje kuriamas savivaldėms viešojo transporto priemonėms infrastruktūros pritaikymo vertinimo modelis, leidžiantis racionaliai planuoti bei parinkti tinkamiausius savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutus. Jo pritaikymas analizuojamas Vilniaus miesto pagrindu.

3.1. Daugiatikslis vertinimas. Paprastų svorių sudėjimo metodas (SAW)

Variantinis planavimas – šiuo metu vis plačiau taikomas planavimo praktikoje. Tik toks planavimas, kai palyginami ne vienas ar du galimi variantai, o keliolika, leidžia išsirinkti racionaliausius sprendimus. Variantai yra lyginami pagal identifikuotus efektyvumo rodiklius, kurie dažniausiai yra polidimensiniai dydžiai ir savo fizine prasme – dažnai prieštaringi (Jakimavičius, 2008).

Praktikoje žinomi įvairūs daugiatikslinio vertinimo metodai: paprastų svorių sudėjimo, entropijos, idealaus taško ir kiti, kurie leidžia sudaryti variantų prioritetų eilutes. Prioritetų eilutė – tai sprendimų matricos perdirbimų ir skaičiavimų rezultatas, kai objektai išdėstomi tam tikra tvarka (Jakimavičius 2008). Visi metodai skiriasi pagal savo sudėtingumą, tačiau daugiatikslų vertinimo metodų taikymo praktika rodo, kad objektų rangavimas, remiantis skirtingais metodais, dažnai sutampa arba mažai skiriasi (Palevičius 2014). Tipinis, žinomiausias ir dažniausiai naudojamas moksliniuose straipsniuose yra paprastųjų svorių sudėjimo (angl. Simple Additive Weighing, toliau – SAW) metodas (Zavadskas and Kaklauskas, 1996; Palevičius, 2014).

Taikant šį metodą, išeities duomenys yra sprendimų matrica P (sprendimų matrica tik su skaitinėmis reikšmėmis) ir kiekvieno efektyvumo rodiklio reikšmingumai $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$. Sprendžiant šiuo metodu, visų reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui (Jakimavičius, 2008):

$$\sum_{j=1}^n q_j = 1 - \text{būtina sąlyga}; \quad (1)$$

Metodu sprendžiama taip: sudaroma sprendimų priėmimų matrica, toliau ji normalizuojama. Sprendimų priėmimų matricos normalizavimas – matricos perdirbimas, siekiant suvienodinti rodiklių reikšmes arba kitaip pakeisti jų dimensijas, nepakeičiant santykio tarp atskirų rodiklių. Sprendimų priėmimo matricos normalizavimas vyksta norint juos minimizuoti arba maksimizuoti, pagal šias formules (Ginevičius and Podvezko 2001; Ginevičius *et al.* 2006):

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max r_{ij}} \quad - \text{ jei matricos nariai yra maksimizuojami} \quad (2)$$

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\min r_{ij}}{r_{ij}} \quad - \text{ jei norima minimizuoti} \quad (3)$$

Kur r_{ij} – i -ojo rodiklio reikšmė j -ajam objektui.

Normalizuotos matricos, to pačio varianto nariai sudauginami su jo reikšmingumu ir sudedami su kitais taip pat gautais alternatyvos (eilutės) nariais. Tokiu būdu pateikiama matematinė variantų racionalumo išraiška (Ginevičius and Podvezko, 2001; Ginevičius *et al.*, 2006):

$$S_j = \sum_{i=1}^n q_i \bar{r}_{ij} \quad - \text{ matematinė variantų racionalumo išraiška} \quad (4)$$

3.2. SAW skaičiavimo metodo taikymas savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutų nustatymui

SAW metodo taikymas padės sukurti vertinimo modelį infrastruktūros pritaikymo STP. Pagal pasirinktus rodiklius parinkamas tinkamiausias STP viešojo transporto maršrutas.

3.2.1. Vertinimo rodiklių parinkimas

Vertinant miesto infrastruktūrą STP eismui, reikia pažymėti, kad ne visi kelių infrastruktūriniai elementai yra vienodai reikšmingi sklandžiam ir efektyviam STP eismui, todėl pasitelkus ekspertus, pasirinktiems efektyvumo rodikliams nustatomi reikšmingumai (Zavadskas *et al.*, 2010).

Efektyvumo rodiklių reikšmingumai parodys kurie susisiekimo infrastruktūros elementai ir dinaminiai veiksmai turi didelį, mažą ar vienodą poveikį sklandžiam STP eismui. Sudarant vertinimo modelį, ekspertizės būdu buvo sudarytas 8 svarbiausių efektyvumo rodiklių sąrašas (pagal susisiekimo infrastruktūros elementus ir dinامينius veiksmus):

1. Eismo intensyvumas (motorinių ir nemotorinių transporto priemonių skaičius per parą) – leidžia įvertinti transporto spūsčių susidarymo galimybes, kurios neleidžia sklandaus STP eismo;

2. Sankryžų skaičius savivaldžio automobilio maršrute – kliūtys, kurias STP įveikti reikalinga papildoma infrastruktūra ir gerai išvystytos C-ITS;
3. Važiuojamosios kelio dalies plotis – leidžia įvertinti ar kliūčiai esant kelyje bus įmanoma ją įveikti neišvažiuojant į priešingo eismo juostą ir ar įmanoma įrengti atskirą juostą skirtą STP eismui;
4. Traukos objektų skaičius savivaldžio automobilio maršrute –miesto teritorijoje yra daugybė traukos objektų, kurie kasdien pritraukia miesto gyventojus naudotis teikiamomis paslaugomis ar kita specifine infrastruktūra. Tokiose vietose padidėja aptarnaujančio ir kitų transporto priemonių sustojimo skaičius STP maršrute. Tai sukuria papildomos kliūtys, kurias iš anksto numatyti yra beveik neįmanoma;
5. Dviračių takų ilgis važiuojamojoje kelio dalyje (bendrame sraute) – leidžia įvertinti susidūrimo rizikas su vienais pažeidžiami ausiu eismo dalyvių bei numatyti atitinkamo atstumo laikymosi;
6. Savivaldžio automobilio maršruto greitis (neviršinant leistino greičio) – leidžia įvertinti iš taško A į tašką B numatyto maršruto laiką;
7. Mobiliojo ryšio sparta (Mbps) savivaldžio automobilio maršrute – leidžia įvertinti internetinio ryšio sutrikimus, kurių įtaka tiesiogiai veikia STP veikimą;
8. Pėsčiųjų perėjų skaičius – natūralios kliūtys, kurios neprognozuojamai gali sutrikdyti STP eismą ir prieš kurias būtinas ypatingas atidumas.

Vertinimo modelio rezultatų patikimumas priklauso ne tik nuo pasirinkto daugiatikslio vertinimo metodo, bet ir nuo ekspertų, kurie atlieka ekspertinį vertinimą. Siekiant, kad būtų parinkti tinkamiausi ekspertai, jiems buvo keliamas reikalavimas būti praktiškai ir teoriškai susipažinus su STP veikimu, taikoma teisine baze, moksline veikla ar priemonių diegimu.

3.2.2. Vertinimo rodiklių reikšmingumas

Visi 8 identifikuoti rodikliai yra svarbūs. Šie efektyvumo rodikliai buvo pateikti 11 ekspertų, kurių buvo paprašyta suranguoti šiuos efektyvumo rodiklius pagal svarbą. Didžiausią įtaką STP eismui turintis rodiklis ranguojamas aukščiausiai, mažiausią įtaką turintis – žemiausiai. Kiekvienas efektyvumo rodiklis skaičiuojant rangavimo metodu įgauna svertinį koeficientą, kuris parodo jo svarbą vertinant STP maršruto parinkimą. Visų rodiklių svertinių koeficientų suma turi būti lygi vienetui. Identifikuotų rodiklių reikšmingumų vidutinė vertė apskaičiuojamas pagal formulę (Jakimavičius, 2008; Ginevičius ir Podvezko, 2008):

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{k=1}^r t_{jk}}{r}; \quad (5)$$

kur t_{jk} – k eksperto nustatytos j kriterijaus reikšmė; r – ekspertų skaičius.

Kriterijų reikšmingumas nustatomas pagal šią formulę (Jakimavičius, 2008; Ginevičius and Podvezko, 2001; Ginevičius et al., 2006):

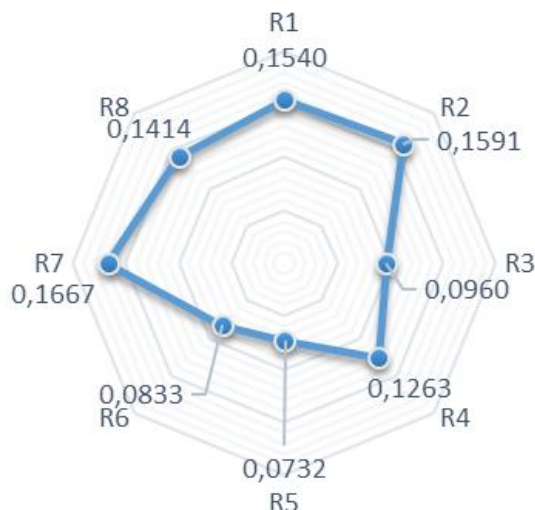
$$q_j = \frac{t_j}{\sum_{j=1}^n \bar{t}_j}; \quad (6)$$

3.2.2.1 lentelė. Kelių infrastruktūros vertinimo modelio efektyvumo rodiklių reikšmingumai

Eil. Nr.	Kriterijus	Rodiklio reikšmingumo vidutinis įvertinimas
1.	Eismo intensyvumas (motorinių ir nemotorinių transporto priemonių skaičius per parą) (R1)	0,1540
2.	Sankryžų skaičius STP maršrute(R2)	0,1591
3.	Važiuojamosios kelio dalies plotis(R3)	0,0960
4.	Traukos objektų skaičius skaičius STP maršrute(R4)	0,1263
5.	Dviračių takų ilgis važiuojamojoje kelio dalyje (bendrame sraute) (R5)	0,0732
6.	STP maršruto greitis (neviršinant leistino greičio) (R6)	0,0833
7.	Mobiliojo ryšio sparta (Mbps) STP maršrute(R7)	0,1667
8.	Pėsčiųjų perėjų skaičius(R8)	0,1414

Gauti rezultatai parodo, jog ekspertų nuomone didžiausią reikšmę vertinant kelių infrastruktūrą turi mobiliojo ryšio sparta ir sankryžų skaičius STP maršrute bei eismo intensyvumas STP maršrute per parą.

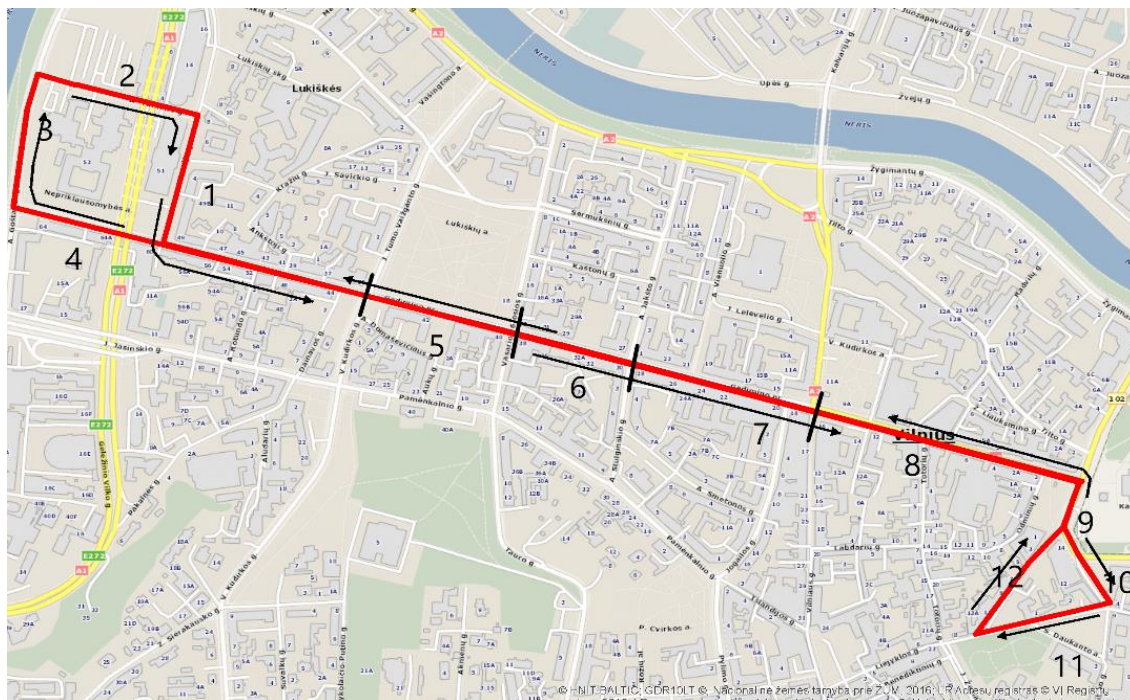
Kelių infrastruktūros vertinimo modelio efektyvumo rodiklių reikšmingumo svoriai pateikiami 3.2.2.1 paveiksle.



3.2.2.1 pav. Kelių infrastruktūros vertinimo modelio efektyvumo rodiklių reikšmingumo kriterijų svoriai.

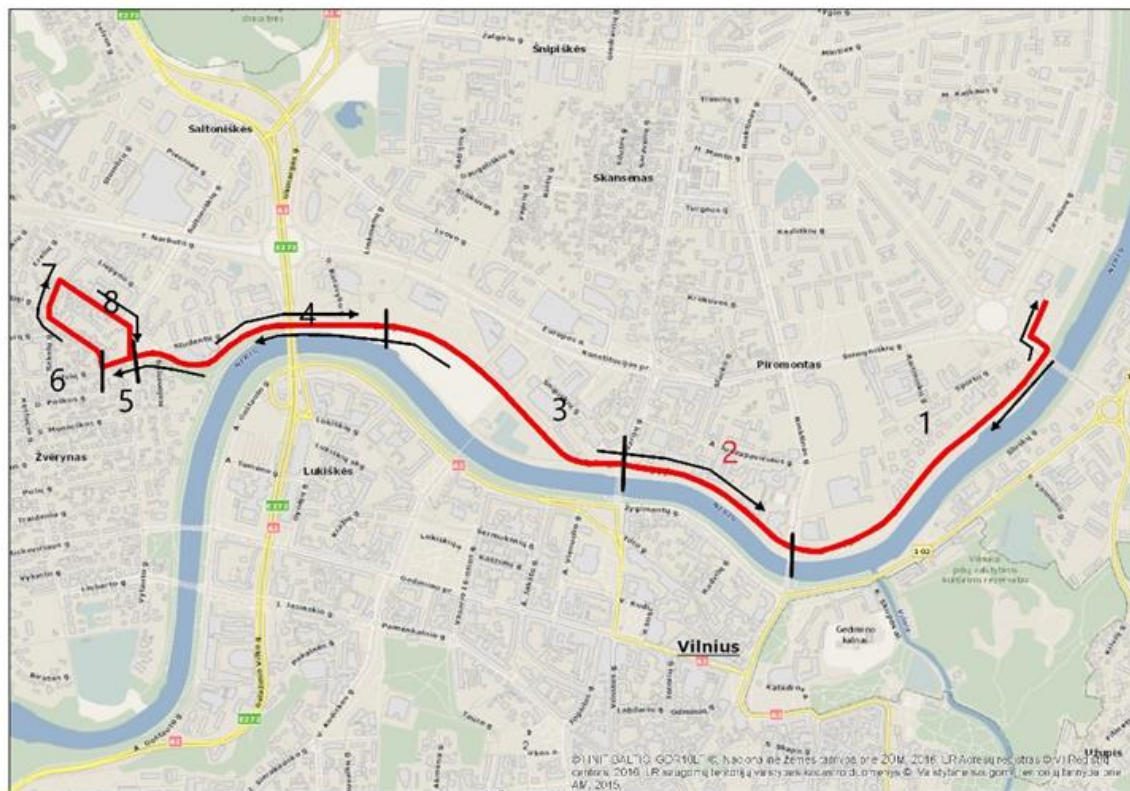
3.2.3. Pradiniai duomenys

Planuojamąją teritoriją pasirenkamas Vilniaus miestas. Analizuojama SĮ „Susisiekimo paslaugos“ rengiamo projekto „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“ iki 2017 m. vasario mėn. parengtos redakcijos schemos „Autobusų maršrutai“. Šiose schemose analizuojami planuojami STP viešojo transporto maršrutai (žr. 3.2.3.1, 3.2.3.2 pav. ir 3.2.3.2 pav.).



3.2.3.1 pav. Maršrutas M1, ištrauka iš „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“

Identifikavus visus kelių infrastruktūros vertinimo modelio efektyvumo rodiklių reikšmingumą lemiančius kriterijus, atliekama esamos būklės analizė: tiriama rodikliai pasirinktoje planuojamoje teritorijoje – sudaromos alternatyvos.



3.2.3.2 pav. Maršrutas M2, ištrauka iš „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“

Šiame darbe yra pateikiami belaidės interneto prieigos duomenų perdavimo spartos kontrolinių matavimų rezultatai, kurie gaunami atliekant matavimus. Matavimai atliekami operatorių UAB „Telia“ judriojo ryšio tinkle maršrutų M1, M2 ir M3 atkarpų viduryje. Išmatuota duomenų gavimo spartos vertė megabitais per sekundę, Mbps.

Matavimai (angl. drive test) atliekami naudojant turimą įrangą, automobilyje, jam judant pasirinktais maršrutais. Įrangą su daro mobilus Android įrenginys su įdiegta matavimų aplikacija G-netTrack Lite. Matavimo metu įrenginys yra nustatytas į automatinį tinklo technologijos pasirinkimo režimą ir automatiškai pasirenka aukščiausią galimą tinklo technologiją. Priklausomai nuo mobiliojo ryšio tinklo ir pasiekiamo signalo stiprio, matavimai gali būti atlikti tiek 4G, tiek 3G, tiek ir 2G tinkluose. Matavimams naudojamos SIM kortelė su viešai platinamais operatorių

duomenų perdavimo planais. Inicijavus matavimą, įranga fiksuoja matavimo pradžios datą ir laiką, vietos koordinatas, priskiria matavimui unikalų numerį ir pradeda duomenų siuntimą iš matavimų tarnybinės stoties. Duomenų siuntimo metu gaunama bei fiksuojama tokia informacija kaip, tinklo technologijos porūšis, signalo lygiai. Ši gauta informacija priskiriama konkrečiam matavimui. Kadangi matavimai yra vykdomi labai dinaminėje aplinkoje, tai net ir to paties matavimo metu gali pakisti aukščiau minėti parametrai, kurie bus fiksuojami sekančio matavimo metu. Duomenų perdavimo įrenginys veikia naudodami savo vidinę radijo ryšio anteną ir GPS imtuvą. Duomenų gavimo sparta kilobitais per sekundę (kbps), signalų lygiai bei kita tinklo informacija kaupiama mobiliajame įrenginyje pildant matavimo įrašų tekstinius failus. Naudojama ryšio įranga – SONY Xperia XZ2.



3.2.3.3 pav. Maršrutas M3, ištrauka iš „Vilniaus miesto savivaldžio autobuso trasų analizė ir pasiūlymai“

Eismo intensyvumas maršrutų atkarpose nustatytas naudojant SĮ „Susisiekimo paslaugos“ sankryžų stebėsenos sistemos informaciją ir Vilniaus miesto Bendrojo plano transporto srautų

kartogramą. Kitų rodiklių reikšmės buvo nustatytos atliekant natūrinį tyrimą. Visų rodiklių reikšmės surašomos į pradinių duomenų lentelę (žr. 3.2.3.1):

3.2.3.1 lentelė. Maršruto M1, M2 ir M3 pradinių duomenų lentelė

Gatvės ID	Gatvės pavadinimas	Gatvės dalies ilgis(km)	Eismo intensyvumas (motorinių transporto priemonių skaičius per parą) (tr./p.)	Sankryžų skaičius STP maršrute(vnt.)	Važiuojamosios kelio dalies plotis(m.)	Traukos objektų skaičius STP maršrute (vnt.)	Dviračių takų ilgis važiuojamojoje kelio dalyje (bendrame sraute, m.)	STP maršruto greitis (neviršinant leistino greičio, km/val.)	Mobiliojo ryšio sparta (Mbps) STP maršrute	Pėsčiųjų perėjų skaičius (vnt.)
M1_01	Ginėjų g.	0,21	2250	1	6	5	1	40	42,3	1
M1_02	A. Tumėno g.	0,26	1860	1	8	2	1	50	42,3	1
M1_03	Goštauto g.	0,22	7890	1	14	-	1	30	42,3	-
M1_04	Gedimino pr.	0,547	2783	1	8,5	13	547	40	45,67	3
M1_05	Gedimino pr.	0,237	3599	4	8,5	2	237	40	42,67	1
M1_06	Gedimino pr.	0,209	3245	1	8,5	8	209	40	36,56	2
M1_07	Gedimino pr.	0,306	2792	2	8,5	17	306	30	54,52	2
M1_08	Gedimino pr.	0,447	2408	7	8,5	31	447	30	81,3	1
M1_09	Šventaragio g.	0,14	16676	1	14	-	1	50	81,4	1
M1_10	Universiteto g.	0,1	1253	2	7	4	1	30	105,7	2
M1_11	Liejyklos g.	0,22	1860	2	7	3	1	30	105,7	1
M1_12	I.Stokos-Gucevičiaus g.	0,28	2389	1	6	5	1	30	105,7	1

KELIŲ INFRASTRUKTŪROS PRITAIKYMO SAVIVALDŽIAMS AUTOMOBILIAMS VERTINIMAS

M2_01	Olimpiečių g.	1,04	4302	5	7	-	-	50	33,4	2
M2_02	Žuvėjų g.	0,62	5806	1	6,5	-	-	50	39,1	4
M2_03	Upės g.	1,11	8659	4	6,5	1	-	40	42	3
M2_04	Upės g.	0,72	6122	3	6,5	-	-	40	46,63	6
M2_05	Latvių g.	0,089	1200	1	7	2	-	40	27,6	1
M2_06	Lenktoji g.	0,25	458	1	6	-	-	50	25,1	-
M2_07	Sakalų g.	0,119	389	1	6	-	-	40	25,1	-
M2_08	Sielių g.	0,269	340	1	6	1	-	50	25,1	1
M2_09	Saltoniškių g.	0,092	6700	1	7	-	-	50	27,8	2
M3_1	B.Radvilaitės g./Maironio g.	0,565	23500	3	8	7	-	30	63,2	5
M3_2	Maironio g./Užupio g.	0,4	6300	2	5	10	-	30	42,5	3
M3_3	Užupio g.	0,32	8950	3	7	9	-	30	38	4
M3_4	Malūnų g.	0,23	2500	1	5	1	-	30	35	1

3.2.4. Sprendimų priėmimo matricos sudarymas ir jos normalizavimas

Sudarius sprendimų matricą su kiekvieno efektyvumo rodiklio reikšmingumais, ji normalizuojama. Tai daroma remiantis (2) ir (3) formulėmis. Duomenys surašomi į normalizuotos sprendimų priėmimo matricą (žr. 3.2.4.1 lentelę).

3.2.4.1 lentelė. Maršrutų M1, M2, M3 normalizuota sprendimų priėmimo matrica

Gatvės ID	Gatvės pavadinimas	Gatvės dalies ilgis(km)	Eismo intensyvumas (motorinių transporto priemonių skaičius per parą) (tr./p.)	Sankryžų skaičius STP maršrute(vnt.)	Važiuojamosios kelio dalies plotis(m.)	Traukos objektų skaičius STP maršrute (vnt.)	Dviraičių takų ilgis važiuojamojoje kelio dalyje (bendrame sraute, m.)	STP maršruto greitis (neviršinant leistino greičio, km/val.)	Mobiliojo ryšio sparta (Mbps) STP maršrute	Pėsčiųjų perėjų skaičius (vnt.)
M1_01	Ginėjų g.	0,21	0,0204	1,0000	0,4286	0,100	1,0000	0,8	0,4002	0,5000
M1_02	A. Tumėno g.	0,26	0,0247	1,0000	0,5714	0,250	1,0000	1	0,4002	0,5000
M1_03	Goštauto g.	0,22	0,0058	1,0000	1,0000	1,000	1,0000	0,6	0,4002	1,0000
M1_04	Gedimino pr.	0,547	0,0165	1,0000	0,6071	0,038	0,0018	0,8	0,4321	0,1667
M1_05	Gedimino pr.	0,237	0,0128	0,2500	0,6071	0,250	0,0042	0,8	0,4037	0,5000
M1_06	Gedimino pr.	0,209	0,0142	1,0000	0,6071	0,063	0,0048	0,8	0,3459	0,2500
M1_07	Gedimino pr.	0,306	0,0165	0,5000	0,6071	0,029	0,0033	0,6	0,5158	0,2500
M1_08	Gedimino pr.	0,447	0,0191	0,1429	0,6071	0,016	0,0022	0,6	0,7692	0,5000
M1_09	Šventaragio g.	0,14	0,0028	1,0000	1,0000	1,000	1,0000	1	0,7701	0,5000
M1_10	Universiteto g.	0,1	0,0367	0,5000	0,5000	0,125	1,0000	0,6	1,0000	0,2500
M1_11	Liejyklos g.	0,22	0,0247	0,5000	0,5000	0,167	1,0000	0,6	1,0000	0,5000
M1_12	L.Stokos-Gucevičiaus g.	0,28	0,0193	1,0000	0,4286	0,100	1,0000	0,6	1,0000	0,5000
M2_01	Olimpiečių g.	1,04	0,0107	0,2000	0,5000	1,000	1,0000	1	0,3160	0,2500
M2_02	Žuvėjų g.	0,62	0,0079	1,0000	0,4643	1,000	1,0000	1	0,3699	0,1250
M2_03	Upės g.	1,11	0,0053	0,2500	0,4643	0,500	1,0000	0,8	0,3974	0,1667
M2_04	Upės g.	0,72	0,0075	0,3333	0,4643	1,000	1,0000	0,8	0,4412	0,0833
M2_05	Latvių g.	0,089	0,0383	1,0000	0,5000	0,250	1,0000	0,8	0,2611	0,5000
M2_06	Lenktoji g.	0,25	0,1004	1,0000	0,4286	1,000	1,0000	1	0,2375	1,0000
M2_07	Sakalų g.	0,119	0,1183	1,0000	0,4286	1,000	1,0000	0,8	0,2375	1,0000
M2_08	Sielių g.	0,269	0,1353	1,0000	0,4286	0,500	1,0000	1	0,2375	0,5000
M2_09	Saltoniškių g.	0,092	0,0069	1,0000	0,5000	1,000	1,0000	1	0,2630	0,2500
M3_1	B.Radvilaitės g./Maironio g.	0,565	0,020	0,333	0,5714	0,071	1,0000	0,6	0,5979	0,1

KELIŲ INFRASTRUKTŪROS PRITAIKYMO SAVIVALDŽIAMS AUTOMOBILIAMS VERTINIMAS

M3_2	Maironio g./Užupio g.	0,4	0,0073	0,5	0,3571	0,050	1,000	0,6	0,4021	0,1667
M3_3	Užupio g.	0,32	0,0051	0,333	0,5000	0,056	1,000	0,6	0,3595	0,1250
M3-4	Malūnų g.	0,23	0,0184	1,000	0,3571	0,500	1,000	0,6	0,311	0,5000
Rodiklių reikšmingumas:			0,154	0,1591	0,096	0,1263	0,0732	0,0833	0,1667	0,1414
Funkcija:			min	min	max	min	min	max	max	min

3.2.5. Alternatyvų skaičiavimas ir prioritentinė eilutė

Turint normalizuotą matricą pagal (4) formulę apskaičiuojamos matematinės variantų racionalumo išraiškos. Nustatant varianto racionalumą, atitinkamai normalizuotos matricos nariai dauginami iš jų reikšmingumų ir sumuojami.

Apskaičiavus visas alternatyvas gaunama prioritėtų eilutė, kurioje eilės tvarka, pagal racionaliausias reikšmes, išdėstomos alternatyvos (žr. 3.2.5.1, 3.2.5.2 ir 3.2.5.3 lentelės).

3.2.5.1 lentelė. Planuojamo STP maršruto M1 prioritetinės eilutės racionaliausias variantas:

Maršrutas Nr. 1			
Eilės Nr.	Atkarpos ID	Gatvės pavadinimas	Racionalumas
1	M1_01	Ganouj g.	0,4933
2	M1_02	A. Tumėno g.	0,5433
3	M1_03	Goštauto g.	0,7136
4	M1_04	Gedimino pr.	0,3872
5	M1_05	Gedimino pr.	0,3365
6	M1_06	Gedimino pr.	0,3875
7	M1_07	Gedimino pr.	0,3156
8	M1_08	Gedimino pr.	0,3351
9	M1_09	Šventaragio g.	0,7374
10	M1_10	Universiteto g.	0,4742
11	M1_11	Liejklos g.	0,5130
12	M1_12	L.Stokos-Gucevičiaus g.	0,5764
M1 maršruto reikšmingumas			0,4844

3.2.5.2 lentelė. Planuojamo STP maršruto prioritetinės eilutės racionaliausias variantas:

Maršrutas Nr. 2			
Eilės Nr.	Atkarpos ID	Gatvės pavadinimas	Racionalumas
1	M2_01	Olimpiečių g.	0,4523
2	M2_02	Žuvėjų g.	0,5670
3	M2_03	Upės g.	0,0378
4	M2_04	Upės g.	0,4502
5	M2_05	Latvių g.	0,4986
6	M2_06	Lenktoji g.	0,6795
7	M2_07	Sakalų g.	0,6656
8	M2_08	Sielių g.	0,5510
9	M2_09	Saltoniškių g.	0,5702
M2 maršruto reikšmingumas			0,5347

3.2.5.3 lentelė. Planuojamo STP maršruto prioritetinės eilutės racionaliausias variantas:

Maršrutas Nr. 3			
Eilės Nr.	Atkarpos ID	Gatvės pavadinimas	Racionalumas
1	M301	B.Radvilaitės g./Maironio g.	0,3542
2	M3_02	Maironio g./Užupio g.	0,0,3350
3	M3_03	Užupio g.	0,3096
4	M3_04	Malūnų g.	0,0,5084
M2 maršruto reikšmingumas			0,3768

Gauta prioritetų aritmetinio vidurkio eilutė parodo, kuris viešojo transporto maršrutas, skaičiuojant SAW metodu, yra labiausiai tinkamas STP pritaikymui.

3.3. STP viešojo transporto maršrutų plėtros pasiūlymas

Eksperimentinėje dalyje nagrinėjamos SI „Susisiekimo paslaugos” rengiamame projekte planuojami STP viešojo transporto maršrutai. Maršrutų prioritetinė eilutė nustatoma SAW metodu.

Tradicinei automobilių pramonei keičiantis ir vis didesnę rinkos dalį užleidžiant STP, miestų susisiekimo sistemos turi tapti pritaikytos STP. Tikimasi, kad per artimiausius 10–15 metų STP išstums tradicinę automobilių pramonę Europos Sąjungos keliuose. Tai leistų pasiekti geresnių eismo saugumo rodiklių, sumažinti spūstis ir oro taršą miestuose, o kelių infrastruktūros plėtrai reiktų vis mažiau investicijų.

Nagrinėjamas kelių infrastruktūros pritaikymo STP eismui vertinimo modelis, pirminiuose plėtros etapuose leistų STP integruoti į bendrą susisiekimo sistemą neskiriant daug investicijų, o maršrutams pritaikant esamą infrastruktūrą. Vėlesniuose etapuose, išnaudojus visas esamas galimybes ir ženkliai padidėjus STP eisme, atsirastų poreikis investicijoms į sąveikiąsias intelektines transporto sistemas, be kurių sklandus ir efektyvus STP eismas nėra įmanomas.

Siekiant efektyviai integruoti STP į susisiekimo sistemas, rekomenduojama potencialias STP maršrutų alternatyvas vertinti taikant SAW metodą, ir taip pat naudoti darbe pasiūlytus efektyvumo rodiklius bei jų reikšmingumus.

Atsižvelgiant į darbe aprašyto ekspertinio vertinimo rezultatus ir gautus efektyvumo rodiklių reikšmingumus, matoma, kad didžiausią reikšmingumą turi mobiliojo ryšio sparta (Mbps) STP maršrute (0,1667). Ekspertų nuomone šis efektyvumo rodiklis yra svarbiausias todėl, kad be greito ir kokybiško mobiliojo ryšio sutriktų visas STP veikimas. Žinoma, STP funkcionuotų, net jei ir mobiliojo ryšio sparta būtų labai maža, tačiau tokiu atveju galėtų kilti nenumatyti trikdžiai, kurie nutrauktų sklandų STP eismą maršrute. Kiti du panašų reikšmingumą turintys efektyvumo rodikliai yra sankryžų skaičius STP maršrute (0,1591) ir eismo intensyvumas (motorinių transporto priemonių per parą) (0,1540). Šie efektyvumo rodikliai yra svarbūs tuo, kad jie apibūdina svarbiausias kliūtis, kurios turi didelę įtaką STP eismui. Sankryžos yra transporto priemonių srautų susikirtimo vietos, kurias norint įveikti STP reikia įvertinti daug dinaminių kintamųjų, todėl tai gali sukelti didelių sklandaus eismo sutrikimų. Atitinkamai panašų poveikį turi ir didelis eismo intensyvumas, o tiksliau STP maršrute esančios transporto priemonės. Kuo šis skaičius didesnis, tuo kyla didesnė rizika, kad STP eismas bus sutrikdytas kitai transporto priemonei atliekant manevrą, pvz., persirikiuojant, lenkiant, staigiai stabdant ar nesilaikant saugaus atstumo. Mažiausią

reikšmingumą turi dviračių takų ilgis važiuojamojoje kelio dalyje (bendrame sraute) (0,0732) efektyvumo rodiklis. Tai galima paaiškinti tuo, kad dviračių takas ar dviračių juosta esanti važiuojamojoje dalyje yra aiškiai apibrėžtas dydis, kuriame eismas vyksta tik bemotorėmis transporto priemonėmis, o tokiu atveju šioms transporto priemonėms retai susidaro kliūtys ar konfliktinės situacijos su motorinėmis transporto priemonėmis, todėl joms nedažnai tenka išvažiuoti į motorinių transporto priemonių eismui skirtas juostas, tuo pačiu sudarant kliūtį STP.

Atlikus skaičiavimus SAW metodu, prioritetų aritmetinio vidurkio eilutė parodė, kad viešojo transporto maršrutas M2(0,5347) yra labiau tinkamas STP eismui, nei maršrutas M1(0,4834) ir M3(0,3768).

3.4. Eksperimentinės dalies išvados

- 1) Infrastruktūros plėtros modeliams, pagal pasirinktus kriterijus, įvertinti dažnai naudojamas daugiatikslis vertinimas. Žinomiausias ir dažniausiai naudojamas yra paprastųjų svorių sudėjimo metodas (SAW);
- 2) Atlikus ekspertų apklausą, buvo nustatyta, kad STP eismui didžiausią įtaką turi mobiliojo ryšio sparta, eismo intensyvumas ir sankryžų skaičius maršrute;
- 3) Kelių infrastruktūros pritaikymo STP eismui daugiatiksliu vertinimu gauta prioritėtinė eilutė parodo, kad didžiausią potencialą turi maršrutas M2, kuriame yra mažesnis eismo intensyvumas, mažesnis skaičius pėsčiųjų perėjų ir sankryžų.
- 4) Nors M1 maršrute yra žymiai geresnė mobiliojo ryšio sparta (max.-105,7Mbps), kiti kriterijai yra ne mažiau svarbus pasirinkant maršrutą;
- 5) Maršrutas M3, kuriame yra intensyvus eismas, daug traukos objektų, gatvės siauros, yra mažiausiai tinkamas STP eismui.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

- 1) Magistriniame darbe išanalizuota geriausia užsienio šalių bei Lietuvos praktika, vykdant STP plėtrą, nustatyti plėtrai didžiausią įtaką STP eismui turintys kriterijai, pritaikytas daugiatis vertinimo metodas ir sukurtas savivaldėms viešojo transporto priemonėms infrastruktūros pritaikymo modelis, leidžiantis racionaliai planuoti tinkamiausius savivaldžių viešojo transporto priemonių maršrutus;
- 2) Didelį postūmį STP plėtrai Lietuvoje turėtų didesnė savivaldybės institucijų bei verslo įmonių iniciatyva jas eksploatuoti. Savivaldybės ir jų įmonės yra tinkamos STP plėtrai, panaudojant STP organizuojant viešąsias susisiekimo paslaugas;
- 3) Atlikus ekspertų apklausą, nustatyta, kad pagrindiniai kriterijai, turintys įtakos STP eismui yra: eismo intensyvumas (0,1540), sankryžų skaičius (0,1591), traukos objektai (0,1263), dviračių takų ilgis važiuojamojoje kelio dalyje (0,0732), važiuojamosios kelio dalies plotis (0,0960), STP maršruto greitis (0,0833), mobiliojo ryšio sparta (0,1667), pėsčiųjų perėjų skaičius (0,1414);
- 4) Vadovaujantis atlikto daugiatislio infrastruktūros vertinimo rezultatais, siūloma savivaldžio viešojo transporto maršrutui pasirinkti antrą alternatyvą, M2 maršrutą;
- 5) Dėl didelių infrastruktūros STP eismui pritaikymo kaštų ir tai, kad artimiausiu laiku savivaldžiai automobiliai netaps plačiai naudojama transporto priemone ir keliuose vis dar dominuos „tradiciniai“ automobiliai, rekomenduojama naudoti daugiatislį vertinimo metodą, planuojant STP maršrutus;
- 6) Eksperimentinėje dalyje atlikta kelių infrastruktūros pritaikymo savivaldėms viešojo transporto priemonėms analizė gali būti geru pagrindu Vilniuje plėtoti STP panaudojimą viešojo transporto maršrutuose, o ateityje šią analizę pritaikyti ir kituose Lietuvos miestuose. Šio magistrinio darbo pagrindu ateityje galėtų būti atliekami tęstiniai tyrimai siekiant nustatyti tinkamiausią maršrutą savivaldžiam viešajam transportui.

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility (COM). 2016. Internetinė prieiga:

<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/COM-2016-766-F1-EN-MAIN.PDF>.

Aldane, J. 2018. What impact will autonomous vehicles have on cities? Internetinė prieiga:

<https://cities-today.com/four-possible-futures-for-autonomous-vehicles-in-cities/>

Barysienė, J.; Speičytė, E. 2009. Darnaus transporto sistemos plėtojimo Lietuvoje analizė.

Science - Future of Lithuania. Vol. 1, No. 6. Internetinė prieiga:

http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mla.vgtu.lt%2Findex.php%2Fmla%2Farticle%2Fdownload%2Fmla.2009.6.16%2Fpdf&ei=IktfVcPeH8ScsAH9voKgBQ&usq=AFQjCNG8wRml1d_6ihdxmJnwNRZvpTvOVQ&sig2=ZTZ8WUIMf_dhHmG0TpnRaQ&bvm=bv.93990622,d.bGg

Billington, J. V2X technology installed in Norwegian tunnel. 2019. Internetinė prieiga:

<https://www.autonomousvehicleinternational.com/news/testing/v2x-technology-installed-in-norwegian-tunnel.html>

Berger, R. 2014. Autonomous driving. Think: Act. Internetinė prieiga:

<https://www.rolandberger.com/en/Publications/Autonomous-driving.html>

EC. 2015. 5G PPP. Internetinė prieiga:

<https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>

EC. 2016. C-ITS platform final report january. Internetinė prieiga:

<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/doc/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>

EC. 2017. Vallete deklaracija. Internetinė prieiga:

<http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9994-2017-INIT/lt/pdf VALLETO DEKLAEACIJA>

EP. 2019. Europa raginama sparčiau kurti savaeigi transportą. Internetinė prieiga:

<http://www.europarl.europa.eu/news/lt/press-room/20190109IPR23013/europa-raginama-sparciau-kurti-savaeigi-transporta>

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008. Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas. *Business: Theory and Practice*. 9(1), p. 73–80 Internetinė prieiga: <http://dspace.vgtu.lt/handle/1/299>

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008. Daugiakriterinio vertinimo taikymo galimybės kiekybiniam socialinių reiškinių vertinimui. *Business: Theory and Practice*. 9(2), p. 81–87. Internetinė prieiga: <http://www.btp.vgtu.lt/index.php/btp/article/viewFile/46/pdf>

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2010. Assessing the financial state of construction enterprises. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas*. 12:3, p. 188-194. Internetinė prieiga: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13928619.2006.9637740>

Huawei. 2018. 5g vision. Internetinė prieiga:

https://www.google.lt/search?q=huawei+5g+vision&rlz=1C1GCEU_enLT820LT821&oq=huawei+5g+vis&aqs=chrome.1.69i57j0.36150j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Infrastructure Partnerships Australia (IPA). 2017. Automated vehicles – do we know which road to take? Internetinė prieiga:

<http://infrastructure.org.au/wp-content/uploads/2017/09/AV-paper-FINAL.pdf>

Jakimavičius, M. 2008. Multi-criteria assessment of urban areas transport systems development according to sustainability. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika 2008. 135 p. Internetinė prieiga:

<https://vb.vgtu.lt/object/elaba:1737844/1737844.pdf>

Jokūžis, L. 2015. Elektromobilių technologijos ir ateitis. *Lietuvos elektromobilių asociacija*.

<http://www.hamilton.ie/smarttransport/publications/16thYaleWorkshopJune2013.pdf>

Kurk Lietuvai. 2017. Savivaldžių transporto priemonių eksploatavimas Lietuvos keliuose atsižvelgiant į investuotojo ir vartotojo poreikius. Internetinė prieiga:

<http://kurklt.lt/wp-content/uploads/2017/08/Savivaldziu-strategija-ir-veiskmu-planas-L-Ginkute-ir-M-Siavris.pdf>

LI, Yicheng, et al. 2018. Integration of vision and topological self-localization for intelligent vehicles. *Mechatronics*, 2018, 51: 46-58

LR Seimas. 2017. Internetinė prieiga:

<https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAP/87123380fe4e11e6ae41f2dbc54c44ce?positionInSearchResults=2&searchModel>

LAKD. 2018. Automagistraleje atlikti savivaldžių automobilių komunikavimo sistemos bandymai. Internetinė prieiga:

<https://lakd.lrv.lt/lt/naujienos/automagistraleje-atlikti-savivaldziu-automobiliu-komunikavimo-sistemos-bandymai>

LR Susisiekimo ministerija. 2014. Elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros koncepcija. *Lietuvos Respublikos teisės aktų projektai*. Internetinė prieiga:

http://www.lrs.lt/pls/proj/dokpaieska.showdoc_l?p_id=256419&p_org=

Navya. 2019. Autonomus shuttle. Internetinė prieiga: <https://navya.tech/en/autonom-shuttle/>

Palevičius, V. 2014. Lengvųjų automobilių stovėjimo aikštelių mieste vertinimas daugiataksliais metodais. *Daktaro disertacija*. Vilnius: Technika 2014. Internetinė prieiga:

<http://dspace.vgtu.lt/handle/1/1781>

Palevičius, V.; Zapolskytė, S.; Damidavičius, J. 2018. Alternative travel planning by autonomous vehicles. International Scientific and Technical conference “Highways: Safety and Reliability”, 22-23 November, 2018, Minsk, Belarus.

Roger C. 2018. Lanctot, uture Networked Cars: Saving millions of lives, wirelessly. Internetinė prieiga: <https://news.itu.int/future-networked-cars-saving-millions-of-lives-wirelessly/>

SAE. 2019. Automated vehicles not an if but a when. Internetinė prieiga:

<https://www.sae.org/news/2019/05/automated-vehicles-not-an-if-but-a-when>

Sathaye, N.; Kelley, S. 2013. An approach for the optimal planning of electric vehicle infrastructure for highway corridors. *Transport research*. Part E 59, p. 15–33. Internetinė prieiga:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554513001439>

Sierzchula, W.; Bakker, S.; Maat, K.; Wee, B. 2014. The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*. Vol. 68, p. 183–194.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514000822>

Shah, A. (2019). 5G Unleashes the Future. *Mechanical Engineering Magazine Select Articles*, 141(02), 34-39.

Verslo žinios. 2017. Vilniuje vazinejo pirmasis savavaldis automobilis.

<https://www.vz.lt/transportas-logistika/2017/11/15/vilniuje-vazinejo-pirmasis-savavaldis-automobilis#ixzz5n5KrfMcG>

Vilniaus, 2018 m. Transporto srutai.

https://vilnius.lt/wp-content/uploads/2018/03/17_Vilniaus_m_BP_EB_Susisiekimas_Transporto_srutai.pdf

Vilnius, 2017. Vilniuje išbandytas pirmasis Lietuvoje savaeigis automobilis.

<https://vilnius.lt/lt/2017/11/15/vilniuje-isbandytas-pirmasis-lietuvoje-savaeigis-automobilis/>

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. Pastatų sistemotechninis įvertinimas. Vilnius: Technika. 275 p.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Ustinovičius, L.; Sevcenko, G. 2010. Attributes weights determining peculiarities in multiple attribute decision making methods. *Engineering Economics* 21(1): 32–43.

Zorskaitė, G. 2012. Elektromobilių pakrovimo sistemos galimybių analizė Lietuvoje. *Magistrinis baigiamasis darbas*. Vilnius. http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2012~D_20130110_143340-72663/DS.005.0.03.ETD

