



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektrinės pavaros panaudojimo miesto autobusuose tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Lukas Barškietis
Projekto autorius

Doc. dr. Rolandas Makaras
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektrinės pavaros panaudojimo miesto autobusuose tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Lukas Barškietis
Projekto autorius

Doc. dr. Rolandas Makaras
Vadovas

Prof. dr. Artūras Keršys
Recenzentas

Kaunas, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui(-ei)

1. Baigiamojo projekto tema

Elektrinės pavaros panaudojimo miesto autobusuose tyrimas

Research of electric powertrain use in city buses

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas: Ištirti elektrines pavaros panaudojimo galimybes miesto tipo autobusuose.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti naudojamą elektrines pavaras, elektros energijos kaupimo įrenginius, elektriniu transporto priemonių įkrovimo būdus, bei apžvelgti kitų šalių pavyzdžius, integruojant elektrines transporto priemones viešajame miesto transporte.

2. Išanalizuoti miesto viešojo transporto maršrutus, atsižvelgiant į elektrinės pavaros efektyviausią panaudojimą ir parinkti tinkamiausią maršrutą.

3. Atlikti pasirinkto maršruto tyrimą, įvertinanti energijos kiekį, reikalingą įveikti šį maršrutą.

4. Palyginti autobuso, važiuojančio pasirinktu maršrutu, eksploatacines išlaidas degalams su elektrinio autobuso alternatyva.

5. Remiantis gautais rezultatais, pateikti pasiūlymą nagrinėjamam autobusų maršrutui.

3. Pradiniai Projekto duomenys

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

Įvadas

Elektros pavarų apžvalga

Pasirinkto maršruto tyrimas

Tradicinio ir elektrinio autobuso degalų sąnaudų palyginimas

Išvados

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis

7. Projekto konsultantai

Magistrantas: Lukas Barškietis.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas: Rolandas Makaras.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas: Janina Jablonskytė.....
(vardas, pavardė, parašas, data)



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Lukas Barškietis

Elektrinės pavaros panaudojimo miesto autobusuose tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Luko Barškietis, baigiamasis projektas tema „Elektrinės pavaros panaudojimo miesto autobusuose tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Turinys

Paveikslų sąrašas	7
Lentelių sąrašas	8
ĮVADAS.....	11
1 LITERATŪROS APŽVALGA BEI ANALIZĖ.....	12
1.1 Tradicinių ir elektros pavaros.....	12
1.2 Elektros pavaros privalumai ir trūkumai	14
1.3 Elektros variklio maitinimo šaltiniai	15
1.4 Baterijų krovimo būdai.....	16
1.4.1 Induktyvus krovimas	17
1.4.2 Kontaktinis krovimas	18
1.4.3 Įkrovikliai	19
1.4.4 Baterijų keitimo stotys.....	20
1.4.5 Regeneracinis stabdymas	21
1.5 Kitų šalių pavyzdžiai.....	22
2 MIESTO AUTOBUSO ENERGINIŲ SĄNAUDŲ TYRIMAS	23
2.1 Tyrimo metodika	23
2.2 Tinkamų maršrutų analizė ir tiriamo maršruto parinkimas.....	26
2.3 Autobuso energinių sąnaudų skaičiavimai.....	39
2.4 Dyzelinio ir elektrinio autobusų degalų sąnaudų palyginimas	45
2.5 Alternatyvių autobusų palyginimas.....	46
APIBENDRINIMAS	47
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	48
Literatūros sąrašas	49

Paveikslų sąrašas

1. pav. Supaprastinta tradicinė galios perdavimo schema [3]	12
2. pav. Supaprastinta nuoseklios hibridinės pavaros galio perdavimo sistemos schema [3].....	13
3. pav. Supaprastinta lygiagrečios hibridinės pavaros galio perdavimo sistemos schema [3]	13
4. pav. Induktyvaus krovimo pavyzdys [7]	17
5. pav. Kontaktinio įkrovimo pavyzdžiai. Kairėje Hamburgo mieste veikianti „Siemens“ stacionari įkrovimo stotelė naudojanti pantografą [8]; Dešinėje dinaminio įkrovimo pavyzdys Švedijos greitkelyje [9]	18
6. pav. Išorinis laidinis įkroviklis [14].....	19
7. pav. Elektrinių autobusų išmanaus krovimo, baterijų keitimo ir saugojimo stotis Kinijoje [16].	20
8. pav. Autobusų įkrovimas „Hermes“ autobusų depe, naudojant pantorafus [20].....	22
9. pav. DL1 SPORT duomenų kaupiklis [23].....	23
10. pav. Tyrime naudotas SCANIA N230UB autobusas [26].....	24
11. pav. Kauno miesto centru važiuojantys autobusai [27].....	26
12. pav. 18, 29, 6 maršrutų atstumas iki autobusų depo.....	28
13. pav. 18 maršrutas, A. Stulginskio universitetas - Geležinkelio stotis kryptimi.....	28
14. pav. 42 maršrutas, Technikumo g. - Respublikinės Kauno ligoninė kryptimi	29
15. pav. 37 maršrutas, Partizanų gatvė – Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi.....	30
16. pav. 37, 40, 23, 39 maršrutų atstumas iki autobusų depo	30
17. pav. 40 maršrutas, Kauno klinikinė ligoninė – „Urmo“ turgus kryptimi	31
18. pav. 29 maršrutas, Kauno oro uostas - Geležinkelio stotis kryptimi	32
19. pav. 47 maršruto atstumas iki autobusų depo	32
20. pav. 47 maršrutas, Onkologinė ligoninė - Kleboniškis kryptimi.....	33
21. pav. 35 maršruto atstumas iki autobusų depo	33
22. pav. 35 maršrutas, Vytėnai – Prezidento V. Adamkaus gimnazija kryptimi.....	34
23. pav. 6 maršrutas, Garliava – Technikos gatvė kryptimi	35
24. pav. 23 maršrutas, Domeikava – Rokai kryptimi	36
25. pav. 39 maršrutas, Domeikava – Rokai kryptimi	37
26. pav. Greičio kitimas Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų g. kryptimi	37
27. pav. Greičio kitimas Partizanų g. - Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi.....	38
28. pav. Jėgos veikiančios transporto priemonę [28]	39
29. pav. Galios kitimas Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė kryptimi.....	42
30. pav. Galios kitimas Partizanų gatvė – Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi	42

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vidaus degimo ir elektros variklių palyginimas [3]	14
2 lentelė. Tyrimo metu naudoto autobuso duomenys [24] [25]	23
3 lentelė. Maršrutai ir jų ilgai	27
4 lentelė. Tyrimo metu gauti duomenys	38
6 lentelė. Dizelinio ir elektrinio autobuso palyginimas	45
7 lentelė. Elektrinių autobusų duomenys [32] [33] [34].....	46

Barškietis Lukas. Elektrinės pavaros panaudojimo miesto autobusuose tyrimas. Magistro baigiamasis projektas vadovas doc. dr. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Autobusas, viešasis transportas, elektros variklis, elektros pavara.

Kaunas, 2018. 51 p.

Santrauka

Šiame darbe apžvelgiamos elektrinės pavaros, jų maitinimo šaltiniai, bei kitų šalių pavyzdžiai naudojant elektrines transporto priemones viešajame transporte.

Analizuojamas Kauno miesto viešasis transportas. Iš esamų autobusų maršrutų pasirenkamas patraukliausias elektriniai pavarai, atsižvelgiant į elektros variklio privalumus ir trūkumus. Atliekamas tyrimas pasirinktu maršrutu, matuojant autobuso greitį kiekvienu laiko momentu.

Atlikus tyrimą apskaičiuojamos energinės sąnaudos, reikalingos įveikti šį maršrutą. Pasirinktam maršrutui reikia 53,46 kWh elektros energijos. Naudojantis skaičiavimo rezultatais, palyginama elektrinio ir dyzelio autobusų degalų kaina vienam kilometrui. Dyzelio autobuso 1 km kaina 0,44 Eur, Elektrinio 0,13 Eur. Įvertinus elektros regeneracijos galimybę, ši suma sumažėja iki 0,07 Eur.

Pabaigoje apžvelgiami elektrinių autobusų modeliai ir pateikiamas autobuso modelis, tinkantis tiriamam maršrutui.

Barškietis Lukas. Research of electric powertrain use in city buses. Master's Final Degree Project supervisor doc. dr. Rolandas Makaras; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: bus, public transport, electric motor, electric powertrain.

Kaunas, 2018. 51 pages.

Summary

This paper reviews electric drives, their power supplies, and examples from other countries using electric vehicles in public transport.

The public transport of Kaunas city is analyzed. From the existing bus routes, the most attractive electric drives are selected, taking into account the advantages and disadvantages of the electric motor. The study is conducted on the chosen route, measuring the speed of the bus at each time.

The study calculates the energy costs needed to overcome this route. The selected route requires 53.46 kWh of electricity. Using the calculation results, the cost of electric and diesel fuel for one kilometer is compared. Price of diesel bus for 1 kilometer is 0,44 Eur, Electric 0,13 Eur. After estimating the possibility of electric regeneration, this amount decreases to 0.07 Eur.

In the end, you can see the models of electric buses and the bus model suitable for the route under study.

ĮVADAS

Šiuo metu vis aktualesnės tampa atmosferos taršos problemos, dėl kurių žmonija susiduria su tokiais globaliniais problemomis, kaip klimato kaita, ozono sluoksnio plonėjimas, rūgštus lietus ir kt. Užteršta atmosfera savo ruožtu sąlygoja išlaidas, atsirandančias dėl pablogėjusios gyventojų sveikatos, sumažėjusio žemės ūkio kultūrų derlingumo, greitesnio ilgalaikio kapitalo nusidėvėjimo.

Visame transporto sektoriuje daugiausia teršalų į aplinką išskiria autotransportas. Su automobilių išmetamosiomis dujomis į orą patenka anglies monoksidas, anglies dioksidas, azoto oksidai, sieros dioksidas, lakieji organiniai junginiai, sunkieji metalai, smulkios kietosios dalelės – suodžiai, pelenai [1].

Siekdamos sumažinti transporto keliamą aplinkos taršą, didžiosios pasaulio valstybės imasi įvairių priemonių, nuo išmetamų dujų kiekio apmokestinimo naujiems automobiliams, jų mažinimo iki draudimų įvažiuoti į miestų centrus [2]. Tokios sankcijos padeda mažinti užterštumą, tačiau sudaro naujų problemų, tokių kaip miesto centre esančių įstaigų aprūpinimas bei viešojo transporto paslaugos miesto centre. Ši problema ypač aktuali miestuose, kuriuose tramvajų ar metro linijų tiesimas yra neadekvatus sprendimas. Vienas iš šių problemų sprendimo būdų yra elektrinių pavarų panaudojamas miesto autobusuose.

Darbo tikslas:

Ištirti elektrines pavaros panaudojimo galimybes miesto tipo autobusuose.

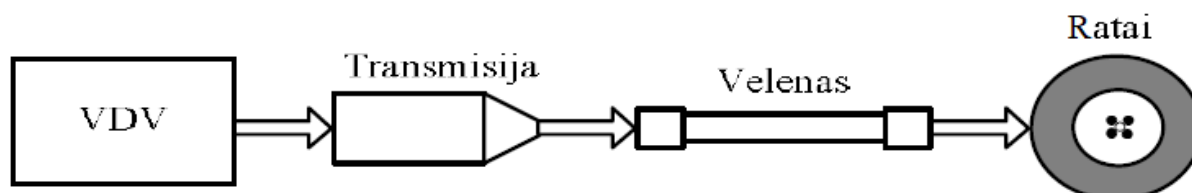
Uždaviniai:

1. Išanalizuoti naudojamas elektrines pavaras, elektros energijos kaupimo įrenginius, elektriniu transporto priemonių įkrovimo būdus, bei apžvelgti kitų šalių pavyzdžius, integruojant elektrines transporto priemones viešajame miesto transporte.
2. Išanalizuoti miesto viešojo transporto maršrutus, atsižvelgiant į elektrinės pavaros efektyviausią panaudojimą ir parinkti tinkamiausią maršrutą.
3. Atlikti pasirinkto maršruto tyrimą, įvertinanti energijos kiekį, reikalingą įveikti šį maršrutą.
4. Palyginti autobuso, važiuojančio pasirinktu maršrutu, eksploatacines išlaidas degalams su elektrinio autobuso alternatyva.
5. Remiantis gautais rezultatais, pateikti pasiūlymą nagrinėjamam autobusų maršrutui.

1 LITERATŪROS APŽVALGA BEI ANALIZĖ

1.1 Tradicinės ir elektros pavaros

Tradicinės pavaromis vadinamos pavaros, kuriuose vidaus degimo variklio (toliau - VDV) generuojamas sukimo momentas perduodamas varantiems ratams per sudėtingas mechanines galios perdavimo sistemas. Dėl šių sistemų, perduodant galią, patiriami nuostoliai, smarkiai sumažinantys transporto priemonės, naudojančios tradicines pavaras, efektyvumą.



1. pav. Supaprastinta tradicinė galios perdavimo schema [3]

Jeigu automobilyje naudojamo kuro potencialą įvertinsime 100 %, tai energijos balansas tradiciniame automobilyje bus toks [3]:

- kuro energija – 100 %,
- nuostoliai VDV – 62,4 %,
- VDV tuščios veikos nuostoliai – 17,2 %,
- kiti energijos vartotojai (šviesos ir kt.) – 2,2 %,
- iš VDV galios perdavimo sistema gauna – 18,2 %,
- nuostoliai galios perdavimo sistemoje – 5,6 %,
- varantys ratai gauna – 12,6 %.

Tie likusieji ratams perduodami 12,6 % kuro energijos potencialo sunaudojama taip:

- oro pasipriešinimui nugalėti – 2,6 %,
- riedėjimo trinties nuostoliams padengti – 4,2 %,
- stabdymo nuostoliai – 5,8 %.

Kaip matyti, didžiausias energijos nuostolių kiekis transporto priemonėje yra sudarytas iš VDV ir VDV galios perdavimo sistemos nuostolių. Šis jėgaines neefektyvumas ne tik padidina transporto priemonės eksploatacines išlaidas, bet ir prisideda prie aplinkos taršos.

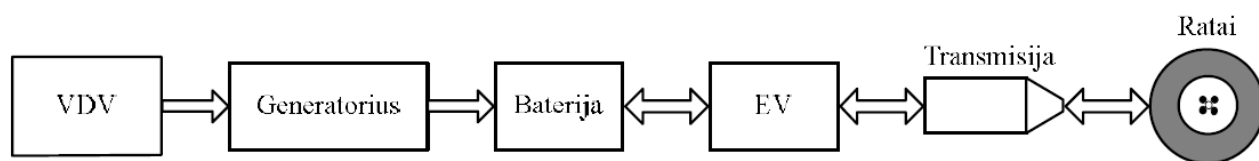
Visiems nuostoliams padengti, transporto priemonė turi sudeginti daugiau kuro. Didesnis sudeginto kuro kiekis prisideda prie didesnių išmetamųjų dujų kiekio, kuris kenkia aplinkai ne tik tiesiogiai, bet ir netiesiogiai. Išmetamas didesnis kiekis CO₂ dujų sustiprina šiltnamio efektą, kuris ne tik šildo mūsų planetą, bet ir prisideda prie įvairių aplinkos ekstremalių oro reiškinių, kaip neįprastai didelės sausros ar liūtys.

Norint sumažinti nuostolius transporto priemonėje, atsirandančius dėl varančiosios pavaros, rekomenduojama VDV pakeisti ar naudoti kartu su didesni naudingumo koeficientą turinčiu varikliu.

Šiuo metu labiausiai paplitusios alternatyvos tradicinėms pavaroms yra hibridinės bei grynosios elektrinės pavaros.

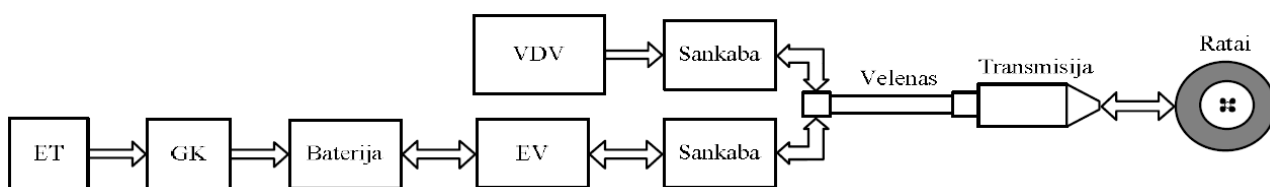
Hibridinės pavaros, tai pavaros, kuriose VDV veikia kartu su elektros varikliu per sudėtingą galios perdavimo sistemą. Šios pavaros naudoja geriausias abiejų jėgainių savybės, siekiant padidinti transporto priemonės efektyvumą. Hibridinės pavaros skirstomos į tris grupes: nuoseklias, lygiagrečias bei mišrias.

Nuoseklioje hibridinėje pavoje VDV suka generatorių, kuris įkrauna transporto priemonės baterijas (2 pav.). Šiuo atveju automobilio ratus suka tik elektros variklis (toliau - EV). Šis pavaros tipas neturi tuščios eigos, išskyrus atvejus kaip baterija nepakankamai įkrauta, bei gali grąžinti stabdymo energiją atgal į automobilio bateriją.



2. pav. Supaprastinta nuoseklios hibridinės pavaros galios perdavimo sistemos schema [3]

Lygiagrečioje pavoje, kitaip nei nuoseklioje, transporto priemonės varančiuosius ratus gali sukuti ir VDV, ir EV. Šioje pavoje automobilio baterija yra įkraunama per galios keitiklį (toliau - GK) iš elektros tinklo (toliau - ET). Šio tipo pavaros turi didesnės talpos bateriją, tad transporto priemonė gali nuvažiuoti nemažą atstumą, varomą vien EV.



3. pav. Supaprastinta lygiagrečios hibridinės pavaros galios perdavimo sistemos schema [3]

Mišri hibridinė pavara veikia kaip lygiagreti hibridinė pavara, kurioje VDV sukdamas generatorių gali iš dalies pakrauti automobilio bateriją. Todėl, transporto priemonė su šio tipo hibridine pavara ilgesnį laiką dirba naudodama EV. Didesnis EV naudojimo laikas padidina transporto priemonės naudingumo koeficientą.

1.2 Elektros pavaros privalumai ir trūkumai

Elektros variklis yra alternatyva, kuri gali išspęsti daugelį vidaus degimo variklio bei su juo susijusių galios perdavimo sistemų problemų.

1 lentelė. Vidaus degimo ir elektros variklių palyginimas [3]

Eil. Nr.	Palyginami dalykai	Vidaus degimo variklis	Elektros variklis
1.	Naudingumo koeficientas	33 % geriausiu atveju	90-95 %
2.	Variklio aušinimo sistema	Reikalingas radiatorius	Radiatorius nereikalingas
3.	Teršalai	Į aplinką išmetami teršalai	Tiesioginių teršalų nėra
4.	Tuščia veika	Yra tuščios veikos kuro nuostoliai	Nėra tuščios veikos
5.	Energijos konversija	Negrįžtama	Stabdymo energija grąžinama į bateriją
6.	Variklio svoris	Didelis ir sunkus (0,7 kW/kg)	Lengvas ir mažas (75 kW – 13 kg; 5,8 kW/kg)
7.	Erdvės poreikis	Reikalauja daug vietos automobilyje.	Galima įrengti automobilio ratuose
8.	Triukšmo lygis	Triukšmingas, reikalingas duslintuvas	Triukšmas labai mažas, duslintuvo nereikia

Iš duomenų, pateiktų pirmoje lentelėje, matyti, jog automobiliai naudojančys elektros pavaras tobulai tinka miesto sąlygoms. Automobiliai miesto sąlygomis daug laiko praleidžia stovėdami eismo kamščiuose, bėgėdamiesi bei stabdydami.

Kadangi elektros varikliai neturi tuščios eigos, transporto priemonė nenaudoja energijos stovėdama kamščiuose.

Be to, elektros variklis dirba tyliai ir tiesiogiai į aplinką neišmeta jokių išmetamųjų dujų, taip prisidedamas prie triukšmo ir oro taršos mažinimo miestuose.

Elektros variklis taip pat turi dar vieną pranašumą prieš VDV, jis gali veikti kaip generatorius ir stabdydamas transporto priemonę krauti jos bateriją. Šiuo būtu į bateriją grąžinama dalis energijos, kuri įprastai yra paverčiama šiluma, stabdžių sistemos pagalba.

Vienas iš didžiausių elektros pavarų trūkumas yra elektros energijos šaltinis. Elektros energiją, reikalingą EV šiuo metu galima generuoti keliai būdais: baterijų, VDV pagalba. Naudojant baterijas labai apribojamas nuvažiuojamas atstumas vienu įkrovimu, o įkrovimas užtrunka ilgiau nei kuro papildymas tradicinėse pavarose. VDV, kaip generatoriaus, naudojimas išsprendžia šią problemą, tačiau pavara tampa sudėtinga ir brangi.

1.3 Elektros variklio maitinimo šaltiniai

Viena didžiausių problemų, susijusių su EV panaudojimu transporte yra elektros energijos tiekimas elektros varikliui. Šiai problemai spręsti šiuo metu siūlomi šie problemos sprendimo variantai: baterija, kuro celė, ultra kondensatorius, smagratis.

Labiausiai paplitęs elektros energijos saugojimo įrenginys yra baterija. Šie įrenginiai cheminę energiją paverčia į elektros energiją ir atvirkščiai, elektros energiją paverčia į cheminę. Tai brangiausia elektrinės pavaros dalis hibridiniame ar elektriniame automobilyje. Taip yra dėl to, jog jų gamyboje naudojami dideli kiekiai brangiųjų metalų. Be to, norint padidinti nuvažiuojamą atstumą vienu įkrovimu, reikia padidinti baterijų kiekį, tai taip pat padidina elektrinės transporto priemonės kainą.

Charakteristikos apibrėžiančios baterijas yra jų gyvavimo ciklas, energijos ir galios tankis, energetinis efektyvumas [4].

Gyvavimo ciklas apibrėžia įmanomų iškrovimų ir įkrovimų ciklų kiekį, po kurio baterija praranda savo galimybę laikyti naudingą įtampą. Tai dažniausiai nutinka, kai baterijos talpa nukrenta žemiau 80% pradinės savo talpos. Gyvavimo ciklas dažniausiai priklauso nuo iškrovos dydžio [4].

Baterijos nepasižymi dideliu energijos tankiu. Palyginimui dyzelinas turi 12,7 kWh/kg energijos tankį [5], tuo tarpu plačiai paplitusios ličio jonų baterijos turi vos 200-300 Wh/kg energijos tankį [4], tad baterijų reikia daugiau, norint įveikti tą patį atstumą.

Kuro celė, tai įrenginys, kuris chemiškai sujungia aplinkoje esantį deguonį su tiekiamu vandeniliu [4]. Šio junginio rezultatas – vanduo ir elektros energija. Veikimo principas labai panašus į baterijų veikimą, tačiau deguonis ir vandenilis nėra saugomi celėje, jie yra nuolat tiekiami. Deguonis paimamas iš aplinkos, o vandenilis iš vandenilinio kuro bako.

Vandenilis gali būti saugomas kaip suspaustos dujos slėgio induose, kaip -253°C kriogeninis skystis arba kaip vandenilio atomai, absorbuoti metalo hidridų. Hidridų stabilumas ir kuro išsiliejimo galimybės panaikinimas šį vandenilio saugojimo būdą daro ypač patrauklių. Palyginus su švino rūgštinėmis baterijomis šis saugojimo būdas talpina 10 kartų daugiau energijos svorio vienetui [4].

Super- arba ultra-kondensatoriai elgiasi kaip didelės galios, tačiau mažos talpos baterijos. Jie elektros energiją saugo kaupdami ir atskirdami skirtingus krūvius fiziškai, priešingai negu baterijos, kurios saugo elektros energiją chemiškai [4]. Viena iš svarbiausių super-kondensatorių savybių yra jų puikus gyvavimo ciklas. Pilnai išvysčius šią technologiją, šie kondensatoriai galėtų veikti visą transporto priemonės gyvavimo laikotarpį.

Šiuo metu didžiausias ultra-kondensatorių trūkumas yra mažas energijos tankis, kuris siekia vos 5 - 10 Wh/kg, tad norit juos naudoti, reikia didelio jų kiekio, o tai didina transporto priemonės kainą, bei svorį. Vienas iš šios problemos siūlymo būdas yra šių kondensatorių integravimas į

automobilio laikančiąją konstrukciją [4]. Tokiu būdu būtų galima sumažinti transporto priemonės svorį bei kainą.

Smagračiai saugo energiją mechaniškai, kinetinės energijos forma. Juos galima skirstyti į mechaninį ir elektrinį smagračius. Mechaninis smagratis yra sujungtas su varančiąja sistema per ašį. Elektrinis smagratis naudoja elektros energiją, kad įsuktų savo rotorius, naudodamas įmontuotą EV, o šią energiją gražina, EV naudodamas kaip generatorių [4].

1.4 Baterijų krovimo būdai

Akumuliatorių sauga, ilgaamžiškumas ir našumas labai priklauso nuo to, kaip jie yra įkraunami ir iškraunami. Netinkamas baterijos naudojimas gali būti pavojingas bei gali stipriai sumažinti jos tarnavimo laiką. Dabartinės baterijų valdymo sistemas apima ir įkrovimo, ir iškrovimo valdymą. Ateityje šias valdymo sistemas būtų galima integruoti į energijos paskirstymo tinklų sistemą. Taigi, čia dėmesys skiriamas baterijų įkrovimui ir elektrinių transporto priemonių infrastruktūrai.

Transporto priemonių įkrovimas gali būti statinis, stacionarus ir dinaminis [6]. Statinio įkrovimo metu įkraunama nejudanti transporto priemonė. Šioje padėtyje pasiekama ilgam laiko tarpui, pavyzdžiui, kai transporto priemonė stovi depe. Stacionarus įkrovimas taip pat atliekamas nejudančioje transporto priemonėje, tačiau šiuo atveju transporto priemonė sustoja tik trumpą laiką, todėl įkrovimas turėtų būti vykdomas automatiškai. Dinaminis įkrovimas, kitaip nei kiti būdai, reiškia, jog transporto priemonė įkraunama važiuojanti eisme.

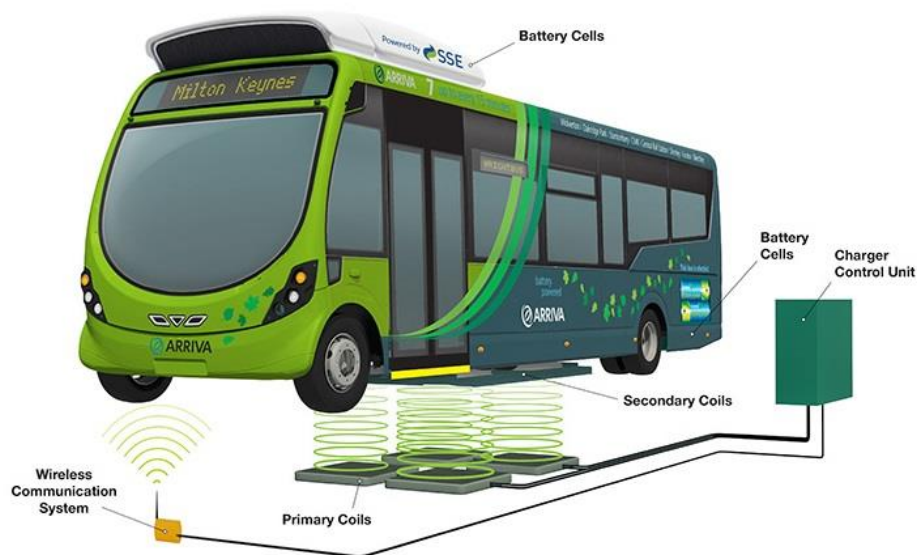
Dauguma įkroviklių prijungiami prie žemos 400V kintamos įtampos tinklo. Naudojant vieną ar kelis keitiklius ir lygintuvus įtampa galima paversti nekintamą bei ją pakelti iki 800 V, priklausomai nuo naudojamų baterijų. Dėl didelės galios įkroviklių, jungties taške srovė yra didelė. 200 kW įkrovimo metu srovė gali siekti 290 A, tad tokios galios krovikliams būtini gerai suprojektuoti saugikliai.

Be įprastų žemos įtampos tinklų yra galimybė prisijungti prie vidutinės įtampos tinklų, tačiau dauguma dabartinių įkroviklių naudoja žemos įtampos jungtis. Įkrovikliai, skirti prijungti prie vidutinės įtampos tinklų, naudojami įkraunant didele galia. Dėl šios priežasties įkroviklių dizainas ir reikalavimai jiems, lyginant su žemos įtampos įkrovikliais, yra skirtingi. Įprastai įkroviklių galios koeficientas yra artimas vienam, tad turima tik aktyvi galia. Dėl šios priežasties įkrovikliai projektuojami aktyviajai galiai, kuri matuojama kW.

Šiuo metu laidus bei induktyvus įkrovimo metodai yra vieni dažniausiai naudojamų įkrovimo būdų [6]. Sekančiuose skyriuose bus aprašyti minėtieji įkrovimo būdai, kartu su skirtingais įkrovikliais bei įkrovimo infrastruktūromis.

1.4.1 Induktyvus krovimas

Indukcinis įkrovimas naudoja magnetinį lauką bei pirmines ir antrines ritės (angl. primary and secondary coils), kurios yra arti viena kitos. Prijungus pirmines ritės prie kintamosios srovės šaltinio, sukuriama magnetinis laukas, kuris antrinėse ritėse sukuria srovės tekėjimą, kuris gali krauti transporto priemonės baterijas (4 pav.).



4. pav. Induktyvaus krovimo pavyzdys [7]

Indukcinis energijos perdavimas turi didelį efektyvumą, tačiau naudojant jį įkrovimui, efektyvumas gali sumažėti dėl ribotų rėčių tvirtinimo galimybių. Vienas iš būdų padidinti efektyvumą yra padidinti dažnį iki šimtų kHz. Tokiu būdu būtų galima perduoti iki 95% energijos, esant statiniam krovimui [6]. Naudojant dinaminį įkrovimą efektyvumas yra mažesnis. Statiniam ir stacionariam krovimui šis įkrovimo būdas priimtas kaip puikus įkrovimo problemų sprendimo būdas, turintis komercinio naudojimo pavyzdžių. Šiuo metodu perduodamos galios kiekis siekia 200 kW, bet gali būti ir didesnis [6]. Kadangi šio įkrovimo metu sukuriama magnetinis laukas, kyla su sauga susijusių problemų. Naudojant statinį įkrovimą, saugos didinimo metodai yra įdiegti, tačiau dinamiško įkrovimo metu saugos metodus vis dar reikia tobulinti.

1.4.2 Kontaktinis krovimas

Kontaktinis įkrovimas naudoja fizines jungtis. Tai yra labiausiai paplitęs būdas naudojant statines ir stacionarias įkrovimo sistemas. Dažniausiai naudojamas galios lygis siekia 22 kW. Kontaktinis įkrovimas taip pat gali būti naudojamas dinamiškam įkrovimui, panašiai kaip ir elektriniuose lokomotyvuose (5 pav.).



5. pav. Kontaktinio įkrovimo pavyzdžiai. Kairėje Hamburgo mieste veikianči „Siemens“ stacionari įkrovimo stotelė naudojanti pantografą [8]; Dešinėje dinaminio įkrovimo pavyzdys Švedijos greitkelyje [9]

Šios įkrovimo sistemos privalumai yra geras efektyvumas ir mažesnis elektromagnetinio lauko poveikis, palyginus su indukciniu įkrovimu. Trūkumai apima priežiūros išlaidas dėl kontakto tarp laidininko ir kolektoriaus, vizualinė poveikį bei saugos problemas, susijusias su laidais kuriais teka aukštos įtampos srovė. Tyrimų duomenimis [10] įkrovimo galia gali siekti iki 400 kW. Įmonės „ABB“ projekte Šveicarijoje naudojamas tokio galingumo laidinis krovimas. Jis naudojamas kartu su super-kondensatoriais, kad iš tinklo išgaunant elektros energiją nebūtų paveiktas elektros tinklas, kai baterija 15 sekundžių įkraunama 400kW galios įkrovikliu. Palyginimui, „Tesla“ super įkroviklio lengviesiems automobiliams galia siekia 145 kW [11].

1.4.3 Įkrovikliai

Įkroviklius galima suskirstyti į integruotus ir išorinius, su vienkrypčiu arba dvikrypčiu galios srautu [12]. Vienkrypčius įkroviklius galima naudoti tik baterijai įkrauti, o dvikrypčiai įkrovikliai gali gražinti elektros energiją atgal į tinklą, pavyzdžiui, elektros energijos vartojimo piko valandomis. Miesto autobusai dažniausiai dirba piko valandomis, todėl įtraukiami tik vienkrypčiais įkrovikliais. Be to, dvikryptis įkroviklis reikalautu naujų reikalavimų baterijoms.

Integruoti įkrovikliai leidžia vartotojui įkrauti akumuliatorių visur, kur yra tinkamas elektros lizdas. Šių įkroviklių galios lygis yra ribotas, siekiant sumažinti svorį, palaikyti erdvę kabinoje bei sumažinti savikainą, kadangi reikia investuoti į įkroviklį kiekvienam autobusui. Integruoti įkrovikliai gali būti naudojami įkraunant per naktį, tačiau daugeliui atvejų jie netinka įkrovimui eksploatacijos metu. Čia reikia išorinio įkroviklio (6 pav.), kuris užtikrina didesnę galingumą lygį ir mažesnes išlaidas, tačiau turi mažesnę lankstumą, kuri lemia įkroviklio stacionari vieta. „Siemens“ teigia, kad jų išorinio įkrovimo stočių tarnavimo laikas yra maždaug 20 metų [13], tačiau integruotų įkroviklių tarnavimo laikas nėra pateiktas. Tokiu atveju priimtina teigti, jog integruoto įkroviklio eksploatacijos laikas yra lygus autobuso eksploatavimo trukmei.



6. pav. Išorinis laidinis įkroviklis [14]

1.4.4 Baterijų keitimo stotys

Baterijų įkrovimo procesas, priklausomai nuo įkrovimo galingumo, užima palyginti nemažą laiko tarpą. Kuo greičiau yra kraunamos baterijos, tuo trumpesnis jų tarnavimo laikas, tad jas kraunant visada stengiamasi nenaudoti didesnės negu reikia galios krovimo.

Siekiant sumažinti laiką, kurio metu kraunamos baterijos yra siūloma išsikrovusias baterijas pakeisti pakrautomis. Tuo metu išsikrovusios baterijos kraunamos krovimo stotyse, kur jos, naudojant nedidelio galingumo įkroviklius, yra įkraunamos. Tokiu būdu ne tik sutrumpinamas laikas, bet ir prailginamas baterijų tarnavimo laikas [15].

Didžiausios problemos, su kuriomis susiduria šios keitimo stotys, yra infrastruktūros bei standartizuotos baterijos ir jos jungties trūkumas. Kalbant apie infrastruktūrą, susiduriama su „kas atsirado ankščiau“ situacija, kur nesant infrastruktūrai, nėra ir ja naudojančių transporto priemonių. Be to, nestandartizuotos keičiamos baterijos ir jų jungtys smarkiai pakeltu tokių stočių eksploataavimo kaštus. Šios stotys labiausiai tinka viešo transporto sektoriui, kur didelį transporto priemonių parką turinčios įmonės galėtų naudoti standartizuotas baterijas bei jų jungtis. Taip supaprastėja baterijų keitimo procedūra bei jų krovimas, kadangi jos visos vienodos. Viena tokių keitimo stočių veikia rytų Kinijos Shandong mieste (7 pav.).



7. pav. Elektrinių autobusų išmanaus krovimo, baterijų keitimo ir saugojimo stotis Kinijoje [16]

1.4.5 Regeneracinis stabdymas

Tradicinės transporto priemonės, naudodamos stabdžius, kinetinę energiją paverčia į šilumą, kuri pasklinda aplinkoje, tad energija yra iššvaistoma. Regeneracinis stabdymas – tai procesas, kurio metu transporto priemonės kinetinės energijos dalis yra išsaugoma tam tikroje energijos saugojimo sistemoje, pavyzdžiui, baterijoje [17].

Elektrinės pavaros atveju, energijos dalis, kuri paprastai iššvaistoma stabdžiams, šios sistemos dėka, yra sugražinama į energijos saugyklą. Elektrinėje pavaroje esantis elektros variklis, stabdymo metu, veikia kaip generatorius, taip stabdydamas transporto priemonę ir gražindamas dalį energijos atgal į bateriją. Ši energija laikoma tol, kol ji tampa reikalinga transporto priemonei, pavyzdžiui jai greitėjant. Šis baterijų krovimo būdo efektyviausias panaudojimas yra eismo sąlygomis, kur dažni sustojimai. Pavyzdžiui, sunkvežimiui, kuris nuvažiuoja pora šimtų kilometrų be sustojimų, energijos sutaupymas regeneraciniu stabdymu nebus didelis. Tuo tarpu, miesto eisme važiuojantis autobusas susiduria su daugybe stabdymo atvejų, kurie, naudojant regeneracinį stabdymą, sumažina transporto priemonės energines sąnaudas.

Regeneracinio stabdymo efektyvumas priklauso ne tik nuo pavaros efektyvumo, perduodant stabdymo energiją energijos saugojimo sistemai, bet ir nuo pačios sistemos efektyvumo, priimant didelį energijos kiekį. 2012-ais metais atlikto tyrimo duomenimis [18], elektrinėje pavaroje, naudojančioje bateriją, didžiausią įtaką regeneracinio stabdymo efektyvumui turi baterijos krovimo įtampa. Šiame tyrime, baterija galėjo priimti 200A stiprumo srovę. Analizuojant pasirinktus stabdymo epizodus buvo apskaičiuota, jog baterija gali priimti nuo 57% iki 67% stabdymo metu sunaudotos energijos. Realūs rezultatai būtų mažesni, kadangi nėra vertinamas baterijų bei elektrinės pavaros efektyvumas.

1.5 Kitų šalių pavyzdžiai

Naujindami autobusų parką vis daugiau pervežėjų eksperimentuoja rinkdamiesi elektrines transporto priemones. Griežtėjant išmetamųjų dujų kiekiui, vidaus degimo varikliu varomoms transporto priemonės darosi vis sunkiau atitikti šiuos reikalavimus, sudėtingėja išmetamųjų dujų apdorojimo mechanizmai bei patys varikliai. Sudėtingesnės sistemos reikalauja didesnės priežiūros, kas padidina eksploatacinius sąnaudas. Griežtėjantys išmetamųjų dujų kiekiai miestų centruose ar planai visai uždrausti vidaus degimo variklius miesto centruose apriboja tokio transporto perspektyvą [2]. Elektrinės transporto priemonės tiesiogiai į aplinką neišmetą jokių dujų, tad jos netik tenkina dabartinius bei ateities taršos reikalavimus, bet ir yra žymiai paprasčiau eksploatuojamos. Vienintelis klausimas, kurį reikia spręsti eksploatuojant tokias transporto priemones yra jų įkrovimo infrastruktūros trūkumas. Šiame skyriuje aptariama kokius infrastruktūros sprendimus elektrinių autobusų krovimui naudoją kiti Europos miestai.

Lenkijos sostinė Varšuva yra vienas iš Europos miestų, kuriame jau važinėja elektriniai autobusai. Miesto autobuso parko administratorius „MZA“ šiuo metu eksploatuoja dešimt „Soliaris“ Urbino U12e ir šešis „BYD“ K9 elektrinius autobusus [19]. Šie autobusai kasdien važiuoja Varšuvoje 222 maršrutu, kurio ilgis yra 19,5 km. Autobusai stacionariai įkraunami greituoju įkrovimu, naudojant pantografus galutinėje stotelėje (5 pav.) bei lėtuoju įkrovimu, autobusų depe.

Šiuo metu didžiausias elektrinių autobusų parkas Europoje yra Nyderlanduose. „Zuid-Oost-Brabant“ koncesija apima regioną, kuris turi 750 tūkstančių gyventojų, kurių didžioji dalis gyvena pagrindiniuose Eindhoven ir Helmond miestuose. Šio regiono autobusų parko administratorius „Hermes“ šiuo metu eksploatuoja keturiasdešimt tris „VDL“ Citea SLFA-181 Electric elektrinius autobusus. Šie autobusai dirba apie 20 valandų kiekvieną dieną, įvairiais maršrutais miestų centruose ir priemiesčiuose. Autobusai autobusų depe dienos metu stacionariai įkraunami greituoju įkrovimu (35–45 min.), o naktimis – lėtuoju (4–5 val.). Įkrovimui naudojami pantografai (8 pav.) [19].



8. pav. Autobusų įkrovimas „Hermes“ autobusų depe, naudojant pantografus [20]

2 MIESTO AUTOBUSO ENERGINIŲ SAŪNAUDŲ TYRIMAS

2.1 Tyrimo metodika

Šis tyrimas buvo atliktas Kauno miesto viešajame transporte. Kauno miesto viešojo transportą administruoja įmonė UAB „Kauno autobusai“, kuri šiuo metu turi du šimtus šešiasdešimt septynis autobusus bei jais važiuoja keturiasdešimt trys skirtingi maršrutai [21].

Šiame darbe buvo pasirinktas eksperimentinis tyrimo metodas, kadangi buvo prieinama duomenų kaupimo įranga, reikalinga tyrimo metu. Tyrimo metu buvo naudotas DL1 SPORT duomenų kaupiklis, kuris naudodamas GPS (angl. global positioning system) duomenis, 100hz dažniu, gali matuoti įvairius parametrus: padėti plokštumoje ir aukštumoje, greitį, pagreitį, nuvažiuotą atstumą ir laiką [22]. Be šių parametrų, aptartas duomenų kaupiklis gali matuoti ir kitus parametrus, kaip variklio sūkliai ar lenktynių trasos įveikimo laikas, tačiau jie reikalauja papildomų analoginių jutiklių. Tyrimo metu visa surinkta informacija įrašoma į atminties kortelę.



9. pav. DL1 SPORT duomenų kaupiklis [23]

2 lentelė. Tyrimo metu naudoto autobuso duomenys [24] [25]

Modelis.	SCANIA N230UB4x2EB
Kuro tipas.	Dyzelinas
Cilindrų skaičius.	5
Galia, kW.	169
Variklio darbinis tūris, l/	9
Variklio specifinės kuro sąnaudos esant 1500 aps./min, g/kWh	206
Važiuoklės aukštis	Ypač žemas
Leistina apkrova priekinei ašiai, t.	7,2
Leistina apkrova galinei ašiai, t.	12
Leistina apkrova, t.	18
Aukštis, m	3
Plotis, m	2,5
Ilgis, m	12

Tyrimo metu buvo naudojamas SCANIA N230UB4x2EB. Tai dyzelinu varomas, žema grindis miesto autobusas. Šio autobuso duomenys pateikti 2-oje lentelėje.



10. pav. Tyrime naudotas SCANIA N230UB autobusas [26]

Pirmiausia, buvo pasirinktas adekvatus maršrutas ir nustatytos šio maršruto galinės stotelės. Pradėjus tyrimą, buvo įjungta įranga ir įsėdus į pasirinkto maršruto autobusą buvo važiuojama nuo pirmos maršruto stotelės iki galutinės. Tyrimo metu buvo matuojamas autobuso greitis, nuvažiuotas atstumas kilometrais ir laikas sekundėmis. Tyrimas buvo kartojamas grįžtant į pradinę stotelę. Svarbia aplinkoje laikytina tai, kad tyrimas turi būti atliktas abejomis kryptimis, kadangi autobusų maršrutai retai eina tomis pačiomis gatvėmis, tad skiriasi ne tik įkalnių ir nuokalnių skaičius, jų statumas ir eismo intensyvumas jose, bet ir maršruto ilgis skirtingomis kryptimis. Tyrimo laikas taip pat svarbus, nes skirtinga savaitės diena bei paros metas turi skirtingą eismo intensyvumą. Šiame darbe atliktas tyrimas vykdytas 2018 metų balandžio 16 dieną 19 valandą. Laikas pasirinktas siekiant išvengti eismo spūsčių bei perpildyto autobuso. Kita vertus, tuščias autobusas važiuojantis mažo intensyvumo gatvėmis taip pat gali iškreipti tyrimo rezultatus, nes tuščias autobusas turės didesnius pagreičius stabdant ir bėgėjantis.

Nuvažiuojamas atstumas yra svarbus parametras nagrinėjant elektrinio autobuso galimybes pakeisti vidaus degimo varikliu varomus autobusus. Kuo maršrutas ilgesnis, tuo didesnę atstumą per darbo dieną nuvažiuoja eksploatuojamas autobusas. Didesnis atstumas reiškia didesnę energijos poreikį norint įveikti visą maršrutą per darbo dieną.

Važiavimo laikas taip pat svarbus parametras. Matuojant laiką, galimą matyti kaip greitai išibėgėja ar stabdo autobusai, kiek laiko jie praleidžia tuščioje eigoje ir kiek laiko užtrunka įveikti

maršrutą. Visos aptartos aplinkybės yra reikšmingos, vertinant elektrinio autobuso galimybę konkuruoti tiriamame maršrute.

Važiavimo greitis labai susijęs su nuvažiuotu atstumu ir laiku. Žinant, per kiek laiko pakinta autobuso greitis, galima apskaičiuoti jo bėgėjimosi ir stabdymo pagreičius, kurie yra esminiai parametrai, vertinant energijos kiekį, reikalingą įveikti pasirinktą maršrutą.

Renkantis maršrutą, kuriuo galėtų važiuoti elektrinis autobusas reikia įvertinti tokios transporto priemonės privalumus ir trūkumus.

Kaip jau nagrinėta anksčiau, elektrinių transporto priemonių pagrindinis trūkumas – jų nuvažiuojamas atstumas vienu įkrovimu bei ilgas įkrovimo laikas. Didesnės talpos baterijos užima daugiau vietos autobuse, taip apribodamos juo pervežamų keleivių kiekį, tad, naudojant mažesnės talpos baterijas, vienu įkrovimu elektriniai autobusai nuvažiuoja mažesnius atstumus.

Tais atvejais, jei autobusą reikia krauti darbo metu, pasirinktas maršrutas turi būti netoli autobusų depo ar turėti galutinę stotelę, bendrą keletui maršrutų. Turint keletą maršrutų, kuriuose eksploatuojami elektriniai autobusai, juos būtų galima krauti bendroje krovimo stotyje, kuri būtų įrengta depe ar galinėje stotelėje. Mažesnis krovimo stočių skaičius leistų turėti daugiau elektrinių autobusų su mažu krovimo stočių skaičiumi.

Vienas didžiausių elektrinių transporto priemonių privalumų yra išmetamųjų dujų, tokių kaip CO₂, nebuvimas. Reikalavimai išmetamųjų dujų kiekiui šiuo metu ir ateityje vis griežtės, o daugelis Europos miestų pereina prie nulinių emisijų miesto centruose. Žvelgiant į ateitį, tokios transporto priemonės yra perspektyvesnė investicija, nei vidaus degimo varikliu varomos transporto priemonės.

2.2 Tinkamų maršrutų analizė ir tiriamo maršruto parinkimas

Atsižvelgus į elektrinio autobuso privalumus ir trūkumus, pasirinktas maršrutas turėtų atitikti šiuos reikalavimus:

- Maršrutas turi eiti per miesto centrą.
- Maršruto ilgis turi būti kuo mažesnis.
- Maršrutas turi būti netoli autobusų depo.
- Viena iš maršruto galinių stotelių turi būti bendra su daugeliu autobusų.

Tyrimui buvo galima rinktis vieną iš keturiasdešimt trijų Kauno mieste esančių autobusų maršrutų. Renkantis maršrutą tyrimui, visų pirma, buvo peržiūrėti autobusų maršrutai važiuojantys per miesto centrą. 11 paveiksle matome Kauno miesto centrą kertančius autobusų maršrutus. Jie šiame žemėlapyje pažymėti raudona spalva. Vienos labiausiai apkrautų stotelių miesto centre yra Donelaičio bei Kęstučio gatvėse. Šiose gatvėse numatytas vienpusis eismas, tad daugelis maršrutų kerta miesto centrą du kartus. Atrinkus besikartojančius maršrutus šiose gatvėse, turime dažnai miesto centru važinėjančių autobusų maršrutų numerius. Atrinktieji maršrutai yra šie: 6, 6A, 18, 23, 29, 35, 35A, 37, 37N, 39, 40, 42 ir 47.



11. pav. Kauno miesto centru važiuojantys autobusai [27]

Iš šių maršrutų 6A ir 37N nevažiuoja darbo dienomis ir valandomis (nuo 8 iki 17 valandos), todėl buvo nuspręsta jų atsisakyti. Likusių maršrutų, kurie dažnai juda miesto centru, ilgai buvo matuojami abejomis kryptimis naudojantis Kauno viešojo transporto bei „Google“ žemėlapyje

duomenimis. Rasti maršrutų ilgiai buvo suskirstyti pagal vidutinį ilgį viena kryptimi. Maršrutai ir jų ilgiai pateikti 3-oje lentelėje.

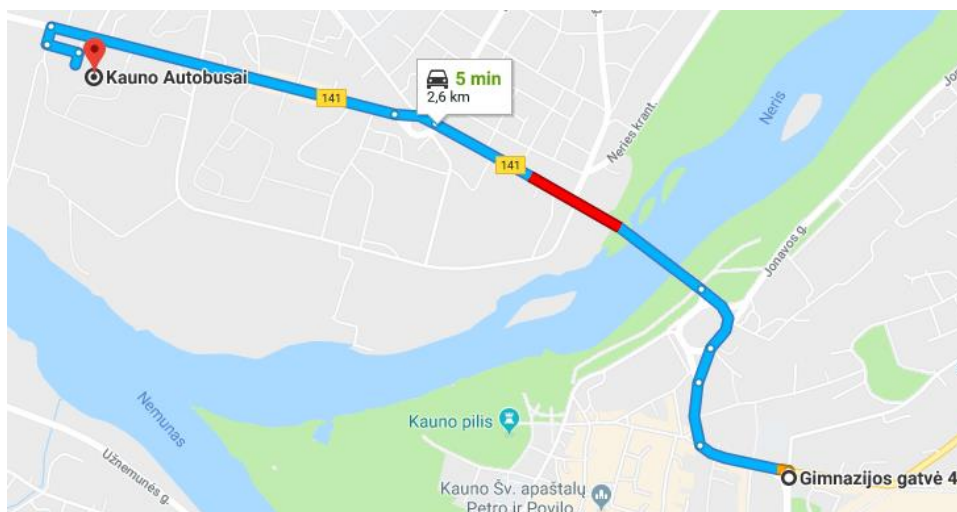
Naudojantis gautais maršrutų duomenimis, toliau nagrinėjamas maršrutų tinkamumas elektriniam transportui. Pradedant nuo trumpiausio maršruto, įvertinami kiti aspektai, kaip atstumas iki autobusų depo ar autobusų kiekis maršruto galinėse stotelėse.

3 lentelė. Maršrutai ir jų ilgiai

Maršruto numeris	Maršruto kryptis ir nuvažiuojamas atstumas, km		Vidutinis atstumas viena kryptimi, km
18	Geležinkelio stotis – A. Stulginskio universitetas	A. Stulginskio universitetas - Geležinkelio stotis	10,5
	10,5	10,5	
42	Technikumo g. – Respublikinė Kauno ligoninė	Respublikinė Kauno ligoninė - Technikumo g.	14,6
	14,8	14,4	
37	Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų g.	Partizanų g. – Juozo Grušo meno gimnazija	16,1
	17,2	15	
40	„Urmo“ turgus – Kauno klinikinė ligoninė	Kauno klinikinė ligoninė – „Urmo“ turgus	17,1
	17,2	17	
29	Kauno oro uostas – Geležinkelio stotis	Geležinkelio stotis – Kauno oro uostas	18,1
	18	18,1	
47	Kleboniškis – Onkologinė ligoninė	Onkologinė ligoninė - Kleboniškis	20,4
	20,3	20,5	
35	Vytėnai – Prezidento V. Admkaus gimnazija	Prezidento V. Admkaus gimnazija - Vytėnai	22,5
	21,5	23,5	
6	Technikos g. – Garliava	Garliava – Technikos g.	23,5
	24,2	22,7	
23	Domeikava – Rokai	Rokų seniūnija - Domeikava	24,2
	24,5	23,9	
39	Medekšinės g. – Neveronių g.	Neveronių g. - Medekšinės g.	29,4
	28,9	29,8	

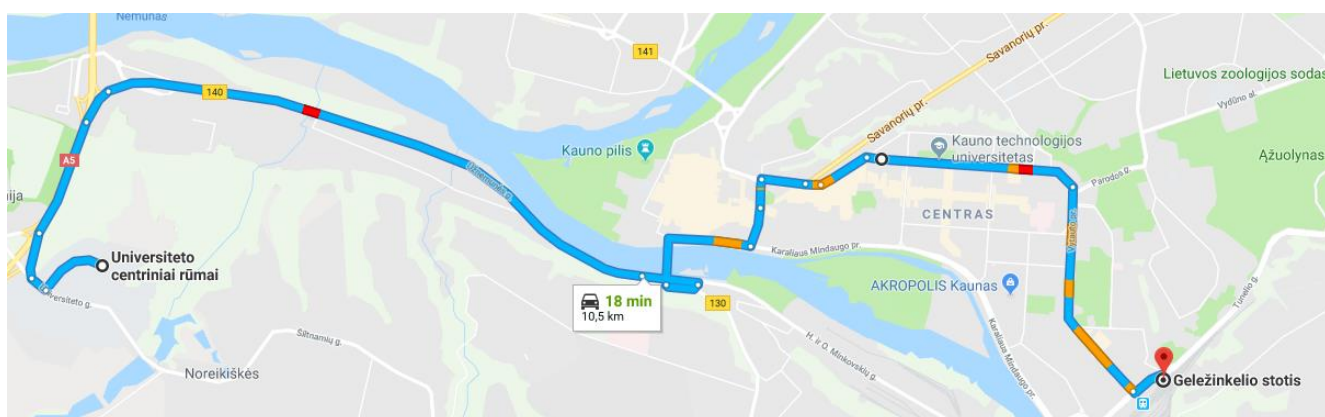
Vadovaujanti šiais duomenimis matyti, jog trumpiausias yra 18 maršrutas. Maršrutas driekiasi nuo Kauno geležinkelio stoties iki A. Stulginskio universiteto (13 pav.). Didžiausi šio maršruto privalumai yra mažas vidutinis atstumas viena kryptimi, kuris siekia 10,5 km bei faktas, jog „Geležinkelio Stotis“ stotelė yra 8 autobusų, važiuojančių darbo dienomis, galinė stotelė.

Tačiau šis maršrutas nėra arti autobusų depo, trumpiausias atstumas yra 2,6 km (12 pav.). Be to, šis maršrutas važiuoja didesniąją kelio ne miesto eisme (važiuojamos gatvės ne didelio eismo intensyvumo, leidžiamas didesnis nei 50 km/h greitis ir pan.).



12. pav. 18, 29, 6 maršrutų atstumas iki autobusų depo

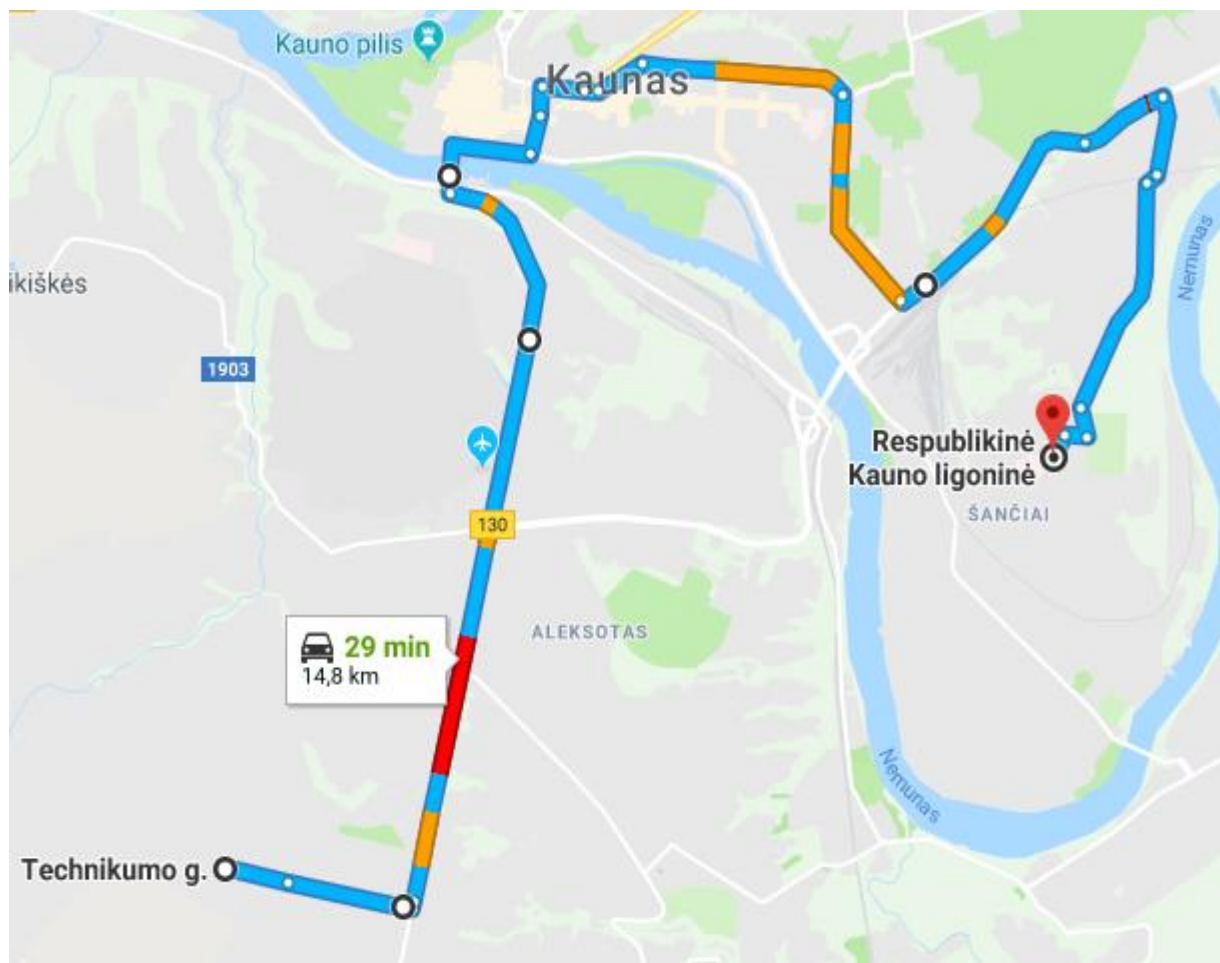
Pervažiavęs M. K. Čiurlionio tiltą, autobusas pasuka Akademijos kryptimi, kur greitis yra didesnis. Kadangi eismas juda greičiau, nėra galimybės išnaudoti elektros variklio pranašumų, kaip regeneracinis stabdymas bei tuščios eigos nebuvimas. Be to, maršrutas važiuoja mažiau apgyvendintoje zonoje, tad elektrinio variklio privalumai, kaip išmetamųjų dujų nebuvimas ir tylus darbas praranda savo naudą mažai apgyvendintose zonose.



13. pav. 18 maršrutas, A. Stulginskio universitetas - Geležinkelio stotis kryptimi

Kitas aptariamas maršrutas, pagal ilgumą yra 42. Maršrutas driekiasi nuo Technikumo g. (Aleksoto mikrorajonas) iki Respublikinės Kauno ligoninės (Šančių mikrorajonas) (14 pav.).

Didžiausi šio maršruto privalumai yra nedidelis vidutinis atstumas viena kryptimi, kuris siekia yra 14,6 km.

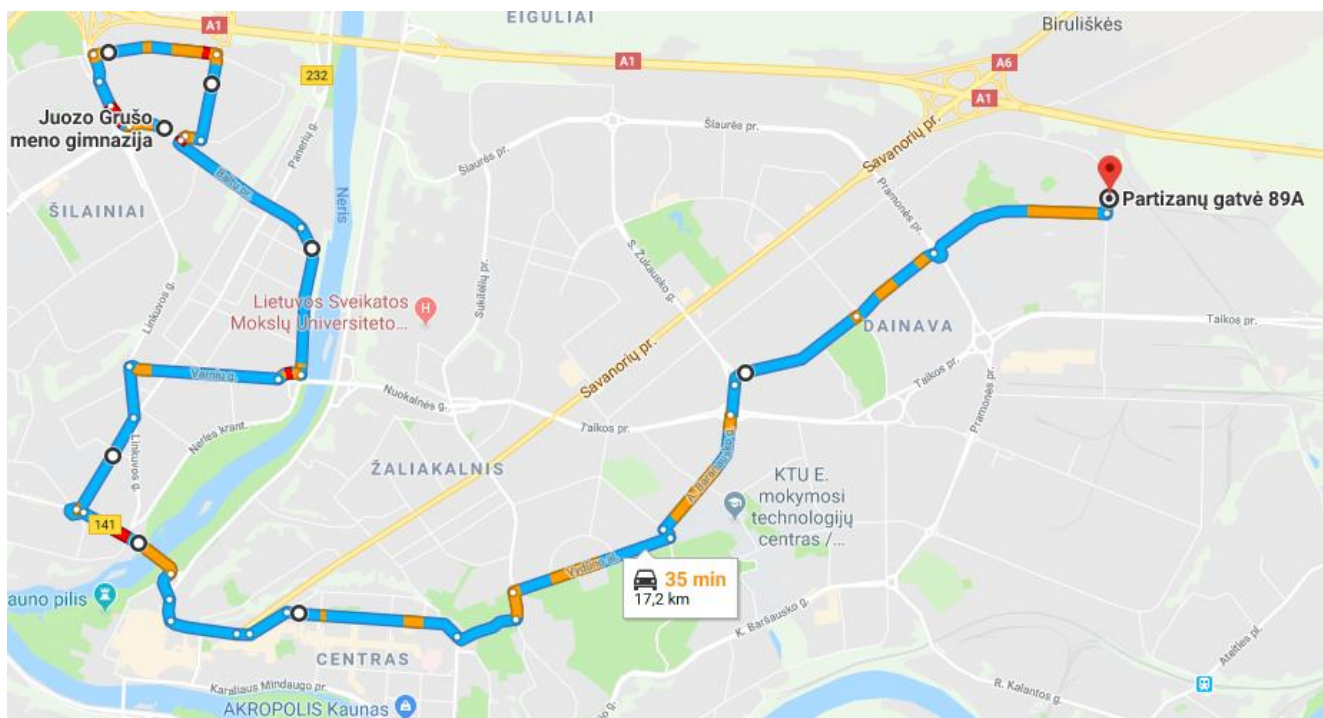


14. pav. 42 maršrutas, Technikumo g. - Respublikinės Kauno ligoninė kryptimi

Tačiau šis maršrutas taip pat nėra arti autobusų depo (trumpiausias atstumas taip pat 2,6 km) bei, kaip ir 18 maršrutas, važiuoja didesniąją kelio retai apgyvendintame regione. Pervažiavęs M. K. Čiurlionio tiltą, autobusas pasuka Aleksoto link. Eismas šiame mikrorajone juda greičiau, tad nėra galimybės išnaudoti elektros variklio pranašumų, kaip regeneracinis stabdymas bei tuščios eigos nebuvimas. Be to, Aleksotas yra rečiau apgyvendintas Kauno miesto mikrorajonas, tad elektrinio variklio privalumai, kaip išmetamųjų dujų nebuvimas ir tylus darbas, praranda savo naudą retai apgyvendintose mikrorajonuose.

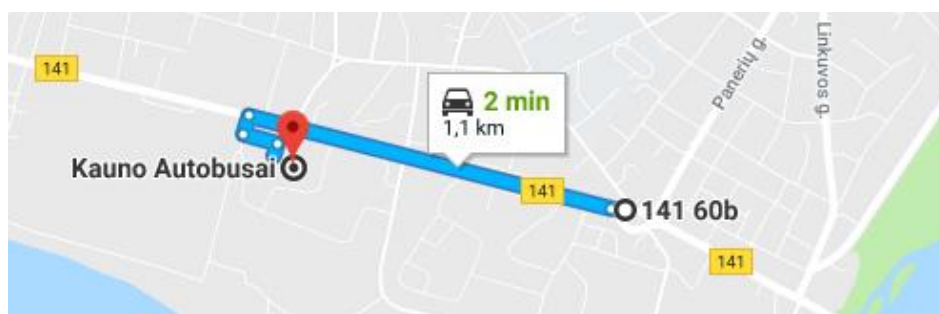
Trečias pagal ilgumą yra 37 maršrutas. Šis maršrutas prasideda ir baigiasi Dainavos mikrorajone, Partizanų gatvėje. Šiuo maršrutu autobusai važiuoja per miesto centrą link Vilijampolės mikrorajono, kur kryptis pasikeičia Šilainių link. Šio maršruto Juozo Grušo meno gimnazijos stotelė tarnauja, kaip fiktyvi galutinė stotelė, kurioje autobusai stovi, jei maršrutą nuvažiuoja greičiau nei

parašytą grafike, kol ateina laikas pajudėti. Šioje miesto dalyje autobusas apsisuka ir grįžta panašiu keliu į savo galutinę stotelę Partizanų gatvėje. Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi yra 16,1 km.



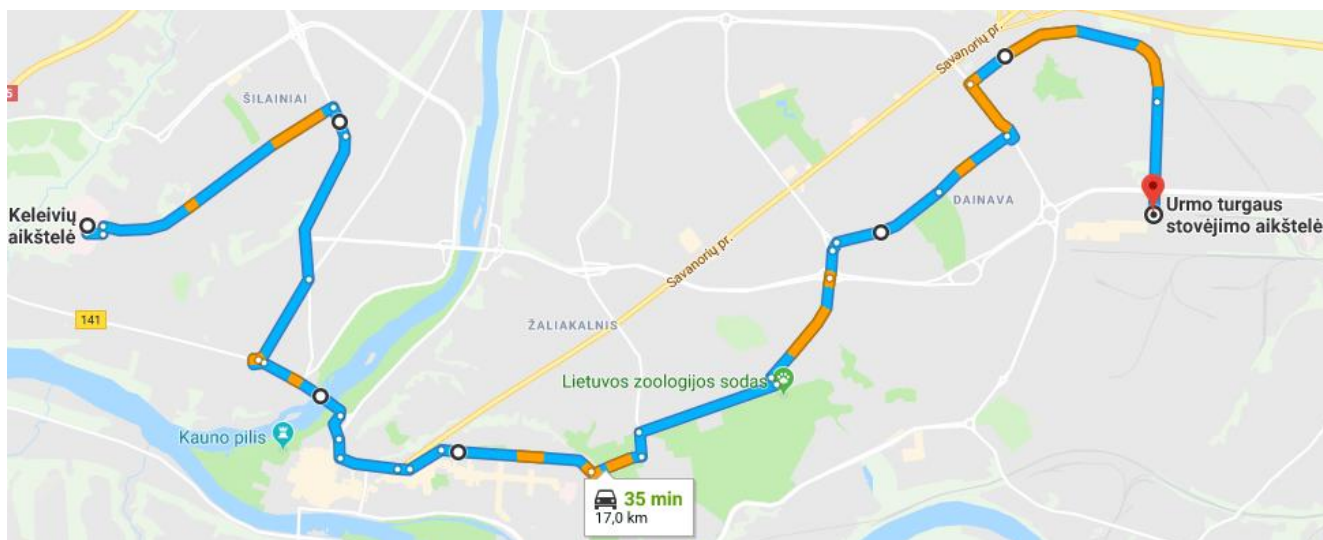
15. pav. 37 maršrutas, Partizanų gatvė – Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi

Vienas ir šio maršruto privalumų yra tai, jog jis eina per miesto centrą bei pagrindinius miegamuosius rajonus (Šilainiai, Vilijampolė, Dainava). Pakeitus šiuo maršrutu važiuojančius autobusus elektriniai netik sumažinamas VDV varomu autobusų skaičius miesto centre, bet ir sumažinama oro ir garso tarša šiose rajonuose. Kadangi šie rajonai tankiai apgyvendinti, tai taršos ir triukšmo sumažėjimas bus labiau jaučiamas, nei rečiau apgyvendintuose mikrorajonuose, kaip Aleksotas. Šio maršruto galinė stotelė yra bendra 4 maršrutams (20, 28, 37, 40). Nors maršrutų skaičius yra mažesnis nei 18 maršruto (8 maršrutai), tačiau jis didesnis nei 42 maršruto (2 maršrutai). Be to, kitaip nei 18 ir 42 maršrutas, 37 maršrutas yra arčiau autobusų depo (1,1 km) ir jis driekiasi tik mieste, kur išnaudojami tokie elektrinių transporto priemonių privalumai kaip regeneracinis stabdymas ir faktas, jog autobusas nevartoja energijos jam stovint.



16. pav. 37, 40, 23, 39 maršrutų atstumas iki autobusų depo

40 maršrutas prasideda ir baigiasi Dainavos mikrorajone, Partizanų gatvėje esančioje „Urmas“ turgavietėje. Šiuo maršrutu autobusai važiuoja per miesto centrą link Vilijampolės mikrorajono, kur kryptis pasikeičia Šilainių link, kur pasiekama galinė stotelė – Kauno klinikinė ligoninė. Šioje miesto dalyje autobusas apsisuka ir grįžta panašiu keliu į savo galinę stotelę partizanų gatvėje. Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi yra 17,1 km.



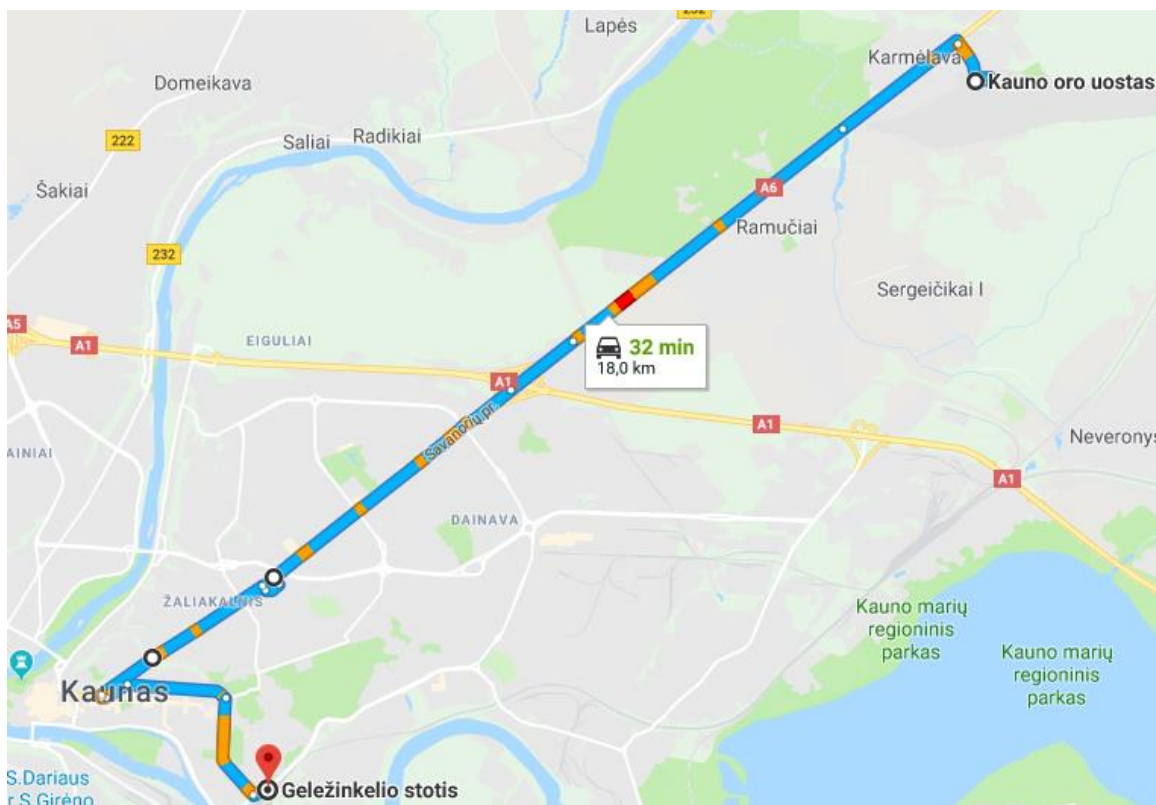
17. pav. 40 maršrutas, Kauno klinikinė ligoninė – „Urmo“ turgus kryptimi

Kaip ir 37 maršruto, 40-ojo privalumai yra tai, jog jis eina per miesto centrą bei pagrindinius miegamuosius rajonus (Šilainiai, Vilijampolė, Dainava). Pakeitus šiuo maršrutu važiuojančius autobusus elektriniais netik sumažinamas VDV varomu autobusų skaičius miesto centre, bet ir sumažinama oro ir garso tarša šiose rajonuose. Šio maršruto galinė Kauno klinikinės ligoninės stotelė yra bendra 6 maršrutams (3, 17G, 27G, 34, 37N, 40). Maršrutų skaičius šioje stotelėje panašus į 37 maršruto (4 maršrutai). Be to, kaip ir 37 maršrutas, 40-as yra arčiau autobusų depo (1,1 km) ir jis driekiasi tik mieste, kur išnaudojami tokie elektrinių transporto priemonių privalumai kaip regeneracinis stabdymas ir faktas, jog autobusus nevartoja energijos jam stovint.

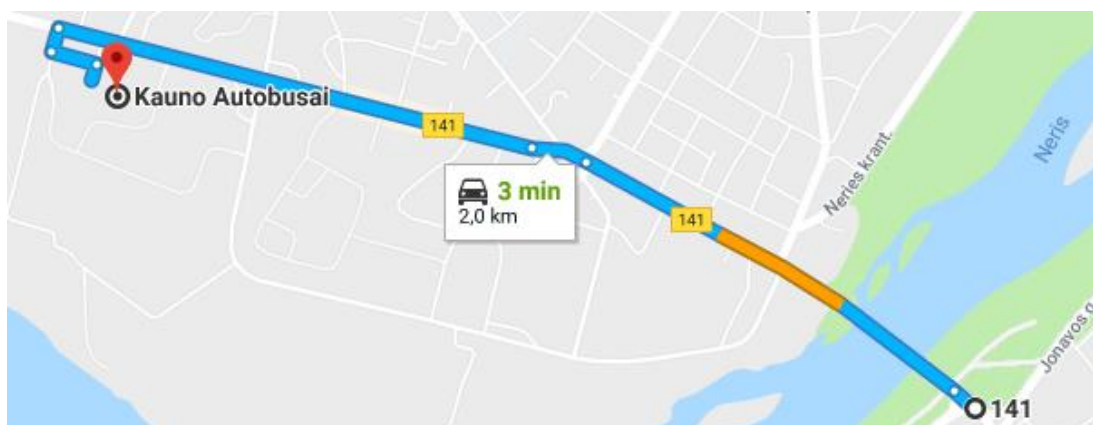
Penktas pagal ilgį yra 29 maršrutas. Jis gan panašus į 18 maršrutą. Maršrutas driekiasi nuo Kauno geležinkelio stoties iki Kauno Oro uosto (18 pav.). Didžiausias šio maršruto privalumas yra tai, jog „Geležinkelio Stotis“ stotelė yra 8 autobusų, važiuojančių darbo dienomis, galinė stotelė, tačiau vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi yra didesnis nei 18 maršruto ir siekia 18,1 km.

Kaip ir 18 maršrutas, šis maršrutas nėra arti autobusų depo (2,6 km (12 pav.)). Be to, šis maršrutas juda didelę kelio dalį ne miesto eisme. Autobusai važiuoja Savanorių prospektu, kol išvažiuoja iš miesto, kur, esant didesniam greičiui, padidėja oro pasipriešinimas ir energinės sąnaudos. Kadangi eismas užmiestyje juda greičiau (dėl didesnio leistino važiavimo greičio), nėra

galimybės išnaudoti elektros variklio pranašumą, kaip regeneracinis stabdymas bei tuščios eigos nebuvimas. Be to, maršrutas važiuoja mažiau apgyvendintoje zonoje, tad elektrinio variklio privalumai, kaip išmetamųjų dujų nebuvimas ir tylus darbas praranda savo naudą mažai apgyvendintose zonose.



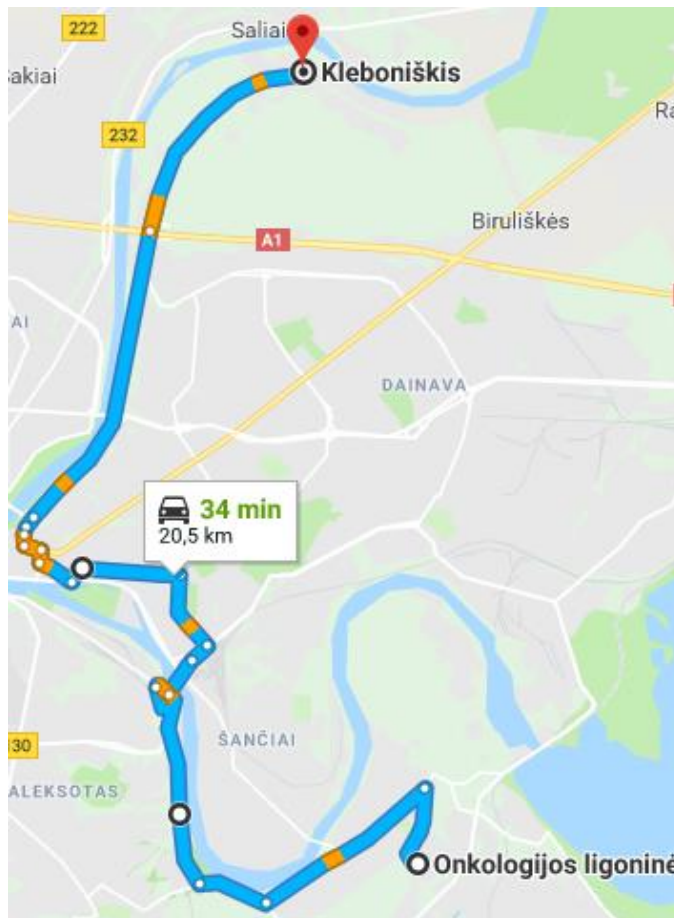
18. pav. 29 maršrutas, Kauno oro uostas - Geležinkelio stotis kryptimi



19. pav. 47 maršruto atstumas iki autobusų depo

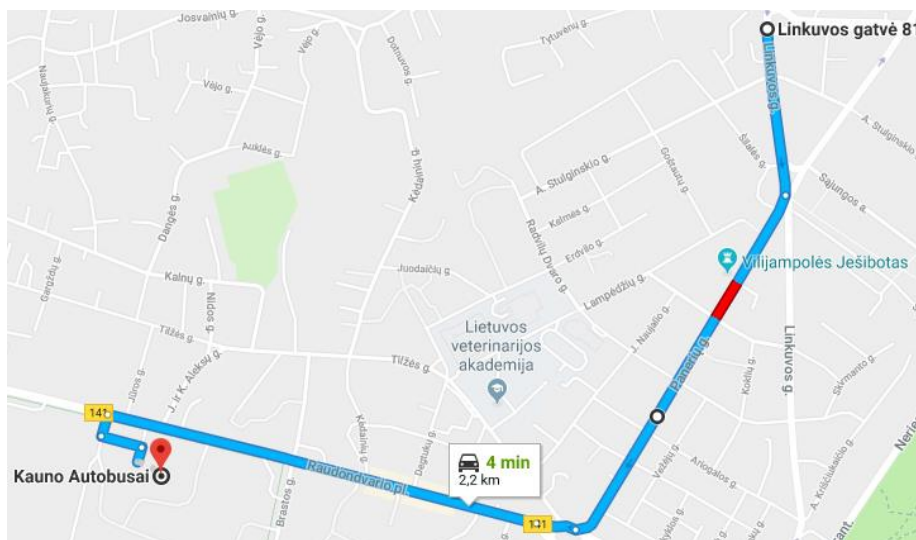
Šeštas pagal ilgį yra 47 maršrutas. Maršrutas driekiasi nuo Onkologinės ligoninės iki Kleboniščio (21 pav.). Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi siekia 20,4 km. Šis maršrutas, kaip ir 18 ar 29 nemažą kelio dalį juda retai apgyvendintomis gatvėmis, kaip Jonavos ar Piliakalnio gatvė.

Kadangi maršrutas važiuoja mažiau apgyvendintoje zonoje, tad elektrinio variklio privalumai, kaip išmetamųjų dujų nebuvimas ir tylus darbas praranda savo naudą. Lyginant su 18 ar 29 maršrutu, šis maršrutas yra arčiau autobuso depo (20 pav.), tačiau skirtumas nėra labai didelis.



20. pav. 47 maršrutas, Onkologinė ligoninė - Kleboniškis kryptimi

Septintas maršrutas pagal ilgį yra 35 maršrutas. Maršrutas driekiasi nuo Onkologinės ligoninės iki Kleboniško (22 pav.).



21. pav. 35 maršruto atstumas iki autobusu depo

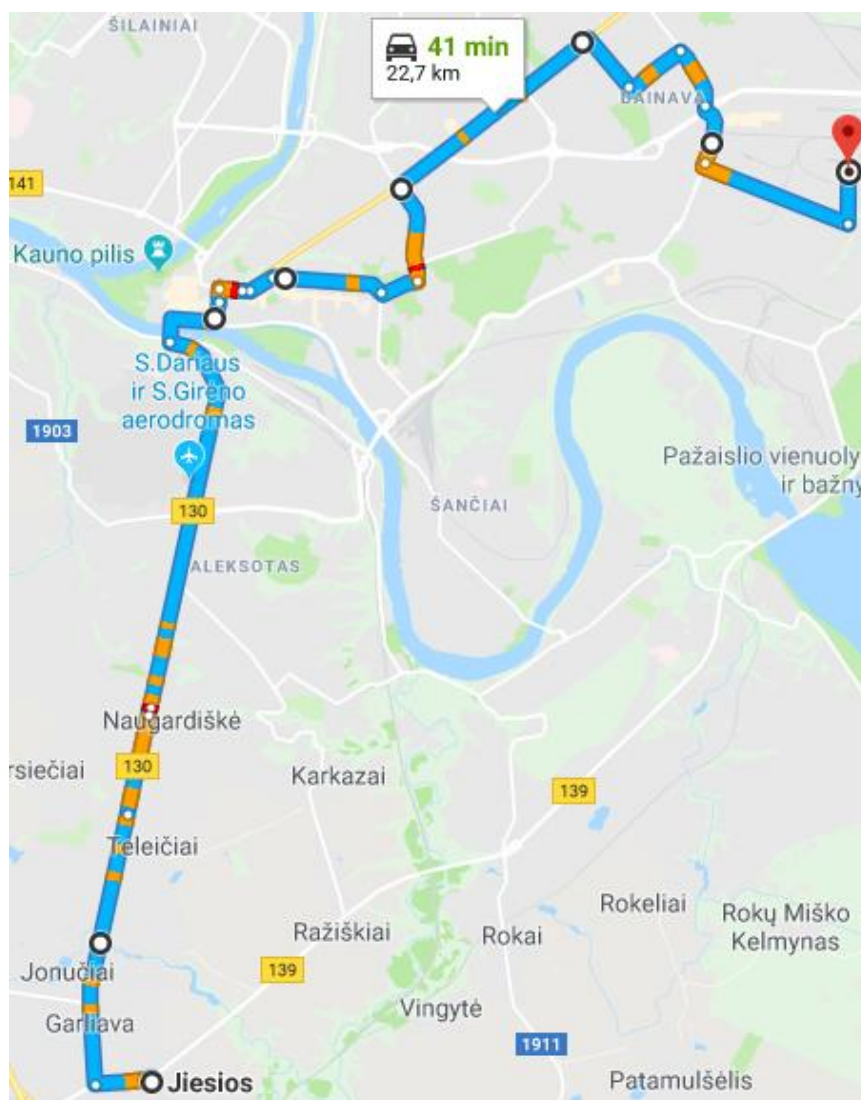
Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi siekia 20,4 km. Lyginant su 18 ar 29 maršrutu, šis maršrutas yra arčiau autobuso depo (22 pav.), tačiau skirtumas nėra labai didelis. Šio maršruto galinės stotelė yra bendra tik 3 maršrutams, veikiantiems darbo dienomis (Prezidento V. Adamkaus gimnazija stotelė). Be to, dalis maršruto driekiasi retai apgyvendintomis gatvėmis, kaip Europos prospektas ar Vytėnų gatvė. Visa tai nepadaro maršruto labiau patraukiu elektriniams autobusams, negu prieš tai nagrinėti maršrutai.



22. pav. 35 maršrutas, Vytėnai – Prezidento V. Adamkaus gimnazija kryptimi

6 maršrutas yra aštuntas pagal ilgį iš nagrinėjamųjų maršrutų. Maršrutas driekiasi nuo Garliavos iki Technikos gatvės (24 pav.). Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi siekia 23,5 km. Maršrutas nuo autobuso depo yra nutolęs tiek pat kaip ir 18 ar 29 maršrutai (12 pav.). Šio maršruto galinė Technikos gatvės stotelė yra bendra 4 maršrutams (6, 6G, 33, 36), veikiantiems darbo dienomis. Šis maršrutas netinka dėl tokių pačių trūkumų, kaip ir aptarti anksčiau 18 ar 29 maršrutai. Nors maršrutas eina per tankiai apgyvendintą Dainavos mikrorajoną bei miesto centrą, tačiau kita dalis maršruto driekiasi retai apgyvendintomis gatvėmis, kaip Veiverių gatvė ar Garliavos plentas, kur eismas juda greičiau

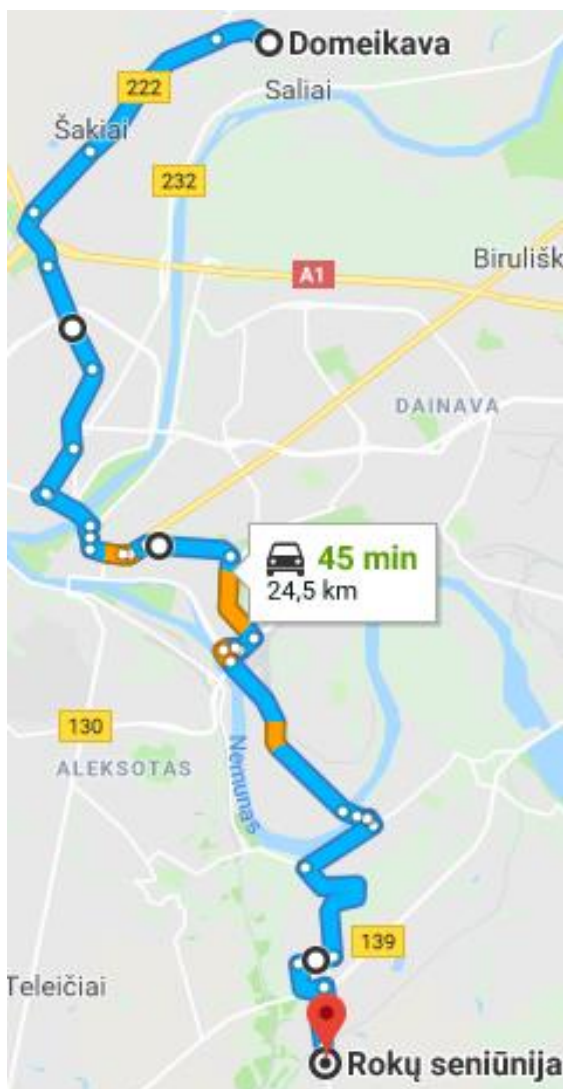
ir be dažnų sustojimų. Be to, maršrutas yra vienas iš ilgiausių nagrinėjamų maršrutų. Prieš tai nagrinėti maršrutai daugiau laiko praleidžia tankiai apgyvendintose gatvėse ir yra trumpesni. Visa tai padaro 6 maršrutą mažiau patraukiu elektriniams autobusams, negu prieš tai nagrinėti maršrutai.



23. pav. 6 maršrutas, Garliava – Technikos gatvė kryptimi

23 maršrutas yra vienas iš ilgiausių nagrinėjamųjų maršrutų. Maršrutas prasideda ir baigiasi Kauno priemiesčiuose, nuo Domeikavos iki Rokų (25 pav.). Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi siekia 24,2 km. Maršrutas nuo autobuso depo yra nutolęs tiek pat kaip ir 37 maršrutas (12 pav.). Šio maršruto galinė Rokų stotelė yra bendra tik maršrutams (23, 61), veikiantiems darbo dienomis. Šis maršrutas, kaip ir 6-asis, netinka dėl jau aptartų anksčiau trūkumų. Nors maršrutas eina per tankiai apgyvendintą Šilainių mikrorajoną bei miesto centrą, tačiau dalis maršruto driekiasi miesto priemiesčiuose, retai apgyvendintomis gatvėmis, kur eismas juda greičiau ir be dažnų sustojimų. Be to, maršrutas yra vienas iš ilgiausių nagrinėjamų maršrutų. Prieš tai nagrinėti maršrutai numatyti

tankiai apgyvendintose gatvėse ir yra trumpesni. Visa tai 23 maršrutą daro mažiau patraukliu elektriniams autobusams, negu prieš tai nagrinėti maršrutai.

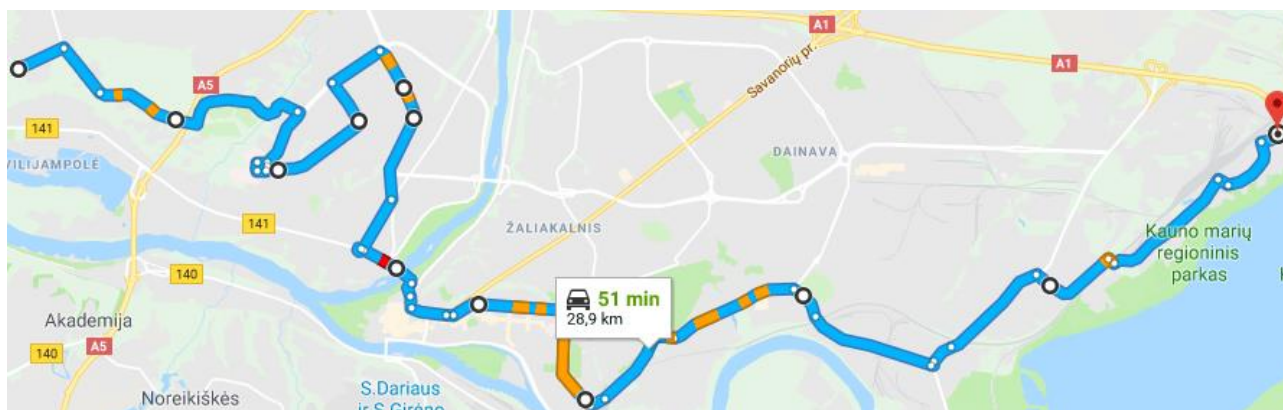


24. pav. 23 maršrutas, Domeikava – Rokai kryptimi

39 maršrutas yra ilgiausias nagrinėjamas maršrutas. Jis prasideda Medekšlės gatvės stotelėje, Romainių mikrorajone, ir baigiasi Palemono mikrorajone, Neveronių gatvės stotelėje (26 pav.). Vidutinis maršruto ilgis viena kryptimi siekia 24,2 km. Maršrutas nuo autobuso depo yra nutolęs tiek pat kaip ir 37 maršrutas (12 pav.). Šis maršrutas driekiasi per tankiai apgyvendintus Šilainių bei Petrašiūnų mikrorajonus. Be to, didžioji dalis maršruto eina miesto gatvėmis, tad atsiranda galimybė išnaudoti elektrinio autobuso privalumus, kaip regeneracinis stabdymas ir faktas, jog autobusas nevarato energijos jam stovint.

Tačiau šis maršrutas yra labai ilgas, be to, šio maršruto galinė Medekšlės stotelė yra bendra tik 2 maršrutams (17, 37), veikiantiems darbo dienomis, tad nebūtu naudinga montuoti autobusų krovimo

stočių šioje galinėje stotelėje. Visa tai 39 maršrutą daro mažiau patraukiau elektriniams autobusams, negu prieš tai nagrinėti maršrutai.

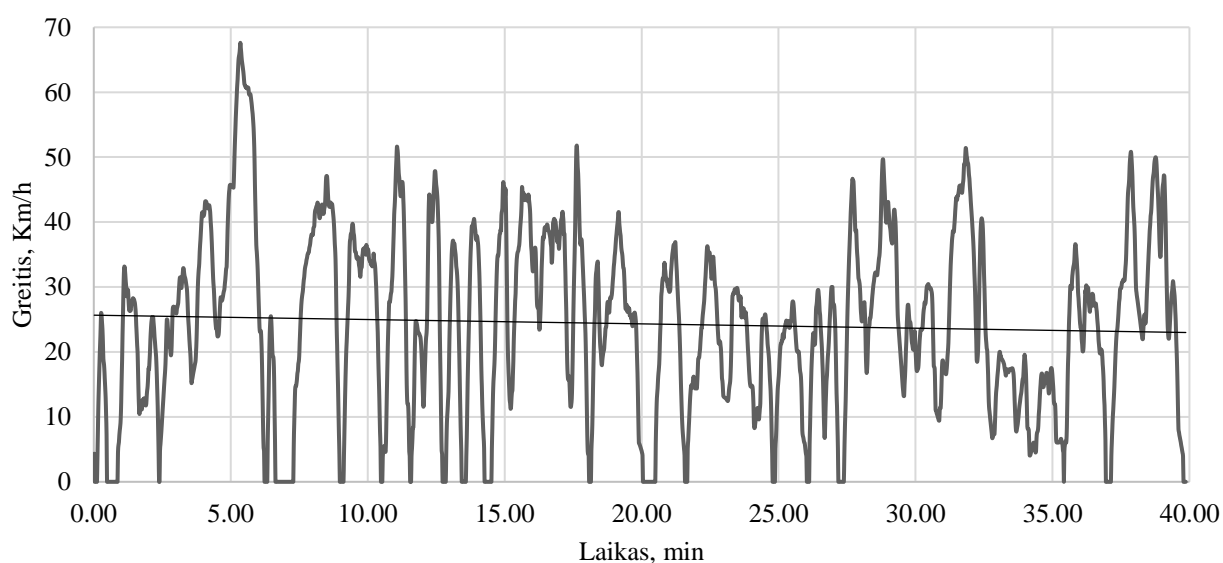


25. pav. 39 maršrutai, Domeikava – Rokai kryptimi

Apibendrinus visus maršrutus matyti, jog patraukliausi ir perspektyviausi elektriniams autobusams yra 37 ir 40 maršrutai. Jie abu juda centrinėmis miesto gatvėmis, turi bendrą galinę stotelę su keletu kitų maršrutų, yra netoli autobusų depo bei yra sąlyginai trumpi, lyginant su kitais maršrutais. Tačiau vidutinis 37-o maršruto ilgis viena kryptimi (16,1 km) yra mažesnis nei 40-ojo (17,1 km). Atsižvelgiant į tai, tyrimui buvo pasirinktas 37-asis maršrutai.

Atlikus tyrimą 37 maršrutu, buvo gauti duomenis apie autobuso nuvažiuotą atstumą, važiavimo greitį kiekvienu laiko momentu. Pagal gautus tyrimo rezultatus, galima matyti, kaip kito autobuso greitis, laiko atžvilgiu abejomis kryptimis.

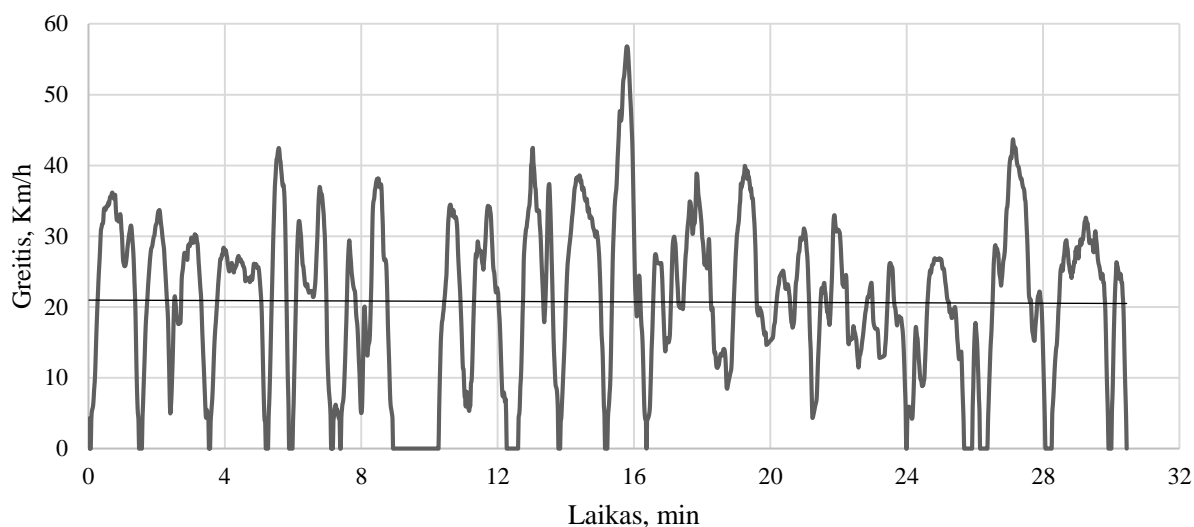
Greičio kitimas, Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė



26. pav. Greičio kitimas Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų g. kryptimi

Greičio kitimas grafikas, maršrutu Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatve, matomas 27 paveiksle, o 28 paveikslas vaizduoja maršruto, Partizanų gatve – Juozo Grušo meno gimnazija, greičio kitimo grafiką laiko atžvilgiu.

Greičio kitimas, Partizanų gatvė - Juozo Grušo meno gimnazija



27. pav. Greičio kitimas Partizanų g. - Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi

4 lentelė. Tyrimo metu gauti duomenys

Maršruto kryptis	Įveikimo laikas, min	Didžiausias išvystytas greitis, km/h.	Vidutinis greitis, km/h.
Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų g.	39,87	67,61	24,33
Partizanų g. - Juozo Grušo meno gimnazija	30,45	56,80	20,74
Vidurkis	35,16	62,21	22,54

Apibendrinus rezultatus matoma, jog vidutinis greitis visame maršrute yra 22,54 km/h. Didžiausias 67,61 km/h greitis pasiekiamas tik labai mažą laiko tarpą (žr. 27 pav.). Tai rodo, jog miesto transporte oro pasipriešinimas neturi didelės įtakos autobuso degalų sąnaudoms. Turint surinktus duomenis apie greičio kitimą, nuvažiuotą atstumą ir laiką, galima apskaičiuoti autobuso energines sąnaudas pasirinktame maršrute.

2.3 Autobuso energinių sąnaudų skaičiavimai

Atsižvelgiant į elektrinės transporto priemonės pavaros tipą, visą ar dalis automobilio baterijoje esančios energijos yra skirta transporto priemonės varomajai jėgai generuoti. Kadangi nagrinėjama pilnai elektrinė transporto priemonė, priimama, jog visa baterijos energija yra skirta priemonės varomajai jėgai. Kaip ir įprastose transporto priemonėse, elektrinio autobuso variklis turi tenkinti visas kelių sąlygas. Be to, elektrinės transporto priemonės turi būti su regeneracinius stabdžiais, kad būtų galima dalį kinetinės transporto priemonės energijos grąžinti į bateriją. Transporto priemonės greitėjimo pagreitį nulemia visos ją veikiančios jėgos. [28] Visa tai galima aprašyti antruoju Niutono dėsniumi (1 lygtis).

$$m \cdot a = F_T - \sum F_p \quad (1)$$

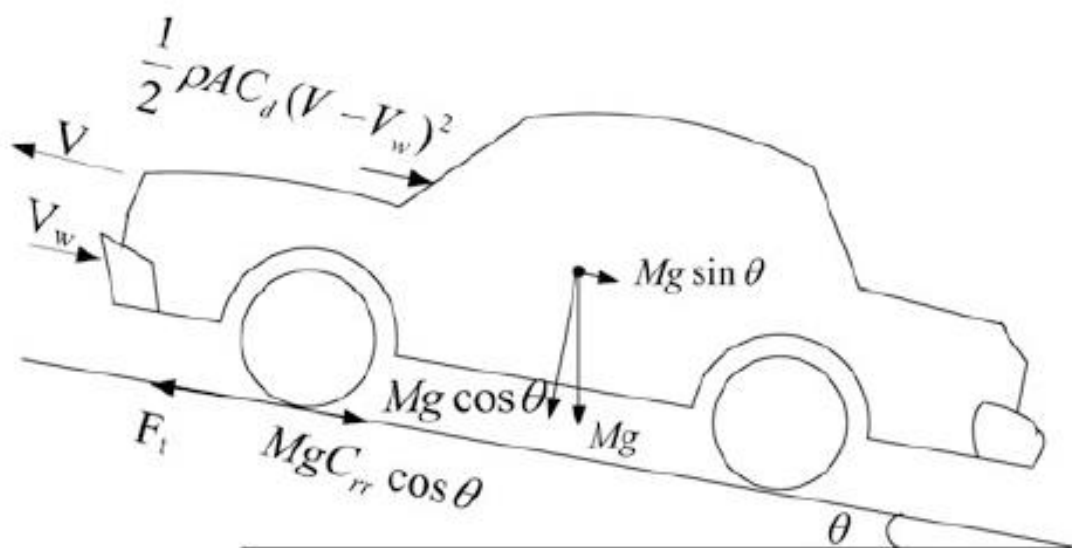
Kur,

m – visa transporto priemonės masė, kg;

a – transporto priemonės pagreitis, m/s^2 ;

F_T – visa traukos jėga, N;

$\sum F_p$ – visa pasipriešinimo jėga, N.



28. pav. Jėgos veikiančios transporto priemonę [28]

Pasipriešinimo jėgą paprastai susideda iš pasipriešinimo judėjimui jėgos, kuri atsiranda tarp padangų ir kelio paviršiaus, aerodinaminio pasipriešinimo ir pasipriešinimo važiavimui į įkalnę. Bendra pasipriešinimo jėga gali būti išreikšta 2 lygtimi.

$$\sum F_p = m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos \theta + \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_d (V - V_w)^2 + m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (2)$$

kur:

g – laisvo kritimo pagreitis, m/s^2 ;

C_{rr} – pasipriešinimo riedėjimui koeficientas;

ρ – aplinkos oro tankis, kg/m^3 ;

A – transporto priemonės vidinio plotas, m^2 ;

C_d – aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas;

V – transporto priemonės greitis, m/s ;

V_w – vėjo greitis, m/s ;

θ – įkalnės kampas, $^\circ$.

Visą traukos jėgą F_t (N) galima išreikšti 3-ąja lygtimi.

$$F_t = m \cdot a + m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos \theta + \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_d (V - V_w)^2 + m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3)$$

Galią P (W), reikalingą norint važiuoti greičiu V , galima apskaičiuoti naudojantis 4-ąja lygtimi.

$$P = F_t \cdot V = m \cdot a \cdot V + m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos \theta \cdot V + \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_d (V - V_w)^2 \cdot V + m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot V \quad (4)$$

Transporto priemonei esančiai ant lygaus kelio (kai įkalnės kampas $\theta = 0^\circ$) pradedant bėgėtis traukos galia pagrinde naudojama transporto priemonės bėgėjimuisi ir tam kas nugalėti pasipriešinimą judėjimui. Pasiekus norimą greitį, galia naudojama šiam greičiui palaikyti, nugalint pasipriešinimo judėjimui ir oro pasipriešinimo jėgas. Tyrimo metu greitis dažnai kinta, o transporto priemonės greitis yra mažas, tad vyrauja inercijos ir pasipriešinimo riedėjimui jėgos. Dėl šių priežasčių yra nepaisoma oro pasipriešinimo. Suprastinus galios lygtį, gauname:

$$P = F_t \cdot V = m \cdot a \cdot V + m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot V \quad (5)$$

Kadangi pagreitis yra greičio pokytis laike, o tyrimo metu gauti rezultatai kinta laike, 5-ąją formulę galima perrašyti taip:

$$P = m \cdot \left(\frac{V_i - V_j}{\Delta t} \right) \cdot (V_i - V_j) + m \cdot g \cdot C_{rrr} \cdot (V_i - V_j) \quad (6)$$

Kur:

V_i – dabartinis greitis, m/s²;

V_j – prieš tai buvęs greitis, m/s²;

Δt – laikas per kurį pakito greitis, s.

Norint rasti suvartojamos energijos kiekį E, naudojama sekanti formulė:

$$E = \frac{P \cdot t}{3600} \quad (7)$$

Kur:

E – energijos kiekis, Wh;

t – galios vartojimo laikas, s.

Regeneracinio stabdymo metu elektromobilio elektros variklis veikia kaip generatorius, paverčiantis transporto priemonės judėjimo kinetinę energiją į elektros energiją kuri krauną bateriją. Stabdymo galia išreiškiama lygtimi.

$$P_s = F_s \cdot V = m \cdot a_s \cdot V - m \cdot g \cdot C_{rrr} \cdot V \quad (8)$$

Kur:

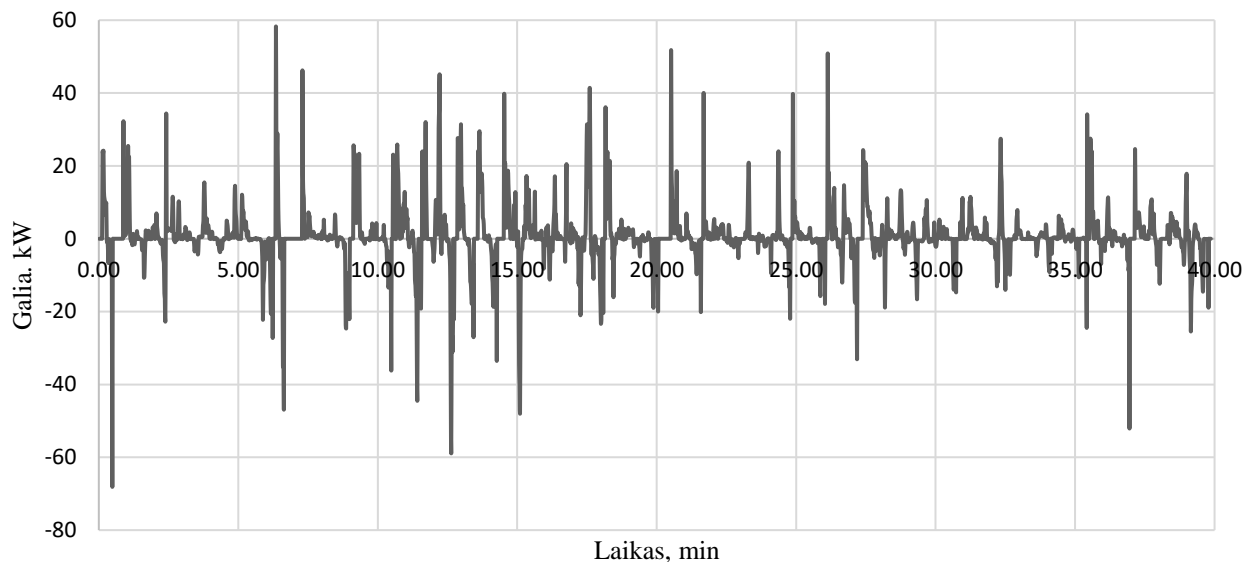
P_s – stabdymo galia, W;

F_s – stabdymo jėga, N;

a_s – transporto priemonės stabdymo pagreitis, m/s².

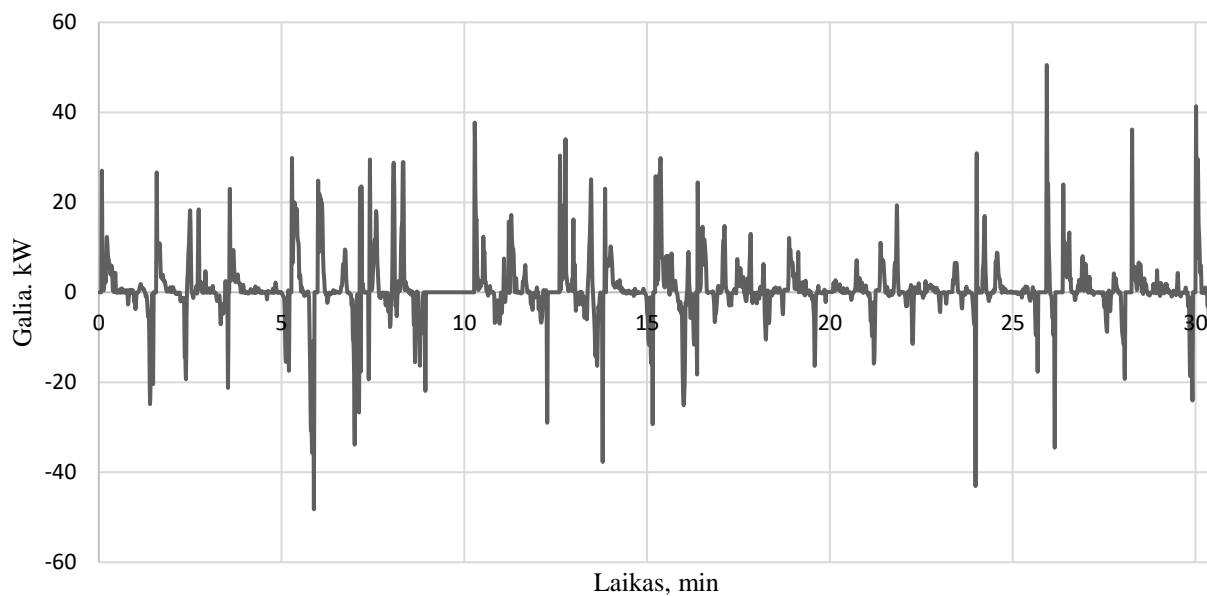
Naudojantis 6-ąja ir 7-ąja formulėmis, tyrimo rezultatais ir tyrimo metu dalyvavusio autobuso duomenimis, apskaičiuojamas galios poreikį kiekvienu laiko momentu. Galios kitimas laike, abejomis maršruto kryptimis, pavaizduotas 30-ame ir 31-ame paveiksluose.

Galios kitimas, Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė



29. pav. Galios kitimas Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė kryptimi

Galios kitimas, Partizanų gatvė - Juozo Grušo meno gimnazija



30. pav. Galios kitimas Partizanų gatvė – Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi

Esant teigiamai galiai, autobusas greitėja, o esant neigiamai, lėtėja. Teigiamą galią generuoja variklis, tuo tarpu stabdymo galia yra pagrinde generuojama autobuso stabdžių. Naudojantis gautais rezultatais galima rasti, kiek energijos yra sunaudoja transporto priemonė bei koks didžiausias galios poreikis įveikiant maršrutą abejomis kryptimis.

Didžiausias galios poreikis, Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė kryptimi, siekė 50,51 kW. Visa šia kryptimi suvartojama energija lygi 34,84 kWh.

Didžiausias galios poreikis, Partizanų gatvė – Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi, siekė 58,29 kW. Visa šia kryptimi suvartojama energija lygi 18,62 kWh.

Kadangi skaičiuojant buvo priimta, jog transporto priemonės važiuoja lygiu keliu, nebuvo įvertintas galios poreikis, norint įvažiuoti į įkalnę. 37 maršrutas, Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė kryptimi, turi įvažiuoti į statą įkalnę Parodos gatvėje. Šio kalno įkalnę gali siekti 10%. Naudojant 4-ąją formulę, bei priėmus, jog autobusas šia kryptimi važiuoja vidutiniu 24,33 km/h greičiu (žr. 4 lentelę), apskaičiuojama, jog įveikti šią įkalnę reikia 135,85 kW.

Bendras 37 maršruto suvartojamas energijos kiekis siekia 53,46 kWh. Žinant maršruto ilgį, apskaičiuotas vidutinis autobuso energijos suvartojimas vienam kilometrui, kuris lygus 1,66 kWh/km.

Vadovaujantis atlikto tyrimo duomenimis [18], miesto sąlygomis, nevertinant baterijos ir elektrinės pavaros efektyvumo, regeneracinių stabdymu galima susigražinti iki 57% stabdymo energijos. Naudojantis prieš tai pateiktais duomenis apskaičiuotas energijos kiekis, sunaudotas stabdant. Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų gatvė kryptimi jis siekia 29,86 kWh, o į baterija sugražinama 17,03 kWh. Partizanų gatvė – Juozo Grušo meno gimnazija kryptimi jis siekia 16,46 kWh, o į baterija sugražinama 9,38 kWh. Bendrai, abejomis kryptimis stabdant sunaudojama 46,32 kWh, o susigražinti įmanoma 26,41 kWh.

Įvertinus regeneracinį stabdymą, energinės sąnaudos sumažėja nuo 53,46 kWh iki 27,05 kWh, o autobuso energijos kiekis, sunaudojamas vienam kilometrui, sumažėja nuo 1,66 kWh/km iki 0,83 kWh. Visi skaičiavimų rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Skaičiavimų rezultatai

Maršruto kryptis	Juozo Grušo meno gimnazija – Partizanų g.	Partizanų g. - Juozo Grušo meno gimnazija	Vidutinės reikšmės	Viso
Didžiausias įsibėgėjimo pagreitis, m/s ² .	1,72	1,60	1,66	-
Didžiausias stabdymo pagreitis, m/s ² .	-2,02	-1,71	-1,87	-
Didžiausias galios poreikis, kW.	135,85	58,29	97,07	-
Suvartotas energijos kiekis, kWh.	34,84	18,62	26,73	53,46
Susigražinamos energijos kiekis, kWh.	17,03	9,38	13,21	26,41
Suvartotas energijos kiekis, įvertinant regeneracinį stabdymą, kWh.	17,81	9,24	13,53	27,05
Vidutinis suvarotos energijos kiekis vienam km, nevertinant regeneracinio stabdymo, kWh/km.	2,03	1,24	1,66	-
Vidutinis suvarotos energijos kiekis vienam km, vertinant regeneracinį stabdymą, kWh/km.	1,03	0,62	0,83	-

Iš 5-oje lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog norint įveikti šį maršrutą, reikia jog autobuso variklis generuotu bent 135,85 kW. Viena kryptimi autobusui vidutiniškai reikia 26,73 kWh elektros energijos, o vidutinės autobuso energinės sąnaudos vienam kilometrui siekia 1,64 kWh. Įvertinus regeneracinį stabdymą, šios elektros energijos sąnaudos autobusui vidutiniškai sumažėja iki 13,53 kWh, o vidutinės autobuso energinės sąnaudos vienam kilometrui sumažėja iki 0,83 kWh.

2.4 Dyzelinio ir elektrinio autobusų degalų sąnaudų palyginimas

Norint palyginti tradicinių ir elektrinių autobusų sąnaudas, reikia žinoti, kokios yra šių autobusų energinės sąnaudos vienam nuvažiuotam kilometrui. Naudojantis atlikto tyrimo duomenimis priimta, jog tradiciniam autobusui nuvažiuoti 1 km reikia 1,66 kWh. Autobuso Scania N230 variklis, dirbdamas 1500 aps./min greičiu suvartojęs 206g degalų, sugeneruoja 1 kWh energijos. Naudodami šiuos duomenis apskaičiuojame, jog autobuso degalų sąnaudas, kurios siekia 341,96 g/km. Tyrimo duomenimis [29], dyzelino tankis, esant 25° aplinkos temperatūrai, vidutiniškai yra 0,83 kg/L. Tad degalų kiekis litrais, reikalingas nuvažiuoti 1 km, lygus 0,41 l. Priėmus, jog mažiausia dyzelinio kaina tyrimo metu yra 1,07 Eur/L [30], vieno km kaina, važiuojant dyzeliniu autobusu yra 0,44 Eur.

Elektrinio autobuso suvartotos energijos kainą apskaičiuoti yra lengviau nei dyzelinio. Tyrimo metu elektros tiekėjo „ESO“ duomenimis, vienos kilovatvalandės kaina yra 0,078 Eur, esant 2 laiko zonų planui [31]. Priimama, jog autobusas yra kraunamas nakties metu. Žinant elektros energijos kainą, gaunama elektrinio autobuso energinės sąnaudos vienam kilometrui kaina, kuri yra 0,13 Eur. Įvertinus regeneracinį stabdymą (žr. 5 lentelę), vieno km kainą sumažėtu iki 0,07 Eur.

Vienas 37 maršruto autobusas, per darbo dieną, maršrutą įveikia 8 kartus. Žinant maršruto ilgi ir darbo dienų skaičių metuose (258 dienos), apskaičiuojamas nuvažiuojamas kilometrų skaičius per darbo dieną bei metus. Per darbo dieną maršrutu vienas autobusas nuvažiuoja 257,6 km, o per metus nuvažiuojama 66460,8 km.

Žinant maršruto kilometro kainą, kiek per dieną ir per metus, darbo dienomis, nuvažiuoja 37 maršruto autobusas, galima apskaičiuoti, kiek kainuoja šio autobuso sudeginti degalai bei kokia būtų elektrinio autobuso suvartotos elektros energijos kaina. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Dyzelinio ir elektrinio autobuso palyginimas

Autobusas	Dyzelinis	Elektrinis	Elektrinis su regeneraciniais stabdžiais
Degalų sąnaudos vienam km	0,41 L	1,66 kWh	0,83 kWh
Degalų/suvartotos energijos kaina vienam kilometrui, Eur.	0,44	0,13	0,07
Nuvažiuojamas atstumas per dieną, km	257,6	257,6	257,6
Per dieną suvartotų degalų/energijos kaina, Eur.	113,34	33,49	18,03
Nuvažiuojamas atstumas per metus, km	66460,8	66460,8	66460,8
Per metus suvartotų degalų/energijos kaina, Eur.	29242,75	8639,90	4652,26

Palyginus dyzelinio autobuso ir elektrinio autobuso vieno kilometro kainą, matomas akivaizdus skirtumas. Elektrinio autobuso nuvažiuojamo kilometro kaina skiriasi 3,38 karto. Įvertinus regeneracinius stabdžius, kainos skirtumas išauga iki 6,29 karto. Pakeitus nagrinėjamo maršruto dyzeliniu varomą autobusą elektriniu, per metus galima būtų sutaupyti 20602,85 Eur, o įvertinus regeneracinį stabdymą, ši suma išaugtų iki 24772,49 Eur.

2.5 Alternatyvių autobusų palyginimas

Šiuo metu didžioji dalis autobusų gamintojų siūlo ar jau testuoja elektrinių autobusų prototipus. Kadangi elektriniai autobusai gali nuvažiuoti ribotą atstumą, daugelis tokių autobusų yra skirti važinėti miesto gatvėmis. Šiame poskyryje apžvelgiami siūlomi elektriniai autobusai. Šie autobusai yra standartinio 12 ilgio, tokio pat, kaip ir tyrimo metu dalyvavusio autobuso. Be to, šių autobusų galia turi būti didesnė už 135,85 kW (žr. 5 lentelę).

Palyginimui pasirinkti trijų gamintojų, 12 metrų ilgio, elektriniai autobusai, kurių variklio galios svyruoja nuo 153 iki 160 kW. Šių autobusų duomenys pateikti 7-oje lentelėje.

7 lentelė. Elektrinių autobusų duomenys [32] [33] [34]

Gamintojas	Modelis	Degalų rūšis	Galimi įkrovimo būdai	Baterijų talpa, kWh	Variklio galingumas, kW.	Keleivių skaičius autobuse
Soliaris	Urbino 12 electric	Elektra	<ul style="list-style-type: none"> • Induktyvus krovimas • Pantografas • Laidinis 	Nuo 50 iki 240	160	85 (210 kWh)
Volvo	7900 Electric	Elektra	<ul style="list-style-type: none"> • Induktyvus krovimas • Pantografas 	76	160	105
VDL	Citea SLF-120 Electric	Elektra	<ul style="list-style-type: none"> • Pantografas • Laidinis 	Nuo 63 iki 180	153	100 (63kWh)

Mažiausia galima baterijos talpa yra „Volvo“ elektriniame autobuse. Ji siekia 76 kWh. Šis autobusas pritaikytas būti kraunamu savo maršrute, vienu iš krovimo būdu. Dėl mažos talpos, jo interjeras geriau optimizuotas, tad talpina daugiausiai keleivių (105 keleiviai). Nagrinėtam maršrutui, viena kryptimi, nevertinant regeneracinio stabdymo, vidutiniškai reikia 26,73 kWh energijos, (žr. 5 lentelę). Šis skaičius gali padidėti, nes vertinamas energijos kiekis reikalingas judėjimui, tačiau baterijos talpos pakanka įveikti atstumą iki galinės stotelės. Šis autobusas būtų tinkamiausias, jei greito krovimo stotys būtų įrengtos galinėse stotelėse.

APIBENDRINIMAS

Šiame darbe ištirtos elektrinės pavaros panaudojimo galimybės miesto tipo autobusuose. Vienas iš svarbiausių elektrinės pavaros elementų yra elektros variklis. Lyginant jį su vidaus degimo varikliu, elektros variklis yra labiau pritaikytas miesto transportui. Jis neturi tuščios eigos, gali veikti kaip generatorius, kuris sugrąžina dalį energijos stabdymo metu. Be to, jis į aplinką tiesiogiai neišmeta jokių išmetamųjų dujų bei dirba tyliai.

Baterijos yra šiuo metu labiausiai išvystytas ir plačiausiai prieinamas elektros variklių energijos tiekimo šaltinių, tačiau jų energinis tankis (0,2-0,3 kWh/kg) yra mažesnis, nei dyzelino, kuris turi 12,7 kWh/kg energijos tankį. Dėl šios priežasties elektros pavaroms krauti naudojami įkrovikliai, kurių galia greito įkrovimo metu siekia 450 kW. Šiuo metu didžiausias elektrinių autobusų parkas Europoje yra Nyderlanduose. Autobusai šiame depe dienos metu stacionariai įkraunami greituoju įkrovimu (35–45 min.), o naktimis – lėtuoju (4–5 val.), o įkrovimui naudojami pantografai.

Išanalizavus Kauno miesto viešo transporto maršrutus, 37-asis maršrutas buvo pasirinktas, kaip tinkamiausias maršrutas elektriniai pavarai. Jis eina per miesto centrą bei tankiai apgyvendintus miesto mikrorajonus, tad elektrinis autobusas važiuodamas šiuo maršrutu sumažina keliamą triukšmą ir oro užterštumą mieste. Nedidelis atstumas leidžia autobusui turėti mažesnės talpos baterija, tad autobusas sveria mažiau ir talpina daugiau keleivių. Galinė stotelė yra bendra 4 maršrutams, tad įrengus krovimo stotį bendroje stotelėje, ateityje būtų galima autobusus pakeisti elektriniais ir kituose maršrutuose.

Atlikus tyrimą pasirinktu maršrutu ir išmatavus autobuso greitį kiekvienu laiko momentu, buvo apskaičiuota reikalinga galia ir energinės sąnaudos, reikalingos įveikti maršrutą abejoms kryptimis. Maršrutui įveikti, autobuso variklis turi generuoti bent 135,85 kW galią. Vidutinis energijos kiekis, reikalingas nuvažiuoti iki galinės stotelės yra 26,73kWh, o vieno kilometro energijos sąnaudos siekia 1,66 kWh. Įvertinus regeneracinį stabdymą, šios elektros energijos sąnaudos autobusui vidutiniškai sumažėja iki 13,53 kWh, o vidutinės autobuso energinės sąnaudos vienam kilometrui sumažėja iki 0,83 kWh.

Palyginus dyzelinio autobuso ir elektrinio autobuso vieno kilometro kainą, matomas akivaizdus skirtumas. Elektrinio autobuso nuvažiuojamo kilometro kaina skiriasi 3,38 karto. Įvertinus regeneracinius stabdžius, kainos skirtumas išauga iki 6,29 karto. Pakeitus nagrinėjamo maršruto dyzelinu varomą autobusą elektriniu, per metus galima būtų sutaupyti 20602,85 Eur, o įvertinus regeneracinį stabdymą, ši suma išaugtų iki 24772,49 Eur.

Remiantis reikalinga galia, bei energijos sąnaudomis maršrute, kaip alternatyva dabartiniams dyzeliniams autobusams, buvo pasiūlytas Volvo 7900 Eleccric elektrinis miesto autobusas.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Apžvelgti svarbiausi elektrinės pavaros elementai, jų tipai. Išnagrinėti elektrinės pavaros energijos saugojimo prietaisai bei jų krovimo būdai. Apžvelgti kitų šalių pavyzdžiai, integruojant elektrines transporto priemones į viešąjį transportą.
2. Išanalizavus Kauno miesto viešo transporto maršrutus, 37-asis maršrutas buvo pasirinktas, kaip tinkamiausias maršrutas elektriniai pavarai. Jis eina per miesto centrą bei tankiai apgyvendintus miesto mikrorajonus, vidutinis maršruto ilgis iki galutinės stotelės siekia 16,1 km, galinė stotelė yra bendra 4 maršrutams.
3. Atlikus tyrimą pasirinktu maršrutu ir išmatavus autobuso greitį kiekvienu laiko momentu, buvo apskaičiuota reikalinga galia ir energinės sąnaudos, reikalingos įveikti maršrutą abejoms kryptimis. Maršrutui įveikti, autobuso variklis turi generuoti bent 135,85 kW galią. Vidutinis energijos kiekis, reikalingas nuvažiuoti iki galinės stotelės yra 26,73kWh, o vieno kilometro energijos sąnaudos siekia 1,66 kWh. Įvertinus regeneracinį stabdymą, šios elektros energijos sąnaudos autobusui vidutiniškai sumažėja iki 13,53 kWh, o vidutinės autobuso energinės sąnaudos vienam kilometrui sumažėja iki 0,83 kWh.
4. Palyginus eksperimento metu naudoto autobuso išlaidas su alternatyvaus elektrinio autobuso vartojamos elektros energijos kaina, gauta jog elektrinis autobusas vieną kilometrą gali nuvažiuoti 0,31 Eur pigiau nei dyzelinis, o įvertinus regeneracinį stabdymą, šis skirtumas išauga iki 0,37 Eur. Per metus būtų galima sutaupyti 20602,85 Eur eksploatacinių išlaidų, skirtų degalams, o įvertinus regeneracinį stabdymą, ši suma išaugtų iki 24772,49 Eur.
5. Remiantis reikalinga galia, bei energijos sąnaudomis maršrute, kaip alternatyva dabartiniams dyzeliniams autobusams, buvo pasiūlytas Volvo 7900 Electric elektrinis miesto autobusas.

Literatūros sąrašas

1. M.P. Keuken, S. Jonkers, H.L.M. Verhagen, L. Perez, S. Trueb, W.-J. Okkerse, J. Liu, X.C. Pan, L. Zheng, H. Wang, R. Xu, C.E. Sabel. Impact on air quality of measures to reduce CO₂ emissions from road traffic in Basel, Rotterdam, Xi'ai and Suzhou. In Atmospheric Environment [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier 2014, 434-441 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.024>
2. Europos šalių ketinimai uždrausti vidaus degimo varikliu miesto centruose [interaktyvus]. Independent, 2017 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.independent.co.uk/news/world/paris-copenhagen-oxford-ban-petrol-diesel-cars-emissions-pollution-nitrogen-dioxide-a8000596.html>
3. Adomavičius V. Elektromobiliai ir jų plėtros perspektyvos. Tarptautinis inovacinis taikomųjų mokslų darbų žurnalas. Klaipėdos universitetas. 2011, p. 105-117.
4. Joeri Van Mierlo, Peter Van den Bossche, Gaston Maggetto. Models of energy sources for EV and HEV: Fuel cells, batteries, ultracapacitors, flywheels and engine-generators [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier 2003, 76-89 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jpowsour.2003.09.048>
5. David JC MacKay. Sustainable Energy – without the hot air. UIT Cambridge 2009. ISBN 978-0-9544529-3-3
6. M. Emre, P. Vermaat, D. Naberezhnykh, Y. Damausius, T. Theodoropoulos, V. Cirimele and A. Doni. Review of existing power transfer solutions [interaktyvus]. FABRIC, 2014 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: https://www.fabric-project.eu/images/Deliverables/FABRIC_D33.1_V1_20141215_Review_of_existing_solutions_PUBLIC.pdf
7. Induktyvaus krovimo pavyzdys [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: <https://3c1703fe8d.site.internapcdn.net/newman/gfx/news/hires/2014/electricbuse.jpg>
8. „Siemens“ stacionari įkrovimo stotelė naudojanti pantografą [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/innovation/pictures-of-the-future/2016/mobility-and-motors/photos/im2016080940mo.jpg.adapt.916.high.jpg/1480603919313.jpg>
9. Dinaminio įkrovimo pavyzdys Švedijos greitkelyje [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <http://thepitgroup.com/wp-content/uploads/2017/06/3.png>
10. B. Warner, O. Augé and A. Moglestue. Taking Charge. ABB Review, 2014, 64-69.

11. Tesla super kroviklio duomenys [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: <https://electrek.co/2016/07/20/tesla-supercharger-capacity-increase-145-kw/>
12. M. Yilmaz P. T. Krein. Review of Charging Power Levels and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles. In Electric Vehicle Conference. Greenville, IEEE, 2012 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1109/IEVC.2012.6183208>
13. Siemens krovimo stočių parametrai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility/road-solutions/electromobility/ebus-charging.html>
14. Išorinis laidinis įkroviklis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: http://www.europegogreen.eu/images/portfolio/e12-double-recharge_system.jpg
15. Wenxia Liu, Shuya Niu, Huiting Xu and Xiaoying Li. A New Method to Plan the Capacity and Location of Battery Swapping Station for Electric Vehicle Considering Demand Side Management [interaktyvus]. 2016, 1-15 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3390/su8060557>
16. Elektrinių autobusų išmanaus krovimo, baterijų keitimo ir saugojimo stotis Kinijoje [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <http://www.xjgc.com/html/files/2016-08/02/20160802182937153372271.jpg>
17. S.J. Clegg. A Review of Regenerative Braking Systems [interaktyvus]. University of Leeds, 1996, 1-15. [žiūrėta 2018-05-22]. Prieiga per: http://eprints.whiterose.ac.uk/2118/1/ITS105_WP471_uploadable.pdf
18. Deborah Perrotta, Bernardo Ribeiro, Rosaldo J. F. Rossetti, Joao L. Afonso. On the potential of regenerative braking of electric buses as a function of their itinerary [interaktyvus]. 2012, 7-10 [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.830>
19. Nulinių emisijų projekte dalyvaujantys Europos miestai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <http://zeus.eu/demonstrations-activities/demonstrations>
20. Autobusų įkrovimas „Hermes“ autobusų depe, naudojant pantorafus [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <http://zeus.eu/uploads/the-buses-during-the-charging-and-pre-heating-of-the-battery.jpg>
21. Kauno viešojo transporto maršrutai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.stops.lt/kaunas/>
22. DL1 SPORT duomenų kaupiklio parametrai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.race-technology.com/wiki/index.php/DL1Sport/TechSpecification>
23. DL1 SPORT duomenų kaupiklis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.race-technology.com/wiki/uploads/DL1/DL1Front.gif>
24. Tiriamo autobuso parametrai pagal vin kodą [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <http://en.vindecoder.pl/YS2N4X20001855169>

25. Tiriamo autobuso variklio parametrai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <http://www.silencair.com/documents/industrie/scania/moteurs-industriels-16-litres-documentation-technique.pdf>
26. Tyrime naudotas SCANIA N230UB autobusas [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: https://farm5.staticflickr.com/4123/4790984404_34af23a88b_b.jpg
27. Kauno miesto centru važiuojantys autobusai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14]. Prieiga per: <https://www.kvt.lt/wp-content/uploads/2018/01/Kaunui-MAP-2018.01.03.pdf>
28. Garcia-Valle, R. and J.A. Pecas Lopes. Electric Vehicle Battery Technologies. In: *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks*. New York: Springer Science+Business Media, 2013, pp.15-19. ISBN: 978-1-4614-0133-9.
29. Carl Schashaschke, Isobel Fletcher and Norman Glen. Density and Viscosity Measurement of Diesel Fuels at Combined High and Elevated Temperature [interaktyvus]. *Processes*, 2013, pp. 44-45. ISSN 2227-9717.
30. Dyzelino kainų kitimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: http://www.degalukainos.lt/degalu-kainu-statistika?date_from=2018-04-01&date_to=2018-05-01&fuel_id=3
31. Elektros kainą vienai kilovatvalandei [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiem-kainuoja-elektra-2017-m..html>
32. Elektrinio autobuso „Solaris“ parametrai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: [http://www.oradea.ro/fisiere/module_fisiere/26259/1\)%20RO_Solaris_Electric_2017_RO-1.pdf](http://www.oradea.ro/fisiere/module_fisiere/26259/1)%20RO_Solaris_Electric_2017_RO-1.pdf)
33. Elektrinio autobuso „Volvo“ parametrai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: <https://www.volvobuses.co.uk/en-gb/our-offering/buses/volvo-7900-electric/specifications.html>
34. Elektrinio autobuso „VDL“ parametrai [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-14] Prieiga per: https://kollektivtrafikk.no/wp-content/uploads/2017/03/VDL_Michel-Dekker.pdf