



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje plėtros tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Aurimas Šlekonis
Projekto autorius

doc. Rolandas Makaras
Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje plėtros tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Aurimas Šlekonis

Projekto autorius

doc. Rolandas Makaras

Vadovas

doc. Darius Juodvalkis

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Aurimas Šlekonis

Elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje plėtros tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Aurimo Šlekonio, baigiamasis projektas tema „Elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje plėtros 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)



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studentui(-ei) *Aurimui Šlekoniui*

1. Baigiamojo projekto tema:

Elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje plėtros tyrimas.

Research of electric vehicle charging station network development in Lithuania.

2. Projekto tikslas:

Ištirti elektromobilių įkrovimo stotelių Lietuvoje plėtros poreikį ir galimybes.

3. Projekto uždaviniai:

1) Atlikti darbui aktualios literatūros analizę.

2) Parengti ir atlikti apklausą, kuri suteiktų duomenis apie elektromobilių judumą užmiestyje, išanalizuoti gautus rezultatus.

3) Ištirti elektromobilių dabartinio įkrovimo tinklo funkcionalumą ir pateikti darnios tinklo plėtros variantus.

4) Prognozuoti elektromobilių įkrovimo stotelių poreikį Lietuvoje 5 metų laikotarpiui ir atlikti palyginimą su užsienio šalimis.

4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

Literatūros apžvalga, tyrimo objekto ir metodikos aprašai, rezultatų analizė ir palyginimas.

5. Projekto konsultantai:

-

Baigiamojo projekto autorius

Aurimas Šlekonis

(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)

Baigiamojo projekto vadovas

doc. Rolandas Makaras

(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programų vadovas

prof. Artūras Keršys

(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)

Aurimas Šlekonis. Elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje plėtros tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: elektromobiliai, greito įkrovimo stotelės, įkrovimo tinklas, įkrovimo infrastruktūra, anketa, apklausa, optimalus maršrutas, keliaujančio pirklio problema, Voronojaus diagramos, Delaunè trianguliacijos, prognozavimas.

Kaunas, 2020. 75 p.

Santrauka

Šiame darbe buvo atskleistas elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo plėtros poreikis ir galimybės Lietuvoje. Pirmiausia, buvo apžvelgta Lietuvos elektromobilių įkrovimo infrastruktūra mikro (stotelės koncepcija, tipai ir charakteristikos, įrengimas, gedimai) ir makro (tinklo analizė ir jo ateities perspektyvos pagal LAKD ir valstybinius dokumentus) lygmeniu, pateiktas Norvegijos palyginamasis pavyzdys. Apžvelgti panašūs moksliniai darbai. Įvertinus dabartinę Lietuvos įkrovimo tinklo situaciją ir pabrėžiant greito įkrovimo stotelių trūkumo problemas, o taip pat remiantis moksliniais straipsniais, buvo apžvelgti metodai toms problemoms spręsti. Gilinantis į darbo metodiką ir rezultatus, buvo parengta vieša apklausa apie užmiestinį judumą elektromobilių naudotojų bendruomenės nariams, kurioje sudalyvavo 54 respondentai. Apklausoje rezultatuose išryškėjo greito įkrovimo stotelių trūkumas rytinėje Lietuvos dalyje. Tęsiant tyrimus, buvo sudarytas optimalus maršrutas per Lietuvos didmiesčius pagal keliaujančio pirklio problemą, o lyginant šio maršruto įveikimą tradiciniu automobiliu ir elektromobiliu, paaiškėjo, kad elektromobilis jį įveiktų gerokai ilgiau nei tradicinis automobilis, dėl greito įkrovimo stotelių trūkumo vakarinėje Lietuvos dalyje. Atitinkamai, pagal anksčiau gautus rezultatus, kurie byloja apie greito įkrovimo stotelių trūkumą, Lietuvos rytuose ir vakaruose, pateikiami tinklo plėtros variantai pagal Voronojaus diagramas ir Delaunè trianguliacijas - 6 naujos greito įkrovimo stotelės Rokiškyje/Kupiškyje, Ignalinoje, Varėnoje/Valkininkuose, Šakiuose, Šilutėje, Mažeikiuose. Galiausiai buvo pateiktos greito įkrovimo stotelių tinklo plėtros prognozės 5 metų laikotarpiui Lietuvoje pagal populiacijos metodiką (aritmetinio, geometrinio ir inkrementinio didėjimo), eksponentinį išlyginimą ir kitų šalių tendencijas. Siekiant įvertinti prognozavimo būdų tikslumą, buvo atliekamas grįžtamasis patikrinimas ir vidutinių procentinių absoliutinių paklaidų įvertinimas). Palyginus prognozes, paaiškėjo, kad patikimiausia ir tinkamiausia Lietuvai buvo pagal populiacijos inkrementinio didėjimo metodą, nurodanti 332 vnt. greito įkrovimo stoteles. Apibendrinus darbą ir palyginus jį su panašiais moksliniais darbais, buvo pateiktos galutinės išvados.

Aurimas Šlekonis. Research of electric vehicle charging station network development in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Rolandas Makaras; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: electric vehicles, fast charging stations, charging network, charging infrastructure, form, survey, optimal route, traveling salesman problem, Voronoi diagrams, Delaunay triangulations, forecasting.

Kaunas, 2020. 75 p.

Summary

This paper revealed the need and possibilities for the development of the network of electric car charging stations in Lithuania. First, Lithuanian charging infrastructure of electric vehicles at the micro (station concept, types and characteristics, installation, failures) and macro (network analysis and its future perspectives according to LAKD and state documents) levels was reviewed, and a comparative example from Norway is presented. Similar scientific papers are reviewed. After assessing the current situation of the Lithuanian charging network and highlighting the problems of the lack of fast charging stations, as well as based on scientific articles, the methods for solving these problems were reviewed. Going deeper into the methodology and results of the work, a public survey on extra urban mobility for members of the electric car user community was conducted with the participation of 54 respondents. The survey results highlighted the lack of fast charging stations in the eastern part of Lithuania. Continuing the research, the optimal route through Lithuanian biggest cities was created according to the traveling salesman problem, and after comparing how a traditional car and an electric car overcomes this route, it turned out that an electric car would take it much longer than a traditional car due to lack of fast charging stations in western Lithuania. Respectively, according to the previously obtained results, which testify to the lack of fast charging stations in the east and west of Lithuania, network development options according to Voronoi diagrams and Delaunay triangulations are presented - 6 new fast charging stations in Rokiškis/Kupiškis, Ignalina, Varėna/Valkininkai, Šakiai, Šilutė, Mažeikiai. Finally, forecasts for the development of a network of fast charging stations for a period of 5 years in Lithuania were presented according to the population methodology (arithmetic, geometric and incremental growth), exponential smoothing and trends in other countries. To assess the accuracy of the prediction methods, back-testing and estimation of the mean percentage absolute errors were performed. Comparing the forecasts, it became clear that the most reliable and suitable for Lithuania was according to the method of incremental population growth, indicating 332 units of fast charging stations. After summarizing the work and comparing it with similar scientific works, the final conclusions were presented.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	13
1.1. Elektromobilių įkrovimo stotelių ir jų tinklo analizė	13
1.1.1. Lietuvos stotelių analizė	13
1.1.2. Lietuvos tinklo analizė ir jo plėtros poreikis	19
1.1.3. Lietuvos tinklo ateities perspektyvos	21
1.1.4. Norvegijos pavyzdys	24
1.2. Mokslinių darbų ir metodikų apžvalga.....	26
1.2.1. Panašūs moksliniai darbai	26
1.2.2. Metodikų rinkimasis remiantis moksliniais darbais	28
2. TYRIMO OBJEKTO IR METODIKOS APRAŠAI.....	31
2.1. Elektromobilių užmiestinio judumo anketa.....	31
2.1.1. Anketos sudarymo principai.....	31
2.1.2. Sudarytos anketos apžvalga.....	32
2.2. Įkrovimo stotelių tinklo funkcionalumas.....	33
2.2.1. Optimalaus maršruto sudarymas pagal keliaujančio pirklio problemą	33
2.2.2. Optimalaus maršruto įveikimo laikas.....	36
2.2.3. Delaunė trianguliacijų ir Voronojaus diagramų panaudojimas įkrovimo stotelių tinklo analizei.....	37
2.3. Prognozavimas	40
2.3.1. Patikimumo vertinimo metodika	40
2.3.2. Populiacijos metodika	41
2.3.3. Eksponentinis išlyginimas	43
2.3.4. Kitų šalių tendencijų metodika.....	44
3. REZULTATŲ ANALIZĖ IR PALYGINIMAS.....	46
3.1. Respondentų nuomonės analizė	46
3.2. Elektromobilių įkrovimo tinklo funkcionalumo tyrimas.....	52
3.2.1. Optimalus maršrutas elektromobiliu per Lietuvos didmiesčius	52
3.2.2. Optimalaus maršruto įveikimo laiko elektromobiliu ir tradiciniu automobiliu palyginimas	54
3.2.3. Įkrovimo stotelių tinklo plėtros variantai	55
3.3. Elektromobilių greito įkrovimo stotelių plėtros prognozavimas.....	60
3.3.1. Pagal populiacijos metodiką.....	60
3.3.2. Pagal eksponentinį išlyginimą.....	61
3.3.3. Pagal kitų šalių tendencijų metodiką.....	64
3.3.4. Prognozių palyginimas	66
4. DARBO APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS.....	68
Išvados	69
Literatūros sąrašas	70
Priedai.....	73
1 priedas. Elektromobilių skaičių prognozės.....	73
2 priedas. Anketos forma ir rezultatai	74

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. A1 kelio greito įkrovimo stotelių sąrašas.....	20
2.1 lentelė. Miestų ir atstumų tarp jų sąrašas [22]	33
2.2 lentelė. Sudaryta funkcinė lentelė.....	35
2.3 lentelė. Grįžtamojo patikrinimo pavyzdys.....	40
2.4 lentelė. Kitų šalių tendencijų metodikos taikymo pavyzdys	45
3.1 lentelė. Gauta modifikuota funkcinė rezultatų lentelė.....	52
3.2 lentelė. Prastovų laikas įkraunant elektromobilį	54
3.3 lentelė. Tradicinio automobilio ir elektromobilio maršruto įveikimo laikų palyginimas.....	55
3.4 lentelė. Naujos greito įkrovimo stotelės tinklo plėtrai.....	59
3.5 lentelė. Korekcijos faktoriaus nustatymas	63

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Tesla elektromobilis kraunasi Vievio stotelėje.....	13
1.2 pav. Vievio įkrovimo stotelės infrastruktūra [1]	14
1.3 pav. Jungčių tipai.....	15
1.4 pav. Preliminarių įkrovimo taškų ruožų žemėlapis [4].....	16
1.5 pav. Transformatorių pastotės Lietuvoje (110 kV ir 35 kV) [5]	17
1.6 pav. Ženklas, informuojantis apie netoliese esančią įkrovos prieigą [4].....	17
1.7 pav. Stotelių veikimo statusas pagal [6]	18
1.8 pav. Lietuvos greito įkrovimo stotelių tinklas [7]	19
1.9 pav. A1 kelio greito įkrovimo stotelių tinklas [8]	20
1.10 pav. Preliminarios naujų įkrovos taškų įrengimo vietos pagal LAKD (2019 m.) [6]	22
1.11 pav. Greitojo įkrovimo stotelių išdėstymas pagal EPGS [9].....	23
1.12 pav. Pagrindinių kelių žemėlapis, kuriame turėtų būti išdėstyta įkrovimo infrastruktūra pagal „Enova“ projektą [12].....	25
1.13 pav. Greito įkrovimo stotelių paplitimas Norvegijoje pagal metus [12]	25
1.14 pav. Užmiestinės įkrovimo stotelės dislokavimo metodo žingsniai (CS – kandidatinė vieta, IP – įdiegimo potencialas) [14].....	26
1.15 pav. Siūlomo modelio loginis srautas [15]	27
1.16 pav. Voronojaus diagramų pavyzdys [16].....	29
1.17 pav. Įmonių pardavimų prognozavimo pasirinkimai [19].....	30
2.1 pav. Anketos sudarymo nuoseklumas [20].....	31
2.2 pav. Anketos fragmentas (sudaryta pagal [21]).....	32
2.3 pav. Artimiausio kaimyno algoritmas (sudaryta pagal [23]).....	34
2.4 pav. Viešų greitųjų įkrovos prieigų žemėlapis [6] (2020 m.).....	35
2.5 pav. Šluojančios tiesės metodo vizualizacija.....	38
2.6 pav. Geometrinės demonstracijos programos funkcinis langas [27].....	38
2.7 pav. „Ghost It“ programos veikimo fragmentas (sudaryta pagal [28])	39
2.8 pav. Naujos įkrovimo stotelės lokacija („Solidworks“ programoje).....	39
2.9 pav. Pasikliautinumo intervalo demonstravimas [34]	44
3.1 pav. Respondentų eksploatuojamų elektromobilių modeliai.....	46
3.2 pav. Respondentų eksploatuojamų elektromobilių tipai.....	46
3.3 pav. Respondentų gyvenamoji vieta.....	47
3.4 pav. Tipiniai respondentų maršrutai (sudaryta pagal [36]).....	48
3.5 pav. Respondentų vidutinis nuvažiuojamas atstumas per savaitę (Pareto diagrama).....	49
3.6 pav. Įkrovimų skaičius per savaitę užmiestinėse įkrovos stotelėse	49
3.7 pav. Nuomonė apie užmiestinių įkrovimo stotelių kiekį.....	50
3.8 pav. Prastovos užmiestinėse įkrovimo stotelėse.....	50
3.9 pav. Įkrovimo laikas užmiestinio įkrovimo stotelėse	51
3.10 pav. Respondentų apibendrintos nuomonės apie užmiestinę įkrovimo infrastruktūrą tipas	51
3.11 pav. Gauto optimalaus maršruto žemėlapis (žalias apskritimas – pradžios ir pabaigos vieta; žali brūkšniai – vietos, kuriose buvo kraunamasi; juodos rodyklės – nurodo važiavimo kryptį; juodi atstumai – nurodo kiek buvo nuvažiuota kilometrų iki įkrovimo; raudoni kryžiuokai – nurodo nevažiuotą atkarpą; raudonos linijos – nurodo atkarpų korekciją).....	53
3.12 pav. Tradicinio automobilio ir elektromobilio maršruto įveikimo laikų palyginimo grafikas..	55
3.13 pav. Įkrovimo stotelių žemėlapis su Voronojaus diagramomis ir Delaunė trianguliacijomis...	56
3.14 pav. Šiaurės rytų, rytų ir pietryčių Lietuvos įkrovimo stotelių plėtros variantai.....	57

3.15 pav. Šiaurės vakarų, vakarų ir pietvakarių Lietuvos įkrovimo stotelių plėtros variantai	58
3.16 pav. Lietuvos nacionalinis greitojo įkrovimo stotelių tinklas su papildomomis naujomis stotelėmis (sudaryta pagal [6])	59
3.17 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių tikslumas pagal grįžtamąjį patikrinimą (populiacijos metodika).....	60
3.18 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių vidutinė procentinė absoliutinė paklaida (populiacijos metodika).....	61
3.19 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozė Lietuvoje 2025 metams pagal populiacijos prognozavimo inkrementinio didėjimo metodą.....	61
3.20 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių tikslumas pagal grįžtamąjį patikrinimą (eksponentinis išlyginimas)	62
3.21 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių vidutinė procentinė absoliutinė paklaida (eksponentinis išlyginimas)	63
3.22 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozė Lietuvoje 2025 metams pagal eksponentinį išlyginimą	64
3.23 pav. Greito įkrovimo stotelių paskutinių 5 metų augimo tendencijos.....	64
3.24 pav. Pagrindinių šalies rodiklių palyginimas.....	65
3.25 pav. Prognozė pagal Nyderlandų greitojo įkrovimo stotelių skaičių augimo tendencijas.....	66
3.26 pav. Greito įkrovimo stotelių Lietuvoje 2025 metais prognozių palyginimas	67

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

EV – elektromobilis, elektros variklis;

BEV – grynasis elektromobilis;

PHEV – kištukinis elektromobilis;

VDV – vidaus degimo variklis;

LR – Lietuvos Respublika;

EPGS – elektromobilių plėtros galimybių studija;

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija;

MAPE – vidutinė procentinė absoliutinė paklaida;

AC – kintamoji srovė;

DC – nuolatinė srovė;

WLTP – pasaulinė darnioji lengvųjų automobilių bandymo procedūra;

EPA – Jungtinių Amerikos Valstijų aplinkos apsaugos agentūra;

EI – eksponentinis išlyginimas;

Doc. – docentas;

Prof. – profesorius.

Terminai:

Grįžtamasis patikrinimas – patikimumo vertinimo metodas, pagrįstas kiekybiškai įvertintų rizikos parametrų verčių lyginimu su atitinkamomis faktinėmis vertėmis [29].

Įvadas

Susisiekimas šiuolaikiniam žmogui yra būtinybė, būtent dėl to sparčiai ir itin plačiai išsivystė transporto sektorius, dėl ko savo ruožtu ekologinė situacija pasaulyje suprastėjo. Siekiant taršos mažinimo, visame pasaulyje auga elektromobilių populiarumas, ne išimtis ir Lietuva. Nors ir esame ganėtinai toli nuo kitų perspektyvių šalių rodiklių, tačiau pastaraisiais metais valstybinės ir kitos suinteresuotos institucijos stengiasi gan konservatyvios nuomonės visuomenei sudaryti sąlygas elektromobilių paplitimui įsibėgėti. Vienas iš svarbesnių aspektų, kuris gali ženkliai prisidėti – tai viešojo elektromobilių greitojo įkrovimo stotelių tinklo plėtra, kas ir yra pagrindinė šio tiriamojo darbo tema. Šiame darbe bus tiriama kuriose Lietuvos regionuose yra didžiausias greitojo įkrovimo stotelių stygius, dėl kurio susisiekimas tuose regionuose elektromobiliu gali sukelti nepatogumus. Atitinkamai pagal minėtus regionus, bus pateiktos naujos greitojo įkrovimo stotelių lokacijos, kurios užtikrintų geresnes elektromobilių užmiestinio judumo sąlygas. Taip pat, numatant greitojo įkrovimo stotelių tinklo plėtos poreikį, bus pateikta greitojo įkrovimo stotelių skaičiaus prognozė Lietuvoje 5 metų laikotarpiui iki 2025 metų.

Darbo tikslas – ištirti elektromobilių įkrovimo stotelių Lietuvoje plėtos poreikį ir galimybes.

Darbo uždaviniai:

- 1) Atlikti darbui aktualios literatūros analizę.
- 2) Parengti ir atlikti apklausą, kuri suteiktų duomenis apie elektromobilių judumą užmiestyje, išanalizuoti gautus rezultatus.
- 3) Ištirti elektromobilių dabartinio įkrovimo tinklo funkcionalumą ir pateikti darnios tinklo plėtos variantus.
- 4) Prognozuoti elektromobilių įkrovimo stotelių poreikį Lietuvoje 5 metų laikotarpiui ir atlikti palyginimą su užsienio šalimis.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Elektromobilių įkrovimo stotelių ir jų tinklo analizė

1.1.1. Lietuvos stotelių analizė

Įkrovimo stotelės koncepcija

Kaip žinia, elektromobilio įkrovimas užtrunka gerokai ilgiau, nei degalų atsargų papildymas, todėl vairuotojui, palikusiam krautis savo transporto priemonę, turi būti sudarytos geros sąlygos turiningai ir komfortiškai praleisti laiką.

Ką įprastai veikia vairuotojas, atvažiavęs įsikrauti elektromobilį ar pasipildyti degalų? Ilgesnis vairavimas yra ganėtinai monotoniškas, todėl pirmiausiai vairuotojas atsikvepia nuo kelionės, prasivaikšto, lengvai prasimankština. Toliau viskas pagal individualius poreikius. Įprastos tendencijos būtų šios: nueiti į tualetą, parūkyti, pavalgyti, atsigerti arbatos ar kavos ir t. t.

Elektromobilio įkrovos stotelėje turėtų būti civilizuota aplinka: parduotuvė, užkandinė, pramogų ir laisvalaikio zona. Stotelę įrengti tuščioje aikštelėje ar plikame lauke būtų neteisingas sprendimas, todėl, kad vairuotojas ir keleiviai paprasčiausiai neturės veiklos kol jų t. p. bus įkraunama. Stotelės lokacija turi būti paženklinta specialiais KET ženklais ir ženklinimais. Privažiavimas iki jos turi būti patogus, asfaltuotas ir saugus. Visa stotelės erdvė turi būti sutvarkyta ir reguliariai prižiūrima bei stebima.

Kaip pavyzdį, apžvelkime Vievio elektromobilių įkrovos stotelę:



1.1 pav. Tesla elektromobilis kraunasi Vievio stotelėje

Iš 1.1 pav. matyti, kad elektromobilio įkrovos stotelė įrengta tvarkingoje, asfaltuotoje aikštelėje. Yra numatytos ženklintos vietos dviem elektromobiliams. Prie stotelės pastatytas ženklas, informuojantis apie įkrovos taško vietą bei atstumą, rezervuotą elektromobiliams. Kelyje A1, taip pat pastatyti paslaugų ženklai, nurodantys įkrovos stotelės vietą. Virš pačios stotelės įrengtas apšvietimo žibintas, skirtas patogiai įsikrauti esant tamsiuoju paros metu. Kiek toliau, už antrojo automobilio, yra

tvarkingas tualetas. Vienas iš trūkumų – šioje stotelėje nėra stoginės. Ši ir dauguma kitų stotelių yra surištos su tinklapiu „eismoinfo“, kuriame talpinama informacija apie krovimo vietų užimtumą, stotelės veikimo sąlygas. Prie stotelių visuomet pateikiami telefono numeriai greitam susisiekimui.



1.2 pav. Vievis įkrovimo stotelės infrastruktūra [1]

Vievis yra beveik pusiaukelėje kelio A1 atkarpoje Vilnius-Kaunas. Tai labai strategiškai patogi vieta. Iki Kauno centro yra maždaug 66 km, o iki Vilniaus centro maždaug 40 km. Kaip matyti 1.2 pav., aplinkui 500 m spinduliu yra nemažai vietų, kuriose elektromobilio įkrovos stotelės naudotojai gali praleisti laiką. Prie pat yra viešojo maitinimo įstaiga „Bilduko virtuvė“, perėjus per pėsčiųjų tiltą į kitą kelio pusę, galima apsipirkti prekybos centre „MAXIMA“, apsilankyti „Kelių muziejuje“ arba pavalgyti kitose maitinimo įstaigose kaip „Sėkmės užeiga“ ir „Dolce Amor“. Esant netikėtam gedimui, įkrovos zonoje yra automobilių servisas. Nenorint toli nukeliauti, laiką praleisti galima apšviestoje poilsio ir pramogų zonoje, kur yra keli staliukai su suoliukais, vaikų žaidimo aikštelė.

Apibendrinant galima teigti, kad elektromobilio įkrovos stotelė turi būti įrengta šalia civilizuotų vietų arba aplink ją pačią turi būti suplanuota infrastruktūra, kuriose naudotojai galėtų turiningai praleisti laiką, belaukdami kol jų t. p. pasikraus.

Įkrovimo stotelių tipai ir jų charakteristikos

Elektromobilių įkrovimo stotelių išskirstymas pagal paskirtį (galingumą) [2]:

- 1) Įkrovimas gyvenamojoje vietoje (lėtas, iki 3,5 kW).
- 2) Vidutinės galios įkrovimas, įkrovimas parkavimo vietoje (greitesnis, iki 22 kW).
- 3) Labai greitas įkrovimas viešose įkrovimo stotelėse (apie 50 kW).
- 4) Greičiausias įkrovimas (iki 120 kW ir daugiau) arba akumuliatorių sukeitimas.

Pirmieji du įkrovimai vyksta naudojant kintamąją elektros srovę. Trečiajam gali būti naudojama ir kintama, ir nuolatinė elektros srovė. Ketvirtuoju – tik nuolatinė. Bet kokiu atveju į akumuliatorių tiekama elektros srovė turi būti nuolatinė, todėl net ir įkraunant kintamąją srovę, ji turi būti konvertuojama į nuolatinę.

Pirmuoju atveju (1 – lėtas) elektromobiliai dažniausiai kraunami privačiai, gyvenamojoje vietoje arba prie jos. Tam užtenka 220V buitinio elektros lizdo „Schuko“. Šiuo atveju priimamas srovės stipris

įprastai yra nuo 10 A iki 16 A (vienfazė). Pagal paprastas formules nesunku apskaičiuoti, jog maksimali srovė gaunama apie 3 500 W (3,5 kW). Tarkime, populiarus pirmosios kartos „Nissan Leaf“, kuris turi 24 kWh talpos akumuliatorių bateriją, teoriškai pasikrautų per ~7 valandas. Žinoma yra nemažai svarbių sąlygų, kad įkrovimas būtų sklandus, pvz.: rozetę - ji turi būti tvarkinga, laidai nepažeisti, tinkamo skerspjūvio, rozetė turi turėti įžeminimą. Esant norui ir poreikiui, namie galima įsirengti ir didesnės galios įkrovimo stotelę. Akivaizdu, kad toks krovimas gali būti naudingas tik paliekant automobilį krautis ilgiau, jo nenaudojant dienos metu arba nakčiai. Būtent gyvenamojoje vietoje elektromobilis yra kraunamas daugiausiai per visą jo eksploataavimo laikotarpį.

Antruoju atveju (2 – greitesnis) elektromobilio įkrovimas yra orientuotas į vietas šalia darbovietės, prekybos centrų ir kitų traukos objektų, įprastai miesto prieigose. Tokio įkrovimo idėja – vairuotojui sukurti galimybę atlikti elektromobilio įkrovimą tuo metu, kai jis užsiima kita veikla. Jis yra panašus į lėtą, tik naudojama didesnė elektros srovė, kitos jungtys („Type 1“ arba „Type 2“). Jeigu naudoti trifazę elektros srovę, galią galima padidinti iki 22 kW, o įkrovimas truktų kiek daugiau nei 1 valandą.

Trečiuoju atveju (3 – labai greitai) įkrovimo stotelės įprastai įrengiamos su tokia intencija išlaikyti ilgesnės kelionės vientisumą, kad naudotojas įsikrautų elektromobilį kuo greičiau ir galėtų tęsti savo kelionę be didesnių prastovų. Būtent tokio tipo stotelės yra valstybinės reikšmės keliuose ir kitose vietose, kur numatytas didelis elektromobilių srautas. Šiame darbe apžvelgiamos būtent tokio tipo stotelės. Pasinaudojus „CHAdEMO“ DC 50 kW jungtimi, minėtasis „Nissan Leaf“ galėtų pasikrauti per mažiau nei pusvalandį, tačiau viskas priklauso nuo pačio elektromobilio maksimalios priimanos srovės galios, nuo temperatūros, taip pat reikia nepamiršti, kad įkrova nuo 0 % iki 80 % vyksta maksimalia galia, o likę 20 % kraunama lėčiau.

Ketvirtas įkrovimo tipas (4 - greičiausias) Lietuvoje dar nėra praktikuojamas. Jis turėtų suteikti galimybes didžiąją dalį elektromobilių įkrauti per mažiau nei 15 min (tiekiant iki 120 kW galios) arba per kelias minutes sukeisti akumulatorius iš išseikvoto į pilnai įkrautą.

Pagrindiniai jungčių tipai labai greito įkrovimo stotelėse Lietuvoje [2]:

- 1) „Type 2“ (AC).
- 2) „CHAdEMO“ ir „CCS Combo“ (DC).



1.3 pav. Jungčių tipai

1.3 pav. pateikti minėti pagrindiniai jungčių tipai (atitinkamai iš kairės į dešinę). Kintamos srovės „Type 2“ pagrinde skirta Europos rinkai (pvz.: „VW e-Golf“, „BMW i3“). Nuolatinės srovės „CHAdEMO“ yra skirta japonų, prancūzų rinkai (pvz.: „Nissan Leaf“, „KIA“, „Renault“, per

perėjimą naudoja ir „Tesla“), o „CCS Combo“ – europietišškai rinkai. Nors teorinės galimybės tai leidžia, bet įkrauti du elektromobilius yra ganėtinai nepatogu. Jeigu vienu metu naudojamos abi DC jungtys, tuomet krenta abiejų jungčių įkrovimo galia – elektrinės t. p. kraunasi ilgiau. Vienu metu naudojant vieną kintamosios srovės jungtį „Type 2“, o kitą nuolatinės srovės „CHAdEMO“ arba „CCS Combo“, įkrovimo procesas ganėtinai sklandus. Žinoma, įkrovimo paskirstymas priklauso ir nuo abiejų elektromobilių specifikacijų bei aplinkos sąlygų.

Pagrindiniai Lietuvos elektromobilių stotelių gamintojai [2]:

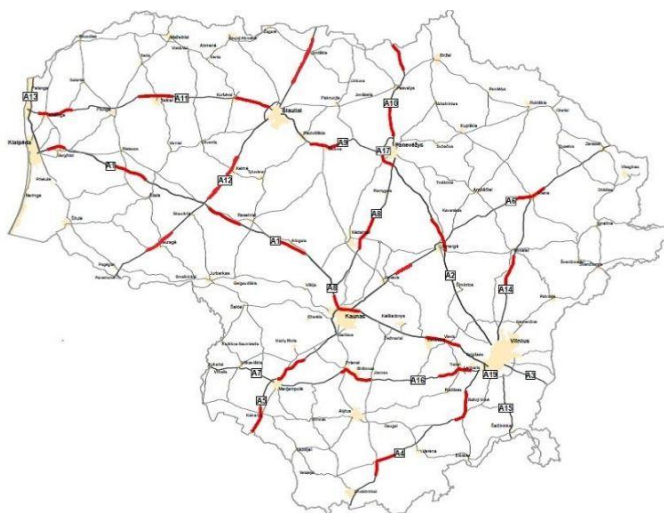
- 1) „ABB“ / Šveicarija (LAKD, „LIDL“),
- 2) „EFACEC“ / Portugalija („Ignitis ON“),
- 3) „DBT“ / Prancūzija („Autopildyk“),
- 4) „Delta“ / Tailandas („Renega“).

Kiekvieno gamintojo stotelės specifikacijos gali skirtis ir jos dažniausiai nėra viešai atskleidžiamos, tačiau standartai išlieka tie patys, tarkime – jungčių tipai. Priklausomai nuo operatorių, įkrovimas yra arba mokamas arba nemokamas. Pavyzdžiui, šiuo metu nemokamą siūlo LAKD ir „LIDL“, o „Ignitis ON“ – mokamas (0,20-0,35 eur./kWh) [3].

Įkrovimo stotelių įrengimas

Pasak LAKD vyr. specialisto Andriaus Teškevičiaus, viešos didelės galios elektromobilio stotelės įrengimas yra ganėtinai komplikotas procesas. Kaip pavyzdys, bus apžvelgtas LAKD elektrinių t. p. įkrovimo stotelės įrengimas.

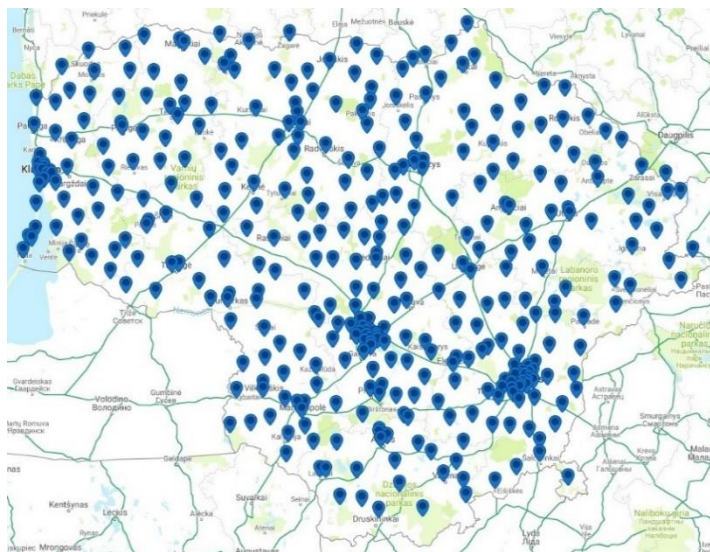
Pirmiausia, kelių direkcijos specialistai nusprendžia, kurioje vietoje ar kuriame kelyje reikia įrengti stotelę. Vėliau detalizuojama pačios stotelės lokacija, parenkamos kelios potencialios vietos, orientuojamasi į valstybines žemes, kad nereikėtų perpirkti iš privačių asmenų. Atsižvelgiama į sąlygą, jog stotelės svarbiausiuose keliuose turėtų būti įrengiamos kas 40-50 km bei į kitus LR susisiekimo ministro įsakymo dėl viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros gairių patvirtinimo [4] punktus (pvz.: 1.4 pav. pateiktą preliminarinių įkrovimo taškų ruožų žemėlapi).



1.4 pav. Preliminarinių įkrovimo taškų ruožų žemėlapis [4]

Toliau šios vietos perduodamos „Lietuvos energijos“ įmonių grupės atstovei „ESO“, kurios darbuotojai paskaičiuoja elektros atvedimo kainą nuo artimiausios transformatorių pastotės iki suplanuotos vietos apskaitos skydo. Įprastai yra skaičiuojama kaina už metrą. Elektros atvedimas

kainuoja iki 5 tūkst. eurų. Tačiau buvę tokių atveju, kai pasirinktoje vietoje stotelės įrengimas strategiškai buvo būtinas, o elektros kabelis turėjo būti pravedamas 15 km atstumu, kas labai pabrangino elektros atvedimo galutinę kainą (Klaipėdos apskrityje). 1.5 pav. pateikiamas transformatorių pastočių žemėlapis – akivaizdu, jog tinklas yra labai tankus ir elektros atvedimas iki suplanuotos elektromobilių įkrovimo stotelės neturėtų sukelti nepatogumų.



1.5 pav. Transformatorių pastotės Lietuvoje (110 kV ir 35 kV) [5]

Sekantis etapas – įrenginio montavimas. LR automobilių kelių direkcija šiuo metu renka „ABB“ gamintojo stoteles. Pats įkrovos įrenginys kainuoja apie 25 tūkst. eurų, jam suteikiama 5 metų garantija nuo pirkimo.

Paskutinis etapas yra galutinis įkrovos taško infrastruktūros parengimas – privažiavimo, aikštelės asfaltavimas, minimaliai 4 vnt. KET ženklų įrengimas (ženklo pavyzdys pateikiamas 1.6 pav.), parkavimo vietų ženklinimas ir kiti numatyti darbai. Svarbus reprezentacinis įkrovos stotelės elementas – stoginė. Jos įrengimas kainuoja apie 10 tūkst. eurų. Jos pagrindinė funkcija – apsaugoti įrenginį nuo aplinkos veiksnių (tiesioginės saulės, lietaus, sniego) bei atkreipti dėmesį.



1.6 pav. Ženklas, informuojantis apie netoliese esančią įkrovos prieigą [4]

Galutinė naujos kelių direkcijos įkrovos stotelės įrengimo suma – maždaug 50-70 tūkst. eurų. Žinoma, kitų rangovų kainos ir įrengimo algoritmas, metodika galis stipriai skirtis, tačiau nereikia pamiršti, kad viskas priklauso nuo užduodamų sąlygų, kurios valstybinei institucijai yra ganėtinai griežtos ir tikslios.

Įkrovimo stotelių gedimai

Pasak LAKD vyr. specialisto Andriaus Teškevičiaus, įkrovimo taškų gedimų likvidacijos metodika skiriasi garantinėms ir negarantinėms stotelėms.

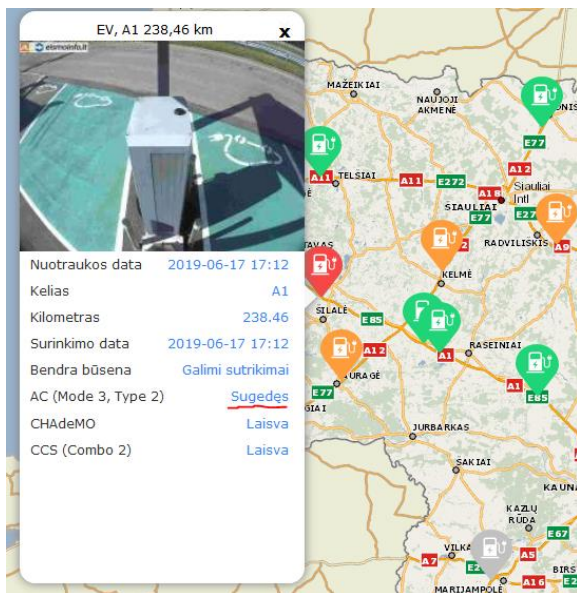
Tarkime, jeigu sugenda garantinė „ABB“ stotelė, rangovas privalo pradėti gedimą šalinti per 24 valandas. Operatorius, šiuo atveju kelių direkcija, gavusi informaciją apie neveikiančią stotelę, tik praneša „ABB“ atstovui Lietuvoje, o tolimesni gedimo eliminavimo procesai vyksta ganėtinai greitai ir operatyviai.

Visai kita situacija, kuomet sugenda negarantinė stotelė. Jų šiuo metu yra dvi – Vievio ir Elektrėnų. Užfiksavus įkrovos taško gedimą, pirmiausia yra surenkama informacija apie jo pobūdį. Vėliau yra skelbiamas viešasis konkursas, kuriame pasirenkama įmonė, atliksianti stotelės remontą. Kaip taisyklė, sugedusių detalių užsakymas gali būti ganėtinai ilgas. Apibendrinant visą procesą, gedimo pašalinimas gali užtrukti iki 2 mėnesių.

Dažniausiai genda negarantinės stotelės, kadangi jos yra pasenusios. Taip pat minėtosios Vievio ir Elektrėnų stotelės neturi stoginių, kas skatina gedimus nuo tiesioginių aplinkos sąlygų. Vienoje iš jų buvo fiksuotas ekrano gedimas, dėl to, kad saulėtu metu beveik visą dieną jis yra veikiamas tiesioginių saulės spindulių. Kitoje pasitaikė galios modulio gedimas. Buvo ne kartą sulaužyti kištukų laikikliai.

Pagrindinė priežastis, dėl kurios „ABB“ stotelės nustoja veikti, yra nuotėkių relė, kuri saugo nuo srovės nutekėjimo. Ji suveikia esant drėgnam kištukui arba automobilio rozetei, taip pat jeigu naudotojas neatsakingai padeda kištuką į savo vietą, o jis nukrenta į sniegą ar ant šlapios dangos. Vienose stotelėse pašalinus minėtus trikdžius, pvz.: išdžiovinus jungtis, relę galima rankiniu būdu „atmesti“ kaip automatinį saugiklį. Kitose tenka susisiekti su „ABB“ Lietuvos atstovu, kuris savo ruožtu susisiekia su olandų techniniu skyriumi. Jie atlikę tam tikrus testus ir įsitikinę, kad viskas tvarkinga, nuotoliniu būdu perkrauna relę.

Pasitaiko atvejų, kai naudotojai nežinodami, tiesiog paspaudžia avarinį išjungimo mygtuką baigę krovimo sesiją. Taip pat stotelė gali tam tikrais momentais neveikti dėl nereguliariai paleidžiamų programinės įrangos atnaujinimų.



1.7 pav. Stotelių veikimo statusas pagal [6]

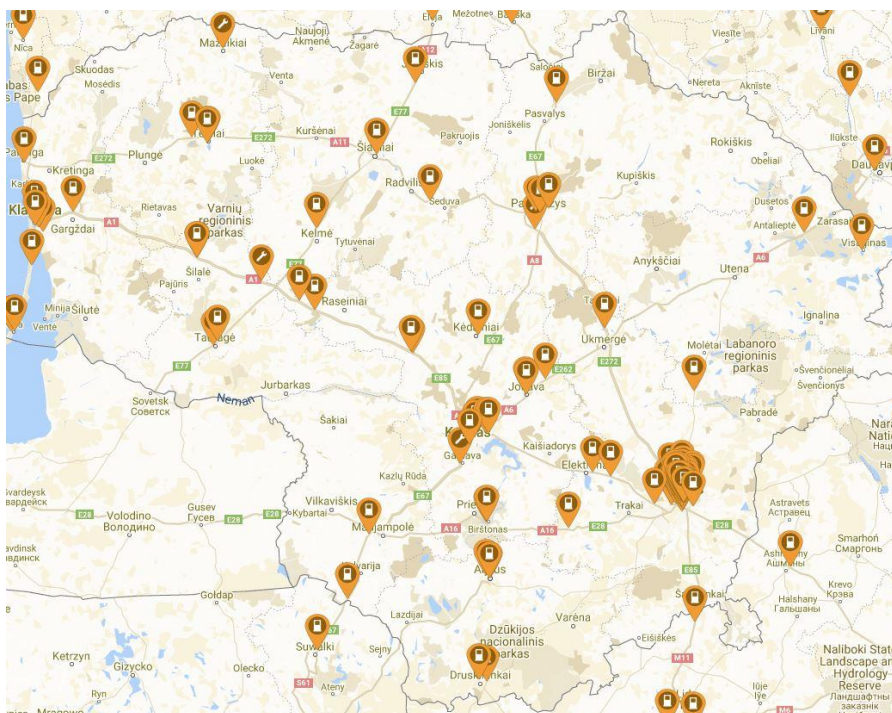
1.7 pav. yra fragmentas iš tinklapio „eismoinfo“, jame matyti, kad stotelėje netoli Šilalės neveikia kintamos srovės jungtis, o prie Marijampolės stotelė išvis yra neaktyvi. Elektromobilio įkrovos taško

informacija visuomet pateikiama tinklapyje „eismoinfo“. Taip elektromobilių vairuotojai gali iš anksto numatyti savo kelionės planus išvengiant netikėtų įkrovos taškų gedimų.

1.1.2. Lietuvos tinklo analizė ir jo plėtros poreikis

Lietuvos greito įkrovimo stotelių tinklas

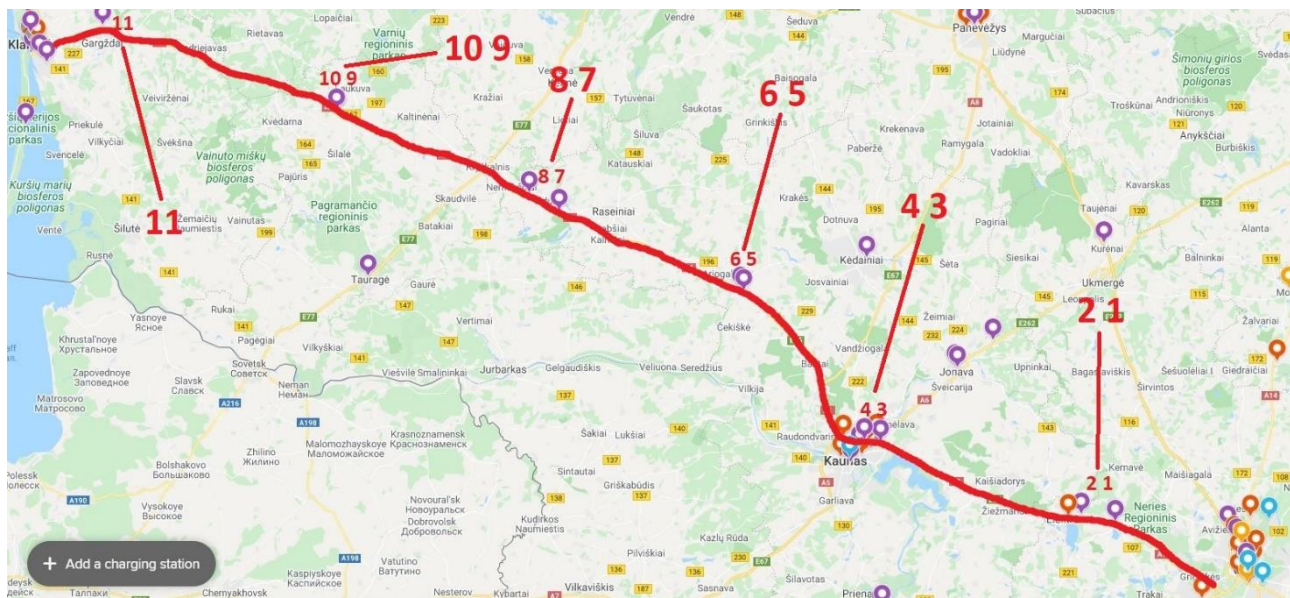
Vienas iš pagrindinių informacinių šaltinių, kuriame pateikiamas viso pasaulio elektromobilių įkrovimo stotelių tinklas, yra „PlugShare“ tinklapis. Jame yra galimybė, atvaizdavimui įkrovimo stoteles suskirstyti pagal galingumą. Kadangi šiame darbe aktualiausia yra užmiestinė-tarpmiestinė įkrovimo infrastruktūra, kurioje privaloma didelė galia, būtent toks žemėlapis ir pateikiamas:



1.8 pav. Lietuvos greito įkrovimo stotelių tinklas [7]

1.8 pav. galima pastebėti, kad svarbiausiuose Lietuvos miestuose Vilnius, Kaunas ir Klaipėda yra labai daug įkrovimo prieigų. Užmiestinėse teritorijose matomas puikus infrastruktūros išpildymas Lietuvos centrinėje dalyje ir kryptimis rytai-vakarai (E67), šiaurė-pietūs (A1).

Šiuo metu judriausiam ir svarbiausiam Lietuvos kelyje A1 yra 11 viešų greito įkrovimo stotelių. Jų išdėstymo kryptį priimta laikyti nuo Vilniaus iki Klaipėdos. Realus žemėlapyje matuotas A1 magistralės ilgis – 301 km. Elektromobilių įkrovimo stotelės priskiriamos tam keliui tuo atveju, jeigu jos yra prie pat kelio arba patogiai nutolusios ne daugiau nei kelis kilometrus nuo jo. Toliau pateikiamas sužymėtas žemėlapis:



1.9 pav. A1 kelio greito įkrovimo stotelių tinklas [8]

1.9 pav. ryškia raudona linija žymima magistralė A1. Raudonais skaičiais numeruojamos EV įkrovimo stotelės nuo Vilniaus iki Klaipėdos. Žiūrint į žemėlapi, matyti kad atstumai tarp stotelių išlaikyti ganėtinai panašūs. Detalesnė analizė pateikiama sekančioje lentelėje.

1.1 lentelė. A1 kelio greito įkrovimo stotelių sąrašas

Stotelės nr.	Lokacija (km)	Eismo kryptis (pagal VLN → KLP)	Apytikslis atstumas iki kitos įkrovimo vietos (km)	Jungtys ir galia	Įkrovimo taškai	Gamintojas, modelis	Įkrovimo mokestis	Elektros energija iš atsinaujinančių šaltinių	Tinklas
1	38,14	→	52,86	(Type 2 43kW; CCS2 50kW; CHAdeMO 50kW) x1	1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
2	45,78	←			1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
3	93,02	→	47,14		1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
4	96,62	←			1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
5	141,54	←	47,025		1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
6	142,38	→			1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
7	185,25	←	49,545		1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
8	192,72	→			1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
9	238,46	←	54,39		1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
10	238,6	→			1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD
11	292,92	←, →	-		1	ABB Terra	Nėra	Ne	LAKD

1.1 lent. nurodoma detalesnė A1 įkrovimo infrastruktūros informacija. Stotelių numeracija lentelėje atitinka numeraciją 1.9 pav. žemėlapyje. Beveik visos stotelės yra suskirstytos poromis (poras skiria vertikali dviguba linija), kur viena yra vienoje eismo pusėje („→“ rodo kad stotelė yra eismo Vilnius–Klaipėda pusėje), o kita – kitoje („←“ rodo kad stotelė yra eismo Klaipėda–Vilnius pusėje). Išskirtinė yra 11-toji (Gargždų stotelė), kur galimas privažiavimas iš abiejų eismo pusių dėl viaduko („←, →“).

Toliau pastebima, kad atstumai tarp įkrovimo vietų išlaikomi labai panašūs, jų vidurkis 50,19 km. Šis atstumas atitinka rekomenduojamą viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros gairėse 40-50km atstumą [4], taip pat ir kompleksinės elektromobilių transporto plėtros galimybių studijos rekomenduojamą 50km atstumą [9].

Šiuo metu visos 11 stotelių turi tik po vieną įkrovimą tašką. Visi įkrovimo įrenginiai yra „ABB Terra“. Viename taške yra 3 jungtys – AC „Type 2“ 43kW; DC „CCS2“ 50kW; DC „CHAdeMO“ 50kW. Teoriškai dvi skirtingas jungtis gali naudoti du skirtingi elektromobiliai ir krauti vienu metu, tačiau tai pavykta ne visada, ir toks krovimas yra nelabai efektyvus. Šiuo metu, įkrovimo mokestis nėra taikomas, tačiau neabejojama, kad tai laiko klausimas. Lietuvoje kol kas nėra viešų, didelės galios įkrovimo stotelių, kuriose būtų naudojama elektros energija iš atsinaujinančių šaltinių. Visos A1 magistralės viešos, didelės galios stotelės, šiuo metu priklauso Lietuvos automobilių kelių direkcijai. Taikant tą patį analizės principą svarbiausiam tarpvalstybiniam keliui E67 „Via Baltica“, būtų gaunami tokie patys rezultatai, kadangi jo įkrovimo infrastruktūra yra išdėstyta tais pačiais principais.

Apžvelgiant įkrovimo poreikį A1 kelyje, 2019 m. gegužės mėn. (tuo metu Lietuvoje buvo registruota apie 1080 vnt. BEV) iš LAKD buvo gauta informacija, kad A1 atkarpoje Vilnius–Kaunas įvyksta apie 400 įkrovimų per mėnesį šiltojo sezono metu (apie 100 per savaitę, apie 14 per dieną). Šiuo metu minėtoje atkarpoje yra dvi pagrindinės Elektrėnų ir Vievio įkrovimo stotelės. Krovimų skaičių reikėtų padalinti per pusę abejoms stotelėms, kadangi eismas vyksta abejomis kryptimis – tada gautume maždaug apie 7 įkrovimus per dieną kiekvienoje iš šių stotelių.

Vidutinė BEV baterijos talpa (paskaičiuota pagal apklausos respondentų elektromobilius) yra 45,96 kWh, tačiau įvertinus, kad greitai įkraunama tik 80 % baterijos talpos ir kad įprastai vairuotojas neišnaudoja visų energijos atsargų, ji prilyginama 36,77 kWh. Tokiu atveju, įkrovimas nuo išsikvotos baterijos iki maždaug 80 % talpos užtruktų apie 49 min., įvertinant nuostolius krovimo metu (įkrovimo naudingumo koeficientas apie 0,9). Visi 7 įkrovimai vienoje iš šių įkrovimo stotelių, BEV įkraunant pilnai, užtruktų apie 5h 43min. Mažai tikėtina, kad visos paros metu įkrovimo poreikiai susikirstų, taip nutiktų nebent laiko metu, artimu rytiniam ar vakariniam pikui.

Apibendrinant šią apžvelgtą informaciją, galima teigti, kad A1 ir kiti judriausi Lietuvos keliai šiam momentui turi pakankamai gerą įkrovimo infrastruktūrą, todėl reikėtų dėmesį skirti kitoms vietoms.

1.8 pav. galima pastebėti, kad šalies teritorijos perimetro dalyse, ypač rytinėje ir vakarinėje, išskyrus pajūrį, pastebimas didelis įkrovimo stotelių trūkumas. Daugumoje tuščių teritorijų yra nemažai didmiesčių (Šakiai, Jurbarkas, Šilutė, Skuodas, Mažeikiai, Rokiškis, Kupiškis, Anykščiai, Utena, Ignalina, Varėna ir kt.), o dėl įkrovimo stotelių trūkumo jų susisiekimas elektromobiliu yra prastas.

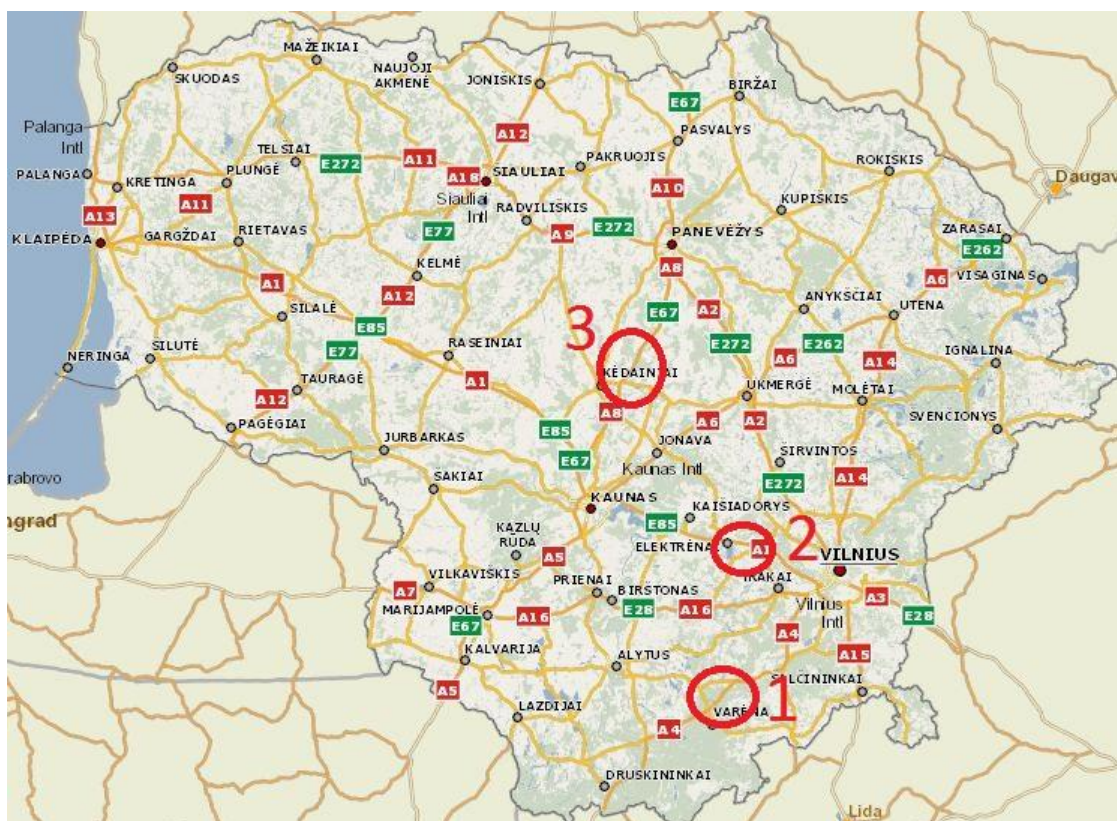
1.1.3. Lietuvos tinklo ateities perspektyvos

Pasak LAKD specialisto

2019 metų gegužę, konsultuojantis su LR automobilių kelių direkcijos vyr. specialistu Andriumi Teškevičiumi, tais metais buvo planuojamos įrengti 3 didelės galios elektromobilių įkrovos stoteles (1.10 pav.):

- 1) kelyje A4 tarp Vilniaus ir Druskininkų (maždaug ties Valkininkais arba Varėna),
- 2) kelyje A1 tarp Vilniaus ir Kauno (maždaug ties Vieviu),

3) kelyje A8 („Via Baltica“) tarp Kauno ir Panevėžio (maždaug pusiaukelėje, Kėdainiai–Truskava).



1.10 pav. Preliminarios naujų įkrovos taškų įrengimo vietos pagal LAKD (2019 m.) [6]

Kelyje Vilnius–Druskininkai pastebimas didelis automobilių srautas. Šiuo metu, šioje atkarpoje nėra nei vienos didelės galios viešos įkrovimo stotelės, todėl elektromobilių srautas galimai dėl to kelyje A4 yra mažesnis nei galėtų būti. Po metų planas dar neįvykdytas.

Pats didžiausias elektromobilių srautas fiksuojamas kelio atkarpoje A1 Vilnius–Kaunas. Šiltuoju sezonu metu įvyksta apie 400 įkrovimų per mėnesį, šaltuoju – tik apie 30. Be visa to, šiame ruože dabartinės stotelės yra pasenusios, joms pasibaigusi garantija ir jų gedimų likvidacija užtrunka ilgai. Būtent todėl, šiame kelyje reikalinga dar viena greito įkrovimo prieiga. Po metų planas dar neįvykdytas.

„Via Baltica“ yra labai svarbus Europos koridorius einantis per Lietuvą, jis jungia Varšuvą ir Taliną. Lietuvoje šio kelio atkarpa vadinama E67. 2019 metais kelių direkcija planavo įrengti dar vieną greitos įkrovos prieigą tarp Kauno ir Lietuvos pasienio su Latvija. Šiai dienai, Kėdainiuose ir Panevėžyje jau galima rasti didelės galios įkrovimo stoteles, kurios užtikrina patogų važiavimą E87 keliu elektromobiliu. Per metus planas įvykdytas pilnai.

Be visa to, taip pat tikimasi ir nevalstybinių verslo subjektų indėlio plečiant elektromobilių įkrovimo stotelių tinklą Lietuvoje. Kaip jau buvo minėta anksčiau, didelis žaidėjas įkrovos taškų plėtroje miesto prieigose yra buvusi „Lietuvos energija“, dabartinis „Ignitis ON“. Vilniaus miesto savivaldybėje pagal planą atsirado 59 naujos elektromobilių įkrovos stotelės dar 2019 metų gale, o netolimoje ateityje jų tinklas tankės visoje Lietuvoje. Žinoma, yra ir daug kitų nevalstybinių įmonių, kurios sparčiai prisideda prie įkrovos infrastruktūros plėtos – „Renega“, „Autopildyk“, „LIDL“ ir kiti, tačiau daugiau informacijos apie jų planus nėra pateikta.

Teigiama, kad perspektyviose šalyje dalijimosi automobiliu paslauga, ateityje turėtų išstumti asmenines transporto priemones. Lietuvoje ji jau sparčiai paplitusi, kurios vienas iš pagrindinių atstovų šiuo metu yra „City Bee“. Atsižvelgiant į „Ignitis ON“ įkrovos taškų plėtrą Vilniaus mieste, ši įmonė planuoja iki 2022 metų visiškai pakeisti savo automobilių parką į elektra varomus. Be to, įsitvirtinusi inovatyvi „SPARK“ dalijimosi elektromobiliu paslauga Vilniuje sukuria didelę konkurenciją, o tai skatina savaiminį elektromobilių populiarinimą.

Apibendrinant apžvelgtą informaciją, Lietuvoje kardinalaus elektromobilių įkrovimo infrastruktūros pokyčio lyginant su dabartine situacija, tikimasi tik po 5-10 metų, elektromobilių skaičiui rinkoje pasiekus bent 40-50 tūkst. Jeigu tai įvyktų greitesniu būdu, tai galima būtų tikėtis apie 1 000 greito įkrovimo stotelių Lietuvoje.

Pagal valstybinius dokumentus

2012 metais Ūkio, Energetikos ir Susisiekimo ministerijų užsakymu buvo atlikta Kompleksinė elektromobilių transporto plėtros galimybių studija (EPGS) [9]. Šis oficialus dokumentas šiuo metu yra pats išsamiausias ir plačiausias tyrimas apie elektromobilius Lietuvoje. Jame teigiama, kad visos Lietuvos teritorijos padengimui reikėtų apie 50 greitojo įkrovimo stotelių:



1.11 pav. Greitojo įkrovimo stotelių išdėstymas pagal EPGS [9]

1.11 pav. pateikiamas maždaug 50-ties greito įkrovimo stotelių modelis Lietuvoje, kuris pagal EPGS turėtų užtikrinti galimybę elektromobilių vairuotojams nuvažiuoti į bet kurią Lietuvos vietą. Taškai išdėstyti 40-60 km atstumu vienas nuo kito, sujungiami pagrindiniai miestai, magistralėse po dvi stoteles. Verta paminėti tai, kad šiame dokumente pabrėžiama tai, jog elektromobilis yra miesto automobilis ir išvalgos labiau orientuotos į judumą mieste, tad užmiestinių - tarpmiestinių greito įkrovimo stotelių tinklo skaičiai pateikiami maži.

2020 m. balandžio mėnesį Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, Aplinkos ministerija ir Susisiekimo ministerija kartu pristatė alternatyviųjų degalų įstatymo projektą [10]. Žemiau

pateikiami svarbiausi 18 straipsnio „Elektra varomų transporto priemonių infrastruktūros planavimas ir plėtra“ punktai:

2. Viešosios didelės arba itin didelės galios įkrovimo priemonės turi būti įrengtos šalia valstybinės reikšmės kelių ne didesniu kaip 50 km atstumu viena nuo kitos.
3. Viešosios elektromobilių didelės ir itin didelės galios įkrovimo priemonės šalia valstybinės reikšmės kelių ir miestuose turi būti įrengiamos atsižvelgiant į augantį Lietuvoje registruotų elektromobilių skaičių, proporcingai taip, kad viena viešoji didelės arba itin didelės galios įkrovimo priemonė tektų ne daugiau nei keturiasdešimčiai elektromobilių.
4. Nuo 2023 metų visose naujai statomose arba rekonstruojamose degalinėse turi būti įrengta bent viena viešoji didelės arba itin didelės galios įkrovimo priemonė.

Taip pat išskiriami tokie skaičiai:

- 2030 m. Lietuvoje turėtų būti 230,300 vnt. elektromobilių.
- 2030 m. Lietuvoje turėtų būti 60,000 vnt. įkrovimo taškų.

10 metų laiko tarpas yra pakankamas, kad pasiekti minėtus skaičius, vykdant teisingas strategijas. Jeigu šios prognozės būtų pritaikomos 2025 metams, reikėtų jas sumažinti bent trečdaliu – apie 76 767 elektromobilių. Pritaikant 8 st., 2 p. pateiktą modelį, tokiu atveju, galima būtų tikėtis maždaug 1 919 greito įkrovimo stotelių.

1.1.4. Norvegijos pavyzdys

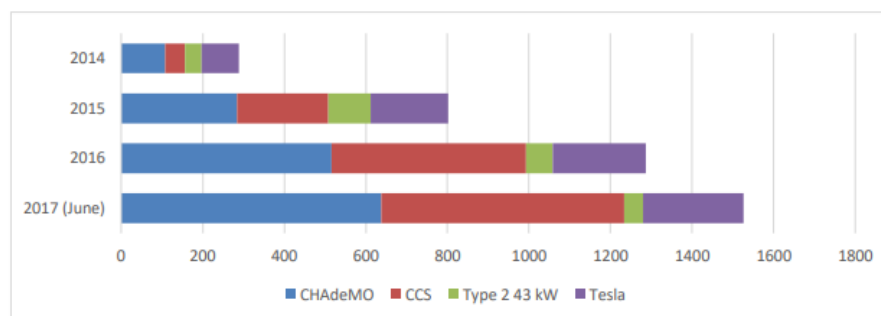
Apžvelgiant H. H. Kvisle straipsnį [11], 2009 metais buvo pradėtos žymios investicijos Norvegijos nacionalinei viešo įkrovimo infrastruktūrai. Valstybinio projekto „Transnova“ pagrindinė atsakomybė buvo finansuoti įkrovimo stotelių plėtra 6 mln. eurų. Tai buvo skubotas sprendimas, vertinant tai, kad artėjo visuotinė finansinė krizė. Nepaisant didelės valstybinės paramos, sostinės Oslo savivaldybė taip pat svariai prisidėjo, skirdama 2 mln. eurų, kad pastatyti 400 naujų įkrovimo vietų 2008-2011 metais. Bendrai sudėjus visą finansavimą, buvo tikimasi 2011 metais turėti 2 500 naujų įkrovimo vietų. Tuo metu Norvegijoje buvo mažiau nei 200 įkrovimo vietų. Įkrovimo tinklo plėtra buvo inicijuojama tam, kad paskatinti elektromobilių pardavimus. Be „Transnova“ projekto, prie įkrovimo infrastruktūros plėtros labai prisidėjo ir „Norsk Elbilforening“ asociacija, kuri kooperuotai dirba su valdžios organais ir elektromobilių verslu, valdo ir prisideda prie įvairių projektų. Buvo sukurtas „NOBIL“ projektas, kuriame pateikiama išsami informacija apie visą Norvegijos elektromobilių įkrovimo infrastruktūrą. Sulyginant tikėtinius skaičius su realiais, 2012 m. kovo mėn. Norvegijoje buvo užfiksuota 946 įkrovimo stotelių ir 3 187 vietų jose – lūkesčiai buvo pralenkti.

Apžvelgiant E. Lorentzen straipsnį [12], Norvegijoje valstybinės paramos schemos buvo vystomos 2010-2014 metais, kurių bendra vertė siekė apie 50 mln. NOK (apie 4,5 mln. eurų). Stotelių įrengimas buvo finansuojamas 100 %, tačiau parama nebuvo suteikiama jų eksploataciniams kaštams. Pirmiausia įkrovimas buvo nemokamas, tačiau jau iškart buvo svarstoma apmokestinimo sistema. Nuo 2015 metų buvo pristatyta „Enova“, kurios tikslas buvo pagrindinius Norvegijos kelius aprūpinti įkrovimo stotelių tinklu, kurio stotelės būtų išdėstytos 50 km atstumu (1.12 pav.).



1.12 pav. Pagrindinių kelių žemėlapis, kuriame turėtų būti išdėstyta įkrovimo infrastruktūra pagal „Enova“ projektą [12]

Kad sumažinti neįsikrovimo galimybę, privalo būti mažiausiai dvi greito įkrovimo vietos „CHAdEMO“ ir „CCS“, papildomai su dviem 22 kW Type 2 vietomis.



1.13 pav. Greito įkrovimo stotelių paplitimas Norvegijoje pagal metus [12]

Pagal 1.13 pav., 2017 birželio mėn. Norvegijoje jau buvo:

- 648 vnt. „CHAdEMO“ jungčių,
- 595 vnt. „CCS“ jungčių,
- 47 vnt. AC „Type 2“ 43 kW jungčių,
- 246 vnt. „Tesla Superchargers“ jungčių.

Kadangi „CHAdEMO“ ir „CCS“ yra kombinuotos įkrovimo vietos, realiu laiku įvertint tokį tinklą, įkrovimą vienu metu gali atlikti apie 950 elektromobilių.

Įvertinant bendrą elektrinio mobilumo situaciją Norvegijoje [13], 2019 metų kovo mėn. duomenimis, beveik 60 % naujų parduotų automobilių buvo gryniesi elektromobiliai. Tokie skaičiai iš tiesų nuteikia optimistiškai, atsižvelgiant į Norvegijoje priimtą sprendimą iki 2025 metų atsisakyti naujų tradicinių automobilių.

Pirmosios smulkios paskatos elektromobilių plėtrai prasidėjo jau 1990 metais, tačiau nuo 2000 metų jos buvo kur kas efektyvesnės – elektromobilių naudotojams buvo sumažinti mokesčiai už

naudojimąsi viešais keliais, mokestis už mokamus kelius buvo panaikintas, kai kuriose savivaldybėse buvo leidžiamas nemokamas parkavimas. Nuo 2001 metų elektromobilių pirkimui panaikintas 25 % mokestis, nuo 2005 metų elektromobilių vairuotojams leista naudotis maršrutinio transporto eismo juostomis. Kaip buvo minėta, pagal pateiktą straipsnių apžvalgą, Norvegijos elektromobilių įkrovimo infrastruktūra pirmiausiai buvo labai stipriai finansuojama iš vyriausybės lėšų, tačiau vėliau privačios kompanijos perėmė šį procesą ir jį sparčiai vysto ne tik šalies viduje, bet ir už jos ribų.

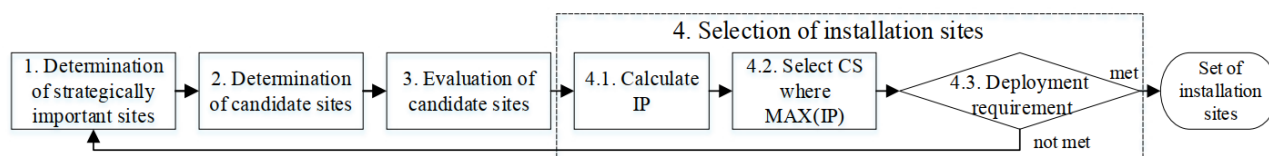
Norvegijoje elektromobilių plėtros skatinimo priemonės buvo labiausiai orientuotos į aplinkosaugą. Dėl mokesčių, eksploataavimo lėšų ir kitų esminių skirtumų tarp tradicinių automobilių ir elektromobilių, vairuotojai vis dažniau renkasi elektromobilį dėl finansinių pranašumu, tuo pačiu stipriai prisidedami prie aplinkosaugos, įvertinant faktą, kad didžioji dalis vidinės šalies elektros energijos yra išgaunama ne iš taršių elektrinių, o iš atsinaujinančių elektros energijos šaltinių (saulės, vėjo, vandens).

1.2. Mokslinių darbų ir metodikų apžvalga

1.2.1. Panašūs moksliniai darbai

B. Csonka, C. Csiszar „Determination of charging infrastructure location for electric vehicles“ [14] darbo tyrimo pagrindinis klausimas: kur įdiegti įkrovimo stoteles, kad palengvinti ilgų distancijų keliones ir patenkinti miesto (vietinius) poreikius įvertinant tai, kad dabartinės ir naujai įdiegtos stotelės būtų realizuojamos pagal teisinius nuostatus. Darbo autoriai sukūrė svertinius daugiakriterinius metodus nacionaliniams keliams ir šalims arba rajonams. Keli demografiniai, ekonominiai, aplinkos ir transporto atributai, taip pat ir populiaros vietos – tai kas turi įtakos įkrovimo stotelės naudojimui, buvo nustatyti ir jų poveikis, buvo atskleistas sisteminiu požiūriu. Nacionaliniuose keliuose priimtas įkrovimo stotelės įvertinimas kaip taško, o miesto aplinkoje – kaip teritorinio vieneto. Nacionaliniuose keliuose poilsio vietos (aikštelės) priimamos kaip būsimosios įkrovimo stotelės. Strateginiai taškai (svarbūs pasienio ruožai, sostinė) priskiriami kaip privalomos įkrovimo stotelės. Metodai taikomi Vengrijos nacionaliniams keliams.

Pasiūlytas metodas nacionaliniams keliams atrodo taip:



1.14 pav. Užmiestinės įkrovimo stotelės dislokavimo metodo žingsniai (CS – kandidatinė vieta, IP – įdiegimo potencialas) [14]

Pagal metodą siūlomas įkrovimo stotelės įdiegimas kandidatinėje vietoje, pagal įdiegimo potencialą. Metodo naudotojas nustato dislokavimo reikalavimus. 1.14 pav., pirmiausia nustatomos strategiškai svarbios vietos, po to nustatomo kandidatinės vietos ir atliekamas kandidatinių vietų įvertinimas. Galop pasirenkant įdiegimo vietą, skaičiuojama IP reikšmė, pasirenkama CS kur yra maksimali IP reikšmė. Jeigu dislokavimo reikalavimai patenkinami, algoritmas užbaigiamas, jeigu ne – viskas pakartojama iš naujo. Metodo rezultatas – rekomenduojama įdiegimo vieta arba jų rinkinys. Įdiegimo potencialo skaičiavimo formulė:

$$IP_j = a_1 \cdot x_{1,j} + a_2 \cdot x_{2,j} + a_3 \cdot x_{3,j} \quad (1)$$

kur:

IP_j – įdiegimo potencialas kandidatinei vietai „j“,

$x_{1,j}$ – eismo intensyvumo artimuose keliuose kandidatinei vietai „j“ vertinimo reikšmė,

$x_{2,j}$ – aptarnavimo lygio kandidatinei vietai „j“ vertinimo reikšmė,

$x_{3,j}$ – artimų greito įkrovimo stotelių neigiamo poveikio kandidatinei vietai „j“ vertinimo reikšmė,

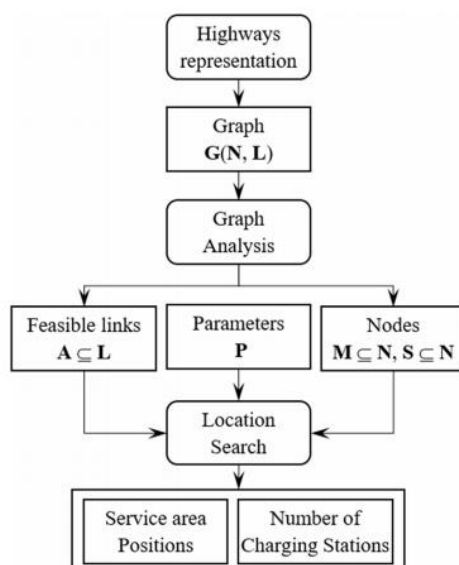
a_1, a_2, a_3 – kintamųjų reikšmės.

Minėtos vertinimo reikšmės apskaičiuojamos pagal darbe pateiktas formuluotes arba parenkamos iš lentelės. Randant maksimalų IP dydį, gaunamos rekomenduojamos įdiegimo vietos, kurias galima vizualiai pateikti žemėlapyje.

Darbo autoriai pateikdami išvadas pabrėžia, kad literatūros apžvalgoje pateikti metodai reikalauja milžiniško kiekio duomenų, kas apsunkina panaudojimą, ir kad kiti neatsižvelgia į jau esančią infrastruktūrą, būtent dėl ko jų darbas yra išskirtinis.

S. Micari ir kt. „Electric vehicle charging infrastructure planning in a road network“ [15] darbe pateikiama metodologija reikalingo elektromobilių įkrovimo stotelių skaičiui apskaičiuoti ir nustatyti jų poziciją kelių tinkle. Tikslas – planavimas platinti aptarnavimo zonas įkrovimo infrastruktūros įrengimui jose. Dviejų lygių modeliui naudojant paklausą (elektromobilių srautas) ir pasiūlą (kelių tinklas kuriais jie naudojami), pirmiausiai nustatomos lokacijos (pirmas lygis), o po to įvertinamos įkrovimo stotelių kiekis kiekvienai aptarnavimo zonai (antras lygmuo). Darbe pateikiamos trys pagrindinės temos: automobilių technologijos (variklių ir akumuliatorių specifikacijos), įkrovimo stotelių charakteristikos ir elektromobilių srautas. Patvirtinant modelio ir sprendimo procedūrą bandomajame kelių tinkle, metodologija pritaikoma Italijos greitkelių tinklui.

Siūlomo modelio principas atrodo taip:



1.15 pav. Siūlomo modelio loginis srautas [15]

1.15 pav. greitkelių tinklas pateikiamas kaip grafas $G(N, L)$, kur N yra mazgai, o L – grandis. Grafo analizė leidžia nustatyti:

- galimų grandžių pogrupį ($A \subseteq L$), apibūdinama kaip grandžių rinkinį, kuriame galima įterpti aptarnavimo zonas,
- du mazgų pogrupius (išskirtus): ($M \subseteq N$) (valdantys mazgai) tai mazgai, išdėstyti dideliuose miestuose (atitinkamai išsišakančiame greitkelyje) arba mažesniuose taškuose (nacionaliniuose pasieniuose); ($S \subseteq N$) (pavaldiniai mazgai) tai kiti mazgai (apmokėjimo būdelės, greitkelio išvažiavimai, regioninės ribos).

Lokacijos paieška susideda iš minėtų mazgų ir grandžių informacijos bei parametrų P (elektromobilių srautas ir įkrovimo stotelių charakteristikos). Iš viso to lokacija ir įkrovimo stotelių skaičius kiekvienai aptarnavimo zonai. Vėliau modelis konvertuojamas į algoritmo formą ir tęsiami kiti skaičiavimai ir modeliavimai.

Darbo autoriai išvadose pabrėžia, kad galutinai atlikus uždavinį, rezultatuose pateikiamas žemėlapis, kuriame išdėstytos įkrovimo lokacijos ir dydžiai kiekvienam regionui.

1.2.2. Metodikų rinkimasis remiantis moksliniais darbais

Atlikus elektromobilių įkrovimo stotelių ir jų tinklo analizę Lietuvoje ir kitose šalyse, ir iškėlus galimas problemas, buvo atliekama mokslinių darbų analizė, pasirenkant tinkamas metodikas darbo uždavinių nagrinėjimui ir sprendimui.

Siekiant kuo tiksliau įvertinti elektromobilių greito įkrovimo stotelių tinklo tankį Lietuvoje, pirmiausia (1) buvo nuspręsta sužinoti kokia yra to tinklo tikslinių naudotojų nuomonė. Žinant faktą, kad individų nuomonė ne visuomet gali tiksliai atsakyti į rūpimą klausimą, (2) buvo nuspręsta atlikti nuodugnesnį greito įkrovimo stotelių tinklo funkcionalumo tyrimą, remiantis skaičiavimais ir modeliavimais, kurie tiksliau įvertintų tinklo tankį, ir (3) galima būtų pritaikant tam tikrą metodiką pateikti greito įkrovimo stotelių plėtros variantus. Jog ištirti kokios galimos greito įkrovimo stotelių tinklo Lietuvoje ateities perspektyvos, (4) buvo nuspręsta atlikti įžvalgą, kokių greito įkrovimo stotelių skaičių galima tikėtis po tam tikro laiko tarpo.

J. Ponto „Understanding and Evaluating Survey Research“ [16]. Darbo tikslas yra aprašyti apklausos tyrimo esmę. Apklausos tyrimas apibūdinamas kaip informacijos surinkimas iš tam tikro kiekio individų, gaunant jų atsakymus į pateiktus klausimus. Apklausos tyrime galima naudoti kiekybinę tyrimo strategiją (tarkime, pateikiant klausimus su pasirenkamaisiais kiekybiniais atsakymais) arba kokybinę tyrimo strategiją (tarkime, pateikiant atvirus klausimus), arba abi strategijas kartu. Informacijos gavimas iš individų ir jų grupių naudojant apklausos tyrimą naudojamas nuo seniai. Tai gali būti kelių žmonių sutiktų gatvėje „gyva“ neformali apklausa arba struktūrizuota, formali mokslinė apklausos forma. Buvo atlikta nemažai apklausos tyrimo mokslinių analizių, kurios detalizuoja ką įtraukti į apklausą, kaip išplatinti, kada pateikti ir kaip išspręsti individų negebėjimą atsakyti, taip užtikrinant aukštos kokybės apklausos tyrimą ir jo rezultatus.

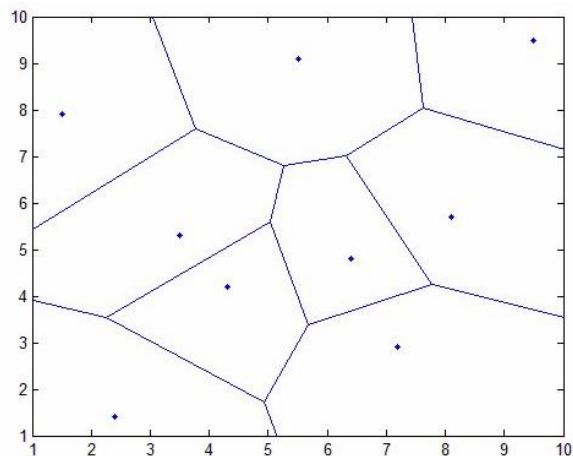
Darbe taip pat pateikiama imties strategijų svarba, kurių tikslas apklausos tyrime yra išgauti pakankamai svarią imtį iš dalyvavusių suinteresuotų respondentų, taip pat aprašomi duomenų surinkimo metodai. Autorius pateikia išvadas, kuriose teigiama, kad apklausa yra naudingas ir teisėtas būdas atlikti tyrimą, turint akivaizdų privalumą padedant apžvelgti ir tyrinėti dar neapdorotą konceptualią informaciją arba jau realius išmatuotus duomenis.

Išnagrinėjus šį mokslinį darbą, buvo nuspręsta panaudoti apklausos tyrimą (1), kuris gali padėti įvertinti elektromobilių greito įkrovimo stotelių tinklo kokybę.

N. Kullman, J. Goodson, J. E. Mendoza „Electric Vehicle Routing with Public Charging Stations“ [17]. Darbo autoriai pristato elektromobilių maršruto planavimo problemą su vieša - privačia įkrovimo strategija, kurioje elektromobiliai gali įsikrauti kelyje viešoje įkrovimo infrastruktūroje, taip pat ir privačiuose depuose. Kad apsisaugoti nuo nežinomos paklausos viešose įkrovimo stotelėse, darbo autoriai sukuria tokią maršrutų parinkimo strategiją, jog būtų numatyta stotelių eilių dinamika, kad atitinkamomis priemonėmis būtų pateikiamas atsakas į stebimas eiles. Skaičiuojamuosiuose eksperimentuose, naudojant realius pramonės pavyzdžius, darbo autoriai nurodo, kad jų strategija pateikia reikšmes 10 % tikslumu tarp dvigubos ribos. Taip pat jie teigia, kad jų strategija ženkliai lenkia pramoninę standartinę maršruto planavimo strategiją, kurioje transporto priemonės įsikrauna tik centriniame depe. Pateikti metodai sumažina eksploatacinius kaštus susijusius su elektromobiliais, palengvinant perėjimą nuo tradicinių transporto priemonių. Teigdami, kad su minėtomis strategijomis galima pasiekti apie 23 % išlaidų sutaupymo, išvadose autoriai tikisi, jog jų darbas paskatins įmones, glaudžiai susijusias su transportavimu, pasinaudoti jų viešos - privačios įkrovimo strategijos galimybėmis.

Išnagrinėjus šį mokslinį darbą, paaiškėjo, kad jame daug kur panaudojama modifikuota komivojažieriaus problematika, tad buvo nuspręsta sudaryti optimalų maršrutą pagal keliaujančio pirklio problemą (2). Sudarius efektyvų maršrutą, kuris reprezentuotų ekologinį ir ekonominį vairavimą, galima į jį integruoti elektromobilį ir įvertinti jo maršruto įveikimo galimybes.

Z. Tang, C. Guo, P. Hou, Y. Fan „Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Based on Voronoi Diagram and FAHP Method“ [18]. Darbe teigiama, kad elektromobilių įkrovimo stotelės turi būti išdėstomos remiantis eismo intensyvumu, geografinėmis ypatybėmis ir kitais faktoriais. Buvo naudojamos Voronojaus diagramos kad nustatyti paslaugų zoną įkrovimo stotelei. Pritaikant realią situaciją parenkant įkrovimo stotelės lokaciją, sukuriama išsami naudos indekso sistema. Yra labai daug faktorių, turinčių įtakos lokacijos parinkimui, tarp kurių taip pat ir neužtikrintumas ir neapibrėžtumas, kurie taip pat įvertinami remiantis neapibrėžtumo analize ir analitinės hierarchijos procesu.



1.16 pav. Voronojaus diagramų pavyzdys [16]

1.16 pav. matomas V poligonas sugeneruotas iš duotų taškų P_1, P_2, \dots, P_9 .

Išvadose pateikiama, kad Voronojaus diagramos panaudojamos vietovę išskirstyti į zonas, kuriose galima įrengti įkrovimo stoteles. Teigiama, kad centrinis zonos taškas nebūtinai yra optimali vieta įkrovimo stotelei.

Išnagrinėjus šį mokslinį darbą, buvo nuspręsta pasiūlyti greito įkrovimo stotelių plėtros variantus pagal Voronojaus diagramas (3) ir surinkus papildomos informacijos – pagal Delaunè trianguliacijas, ir jų apibrėžtinius apskritimus.

J. Scott Armstrong „Selecting Forecasting Methods“ [19]. Darbo autorius pateikia šešis kriterijus-klausimus, kurie padeda teisingai pasirinkti prognozavimo metodą:

- Patogumas (kas lengva?).
- Rinkos populiarumas (ką daro kiti?).
- Struktūrizuotas sprendimas (ką pasiūlo ekspertai?).
- Statistinis kriterijus (kas suveiktų?).
- Susiję sektini įrašai (kas suveikė šioje situacijoje?).
- Ankstesnių tyrimų gairės (kas suveikia tokiose situacijose?).

Išnagrinėjus šį mokslinį darbą, buvo nuspręsta atlikti prognozavimą pagal rinkos populiarumo ir statistinį kriterijus (4). Rinkoje populiariausi pasirinkimai yra šie:

	Regularly Used as Percentage		Regularly Used as Percentage
Expert Opinion		Extrapolation	
<i>Internal</i>		Naive	30.6
Sales force	44.8	Moving average	20.9
Executives	37.3	Rate of change (percentage)	19.4
<i>External</i>		Rate of change (units)	15.7
Industry survey	14.9	Exponential smoothing	11.2
Analogies		Regression against time	6.0
Leading indicators	18.7	Box-Jenkins	3.7
Econometric			
Multiple regression	12.7		
Econometric methods	11.9		

1.17 pav. Įmonių pardavimų prognozavimo pasirinkimai [19]

1.17 pav. matyti, kad vienas iš ekstrapoliacijos prognozavimo būdų, nors ir ne pats populiariausias, yra eksponentinis išlyginimas, kuris pasirenkamas naudoti šiame darbe dėl tinkamumo apdoroti turimus duomenis.

Gilinantį į darbo statistinio kriterijaus aprašą ir patiems atliekant išbandymus pagal grįžtamąjį patikrinimą ir paklaidų įvertinimą, buvo nuspręsta pasirinkti populiacijos prognozavimo metodiką dėl jos ganėtinai tikslių gaunamų rezultatų. Taip pat nuspręsta prognozuojant atsižvelgti ir į kitų šalių pavyzdžius.

Atlikus šią metodikos apžvalgą, pereinama prie metodinio skyriaus, kuriame detalai aprašomi metodai, kuriais bus siekiama gauti norimus darbo rezultatus.

2. TYRIMO OBJEKTO IR METODIKOS APRAŠAI

Šiame darbo skyriuje aprašomi tyrimų objektai, nagrinėjama tyrimų metodika ir principai.

2.1. Elektromobilių užmiestinio judumo anketa

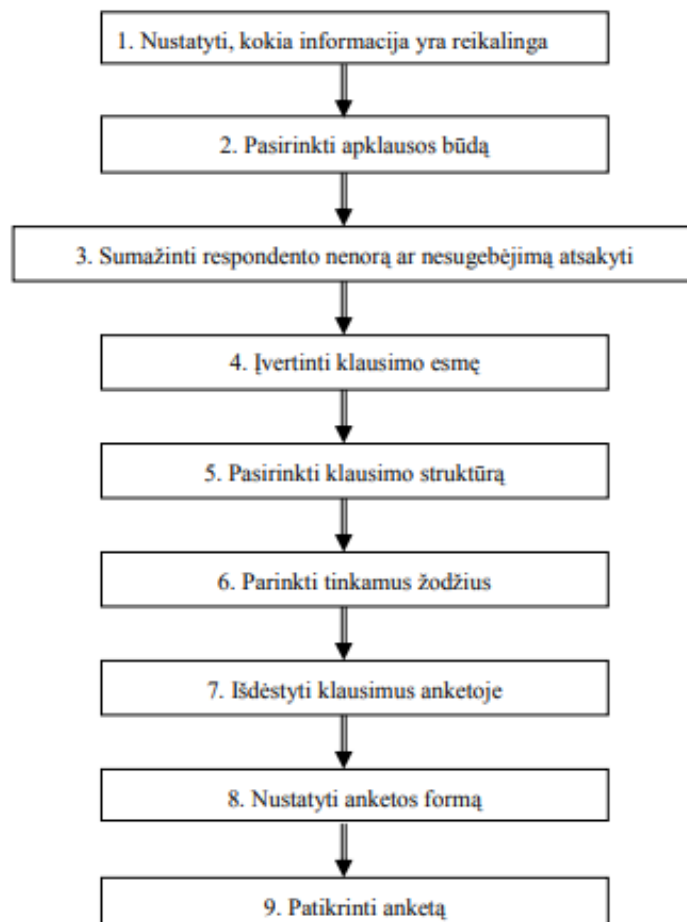
Atlikus literatūros analizę, buvo iškeltas hipotetinis klausimas – ar Lietuvos elektromobilių įkrovimo infrastruktūra yra pakankamai gera? Remiantis atsakymo ieškojimu į šį klausimą, buvo sudaroma anketa.

2.1.1. Anketos sudarymo principai

Remiantis V. Dikčiaus „Anketos sudarymo principai“ metodiniais nurodymais [20]. Juose teigiama, kad pagrindinis anketos uždavinys yra užtikrinti tinkamą bendravimą tarp apklausos atlikėjo ir respondento, o šį uždavinį galima išskirti į tris tikslus:

- 1 tikslas. Anketoje turi būti suformuluoti specifiniai klausimai, į kuriuos respondentas turės ir galės atsakyti (tam, kad atsakymus tarpusavyje galima būtų palyginti).
- 2 tikslas. Anketa turi būti įdomi, tvarkinga ir motyvuojanti respondentą sudalyvauti joje iki pabaigos.
- 3 tikslas. Anketoje sumažinti atsakymų klaidas (pateikti lengvai suprantamus klausimus, į kuriuos nebūtų sunku atsakyti).

Toliau laikomasi žemiau pateikto nuoseklumo:



2.1 pav. Anketos sudarymo nuoseklumas [20]

2.1 pav. matomi 9 žingsniai, kuriais remiantis sudaroma tvarkinga anketa. Kiekvieno žingsnio detalesnis paaiškinimas pateikiamas žemiau.

Pirmiausia (1), sudarant anketą labai svarbu nustatyti kokia informacija bus reikalinga – iškeliamą tyrimo problemą, hipotezės. Stengiamasi orientuotis į tikslinį respondentą, tuomet galima pateikti specifinius terminus ar teiginius. Toliau (2) pasirenkamas apklausos būdas. Pasirinkus apklausą internetu, galimybės respondentui bendrauti, konsultuotis su apklausos organizatoriumi yra labai ribotos, todėl klausimai turi būti paprasti ir aiškūs, pageidautina net ir pildymo instrukcijos. Trečiame (3) žingsnyje stengiamasi sumažinti respondento nenorą ir nesugebėjimą atsakyti, išlaikant gerą komunikacijos procesą tarp apklausos atlikėjo ir respondento, o ketvirtame (4) – įvertinama kiekvieno klausimo esmė, iš jo gaunama informacija turi būti svarbi tyrimo problemai nustatyti. Penktame (5) etape pasirenkama struktūra (struktūrizuota arba nestruktūrizuota). Šeštame žingsnyje (6) reikia parinkti tinkamus žodžius, kitu atveju klausimai gali būti suprasti nevienareikšmiškai. Septintame (7), labai svarbiame punkte, reikia tinkamai išdėstyti klausimus anketoje – vengti labai asmeninių klausimų anketos pradžioje, stengtis kad respondentas susitelktų ties apklausos atlikėjo pageidautinu objektu. Aštuntame (8) etape nustatoma anketos forma – A3, A4 ar kitos formato lapai, klausimai vienu ar dviem stulpeliais ir t. t. Paskutiniame (9) žingsnyje atliekamas anketos išbandymas, ji peržvelgiama paties sudarytojo, arba ji pateikiama keliems žmonėms įvertinimui ir pastabų išsakymui, prieš pradėdant viešą apklausą.

2.1.2. Sudarytos anketos apžvalga

2020 metų vasario 11-tą dieną, socialinio tinklapio „Facebook“ grupėje „Elektromobilių mėgėjų klubas“, buvo atlikta apklausa apie elektromobilių užmiestinį judumą. Iškelus hipotetinį klausimą „Ar Lietuvos elektromobilių įkrovimo infrastruktūra yra pakankamai gera?“ ir nusprendus kokios informacijos bus siekiama gauti iš anketos, buvo pasirinktas internetinis apklausos būdas pagal „Google Forms“ (žr. 2 priedas).



2.2 pav. Anketos fragmentas (sudaryta pagal [21])

Apklausoje sudalyvavo 54 respondentai. Tai pakankamas žmonių skaičius, jog apklausa galima būtų pasitikėti. Sekant 2.1 pav. anketos sudarymo nuoseklumo nurodymų, buvo sudaryti šie pagrindiniai punktai ir klausimai, į kuriuos reikėjo atsakyti:

- 1) Eksploatuojamo elektromobilio tikslus modelis.
- 2) Gyvenamoji vieta.
- 3) Tipiniai užmiestiniai maršrutai.
- 4) Vidutinis nuvažiuojamas užmiestinis atstumas per savaitę.
- 5) Kiek kartų per savaitę užmiestinėse įkrovimo stotelėse kraunate elektromobilį?
- 6) Ar jūsų nuomone šiuo metu pakankamas užmiestinis įkrovimo stotelių kiekis?
- 7) Ar dažnai tenka baterijos įkrovimo laukti eilėje arba dalintis su kitais vairuotojais, jeigu tai atliekate viešose užmiestinėse stotelėse?
- 8) Kiek laiko vidutiniškai praleidžiate užmiestinėse įkrovimo stotelėse, jeigu ten lankotės?
- 9) Jūsų nuomonė apie užmiestinę elektromobilių įkrovimo infrastruktūrą.

Pirmaisiais klausimais buvo siekiama išsiaiškinti individualius respondentų duomenis, toliau buvo domimasi elektromobilių įkrovimo įpročiais ir galiausiai buvo prašoma pateikti kuo išsamesnę apibendrintą nuomonę apie Lietuvos elektromobilių įkrovimo stotelių tinklą.

2.2. Įkrovimo stotelių tinklo funkcionalumas

Siekiant ištirti elektromobilių įkrovimo stotelių tinklo funkcionalumą ir jo tankumą, tam tinka aktualaus maršruto sudarymas ir elektromobilio kelionės tuo maršrutu analizė, atsižvelgiant į įkrovimo poreikius. Atlikus papildomą analizę, iš to galima pateikti įkrovimo stotelių tinklo plėtros ar patobulinimo variantus.

2.2.1. Optimalaus maršruto sudarymas pagal keliaujančio pirklio problemą

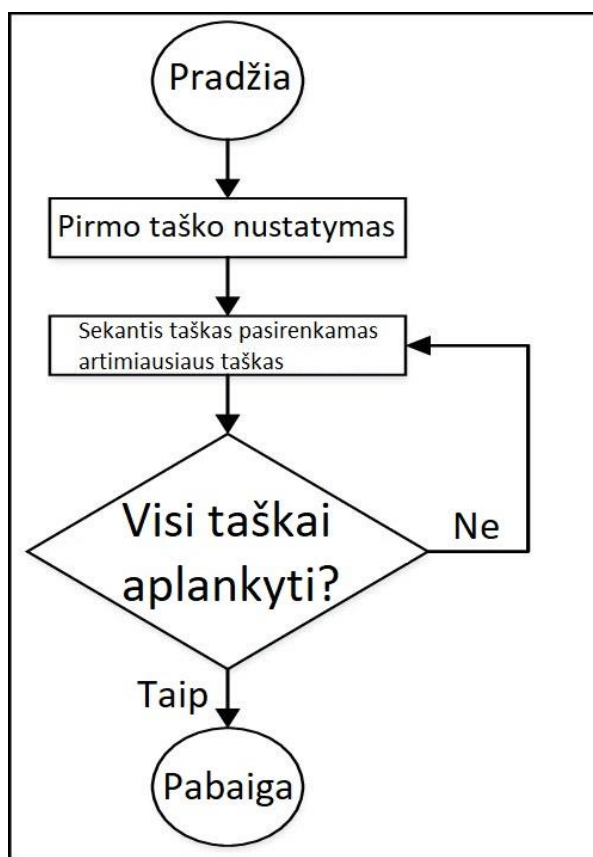
Maršruto efektyvumas gali būti pasiekiamas jo sudarymo metu pritaikant iš grafų teorijos kilusią keliaujančio pirklio problematiką. Neformaliai ji skamba taip: „Turint miestų ir atstumų tarp jų sąrašą, koks yra trumpiausias įmanomas maršrutas kad būtų aplankytas kiekvienas miestas ir būtų grįžta į pradinį miestą?“.

2.1 lentelė. Miestų ir atstumų tarp jų sąrašas [22]

Miestas	Alt	Bir	Dru	Jon	Jur	Kau	Kėd	Klp	Mar	Maž	Pnv	Rok	Skd	Šia	Šil	Šve	Var	Vil	Vil	Vis
Alytus	0	243	57	248	144	66	120	281	61	294	171	238	307	211	242	186	49	84	101	254
Biržai	243	0	296	94	208	178	125	261	234	183	66	64	236	101	265	174	287	250	202	161
Druskininkai	57	296	0	300	171	119	172	320	88	343	224	288	349	264	269	213	58	111	128	281
Joniškis	248	94	300	0	161	182	134	196	238	98	97	158	151	39	200	243	297	234	231	250
Jurbarkas	144	208	171	161	0	86	114	149	83	172	158	246	178	118	98	261	193	72	186	291
Kaunas	66	178	119	182	86	0	54	215	56	228	106	171	241	146	184	175	115	73	101	205
Kėdainiai	120	125	172	134	114	54	0	208	110	183	59	147	234	97	193	162	168	127	130	193
Klaipėda	281	261	320	196	149	215	208	0	233	120	239	325	75	159	53	370	329	222	310	401
Marijampolė	61	234	88	238	83	56	110	233	0	255	162	232	262	201	181	222	110	23	137	267
Mažeikiai	294	183	343	98	172	228	183	120	255	0	165	247	55	80	153	327	342	244	299	335
Panevėžys	171	66	224	97	158	106	59	239	162	165	0	88	219	79	224	162	220	178	136	170
Rokiškis	238	64	288	158	246	171	147	325	232	247	88	0	300	165	312	130	243	249	159	97
Skuodas	307	236	349	151	178	241	234	75	262	55	219	300	0	134	124	381	355	251	336	388
Šiauliai	211	101	264	39	118	146	97	159	201	80	79	165	134	0	157	241	260	190	213	249
Šilutė	242	265	269	200	98	184	193	53	181	153	224	312	124	157	0	355	291	170	284	385
Švenčionys	186	174	213	243	261	175	162	370	222	327	162	130	381	241	355	0	169	245	85	68
Varėna	49	287	58	297	193	115	168	329	110	342	220	243	355	260	291	169	0	133	84	237
Vilkaviškis	84	250	111	234	72	73	127	222	23	244	178	249	251	190	170	245	133	0	161	284
Vilnius	101	202	128	231	186	101	130	310	137	299	136	159	336	213	284	85	84	161	0	152
Visaginas	254	161	281	250	291	205	193	401	267	335	170	97	388	249	385	68	237	284	152	0

Skaičiuojamasis pavyzdys: atstovas-pardavėjas naudodamasis elektromobiliu turi aplankyti 20 didmiesčių, kurie išdėstyti per visą Lietuvos teritoriją. 2.1 lent. matricos formatu pateikiami miestų pavadinimai abėcėlės tvarka, nurodomi atstumai tarp jų. Kiekvieną miestą reikia aplankyti tik vieną kartą, kelionė pradedama Kaune ir baigiama ten pat. Koks yra trumpiausias įmanomas maršrutas? Be to, reikia įvertinti kelionės sklandumą važiuojant elektromobiliu ir naudojantis viešomis greito įkrovimo stotelėmis.

Šios problemos sprendimo algoritmai gali būti tikslieji arba euristiniai (aproksimacijos). Šiame darbe maršruto sudarymas pagrindžiamas euristiniu – artimiausio kaimyno algoritmu, kurio schema atrodo taip:



2.3 pav. Artimiausio kaimyno algoritmas (sudaryta pagal [23])

2.3 pav. pateiktoje schemeje algoritmas prasideda pereinant prie pirmojo taško nustatymu. Toliau po kiekvieno sekančio artimiausio taško nustatymo, pateikiama užklausa ar buvo aplankyti visi taškai – jeigu ne, tai pasirenkamas sekantis artimiausias taškas, o jeigu taip, tai algoritmas užsibaigia. Atliekant šį algoritmą rankiniu būdu, tai užtruktų be galo ilgai, todėl panagrinėjus J. Vasilev [24] ir M. Gharote, D. Thomas, S. Lodha [25] darbus apie keliaujančio pirklio problemos sprendimą Excel Solver programa, pasirenkama naudoti būtent ją.

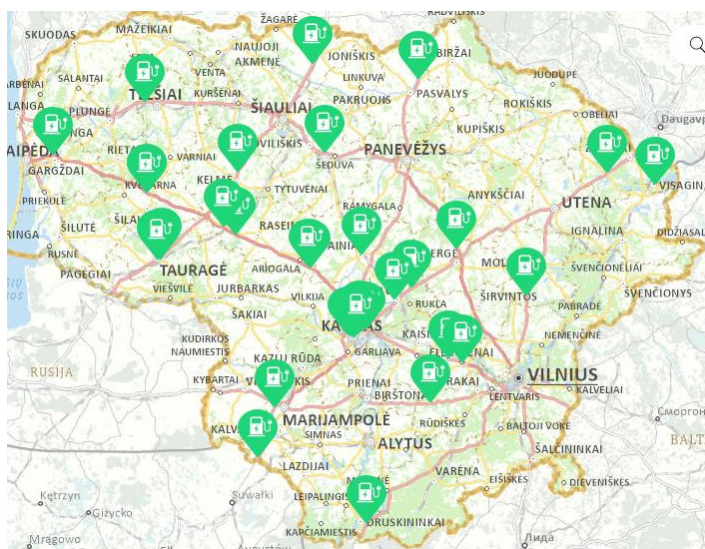
Pirmiausia, šalia duomenų lentelės sudaroma atskira funkcinė lentelė (ji pateikiama 2.2 lent.), kurioje atliekami skaičiavimai, naudojant specialius algoritmus ir formules.

2.2 lentelė. Sudaryta funkcinė lentelė

Pavadinimas	Numeris	Atstumas	Sustojimai	Startas: Kaunas	
Alytus	1	243	1	6	0
Biržai	2	296	2		
Druskininkai	3	300	3		
Joniškis	4	161	4		
Jurbarkas	5	86	5		
Kaunas	6	54	6		
Kėdainiai	7	208	7		
Klaipėda	8	233	8		
Marijampolė	9	255	9		
Mažeikiai	10	165	10		
Panevėžys	11	88	11		
Rokiškis	12	300	12		
Skuodas	13	134	13		
Šiauliai	14	157	14		
Šilutė	15	355	15		
Švenčionys	16	169	16		
Varėna	17	133	17		
Vilkaviškis	18	161	18		
Vilnius	19	152	19		
Visaginas	20	205	20		
Kaunas	6				
	SUMA	3855			

Toliau „Solver“ programa, „Evolutionary“ sprendimo metodu, apdorojami funkcinės lentelės duomenis ir gaunami rezultatai, miestai išrikiuojami atitinkama tvarka sudarydami optimalų maršrutą. Verta paminėti tai, kad rezultatai nėra itin tikslūs (apie 2-3 % netikslumas), nes šiuo atveju problema „Solver“ programoje sprendžiama euristikos (aproksimacijos), o ne tiksliaisiais algoritmais, tačiau to pakanka sudaryti optimalaus maršruto modelį.

Toliau tenka gilintis į elektromobilio integravimą į šį maršrutą. Lietuvoje, kaip ir daugumoje kitų šalių, populiariausi elektromobiliai šiuo metu yra „Nissan Leaf“. Reprezentuojant ekologinės gerovės siekimą, pasirenkame antrosios kartos „Nissan Leaf ZE1“. Įprastai pateikiami skirtingi nuvažiuojami atstumai (WLTP modelis labiau tinka miesto režimui, EPA – užmiestio), pasirenkamas abiejų nuvažiuojamų atstumų vidurkis 255 km, tolimesnio maršruto tyrimo metu stengiamasi vengti didesnio nei 205 km nuvažiuoto atstumo be krovimo, dėl galimų padidintų energijos resursų lenkiant, važiuojant miestų teritorijose ir panašiai, dėl greitojo krovimo iki 80 % sąlygos. Vizualizuojant maršruto tyrimą, buvo remtasi šiuometiniu (2020 m., sausio mėn.) viešų greitųjų įkrovos prieigų žemėlapiu, kuris pateiktas 2.4 pav.:



2.4 pav. Viešų greitųjų įkrovos prieigų žemėlapis [6] (2020 m.)

Galiausiai navigacinės programos pagalba sudaromas suskaičiuoto optimalaus maršruto žemėlapis, kuriame vėliau vaizdinės redagavimo programos pagalba gali būti pateikiamos tam tikros korekcijos, dėl regioninių elektromobilių įkrovos stotelių tinklo trūkumų.

2.2.2. Optimalaus maršruto įveikimo laikas

Sudaryto optimalaus maršruto ilgis buvo gautas 1370 km. Tradicinis automobilis, panašios klasės kaip „Nissan Leaf“, tarkim antros kartos „Toyota Auris 1.6d“ automobilis, pagal gamintoją gali nuvažiuoti iki 1186 km pilnu baku. Vadinasi, tokiam automobiliui viso maršruto metu tektų sustoti tik vieną kartą pasipildyti degalų atsargų, o tai užtruktų iki 5 min. Elektromobiliui, kaip buvo minėta ankstesniame skyriuje, teko energijos atsargas pildytis net 8 kartus ir žinoma, gerokai ilgiau nei tai truktų tradiciniam automobiliui.

Paskaičiuokime tradicinio automobilio ir elektromobilio maršruto įveikimo laikus, įvertinant tokias sąlygas: kiekviename mieste užtrunkama po 30 min, vidutinis maršruto važiavimo greitis 65 km/h.

Miestuose praleidžiamo bendro laiko skaičiavimas:

$$t_{miestuose} = n_{miestai} \cdot t_{trukmė} \quad (2)$$

kur:

$n_{miestai}$ – aplankytų miestų kiekis,

$t_{trukmė}$ – viename mieste praleistas laikas.

$$t_{miestuose} = 19 \cdot 30 = 570 \text{ min} = 9 \text{ h } 30 \text{ min}$$

Nėra tikslių duomenų ar pateikti atstumai tarp miestų yra iki miesto ribos, ar iki centrinės miesto dalies. Siekiamam palyginimui tai didelio skirtumo nesudaro, todėl nusprendžiama kad pateikti atstumai yra iki miestų centrų, tad jokios atstumų korekcijos nėra atliekamos. Toliau skaičiuojamas bendras laikas, važiuojant tarp miestų:

$$t_{užmiestyje} = \frac{l_{maršruto}}{v_{vid}} \quad (3)$$

kur:

$l_{maršruto}$ – maršruto ilgis.

v_{vid} – vidutinis maršruto greitis.

$$t_{užmiestyjeVDV} = \frac{1370}{65} = 21 \text{ h } 4 \text{ min } 48 \text{ s}$$

$$t_{užmiestyjeEV} = \frac{1443}{65} = 22 \text{ h } 12 \text{ min}$$

Toliau, turi būti įvertinamas prastovų laikas pildant elektros energijos atsargas ar degalų rezervą. Degalų pildymo prastovos laiko skaičiavimas nėra reikalingas, nes jis maršruto metu bus atliktas tik vieną kartą ir tai truks iki 5 min. Tačiau, elektromobilio įkrovimo laikas skaičiuojamas sudėtingiau. Antros kartos „Leaf“ gali naudotis galinga nuolatinės srovės „CHAdeMO“ jungtimi, kuri pajėgi krauti bateriją 50 kW galingumu, taip pat ir kintamos srovės „Type 2“ jungtimi iki 43 kW.

Darant prielaidą, kad 40 kWh baterija yra pilnai įkrauta, kuomet savo važiavimo tempu įveiktume 255 km atstumą. Įvertinkime svarbų faktą, kad greitisis krovimas gali vykti tik pildant bateriją maždaug iki 80 % (iki 32 kWh talpos). Su 80 % įkrova galima nuvažiuoti iki 204 km priklausomai nuo važiavimo režimo. Išvažiavus iš Kauno, baterija buvo pakrauta 100 %, o tolimesni krovimai vyko iki 80 %. Skaičiavimų metu priimama, kad visais atvejais stotelės nebuvo užimtos ir galėjo krauti baterija pilnu pajėgumu. Šiluminiai nuostoliai nebuvo vertinami (jie nėra labai dideli).

$$t_{pylimo} = 5 \text{ min}$$

$$t_{krovimo} = \frac{P_{kWh}}{P_{stotelės}} \quad (4)$$

kur:

P_{kWh} – trūkstama baterijos talpa iki 80 % įkrovimo,

$P_{stotelės}$ – stotelės krovimo galingumas.

$$P_{kWh} = \frac{l_{atkarpos} \cdot P_{baterijos}}{l_{max}} \quad (5)$$

kur:

$l_{atkarpos}$ – atkarpos, nuvažiuotos iki krovimo, ilgis,

$P_{baterijos}$ – pakrautos baterijos talpa,

$l_{atkarpos}$ – atkarpos, nuvažiuotos su pakrauta baterija, ilgis.

Pavyzdiniai skaičiavimai:

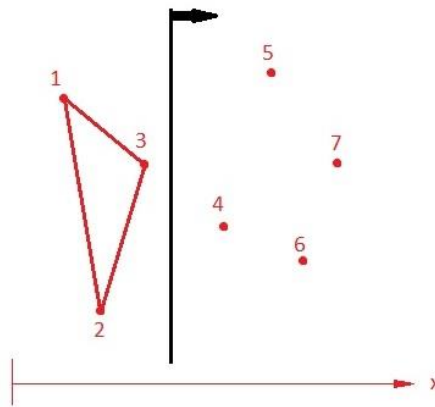
$$P_{kWhVilnius} = \frac{142 \cdot 32}{204} = 22,27 \text{ kWh}$$

$$t_{krovimoVilnius} = \frac{22,27}{50} = 26.73 \text{ min} = 26 \text{ min } 44 \text{ s}$$

Likę skaičiavimai atliekami tuo pačiu būdu, tik pirmasis šiek tiek kitaip, kadangi išvažiuojama pilnai įkrauta 40 kWh baterija.

2.2.3. Delaunė trianguliacijų ir Voronojaus diagramų panaudojimas įkrovimo stotelių tinklo analizei

Vienas iš žinomiausių ir efektyviausių Delaunė trianguliacijų sudarymo metodų yra S. Fortune šluojančios tiesės (angl. sweepline) algoritmas.



2.5 pav. Šluojančios tiesės metodo vizualizacija

2.5 pav. matyti, kad algoritmo pradžioje dvimatėje Euklido erdvėje taškai (gali būti bet kokia atitiktis, pvz. įkrovimo stotelės) yra sunumeruojami abscisių (x) ašies didėjimo tvarka. Vertikali abscisių ašiai šluojanti tiesė juda taškų numeracijos didėjimo kryptimi iš kairės į dešinę, nuosekliai prijungiant taškus ir sudarant trianguliacijas. Apibrėžtiniai apskritimai sudaromi, juos brėžiant per sudarytų trikampių tris taškus. Trianguliacijų struktūrų teisingumas patikrinamas įvertinus ar apibrėžtinio apskritimo viduje nėra papildomų taškų, kas gali būti atlikta apskaičiuojant visų taškų matricos determinantą.

Iš Delaunė trianguliacijų galima nesudėtingai sudaryti Voronojaus diagramas, kadangi jos yra dualios Delaunė trianguliacijoms. Tai atliekama iš Delaunė trianguliacijų kraštinių vidurių brėžiant statmenis ir randant statmenų suformuojamą plokštumos suskaidymą [26].

Analizuojant didesnę kiekį taškų, Delaunė trianguliacijų ir Voronojaus diagramų braižymas rankiniu būdu yra labai komplikotas. Tuo atveju dažniausiai naudojamos programos, automatiškai pagal taškų sudėliojimą nubraižančios minėtą geometriją. Viena iš jų, Loren Petrich parašyta, internetinė geometrijos demonstracijos programa, kuri ir bus naudojama šiame darbe [27].

Geometry Demo

Spherical Delaunay triangulation, convex hull, Voronoi diagram

Click makes point
 You can drag the points
 Latitude: 53.99583732565282
 Longitude: 23.270766899810504
 Points: 30

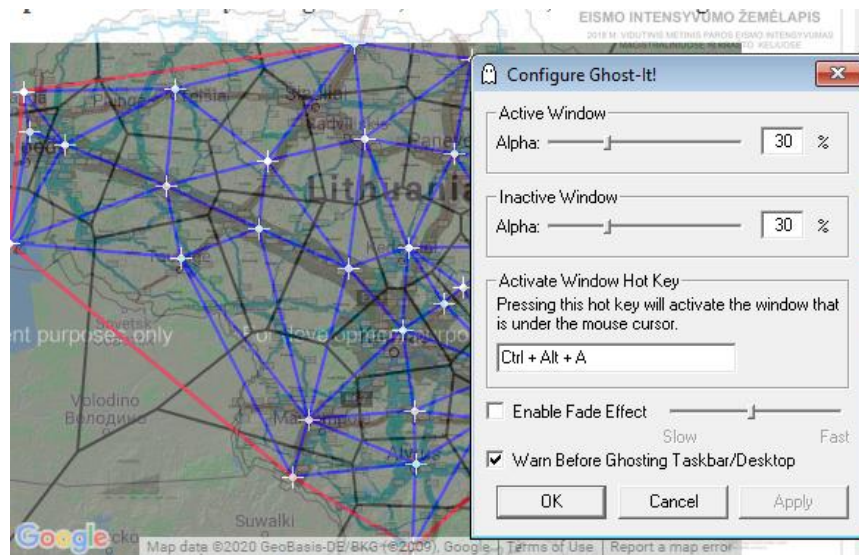
Show locations:
 Each point
 Color: [White] ▾
 Show triangle grid
 (Delaunay triangulation)
 Color: #0000FF
 Show boundaries
 (Convex hull)
 Color: #FF0000
 Show neighborhoods
 (Voronoi diagram)
 Color: #000000
 Thickness: 2
 Opacity: 1

Map Size:
 Width: 300
 Height: 200

Written by Loren Petrich
 Google Map by Google, Inc.
 Color picker by Matthias Platzer
 Uses script.aculo.us and prototype.js

2.6 pav. Geometrinės demonstracijos programos funkcinis langas [27]

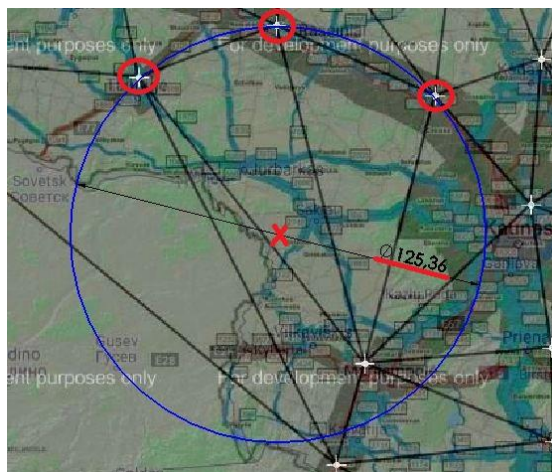
Programoje pateiktame žemėlapyje nėra sužymėtų įkrovimo stotelių arba vidutinio metinio paros eismo intensyvumo. Kad galima būtų tiksliai sužymėti greito įkrovimo stoteles žemėlapyje, naudojama „Ghost It“ programa [28].



2.7 pav. „Ghost It“ programos veikimo fragmentas (sudaryta pagal [28])

Įkrovimo stotelės turėtų būti žymimos taip, kad kelios ar daugiau stotelių, esančių viena šalia kitos, būtų pažymėtos vienu tašku (pvz.: Vilniuje yra labai daug įkrovimo priegyų, tačiau jos visos pažymimos vienu tašku Vilniaus centre). Atlikus žymėjimus ir tinkamai sukonfigūravus visus nustatymus, gaunamas elektromobilių greito įkrovimo stotelių žemėlapis su Delaunė trianguliacijomis ir Voronojaus diagramomis.

Toliau, įvertinus gautus rezultatus, galima ieškoti vietovių, kur reikėtų įrengti papildomas greito įkrovimo stoteles. Tam puikiai tinka apibrėžtinių apskritimų sudarymas iš Delaunė trianguliacijų, naudojant „Solidworks“ programinę įrangą.



2.8 pav. Naujos įkrovimo stotelės lokacija („Solidworks“ programoje)

2.8 pav. pateiktas sudarytas apibrėžtinis apskritimas Suvalkijos regione. Raudonais apskritimais nurodomos trys greitojo įkrovimo stotelės (taškai), raudonu kryžiuoku pažymėtas apskritimo centras, virš brūkšnio nurodomas apskritimo skersmuo (realūs kilometrai). Tokiu būdu sudarius kelis apibrėžtinius apskritimus, efektyviausia būtų pasirinkti apskritimą, kuris yra didžiausio skersmens, o įkrovimo stotelę reikėtų įrengti apskritimo centre. Taip būtų gaunamas maksimalus atstumas iki kitų įkrovimo stotelių, didinant tinklo tankumą visoje teritorijoje. Tačiau svarbu pabrėžti tai, kad įkrovimo stotelės įrengimo vieta reikėtų pasirinkti ne tik pagal minėtą metodiką, bet ir atsižvelgiant į eismo srautus, artimus didmiesčius ir t. t.

2.3. Prognozavimas

Elektromobilių greito įkrovimo stotelių skaičiaus prognozavimas buvo vykdomas tokia seka:

- 1) Buvo pasirinktos kelios palyginamosios perspektyvios šalys – Nyderlandai, Norvegija, o taip pat ir visa Europos Sąjunga. Pateiktos reikiamos kiekybinės reikšmės pagal metus (laiko eilučių formatu) šalia Lietuvos duomenų (duomenys iš Europos Alternatyvių Degalų Observatorijos).
- 2) Buvo pasirinktos trys prognozavimo metodikos (populiacijos prognozavimo, eksponentinio išlyginimo ir kitų šalių tendencijų), atsižvelgiant į tai, kad jos buvo ganėtinai tikslios išbandant įvairias kitas prognozavimo metodikas.
- 3) Buvo atliktas populiacijos prognozavimo ir eksponentinio išlyginimo metodikų patikimumo vertinimas pagal grįžtamąjį patikrinimą, pritaikant jas visiems pasirinktiems valstybiniais objektams.
- 4) Pagal tiksliausias metodikų variacijas buvo atliekami prognozavimai Lietuvai 2025 metams ir pateikiami prognozių palyginimai pagal visas 3 metodikas.

Tolimesniuose skyreliuose aprašomos visos naudotos metodikos.

2.3.1. Patikimumo vertinimo metodika

Prieš atliekant, bet kuri prognozavimą į ateitį, buvo atliekamas prognozavimo metodikos patikimumo vertinimas pagal grįžtamąjį patikrinimą (angl. backcasting, hindcasting).

Grįžtamasis patikrinimas – patikimumo vertinimo metodas, pagrįstas kiekybiškai įvertintų rizikos parametrų verčių lyginimu su atitinkamomis faktinėmis vertėmis [29]. Dažniausiai jis pritaikomas tiriant prekybos strategijas, tačiau gali būti puikiai panaudotas atliekant bet kokio prognozavimo metodo validumo patikrinimą. Panagrinėjus J. Ni ir C. Zhang darbą apie efektyvų grįžtamojo patikrinimo įgyvendinimą prekybos strategijoms [30], buvo nuspręsta imtis metodikos, kuri labiau tinkama prognozavimo modeliams. Pagrindinis principas – atliekama prognozė pagal ankstesnius praeities datų rodiklius vėlesnei praeities datai (įprastai kuo artimesnė dabarčiai), o gauti prognozavimo rezultatai lyginami su tikromis vertėmis. Metodikos pritaikymo pavyzdys pateikiamas žemiau:

2.3 lentelė. Grįžtamojo patikrinimo pavyzdys

Arithmetical increase method (backtesting 2019)			
Nyderlandai			
Metai	Stotelių skaičiai (>22kW)	Inc.	
2008	0		
2009	0		
2010	0		
2011	0		
2012	21		
2013	108	87	
2014	173	65	
2015	353	180	
2016	539	186	
2017	639	100	
2018	860	221	
Avg. inc.		140	
2019 prognozė		1 000	
2019 faktiniai		1 072	

2.3 lent. pateiktas grįžtamasis patikrinimas pagal populiacijos prognozavimo aritmetinio didėjimo metodą (jis bus apžvelgtas detaliau 2.3.2. skyrelyje). Žinomas įkrovimo stotelių skaičius kiekvienais metais nuo 2008 iki 2019 metų. Prognozavimo duomenys pasirenkami iki 2018 metų, o prognozuojamas 2019 metų įkrovimo stotelių skaičius. Gaunama prognozės skaitinė vertė, kuri gali būti palyginama su faktine skaitine verte.

Remiantis L. Stabingienės elektronine mokomąja knyga „EKONOMETRIKA“ [31], prognozavimo reikšmės visuomet turi paklaidas, o jos yra pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį (skirstinį nusako dispersija). Dažniausiai sutinkami prognozavimo tikslumą nustatantys rodikliai yra šie: prognozavimo paklaida e_t (faktinės rodiklio reikšmės Z_t ir prognozuojamos rodiklio reikšmės \tilde{Z}_t skirtumas), standartinė paklaida σ_t , vidutinė procentinė absoliutinė paklaida $MAPE$, vidutinė procentinė paklaida MPE , vidutinė paklaida ME , vidutinė kvadratinė prognozės paklaida $MSPE$. Šiame darbe prognozių paklaidų įvertinimui bus naudojama vidutinė procentinė absoliutinė paklaida $MAPE$, kuri nusako santykinį prognozavimo tikslumą. Ji apskaičiuojama pagal šią formulę:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{Z_t} \cdot 100\% \quad (6)$$

kur:

$|e_t|$ – absoliutinė prognozavimo paklaida,

n – prognozių skaičius.

Prognozavimas yra labai tikslus, kai $MAPE < 10$ ir pakankamai tikslus, kai $10 < MAPE < 20$. Atlikus prognozių patikimumo vertinimą, galima susidaryti įspūdį kuri iš jų bus patikimiausia prognozuojant į ateitį.

2.3.2. Populiacijos metodika

Išnagrinėjus P. Badry prezentacinį darbą [32] apie populiacijos prognozavimą, buvo nuspręsta, jog gali būti naudojami trys baziniai metodai, kurie dažniausiai remiasi prielaida, kad įprastai žmonių skaičius tik auga. Jie buvo pasirinkti dėl to, kad elektromobilių ir jų įkrovimo stotelių skaičius pagal pasaulines tendencijas irgi tik didėja. Minėtų metodų pritaikymas šiai sričiai skiriasi nuo pritaikymo populiacijos prognozavimui, pakeičiamos formuluotės, tačiau pagrindas išlieka tas pats.

Aritmetinio didėjimo metodas. Jis remiasi prielaida, kad skaitinių verčių pokytis laiko atžvilgiu yra pastovus. Augimo kreivė yra tiesinė. Labiausiai tinka nusistovėjusiam didėjimo atvejui, kur nesitikima staigių netikėtų proveržių. Prognozuojant šiuo metodu, pirmiausiai turint laiko eilutes, suskaičiuojamas kiekvienų metų inkrementas INC ir bendras inkrementinis vidurkis C . Toliau prognozuojama pagal šią formulę:

$$P_n = P + n \cdot C \quad (7)$$

kur:

P_n – prognozė pagal metus,

n – prognozės ir paskutinių metų duomenų imtyje skirtumas,

P – paskutinių metų skaitinė vertė duomenų imtyje,

C – inkrementinis vidurkis.

Jeigu turimi tokie Lietuvos greitų įkrovimo stotelių duomenys (2019 m. – 84 vnt., inkrementinis vidurkis – 20), atliekama pirmoji prognozė 2020 metams:

$$P_{2020} = 84 + 1 \cdot 20 = 104 \text{ vnt.}$$

Toliau skaičiavimai atliekami automatizuotai Excel programoje.

Geometrinio didėjimo metodas. Jis remiasi prielaida, kad procentinis skaitinių verčių prieaugis laiko atžvilgiu išlieka pastovus. Augimo kreivė yra eksponentinė. Šis metodas pateikia gerokai didesnius skaičius nei aritmetinio didėjimo metodas, todėl jis labiau taikytinas kuomet tikimasi staigių proveržių. Prognozuojant šiuo metodu, pirmiausia turint laiko eilutes, suskaičiuojamas kiekvienų metų inkrementas INC ir geometrinio didėjimo augimo tempas $GIGR$, padalinus inkrementą iš ankstesnių metų skaitinės vertės. Toliau suskaičiuojamas geometrinis vidurkis pagal šią formulę:

$$I_G = (GIGR_1 \cdot GIGR_2 \cdot \dots \cdot GIGR_n)^{1/n} \quad (8)$$

Sekančiame etape pati prognozė skaičiuojama pagal šią formulę:

$$P_n = P \left(1 + \frac{I_G}{100}\right)^n \quad (9)$$

kur:

P_n – prognozė pagal metus,

n – prognozės ir paskutinių metų duomenų imtyje skirtumas,

P – paskutinių metų skaitinė vertė duomenų imtyje,

I_G – geometrinis vidurkis.

Jeigu turimi tokie Lietuvos greitų įkrovimo stotelių duomenys (2019 m. – 84 vnt., geometrinis vidurkis – 1,03), atliekama pirmoji prognozė 2020 metams:

$$P_{2020} = 84 \left(1 + \frac{1,03}{100}\right)^1 = 171 \text{ vnt.}$$

Toliau skaičiavimai atliekami automatizuotai Excel programoje.

Inkrementinio didėjimo metodas. Tinkamas atvejams, kuomet augimo tempas yra didėjantis (nėra eksponentinis, tačiau nėra ir tiesiškas). Kreivė gaunama artima tiesei, tačiau su augimo tendencijomis. Prognozuojant šiuo metodu, pirmiausiai turint laiko eilutes, suskaičiuojamas kiekvienų metų inkrementas INC ir inkrementinis prieaugis $INCI$, atėmus ankstesnių metų inkrementą iš skaičiuojamų metų inkremento bei jų vidurkiai. Sekančiame etape pati prognozė skaičiuojama pagal šią formulę:

$$P_n = P + n \cdot X + \left(\frac{n(n+1)}{2}\right) \cdot Y \quad (10)$$

kur:

P_n – prognozė pagal metus,

n – prognozės ir paskutinių metų duomenų imtyje skirtumas,

P – paskutinių metų skaitinė vertė duomenų imtyje,

X – inkrementinis vidurkis,

Y – inkrementinio prieaugio vidurkis.

Jeigu turimi tokie Lietuvos greitų įkrovimo stotelių duomenys (2019 m. – 84 vnt., inkrementinis vidurkis – 20, inkrementinio prieaugio vidurkis – 6), atliekama pirmoji prognozė 2020 metams:

$$P_{2020} = P + 1 \cdot 20 + \left(\frac{1(1+1)}{2}\right) \cdot 6 = 110 \text{ vnt.}$$

Toliau skaičiavimai atliekami automatizuotai Excel programoje.

2.3.3. Ekspontinis išlyginimas

Ekspontinis išlyginimas dar gali būti vadinamas ekspontiniu glodinimu. Yra paplitusios kelios rūšys: paprastasis, dvigubas, trigubas. Pastarieji du geba atsižvelgti į sezoniškumą, cikliškumą ar kitokį duomenų netiesiškumą, tačiau elektromobilių ir jų įkrovimo stotelių skaičių laiko eilutėse nėra pastebimas skaitinių verčių šuoliam aukštyn-žemyn, todėl optimaliausia būtų pasinaudoti paprastojo ekspontinio išlyginimo būdu. Išnagrinėjus E. Ostertagovą ir O. Ostertag darbą apie paprastąjį ekspontinio išlyginimo modelį ir jo realizavimą „MATLAB“ aplinkoje [33], tie patys metodikos principai buvo panaudoti šiame darbe „Excel“ aplinkoje, prieš tai pasigilinus į pačio metodo fundamentalumą.

Pagrindinė paprastojo ekspontinio išlyginimo formulė yra ši:

$$\hat{y}_{i+1} = \alpha y_i + (1 - \alpha)\hat{y}_i \quad (11)$$

kur:

y_i – tikroji laiko eilutės reikšmė pagal laiko periodą i ,

\hat{y}_i – kintamojo Y pagal laiko periodą i prognozės reikšmė,

\hat{y}_{i+1} – prognozės reikšmė pagal laiko periodą $i+1$,

α – išlyginimo konstanta (galimos reikšmės $0 \leq \alpha \leq 1$).

Atliekant prognozavimą, naudojama ši formulė:

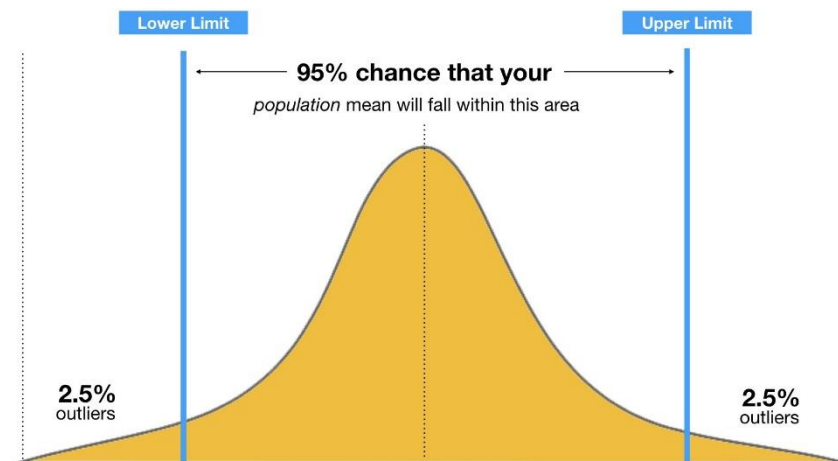
$$\begin{aligned} \hat{y}_{i+1} &= \alpha y_i + \alpha(1 - \alpha)y_{i-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 y_{i-2} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{i-2} y_2 + \alpha(1 - \alpha)^{i-1} y_1 \\ &= \alpha \sum_{k=0}^{i-1} (1 - \alpha)^k y_{i-k} \end{aligned} \quad (12)$$

kur:

\hat{y}_{i+1} – kintamojo Y pagal laiko periodą $i+1$ prognozės reikšmė iš žinomų laiko eilučių skaitinių verčių y_i, y_{i-1}, y_{i-2} ir toliau iki pirmos žinomos vertės iš laiko eilučių.

Svarbus momentas yra pasirinkti teisingą išlyginimo konstantos α reikšmę. Laiko eilutės reikšmėms esant nestabilioms, vertėtų naudoti mažesnę reikšmę (jeigu norima kad atsitiktiniai dydžiai būtų glodinami), o atvirkščiai – didesnę. Prognozuojant paprastojo eksponentinio išlyginimo būdu, laiko eilutėse didžiausią įtaką prognozei turi vėliausi duomenys.

Tolimesnius skaičiavimus galima atlikti rankiniu būdu, tačiau tai užimtų be galo daug laiko, todėl nusprendžiama pasinaudoti „Excel 2016“ automatinė eksponentinio išlyginimo skaičiuoklė. Atlikus pradinį nustatymus „Forecast Sheet“ įrankio funkciname meniu, gaunamos prognozės reikšmės ir apatinės bei viršutinės pasikliautinumo ribos pagal normalųjį skirstinį, kurias galima suprasti taip:



2.9 pav. Pasikliautinumo intervalo demonstravimas [34]

2.9 pav. pateiktas 95% pasikliautinumo intervalas, matomos ir kraštinės ribos, už kurių pasikliautinumas gautais rezultatais siekia tik 2,5 %. Taigi, įsivaizduokime, eksponentinio išlyginimo prognozavimo būdu gautume tokias tiriamojo objekto kiekio reikšmes: prognozės reikšmė – 20 vnt., apatinė pasikliautinumo riba – 10 vnt., viršutinė pasikliautinumo riba – 30 vnt. Vadinasi, tikrąją reikšmę gauti prognozės reikšmės intervale yra 95 % tikimybė, o gauti tikrąsias reikšmes mažesnes nei 10 vnt. arba didesnes nei 30 vnt. tikimybė yra vos 2,5 %. Šiuo principu galima tikslingai įvertinti gautų rezultatų sklaidą.

2.3.4. Kitų šalių tendencijų metodika

Prognozuojant pagal populiacijos arba eksponentinio išlyginimo metodiką, yra taikomi tik matematiniai modeliai, kurie negali įvertinti įvairių atsitiktinių realaus pasaulio pokyčių, tokių kaip elektromobilių rinkos proveržis, ekonomikos kilimas, valstybės parama ar kiti svarbūs faktoriai, kurie gali keisti elektromobilių įkrovimo tinklo tankumą. Šie faktoriai gali atsispindėti šalių elektromobilių greito įkrovimo stotelių istorinėje statistikoje.

Kad pateikti skaitines prognozių vertes, buvo apskaičiuotos Nyderlandų, Norvegijos ir Europos Sąjungos elektromobilių greito įkrovimo stotelių paskutinių 5 metų skaitinių reikšmių dalys, lyginant su ankstesniais metais.

2.4 lentelė. Kitų šalių tendencijų metodikos taikymo pavyzdys

Metai	Europa					
	Stotelių skaičius (>22kW)	Plotas (km ²)	Populiacija	M1 t. p. skaičius	Skaitinės vertės dalis, lyginant su ankstesniais metais	
2008	0	4 423 000	508 000 000	269 060 286		
2009	0					
2010	0					
2011	13					
2012	260					
2013	751					
2014	1474					0,509
2015	3396					0,434
2016	5190					0,654
2017	8723					0,595
2018	11138					0,783
2019	15136					0,736

2.4 lent. paskutiniame stulpelyje pateikiamos reikšmės paskutiniųjų penkių duomenų imties metų prieaugiui apskaičiuoti. Pavyzdžiui, vertinant dviejų metų (2013 ir 2014) elektromobilių greito įkrovimo stotelių prieaugį, 2013 metų skaitinė vertė padalinama iš 2014 metų skaitinės vertės. Tai atliekama su visais valstybiniais objektais, paskaičiuojamas vidurkis, pateikiamas palyginimas.

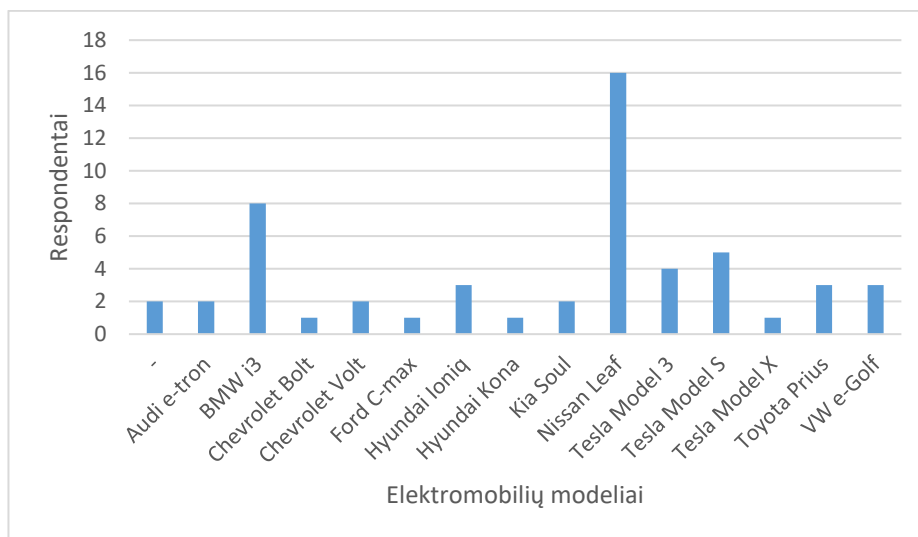
Pagal šias reikšmes galima pateikti prognozes Lietuvai pritaikant kitų šalių elektromobilių greito įkrovimo stotelių pokyčių tendencijas. Papildomam palyginimui turi būti pateikiami ir svarbiausi geografiniai, demografiniai ir transporto priemonių parko duomenys.

3. REZULTATŲ ANALIZĖ IR PALYGINIMAS

Šiame darbo skyriuje pateikiami atliktų tyrimų rezultatai. Atliekama jų analizė ir palyginimai.

3.1. Respondentų nuomonės analizė

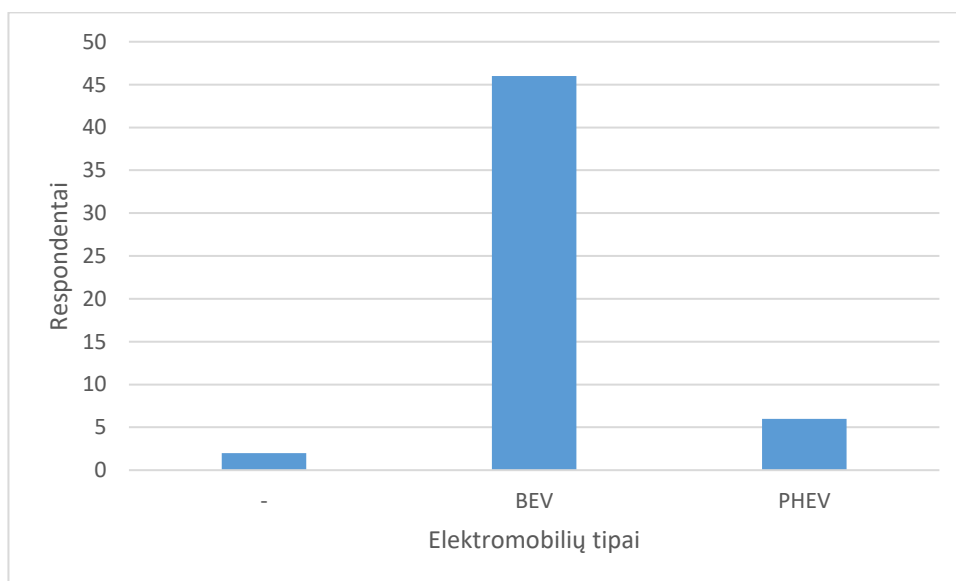
Analizuojant elektromobilių užmiestinio judumo anketos atsakymus, pirmiausia (1) sudaromas grafikas kokius elektromobilius vairuoja respondentai.



3.1 pav. Respondentų eksplloatuojamų elektromobilių modeliai

3.1 pav. matoma, kad dažniausias pasirinkimas yra „Nissan Leaf“, jį eksplloatuoja net 16 apklausos dalyvių. Antroje vietoje – „BMW i3“, kuri eksplloatuoja 8 apklausos dalyviai. Trečia vieta tenka „Tesla“ marki – pagal „Model S“ turi 5 respondentai („Model 3“ – 4 respondentai, o „Model X“ – 1 respondentas). Likusius modelius turi nuo 1 iki 3 respondentų. Šiuos skaičius patvirtina Regitros duomenys [35], kuriuose pateikiama kad grynujų elektromobilių parką 43 % sudaro „Nissan“ markė, 15 % - „Tesla“, 10 % - dalinasi „BMW“ ir „VW“, o likusius 22% užima įvairios kitos markės.

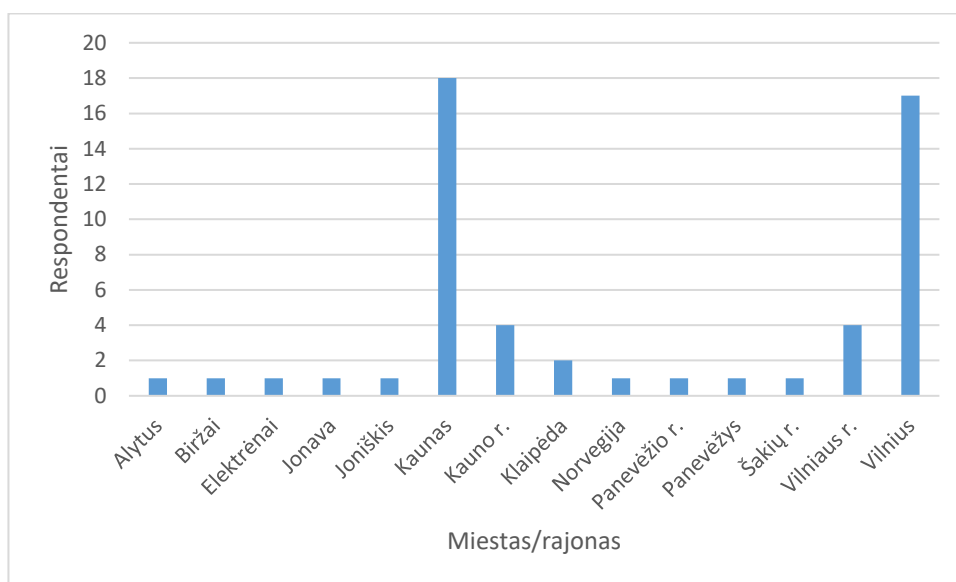
Papildomai pateikiama elektromobilio tipo stulpelinė diagrama:



3.2 pav. Respondentų eksplloatuojamų elektromobilių tipai

3.2 pav. matyti, kad didžioji dalis atsakiusiųjų eksploatuoja BEV – 46 resp, PHEV – tik 6 resp., likę nebuvo pažymėję savo modelio. Tokie rezultatai gali būti dėl to, kad užmiestinėse valstybinėse įkrovos stotelėse šiuo metu krovimas nemokamas ir BEV gali nuvažiuoti kur kas ilgesnius atstumus elektra nei PHEV, arba dėl to, kad socialinėje elektromobilių mėgėjų bendruomenėje yra daugiau BEV savininkų, arba dėl įvairių kitų priežasčių. Visgi dažnai važinėjant tolimesniais atstumais BEV yra pranašesnis pasirinkimas, nes PHEV baterija greit išsikrauna ir jis tampa tiesiog tradiciniu VDV turinčiu lengvuoju automobiliu.

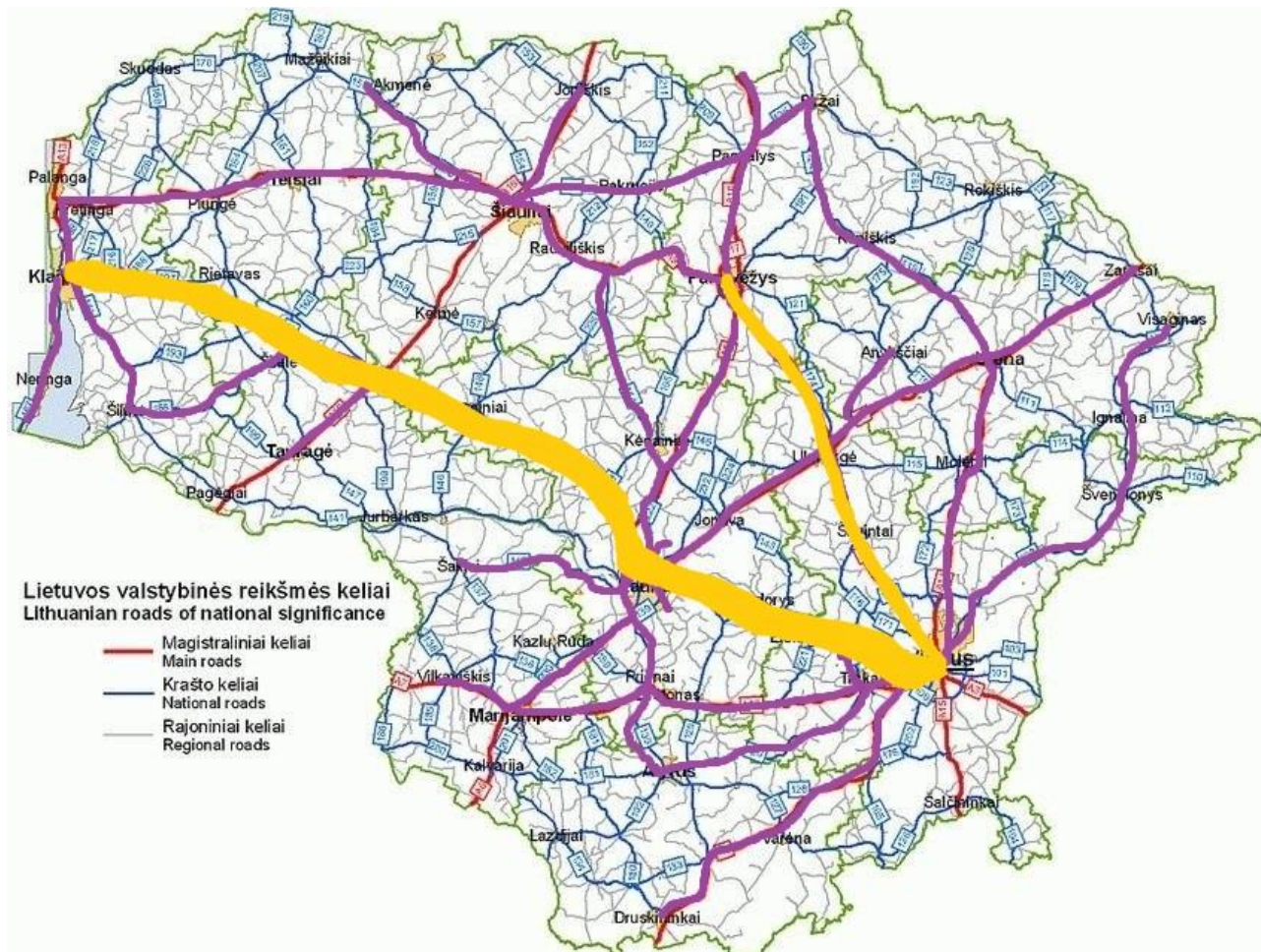
Iš antrojo (2) anketos klausimo atsakymų sudaromas respondentų gyvenamosios vietos grafikas.



3.3 pav. Respondentų gyvenamoji vieta

3.3 pav. akivaizdžiai matyti, kad apklausos dalyviai tankiausiai pasiskirstę Lietuvos didmiesčiuose. Kaune ir Kauno r. iš viso gyvena 22 resp., Vilniuje ir Vilniaus r. – 21 resp., likusiuose miestuose ir miesteliuose po 1 resp., išskyrus Klaipėdą – kur gyvena 2 resp. Šiuos skaičius taip pat patvirtina „Regitros“ duomenys [35], juose pateikiama, kad Vilniuje ir Vilniaus r. šiuo metu registruota maždaug 57 % (935 vnt.) viso M1 ir N1 BEV parko (1624 vnt.), o Kaune ir Kauno r. – 15 % (243 vnt.), Klaipėdoje – 125 vnt.

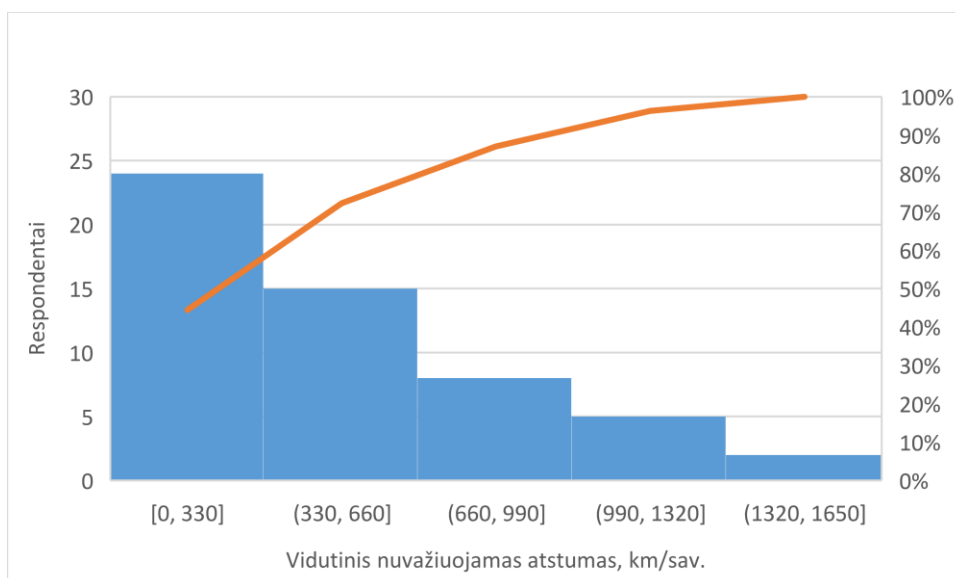
Dėl laisvos formos trečiame (3) punkte apie tipinius respondentų maršrutus pateikta informacija yra sunkiai apdorojama, todėl šiuo atveju pateikiamas vizualus variantas:



3.4 pav. Tipiniai respondentų maršrutai (sudaryta pagal [36])

3.4 pav. pavaizduoti tipiniai respondentų maršrutai violetine ir geltona spalvomis. Violetinė spalva nurodo pavienes respondentų važiavimo kryptis, geltona – dažniausias. Storiausia geltona linija nurodo magistralinį kelią A1 Vilnius–Kaunas–Klaipėda, juo reguliariai važinėja beveik pusė anketos dalyvių (26 resp.). Plonesnė geltona linija nurodo magistralinį kelią A2 Vilnius–Panevėžys, kuriuo reguliariai naudojasi bent 8 elektromobilių vairuotojai. Plonesnė violetinė linija nurodo pavienius respondentų maršrutus įvairaus tipo Lietuvos keliais. Akivaizdu, kad didžiausi srautai vyksta pagrindine trijų Lietuvos didmiesčių magistrale A1. Šio fakto validumą patvirtina 2018 metų vidutinis metinis paros eismo intensyvumas A1 magistralėje – jis yra didžiausias visoje Lietuvoje (20 741 aut./parą 2018 metų duomenimis) [37].

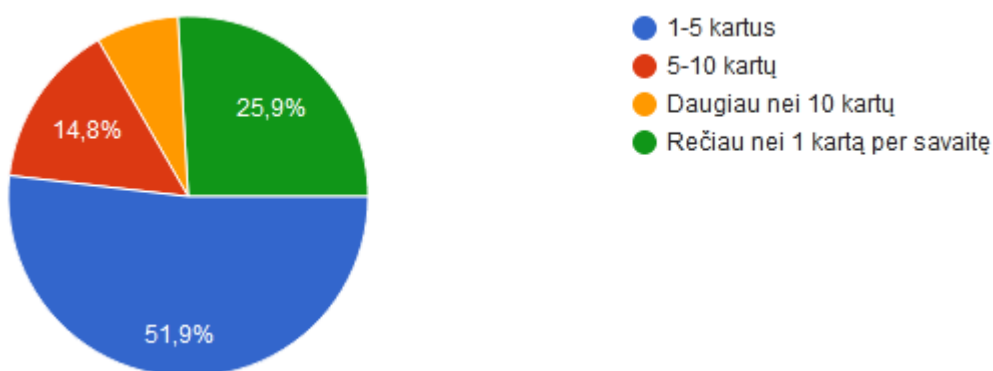
Dauguma atsakiusiųjų ketvirtame (4) pateikė savo vidutinio nuvažiuojamo atstumo per savaitę reikšmes forma nuo–iki, tad buvo apskaičiuoti šių reikšmių vidurkiai.



3.5 pav. Respondentų vidutinis nuvažiuojamas atstumas per savaitę (Pareto diagrama)

3.5 pav. pateikiamoje Pareto diagramoje stulpeliuose pateikiami nuvažiuojami atstumų intervalai, kurie gretinami su respondentų skaičiumi, o kreivė nurodo procentinę dalį visos imties. Matyti, kad daugiausiai atsakiusių nuvažiuoja iki 330 km/sav. (24 resp. – beveik 50 % visų resp.), iki 660 km/sav. nuvažiuoja 15 resp. – apie 25 % visų resp., o didesniais atstumais važiuojančių skaičius sparčiai mažėja.

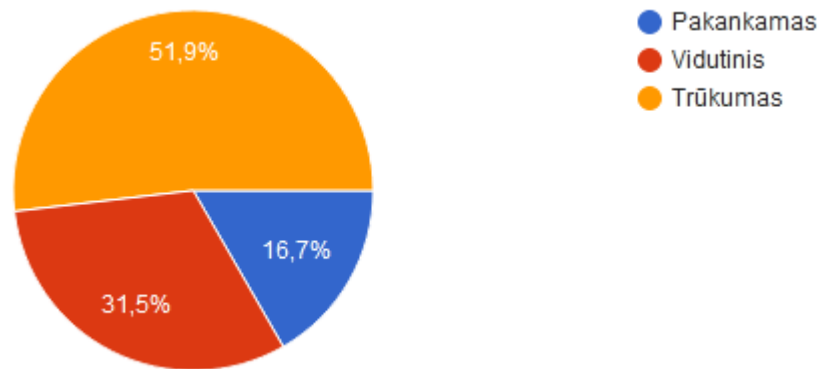
Penktame (5) punkte buvo atsakinėjama, kiek kartų per savaitę užmiestinėse įkrovos stotelėse kraunamas respondento elektromobilis.



3.6 pav. Įkrovimų skaičius per savaitę užmiestinėse įkrovos stotelėse

3.6 pav. matoma, kad daugiau nei pusė visų respondentų per savaitę kraunasi nuo 1 iki 5 kartų viešose užmiestinėse stotelėse. Ketvirtadalis jų, tai daro rečiau nei kartą per savaitę. Iš to galima pasakyti, kad EV vairuotojai nesudaro didžiulės apkrovos įkrovimo tinklui, o tam gali būti daug priežasčių – mažesnis didelių atstumų poreikis, dideli nuvažiuojamų kilometrų resursai, geresnis kelionių planavimas ir t. t.

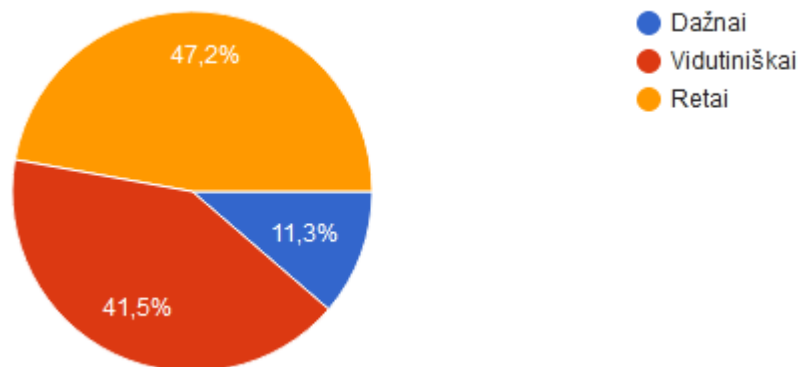
Šeštame (6) punkte prašoma išsakyti savo nuomonę, ar šiuo metu pakankamas užmiestinis įkrovos stotelių kiekis.



3.7 pav. Nuomonė apie užmiestinių įkrovimo stotelių kiekį

3.7 pav. daugiau nei pusė (28 resp.) atsakė, jog jų nuomone, viešų užmiestinių EV įkrovimo stotelių trūksta. 17 resp. mano, kad jų kiekis yra vidutinis ir tik mažuma (9 resp.) mano, kad jų pakanka. Iš to kyla išvada, jog dauguma EV vairuotojų nelabai patenkinti dabartine įkrovimo infrastruktūra.

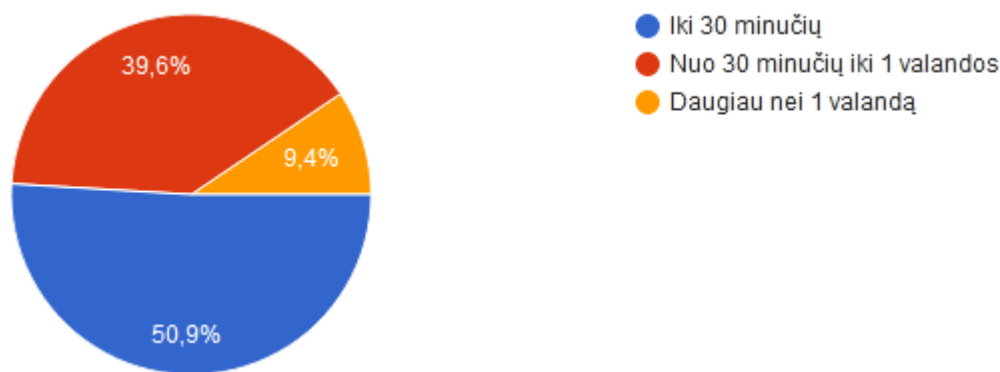
Septintame (7) punkte prašoma atsakyti, ar dažnai tenka baterijos įkrovimo laukti eilėje arba dalintis su kitais vairuotojais, jeigu tai atliekama viešose užmiestinėse stotelėse.



3.8 pav. Prastovos užmiestinėse įkrovimo stotelėse

3.8 pav. skritulinėje diagramoje beveik pusė atsakiusiųjų (25 resp.) pasirinko, kad prastovos prie įkrovimo punktų yra labai retos, kita didelė dalis (22 resp.) teigia, kad kartais tenka palaukti. Labai mažai vairuotojų (6 resp.) atsakė, jog dažnai tenka laukti eilėje arba dalintis įkrovimu su kitais EV vairuotojais. Ši informacija paantrina 5-tą punktą, kad užmiestinė įkrovimo infrastruktūra nėra labai apkrauta.

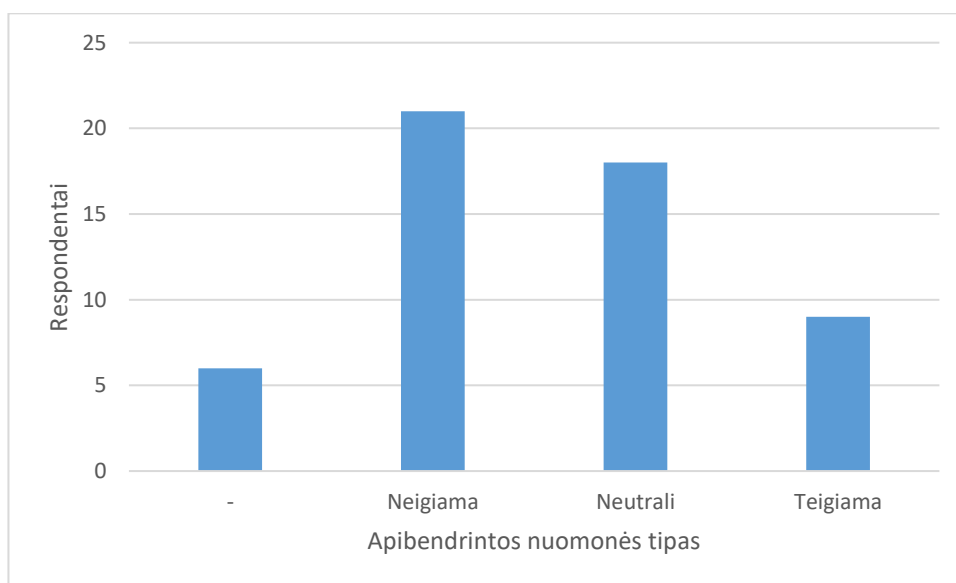
Aštuntame (8) punkte prašoma atsakyti, kiek laiko vidutiniškai praleidžiama užmiestinėse įkrovimo stotelėse, jeigu ten lankomasi.



3.9 pav. Įkrovimo laikas užmiestinio įkrovimo stotelėse

3.9 pav. pusė dalyvių (27 resp.) pasirinko, kad įprastai praleidžia iki 30 min. įkraudami EV, kita didelė dalis (21 resp.) pasirinko, kad tenka praleisti nuo 30 min. iki 1 val. Tik mažuma (5 resp.) atsakė, kad įprastai tenka įkrovimą atlikti ilgiau nei 1 val. Galima patvirtinti, kad tikrai didelių prastovų prie įkrovimo punktų nesusidaro, kitu atveju dauguma žmonių lauktų ilgiau.

Paskutiniame (9) anketos punkte prašoma išsakyti savo nuomonę apie užmiestinę elektromobilių įkrovimo infrastruktūrą. Tai atviras klausimas, kuriame respondentai gali pateikti savo pastebėjimus, nusiskundimus, pagyrimus ar rekomendacijas. Siekiant lengviau apdoroti 48 respondentų nuomones, jos buvo suskirstytos į teigiamas, neutralias ir neigiamas.



3.10 pav. Respondentų apibendrintos nuomonės apie užmiestinę įkrovimo infrastruktūrą tipas

3.10 pav. stulpelinėje diagramoje matome, kad visgi didžioji dauguma yra nepatenkinti (21 resp.) viešojo užmiestinio įkrovimo infrastruktūra, arba turi neutralią nuomonę (18 resp.). Tik 9 resp. mano, kad šiuometinė infrastruktūra yra gera, o 6 resp. susilaikė nuo nuomonės išsakymo.

Dauguma apklausos dalyvių, turintys neigiamą nuomonę, labiausiai nepatenkinti įkrovimo stotelių ir įkrovimo vietų jose trūkumu. Taip pat žmonės labai nepatenkinti, kai reikia laukti ir tuo metu nevyksta joks, netgi lėtas krovimas arba dar blogiau – stotelė išvis netikėtai neveikia į ją atvykus. Turintys neutralią nuomonę iš esmės nėra stipriai nepasitenkinę viešąja užmiestine įkrovimo infrastruktūra, tačiau dauguma teigia, kad stotelių ir pačių įkrovimo vietų galėtų būti daugiau – jog keli EV galėtų krauti vienu metu be trikdžių. Dalyviai, išsakę teigiamą nuomonę, šiuo metu yra

patenkinti įkrovimo infrastruktūra, tačiau kai kurie teigia, kad ateityje reikėtų ją plėsti. Visi respondentai, kurie pabrėžė tam tikras vietas ir kelius, kuriose nepatogu keliauti elektromobiliu dėl įkrovimo stotelių stokos, įvardino kelią A11 Vilnius–Druskininkai (siūlytų papildomą įkrovimo vietą Varėnoje arba Valkininkuose), Ignalinos rajone (teigia kad čia nėra jokio įkrovimo tinklo) ir kitas atokesnes vietas nusukus nuo pagrindinių kelių, magistralių.

Apžvelgus elektromobilių užmiestinio judumo anketos rezultatus, paaiškėjo, kad dalyviai pagal gyvenamąją vietą tankiausiai pasiskirstę Lietuvos didmiesčiuose – Kaune, Vilniuje ir Klaipėdoje (įskaitant ir šių miestų rajonus). Šiuose miestuose, lyginant su kitais, yra daugiausiai gyventojų, daugiausiai registruotų transporto priemonių. Atitinkamai – juose labiausiai išvystyta ir elektromobilių įkrovimo infrastruktūra, tad suprantama kodėl spartus elektromobilių augimas pastebimas tik didmiesčiuose. Išskiriant respondentų tipinius važiavimo maršrutus, dominuoja A1 magistralinis kelias Vilnius–Kaunas–Klaipėda, kuris būtent ir apjungia minėtus Lietuvos didmiesčius. Elektromobilių įkrovimo tinklas šiame kelyje yra pakankamai tankus ir šiuometinį elektromobilių įkrovimo poreikį patenkina. Atsižvelgiant į tai, verta labiau skirti dėmesį kitoms įkrovimo stotelėms, kurios yra arba bus išdėstytos kituose valstybinės reikšmės keliuose, o apibendrinant apklausos rezultatus, galima teigti, kad didžioji dalis respondentų yra nelabai patenkinti dabartiniu Lietuvos elektromobilių įkrovimo stotelių tinklu mažiau svarbiuose valstybinės reikšmės keliuose, ypač pietrytinėje, rytinėje ir šiaurės rytų Lietuvos teritorijose.

3.2. Elektromobilių įkrovimo tinklo funkcionalumo tyrimas

Šiame poskyryje pateikiami elektromobilių įkrovimo tinklo funkcionalumo tyrimo rezultatai. Sudarius optimalų maršrutą per Lietuvos didmiesčius, palyginamas jo įveikimo laikas elektromobiliu ir tradiciniu automobiliu. Pateikiami įkrovimo stotelių tinklo analizės pagal Voronojaus diagramas ir Delauné trianguliacijas rezultatai, plėtros galimybių variantai.

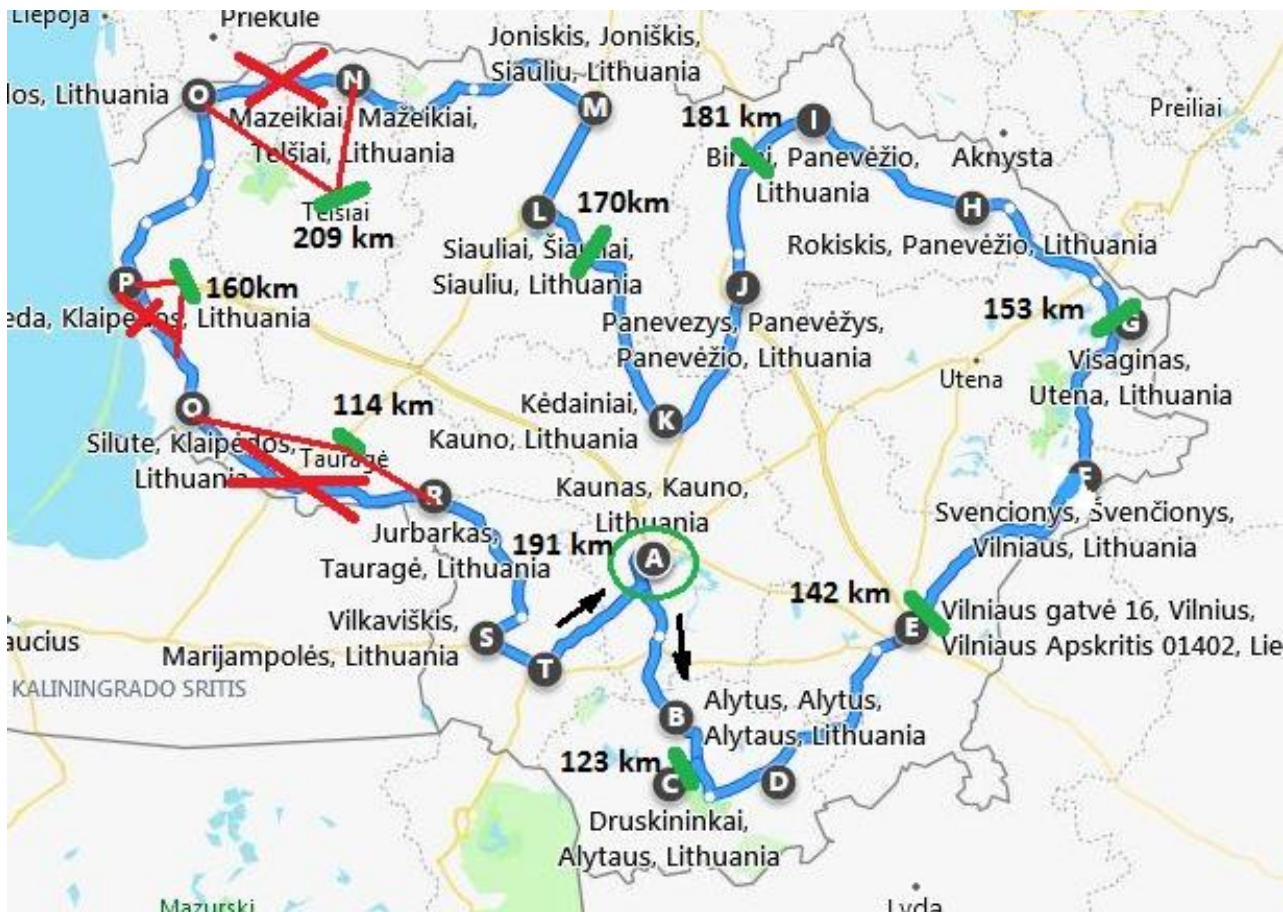
3.2.1. Optimalus maršrutas elektromobiliu per Lietuvos didmiesčius

Atlikus optimalaus maršruto sudarymą per Lietuvos didmiesčius „Excel Solver“ programa pagal 2.2.1. skyrelyje pateiktą metodiką, buvo gauta modifikuota funkcinė lentelė, kurioje pateiktas miestų eiliškumas maršruto sudarymui:

3.1 lentelė. Gauta modifikuota funkcinė rezultatų lentelė

Pavadinimas	Numeris	Atstumas	Sustojimai	Startas: Kaunas
Kaunas	6	66	1	STARTAS (0)
Alytus	1	57	2	6
Druskininkai	3	58	3	KROVIMAS (123)
Varėna	17	84	4	
Vilnius	19	85	5	KROVIMAS (142)
Švenčionys	16	68	6	
Visaginas	20	97	7	KROVIMAS (153)
Rokiškis	12	64	8	
Biržai	2	66	9	KROVIMAS (161 + 20 Raubonys = 181)
Panevėžys	11	59	10	
Kėdainiai	7	97	11	KROVIMAS (105 + 65 Veižiai = 170)
Šiauliai	14	39	12	
Joniškis	4	98	13	
Mažeikiai	10	55	14	
Skuodas	13	75	15	KROVIMAS + DIDELIS NUOKRYPIS (važiuojant)
Klaipėda	8	53	16	KROVIMAS + NEDIDELIS NUOKRYPIS (140 + 19)
Šilutė	15	98	17	KROVIMAS + NEDIDELIS NUOKRYPIS (114, tarp)
Jurbarkas	5	72	18	
Vilkaviškis	18	23	19	
Marijampolė	9	56	20	
Kaunas	6			FINIŠAS (191)
		SUMA		
		1370	nepridėjus neplanuotų 66	

Kaip matyti, rezultatuose 3.1 lent. pateikiamas trumpiausias maršrutas visiems 20 miestų aplankyti po vieną kartą ir grįžti į pradinį miestą Kauną. Suminis maršruto atstumas gaunamas 1 370 km. Šone matomas krovimo vietų pasirinkimo fragmentas (jos nustatomos pagal antros kartos „Nissan Leaf“ nuvažiuojamo atstumo galimybes), detaliau, tai bus apžvelgiama sekančiame žingsnyje, kuriame bus pateikiamas maršruto žemėlapis.



3.11 pav. Gauta optimalaus maršruto žemėlapis (žalias apskritimas – pradžios ir pabaigos vieta; žali brūkšniai – vietos, kuriose buvo kraunamasi; juodos rodyklės – nurodo važiavimo kryptį; juodi atstumai – nurodo kiek buvo nuvažiuota kilometrų iki krovimo; raudoni kryžukai – nurodo nevažiuotą atkarpą; raudonos linijos – nurodo atkarpų korekciją)

3.11 pav. pateikiamas maršrutas žemėlapyje (vengiant magistralinių kelių), o aprašymas pateikiamas žemiau:

- Jis pradedamas Kaune, o pirmasis krovimas įvyksta Druskininkuose nuvažius 123 km, kadangi nuo Druskininkų iki Vilniaus šiuo metu nėra įkrovos stotelių.
- Nuo Druskininkų, per Varėną, važiuojama iki Vilniaus, tai antrasis krovimas nuvažius 142 km (nors žemėlapyje nėra pažymėtos įkrovos stotelės aplink Vilnių, sostinėje jų tikrai yra labai daug).
- Atkarpoje nuo Vilniaus, per Švenčionis, iki Visagino stotelė yra tik galutiniame taške, taigi trečiasis krovimas vyksta Visagine nuvažius dar 153 km.

- Ketvirtasis krovimas vyksta vėl aplankius du miestus (Rokiškį, Biržus) šiek tiek už Biržų ties Raubonimis nuvažiavus 181 km atkarpą.
- Toliau važiuojama pro Panevėžį, Kėdainius ir prieš Šiaulius, ties Velžiais, tenka pasikrauti penktą kartą nuvažiavus 170 km.
- Toliau seka Šiauliai, Joniškis ir Mažeikiai. Dėl stotelių trūkumų šiauriniame Lietuvos pasienyje, tenka neplanuotai važiuoti per Telšius ir juose pasikrauti šeštą kartą po 209 km atkarpos.
- Pasiekus Klaipėdą daromas nedidelis nuokrypis į Saulažolius pasikrauti septintą kartą nuvažiavus 160 km atkarpą (šiuo metu, 2020 metais, to daryti neprireiktų, nes Klaipėda įrengė naujų greito įkrovimo stotelių).
- Nuo Šilutės galima būtų važiuoti tiesiai iki Jurbarko, tačiau pritrūktų energijos tolimesniems miestams pasiekti, todėl tenka atlikti maršruto pokyčius ir aštuntą kartą krovimą Tauragėje po 114 km atkarpos.
- Likę miestai pasiekiami be tarpiniu sustojimu, Kaunas pasiekiamas pravažiavus 191 km atkarpą.

Apibendrintai galima teigti, kad lankant Lietuvos didmiesčius optimaliuoju maršrutu ypatingai išryškėjo įkrovimo stotelių trūkumas Žemaitijos regione – ypač Lietuvos pietvakariuose, vakaruose ir šiaurės rytų teritorijose. Eksploatuojant antros kartos „Nissan Leaf“ su vidutiniu nuvažiuojamu atstumu didelių keblumų nekilo, tačiau jei tai būtų senesnis elektromobilis, galimai kai kurios atkarpos būtų sunkiai įveikiamos, neabejotinai reiktų didinti įkrovimo sustojimų skaičių. Šiuo atveju, Lietuvos automobilių kelių direkcijai ar bet kuriai kitai viešų greitųjų stotelių įrengimo įmonei, būtų rekomenduotina sutankinti įkrovos tinklą Žemaitijos regione, taip pat vertinga būtų apsvarstyti įrengti po vieną viešą greitąją įkrovos stotelių minėtų didmiesčių prieigose – kelionės būtų patrauklesnės, krovimo metu vairuotojai ir keleiviai mieliau laiką praleis tankiau apgyvendintose ir civilizuotesnėse teritorijose, nei tuščiose tarp miestinėse įkrovos stotelėse.

3.2.2. Optimalaus maršruto įveikimo laiko elektromobiliu ir tradiciniu automobiliu palyginimas

Pagal skaičiavimų metodiką 2.2.2. skyrelyje, pateikiama skaičiavimų lentelė:

3.2 lentelė. Prastovų laikas įkraunant elektromobilį

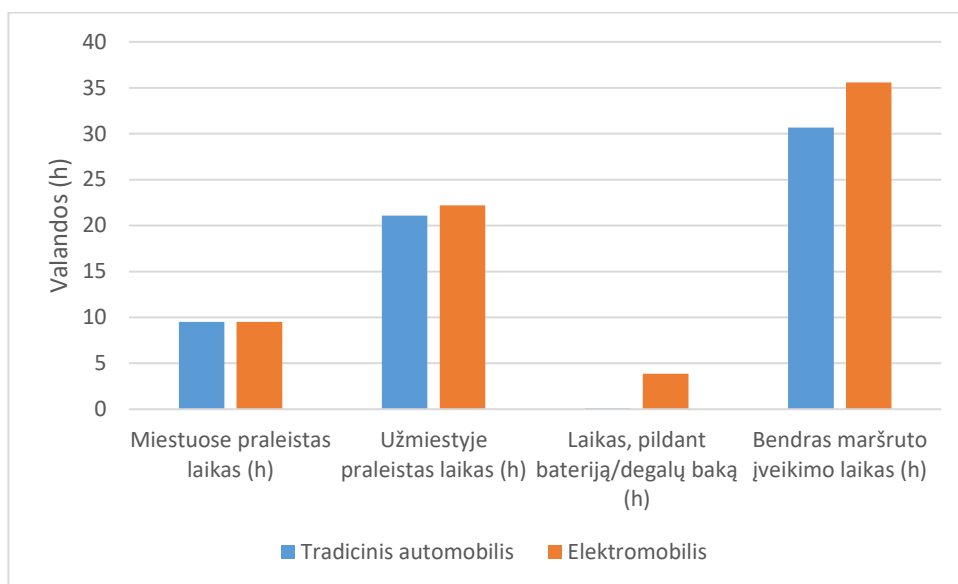
Krovimo nr.	Stotelės lokacija	Stotelės krovimo galingumas (kWh)	Nuvažiutas atstumas (km)	Snaudota baterijos energijos (kWh)	Trūkstama talpa iki 80 % (kWh)	Krovimo iki 80 % trukmė (min)	Krovimo iki 80 % trukmė (h, min, s)
1	Druskininkai	50	123	19.29	12.71	15.25	15 min 15 s
2	Vilnius	50	142	22.27	22.27	26.73	26 min 44 s
3	Visaginas	43	153	24.00	24.00	33.49	33 min 29 s
4	Pasvalys (Raubonys)	50	181	28.39	28.39	34.07	34 min 4 s
5	Radviliškis (Velžiai)	50	170	26.67	26.67	32.00	32 min
6	Telšiai	50	209	32.78	32.78	39.34	39 min 20 s
7	Saulažoliai	50	160	25.10	25.10	30.12	30 min 7 s
8	Tauragė	50	114	17.88	17.88	21.46	21 min 28 s
						SUMA	SUMA
						232.45	3 h 52 min 27 s

3.2 lent. pateikiami visi 8 sustojimai optimaliajame maršrute elektromobiliu. Iš kairės į dešinę: įkrovimo numeris; stotelės lokacija; stotelės maksimalus galingumas; nuvažiuotas atstumas iki stotelės; sunaudota baterijos energijos iki stotelės; trūkstama talpa iki 80 % talpos (kad galima būtų įsikrauti greituoju krovimu); krovimo trukmė iki 80 % talpos min forma, ir h, min, s forma. Apačioje pateikiamos ir suminės krovimo trukmės reikšmės.

Bendram maršruto laikų palyginimui pateikiama atskira lentelė ir grafikas:

3.3 lentelė. Tradicinio automobilio ir elektromobilio maršruto įveikimo laikų palyginimas

Transporto priemonė	Miestuose praleistas laikas (h)	Užmiestyje praleistas laikas (h)	Laikas, pildant bateriją/degalų baką (h)	Bendras maršruto įveikimo laikas (h)	Bendras maršruto įveikimo laikas (h, min, s)
Tradicinis automobilis	9.5	21.08	0.083333333	30.66025641	30 h 39 min 37 s
Elektromobilis	9.5	22.2	3.87	35.57421797	35 h 34 min 27 s



3.12 pav. Tradicinio automobilio ir elektromobilio maršruto įveikimo laikų palyginimo grafikas

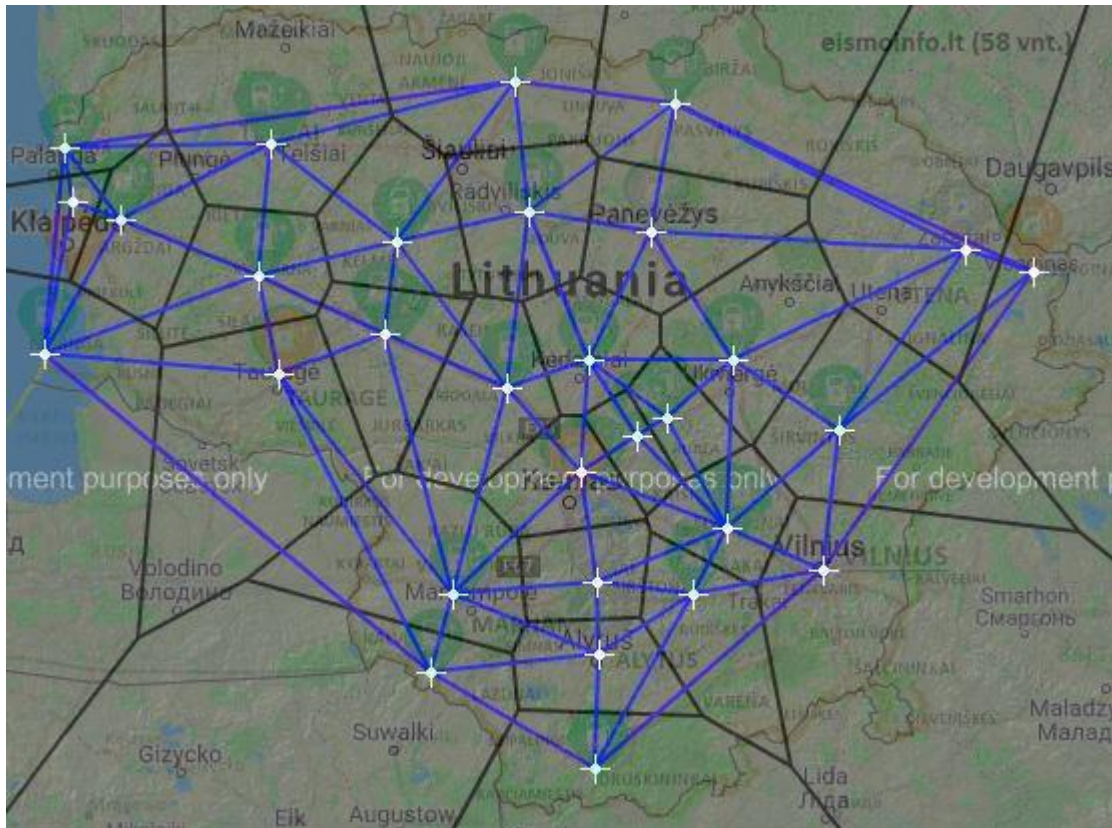
Kaip matyti 3.3 lent., abejos transporto priemonės praleistų vienodą laiką miestuose, tačiau užmiestyje elektromobilis važiuotu ilgiau dėl poreikio nukrypti nuo suplanuoto maršruto dėl įkrovimo. Labai didelis skirtumas matomas tarp energijos atsargų papildymo.

3.12 pav. rezultatuose, visgi elektromobilis nusileidžia tradiciniam automobiliui, jis maršrutą įveikia beveik 5 valandomis ilgiau. Bendrą laiką ypatingai prailgina prastovų laikas kraunant elektromobilio bateriją – beveik 4 valandos. Be to, beveik 1 valanda prailgsta maršrutas dėl maršruto nukrypimo paieškant įkrovos stotelių.

Apibendrinant galima teigti, kad važiuoti optimalų maršrutą per Lietuvos didmiesčius šiuolaikiniu elektromobiliu, naudojantis šiuolaikiniu viešu greitojo elektromobiliu įkrovimo tinklu, lyginant su tradiciniu automobiliu, yra neefektyvu (užtrunkama apie 16 % ilgiau nei tradiciniu automobiliu). Būtų rekomenduotina tiksliau išnaudoti maršruto planavimo galimybes, pavyzdžiui, elektromobiliui tuščiai laiką praleidžiant stovėjimo vietose lankytuose miestuose, vietoj to galima būtų jį palikti įkrovimo vietose. Tokiu atveju prastovų laikas miestuose (9 h 30 min) būtų naudingai išnaudotas kraunant elektromobilį ir didelė tikimybė, kad bendras įkrovimo laikas per visą maršrutą būtų eliminuotas (3 h 52 min 27 s), o tada elektromobilio bendras maršruto įveikimo laikas būtų ne didesnis, nei vidaus degimo variklio varomo automobilio.

3.2.3. Įkrovimo stotelių tinklo plėtros variantai

Išsiaiškinus kuriose Lietuvos keliuose ir vietovėse yra greito įkrovimo prieigų stygius, remiantis metodika, pateikta 2.2.3. skyrelyje, sudaromas Voronojaus diagramų ir Delaunė trianguliacijų žemėlapis:

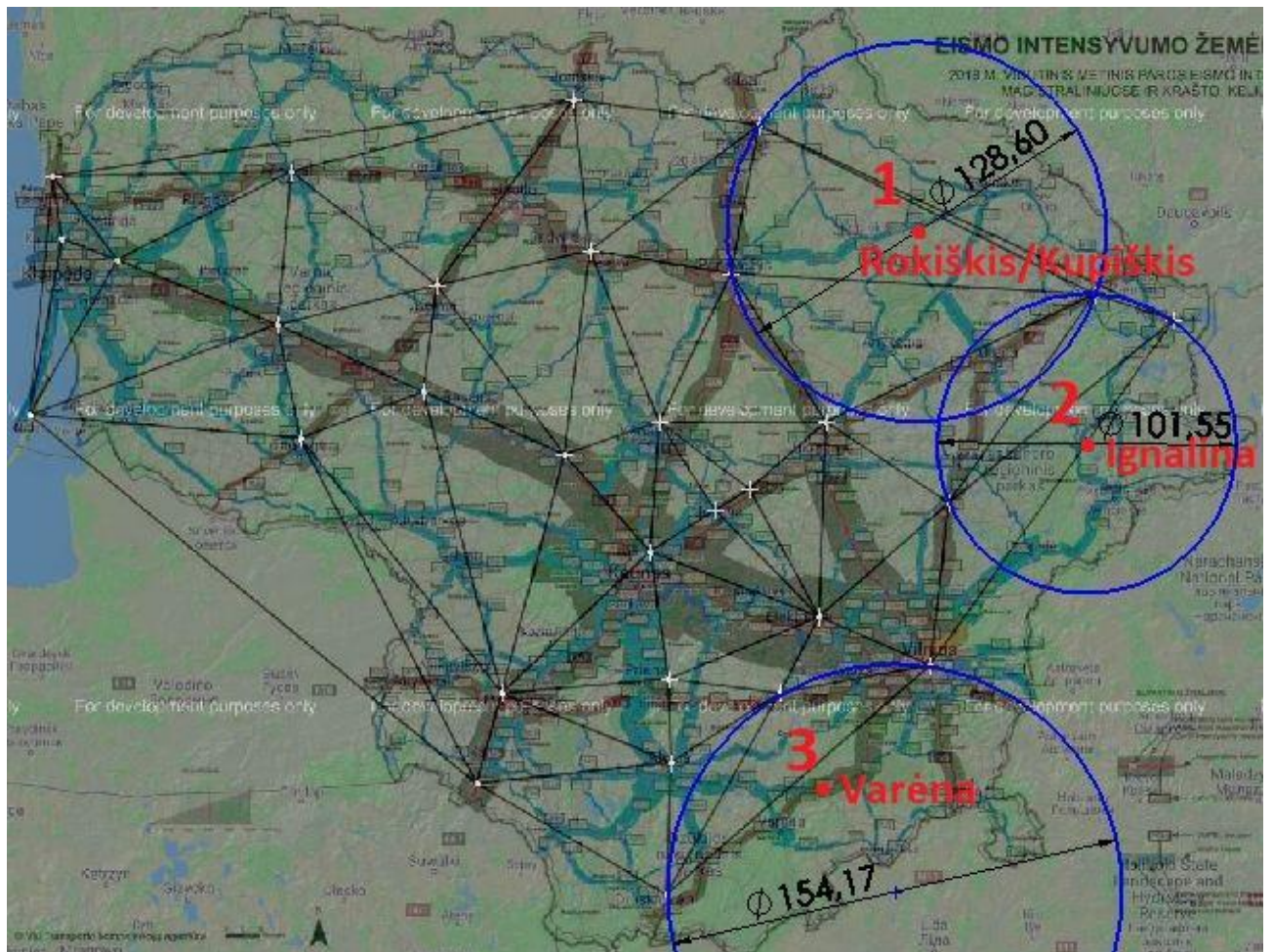


3.13 pav. Įkrovimo stotelių žemėlapis su Voronojaus diagramomis ir Delaunė trianguliacijomis

3.13 pav. pateiktame žemėlapyje matomos juodos Voronojaus celės – daugiakampės figūros ir jose pažymėtos greitojo įkrovimo stotelės arba jų masyvai. Kiekvienos celės briauna nurodo pusę atstumo nuo vienos įkrovimo stotelės iki kitos. Tarkime, jeigu važiuojantį elektromobilį, su mažomis energijos atsargomis, pažymėtume atsitiktinėje žemėlapijo vietoje, jis pakliūtų į tam tikrą celę ir galima būtų greitai surasti trumpiausią atstumą iki įkrovimo stotelės. Kuo celių yra daugiau, tuo tinklas yra tankesnis. Matyti kad centrinėje Lietuvos dalyje celių yra daug ir jų dydis yra mažas, tačiau aplink Lietuvos perimetrą jų yra mažiau ir jos yra didelės, tai reiškia kad tose vietose įkrovimo infrastruktūra yra išvystyta prasčiau.

Panašiai situaciją galima įvertinti ir pagal Delaunė trianguliacijas, kurios 3.13 pav. pažymėtos mėlynai. Didelis tankis pastebimas centrinėje Lietuvos dalyje, o visame perimetre – stygius.

Būtent dėl to, kraštinių Lietuvos miestų, kurių yra tikrai nemažai (Mažeikiai, Rokiškis, Kupiškis, Ignalina, Varėna, Šakiai ir t. t.), susisiekimas dažnai gali būti komplikuoatas. Atsižvelgiant ir į prieš tai atliktus tyrimus ir išsiaiškinus, jog labiausiai įkrovimo infrastruktūros trūkumai pastebimi Lietuvos rytinėje ir vakarinėje dalyje, išskyrus Klaipėdą, pateikiami variantai, kur būtų tikslinga įrengti naujas greito įkrovimo stoteles pagal 2.2.3. skyrelio metodiką:

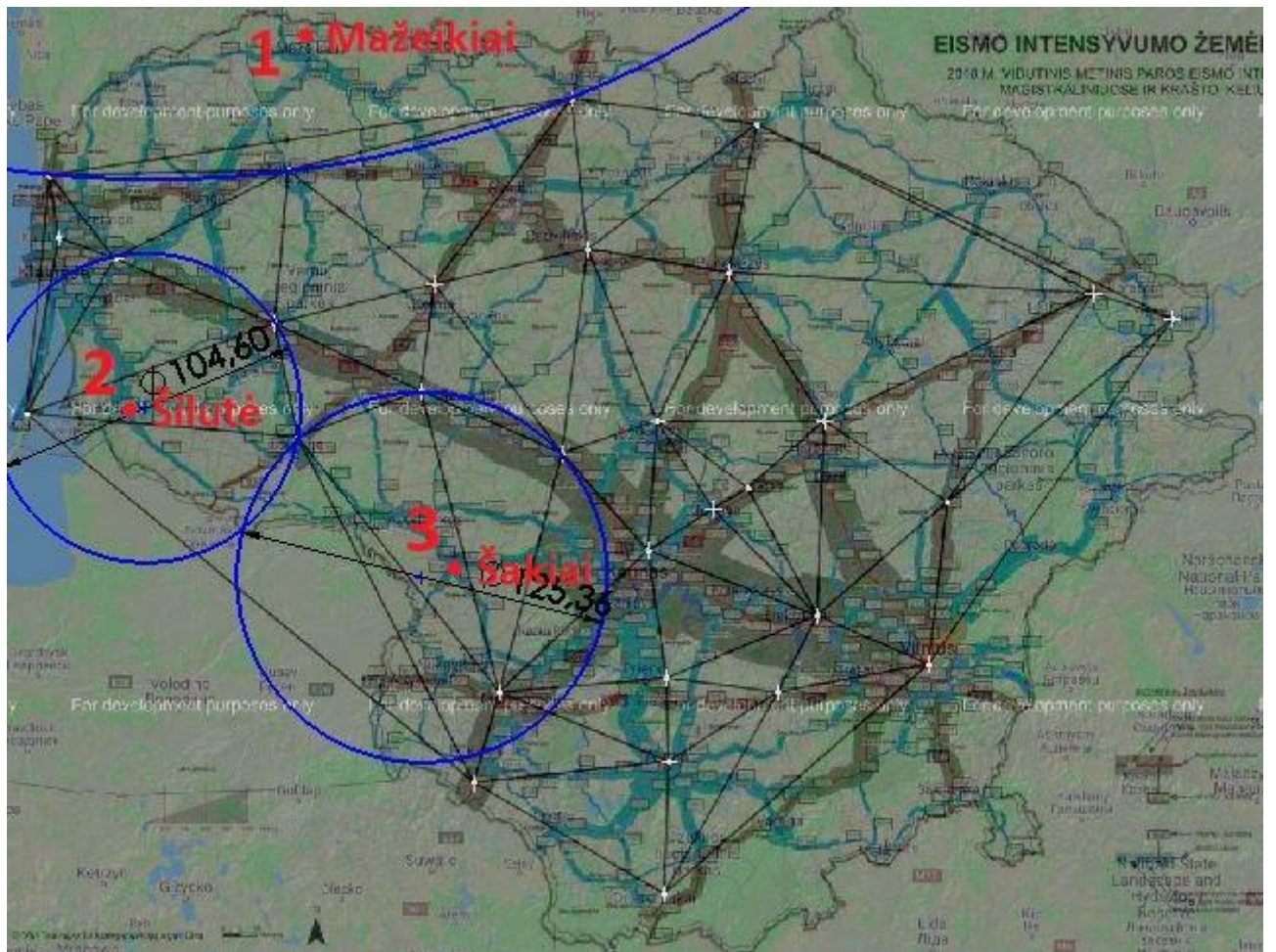


3.14 pav. Šiaurės rytų, rytų ir pietryčių Lietuvos įkrovimo stotelių plėtros variantai

3.14 pav. pateikti trys apibrėžtiniai apskritimai pagal Delaunė trianguliacijas rytinėse Lietuvos dalyse.

- 1-asis apskritimas ribojasi su Pasvalio, Panevėžio ir Zarasų įkrovimo stotelėmis. Apibrėžtinio apskritimo centras gaunamas krašto kelyje 112 maždaug pusiaukelėje tarp Rokiškio ir Kupiškio. Įkrovimo stotelę galima įrengti šioje vietoje, nes VMPEI pagal 2018 m. šiame kelyje yra vidutinis (2179 aut./parą), ji pagerintų elektromobilių susisiekimą tarp tokių miestų kaip Rokiškis, Kupiškis, Biržai, Panevėžys, Anykščiai, Utena, Zarasai.
- 2-asis apskritimas ribojasi su Visagino, Zarasų ir Dubingių įkrovimo stotelėmis. Apibrėžtinio apskritimo centras gaunamas krašto kelyje 114 šalia Ignalinos. Šiame kelio ruože VMPEI yra 1758 aut./parą. Nauja stotelė turėtų patenkinti galimus įkrovimo poreikius iš didelio srauto nuo Vilniaus pusės (iki 7803 aut./parą). Taip pat ji sudarytų sąlygas patogiau pasiekti Utenos apskritį, kurioje greito įkrovimo stotelių šiuo metu nėra.
- 3-asis apskritimas ribojasi su Druskininkų, Aukštadvario ir Vilniaus įkrovimo stotelėmis. Apibrėžtinio apskritimo (jis yra pat didžiausias iš visų trijų, skersmuo 154,17 km) centras gaunamas net ne Lietuvos teritorijoje, tačiau jis atitinkamai perstumiamas į magistralinį kelią A4 maždaug pusiaukelėje tarp Vilniaus ir Druskininkų (šalia Varėnos arba Valkininkų). Šiame kelyje VMPEI siekia iki 6914 aut./parą. Tai labai apkrautas kelias, ypač savaitgaliais. Tai yra prioritetinga vieta greitojo įkrovimo stotelės įrengimui.

Toliau pateikiami įkrovimo stotelių variantai priešingoje Lietuvos pusėje:



3.15 pav. Šiaurės vakarų, vakarų ir pietvakarių Lietuvos įkrovimo stotelių plėtros variantai

3.15 pav. matomi trys apibrėžtiniai apskritimai pagal Delaunė trianguliacijas vakarinėse Lietuvos dalyse.

- 1-asis apskritimas ribojasi su Joniškio, Telšių ir Palangos įkrovimo stotelėmis. Apibrėžtinis apskritimas yra be galo didelis ir jo centras labai nutolęs nuo Lietuvos, tačiau įkrovimo stotelės taškai atitinkamai perstumiamas į Mažeikius. VMPEI apibrėžtinio apskritimo plote Lietuvos teritorijoje siekia iki 5593 aut./parą, tad čia įkrovimo stotelė labai reikalinga, kad patenkinti galimus įkrovimo poreikius didėjant elektromobilių skaičiui. Paskutiniais duomenimis (2020-05-03), šiuo metu stotelės įrengimo darbus jau vykdo „Elinta“ adresu Laisvės g. 56, prie „MAXIMA“ parduotuvės. Joje bus įrengta greito įkrovimo AC „Type 2“ jungtis ir DC „CHAdemo“ bei „CCS Combo“ jungtys.
- 2-asis apskritimas ribojasi su A1 Saulažolių, A1 Šilalės ir Tauragės įkrovimo stotelėmis. Apibrėžtinio apskritimo centras gaunamas beveik Šilutėje. Šilutės rajone pastebimas nemažas VMPEI – iki 5837 aut./parą. Tai labai svarbi naujos stotelės įrengimo vieta, kadangi šis kraštas pasižymi turizmu ir žuvininkyste, kas pritraukia daug lankytojų.
- 3-asis apskritimas ribojasi su Tauragės, A1 Viduklės ir A1 Ariogalos įkrovimo stotelėmis. Apibrėžtinio apskritimo centras gaunamas beveik Šakių mieste, kur ir būtų pageidaujama įrengti įkrovimo stotelę. Aplink Šakius pastebimas VMPEI iki 4454 aut./parą. Nauja stotelė aprūpintų elektromobilių įkrovimo poreikius aukštutinėje Suvalkijoje, taip pat pagerintų susisiekimą tarp Marijampolės arba Vilkaviškio su Jurbarku.

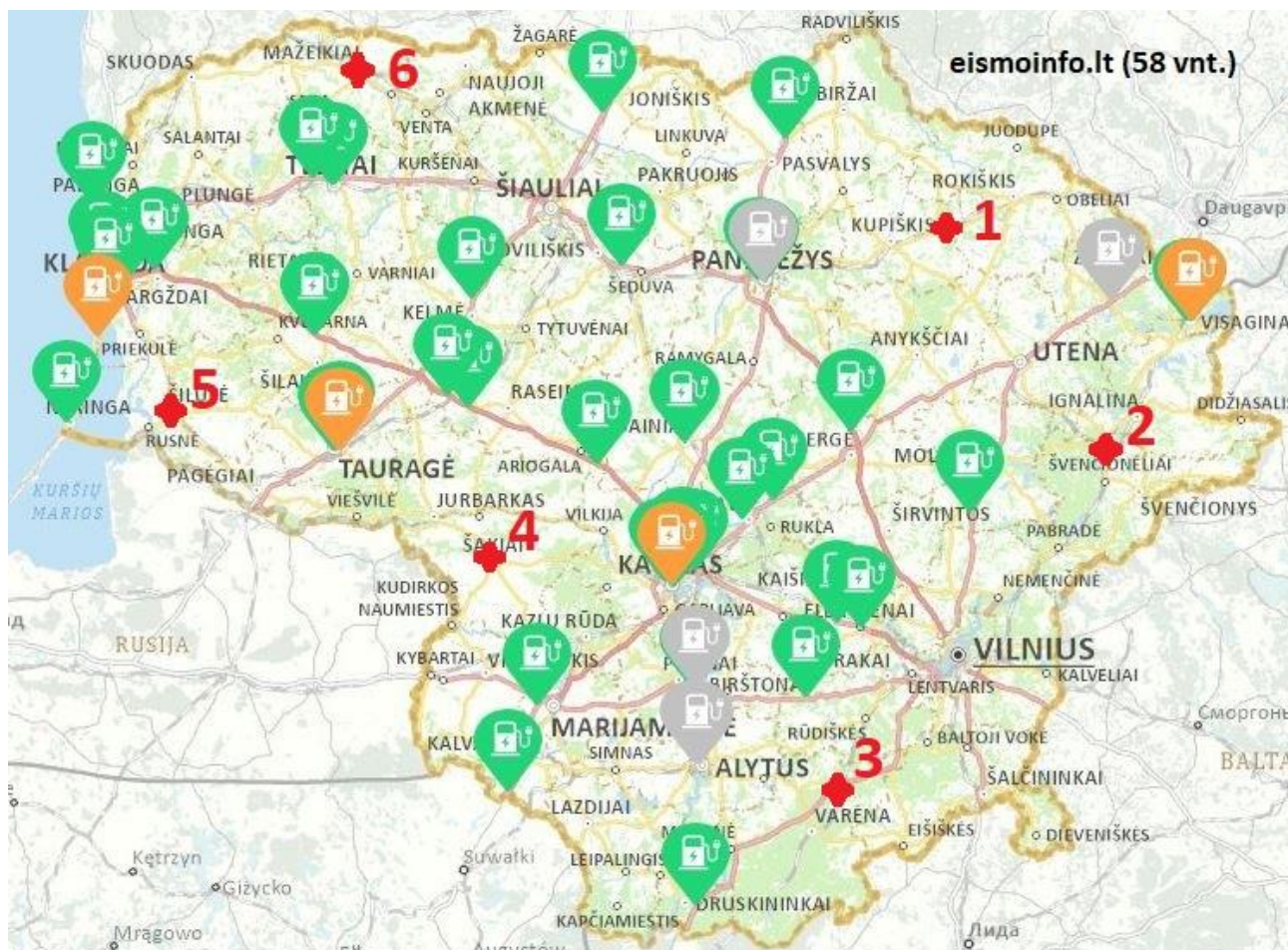
Apjungiant visą ištirtą informaciją, sudaryta naujų greito įkrovimo stotelių lentelė:

3.4 lentelė. Naujos greito įkrovimo stotelės tinklo plėtrai

Stotelės nr.	Lokacija	Statusas	Svarba
1	Rokiškis/Kupiškis	Nėra	Didelė
2	Ignalina	Nėra	Didelė
3	Varėna/Valkininkai	Planuojama	Labai didelė
4	Šakiai	Nėra	Didelė
5	Šilutė	Nėra	Labai didelė
6	Mažeikiai	Įrenginėjama	Didelė

3.4 lent. pateikiamos visos 6 naujos greito įkrovimo stotelės, joje taip pat pastebima, kad viena iš jų jau baiginėjama įrenginėti (Mažeikiai), o kitos įrengimas yra planuojamas LAKD (Varėna/Valkininkai). Ypač didelė įrengimo svarba išskiriama Šilutėje, tai pat ir kelyje A4, atkarpoje tarp Varėnos ir Valkininkų, įvertinant didelius eismo srautus šiose vietose.

Žemiau pateikiamas žemėlapis kaip atrodytų Lietuvos nacionalinis greitojo įkrovimo stotelių tinklas, pridėjus naujas stoteles:



3.16 pav. Lietuvos nacionalinis greitojo įkrovimo stotelių tinklas su papildomomis naujomis stotelėmis (sudaryta pagal [6])

3.16 pav. parodomas įkrovimo stotelių tinklo sutankinamas, nebelineka didesnių tuščių erdvių žemėlapyje, atsiranda puikus susisiekimas tarp Lietuvos teritorijos perimetro miestų. Šešios naujos įkrovimo stotelės šiose strategiškai svarbiose vietose suteiktų daugiau potencialo elektrinių transporto

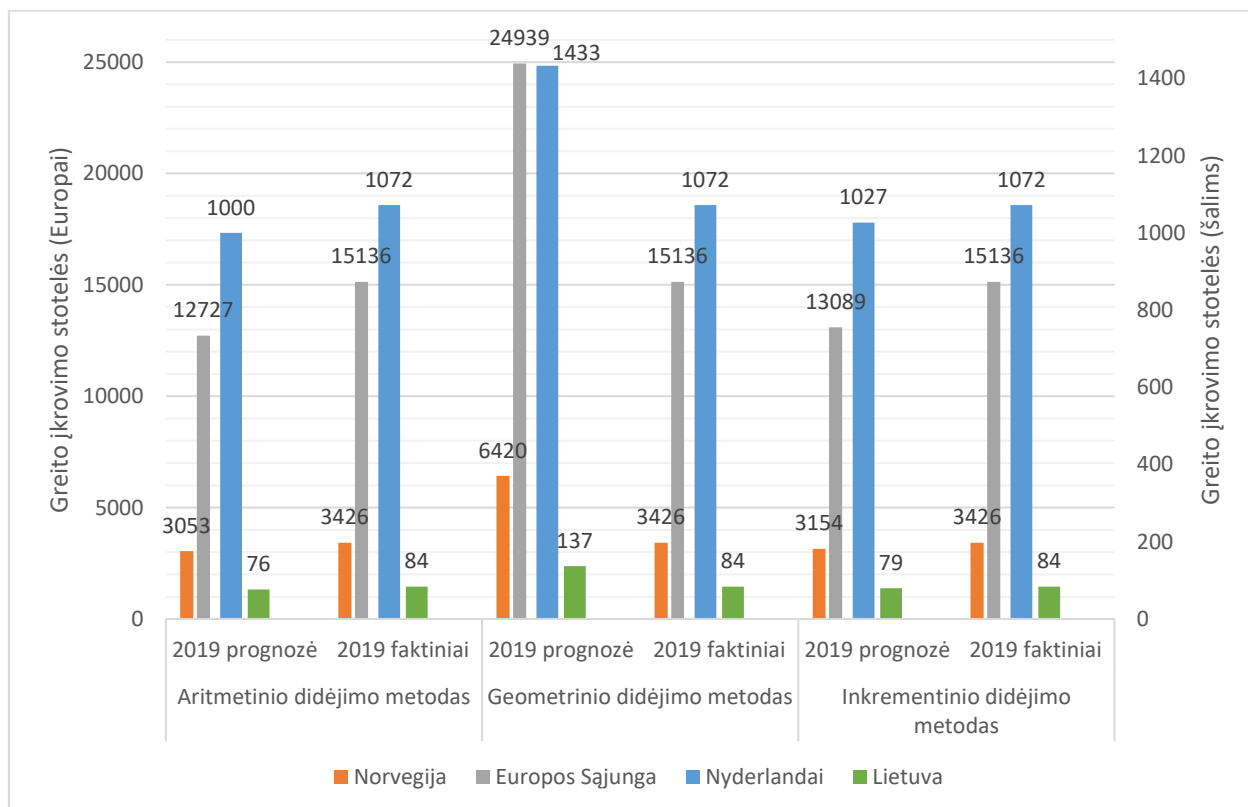
priemonių plėtrai – šiam procesui išibėgėjus tikėtina, kad elektromobilių ir jų įkrovimo stotelių augimas pradės kilti labai sparčiai. Būtent šios galimybes bus apžvelgtos sekančiame poskyryje.

3.3. Elektromobilių greito įkrovimo stotelių plėtros prognozavimas

Šiame poskyryje pateikiami prognozių patikimumo įvertinimo ir greito įkrovimo stotelių prognozių Lietuvoje 2025 metams rezultatai ir jų analizė.

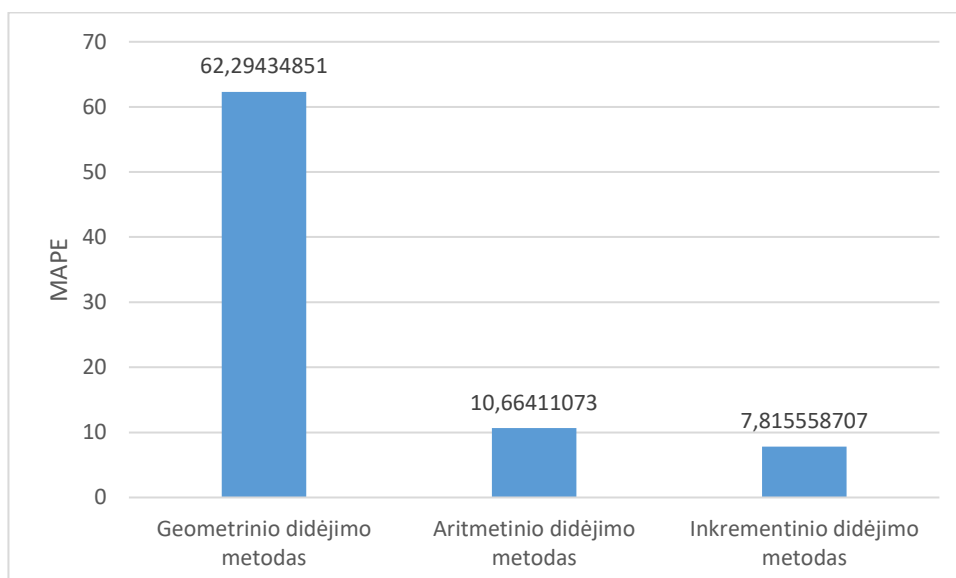
3.3.1. Pagal populiacijos metodiką

Pirmiausia buvo atliktas grįžtamasis patikrinimas 2019 metams – turint faktines skaitines vertes, jos palyginamos su prognozių skaitinėmis vertėmis.



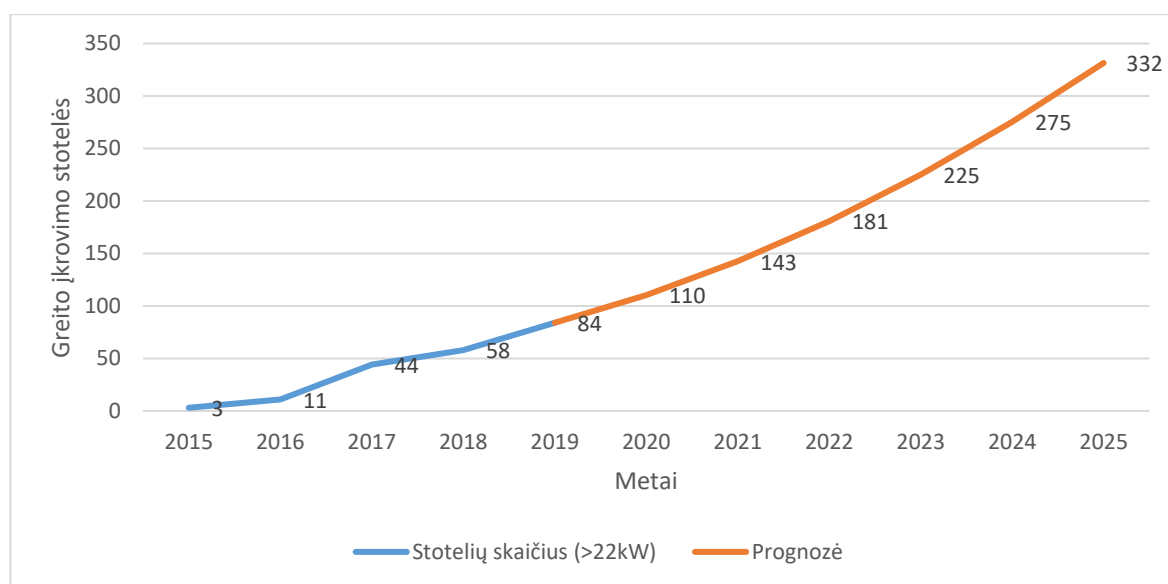
3.17 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių tikslumas pagal grįžtamąjį patikrinimą (populiacijos metodika)

3.17 pav. pateikta palyginamoji greito įkrovimo stotelių grįžtamojo patikrinimo stulpelinė diagrama pagal visus 3 išnagrinėtus populiacijos prognozavimo metodus. Prie kiekvieno metodo kairėje pateikiamos 2019 metų prognozės kiekvienam valstybiniam objektui, o dešinėje – 2019 metų faktinės skaitinės vertės. Nesunku pastebėti, kad pagal geometrinio didėjimo metodą prognozės gaunamos gerokai didesnės nei tikrosios vertės, tad ši metodika nelabai tinkama prognozavimui į ateitį. Tenka rinktis arba aritmetinio arba inkrementinio didėjimo metodą, pasirinkimas atliekamas pagal vidutinę procentinę absoliutinę paklaidą:



3.18 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių vidutinė procentinė absoliutinė paklaida (populiacijos metodika)

3.18 pav. pateiktoje diagramoje pastebima, kad aritmetinio ir inkrementinio didėjimo metodų *MAPE* rodikliai yra artimi, tačiau šiuo atveju tinkamesnis būtų inkrementinio didėjimo metodas. Metodinėje dalyje nurodoma, kad prognozė yra labai tiksli, jei $MAPE < 10$, o šiuo atveju taip ir yra, todėl galima teigti, kad tinkamiausias pasirinkimas prognozuoti į ateitį būtų pagal inkrementinį didėjimo metodą.



3.19 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozė Lietuvoje 2025 metams pagal populiacijos prognozavimo inkrementinio didėjimo metodą

3.19 pav. matyti, kad kreivė yra gan tiesiška, prognozė seka laikotarpį nuo 2015 iki 2019 metų, tačiau paskutiniiais metais pastebimas augimas – jei pirmaisiais prognozės metais prieaugis buvo 26 vnt., tai paskutiniiais 57 vnt. Tokie rezultatai gaunami todėl, kad inkrementinio didėjimo metodas remiasi prielaida, kad augimo tempas yra didėjantis.

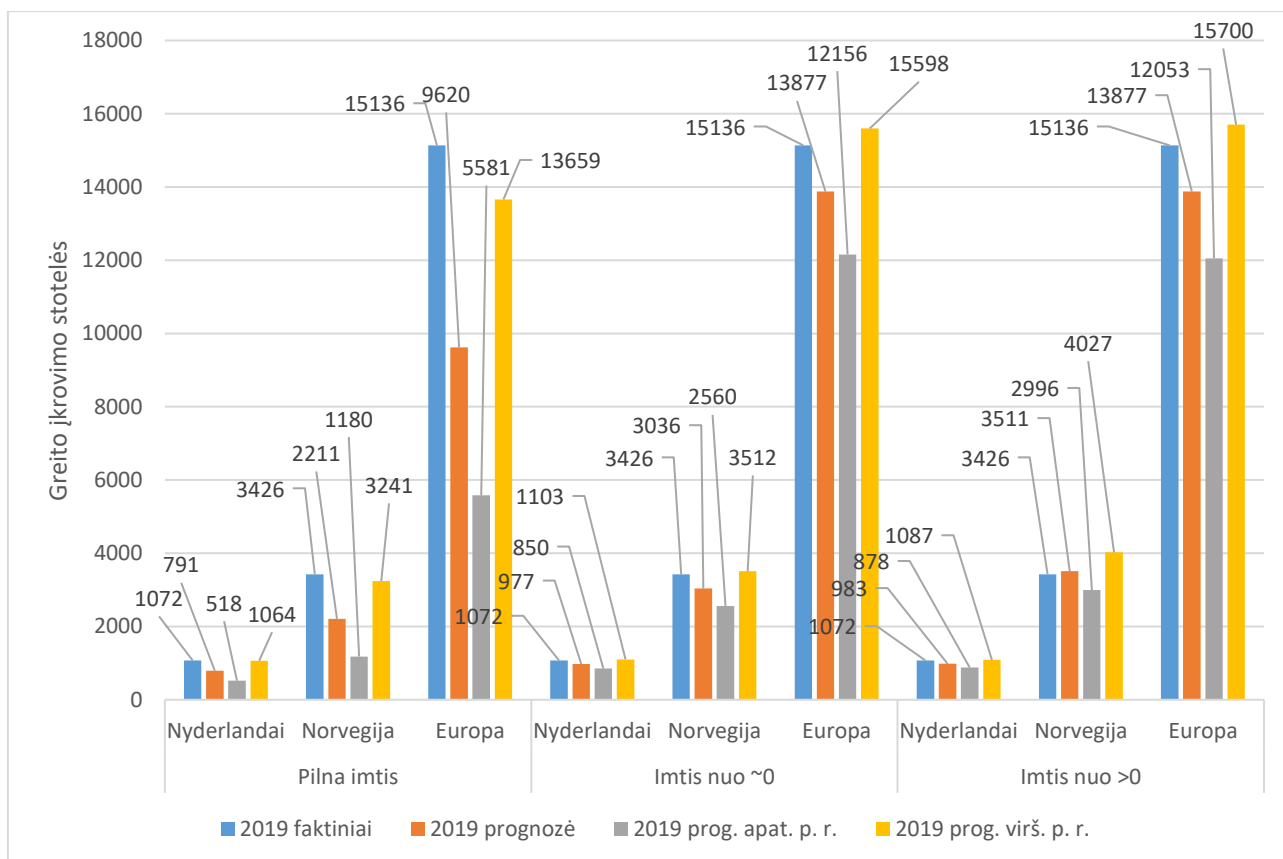
3.3.2. Pagal eksponentinį išlyginimą

Atliekant prognozių patikimumo vertinimo tyrimus, laiko eilučių duomenys kaip ir populiacijos prognozavimo tyrime, buvo naudojami nuo 2008 iki 2019 metų, tačiau buvo pastebėta, kad

prognozuojant Excel eksponentinio išlyginimo būdu, rezultatų tikslumas priklauso nuo duomenų imties. Buvo išbandoma pagal tris skirtingas imtis:

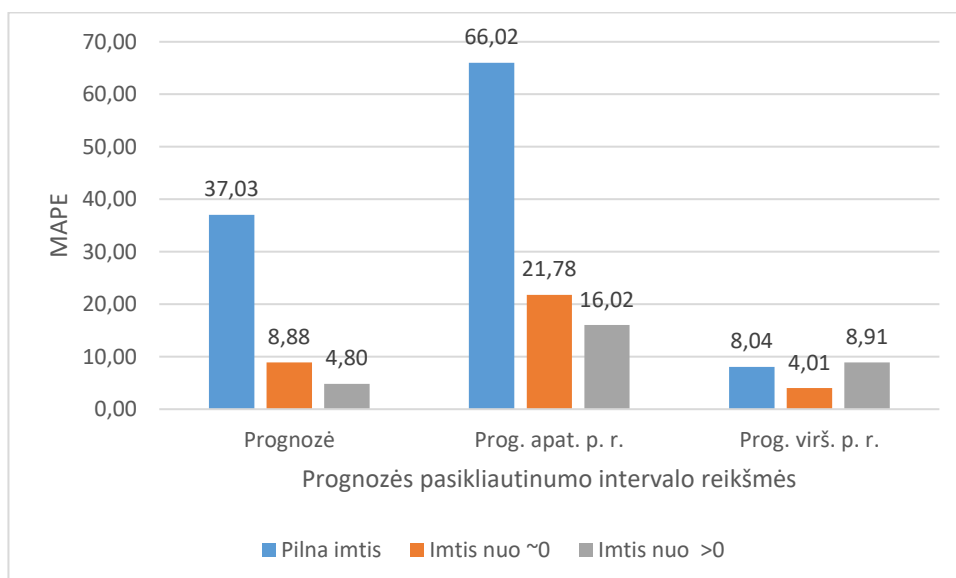
- pilna imtis,
- imties pradžia kai pirma skaitinė vertė artima nuliui arba lygi nuliui,
- imties pradžia kai pirma skaitinė vertė didesnė už nulį.

Kaip buvo nurodyta metodinėje dalyje, prognozės pateikiamos 95 % pasikliautinumo ribose, todėl gaunamos 3 vertės (prognozė, prognozės apatinė pasikliautinumo riba, prognozės viršutinė pasikliautinumo riba). Pateikiama diagrama:



3.20 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių tikslumas pagal grįžtamąjį patikrinimą (eksponentinis išlyginimas)

3.20 pav. pateikta palyginamoji greito įkrovimo stotelių grįžtamojo patikrinimo stulpelinė diagrama pagal 3 skirtingas laiko eilučių imtis (Lietuvos duomenys diagramoje negali būti pavaizduoti dėl per mažų reikšmių). Kai duomenų imtis pilna, matomi didžiausi stulpelių skirtumai, tai reiškia, kad prognozės rezultatų sklaida yra labai didelė, o kuomet duomenų imties pradžia yra nuo skaitinės vertės artimos nuliui arba skaitinės vertės virš nulio, stulpeliai kur kas vienodesnio aukščio, tai reiškia, kad prognozės rezultatų sklaida mažesnė ir ji yra tikslesnė. Nesunku pastebėti, jog dauguma atvejų 2019 faktinės skaitinės vertės labiausiai sutampa su 2019 metų prognozių viršutinėmis pasikliautinumo ribomis, tačiau užtvirtinimui dar vertėtų patikrinti tikslumą pagal vidutinę procentinę absoliutinę paklaidą:



3.21 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozių vidutinė procentinė absoliutinė paklaida (eksponentinis išlyginimas)

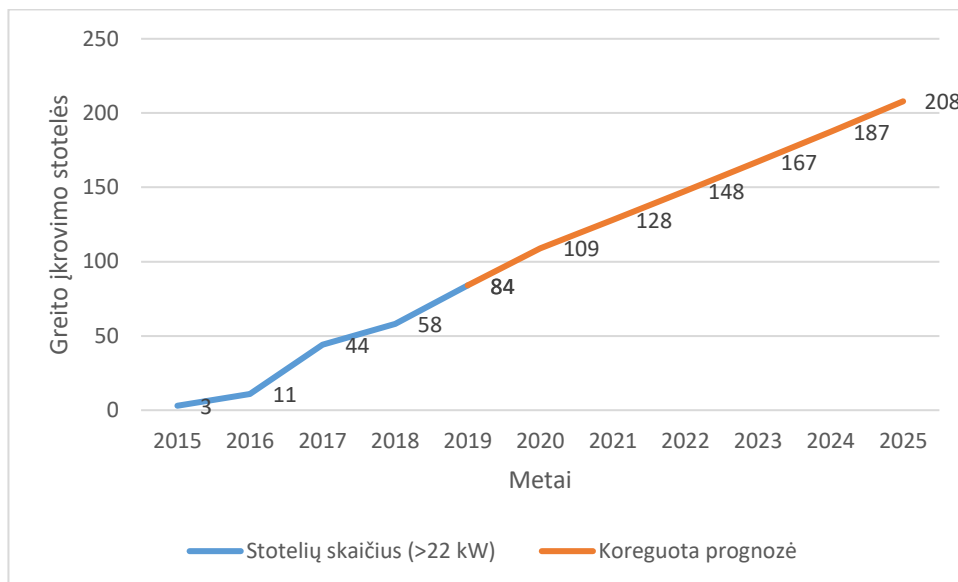
3.21 pav. pateiktoje diagramoje pastebima, kad prognozių viršutinių ribų skaitinių verčių vidutinė procentinė absoliutinė paklaida *MAPE* yra labai maža (visais imties atvejais ji mažesnė nei 10), o kai duomenų imties pradžia yra artima nuliui, tuomet *MAPE* yra pati mažiausia 4,01, tai reiškia, kad šios prognozių skaitinės vertės (viršutinės pasikliautinumo ribos) yra labai tikslios. Buvo nuspręsta prognozę į ateitį atlikti, kai duomenų imtis prasideda nuo skaitinės vertės, artimos arba lygios nuliui ir vadovautis prognozės viršutine pasikliautinumo riba.

Kadangi grįžtamojo patikrinimo prognozių rezultatai gaunami šiek tiek didesni, nei faktinės skaitinės vertės, dar tikslesnei prognozei į ateitį gauti įvedamas korekcijos faktorius:

3.5 lentelė. Korekcijos faktoriaus nustatymas

Reikšmė\Šalis	Nyderlandai	Norvegija	Lietuva	Europos Sąjunga
2019 prognozės virš. p. r.	1103	3512	90	15597
2019 faktiniai	1072	3426	84	15136
Sutapimas (%)	2,811	2,449	6,667	2,956
Korekcijos faktorius (%)	3,720			

Pagal 3.5 lent. korekcijos faktorius yra prilyginamas prognozių ir faktinių skaitinių verčių sutapimo vidurkiui. Prognozės patikslinimas gaunamas iš prognozės reikšmės atėmus prognozės ir korekcijos faktoriaus sandaugos reikšmę. Galutiniai rezultatai pateikiami žemiau:

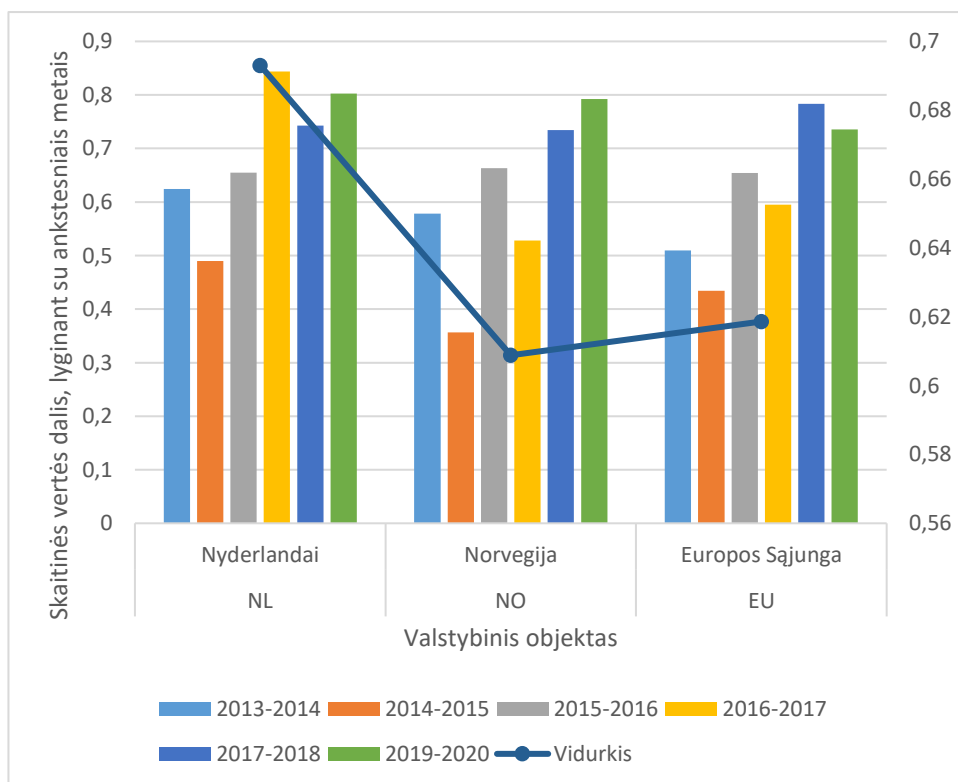


3.22 pav. Greito įkrovimo stotelių prognozė Lietuvoje 2025 metams pagal eksponentinį išlyginimą

3.22 pav. pateikta prognozės kreivė yra labai tiesiška, atkartojanti žinomų duomenų kreivę. Kiekvienais metais pastebimas panašus prieaugis, turintis nežymią mažėjimo tendenciją: 2019-2020 m. – 25 vnt. stotelių prieaugis, 2024-2025 m. – 20 vnt. stotelių prieaugis. Tokie rezultatai gaunami dėl to, kad paskutinių metų žinomų duomenų prieaugiai yra maži yra jie daro didžiausią įtaką prognozės rezultatams.

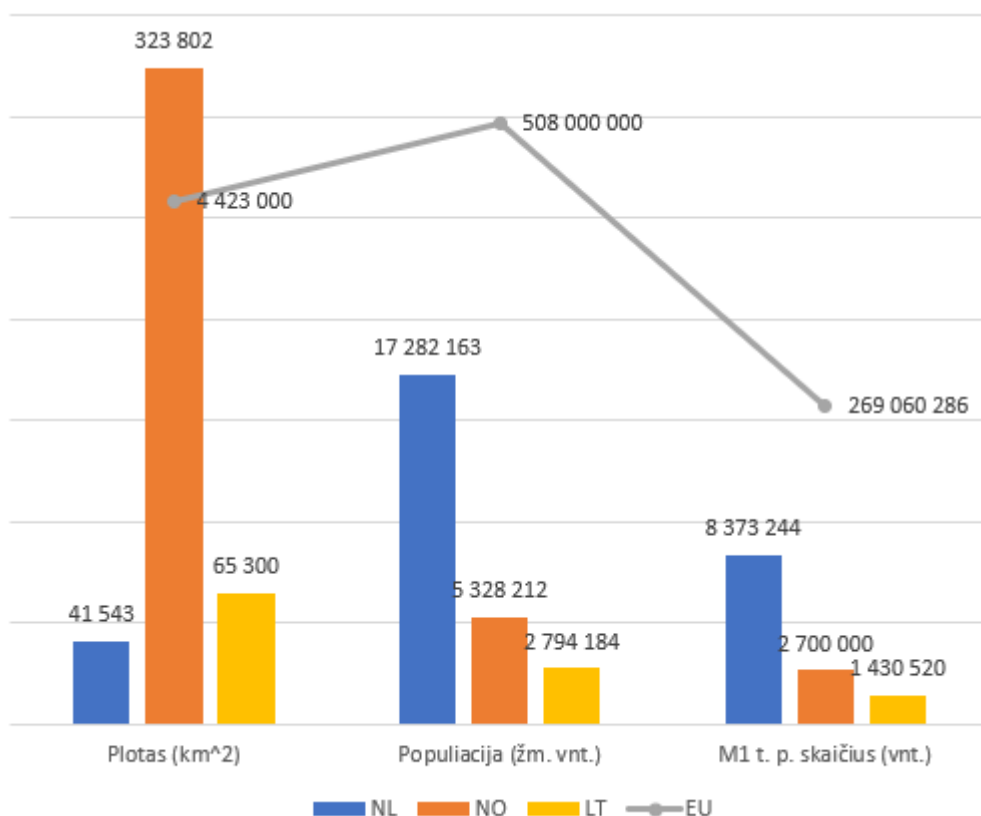
3.3.3. Pagal kitų šalių tendencijų metodiką

Pirmiausia yra palyginamos Nyderlandų, Norvegijos ir Europos Sąjungos elektromobilių greito įkrovimo stotelių augimo tendencijos:



3.23 pav. Greito įkrovimo stotelių paskutinių 5 metų augimo tendencijos

3.23 pav. pateiktoje diagramoje matyti kiekvieno valstybinio objekto metinis priaugis, kuri išreikštas dviejų metų skaitinių verčių santykiu. Kuo santykio reikšmė mažesnė, tuo didesnis tais metais buvo greito įkrovimo stotelių priaugis, o atvirkštinė situacija kuomet santykio reikšmė didesnė. Kaip matyti, Nyderlandų situacijoje, beveik visų metų skaitinių verčių dalys, lyginant su ankstesniais metais, yra didesnės nei Norvegijos ir Europos Sąjungos, ypač 2013 m. - 2014 m., 2014 m. - 2015 m. ir 2016 m. – 2017 m. Paskutiniais metais jos suvienodėja. Vertinant kiekvienos šalies vidurkį, akivaizdu, kad Nyderlandų greito įkrovimo stotelių augimo tempas yra mažesnis nei Norvegijos ir Europos Sąjungos, vadinasi, jis būtų labiau priimtinesnis mažiau perspektyviai Lietuvos valstybei.



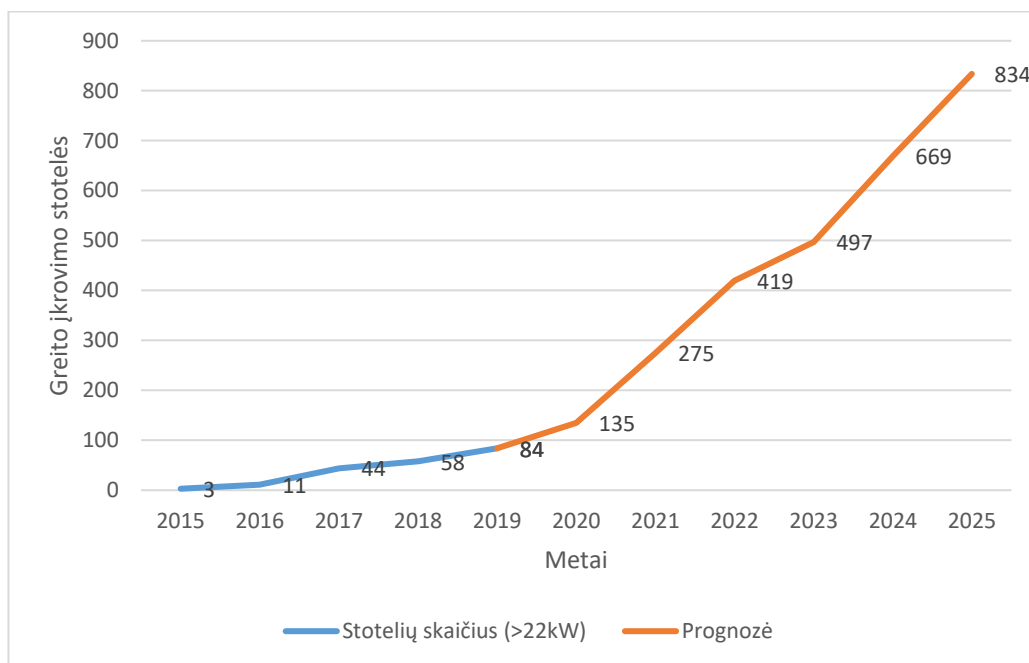
3.24 pav. Pagrindinių šalies rodiklių palyginimas

Iš 3.24 pav. pateikto palyginimo grafiko galima teigti, kad Norvegija turi panašų lengvųjų keleivinių automobilių ir gyventojų kiekį į Lietuvos, tačiau šios šalies plotas yra gerokai didesnis nei Lietuvos. Norvegijoje elektromobilių populiarumo rodiklis yra vienas iš didžiausių Europoje, bet to, esant dideliame šalies plote, tolimos kelionės yra kur kas dažnesnės nei mažesnio ploto šalyse, todėl čia taip gerai išvystyta greitojo įkrovimo infrastruktūra. 2019 metų duomenimis, Norvegijoje yra 3 426 greitojo įkrovimo stotelių, tai beveik ketvirtadalis visų elektromobilių greito įkrovimo stotelių visoje Europoje. Tokios augimo tendencijos sunkiai pasiekiamos, šis modelis nelabai priimtinas Lietuvai.

Pagal Europos Sąjungos elektromobilių stotelių augimo tendencijas taip pat stipriai atsiliegame, neabejotina, kad šis modelis taip pat nepriimtinas Lietuvai.

Nyderlandai turi panašų šalies plotą į Lietuvos, netgi šiek tiek mažesnę. Tačiau pas juos gerokai daugiau transporto priemonių, didesnė populiacija. Šioje šalyje yra labai stipri kelių infrastruktūra, joje yra beveik 10 kartų daugiau magistralinių kelių atstumo nei Lietuvoje, kai kuriuose keliuose VMPEI siekia iki 140 000 aut/parą, kai Lietuvoje didžiausias tam tikroje atkarpoje fiksuotas VMPEI yra apie 40 000 aut/parą. Visgi magistraliniuose keliuose elektromobilių greito įkrovimo stotelių

išdėstymas yra panašus į Lietuvos, maždaug kas 40-50 km, tačiau Nyderlanduose įkrovimo stotelėse yra gerokai daugiau įkrovimo priegų (įprastai nemažiau 3). Iš viso Nyderlanduose 2019 metų duomenimis yra 1 072 greito įkrovimo stotelių, Lietuvoje – 84. Jeigu sulyginami šiuos skaičius atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje yra 5,85 karto mažiau M1 transporto priemonių, tuomet pagal Nyderlandų greito įkrovimo stotelių tinklą Lietuvoje būtų maždaug 183 greito įkrovimo stotelių, kad yra ganėtinai artima tikrajam skaičiui. Šis modelis iš visų trijų pagal stotelių augimo tendencijas būtų artimiausias Lietuvai, tačiau manoma, kad net ir tokia prognozė yra per daug optimistinė.

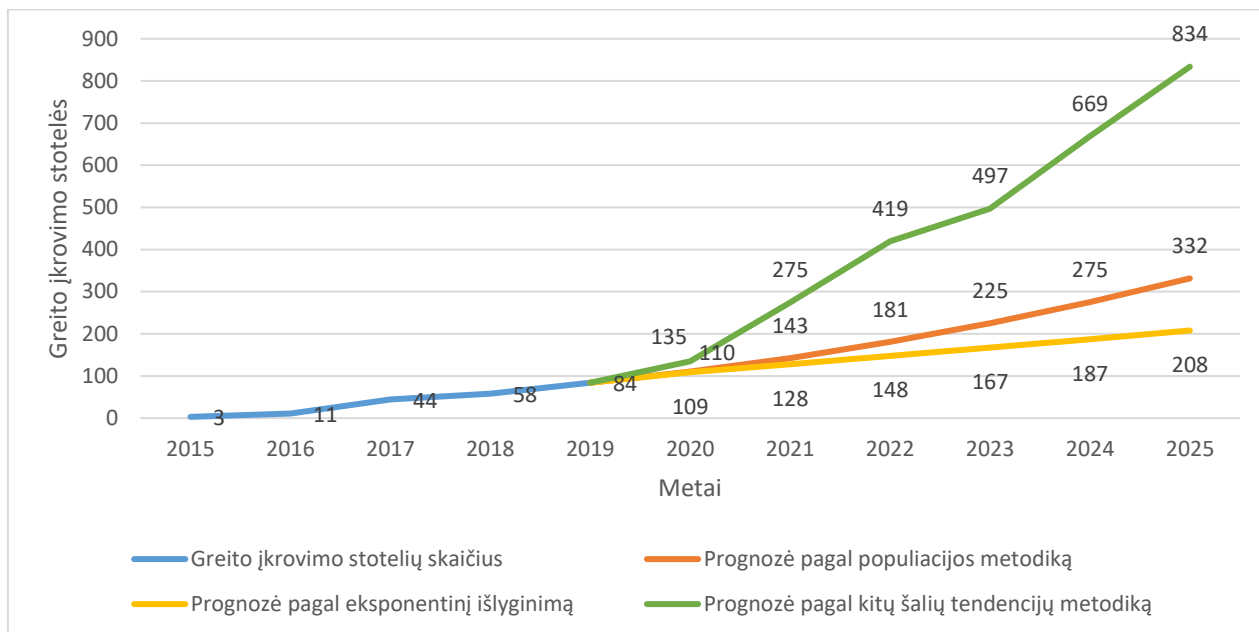


3.25 pav. Prognozė pagal Nyderlandų greito įkrovimo stotelių skaičių augimo tendencijas

3.25 pav. prognozės kreivėje pastebimas spartus augimas, lyginant su praėjusių metų duomenų kreive. Tai gerai matosi paskutiniiais 2 metais (2023 m. - 2025 m.), kai prieaugio vidurkis yra lygus 168.5 greito įkrovimo stotelės, lyginant su 2019 m. – 2020 m. prieaugiu 51 greito įkrovimo stotele.

3.3.4. Prognozių palyginimas

Siekiant galutinai įvertinti prognozes, pateikiamas palyginamasis visų atliktų prognozavimų darbe grafikas:



3.26 pav. Greito įkrovimo stotelių Lietuvoje 2025 metais prognozių palyginimas

Žvelgiant į 3.26 pav. grafiko prognozės pagal eksponentinio išlyginimo kreivę, mažai tikėtina, kad tai bus realu, nes tokiu atveju vyktų lėtas, tiesiškas ir stabilus įkrovimo infrastruktūros augimas, kas tikrai nebūdinga dabartinei įsibėgėjusiai elektromobilių plėtrai.

Iškart akivaizdu, kad prognozė 2025 metams pagal kitų šalių tendencijų metodiką, šiuo atveju, būtent pagal Nyderlandų, yra daugiau nei 2 kartais didesnė už prognozę pagal populiacijos metodiką ir 3 kartais didesnė už prognozę, pagal eksponentinį išlyginimą. Toks didelis greito įkrovimo tinklas (834 greito įkrovimo stotelės) turi būti pritaikomas atitinkamam elektromobilių skaičiui – pagal Nyderlandų skaičius, su minėta infrastruktūra, šalyje turėtų būti apie 83 661 elektromobilių. Šie skaičiai atrodo per daug optimistiniai ir nelabai patikimi.

Prognozė pagal populiacijos inkrementinio didėjimo metodiką atrodo patikimiausia dėl to, kad pastebimas kasmetinis priaugio didėjimas, kas byloja apie nuolat didėjančią elektromobilių populiarėjimą, kuris pastebimas jau ir dabar. Atlikus elektromobilių skaičių prognozes pagal populiacijos geometrinio didėjimo ir kitų šalių tendencijų metodiką, Lietuvoje 2025 metais jų tikimasi maždaug 30 875 vnt. (žr. 1 priedas). Atlikus proporcingus skaičiavimus, tokiam lengvųjų keleivinių elektromobilių parkui atitinkama greito įkrovimo infrastruktūra būtų maždaug 308 greito įkrovimo stotelių. Tai labai artimas skaičius prognozei pagal inkrementinio didėjimo metodą – 332 greito įkrovimo stotelių.

Apibendrinant galima teigti, kad labiausiai tikėtina, jog 2025 metais Lietuvoje nacionalinį greito įkrovimo infrastruktūros tinklą sudarytų apie 332 greito įkrovimo stotelės.

4. DARBO APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS

Buvo atlikta temai aktualios literatūros analizė, kurioje apžvelgtos elektromobilių greito įkrovimo stotelės ir jų tinklas Lietuvoje, pateiktos mokslinių straipsnių, susijusių su darbo tema, bei darbui pasirinktinių metodikų apžvalgos.

Detalizuotos darbe naudotos metodikos. Aprašyti jų skaičiavimo, modeliavimo principai, algoritmai, pateikti pritaikymo pavyzdžiai. Nurodytos programos ir funkcijos, kuriomis buvo naudotasi.

Pritaikant pateiktas metodikas ir gavus rezultatus, jie buvo analizuojami, palyginami tarpusavyje ir su informacija, pateikta literatūros apžvalgoje, galop pateikiant apibendrinančias išvadas.

Pateikiant įkrovimo stotelių ir jų tinklo Lietuvoje apžvalgą, buvo gyvai konsultuojamasi su LAKD, institucijos kurį atsakinga už valstybines greito įkrovimo užmiestines-tarpmiestines stoteles, vyr. specialistu Andriumi Teškevičiumi, kuris pateikė svarbios, viešai neprieinamos, informacijos ir skaičių.

Ieškant informacijos apie elektromobilių naudotojų nuomonę apie nacionalinę Lietuvos greito įkrovimo infrastruktūrą, tokių duomenų nebuvo pateikta, todėl buvo sukurta vieša užmiestinio judumo apklausa, įkrovimo stotelių tinklui visoje Lietuvoje įvertinti.

Pasiūlytos naujos greito įkrovimo stotelių lokacijos susisiekimui elektromobiliu pagerinti, pritaikant Voronojaus diagramas ir Delaunė trianguliacijas.

B. Csonka, C. Csiszar „Determination of charging infrastructure location for electric vehicles“ [14] darbe siekiama išsiaiškinti, kur geriausia įdiegti įkrovimo stoteles kad palengvinti ilgų distancijų keliones. Tam naudojama autorių sugalvota metodologija, kurioje pateikiamos kandidatines vietas ir pagal apskaičiuojamą įdiegimo potencialą nusprendžiama ar joje verta įdiegti greito įkrovimo stotelę, paisant jau esamo tinklo. Autoriai teigia, kad jų metodologija yra lengvai pritaikoma, ne taip kaip daugumos kitų darbų, kur pritaikymo procesas yra labai komplikotas.

S. Micari, A. Polimeni, G. Napoli, L. Andaloro, V. Antonucci „Electric vehicle charging infrastructure planning in a road network“ [15] darbo tikslas – planavimas platinti aptarnavimo zonas įkrovimo infrastruktūros įrengimui jose. Darbe glaudų sąryšį turi 3 temos: elektromobilių technologijos, įkrovimo stotelių charakteristikos ir elektromobilių srautas, kurios integruojamos į nagrinėjamą modelį, kuris remiasi grafų teorija. Autoriai pabrėžia, kad galutinai atlikus uždavinį rezultatuose gaunamas žemėlapis, kuriame išdėstytos įkrovimo lokacijos ir dydžiai kiekvienam regionui.

Abiejuose darbuose iškeliami mintis, kad elektromobilių įkrovimo infrastruktūros trūkumas yra viena iš pagrindinių problemų, dėl kurių elektromobilių paplitimas neįgauna didelio pagreičio, savo ruožtu neskatindamas mažesnės taršos transporto sektoriuje, kas pabrėžiama ir šiame darbe. Palyginant šį darbą su pirmuoju minėtu [14], galima pastebėti panašumą, kad laikomasi minties, jog būtent greitojo įkrovimo infrastruktūra labiau turi būti vystoma užmiestiniuose keliuose ir, kad naujų lokacijų nustatymo principai mieste ar užmiestyje skiriasi. Palyginant šį darbą su antruoju minėtu [15], pastebimas taip pat artimas ryšys su 3 temomis – elektromobilių technologijos, įkrovimo stotelių charakteristikos ir elektromobilių srautas, be to, šiame darbe naudojama keliaujančio pirklio problema, kuri yra kilusi iš [15] darbe panaudotos grafų teorijos.

Išvados

1. Atlikus dabartinio greito įkrovimo stotelių tinklo analizę, išskiriamas jo trūkumas mažiau judriuose regionuose, palyginus su detaliau išanalizuotu A1 ir kitai judriausiais Lietuvos keliais. Kad galima būtų pateikti palyginamąjį pavyzdį prognozuojamiems įkrovimo stotelių skaičiams Lietuvoje, atlikta Norvegijos įkrovimo infrastruktūros plėtros analizė. Išanalizavus su šiuo darbu susijusius mokslinius straipsnius, paaiškėjo kad įkrovimo stotelių tinklo tyrimams naudojama grafų teorija, apklausos tyrimai, optimalių maršrutų sudarymas, geometriniai modeliavimai, o pačio tinklo plėtrai numatyti – įvairūs prognozavimo metodai.
2. Iškėlus hipotetinį klausimą apie Lietuvos elektromobilių įkrovimo infrastruktūros kokybę, parengta apklausa „Google Forms“ aplinkoje, kuri buvo viešai pateikta elektromobilių mėgėjų ir naudotojų bendruomenei socialiniame tinklapyje „Facebook“. Joje sudalyvavo 54 respondentai. Paaiškėjo, kad daugiau nei 40 % respondentų važinėja svarbiais, Lietuvos perimetro miestus jungiančiais, maršrutais, ypač rytinėse dalyse. 44 % respondentų užmiestinę įkrovimo infrastruktūrą įvertino neigiamai, o 37 % neutraliai, dažnu atveju pabrėžiant, kad ateityje bus būtina įkrovimo stotelių tinklo plėtra. Absoliuti dauguma nepatenkintų dabartine įkrovimo infrastruktūra buvo tie elektromobilių vairuotojai, kurie reguliariai važinėja minėtais perimetro maršrutais Lietuvos rytinėse dalyse, todėl, remiantis respondentu nuomone, buvo nuspręsta išskirti šį regioną kaip su prastu greito įkrovimo stotelių tinklu.
3. Atliekant „Nissan Leaf“ ir „Toyota Auris 1.6d“ važiavimo optimaliuoju maršrutu per 20 Lietuvos didžiųjų miestų palyginamąją simuliaciją, paaiškėjo, kad elektromobiliu tai užtrukę 16 % ilgiau nei tradiciniu automobiliu - baterija buvo pildoma 3 h 47 min ilgiau nei pildant degalų atsargą, o važiavimas užmiestyje užtruko 1 h 7 min ilgiau dėl nukrypimų ieškant greito įkrovimo stotelių ypač Mažeikių ir Šilutės rajonuose. Šiuo atveju išryškėjo būtinybė greito įkrovimo stotelių tinklo plėtrai Lietuvos vakarinėse dalyse.
4. Atsižvelgiant į greito įkrovimo stotelių trūkumą rytinėse ir vakarinėse Lietuvos dalyse, buvo pritaikytos Voronojaus diagramos ir Delaunė trianguliacijų apibrėžtinių apskritimų metodika, 6 naujų greito įkrovimo stotelių lokacijų nustatymui pagal tokius rodiklius kaip VMPEI arba traukos centrai (Rokiškyje/Kupiškyje, Ignalinoje, Varėnoje/Valkininkuose, Šakiuose, Šilutėje, Mažeikiuose).
5. Lietuvoje 2025 metais galima tikėtis 208 vnt. greito įkrovimo stotelių pagal eksponentinį išlyginimą, 332 vnt. pagal populiacijos inkrementinio didėjimo metodiką ir 834 vnt. pagal kitų šalių tendencijų metodiką. Prognozė pagal eksponentinį išlyginimą yra pesimistinė, ji reprezentuoja lėtą ir tiesišką augimą. Prognozė pagal kitas šalis yra per daug optimistinė, kadangi staigaus eksponentinio augimo artimiausiu metu neverta tikėtis, kas įvyko Norvegijos arba Nyderlandų atveju. Prognozės pagal inkrementinio didėjimo metodą patikimumo vertinimo rodikliai buvo geriausi (grįžtamojo patikrinimo metu prognozės reikšmės labiausiai sutapo su faktinėmis, vidutinė procentinė absoliutinė paklaida MAPE=7,8 buvo mažiausia), o dėl pastebimo kasmetinio stabilaus greito įkrovimo stotelių prieaugio didėjimo šis modelis atrodo tinkamiausias Lietuvai, įvertinant pradedantį augti elektromobilių populiarumą.

Literatūros sąrašas

1. Google. *Maps*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://www.google.lt/maps>
2. 100 Procentu Elektrinis. *ELEKTROMOBILIŲ GREITO ĮKROVIMO STOTELĖS LIETUVOJE*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-20]. Prieiga per: <https://www.100procentuelektrinis.lt/naudinga-informacija/elektromobilio-ikrovimas/elektromobiliu-greito-ikrovimo-stoteles-lietuvoje/>
3. Ignitis ON. *Kainodara*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-20]. Prieiga per: <https://ignitison.lt/kainodara/>
4. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTRAS. *ĮSAKYMAS DĖL VIEŠOSIOS ELEKTROMOBILIŲ ĮKROVIMO INFRASTRUKTŪROS PLĖTROS GAIRIŲ PATVIRTINIMO: 2015 m. gegužės 6 d. Nr. 3-173 (1.5 E)*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: [https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/AR_2017-03-21\(1\).pdf](https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/AR_2017-03-21(1).pdf)
5. ESO. *Transformatorių pastočių laisvų galių žemėlapis gamintojams*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: https://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/elektros-gamintojams/elektrosprijungimas-gamintojams/transformatoriu-pastociu-laisvu-galiu-zemelapis.html
6. eismoinfo. *Map*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://eismoinfo.lt/>
7. PlugShare. *Map*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://www.plugshare.com/>
8. Chargemap. *Map*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://chargemap.com/map>
9. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŪKIO MINISTERIJA, SUSISIEKIMO MINISTERIJA, ENERGETIKOS MINISTERIJA. *KOMPLEKSINĖ ELEKTROMOBILIŲ TRANSPORTO PLĖTROS GALIMYBIŲ STUDIJA: Pristatymas VAE grupei*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Veikla/Kita%20veikla/EV%20studijos%20pristatymas%20VAE%20grupe.pdf>
10. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. *LIETUVOS RESPUBLIKOS ALTERNATYVIŲJŲ DEGALŲ ĮSTATYMAS: Įstatymo projektas*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAP/2eea182262ce11eaa02cacf2a861120c?positionInSearchResults=0&searchModelUUID=1876719a-bfd9-45af-b539-b09314895eb0>
11. KVISLE, Håvard Hans. *The Norwegian Charging Station Database for Electromobility (NOBIL)* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://pdfs.semanticscholar.org/aa21/e3187e6401a215d5fd02cf95bd1589938e4c.pdf?ga=2.258211210.1697988986.1589281486-1707357002.1589281486>
12. LORENTZEN, Erik ir kt.. *Charging infrastructure experiences in Norway – the worlds most advanced EV market*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://elbil.no/wp-content/uploads/2016/08/EVS30-Charging-infrastructure-experiences-in-Norway-paper.pdf>
13. NIKEL, David. *Electric Cars: Why Little Norway Leads The World In EV Usage*. [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.forbes.com/sites/davidnikel/2019/06/18/electric-cars-why-little-norway-leads-the-world-in-ev-usage/>
14. CSISZAR, C. ir kt. *Determination of charging infrastructure location for electric vehicles*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/322237061_Determination_of_charging_infrastructure_location_for_electric_vehicles

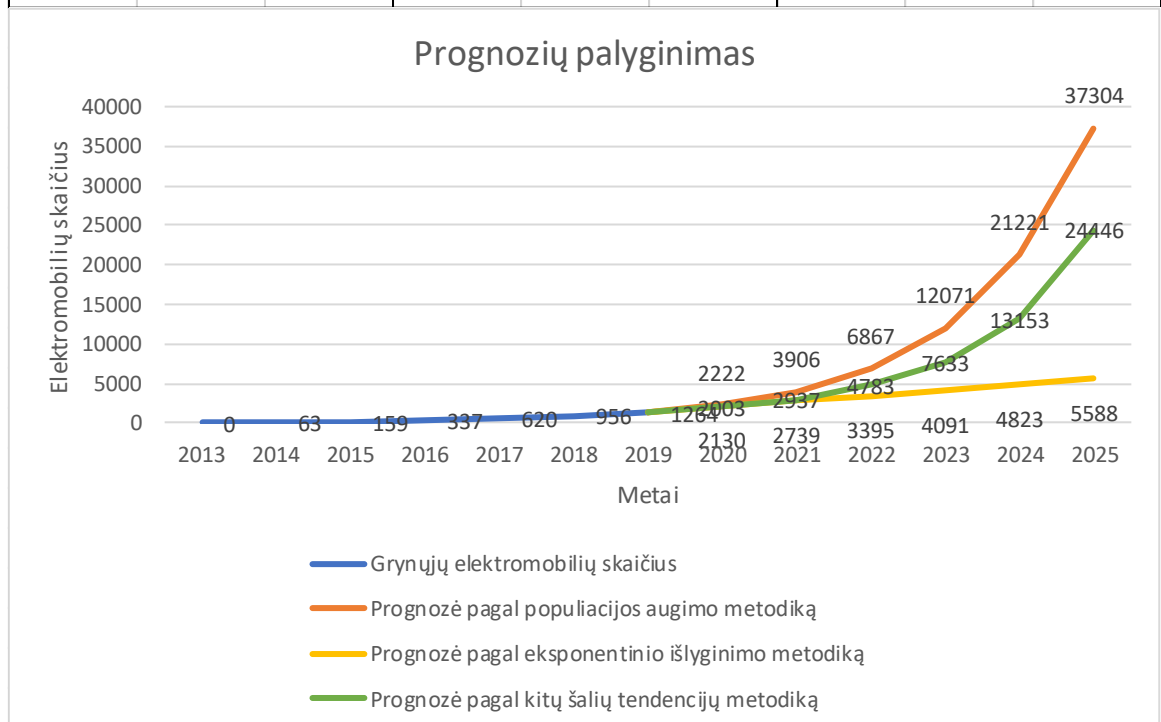
15. MICARI, S. ir kt. *Electric vehicle charging infrastructure planning in a road network*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/317175401> Electric vehicle charging infrastructure planning in a road network
16. PONTO, J. *Understanding and Evaluating Survey Research*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/286445115> Understanding and Evaluating Survey Research
17. KULLMAN, N. ir kt. *Electric Vehicle Routing with Public Charging Stations*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01928730/document>
18. TANG, Z. ir kt. *Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Based on Voronoi Diagram and FAHP Method*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/269870279> Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Based on Voronoi Diagram and FAHP Method
19. ARMSTRONG, Scott J. *Selecting Forecasting Methods*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/228255479> Selecting Forecasting Methods
20. DIKČIUS, V. *Anketos sudarymo principai*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: https://www.evaf.vu.lt/dokumentai/katedros/Rinkodaros_katedra/Medziaga_studentams/Anketos_sudarymo_principai.pdf
21. Google. *Forms*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://www.google.com/forms>
22. LiDA. *STATISTINĖ KIEKYBINIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ SU SPSS IR STATA. 10.1 lentelė. Atstumai tarp Lietuvos miestų*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: http://www.lidata.eu/en/index.php?file=files/mokymai/stat/stat.html&course_file=stat_III_10_1.html
23. SOENANDI, A. I. ir kt. *Optimization for routing vehicles of seafood product transportation*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/321940275> Optimization for routing vehicles of seafood product transportation
24. VASILEV, J. *Solving the Traveling Salesman Problem with the Alldifferent Constraint in MS Excel*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/306358450> Solving the Traveling Salesman Problem with the Alldifferent Constraint in MS Excel
25. GHAROTE, S. M. ir kt. *Excel Solvers for the Traveling Salesman Problem*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/259290747> Excel Solvers for the Traveling Salesman Problem
26. VU matematikos ir informacikos fakultetas. *Delaunė trianguliacija*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <http://klevas.mif.vu.lt/~bastys/academic/ATE/delaunay/delaunay.html>
27. PETRICH, L. *Geometry Demo: Spherical Delaunay triangulation, convex hull, Voronoi diagram*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: http://lpetrich.org/Science/GeometryDemo/GeometryDemo_GMap.html
28. PANDINA, T. M. *Ghost-It! 1.04*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: https://www.majorgeeks.com/files/details/ghost_it.html

29. LIETUVOS BANKO VALDYBA. *N U T A R I M A S DĖL KAPITALO PAKANKAMUMO SKAIČIAVIMO BENDRŲJŲ NUOSTATŲ: 2006 m. lapkričio 9 d. Nr. 138.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.289756>
30. ZHANG, C., J. Ni. *An Efficient Implementation of the Backtesting of Trading Strategies.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/220945302_An_Efficient_Implementation_of_the_Backtesting_of_Trading_Strategies
31. STABINGIENĖ, L. *Laiko eilučių analizė: Prognozavimo uždavinio samprata.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: http://www.ilab.lt/stabingiene/sk8_5.html
32. PALLAVI, B. *POPULATION FORECASTING METHODS.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://www.slideshare.net/PallaviBadry/poulation-forecasting>
33. OSTERTAGOVA, E., O. Ostertag. *The Simple Exponential Smoothing Model.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/256088917_The_Simple_Exponential_Smoothing_Model
34. OWENS, S. *Who needs backup dancers when you can have confidence intervals?* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://medium.com/design-ibm/who-needs-backup-dancers-when-you-can-have-confidence-intervals-485f9464c06f>
35. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. *Elektromobilių skaičius Lietuvoje.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13]. Prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-skaicius-lietuvoje>
36. Lietuvos automobilių kelių direkcija. *Valstybinės reikšmės keliai.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: <https://lakd.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/lietuvos-keliai/valstybines-reiksmes-keliai>
37. Lietuvos automobilių kelių direkcija. *VIDUTINIS METINIS PAROS EISMO INTENSYVUMAS (VMPEI) KIEKVIENAME MAGISTRALINIAME KELYJE 2018 M.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per: https://lakd.lrv.lt/uploads/lakd/documents/files/Eismo_intensyvumas/VMPEI2018_magistraliniai.pdf


Priedai

1 priedas. Elektromobilių skaičių prognozės

nr. 1			nr. 2			nr. 3		
year	ev	Forecast	year	ev	Forecast	year	ev	Forecast
2013	0		2013	0		2013	0	
2014	63		2014	63		2014	63	
2015	159		2015	159		2015	159	
2016	337		2016	337		2016	337	
2017	620		2017	620		2017	620	
2018	956		2018	956		2018	956	
2019	1264	1264	2019	1264	1264	2019	1264	1264
2020		2222	2020		2130	2020		2003
2021		3906	2021		2739	2021		2937
2022		6867	2022		3395	2022		4783
2023		12071	2023		4091	2023		7633
2024		21221	2024		4823	2024		13153
2025		37304	2025		5588	2025		24446



2 priedas. Anketos forma ir rezultatai



Elektromobilių užmiestinio judumo tyrimas

KTU transporto priemonių inžinerijos magistrinio darbo apie elektromobilių įkrovimo infrastruktūrą apklausa

Eksploatuojamo elektromobilio tikslus modelis

Jūsų atsakymas

Gyvenamoji vieta

Jūsų atsakymas

Tipiniai užmiestiniai maršrutai

Jūsų atsakymas

Vidutinis nuvažiuojamas užmiestinis atstumas per savaitę

Jūsų atsakymas

Kiek kartų per savaitę užmiestinėse įkrovimo stotelėse kraunate elektromobilį?

- 1-5 kartus
- 5-10 kartų
- Daugiau nei 10 kartų
- Rečiau nei 1 kartą per savaitę

Ar jūsų nuomone šiuo metu pakankamas užmiestinis įkrovimo stotelių kiekis?

- Pakankamas
- Vidutinis
- Trūkumas

Ar dažnai tenka baterijos įkrovimo laukti eilėje arba dalintis su kitais vairuotojais, jeigu tai atliekate viešose užmiestinėse stotelėse?

- Dažnai
- Vidutiniškai
- Retai

Kiek laiko vidutiniškai praleidžiate užmiestinėse įkrovimo stotelėse, jeigu ten lankotės?

- Iki 30 minučių
- Nuo 30 minučių iki 1 valandos
- Daugiau nei 1 valandą

Jūsų nuomonė apie užmiestinę elektromobilių įkrovimo infrastruktūrą

Jūsų atsakymas

Pateikti

Laiko žymė	EV tipas	Eksploatacijos vieta	Gyventojų tipiniai užm.	Vidutinis kiekis	Kiekis	Ar jie	Ar da	Kiekis	Nuostata	Jūsų nuomonė apie užmiestinę elektromobilių infrastruktūrą
2-11-2020 23:00:37	BEV	Nissan Pan	Vilnius; Ryga	800	1-5 ka	Trūk	Dažn	Daugia	Neut	Infrastruktūra yra pradinėje stadijoje. Elekt.....
2-11-2020 23:02:04	BEV	Tesla M	Klaipėda, viln	800	5-10 k	Trūk	Vidut	Nuo 30	Neig	Ji nepatikima, pastoviai neveikia, nera plan.....
2-11-2020 23:05:00	BEV	Hyund	Nor -	200	1-5 ka	Paka	Reta	Iki 30 r	Teig	Puiki struktūra Norvegijoje
2-12-2020 0:40:22	BEV	Nissan	Viln Vilnius - Kau	100	1-5 ka	Vidu	Reta	Iki 30 r	Neut	Būtų patogiau, jei daugiau galėtų krautis vien.....
2-12-2020 1:32:26	BEV	Nissan	Elel Vilnius, Kaun	1000	Daugi	Trūk	Vidu	Nuo 30	Neig	Visiškas sibiras Ignalinos rajonas, gelbėkite! V...
2-12-2020 6:19:03	BEV	BMW	Kau Vilnius, Kaun	1000	5-10 k	Vidu	Reta	Iki 30 r	Teig	Kolkas su tokiu elektromobilių kiekiu tenkin.....
2-12-2020 6:32:45	BEV	Hyund	Viln Aplink Vilnių	50	1-5 ka	Paka	Reta	Iki 30 r	Teig	Užtenka kol nedaug elektromobilių
2-12-2020 6:44:06	BEV	Nissan	Viln Max Trakai	-	1-5 ka	Pakankamas	-	-	-	-
2-12-2020 7:42:41	PHEV	Chevro	Viln Vln- Kaunas,	1000	1-5 ka	Trūk	Dažn	Daugia	Neig	Trūksta ikrovimo stotelių
2-12-2020 7:58:51	BEV	Nissan	Viln Vilnius-Kaun	200	1-5 ka	Trūk	Vidu	Iki 30 r	Neig	Reikia bent dviejų krovimo taškų vienoje viet.....
2-12-2020 8:52:24	BEV	Tesla M	Birž Biržai - Klaipė	1500	5-10 k	Vidu	Vidu	Nuo 30	Neig	Trūksta 150Kw ikrovimo stotelių, 50Kw sto.....
2-12-2020 9:16:35	BEV	Nissan	Viln Vilnius - Nau	-	Rečiau	Trūk	Vidu	Iki 30 r	Neig	Reikia daugiau. Prie esamų pridėdant po dar
2-12-2020 9:20:59	PHEV	Ford C	Jon Kaunas-Jona	300	Rečiau	Trūk	Reta	Iki 30 r	-	-
2-12-2020 9:31:23	BEV	BMW	Kau Kaunas-Nerir	450	1-5 ka	Trūk	Dažn	Nuo 30	Neig	Jos nera praktiskai :) po viena stotele, kuri
2-12-2020 10:51:46	BEV	Nissan	Viln Vilnius - Ner	250	Rečiau	Vidu	Reta	Iki 30 r	Neig	miesteliai 20-30km nuo dideliu miestu turētu.....
2-12-2020 12:45:27	BEV	Chevro	Viln j Kauną	250	Rečiau	Trūk	Reta	Iki 30 r	Neut	Ne piko valandomis įmanoma pasikrauti, bet.....
2-12-2020 13:41:17	BEV	Tesla M	Viln Vilnius, N.Ak	600	1-5 ka	Trūk	Vidu	Daugia	Neut	Reikia daugiau greito krovimo stotelių
2-12-2020 21:54:03	BEV	Nissan	Viln Vilnius-Kaun	1000	5-10 k	Trūk	Vidu	Iki 30 r	Neig	Lietuvos užmiestine infrastruktūra tragiska,
2-12-2020 23:12:07	BEV	Audi e	Aly Alytus-Vilni	400	5-10 k	Vidu	Vidu	Nuo 30	Neut	Didinti DC
2-13-2020 11:42:15	BEV	Tesla M	Šak Lekėčiai-Kau	650	Rečiau	Trūk	Dažn	Nuo 30	Neig	Atsiliekam su greito krovimo stotelių kiekiu.
2-14-2020 0:34:59	BEV	Tesla M	Viln Vilnius- Taur	900	Rečiau	Paka	Reta	Iki 30 r	-	-
2-14-2020 2:41:45	BEV	Kia So	Viln Mariampole	450	1-5 ka	Vidu	Vidu	Nuo 30	Neut	Galetu buti vienoje vietoje po pora stotelių.
2-14-2020 10:04:29	BEV	Kia So	Viln Vilnius - Krū	200	Rečiau	Trūk	Reta	Iki 30 r	Neig	Ameniškai man labai trūksta greito įkrovimo
2-15-2020 9:01:30	BEV	Hyund	Viln Visaginas, Ut	1500	Daugi	Vidu	Reta	Iki 30 r	Neut	Jei veikia, tai pusė velnio ta infrastruktūra, ne....
3-15-2020 19:41:42	PHEV	Toyota	Kau Namai-darbas	300	Rečiau	Vidu	Vidu	Iki 30 r	-	-
3-15-2020 19:54:51	PHEV	Toyota	Kau Ramučiai - Šil	250	5-10 k	Vidu	Reta	Nuo 30	Neut	Patenkinama
3-15-2020 20:02:37	BEV	Nissan	Viln Kaunas	200	1-5 ka	Trūk	Vidu	Nuo 30	Neut	Viešų krovimo stotelių galėtų būti daugiau
3-15-2020 20:03:33	BEV	BMW	Kau Kaunas-Vilni	400	1-5 ka	Vidu	Reta	Iki 30 r	Teig	Užtenka, kol nedaug elektromobilių.
3-15-2020 20:08:36	BEV	BMW	Kau Kaunas-Kryz	1100	Daugi	Vidu	Vidu	Nuo 30	Neut	Važinėjant pagrindiais keliais, magistralėmis į.....
3-15-2020 20:13:52	BEV	VW e-	Kau Kaunas-Vilni	400	1-5 ka	Trūk	Vidu	Nuo 30	Neig	Trūksta įkrovimo stotelių, ypatingai reikia gr.....
3-15-2020 20:18:26	BEV	Nissan	Kau Vilnius, Klaip	500	1-5 ka	Trūk	Vidu	Nuo 30	Neig	Reikia gerinti, mažas kiekis krovimo stotelių.....
3-15-2020 20:24:04	BEV	BMW	Kau Kaunas-Trak	800	1-5 ka	Vidu	Reta	Nuo 30	Neut	Manau butu mažas paraginimas siekt didesni
3-15-2020 20:45:20	BEV	Audi e	Kau Kaunas-Vilni	800	1-5 ka	Trūk	Vidu	Iki 30 r	Neut	Reikia didinti infrastuktūra
3-15-2020 20:48:47	BEV	VW e-	Kau Ramučiai- PC	200	1-5 ka	Paka	Reta	Nuo 30	Neut	Geras, taciau noretusi daugiau vietu kur pasikr...
3-15-2020 20:51:22	BEV	BMW	Kau Vilnius, Klaip	900	Daugi	Trūk	Dažn	Nuo 30	Neig	Ryškus krovimo stotelių trūkumas, tenka pla.....
3-15-2020 21:08:40	-	-	Kau Kaunas-Vilka	350	Rečiau	Trūk	Vidu	Nuo 30	Neig	Prasta
3-15-2020 22:30:45	BEV	Tesla M	Kau Kaunas - Viln	500	1-5 ka	Vidu	Reta	Iki 30 r	-	-
3-15-2020 23:00:19	BEV	Nissan	Kau Kaunas - Elek	800	5-10 k	Vidu	Reta	Iki 30 r	Neut	Stoteliu galetu buti ir daugiau
3-15-2020 23:14:53	BEV	Tesla M	Kau Kaunas- Jona	150	1-5 ka	Trūk	Reta	Nuo 30	Neut	Stotelių kiekis mažokas
3-17-2020 9:15:52	BEV	BMW	Viln Vilnius-Traka	300	1-5 ka	Trūk	Reta	Iki 30 r	Teig	Patogu
3-17-2020 20:15:44	PHEV	Toyota	Kau Kaunas Marij	550	5-10 k	Trūk	Vidu	Daugia	Neig	Trūkumas, galėtų būti daugiau pasikrovimo st....
3-21-2020 13:13:58	BEV	Nissan	Kau Jonava, Roka	120	Rečiau	Trūk	Reta	Iki 30 r	Neig	Dar nepakankamai išplėsta
3-21-2020 13:28:09	-	-	Kau -	120	Rečiau	Trūk	Reta	Iki 30 r	Neig	Trūksta įkrovimo stotelių
3-29-2020 15:14:25	PHEV	Chevro	Kau Kaunas Birst	400	1-5 ka	Trūk	Reta	Daugia	Neig	Trūksta
4-1-2020 7:38:03	BEV	Tesla M	Jon Joniškis - Kau	600	1-5 ka	Paka	Reta	Nuo 30	Neut	Kolkas infrastruktūra yra gera. Stotelių tink.....
4-8-2020 19:10:37	BEV	Nissan	Pan Panevezys - J	300	1-5 ka	Trūk	Dažn	Nuo 30	Neig	Labai mazai ir truksta ypac Panevezys- Viln.....
4-12-2020 12:51:39	BEV	Nissan	Kau Kaunas-Vilni	600	1-5 ka	Vidu	Vidu	Iki 30 r	Teig	Šiuo metu patenkinama.
4-12-2020 12:53:20	BEV	Nissan	Viln Vilnius-Zaras	400	1-5 ka	Trūk	Vidu	Iki 30 r	Neut	Ne magistraliniuose keliuose jų galėtų būti dau..
4-12-2020 12:54:54	BEV	BMW	Kla Klaipėda-Pak	250	1-5 ka	Vidu	Reta	Iki 30 r	Teig	Mano maršrutais ji yra tenkinanti.
4-12-2020 12:57:51	BEV	Tesla M	Viln Vilnius-Riga,	700	1-5 ka	Paka	Reta	Nuo 30	Teig	Mano elektromobilis gali nuvažiuoti nemažą.....
4-12-2020 13:00:42	BEV	VW e-	Viln Vilnius-Panev	100	Rečiau	Paka	Reta	Iki 30 r	Teig	Retai tenka naudotis, bet manau kad ji paka.....
4-12-2020 13:10:26	BEV	Tesla M	Kla Klaipėda-Šilu	150	Rečiau	Vidu	Vidu	Iki 30 r	-	-
4-12-2020 13:13:39	BEV	Nissan	Viln Vilnius-Drusk	200	Rečiau	Trūk	Vidu	Nuo 30	Neig	Vilnius-Druskininkai nėra įkrovos punktu.
4-12-2020 13:17:21	BEV	Hyund	Viln Vilnius-Švenč	300	1-5 ka	Paka	Vidu	Iki 30 r	Neut	Judriausiuose keliuose viska gerai, bet rajonin....