



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimas veikiant eksploataciniams veiksniams

Baigiamasis magistro projektas

Aistis Jasionis

Projekto autorius

Doc. Rolandas Makaras

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimas veikiant eksploataciniams veiksniams

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Aistis Jasionis

Projekto autorius

Doc. Rolandas Makaras

Vadovas

Doc. Ramūnas Skvireckas

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Aistis Jasionis

Elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimas veikiant eksploataciniams veiksniams

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Aisčio Jasionio, baigiamasis projektas tema „Elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimas veikiant eksploataciniams veiksniams“ 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 *Aisčiui Jasioniui*

1. Baigiamojo projekto tema:

„Elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimas veikiant eksploataciniams veiksniams“

"Investigation of Consumable Factors Affects for the Discharge of Different Generation Lithium-ion Battery "

2. Projekto tikslas:

„Atlikti palyginamąjį elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimą veikiant eksploataciniams veiksniams“

3. Projekto uždaviniai:

- Atlikti elektromobilių tipų ir juose naudojamų baterijų literatūros apžvalgą;
- Parengti eksperimentinių tyrimų metodiką ir parinkti bandomųjų važiavimų maršrutą, leidžiantį įvertinti regeneracinius režimus;
- Eksperimentinio bandymo metu nustatyti ličio jonų baterijas veikiančių iškrovų reikšmes ir kitas charakteristikas bei jas palyginti;
- Atlikti ekonominę eksploatacijos vertinimą.

4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

Literatūros apžvalga, tyrimo objekto ir metodikos aprašai, eksperimentų rezultatų analizę ir palyginimas.

5. Projekto konsultantai:

Baigiamojo projekto autorius

Aistis Jasionis

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

Baigiamojo projekto vadovas

Doc. Rolanadas Makaras

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

Krypties studijų programų vadovas

Prof. Artūras Keršys

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

Aistis Jasionis. „Elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimas veikiant eksploataciniams veiksniams“ .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: Elektromobilis, akumulatorius, baterija, iškrova, ekologija, ekonomija, ateitis.

Kaunas, 2020. 55 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame darbe tiriama skirtingų kartų ličio jonų baterijos iškrovos veikiant eksploataciniams veiksniams. Apžvelgta elektromobilių atsiradimo istorija bei raida, išnagrinėta lengvųjų automobilių su elektriniais varikliai tipai bei juose sumontuotų akumuliatorių rūšys ir įkrovimo būdai. Išanalizuota mokslinė literatūra, kurios dėka išsiaiškinta kaip galima panaudoti netinkamus elektromobilių akumulatorius, sužinota koki akumulatoriai integruoti į tą patį lengvąjį automobilį funkcionuoja geriausiai bei apžvelgus 24 kWh ir 30 kWh ličio jonų bateriją „Nissan Leaf“ elektromobilyje sužinota, kad 30 kWh baterijos ilgaamžiškumas yra mažesnis nei 24 kWh.

Tyrimo metu atlikti penki bandymai su 30 kWh ličio jonų baterija sumontuota „Nissan Leaf“ elektromobilyje ir penki bandymai su 40 kWh ličio jonų baterija taip pat sumontuota „Nissan Leaf“ elektromobilyje. Eksperimentinių važiavimų metu buvo įjungiamos skirtingos komforto zonos gerinimo sistemos bei diagnostinės įrangos „Consult III Plus“ pagalba užfiksuoti iškrovų, baterijos temperatūros bei baterijos celių iškrovų parametrai. Gauti duomenys apžvelgti ir palyginti rezultatų apibendrinime. Atliktas ekonominis eksploatacijos įvertinimas bei pateiktos tiriamojo projekto išvados.

Jasionis Aistis. Investigation of Consumable Factors Affects for the Discharge of Different Generation Lithium-ion Battery . 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: Electromobile, accumulator, battery, discharge, ecology, economy, future.

Kaunas, 2020. 55p.

Summary

The final project of Master's studied electric discharge values and characteristics of lithium-ion batteries due to influence of different operational factors. In this paper the history and development of electric vehicles reviewed. Analyzed types of passenger vehicles with electric motors and different types of electric batteries and charging methods. Overviewed articles to find out how to use improper electric vehicle batteries, analyzed which integrated batteries into the same vehicle works best. Analyzed 24 kWh and 30 kWh lithium-ion batteries installed in Nissan Leaf electric vehicle and known that 24 kWh battery longevity is greater than 30 kWh batteries.

During the study 5 different performances was made with 24 kWh and 30 kWh lithium-ion batteries installed in Nissan Leaf electric vehicle. Performing experimental test drives used different comfortable zone improvement systems. All parameters of discharge, battery temperature and cells discharge data was collected with diagnostic equipment called „Consult III Plus“. Processed and analyzed test results were compared against each other. Made an economic evaluation of performance and conclusions of final project presented.

Turinys

Ivadas	9
1 ELEKTROMOBILIŲ TECHNINĖ ANALIZĖ IR JUOSE STOVINČIŲ NAUDOJAMŲ BATERIJŲ APŽVALGA	10
1.1 Elektromobilių istorija	10
1.2 Elektromobilių tipai	11
1.3 Elektromobilių baterijos įkrovimo lygiai.....	13
1.4 Elektromobilių baterijų tipai	15
1.5 Elektromobilio „Nissan Leaf“ tobulėjimas einant metams	17
1.6 Mokslinių straipsnių analizė	21
1.6.1 Elektrinių transporto priemonių baterijų palyginimas.....	21
1.6.2 Miesto elektrinių transporto priemonių Ličių Jonų akumulatoriaus gyvavimo ciklo įvertinimas.....	25
1.6.3 Pagreitėjęs akumulatoriaus talpos praradimas naudojant „Nissan Leaf“ 30 kWh	26
2 EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR METODIKA.....	29
2.1 Tyrimo objektas.....	29
2.2 Tyrimų eiga ir sąlygos.....	30
2.3 Tyrimų įrenginiai ir priemonės	30
3 EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ.....	33
3.1 Eksperimento metu gauti rezultatai.....	33
3.1.1 Įjungtas kondicionierius ir radiatorius.....	33
3.1.2 Įjungtas kondicionierius ir šildomos sėdynės.....	36
3.1.3 Įjungta radiatorius ir šildomos sėdynės	39
3.1.4 Įjungtas kondicionierius, radiatorius ir šildomos sėdynės	43
3.1.5 Įjungtas ECO režimas ir išjungti visi el. prietaisai	46
4 REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS	50
5 EKONOMINĖ EKSPLOATACIJOS APŽVALGA	52
6 IŠVADOS	53
7 LITERATŪRA.....	54

Ivadas

Elektromobiliai šiomis dienomis tampa vis įprastesniu ir populiariesniu vaizdu miesto gatvėse. Taip yra dėl to, kad Europos sąjungos valstybėse siekiama mažinti iškastinio kuro suvartojimą bei aplinkos taršą juos pakeičiant į atsinaujinančius išteklius.

Didėjant elektromobilių paklausai didėja ir pasiūla. Kūrėjai nuolatos tobulina jau sukurtus modelius arba kuria vis naujesnius, galingesnius, patogesnius bei pritaikytus kiekvienam žmogui pagal elektromobilio poreikius. Darbe nagrinėjama bus kaip kinta ličio jonų akumulatoriaus baterijų iškrovimas įvairiais darbo režimais su skirtingais kombinuota elektroninių prietaisų naudojimo variacija su senesniu bei naujesniu Nissan Leaf modeliu. Tikslui įgyvendinti bus pasitelkta Nissan korporacijos programinė įranga „Consult -III Plus ir „Carwings“, o tyrimo objektas Nissan Leaf su pirmosios kartos ličio jonų akumulatoriaus baterija ir taip pat su antrosios kartos ličio jonų akumulatoriaus baterija.

Darbo tikslas: atlikti palyginamąjį elektromobilio skirtingų kartų ličio jonų baterijų iškrovos tyrimą veikiant eksploataciniams veiksniams.

Darbo uždaviniai:

- Atlikti elektromobilių tipų ir juose naudojamų baterijų literatūros apžvalgą;
- Parengti eksperimentinių tyrimų metodiką ir parinkti bandomųjų važiavimų maršrutą, leidžiantį įvertinti regeneracinius režimus;
- Eksperimentinio bandymo metu nustatyti ličio jonų baterijas veikiančių iškrovų reikšmes ir kitas charakteristikas bei jas palyginti;
- Atlikti ekonominę eksploatacijos vertinimą.

1 ELEKTROMOBILIŲ TECHNINĖ ANALIZĖ IR JUOSE STOVINČIŲ NAUDOJAMŲ BATERIJŲ APŽVALGA

1.1 Elektromobilių istorija

Elektra varoma transporto priemonė nėra šių dienų naujovė, elektrinių transporto priemonių populiarumas jau buvo 19 a. viduryje, kai atsirado pirmieji elektra varomi maži automobiliai ar kariatetos. Jos populiarsnės buvo už vidaus degimo variklius kadangi vidaus degimo varikliams reikalingos buvo pavarų dėžės, kurios kėlė dideles vibracijas, išmetama daug smulkiųjų dalelių, kurios skleidžia aitrų kvapą bei keliamas didelis triukšmas. Viso to elektromobiliai neturėjo, todėl buvo pranašesni ir patrauklesni.

1828 m. Ányos‘as Jedlik‘as išrado ankstyvojo tipo elektros variklį ir sukūrė mažą automobilį varantį šio išrastojo elektrinio variklio energija ^[15]. 1835 m. Olandų profesorius Sibrandus‘as Stratingh‘as sukūrė pirmąjį nepakraunamą elektra varomą mažą automobilį su kuriuo pilna baterija galima buvo važiuoti 20 min ^[14]. Įkraunamos baterijos, kurios buvo tinkamos energijai kaupti buvo išrastos tik 1859 m. kai prancūzų fizikas Gaston‘as Planté‘as išrado švino – rūgšties bateriją ^[11]. Kitas prancūzų mokslininkas Camille‘as Alphonse‘as Faure‘as stipriai patobulino šią bateriją – jo patobulinimai labai padidino baterijos talpą ir tai paskatino jas gaminti pramoniniu mastu.

Auksinis amžius elektromobiliams prasidėjo vėlyvajame 19 a. . 19a. pabaigoje Walter‘is Bersey‘as suprojektavo elektra varomas kabinas, kurios buvo naudojamos kaip taksi ir 1897 m. jau paleido jas į Londono gatves. Elektra varomi automobiliai dėl paprasto eksploataavimo buvo vadinami moteriškais, todėl kai kurios įmonės netgi dėdavo priekyje radiatorius, kad būtų paslėpta automobilio varomoji sistema. Elektromobilių populiarėjimui pradžioje trukdė elektros stygius, bet kai 1912 m. dauguma namų buvo prijungti prie elektros - automobilių pirkimai pradėjo stipriai augti. Tada Jungtinėse Amerikos Valstijose elektromobiliai sudarė 38% visų automobilių parko, 40% sudarė garu varomi automobiliai ir 22% benzinu. Viso Amerikoje tuo metu buvo registruoti 33,842 elektriniai automobiliai. Daugelis ankstyvųjų elektromobilių buvo puošniais automobilių salonais, masyvūs, todėl tiko ir patiko aukštesnės klasės klientams. Elektromobilių pardavimai aukščiausių pika pasiekė ankstyvaisiais 1910 ^[5].

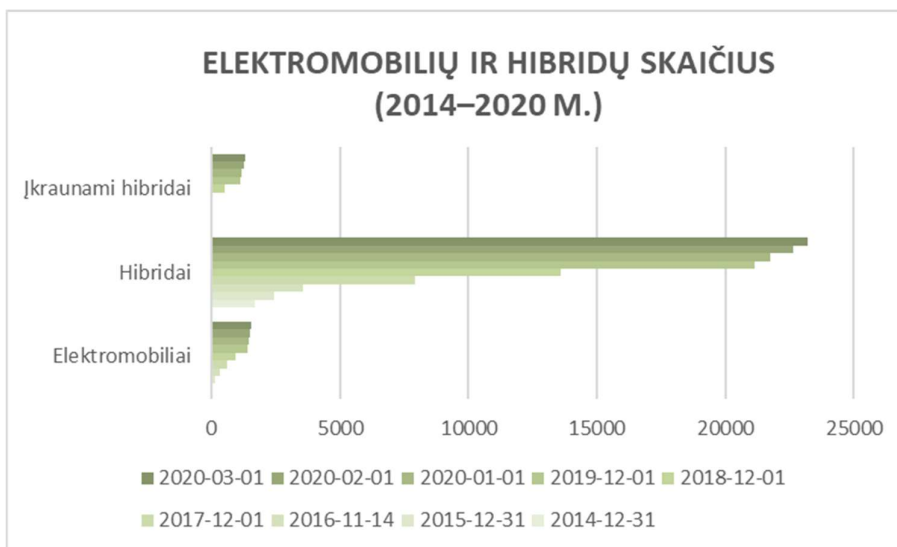
XX a. Pradžioje didžiulės sėkmės sulaukę elektromobiliai pradėjo prarasti savo pozicijas. Prie šios situacijos prisidėjo daugybė pokyčių. 1920 m. patobulintai kelių infrastruktūrai reikėjo didesnio asortimento transporto priemonių, nei galėjo pasiūlyti elektromobiliai. Didelės naftos atsargų radybos visame pasaulyje lėmė benzino prieinamumą už prieinamą kainą, todėl benzinu varomi automobiliai tapo pigiau eksploatuojami tolimesniais atstumais. Elektromobiliai tapo naudojami tik miestuose dėl mažo jų pasiekiamo greičio (24-32km/h) ir mažo įveikiamo atstumo (50-65km), o tuo tarpu benzininiai automobiliai galėjo įveikti didesnę atstumą ir greičiau. 1920 m. pradėjo nykti elektromobilių pramonė ir per sekančius dešimt metų sustojo beveik visiškai. Nors XX a. viduryje buvo mėginta atgaivinti elektromobilių pramonę su naujai suprojektuotu elektromobiliu, kurio greitis buvo arti 60 mylių per valandą ir vienu pakrovimu galima buvo važiuoti apie valandą – benzinu varomi automobiliai buvo vis tiek pigesni ir tai lėmė elektromobilių kūrėjų įmonės užsidarymą 1961 m.

Didėjant oro taršai, kurią nemaža dalis sudarė vidaus degimo variklių išmetamosios dujos, dešimtojo dešimtmečio pradžioje Kalifornijos oro taršos valdyba pradėjo skatinti naudoti mažiau

taršius automobilius arba automobilius, kurių išmetamosios dujos lygios nuliui – tai yra elektromobiliai. Tai vadaus degimo variklių naudotojų nepaskatino rinktis ekologiškesnių automobilių, o vietoje to dėl mažų kuro kainų dauguma rinkosi galingas varikliais, sportinius automobilius ir didelius automobilius.

Elektrinių automobilių pramonė vėl atsigavo išradus ličių jono baterijas, kurios buvo ilgaamžiškesnės bei su jomis buvo galima nuvažiuoti ilgesnį atstumą. Šias baterijas pradėjo naudoti “Tesla Motors” kompanija jas montuodami į “Roadster” modelį, suprojektuotą 2004 m. ir naudotojams pateiktą 2008 m. “Tesla” pardavė apie 2450 automobilių iki 2012 m. gruodžio mėnesio. Nissan Leaf pristatytas 2010 m. gruodžio mėn. Japonijoje ir tapo pirmuoju šiuolaikišku visiškai elektriniu hečbeku automobiliu. Jis buvo pagamintas didžiajai rinkai gerai žinomo didelio gamintojo.

Elektromobilių plėtra Lietuvoje po truputį jau taip pat įgauna pagreitį (1.1 pav.). 2010 m. sukurta Lietuvos elektromobilių asociacija, kurios tikslas suburti fizinius ir juridinius asmenis, susijusius su elektromobilių gamyba bei prekyba, skatinti keitimąsi informacija ir bendradarbiauti [4]. Taip pat valstybė planuoja skatinti vartotojus įsigyti elektromobilius siūlydami visokias lengvatas, nemokamus parkavimus miestų centruose ir kt. Nors dar elektros pagrindu variklių turinčių automobilių Lietuvos gatvėmis nėra labai daug, bet jų skaičius nuolat auga. Anot oficialiais VĮ “Regitra” duomenimis populiariausių elektrinių variklių turinčių tipų šiuo metu yra hibridiniai automobiliai [7].



1.1 Pav. Elektromobilių ir hibridų skaičius Lietuvoje [7]

1.2 Elektromobilių tipai

Elektra (pilnai ar iš dalies) varomos transporto priemonės skirstomos į keturis tipus – grynieji elektromobiliai (BEV), hibridiniai automobiliai (HEV), kištukiniai hibridus (PHEV) ir prailgintos kelionės hibridus (REV). Visų šių tipų trumpa charakteristika ir pavyzdiniai modeliai kiekvienam tipui yra pateikti 1.2 paveiksle.

Hibridiniai automobiliai (HEV)	Kištukiniai hibridai (PHEV)	Prailgintos kelionės hibridai (REV)	Grynieji elektromobiliai (BEV)
<ul style="list-style-type: none"> Automobilis varomas ir vidaus degimo varikliu (VDV), ir elektriniu varikliu; Baterijos įkraunamos stabdant (angl. Regenerative braking); Gali nuvažiuoti trumpą atstumą vien tik elektriniu variklius. Toyota Prius 	<ul style="list-style-type: none"> Automobilis varomas ir VDV, ir elektriniu varikliu (dirbant lygiagrečiai, ar kitais režimais); Baterijos gali būti įkraunamos iš el. tinklo; Vien tik el. varikliu nuvažiuojamas atstumas: 40-60 km. Škoda Superb iV 	<ul style="list-style-type: none"> Automobilis varomas elektriniu varikliu; VDV tik įkrauna bateriją; Baterijos gali būti įkraunamos iš el. tinklo; Vien tik el. varikliu nuvažiuojamas atstumas: 40-80 km. Chevrolet Volt 	<ul style="list-style-type: none"> Automobilis varomas tik elektra; Didžiausia baterijų talpa; Baterijos įkraunamos iš el. tinklo bei stabdant; Nuvažiuojamas atstumas: 270-380 km. Nissan Leaf
			

1.2 Pav. Elektromobilių tipų apžvalga

Hibridiniai automobiliai (HEV – Hybrid Electric Vehicle)

Tai automobilis turintis ir vidaus degimo variklį ir elektrinį. Nors elektrinis variklis naudojamas tik kaip pagalbinis vidaus degimo varikliui, jis padeda ženkliai sumažinti kuro sąnaudas bei išmetamosios emisijos kiekį. Šiuolaikiniai hibridiniai automobiliai turi išmanias įrangas, kaip energijos regeneracijos stabdant, taip gauta energija stabdant būna panaudojama padedant automobiliui judėti. Vien tik elektros varikliu su šio tipo hibridu galima judėti tik labai lėtai ir nespaudžiant daug akseleratoriaus pėdalo, greičiui didėjant iškart įsijungia vidaus degimo variklis.

Kištukiniai hibridai – (PHEV – Plug – in Hybrid Electric Vehicle)

Kištukinis hibridas, kaip ir anksčiau minėtas hibridas turi vidaus degimo variklį ir elektrinį variklį. Šio tipo hibridas gali didesnę atstumą važiuoti vien tik elektra (50-60km), kas būtų didelis privalumas, jeigu automobilis būtų naudojamas važinėti į darbą nedideliu nuotoliu. Šis automobilis taip pat gali važiuoti “Lygiagrečiu” režimui, kuomet veikia ir vidaus degimo variklis ir elektrinis. Skirtingai nuo “HEV” automobilių, šis kištukinis hibridas gali būti kraunamas iš elektros tinklo.

Prailgintos kelionės hibridai (REV – Range Extended Vehicle)

Pagrindinis REV automobilio bruožas, kad jis skirtingai nuo prieš tai minėtų hibridų neturi vienu metu varančių elektrinio ir vidaus degimo variklių. Jis yra visada varomas elektrinio variklio, o vidaus degimo variklis yra naudojamas tik sukurti elektros variklio generatorių, kuomet baterija išsikrauna. Šio tipo automobiliai gali nuvažiuoti ilgesnį nuotolį lyginant su kištukiniu hibridu.

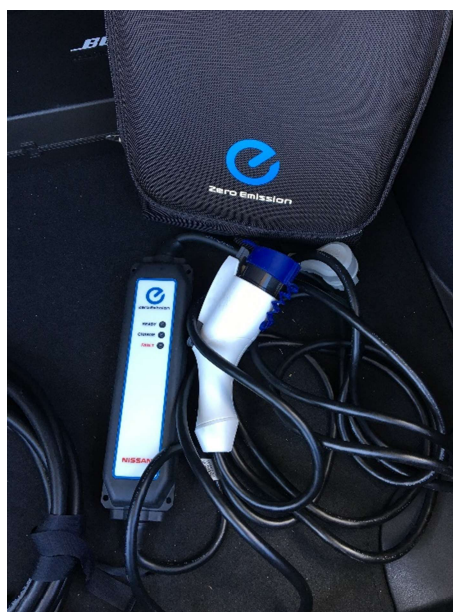
Grynieji elektromobiliai (BEV – Battery Electric Vehicle)

Grynasis elektromobilis yra varomas išskirtinai tik elektriniu varikliu ir neturi jokio vidaus degimo variklio. Kadangi grynuosiuose elektromobiliuose nėra vidaus degimo variklio – jis labai draugiškas aplinkai ir neišmeta jokių kietųjų dalelių. Taip pat BEV automobilio eksploatavimas yra žymiai paprastesnis ir pigesnis kadangi jame stovi tik elektrinis variklis jam praktiškai nereikia jokios priežiūros, nereikia keisti variklio alyvos, alyvos filtro ir kitų įprastų eksploatacinių detalių.

1.3 Elektromobilių baterijos įkrovimo lygiai

Įkrovimo taškai iš esmės skirstomi pagal galingumą (kilovatais) – kaip taisyklė taikoma, kad kuo galingesnė įkrovos prietais, tuo greičiau įkraunama elektromobilio baterija. Yra išskiriami trys įkrovimo lygiai – lėtas krovimas (iki 3 kW), greitas krovimas (7-22 kW) ir itin greitas krovimas (43 – 50 kW). Lėtasis ir greitas krovimas vyksta naudojant kintamąją elektros srovę (AC), o itin greitas – kintamąją (AC, iki 43 kW) arba nuolatinę (DC, iki 50 kW). Kadangi visų baterijų įkrovai turi būti naudojama nuolatinė srovė (DC), todėl buitiniame tinkle naudojamą kintamąją (AC) srovę reikia konvertuoti į nuolatinę. Šią konvertaciją gali atlikti, arba automobiliuose sumontuoti krovikliai (lėtojo ir greitojo krovimo atvejais), arba stacionariose stotelėse įrengti krovikliai (norint krauti automobilį itin greito krovimo režimu).

- Lėtasis krovimas – bene labiausiai paplitęs ir lengviausiai priemas elektromobilių baterijų krovimo būdas. Tai yra dėl to, nes jam yra naudojamas įprastas vienfazis (10 – 16 A) buitinis elektros kištukinis lizdas, iš kurio elektromobilis pasiima apie 3 kW galingumo srovę. Vienintelis reikalavimas – tvarkinga elektros instaliacija su žeminiu. Šis krovimas, priklausomai nuo baterijų talpos, gali užtrukti 8 – 12 valandų, todėl patogiausia būtų palikti krauti automobilį per naktį (palyginimui didesnės talpos turinčiame automobilyje, kaip Tesla Model S su 85 kW baterijos talpa, toks krovimo būdas gali užtrukti iki 29 valandų). Šiuo krovimo būdu iš esmės gali naudotis visi elektromobiliai ir kištukiniai hibridai, tereikia turėti specialų laidą, kurį parduoda su pačiu automobiliu (1.3 pav.).



1.3 pav. Nissan Evse įkrovimo kabelis

- Greitasis krovimas – tai elektromobilių gamintojų rekomenduojamas ir ilgiausią baterijų tarnavimo periodą užtikrinantis būdas. Jis baterijų įkrovos laiką sutrumpina maždaug dvigubai (iki 3-6 valandų). Šiam krovimo būdai naudojami tas pats buitinis elektros tinklas tik srovės stiprumas padidinamas iki 32 A. Jeigu automobilis turi greitojo įkrovimo palaikymą (iki 7kW) tereikia įsigyti tvirtinamą greitojo įkrovimo dėžutę. Iš lenktynėse dalyvaujančių elektromobilių šį greitojo įkrovimo būdą palaiko “Nissan Leaf” (6,6 kW galingumo kroviklis, jį reikia užsakyti papildomai), “BMW i3” (7,4 kW) ir “Kia Soul” (6,6 kW). “Volkswagen e-Up!” turi 3,7 kW galios kroviklį (lėtuju būdu elektrinis „Up!” kraunamas 2,3 kW galingumu), tačiau jis turi mažiausios talpos bateriją, todėl baterija yra įkraunama greičiau. Naudojant trifazį įvadą, teoriškai galimas ir 22 kW galingumo krovimas (po 7 kW iš kiekvienos fazes). 1.4 paveiksle pavaizduoti vienfazis ir trifazis krovimo kabeliai.



1.4 pav. Vienfazis 16A ir trifazis su 32A 0 „Nissan Leaf“ kabelis

- Itin greitas įkrovimas – šį standartą palaikančių automobilių baterijos nuo 0 proc. iki 80 proc. gali būti pakraunamos per maždaug 30 minučių (krovimas nuo 80 proc. vyksta ilgiau). Toks rezultatas pasiekiamas dėl miesto infrastruktūros galimybių (didelės galios elektros įvadas) bei specialios įkrovimo stotelės (1.5 pav.) – kuri, galingų keitiklių pagalba, gali elektromobilių įkrauti

itin greitai. Tokia įranga yra brangi ir reikalauja didelių investicijų į infrastruktūrą (apie 30000 Eur ir daugiau) ^[6].



1.5 pav. ABB elektromobilių greitojo įkrovimo stotelė

1.4 Elektromobilių baterijų tipai

Šiais laikais turbūt kiekvienas žmogus kasdien vartoja įrankius, el. prietaisus ar netgi elektromobilius, kuriuose yra sumontuotos baterijos. Baterijos – tai įtaisai kuriuose cheminė medžiaga paverčiama energija.

Baterijos būna arba vienkartinės arba daugkartinės, pastarosios yra daug pranašesnės kadangi jų energija gali būti iš naujo pakraunama. Pakraunamų baterijų yra gali būti įvairių rūšių, kurių pagrindinis skirtumas yra sudėtis ir svarbiausias parametras – specifinė energija (Wh/kg), celių įtampa, pakrovimo ciklų skaičius. Tarp populiariausių baterijų yra Švino rūgšties (angl. lead – acid), Nikelio metalo hibrido (angl. Nickel metal hybrid) ir Ličių jonų (angl. Lithium – ion) (1.6 pav.).

Pakrautos baterijos ne būtinai suteiks vienodą energijos kiekį, tai priklauso nuo įvairių aplinkos veiksnių. Išsikrovimo laikas priklauso nuo iškrovos srovės, nuo pajungtų elektrą naudojančių prietaisų gausos ir kt. Per aukšta iškrovos srovė taip pat trumpina baterijos gyvavimo laikotarpį kaip ir per aukšta ar per žema aplinkos temperatūra. Be to baterijai yra kenksminga būti visiškai iškrautai. Norint, kad ličio jonų akumuliatorius būtų ilgaamžiškesnis, jį reikėtų krauti iki nepilno pakrovimo, nors tai sutrumpintų galimą nuvažiuoti atstumą, bet taip pagal gamintojus akumuliatorius išsaugotų ilgaamžiškumą.



1.6 pav. Nissan Leaf automobilio Ličio Jonų akumulatoriaus celių išdėstymas 2009m.

Keletas įkraunamų baterijų technologijų rūšių, kurios yra naudojamos hibridinėse ir elektrinėse transporto priemonėse bus apžvelgiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. Pagrindinės baterijų rūšys

<p>Švino rūgštis (Pb-acid)</p>	<p>Užpildytos švino rūgštis baterijos yra pigiausios ir praeityje dažniausiai pasitaikančios baterijos. Tradiciškai dauguma elektromobilių naudojo švino – rūgštis baterijas dėl jų brandžios technologijos, lengvos gavybos ir pigumo. Kaip ir visos baterijos, jų gavyba ir utelizavimas bei perdirbimas daro didelę žalą gamtai. Šios baterijos yra labai sunkios ir gali sudaryti (25-50%) visos transporto priemonės masės dalies. Energija yra žymiai mažesnė nei naftos degalų – 30-40 Wh / kg. Šios baterijos aprūpino energija tokius ankstyvuosius elektromobilius kaip EV1 ir RAV4 EV ^[10].</p>
<p>Nikelio metalo hidrido (NiMH)</p>	<p>Nikelio – metalo hibrido baterijos dabar laikomos palyginti brandžia technologija. Nors įkrovimas ir iškrovimas yra 60-70% mažiau efektyvus už švino rūgštis baterijas, jų savitoji energija yra 30-80 Wh / kg, tai yra daug didesnė, nei švino rūgštis baterijos. Tinkamai naudojant nikelio – metalo hibrido baterijas jos gali tarnauti labai ilgai, kaip buvo įrodyta jas naudojant hibridiniuose automobiliuose RAV4 EV, kurie pravažiavo daugiau kaip 100 000 mylių ir 10 metų eksploatacijos. Neigiami aspektai yra žemas efektyvumas, didelis savaiminis iškrovimas ir prastos savybės šaltu oru. Šių baterijų naudojimas buvo apribotas.</p>
<p>Ličio jonų (Li-ion)</p>	<p>Iš pradžių ličio jonų baterijos buvo kuriamos ir parduodamos nešiojamuose kompiuteriuose ir plataus vartojimo elektronikoje. Dėl savo didelio energijos tankio ir ilgaamžiškumo jos tapo pagrindiniu kandidatu naudoti elektromobiliuose. Atlikti tyrimai parodė, kad vidutiniškai elektromobilių ličių jonų baterija po 6 metų ir 6 mėnesių išlaikys 90% savo pradinės talpos. Šio tipo baterijos buvo pradėtos naudoti tokiuose modeliuose, kaip „Tesla Roadster“, o šiuo metu naudojamos ir tobulinamos daugumoje populiariausių elektromobilių, tokių kaip „Nissan Leaf“.</p>

Išlydytos nikelio druskos (NaNiCl)	Natrio nikelio chlorido arba „Zebra“ baterijoje kaip elektrolitas naudojama išlydyta natrio chloroaluminato (NaAlCl ₄) druska. Palyginti brandi technologija, „Zebra“ baterijos savitoji energija yra 120 Wh /kg. Kadangi baterija turi būti šildoma – šaltas oras neturi didelės įtakos jos veikimui, išskyrus padidėjusias šildymo išlaidas. Šios baterijos buvo naudojamos keliuose elektromobiliuose. „Zebra“ baterijos gali būti naudojamos kelis tūkstančius įkrovimo ciklų ir yra netoksiškos, nors aukšta veikimo temperatūra gali kelti pavojų. Neigiama šių baterijų savybė yra maža savitoji galia (<300 W / kg) ir veikimui reikalaujama pašildyti elektrolitą iki maždaug 270° C, o tai eikvoja šiek tiek energijos. Išlydytos nikelio druskos baterijos yra naudojamos komerciniame automobilyje „Modex“ nuo tada, kai jis buvo pradėtas gaminti – 2006m.
------------------------------------	---

Elektromobilių baterijose, kuo didesnis elektros tankis, tuo didesnę atstumą su tomis baterijomis galima įveikti. Jų nusidėvėjimas priklauso nuo to, kaip dažnai automobilis yra naudojamas, kokie prietaisai yra naudojami ir ar laikomasi gamintojo elektromobilio įkrovimo rekomendacijų.

1.5 Elektromobilio „Nissan Leaf“ tobulėjimas einant metams

„Nissan Leaf“ modelio apžvalga

„Nissan leaf yra vienas pirmųjų ir vienas populiariausių modernių elektromobilių atstovas. Pirmoji „Nissan Leaf“ karta pradėta kurti dar 2010m. ir susilaukė milžiniško pasisekimo ir pripažinimo. Šiame modelyje integruota Ličio Jonų baterija, kuri pirmosios kartos „Leaf“ elektromobiliui leisdavo nuvažiuoti apie 200km. Einant metams kūrėjai automobilio dizainą, integruotas baterijas bei pagalbines sistemas stipriai ištobulino.

Remiantis „Waranty Direct“ 2015m. ataskaita iš parduotų maždaug 35 000 Europoje elektromobilių „Leaf“ tik trims buvo nustatytas baterijų gedimas, lyginant su vidaus degimo varikliais tai 25 kartus mažiau [8].

Pirmosios kartos šio modelio korpusas turi išsikišusius priekinių žibintų gaubtus, nukreipiančius vėją nuo šoninių veidrodėlių taip sumažinant oro pasipriešinimą ir triukšmą [13].

Antrosios kartos „Nissan Leaf“ elektromobilis turi taip Ličio Jonų bateriją tik talpesnę ir galingesnę. Stabdžių regeneracijos sistema dar labiau ištobulinta ir atsiradusi E-Pedal funkcija leidžia maksimaliai taupyti energiją stabdant. Pirmosios ir antrosios kartos „Nissan Leaf“ elektromobiliai pavaizduoti 1.7 paveiksle.



1.7 pav. „Nissan Leaf“ pirmos ir antros kartos elektromobiliai

Ličio Jonų baterija

Ne paslaptis, kad elektromobilių baterijos dar nėra pilnai išvystytos, kad galėtų visapusiškai konkuruoti su vidaus degimo varikliais, todėl gamintojai stengiasi jas nuolatos tobulinti. Nissan korporacija, naudojanti ličio jonų bateriją „Nissan Leaf“ modelyje beveik kas pora metų išleidžia šio modelio bei baterijos patobulinimus (įkrovos laiko sumažinimą, baterijos talpos padidinimą ir kt.), tai galime matyti 1.8 paveiksle.

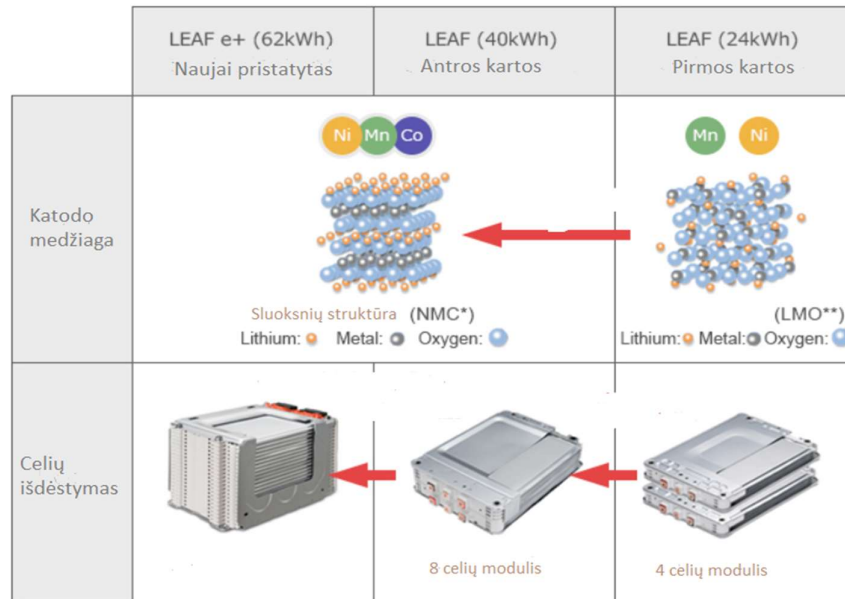
Baterija	Įveikiamas atstumas (WLTC/JC08 mode)
24kWh	2010 (200km@JC08)
	2012 (228km@JC08)
30kWh	2015 (280km@JC08)
40kWh	2017 322km@WLTC Mode (400km@JC08 Mode)
62kWh	2019 458km@WLTC Mode (570km@JC08 Mode)

1.8 pav. baterijų tobulėjimas „Nissan leaf“ automobily einant metams [1]

„Nissan“ ličio jonų baterija garantuoja aukštą energijos tankį ir patikimumą, naudodamos Ni-Co-Mn teigiamo elektrodo medžiagą ir laminuotos struktūros elementus.

„Ni-Co-Mn“ teigiamo elektrodo medžiaga turi sluoksniuotą struktūrą, padidindama baterijos saugojimo galimybes, nes leidžia kaupti daug ličio jonų. Laminuotos struktūros baterijos pasižymi dideliu vėsinimo efektyvumu ir paprasta struktūra, taupydama vietą ir sumažinant bendrą baterijos dydį. Dėl didelio patvarumo ir patikimumo, baterijos talpos garantija siekia 160 000km arba 8 metus eksploataavimo.

Pirmajame „Leaf“ modelyje (komplektuojama 24 kWh baterijų talpa) vienas baterijų modulis buvo sukonstruotas su 4 celių konfiguracija, o iš viso transporto priemonėje buvo sukonstruoti 24 toki moduliai. Antrosios kartos „Leaf“ modelyje (komplektuojama 40kWh baterija) kiekvienas baterijos modulis yra sukonstruotas su 8 celių konfiguracija, kaip standartas padidinantis užpildymo efektyvumą. Ši nauja baterijos konfiguracija išsaugojo talpą bei patikimumą. Pasikeitusi akumuliatorių struktūra pateikta 1.9 paveiksle.



1.9 pav. Baterijos struktūros kaita kintant „Nissan Leaf“ kartoms [1]

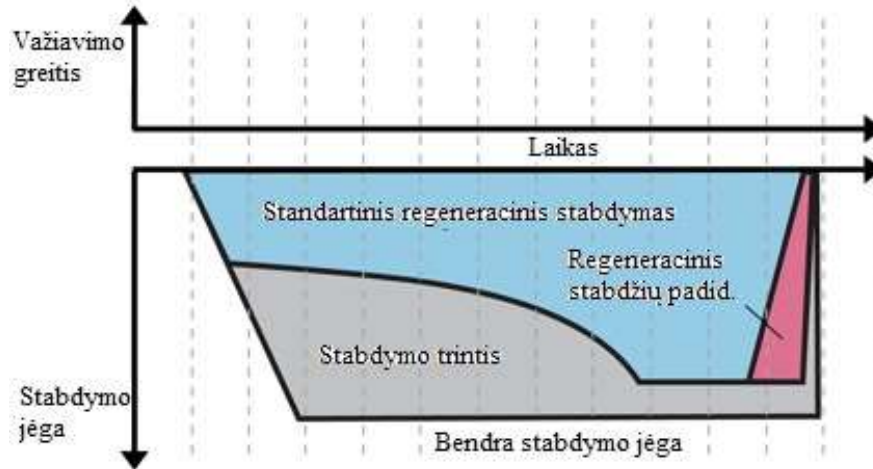
Stabdžių regeneracijos sistema ir „E-pedalas“

Regeneracijos sistemos pagrindinė užduotis yra kiek įmanoma mažiau įtakoti baterijų iškrovą ar net esant tam tikromis sąlygomis kaupti elektros energiją į bateriją.

Automobilyje integruotos regeneracijos sistemos gali padėti įveikti didesnę nuotolį, konvertuodama varomąją galią į el. energiją, kuri yra kaupiama ličių jonų akumuliatoriuje, kai važiuoja nuokalne ar lėtėja.

Stabdžių regeneracijos sistemos paskirtis – perteikti dalį energijos ličių jonų baterijai įkrauti bei didinti įveikiamą atstumą. Sekanti paskirtis – naudoti „stabdymą varikliu“, kuris veikia priklausomai nuo baterijos būklės. Įjungtai padėčiai D (važiuoti), kai atleidžiamas akseleratoriaus pedalas, stabdžių regeneracijos sistema šiek tiek sumažina greitį, o energijos dalis perteikiama ličių jonų baterijai. Stabdžių regeneracijos veikimas yra skirtingas, priklausomai nuo baterijos įkrovimo lygio. Jeigu baterija yra pilnai pakrauta, pakėlus koją nuo akseleratoriaus pedalo stabdymas būtų mažesnis, kad būtų išvengiama baterijos perkrovimo. Taip pat regeneracija yra mažinama, kai baterijos temperatūros lygis yra pakilęs arba nukritęs numatytų normų, kad nebūtų sugadinta baterija. Norint sumažinti greitį ar pilnai sustabdyti automobilį – naudojamas stabdžių pedalas. Stabdžių regeneracijos sistema automobilio stabdymo efektyvumui įtakos neturi.

Naudojant šią sistema gali būti girdimas jos skleidžiamas garsas. Tai yra įprasta elektromobilio veikimo charakteristika.



1.10 pav. Stabdžių regeneracijos sistemos veikimo diagrama [1]

Stabdant stabdymo jėga sudaroma iš regeneracijos ir elektrinės – hidraulinės stabdymo sistemos. Jėgos paskirstymas valdomas stabdžių valdymo bloko pagalba. Maksimali regeneracija priklauso nuo automobilio greičio (variklio greičio). Variklio sukimo momentas ties 100 km/h siekia 6400 aps/ min. Kuo didesniu pajėgumu dirba variklis, tuo didesnis regeneruojamas įkrovimo kiekis, kaip ir įprastame generatoriuje.

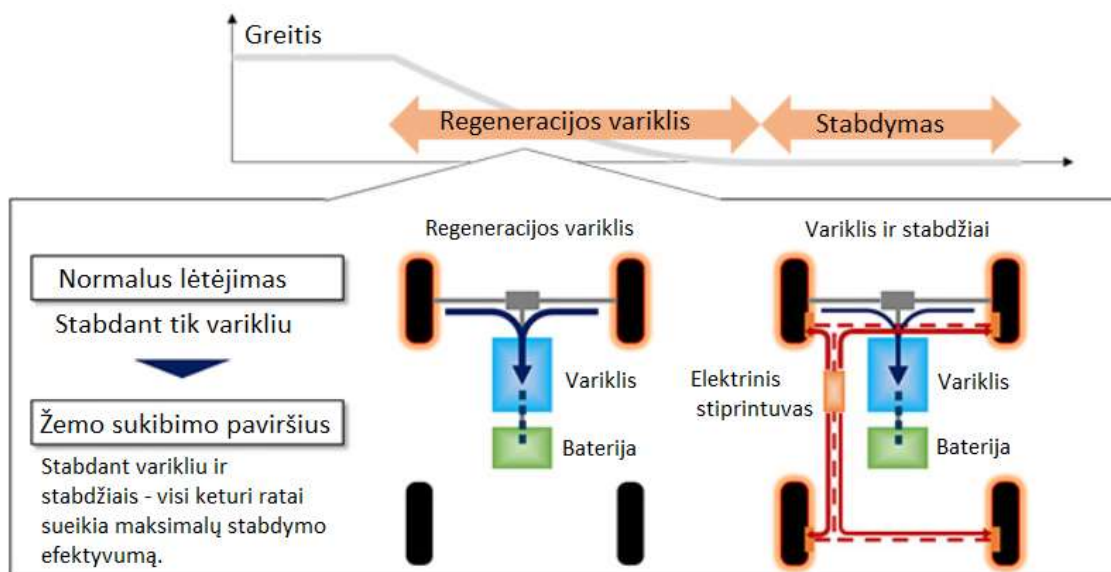
Įkrovimo lygis tiesiogiai nepriklauso nuo stabdymo jėgos (1.10 pav.). Kai važiavimo greitis tampa mažesnis už stabdymo jėgą, kuri yra generuojama regeneracijos sistemos. Stabdžio pedalo valdymo daviklio, automobilio greičio ir baterijos įkrovos lygio duomenys yra svarbiausi parametrai regeneracijos sistemos veikimui.

E – pedalas, tai lengvas vairavimas naudojant tik akseleratoriaus pedalą. „E- pedalas“ leidžia vairuotojui išibėgėti, sulėtinti greitį ar visiškai sustoti naudojant tik akseleratoriaus pedalą.



1.11 pav. „E- pedalo“ veikimas [1]

Atleidus akseleratoriaus pedalą, variklis pradeda transporto priemonės lėtėjimo procesą. Stabdžiai automatiškai įjungiami, kai automobilis visiškai sustoja. Be to, stabdžiai tuo pačiu metu naudojami ant mažai sukimbančios dangos, naudojant visus keturis ratus, kad būtų galima saugiai sulėtinti transporto priemonės greitį. Naudojant šią funkciją stabdant automobilis ne tik lėtėja, bet ir stabdant regeneruoja energiją, kurią gauna iš stabdymo [1]. „E- pedalo“ veikimas pavaizduotas 1.11 paveiksle.



1.12 pav. Energijos regeneracija su „E-pedalu“ [1]

E-pedalo sistema padeda užtikrinti dar geresnį stabdžių regeneracijos veikimą paverčiant jo naudojimą vienu malonumu, kaip važiuojant elektromobiliu norisi ne tik sutaupyti energijos, bet jos ir gauti stabdant ar atleidžiant akseleratoriaus pedalą. Energijos regeneracijos veikimo principas pavaizduotas 1.12 paveiksle.

1.6 Mokslinių straipsnių analizė

1.6.1 Elektrinių transporto priemonių baterijų palyginimas

Elektra varomos transporto priemonės pradeda vaidinti reikšmingą vaidmenį šiuolaikinėje automobilių pramonėje. Dabartinių elektrinių transporto priemonių konstrukcijoje yra daugybė akumuliatorių tipų, todėl sunku nuspręsti, kuris akumuliatorius geriausiai atitinka visas svarbiausias charakteristikas, atsižvelgiant į skirtingus poreikius, tokius kaip energijos kaupimo efektyvumas, konstruktyviosios savybės, savikaina, saugumas ir ilgaamžiškumas. Šis tyrimas, kurį atliko Rumunijos Technikos Universiteto studentai, parodo elektromobilio, naudojančio keturių skirtingų tipų akumuliatorius (ličio jonų, išlydytos druskos, nikelio metalo hibrido bei ličio sieros) autonomiškumą. Visi jie turi tą pačią elektros energijos kaupimo funkciją. Šio mokslinio darbo naujovė yra keturių skirtingų tipų akumuliatorių įdiegimas į tą patį modelį, siekiant realiu laiku įvertinti kompiuterio modeliavimu transporto priemonės autonomiškumą ir šių tipų akumuliatorių efektyvumą važiavimo cikle.

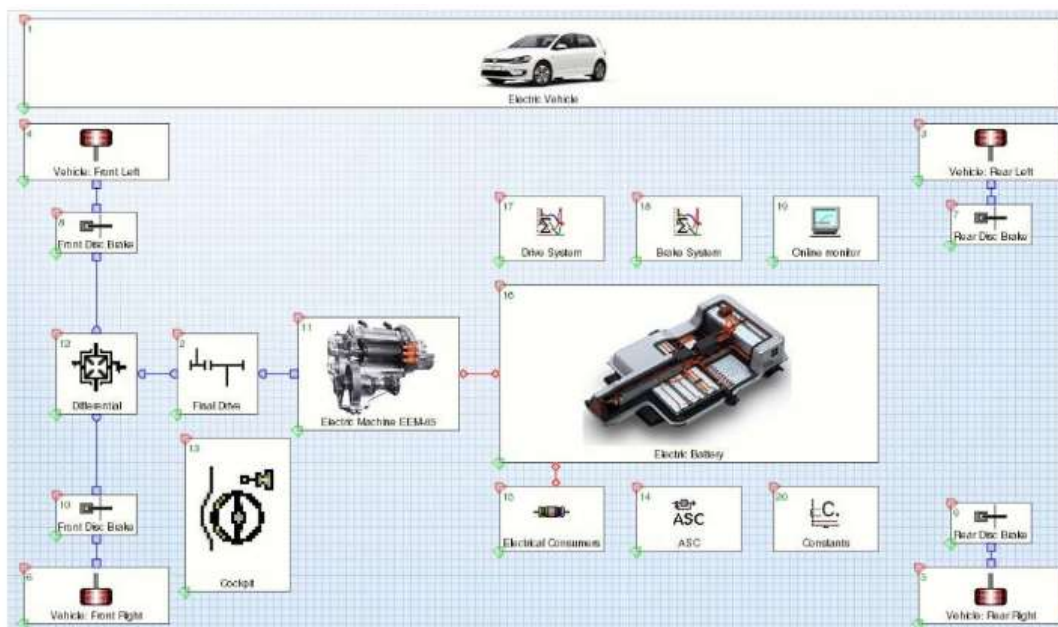
Šiais laikais brangiausia elektromobilio dalis yra akumuliatorius, jis sudaro 25-50% elektromobilio kainos. 1.13 paveiksle pateikti elektromobiliai ir juose įtaisyti akumuliatoriai, jų talpa ir galia.

Renault Twizy	Li-Ion Baterija	Talpa 6.1 kWh	Galia 4 kW/5 CP	Kaina 6750 €
Hyundai Ioniq	Li-Ion Baterija	Talpa 28 kWh	Galia 88 kW/118 CP	Kaina 29500 €
Nissan Leaf	Li-Ion Baterija	Talpa 30 kWh	Galia 80 kW/107 CP	Kaina 30680 €
VW E-Golf	Li-Ion Baterija	Talpa 24.2 kWh	Galia 100 kW/136CP	Kaina 37590 €
Tesla Model S	Li-Ion Baterija	Talpa 100 kWh	Galia 193 kW/259CP	Kaina 123000€

1.13 pav. Elektromobiliai ir juose įrengtos baterijos ^[3]

Kaip pastebėta 1.13 paveiksle, ličio jonų akumulatoriai šiais laikais yra labiausiai naudojama technologija elektrinėse transporto priemonėse dėl didelio energijos tankio bei mažesnio svorio ir matmenų. Remiantis tyrimais ^[3], ši technologija yra geriausias „įkraunama pagal svorį“ sprendimas, tenkinanti vieną iš svarbiausių elektromobilių pramonėje naudojamų akumuliatorių sąlygų, pagal kurią ličio jonų baterija lengvai pakeitė Ni-MH baterijas. Kitas pranašumas – didesnis ilgaamžiškumas. Ličio jonų baterijos trūkumas yra aukšta darbinė temperatūra, kuri gali turėti įtakos akumuliatoriaus iškrovai bei eksploatavimo saugai. Na-NiCl₂ akumuliatoriaus minusas, kad jo darbinė temperatūra yra labai aukšta (270 – 350 °C), todėl elektromobilį būtina nuolatos naudoti, kad neužšaltų baterija. Jei automobilis nenaudojamas, sistemą išlaikyti darbinėje temperatūroje galima per išorinę šildymo sistemą, kuri naudoja 90 Wh galios. Jei baterija atšąla, norint ją sugrąžinti į darbinę temperatūrą, kad atgautų funkcinis parametrus gali prireikti 12 – 15 valandų. Li – S baterija sulaukė didelio tyrėjų susidomėjimo dėl padidėjusios teorinės savitosios energijos (2500 Wh / kg), be to atsižvelgiant į jos teorinę savitąją galią (1672 mAh / kg) – ji yra stiprus konkurentas šiandien naudojamai technologijai ir yra galimas perspektyvus sprendimas kuriant būsimus elektromobilius.

Šiame tyrime buvo sukurtas virtualus elektrinis automobilis, pagrįstas konstruktyviais elektrinio „VW E-Golf“ parametrais, siekiant pabrėžti autonomijos skirtumus ir įvertinti šių keturių tipų akumuliatorių veikimą. Virtualus tiriamasis elektromobilis bei jo sandara pavaizduota 1.14 paveiksle.



1.14 pav. Virtualus tiriamojo elektromobilio modelis „AVL Cruise“ programoje [3]

Toliau tyrime aprašoma tiriamojo elektromobilio charakteristika ir pagrindinė informacija bei pateikia tiriamųjų akumuliatorių pagrindinė informacija (1.15 pav.).

Pavadinimas	Reikšmė				Vnt
	Li-Ion	Na-NiCl ₂	Ni-MH	Li-S	
Maksimalus įkrovimas	75	84	85	80	Ah
Nominali įtampa	323	289	288	305	V
Talpa	24.2	24.2	24.2	24.2	kWh
Maksimali/ minimali įtampa	339 / 308	275 / 304	274 / 302	290 / 320	V
Įkrovimo būseną	100	100	100	100	%
Celių skaičius eilėje	12	12	20	26	-
Celių eilių skaičius	17	30	20	1	-
Varža	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	Ω
Darbinė temperatūra	33	270	36	30	°C
Specifinis šilumos judėjimas	0.4	6	0.4	0.08	W/K
Specifinis šilumos kiekis	795	950	677	1650	J/kg*K
Baterijos svoris	318	457	534	173	kg
Baterijos kaina	300	500	400	250	€

1.15 pav. Tiriamųjų akumuliatorių pagrindiniai rodikliai [3]

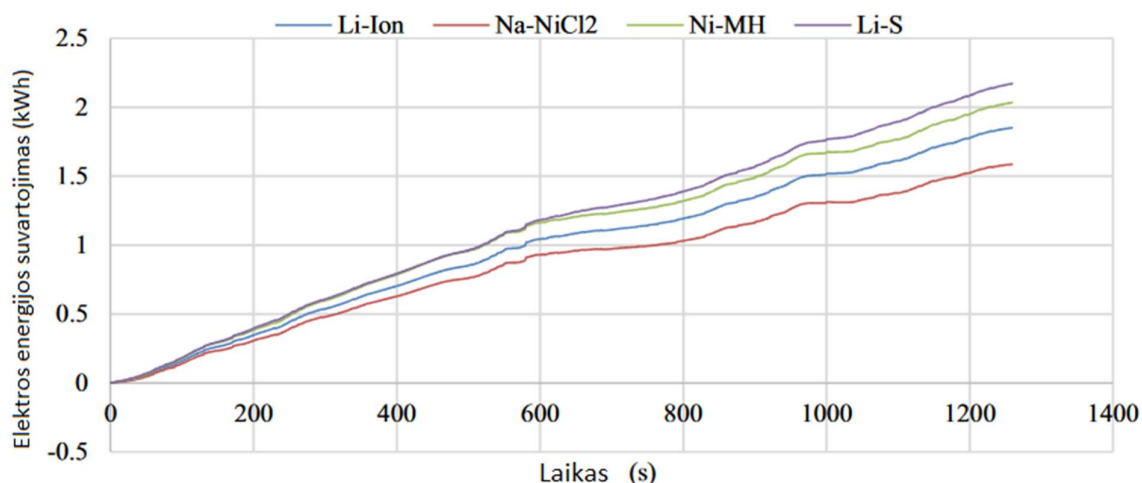
Vėliau buvo pasirinktas virtualus kelias, kuris yra gautas kompiuterizuotai suskaičiavus vieną tikrojo kelio sektorių, kurį sukia „AVL Road Importer“ programa, remdamasi koordinatėmis, paimtomis iš programinės įrangos, kuri detalai rodo antžeminį paviršių („Google Earth“). Norint įvertinti elektromobilio autonomiškumą „AVL Cruise“ programai buvo pasirinkta atkarpa „Nardo Circuit“ Italijoje. Ši 12,6 km atkarpa yra transporto priemonių bandymo trasa ir dėl savo apskritos geometrijos leidžia virtualią transporto priemonę perkelti į uždara kilpą, kol ji pasiekia maksimalią akumuliatoriaus autonomiją.

Gauti rezultatai pateikiami 1.16 paveiksle.

Pavadinimas	Reikšmė				Vnt
	Li-Ion	Na-NiCl ₂	Ni-MH	Li-S	
Elektros energijos suvartojimas (VW DATA)	12.7	-	-	-	kWh/100km
Elektros energijos suvartojimas realybėje	18.2	-	-	-	kWh/100km
Elektros energijos suvartojimas (AVL Cruise)	14.7	12.6	15.8	17.2	kWh/100km
Elektromobilio įveiktas atstumas (VW DATA)	190	-	-	-	km
Elektromobilio įveiktas atstumas realybėje	130 - 190	-	-	-	km
Elektromobilio įveiktas atstumas (AVL CRUISE)	165	192	153	140	km
Sunaudota energija	6826	5927	7006	7979	kJ
Sugeneruota energija	184	222	184	159	kJ

1.16 pav. Baterijų tyrimo rezultatai [3]

Elektros energijos rezultatai pateikiami 1.17 paveiksle, kiekvienas modeliavimas atliekamas tokiomis pačiomis sąlygomis. Išanalizavus rezultatus, pastebima, jog mažiausios energijos sąnaudos yra Na-NiCl₂ akumuliatoriuose, kurie sugebėjo nuvažiuoti 192 km atstumą. Prasčiausi rezultatai buvo Li-S akumuliatorių.



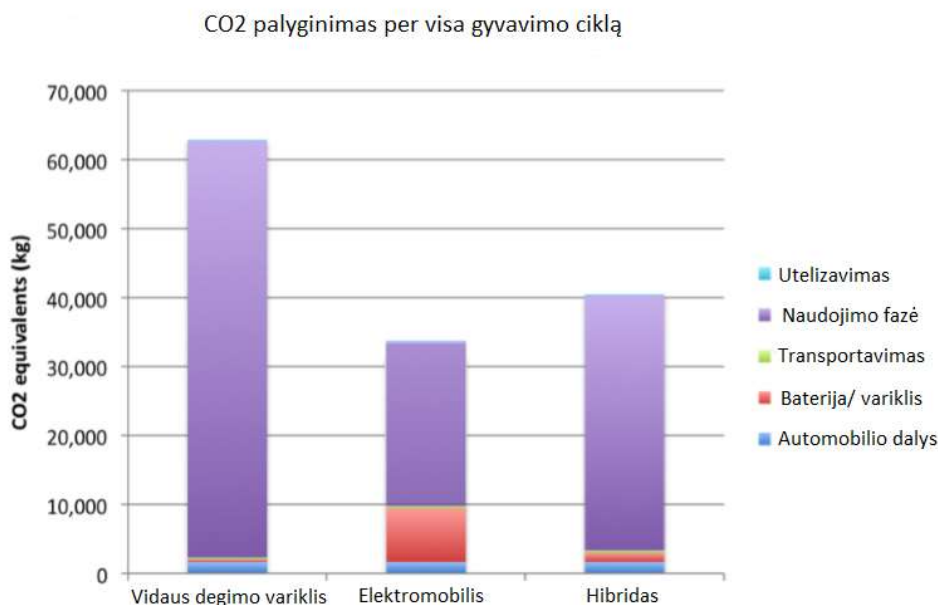
1.17 pav. Elektros energijos rezultatai [3]

Išvados

Na-NiCl₂ akumuliatoriai yra geriausias pasirinkimas energijos suvartojimo atžvelgiu (12,6 kWh/100km). Be to jo kaina yra nedidelė, padidėjęs gyvavimo ciklas ir puikus veikimas esant normaliems parametrams atšiaurioje aplinkoje. Trūkumas – padidėjusi darbinė temperatūra, dėl kurios akumuliatoriaus elektrolitas sukietėja, jei jis nenaudojamas. Didžiausias energijos sąnaudas turėjo Li-S akumuliatorius. Tačiau dėl mažo svorio ir kainos, palyginti su kitų akumuliatorių technologijomis, jie gali būti vienas geriausių sprendimų sistemoms, turinčios didelę energijos kaupimo galią. Ni-MH akumuliatoriai, nepaisant protingo energijos suvartojimo (15,7 kWh/ 100 km), yra neefektyvūs, turintys padidintą energijos tankį ir galią, sunkų svorį bei pasenusią technologiją. Šiais laikais ličio jonų akumuliatoriai yra didžiausias elektrinių transporto priemonių įrangos rinkos segmentas. Vidutinės sąnaudos (14,7 kWh / 100 km), nuolatinis savikainos mažėjimas, pažangi gamybos technologija, pailgėjęs ilgaamžiškumas ir didelis energijos kaupimo potencialas sudaro ličio jonų akumuliatorius optimaliu pasirinkimu šioje srityje.

1.6.2 Miesto elektrinių transporto priemonių Ličių Jonų akumulatoriaus gyvavimo ciklo įvertinimas

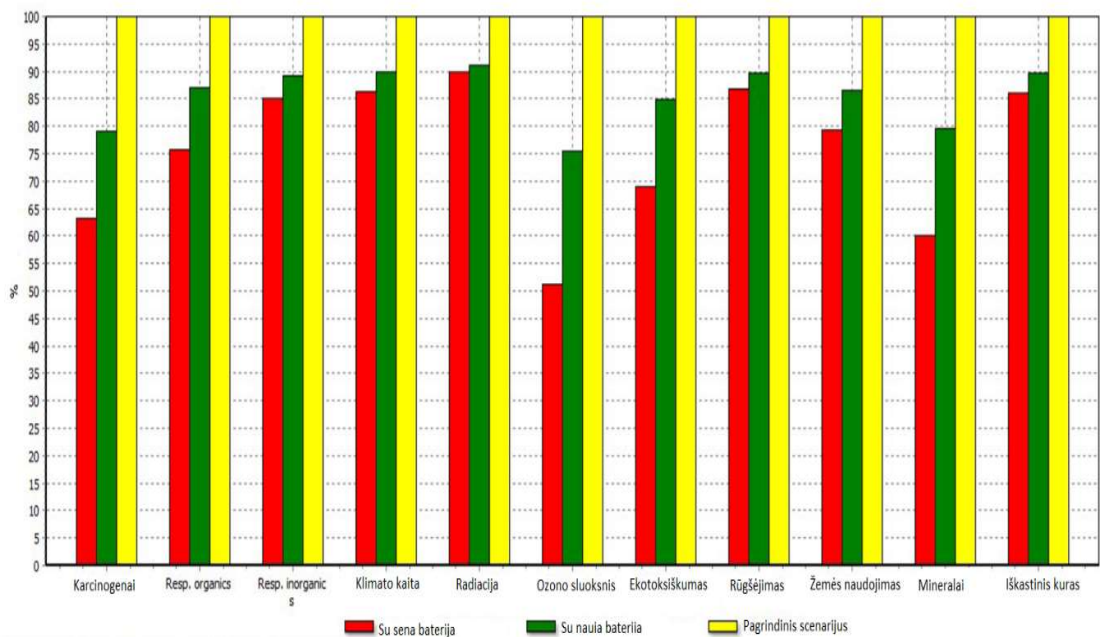
Šiame tyrime pateikiamas elektrinių transporto priemonių ličio jonų akumuliatorių gyvavimo ciklo ir poveikio aplinkai vertinimo metodai, įvertinant įvairius akumuliatorius gyvavimo etapus, pradedant gamybos etapu. Tuomet vertinama šios baterijos naudojimą Ispanijoje, kol pasibaigs eksploatacijos pabaigos etapas, kai akumuliatorius negali toliau atlikti savo darbo (kaip faktinė talpa yra mažesnė nei 80% pradinės talpos). Šiame kontekste svarstomi skirtingi eksploataavimo pabaigos scenarijai, siekiant ištirti naudotų baterijų naudojimą, kai siekiama sumažinti jos poveikį aplinkai, prailginant akumulatoriaus tarnavimo laiką mažiau įtemptoje aplinkoje, kad būtų užtikrinta mažesnė baterijos degradacija. Šiam tyrimui naudojama programa „SimaPro“ su kuria nagrinėjama įvairios šios baterijos gyvavimo ciklo priemonės siekiant kiekybiškai įvertinti galimą naudą ekologijai. 1.18 paveiksle palyginta kiek CO₂ į gamtą patenka per visą lengvojo automobilio eksploatacinį laikotarpį.



1.18 pav. CO₂ palyginimas per visą gyvavimo ciklą

Pasirinkus, kad ličio jonų akumuliatorius įveiks 2500 ciklų ir kasdien nuvažiuos po 40km 2500 dienų, išvis jis pravažiuos apie 100000km ir sunaudos 17000 kW/h kadangi paskaičiuota, kad kilometrui sunaudoja 0,17 kW/h. Pravažiuojus tokią ridą baterijos likutis turėtų pasiekti apie 80%. Kad akumuliatorius nustotų veikti jo likutis turėtų pasiekti apie 60% , o pasiekus šią ribą galima šiuos akumuliatorius būtų panaudoti antrą kartą, kaip energijos kaupikus, kad nereiktų jų išmesti ar atiduoti utлізуoti.

Šiame tyrime nagrinėjami trys alternatyvūs scenarijai. Pagrindiniame scenarijuje Ličių jonų akumulatoriaus naudojimo scenarijų sudaro 4 etapai, t.y. akumulatoriaus gamybos etapas, naudojimas, sunaikinimas ir antrasis panaudojimas. Kituose scenarijuose svarstomas akumulatoriaus panaudojimas išmaniuose pastatuose, siekiant kaupti atsinaujinančių energijos šaltinių energiją tik viename įstatoma nauja mažesnė baterija, kad galėtų 1500 ciklų atitarnauti, kaip pilnos talpos baterija, o kita būtų naudojama ta pati nuo 80% likučio iki 60%, iki bus netinkama naudoti.



1.19 pav. Trijų scenarijų poveikio kiekvienai kategorijai palyginimas

1.19 pav. parodo žalos įvertinimo rezultatus, gautus naudojant ekologinį rodiklį 99. Geltona skiltis rodo pagrindinį scenarijų nurodant, kad šis scenarijus turi aukščiausią balą iš trijų skirtingų scenarijų visose įvertintose kategorijose.

Remiantis tyrimo gautais rezultatais, galima teigti, jog naudinga elektromobiliuose sumontuotas baterijas pakartotinai panaudoti kaupti energiją išmaniuose pastatuose. Iš trijų tirtų scenarijų geriausi rezultatai gauti senosios baterijos panaudojimas dar 1500 ciklų. Šis pranašumas atsirado kadangi buvo sutaupyta išteklių kuriant naująją bateriją.

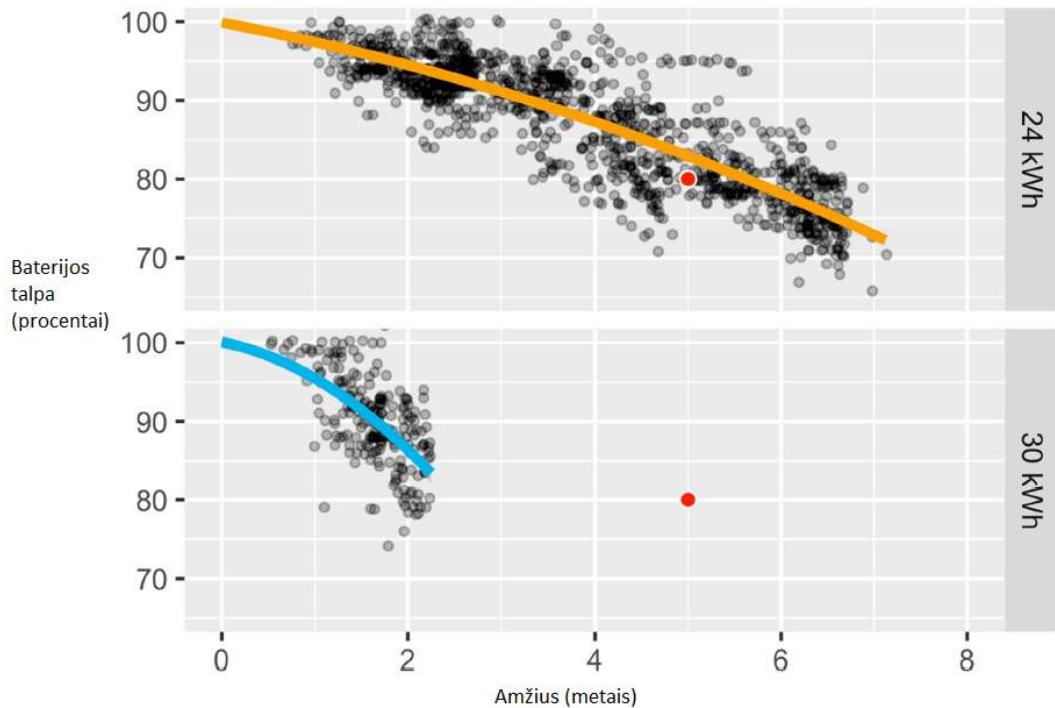
1.6.3 Pagreitėjęs akumulatoriaus talpos praradimas naudojant „Nissan Leaf“ 30 kWh

Šiame moksliniame tyrime mokslininkai iš Naujosios Zelandijos analizavo „Nissan Leaf“ 30 kWh greitesnį baterijos talpos mažėjimą per pirmuosius 2 metus. Iš tirtų 283 šių modelių pagamintų tarp 2011 m – 2017 m pastebėta, kad vidutiniškai per metus baterijos talpa sumažėja 9,9%, kas yra tris kartus daugiau nei „Nissan Leaf“ su 24 kWh baterijomis (3,1% per metus). Baterijos talpos mažėjimas buvo pastebėtas ypač karštuose Amerikos regionuose. Kadangi Naujoje Zelandijoje daugumą įsigyjamų elektromobilių yra naudoti įvežtiniai „Nissan Leaf“ iš Japonijos ir Jungtinės Karalystės, o baterijų keitimo ar restauravimo technologija dar yra neišvystyta reikia rasti būdą kaip potencialius būsimus elektromobilių vartotojus neatbaidyti dėl galimos baterijos talpos mažėjimo bėdos.

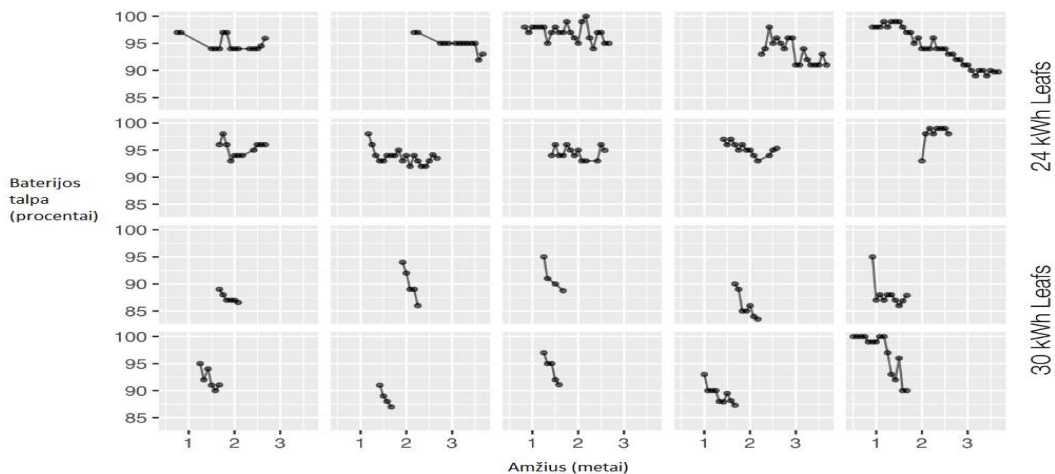
Tam, kad išspręsti šią bėdą buvo sukurtas mokslinis projektas „Flip Fleet“, kuriame dalyvauja elektromobilių savininkai ir kas mėnesį pateikia duomenis apie nuvažiuotą atstumą, vidutinį greitį ir dalis dalyvių pateikia detalesnius duomenis ištrauktus „LeafSpy“ programos dėka. Pasitelkus šiuos duomenis bus ištirta galimi veiksniai susiję su baterijos talpos mažėjimo tempais.

Atliktame tyrime buvo paimta 201 elektromobilis „Nissan Leaf“ su 24 kWh integruota baterija ir 82 su 30 kWh baterija. Pagal gautus baterijos talpos mažėjimo rezultatus pavaizduotus 1.20 pav. ir 1.21 pav. matome, kad „Nissan Leaf“ su 30 kWh jėgaine baterijos talpa sparčiau mažėja.

Apklaustus tyrimo dalyvius, jie nurodė, jog greičiausia talpa senka, kai naudojamas greitisis krovimas. Pagal atliktus tyrimus, numanoma, jog nuvažiavus 10 000km per 150 greitųjų krovimų baterijos talpa sumažės 0,9% daugiau nei kraunant nuolatine srove be greitų įkrovų.

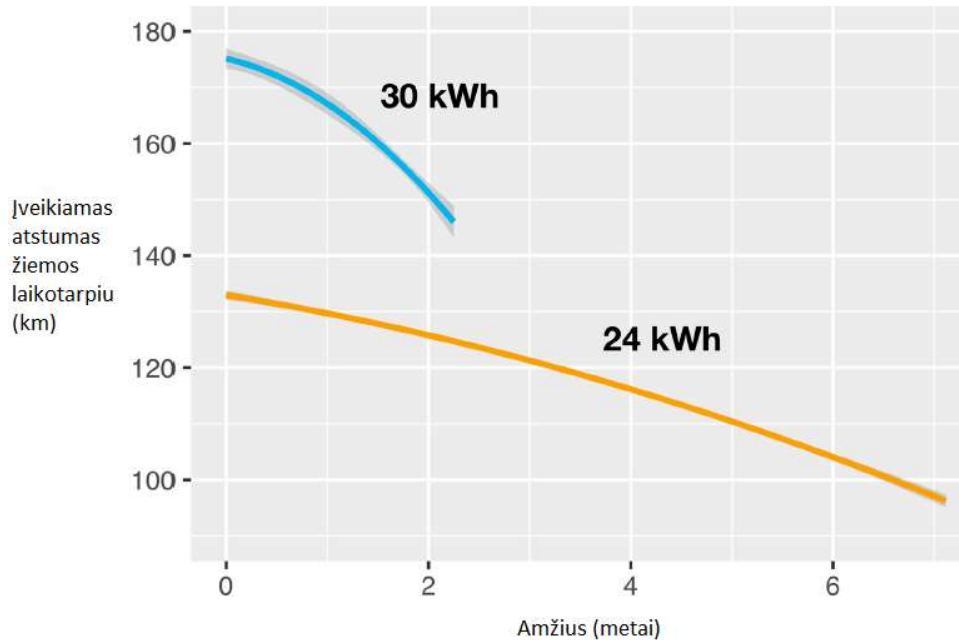


1.20 pav. Baterijos talpos kaita einant metams skirtinguose modeliuose [2]



1.21 pav. Baterijos talpos kaita einant metams skirtinguose modeliuose [2]

Taip pat buvo analizuojamas galimas įveikiamas atstumas žiemos laikotarpiu (1.22 pav.), kuriame taip pat pastebime 24 kWh baterijos pranašumą.



1.22 pav. Įveikiamas atstumas žiemos sezone ^[2]

Šio tyrimo metu nenustatyta dėl kokių tikslų priežasčių sparčiau mažėja 30 kWh baterijos talpa, bet surinkta informacija parodė, kad šiai baterijai yra žalinga aukšta eksploatavimo temperatūra. Taip pat manoma, kad prie spartesnio talpos mažėjimo prisidėjo pakeisti cheminiai elementai: iš ličio mangano oksido (LMO) 24 kWh baterijose į nikelio mangano kobalto (NMC) 30 kWh baterijose. Be to, 30 kWh baterijos dažniau kraunamos greitojo krovimo būdu dėl to gali būti dažniau įkaitinamos baterijos ir dėl to mažėja baterijų talpa.


Šio mokslinio tyrimo tyrėjai rekomenduoja rinktis ekonomiškesnį senesnę akumuliatorių 24 kWh talpos, kol nesurastas 30 kWh baterijos patobulinimas, o norint išlaikyti būsimų elektromobilių vartotojų susidomėjimą elektromobiliais reikia sparčiai tobulinti šią technologiją ir išlaikyti baterijos talpą nekintančią arba mažai kintančią kuo ilgiau.

2 EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR METODIKA

Ekspimentinio tyrimo tikslas – ištirti, kaip kombinuotos komforto zonos gerinimo sistemos veikia skirtingų kartų ličio jono akumulatoriaus baterijų iškrovą eksploatuojant. Tyrimui atlikti reikia surinkti kuo daugiau duomenų, kurie leis atlikti gautų duomenų analizę. Tam įgyvendinti buvo pasitelkta duomenų prietaisai, kurie geba fiksuoti tam tikrus parametrus, kurių elektromobilio borto kompiuteris ar kiti prietaisai neparodo. Taip pat sudarytas toks maršrutas, kurio dėka gauti duomenys yra realių eksploatavimo ir eismo sąlygų, kad gauti rezultatai būtų kuo natūralesni.

2.1 Tyrimo objektas

Bandymo metu buvo pasirinkta 1 – osios ir 2 – osios kartos „Nissan Leaf“ elektromobilio ličio jonų akumulatoriaus baterijos (Li – ion). Šių baterijų pagrindinės charakteristikos yra pateikiamos 2.1 paveiksle.

	Nominali įtampa, V	397/ 360
	Nominalus talpumas, kWh	30/ 40
	Baterijos celių sk.	96 / 192
	Baterijos celių išdėstymas	(4-4-2-2)x2 +24/ (8 – 8 – 4 – 4)x4 +48x2
	Gabaritiniai matmenys	1547 x 1188 x 264
	Masė, kg	275.0/ 303.0
	Sukuriamą galia, kW	>80/ 110

2.1 pav. Pirmosios / Antrosios kartos baterijų charakteristika

Šios baterijos šiuo metu vienos populiariausių ir labiausiai naudojamų, todėl jos ir buvo pasirinktos tirti sudarant kuo natūralesnes eksploatavimo sąlygas.

Bandymui pasirinktas baterijas galima rasti daugumoje šių laikų elektromobilių, o pasirinktas tyrimui buvo vienas populiariausių elektromobilių „Nissan Leaf“. Šio elektromobilio pagrindinės charakteristikos pateikiamos 2.2 pav.

	Variklis	Varomas visiškai elektra
	Maksimalus sukimo momentas, Nm	254 [3008-10000 rpm]/ 320 [3283 – 9795]
	Varantieji ratai	Priekiniai
	Maksimalus greitis, km/h	144 / 144
	Pagreitėjimas iki 100 km/h, s	11.5 / 7.9
	Automobilio masė, kg	1570 / 1591
	Gabaritiniai matmenys, mm	4445 – 1770 – 1550 [bazė 2700]/ 4481 - 1791 -1560
	Vidutinės sąnaudos 100 km, kWh	12 / 14kwh

2.2 pav. Tiriamųjų elektromobilių techninės charakteristikos

2.2 Tyrimų eiga ir sąlygos

Eksperimentinis ličių jonų baterijų veikimas, įkrovimo ir iškrovimo įtaka eksploatuojant elektromobilį, atliekama analizė elektromobiliui eksploatuojant normaliomis eismo sąlygomis, prieš tyrimą akumuliatorių įkrovus greitojo krovimo stotelėje.

Tyrimai atliekami esant sekančiomis sąlygomis:

- Įprastas elektromobilių įkrovimas: prie (pirmajam elektromobiliui 30 kWh (10 ± 2)° C ir antrajam 40 kWh (5 ± 2)° C) temperatūros, akumuliatoriai pakraunami naudojant greitojo įkrovimo 50 kW galios stotelę iki akumuliatoriaus įkrovos įtampos ribos;
- Prijungus prie elektromobilio kompiuterinės diagnostikos prietaisus, stebimi gauti rezultatai susiję su valdymo ir akumuliatoriaus valdymo moduliais bei atliekama analizė su keliomis kompiuterinės diagnostikos suderintomis programinėmis sistemomis;
- Tiriamųjų elektromobilių varomasias jėgaines visų eksperimentinių bandymų metu buvo stengiamasi apkrauti vienodai – siekiama išlaikyti vienodą 50 – 60 km/h važiavimo greitį, atsižvelgiant į eismo sąlygas.
- Visi bandomieji važiavimai su nevienodų baterijos apkrovų režimais kartojami kelis kartus su skirtingais elektromobiliais vienodomis sąlygomis ir iš gautų rezultatų išvedamas aritmetinis vidurkis ir užfiksuojami galutiniai duomenys.

2.3 Tyrimų įrenginiai ir priemonės

Elektromobiliai nors ir nuolatos tobulėja ir turi daugybę įvairių elektrinių valdymo blokų, kurie fiksuoja daugybę duomenų ir siunčia juos į pagrindinį valdymo bloką (ECM), kuris kontroliuoja visus kitus blokus, vis tiek visų duomenų vartotojams pamatyti neįmanoma. Pagrindinius duomenis

virtotojai mato borto kompiuterio pagalba. Tam, kad pamatyti daugiau išsamesnių duomenų pasitelkiame į pagalbą specialiąją įrangą, kuri yra naudojama automobilių gamintojų bei jų atstovų.

Panasonic Toughbook CF-19 su „Consult III Plus“ programinė įranga ir VIM

Tokio tipo programinė įranga naudojama tam, kad gautume tuos duomenis, kuriuos elektromobilio borto kompiuteris parodyti negali. Ši įranga pritaikyta Nissan bei Infiniti markės automobiliams ir ją naudoja visi šių markių gamintojų atstovai (2.3 pav.).

Diagnostinės įrangos dėka tyrimo metu gauti visi pagrindiniai ličio jonų akumuliatorių duomenys eksploatacijos metu bei įrašyti į standųjį diską.



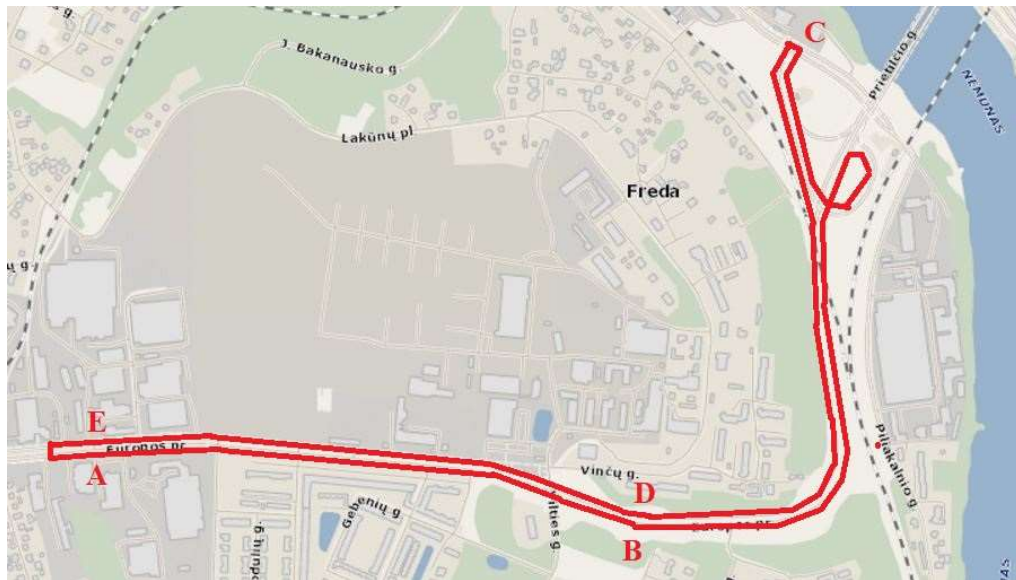
2.3 pav. Diagnostinė įranga su „Consult III Plus“ programine įranga [12]

Gauti duomenys bandymų metu sutvarkomi šioje programoje ir perkeliama į „MS Excel“ programą. Kiekvieno važiavimo metu gauti duomenys išsaugojami ir palyginami tarp skirtingų kartų ličio jonų akumuliatorių.

Maršrutas

Norint gauti realybę atitinkančius duomenis reikalingas geras maršrutas, todėl jo pasirinkimui buvo įdėta daug pastangų. Šis maršrutas patogus tuo, jog turi įkalnių bei nuokalnių, jame yra reguliuojamų sankryžų bei apsisukimo salelių. Taip pat maršruto atkarpoje yra ir tiriamųjų elektromobilių lokacija bei greitojo įkrovimo stotelė. Bandymų atlikimo laikas taip pat svarbus norint gauti realius rezultatus, lauko temperatūra turi būti ne per daug vėsi ir ne per daug šilta, kad elektromobilių baterijas galima būtų nagrinėti tiek joms pilnai neįšilus tiek pasiekus darbinę temperatūrą. Eismo sąlygos pasirinktos, kad nebūtų labai didelio automobilių srauto, jog didžiąją bandymo dalį nereiktų praleisti kamščiuose, bet kad ir nebūtų tuščias kelias, tam jog gauti rezultatai atspindėtų kasdienį elektromobilio eksploatavimą.

Sudarytą maršrutą ir jame išskirtas atkarpas galime matyti 2.4 paveiksle.



2.4 pav. Tyrimui pasirinktas maršrutas Kauno mieste

Sužymėtos atkarpos:

- A – B ir D – E: šios atkarpos pasižymi intensyviu eismu ir tolygiu keliu. Taip šiose atkarpose yra nereguliuojamų pėsčiųjų perėjų bei šviesoforas. Ši atkarpa esant palankiam eismui gali atspindėti tolygaus važiavimo rezultatus pastoviu greičiu naudojant kruizo kontrolės sistemą.
- B – C: ši atkarpa beveik visą atstumą yra nuokalnėje ir iš to galima stebėti elektromobilių minimalias energijos sąnaudas naudojantis kruizo kontrolės pagalba ar net išgauti kai kuriais atvejais regeneraciją.
- C – D: atkarpa driekiasi įkalnėn ir taip stebimas elektromobilių suvartojamos energijos didėjimas.

Šioje atkarpoje C-D įkalnės statumas sudaro 2.8° , o B-C atkarpoje nuokalnė siekia 3.0° statumą, viso šios atkarpos sudaro maždaug po vieną kilometrą ilgio tiek leidžiantis ir tiek kylant, o viso maršruto ilgis siekia apie 5,3 kilometrus.

Šio maršruto dėka atlikus tyrimą ir gavus rezultatus bus galima matyti, kokią įtaką daro ličio jonų akumuliatoriams eksploatacinės sąlygos bei sulygtinti kaip skirtingai veikia skirtingų kartų akumuliatorius. Taip pat pagal gautus duomenis bus galima matyti kokią įtaką įkrovai ar iškrovai turi stabdžių regeneracijos sistema bei jos veikimas.

3 EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ

Eksperimentinių bandymų metu veikiant skirtingiems eksploataciniams veiksniams nustatytos šios pagrindinės charakteristikos:

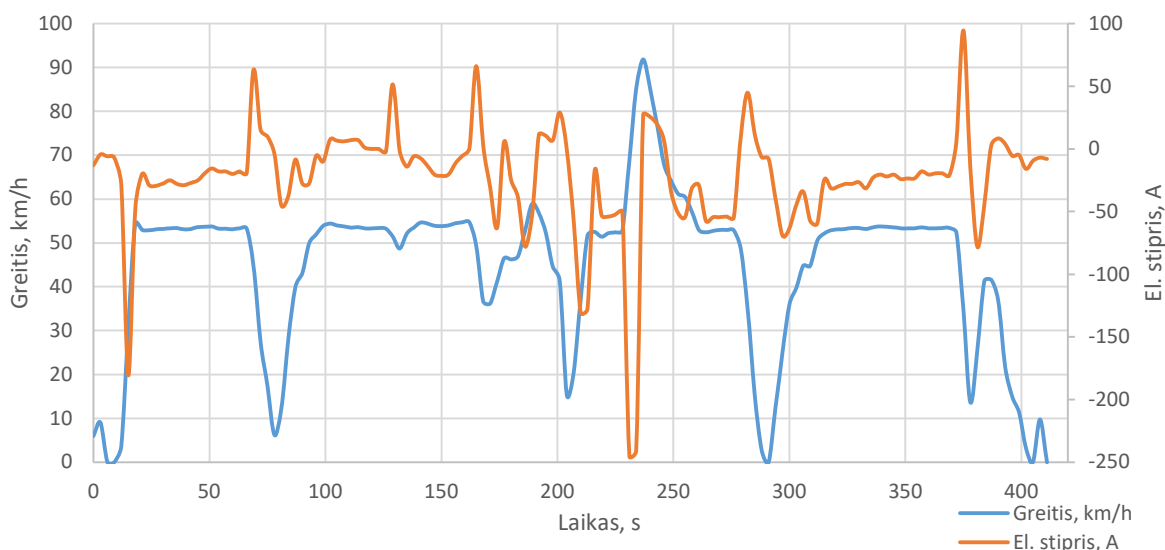
- Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo greičio;
- Baterijos celių įkrovos kitimas;
- Baterijos įkrovos lygis nuo baterijų darbinės temperatūros.

3.1 Eksperimento metu gauti rezultatai

Eksperimento metu gauti rezultatai buvo išgavinėjami naudojant skirtingas komforto zonos gerinimo sistemų variacijas bei eksploatuojant kuo įvairesnėmis eismo sąlygomis siekiant nustatyti kokią įtaką daro šie eksploatacijos ir skirtingų sistemų junginiai ličio jonų baterijoms. Charakteristikoms apskaičiuoti naudojama darbinė baterijų temperatūra, elektromobilių greičiai, celių įkrovų lygiai, bei kiti parametrai. Visi gauti duomenys apdirbami ir perkeltami MS Office programą, kurios pagalba pavaizduojami ir lyginami grafikų bei diagramų pavidalu.

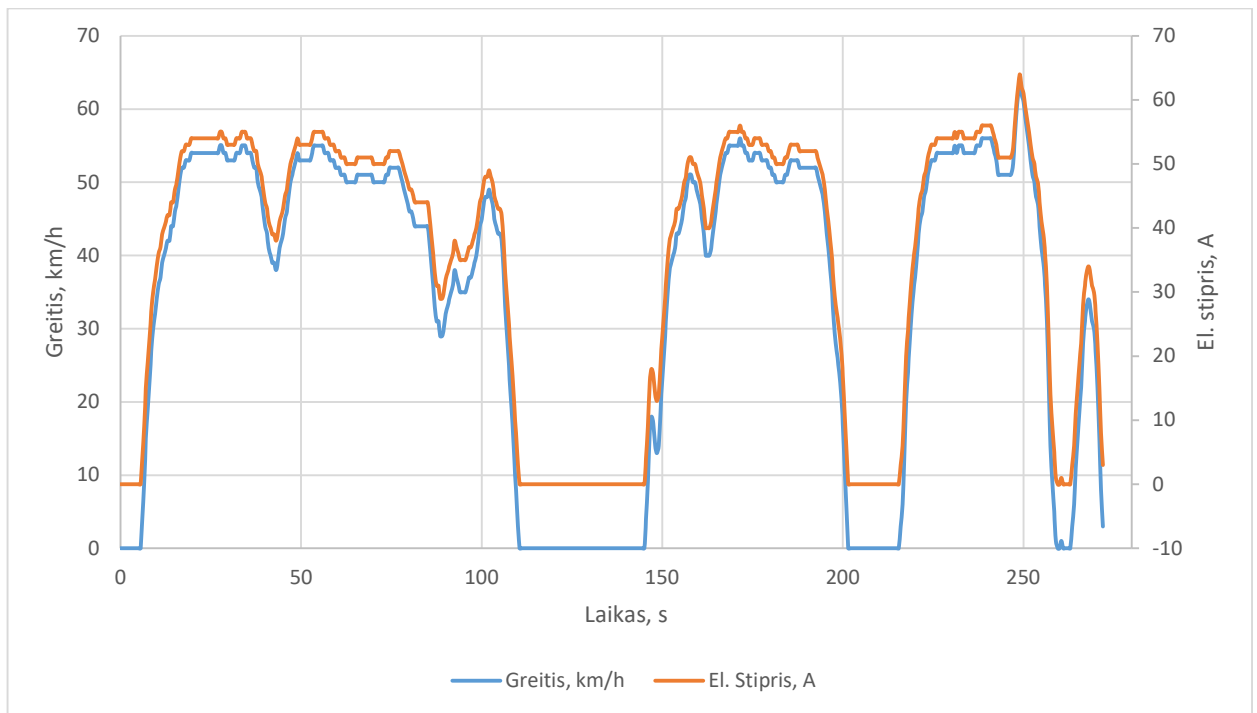
3.1.1 Įjungtas kondicionierius ir radijas

Šis bandymas buvo atliekamas įjungus pagrindinį komforto zonos gerinimo prietaisą šiltuoju metų laiku – kondicionierių bei turbūt dažniausiai naudojamą prietaisą - radiją. Abiejų automobilių rezultatai pateikiami 3.1 ir 3.2 paveiksluose.



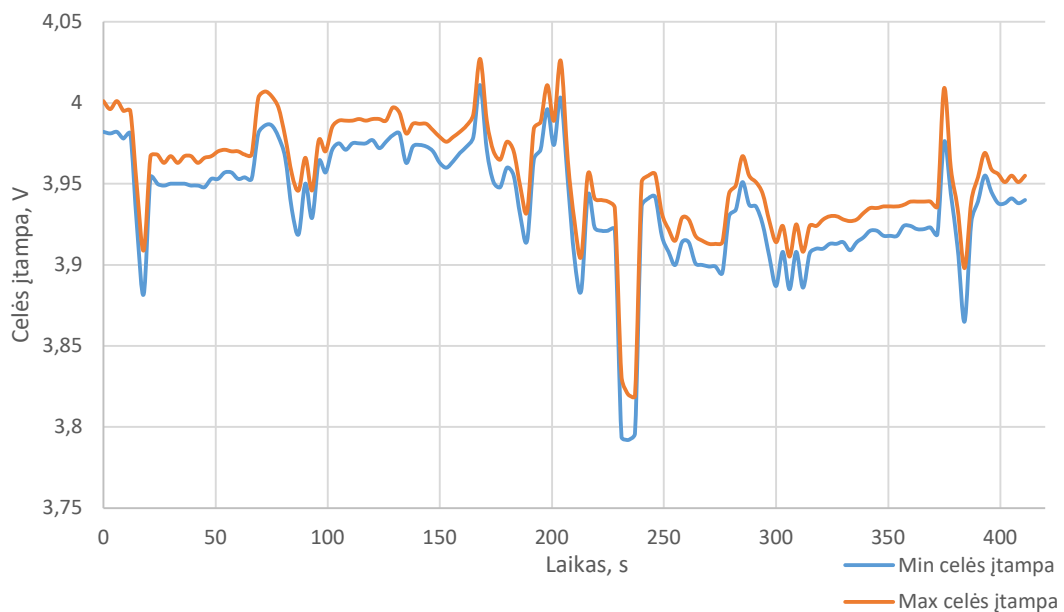
3.1 pav. 30kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Bandymo metu buvo atliktas pristabdymas transporto eisme bei sustojimas prie reguliuojamos sankryžos. Transporto priemonei greitėjant nuo 0 iki 55 km/h gauti duomenys, jog iškrovimo stipris siekia 180,5A, o automobiliui lėtėjant nuo 54 iki 0km/h sugeneruojama el. stiprio 45 A įtampa. Didesnę reikšmę gauname automobilį tik pristabdžius, o ne visiškai sustabdant – 94.5A.



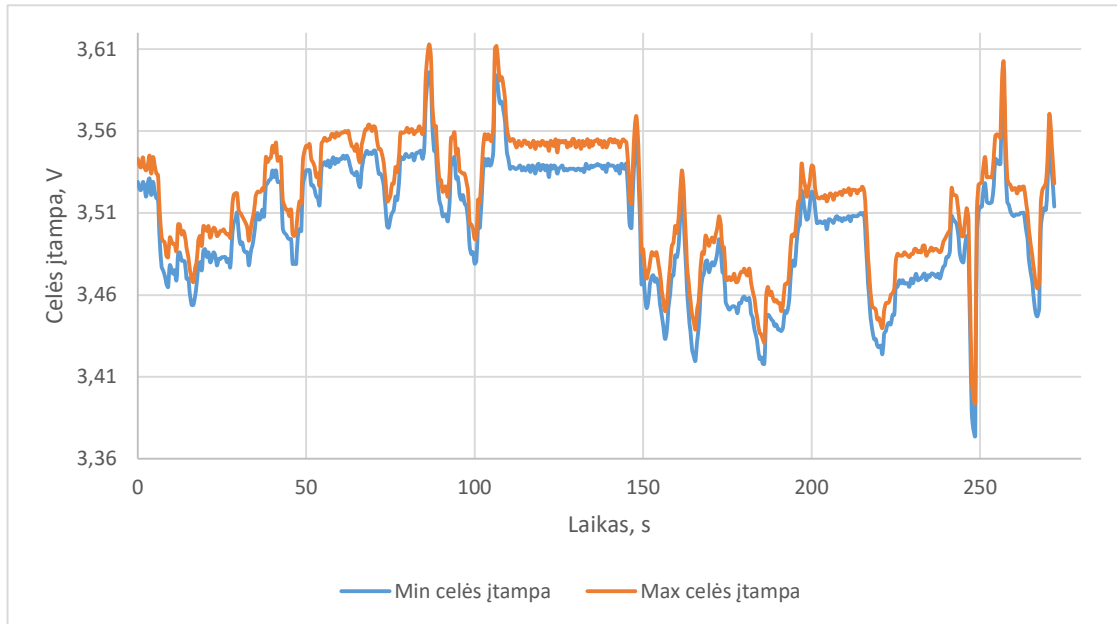
3.2 pav. 40 kWh Baterijos iškvos ir įkvos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Bandymo metu su 40kWh automobilis pilnai sustojęs tris kartus – du kartus prie reguliuojamų sankryžų ir kartą prie apsisukimo salelės. Transporto priemonei greitėjant nuo 0 iki 55 km/h buvo gautas 54A reikšmės el. stipris, o įkvos el. stipris neužfiksuotas kadangi dėl baterijos pilno įkrovimo automobilio kompiuterinė dalis įkrauti akumuliatoriaus neleidžia, kad nepažeisti ar neperkaitinti baterijos.



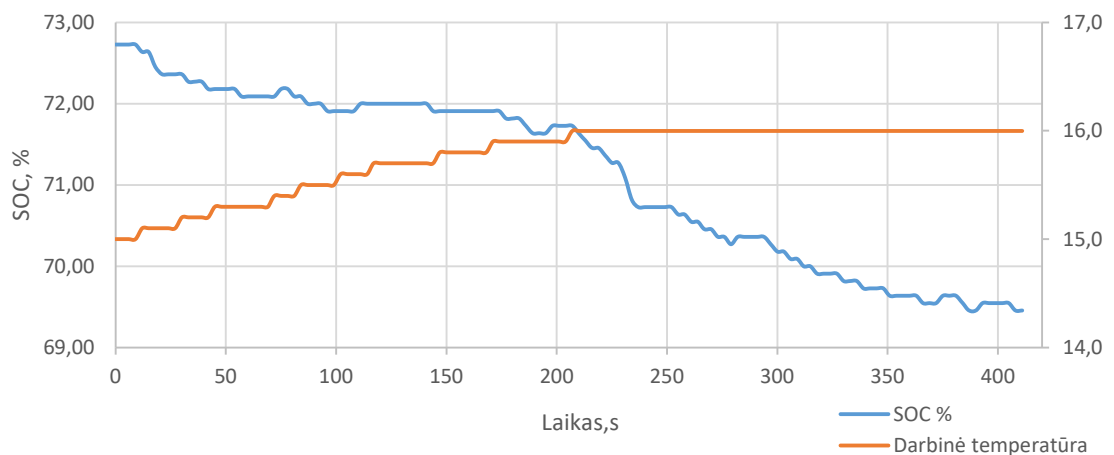
3.3 pav. 30kWh Baterijos celių įkvos kitimas

Eksplloatuojant elektromobilį skirtingomis eismo sąlygomis skirtingai keičiasi ir baterijos iškrova, į šią sąlygą reaguoja ir baterijos celės. Bandymo metu minimali celės įtampa svyravo nuo 3,79 V iki 3,82 V, šie rodmenys gauti automobiliui leidžiantis nuo kalno ir suveikus reagentracinei sistemai. Maksimali įtampa svyravo nuo 4,01 V iki 4,03 V. Važiuojant pastoviu greičiu įtampa svyravo nuo 3,98 V iki 3,99 V. Visus gautus rezultatus matome 3.3 paveiksle.



3.4 pav. 40kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

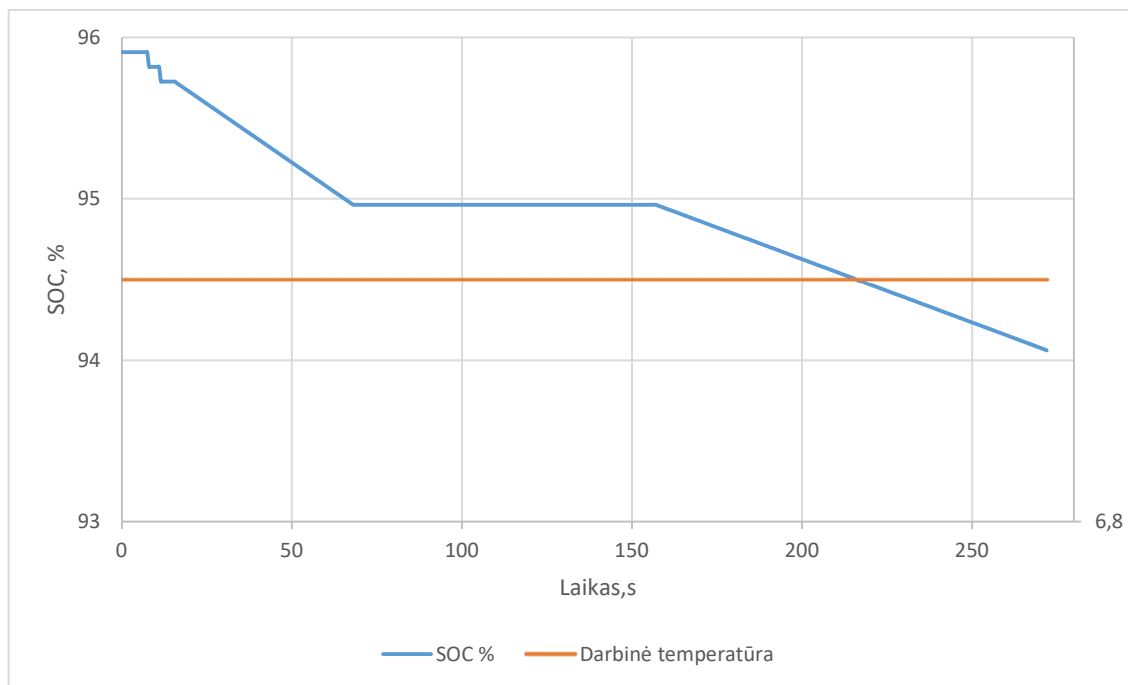
40kWh talpos baterijos tyrimo metu gauti rezultatai šiek tiek skiriasi nuo 30kWh talpos baterijos. Iš 3.4 pav. matome, jog maksimali gauta įtampa bandymo metu siekia nuo 3,59 V iki 3,61, o minimali stabdant automobilį nuo 3,37 V iki 3,39 V. Važiuojant pastoviu greičiu gautos tokios reikšmės – nuo 3,54 V iki 3,55 V.



3.5 pav. 30 kWh. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijų darbinės temperatūros

Tyrimo pradžioje su 30 kWh baterija temperatūra užfiksuota 15 °C ir pamažu tyrimui įpusėjus pasiekia darbinę 16 °C temperatūrą, kurią numato gamintojas, kaip pačią efektyviausią.

Baterijos įkrovos lygis nuo tyrimo pradžios beveik 73% iki tyrimo pabaigos nukrenta iki 69,5% (3.5 pav.).



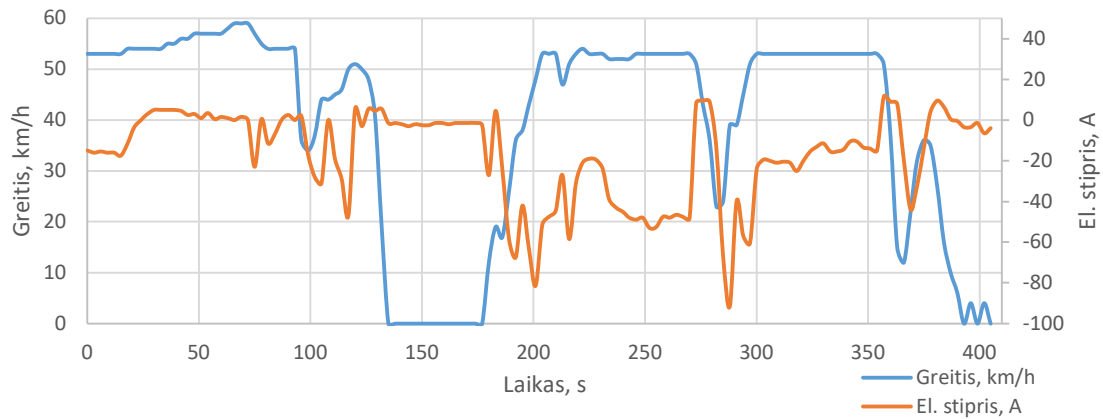
3.6 pav. 40 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijų darbinės temperatūros

Tyrimo pradžioje su 40 kWh baterija pastebime, jog įkrovos lygis siekia beveik 96% , tai reiškia, jog baterija yra beveik pilnai pakrauta, todėl regeneracinės sistemos suveikimas yra neįmanomas. Tyrimo pabaigoje įkrovos lygis sumažėja iki 94% (3.6 pav.).

3.1.2 Įjungtas kondicionierius ir šildomos sėdynės

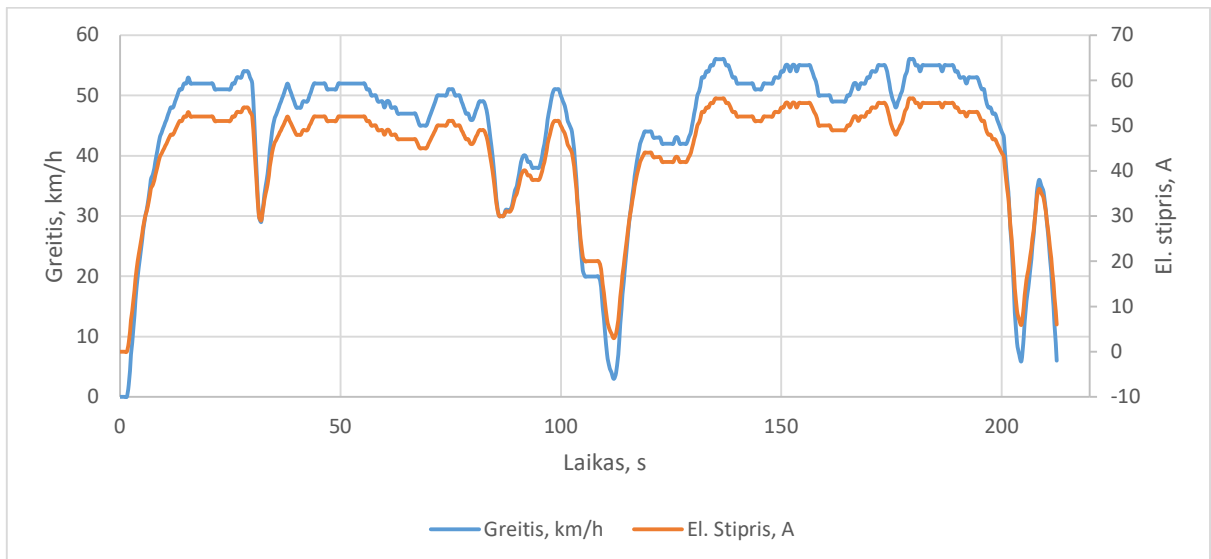
Visi vairuotojai nori, kad jų kelionės būtų kuo komfortiškesnės ir malonesnės – tam, kad tai būtų įgyvendinta dauguma automobilių gamintojų automobiliuose įrengia šias sistemas – kondicionierius bei šildomas sėdynes. Kiekvienas vairuotojas šaltą rytą arba viso šaltojo sezono metu šildo automobilio saloną naudodamas kondicionierių ar naudoja šildomų sėdynių sistemą, kad būtų maloniau sėdėti išalusiame automobilyje. Norint nustatyti daromą įtaką elektromobilio baterijos iškrovimui naudojant šiuos du prietaisus, atliekamas eksperimentinis važiavimas. Gauti tyrimo rezultatai pateikiami paveiksluose.

Atliekant eksperimentą su 30 kWh baterija buvo priverstinis sustojimas prie reguliuojamos sankryžos, kurio metu pastebėjome, jog įjungtų sistemų suvartojimas elektros energijos kiekis yra tik 3 A, o elektromobiliui pajudėjus ir greitėjant iki 53 km/h iškrova didėja iki 91,5 A. Elektromobiliui lėtėjant sugeneruojama energija pasiekė iki 9 A ribą. Daugiau rezultatų matome 3.7 paveiksle.



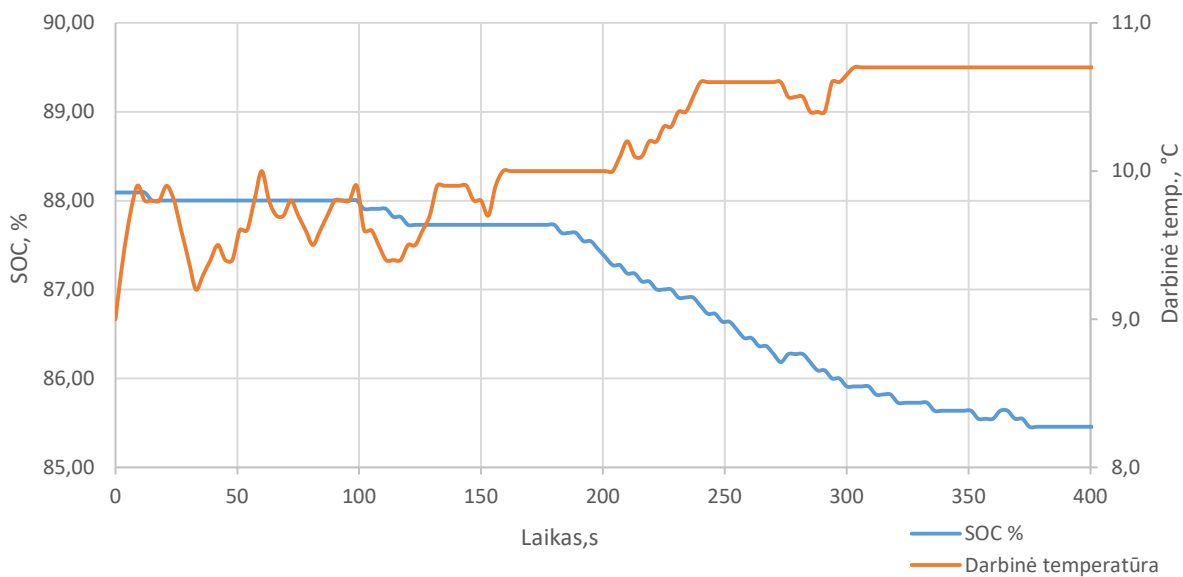
3.7 pav. 30 kWh Baterijos iškvros ir įkvros priklausomybė nuo važiavimo greičio

40 kWh baterija bandymo metu pasiekė maksimaliai 55 A iškvros ribą prie 55km/h greičio. Šio važiavimo metu nebuvo automobilis pilnai sustabdytas tik pristabdytas iki 3km/h greičio ir šio stabdymo metu gautas mažiausias iškvros stipris lygus 3 A. Baterijos įkvros duomenų gauti nepavyko kadangi baterija bandymų metu buvo pilnai įkrauta ir kad baterija nebūtų sugadinta elektromobilio - valdymo kompiuteriai neleido baterijos krauti. Eksperimento metu gauti duomenys pateikti 3.8 paveiksle.



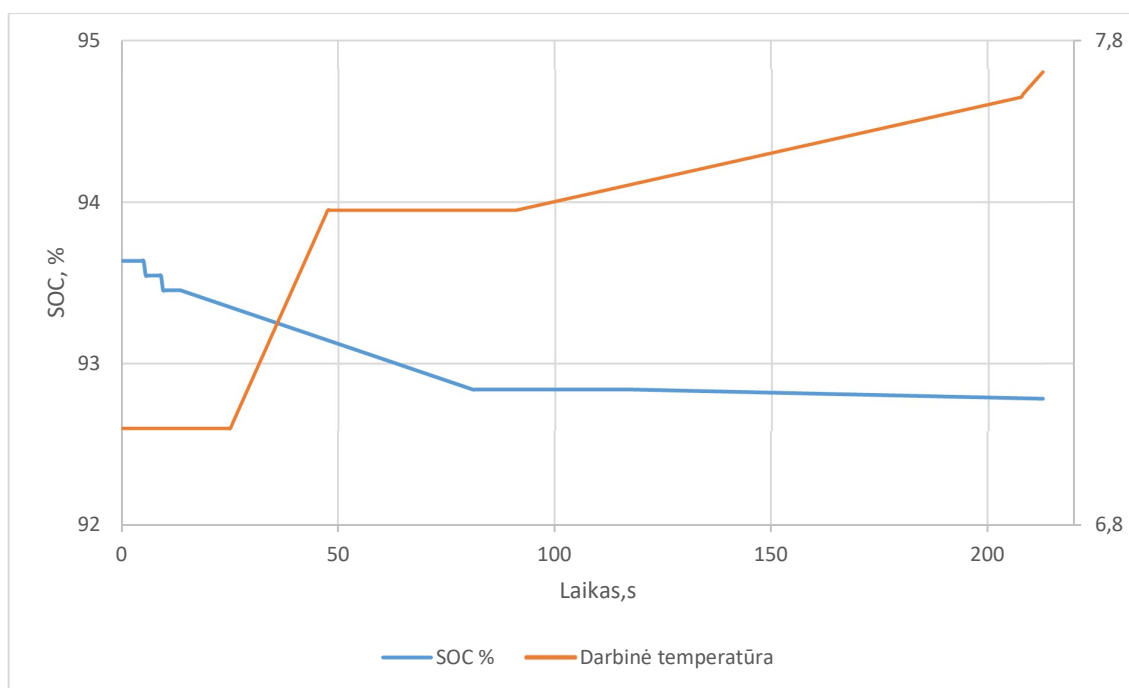
3.8 pav. 40kWh Baterijos iškvros ir įkvros priklausomybė nuo važiavimo greičio

Palyginę šiuos du akumulatorius galima pastebėti, jog su 30 kWh baterija maksimaliai buvo pasiekta 91,5 A iškvros, o su 40 kWh baterija tik 55 A iškvros – tai yra maždaug 40% mažiau nei su 30 kWh baterija.



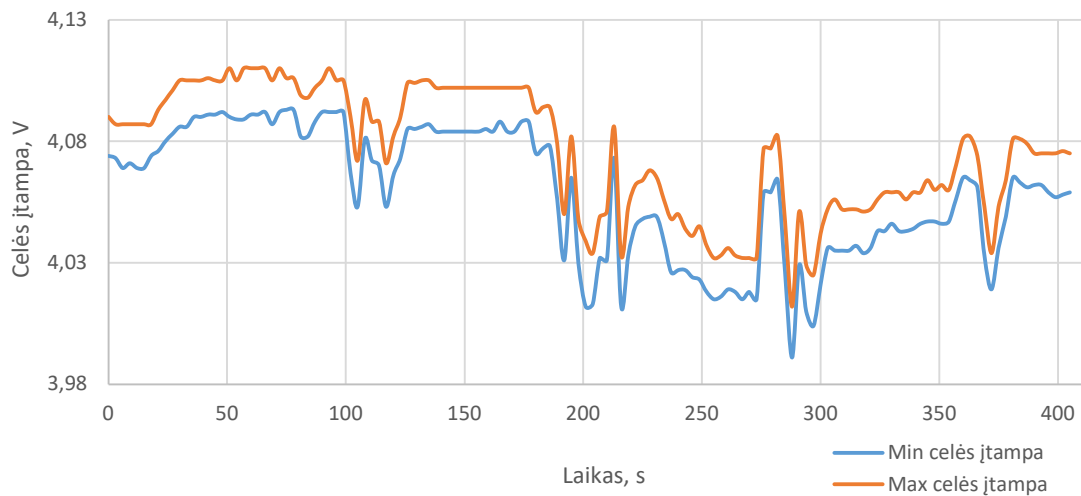
3.9 pav. 30 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Pradžioje eksperimento metu darbinė temperatūra buvo apie 9 °C, o į eksperimento pabaigą pakilo iki 11 °C. Tuo tarpu baterijos įkrovos lygis bandymo metu sumažėjo beveik 2,5% (3.9 pav.).



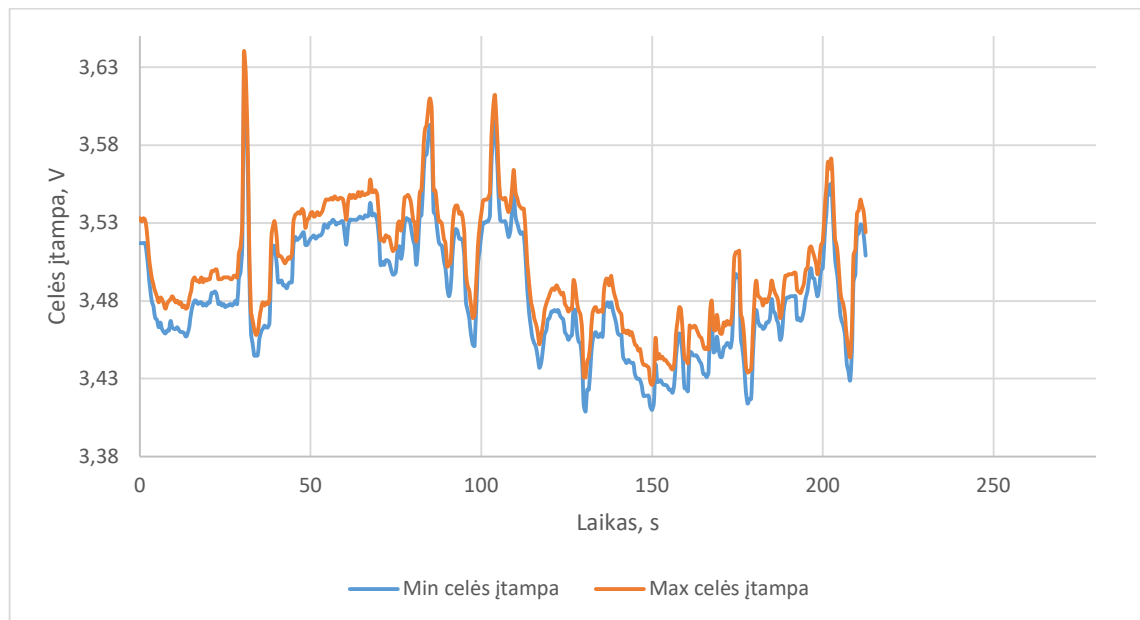
3.10 pav. 40 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Pradžioje bandymo su 40 kWh akumuliatoriumi darbinė temperatūra buvo lygi 7 °C, o bandymo pabaigoje pakilo iki 8 °C. Įkrovos lygis nukrito maždaug per 1% (3.10 pav.).



3.11 pav. 30 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

Šio bandymo metu minimali celių įtampa buvo nuo 3,99 V iki 4,01 V, o maksimali nuo 4,09 V iki 4,11 V. Važiuojant pastoviu greičiu įtampa buvo nuo 4,08 V iki 4,10 V (3.11 pav.).



3.12 pav. 40 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

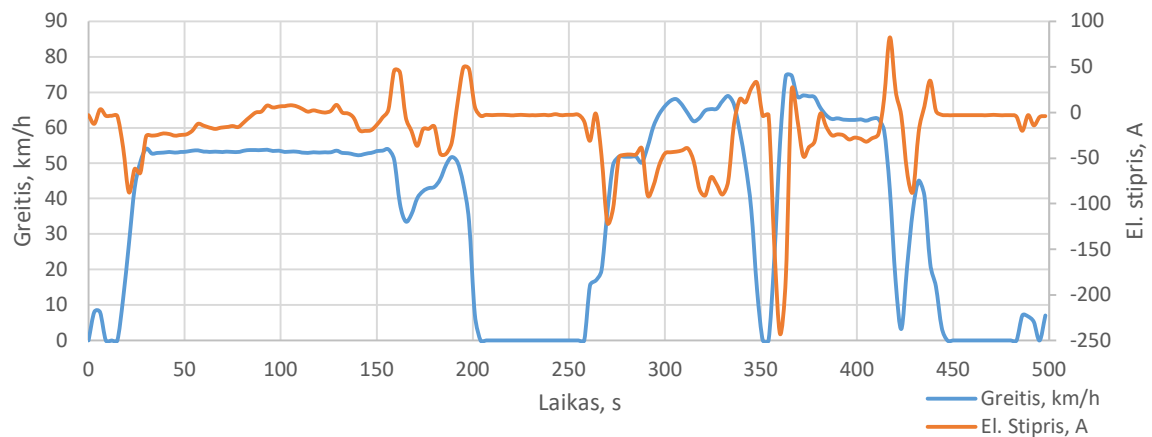
Su 40 kWh akumuliatoriumi 3.12 paveiksle matome didesnę įtampos šokinėjimą, šio bandymo metu didžiausia įtampa pasiekta nuo maždaug 3,62 V iki 3,64 V, o mažiausia nuo 3,41 V iki 3,43 V. Elektromobilyje su 30 kWh akumuliatoriumi svyravimai vyko per 0,1 V, o elektromobilyje su 40 kWh akumuliatoriumi svyravimai vyko per 0,2 V – galima sakyti dvigubai, nors įtampa buvo ir mažesnė.

3.1.3 Įjungta radijas ir šildomos sėdynės

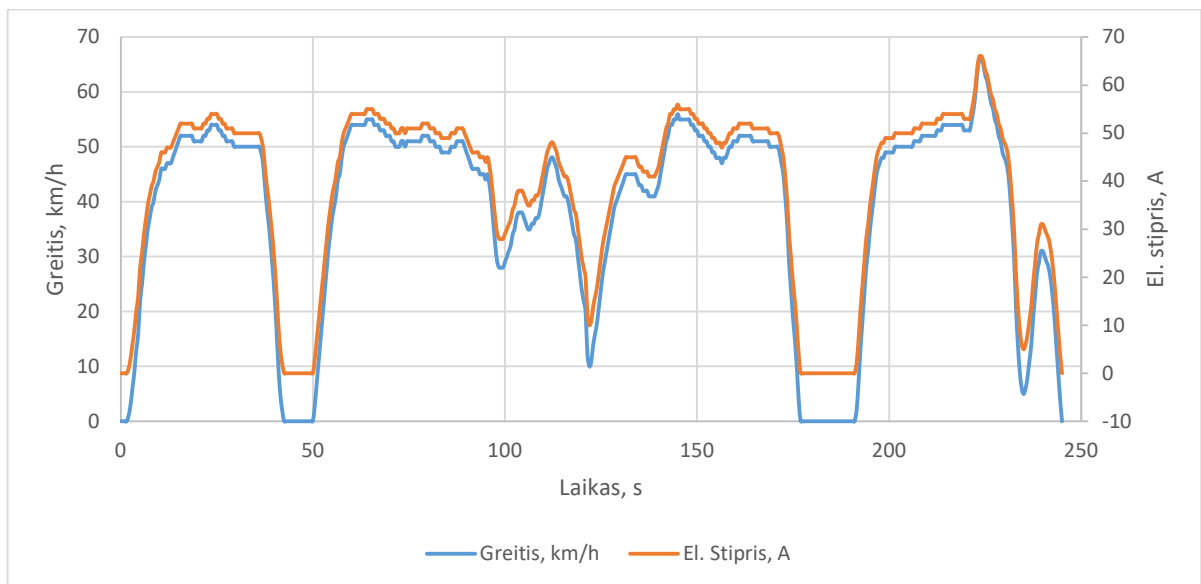
Visi vairuotojai nori, kad jų kelionės būtų kuo komfortiškesnės ir malonesnės – tam, kad tai būtų įgyvendinta dauguma automobilių gamintojų automobiliuose įrengia šias sistemas – kondicionierius bei šildomos sėdynės bei automagnetola, be kurios turbūt šiais laikais neapsieina nei

vienas vairuotojas ar keleivis. Kiekvienas vairuotojas ar keleivis šaltą rytą arba viso šaltojo sezono metu šildo automobilio saloną naudodamas kondicionierių ar naudoja šildomų sėdynių sistemą, kad būtų maloniau sėdėti įšalusiam automobilyje. Norint nustatyti daromą įtaką elektromobilio baterijos iškrovimui naudojant įjungtą automagnetolą ir šildomas sėdynes, atliekamas eksperimentinis važiavimas. Gauti tyrimo rezultatai pateikiami paveiksluose.

3.13 pav. galima pastebėti, jog šio bandymo metu buvo atlikti du sustojimai, pirmas prie reguliuojamos sankryžos, o antras bandymo gale. Sustojus ir varomajai jėgainei neveikiant išmatuota el. stiprio reikšmė yra 3 A, greitėjant nuo 0 km/h iki 53 km/h el. stiprio iškrova pasiekia 88 A riba, o lėtėjant nuo 52 km/h iki 0 el. stiprio įkrova siekia 48 A.



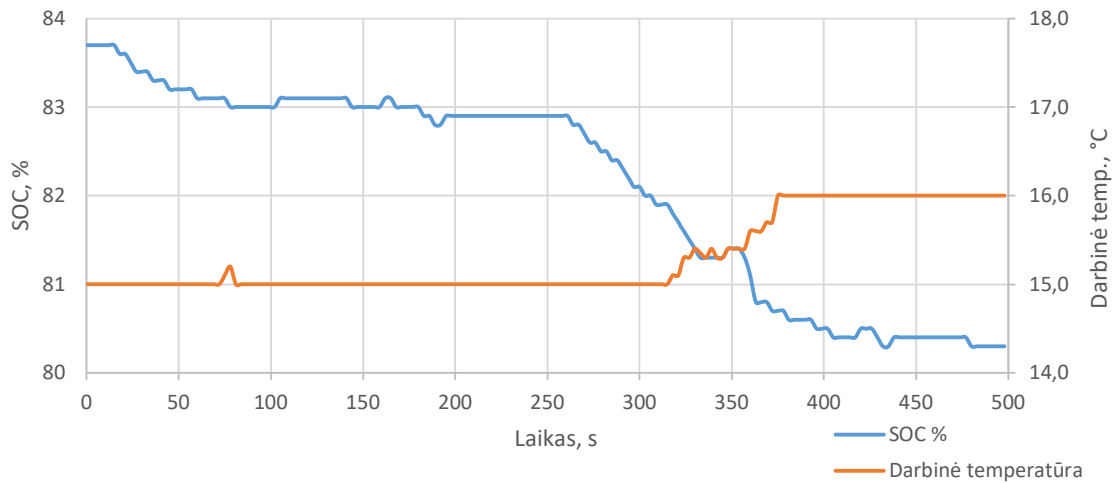
3.13 pav. 30 kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio



3.14 pav. 40kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

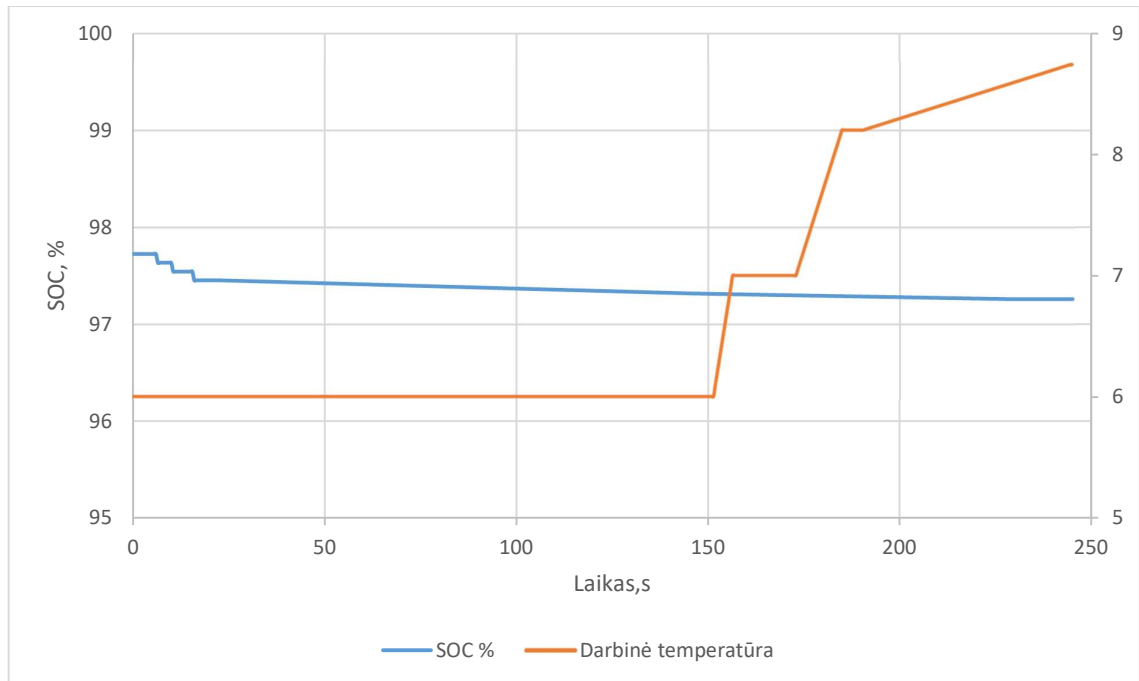
Šiame bandyme su 40 kWh baterija buvo du priverstiniai sustojimai prie reguliuojamos sankryžos ir neveikiant varomajai jėgainei matome, jog el. stipris yra lygus 0 A kadangi automobiliui stovint veikia 12 V akumulatorius, kuris aprūpina automobilį energija. Važiuojant 50 km/h greičiu

el. stipris išmatuotas 51 A. Taip pat galima 3.14 paveiksle pastebėti, kad greitėjant ar stabdant el. stipris reaguoja labai sinchroniškai su greičiu.



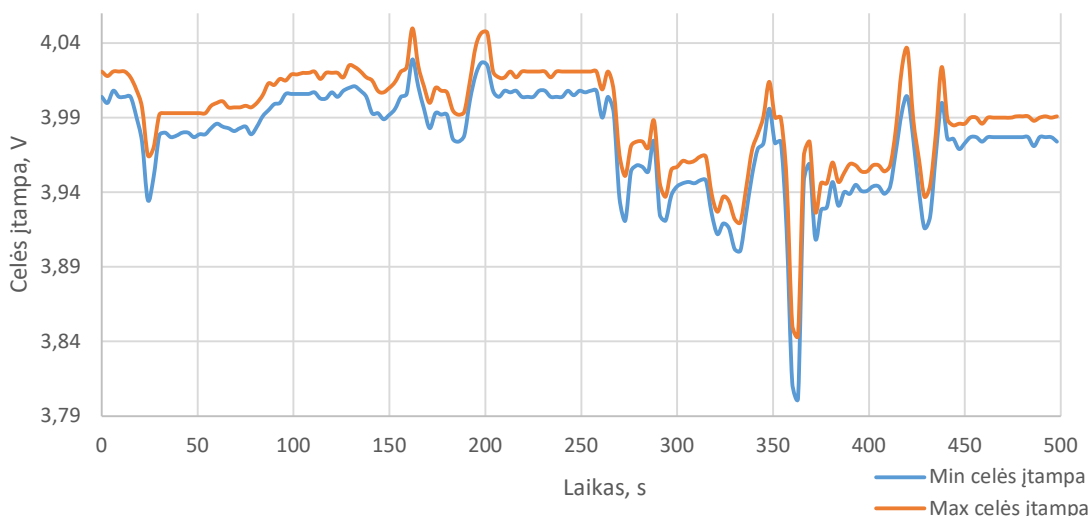
3.15 pav. 30 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Bandymo pradžioje darbinė baterijos temperatūra yra 15 °C ir bandymo pabaigoje pasiekia iki 16 °C. Baterijos įkrovos lygis bandymo metu sumažėja per 3,5% (3.15 pav.).



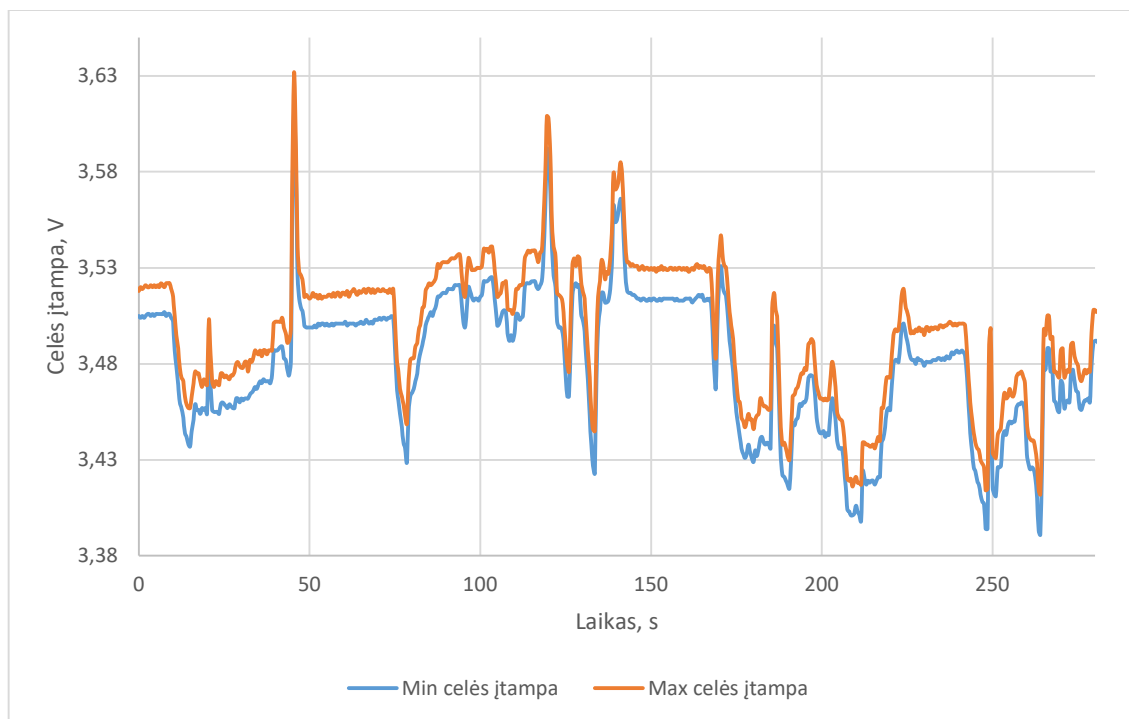
3.16 pav. 40 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Su 40 kWh baterija, eksperimento pradžioje baterijos temperatūra buvo 6 °C, o eksperimento pabaigoje temperatūra pakilo iki beveik 9 °C. Baterijos įkrovos lygis bandymo metu nukrito apie 0,5% (3.16 pav.).



3.17 pav. 30 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

Šio bandymo metu pastebime gan pastovų įtampos tiekimą celėse tik stabdymo metu įtampa svyravo nuo 3,8 V iki 3,84 V. Važiuojant pastoviu greičiu įtampa celėse svyruoja nuo 4,00 V iki 4,02 V (3.17 pav.).

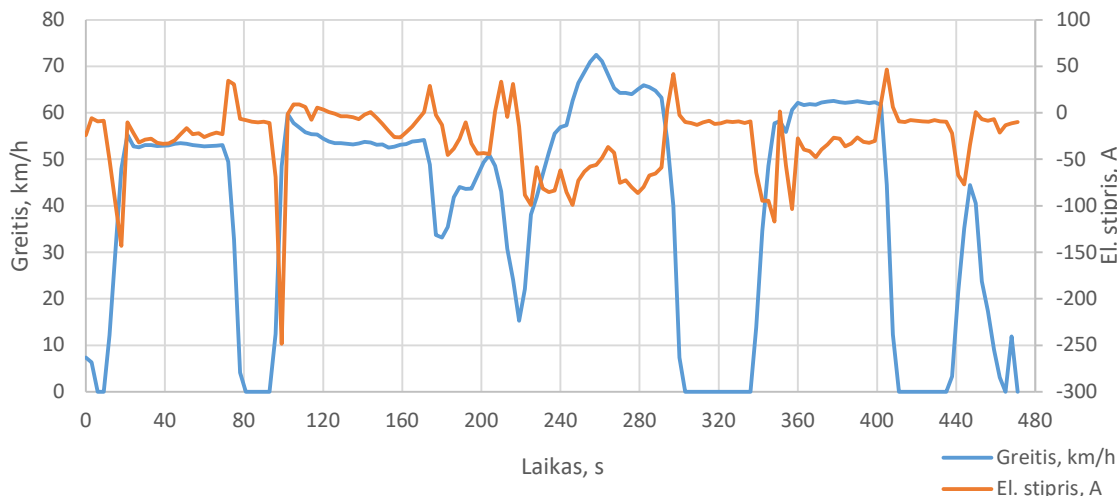


3.18 pav. 40 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

Kaip ir praeituose bandymuose 40 kWh baterijos celės įtampa yra labiau nepastovi nei 30 kWh, žemiausiame taške celės įtampa svyruoja tarp 3,39 V ir 3,41 V. Maksimali celės įtampa svyruoja nuo 3,61 V iki 3,63 V. Važiuojant pastoviu greičiu įtampa celėse svyruoja tarp 3,51 V ir 3,53 V (3.18 pav.).

3.1.4 Įjungtas kondicionierius, radijas ir šildomos sėdynės

Visi vairuotojai nori, kad jų kelionės būtų kuo komfortiškesnės ir malonesnės – tam, kad tai būtų įgyvendinta dauguma automobilių gamintojų automobiliuose įrengia šias sistemas – kondicionierius bei šildomos sėdynės bei automagnetola, be kurios turbūt šiais laikais neapsieina nei vienas vairuotojas ar keleivis. Kiekvienas vairuotojas ar keleivis šaltą rytą arba viso šaltojo sezono metu šildo automobilio saloną naudodamas kondicionierių ar naudoja šildomų sėdynių sistemą, kad būtų maloniau sėdėti įšalusiam automobilyje. Norint nustatyti daromą įtaką elektromobilio baterijos iškrovimui naudojant šiuos komforto zonos gerinimo prietaisus atliekamas eksperimentinis važiavimas. Gauti tyrimo rezultatai pateikiami paveiksluose.



3.19 pav. 30kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

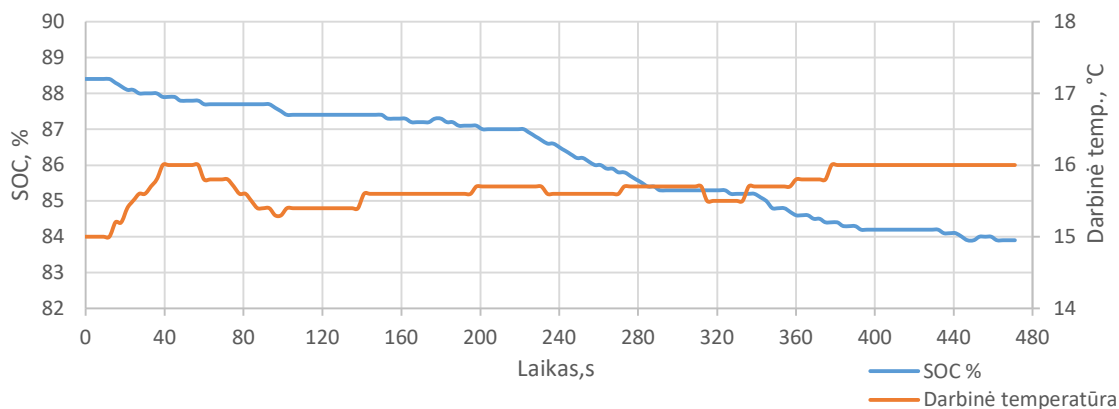
Bandymo metu buvo atlikti trys sustojimai prie reguliuojamų sankryžų, ilgiausiojo sustojimo metu, kai varomoji jėgainė nedirba, matomas 12A el. energijos kiekio suvartojimas. Važiuojant pastoviu 53 km/h greičiu el. energijos kiekio vartojimas svyruoja tarp 23A ir 25A. Elektromobilį staigiai stabdant sugeneruojama 46,5A el. energijos (3.19 pav.) .



3.20 pav. 40 kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

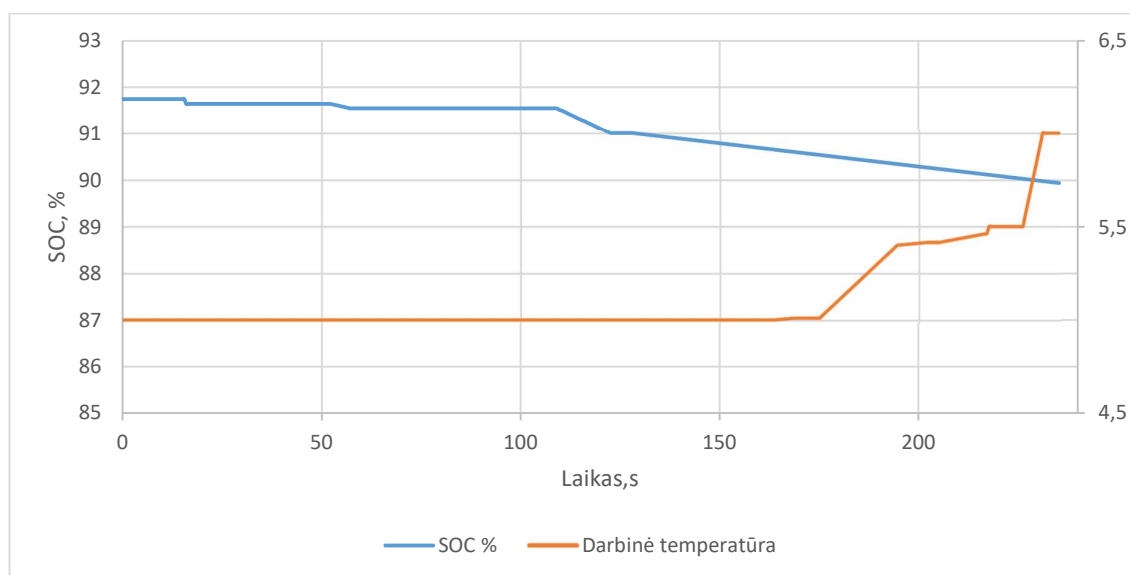
3.20 paveiksle matome bandymo su 40 kWh baterija, baterijos iškrovos tyrimo rezultatus ir pastebime, jog baterijos maksimalus el. energijos suvartojimas kiekis yra 57A. Elektromobiliui

sustojus el. energiją elektromobilis gauna iš 11 V akumulatoriaus, todėl varomajai jėginei nedirbant el. stiprio reikšmė lygi 0 A. Važiuojant pastoviu greičiu 55 km/h el. energijos suvartojimas siekia 53 A.



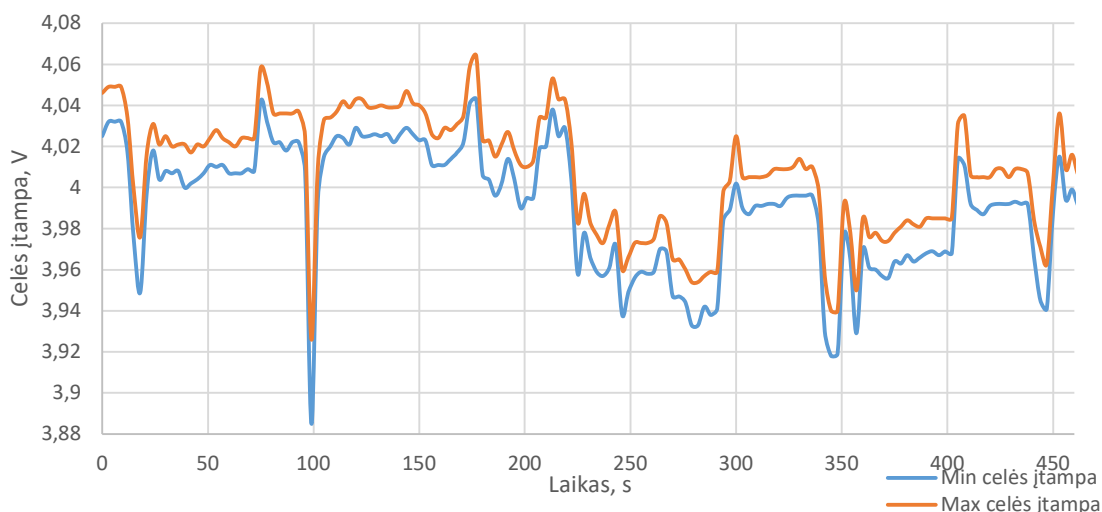
3.21 pav. 30 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Bandymo pradžioje baterijos įkrovos lygis siekė 88,4% (3.21 pav.), o bandymo pabaigoje nukrito iki 83,9%. Darbinė baterijos temperatūra tyrimo pradžioje siekia 15 °C ir į tyrimo pabaigą pasiekia tokią, kokią nurodo gamintojas – pilnai išilusią, darbinę temperatūrą - 16 °C.



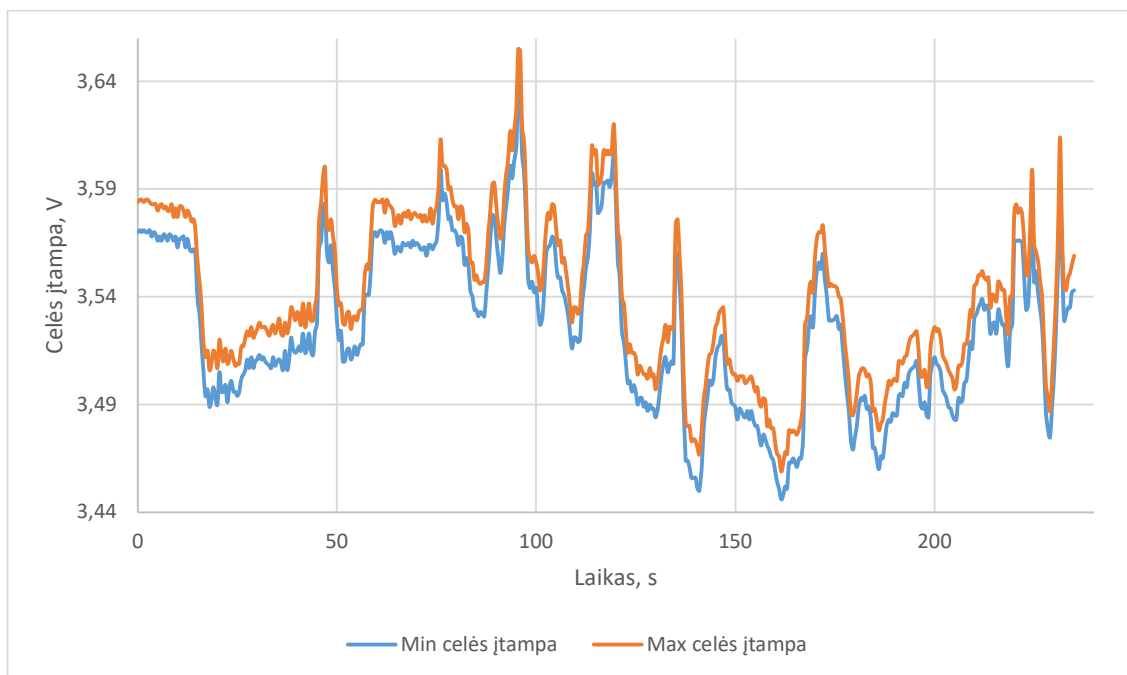
3.22 pav. 40 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Bandymo pradžioje su 40 kWh baterija baterijos įkrovos lygis siekė 91,75%, baterija pakrauta beveik pilnai, o bandymo pabaigoje nukrito iki 90 %. Temperatūra bandymo metu pakilo nuo 5 °C iki 6 °C (3.22 pav.).



3.23 pav. 30 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

Eksplloatuojant elektromobilį skirtingomis eismo ar kelio sąlygomis – skirtingi būna ir celės įtampos rodmenys. Su 30 kWh baterija maksimalūs užfiksuoti celės įtampos duomenys yra nuo 4,04 V iki 4,06 V. Važiuojant pastoviu greičiu užfiksuota įtampa celėse yra nuo 4,02 V iki 4,04 V, o mažiausia įtampa stabdant užfiksuota nuo 3,88 V iki 3,92V (3.23 pav.).

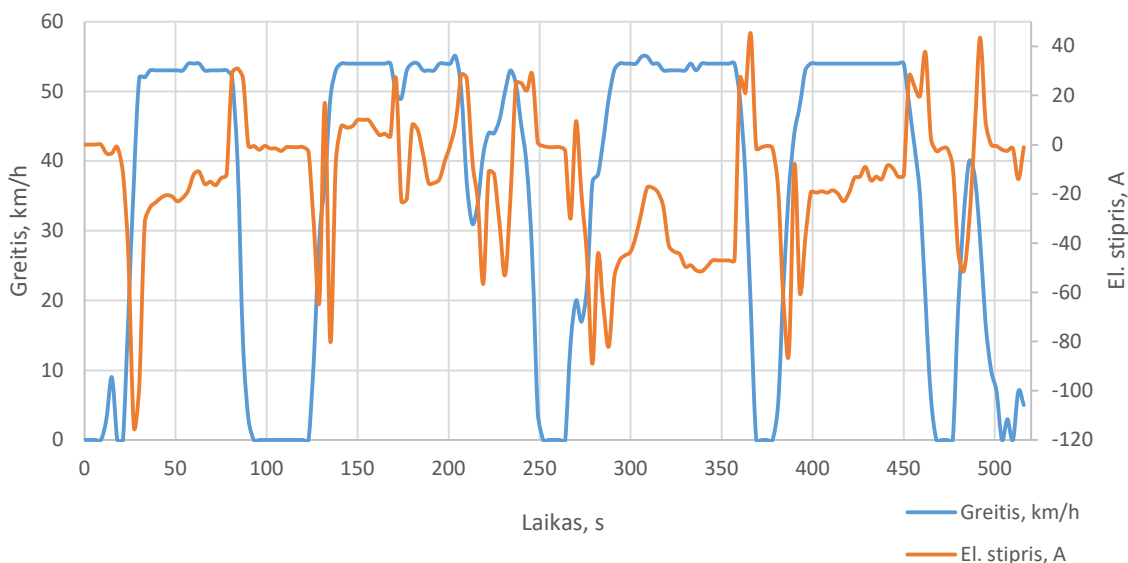


3.24 Pav. 40 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

40 kWh baterijos celių įkrovos tyrime pastebime (3.24 pav.), jog gauti rezultatai yra nepastovesni, tai yra todėl, jog eismo sąlygos tyrimo metu buvo sudėtingesnės ir pastoviu greičiu važiuoti buvo sudėtinga. Iš gautų duomenų matome, jog aukščiausia celių užfiksuota įtampa yra nuo 3,63 V iki 3,65 V, o mažiausia 3,45 V iki 3,47 V.

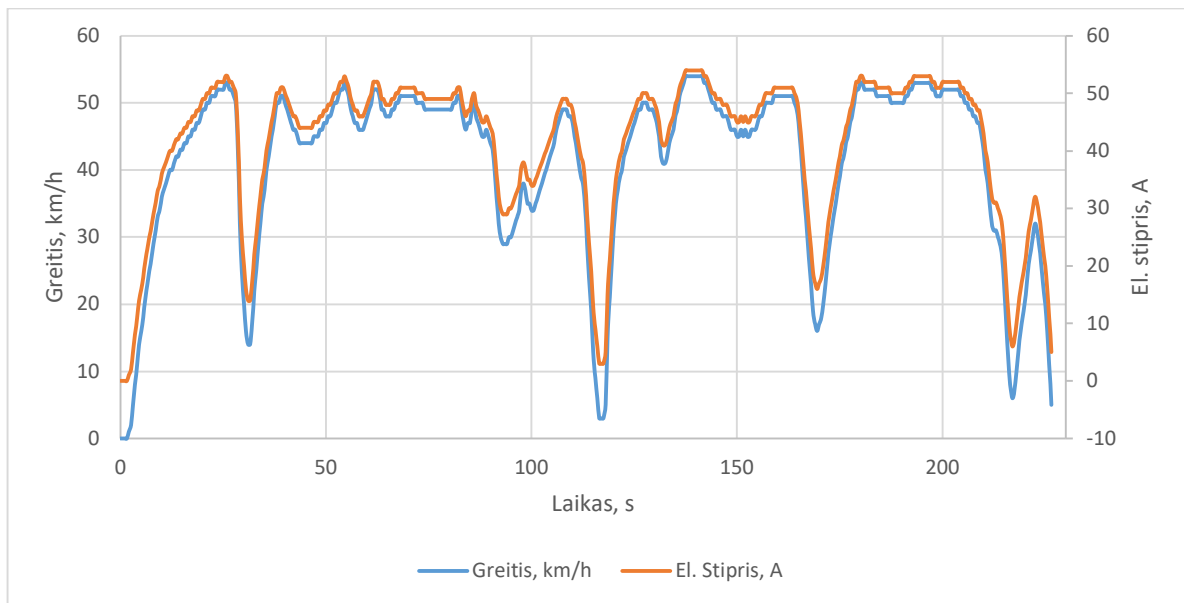
3.1.5 Įjungtas ECO režimas ir išjungti visi el. prietaisai

Įjungus elektromobilyje „EKO režimą“, kaip ir daugumoje automobilių, kuriuose įmontuoti vidaus degimo varikliai, automobilio ar elektromobilio valdymo kompiuteriai neleidžia maksimaliai išnaudoti varomosios galios. Taip automobilis ar elektromobilis ribodamas savo maksimalią galią geba taupyti sąnaudas. Išjungus visus el. prietaisus ir įjungus ECO režimą, elektromobilio gamintojai deklaruoja didžiausią įveikiamą atstumą, bet dėl komforto zonos gerinimo prietaisų stygiaus vairuotojai dažniausiai šia funkcija nesinaudoja. Norint palyginti ir įsitikinti ar ši funkcija ir el. prietaisų nenaudojimas veiksmingas, kaip energijos taupymas – atlikome dar vieną bandymą. Bandymo metu gauti ir apibendrinti duomenys pateikiami žemiau esančiuose paveiksluose.



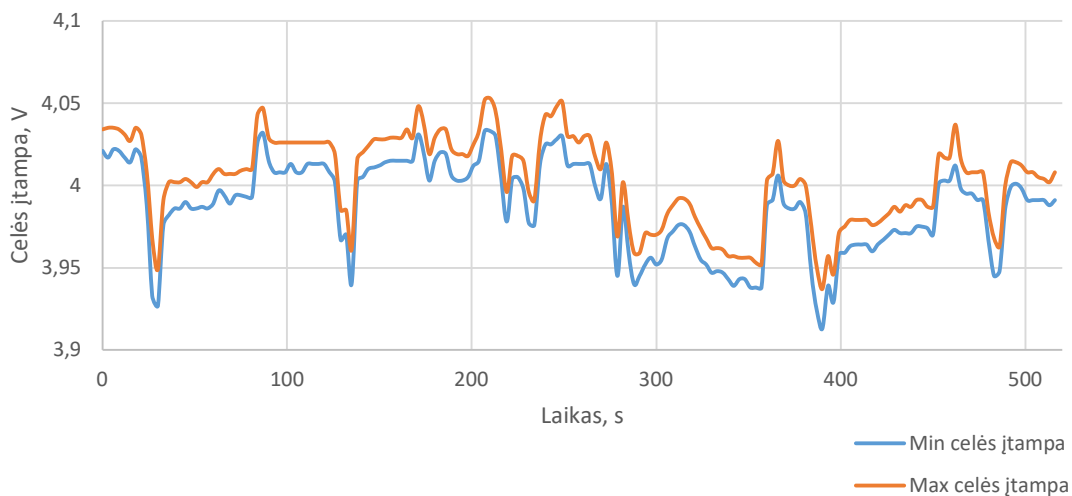
3.25 pav. 30 kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Šiame eksperimente pastebime (3.25 pav.), jog buvo atlikti net keturi sustojimai. Sustojus elektromobilis vartoja 2.5 A el. stiprio, kai prieš tai buvusiuose bandymuose elektromobiliui stovint ir varomajai jėgainei nedirbant el. stiprio vartojimas siekė 3 A. Važiuojant pastoviu 54 km/h greičiu išmatuotas el. stipris svyruoja nuo 21 A iki 9.5 A. Svyravimai vyksta dėl nevienodo kelio reljefo. Maksimalūs užfiksuoti rodmenys tyrimo metu yra 114,5 A staigiai greitėjant. Kadangi elektromobilis turi regeneracijos sistemą – stabdant elektromobilio regeneracijos sistema sugeba perduoti gautą energiją, stabdymo metu, atgal į bateriją. Šio bandymo metu pavyko užfiksuoti stabdymo metu gautą 45 A el. stiprį. Tam, kad regeneracijos sistema suveiktų, elektromobilio baterija negali būti pilnai pakrauta kadangi elektromobilio valdymo kompiuteris neleis regeneracijos sistemai veikti esant pilnai pakrautai baterijai, kad nesugadintų ar neperkaitintų baterijos.



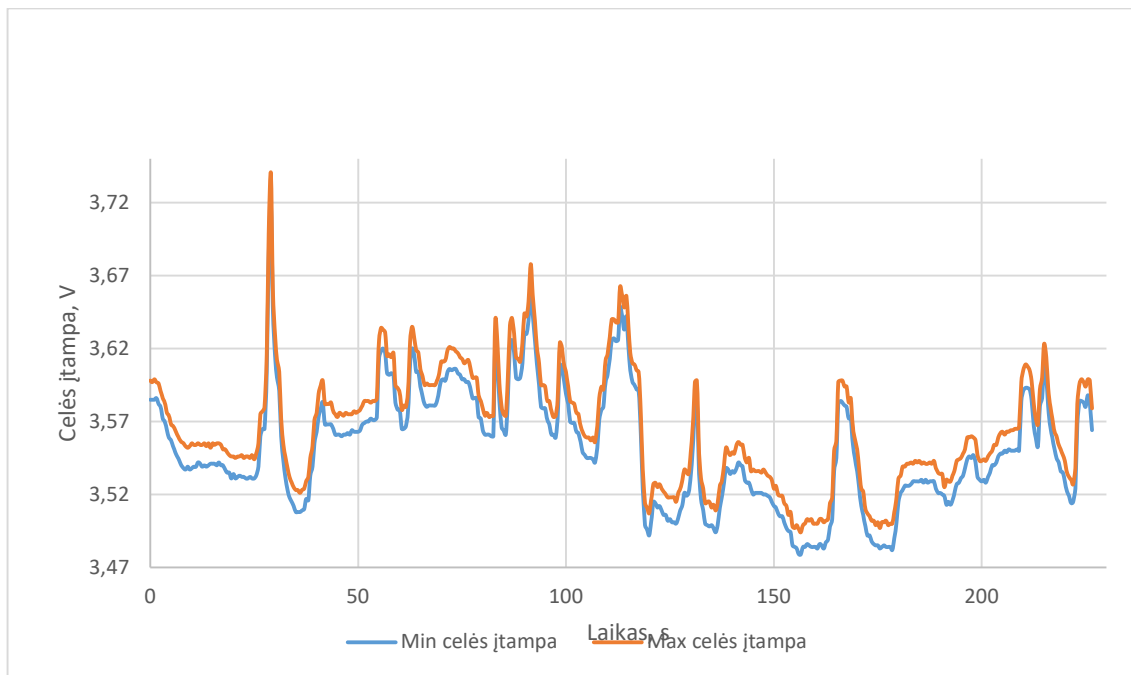
3.26 pav. 40 kWh Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Atlikus tyrimą su 40 kWh baterija pastebime stabilesnius gautus rezultatus (3.26 pav.). Važiuojant pastoviu greičiu 49 km/h užfiksavome 49 A el. stiprį. Stabdant pavyko užfiksuoti mažiausią 3 A el. stiprį, o greitėjant nuo 0 iki 52 km/h – 53 A. Šiame bandyme 40 kWh baterija buvo beveik pilnai pakrauta, todėl regeneracijos užfiksuoti nepavyko.



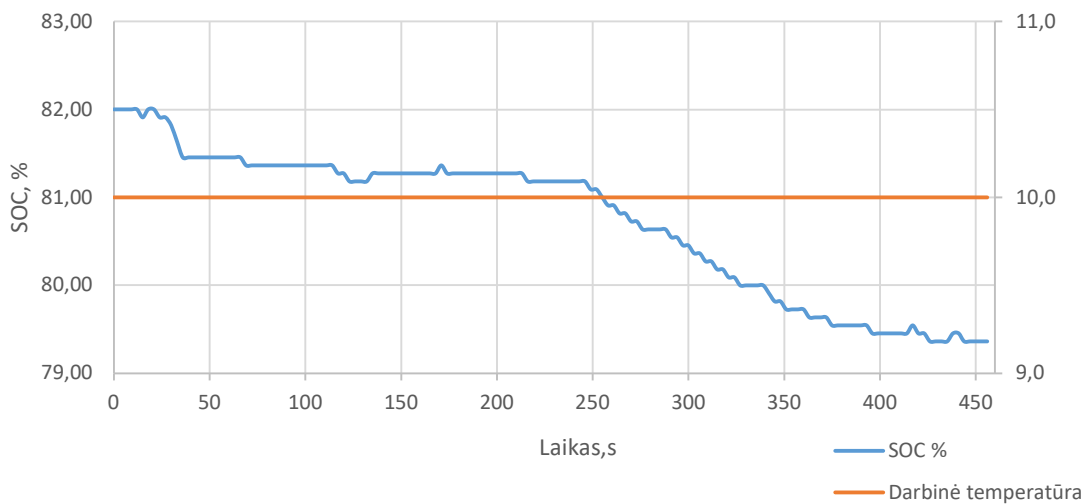
3.27 pav. 30 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

Kintant eksploatacinėms sąlygoms keičiasi ir įtampa celėse, šiame bandyme apžvelgiame celių įtampos kitimą skirtingomis sąlygomis. Šiame bandyme mažiausia įtampa celėse užfiksuota nuo 3,91 V iki 3,94 V, o didžiausia nuo 4,02 V iki 4,05 V (3.27 pav.).



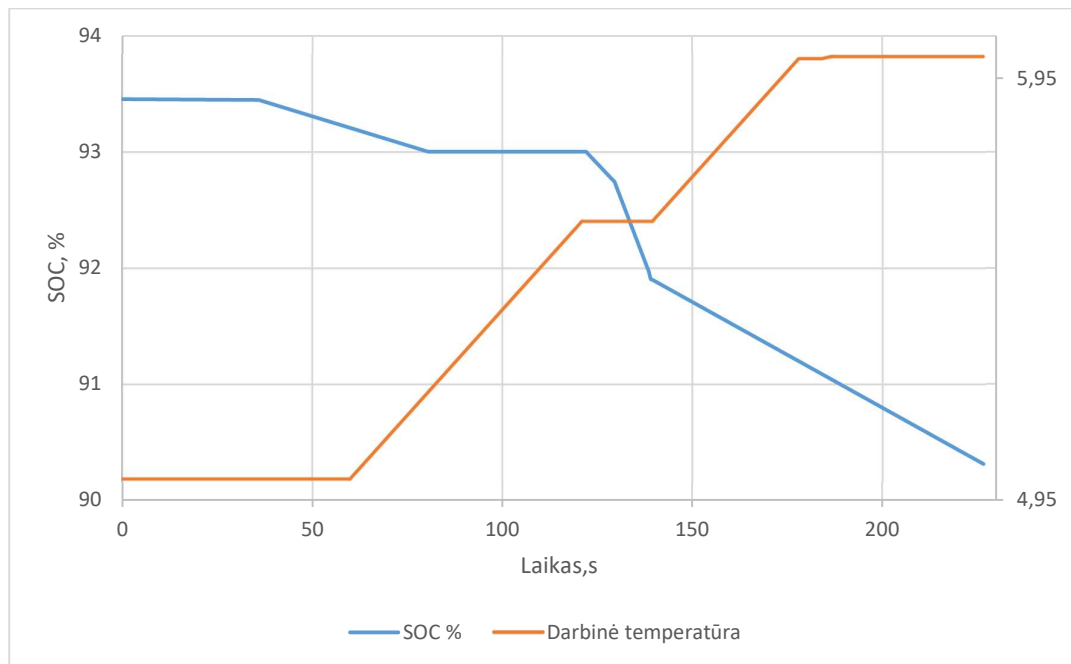
3.28 pav. 40 kWh Baterijos celių įkrovos kitimas

Atlikus šį bandymą pastebėjome stipresnį įtampos šokinėjimą nei 30 kWh baterijoje. Didžiausia užfiksuota įtampa yra 3,74 V, o mažiausia svyravo tarp 3,48 V ir 3,5 V (3.28 pav.).



3.29 pav. 30 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

3.29 paveiksle galime pastebėti, jog viso metu baterijos temperatūra išliko nepakitusi ir išlaikė 10 °C temperatūrą. Tuo tarpu baterijos įkrovos lygis tyrimo metu nukrito nuo 82% iki 79,36% tyrimo



3.30 pav. 40 kWh Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Atliekant šį tyrimą 40 kWh baterija pradžioje turėjo 5 °C temperatūra, o gale tyrimo pakilo iki 6 °C. Baterijos įkrovos lygis nuo 93,45 % nukrito iki 90,33%. Žema darbinė baterijos temperatūra turėjo didelę įtaką baterijos staigiam įkrovos kritimui. Mažiausia baterijos iškrova numatoma pagal gamintojo rekomendacija – pasiekus 16 °C darbinę baterijos temperatūrą. Kaip kinta baterijos įkrovos lygis kintant baterijos darbinei temperatūrai galime matyti 3.30 paveiksle.

4 REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS

Apibendrinant galima sakyti, kad didelių skirtumų tarp 30 kWh ir 40 kWh ličio jonų akumuliatorių nepastebėta. Kaip ir buvo galima numatyti, naudojant kuo daugiau komforto zonos gerinimo prietaisų, tuo daugiau tai turi įtakos akumuliatoriaus iškrovai. Eksperimentiniai važiavimai buvo atliekami natūraliomis eismo sąlygomis, norint nustatyti kuo tikslesnius rezultatus įprastomis sąlygomis.

Visų bandymų metu elektromobilis su 40 kWh įmontuotu akumuliatoriumi užfiksavo mažesnę el. stiprį bei mažesnę įtampą celėse nei elektromobilis su 30 kWh akumuliatoriumi. El. stipris elektromobilyje su 30 kWh akumuliatoriumi kai kurių bandymų metu užfiksuoja net 3-4 kartus didesnis, nei elektromobilyje su 40 kWh. Taip pat elektromobilyje su 30 kWh akumuliatoriumi užfiksuota suveikusi energijos regeneracija, kuri maksimaliai užfiksavo 48 A el. stiprį stabdant nuo 52 iki 0 km/h, o pas elektromobilį su 40 kWh akumuliatoriumi regeneracijos užfiksuoti nepavyko, kadangi elektromobilio baterija buvo beveik pilnai pakrauta ir apsauginis valdymo kompiuteris neleido suveikti regeneracinei sistemai, kad nesugadintų elektromobilio baterijos.

Kaip ir tyrinėtoje mokslinėje literatūroje pastebėta, jog ličio jonų akumuliatoriai stipriai reaguoja į temperatūrą ir tai gali įtakoti akumuliatoriaus ilgaamžiškumui. Taip pat Rumunijos technikos universiteto studentai įrodė, kad ličio jonų baterija geba ne tik elektros energiją naudoti, bet ir kaupti regeneracijos sistemos pagalbą, ką pavyko užfiksuoti ir šio tyrimo metu.

Esminiai skirtumai tarp šių dviejų skirtingų kartų Ličio Jonų akumuliatorių, kad naujesnės kartos akumuliatorius vartoja mažesnę, bet pastovesnę el. stiprį ir celėse fiksuojama mažesnė įtampa. Pagal šiuos gautus parametrus galima teigti, jog naujesnės kartos akumuliatorius bus ilgaamžiškesnis už senesnės kartos. Gauti eksperimentinio tyrimo metu rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Rezultatų apibendrinimas

	Viskas išjungta, įjungta ECO		AC ir radijas		AC ir šild. Sėdynės		Radijas ir šild. Sėdynės		Radijas, AC ir šild. sėdynės	
	30 kWh	40 kWh	30 kWh	40 kWh	30 kWh	40 kWh	30 kWh	40 kWh	30 kWh	40 kWh
Greitis, km/h	0-54; 54-0	0-52; 48-3	0-55; 54-0	0-55; 52-0	0-53; 51-0	0-53; 51-3	0-53; 52-0	0-52; 50-0	0-60; 62-0	0-53; 53-0
El. stipris greitėjant, A	-80	-53	-180,5	-54	-81.5	-52	-88	-52	-248,5	-53
El. stipris lėtėjant, A	+45	-3	+45	0	+5.5	-5	+48	0	+46.5	0
Min celės įtampa, V	3.91	3,48	3.79	3.37	3.99	3.41	3.8	3.39	3.88	3.45
Max celės įtampa, V	4.05	3,74	4,03	3.61	4.11	3.64	4.02	3.63	4.06	3.65
SOC, %	82-79	93-90	72 - 69	96-94	86	93,6-92,8	84-80	97,7-97,2	88-84	92-90
Baterijos darb. temp., °C	10	5-6	15-16	16	9-11	7-8	15-16	6-9	15-16	5-6

Pagal gautus rezultatus matome, jog komforto zonos pagerinimo sistemos didelės įtakos baterijos iškrovai nedaro. Didžiausia įtaka baterijos iškrovai yra eksploatacijos sąlygos, vairuotojo važiavimo stilius bei baterijos darbinė temperatūra kadangi 2 lentelėje pastebime, kad tyrimo metu didžiausios iškrovos pastebėtos prie žemiausių darbinių baterijos temperatūrų.

5 EKONOMINĖ EKSPLOATACIJOS APŽVALGA

Mažėjant iškastinio kuro atsargoms, bet nemažėjant iškastinio kuro paklausai pasaulio lyderiai ieško būdų, kaip iškastinį kurą pakeisti atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Nors elektromobilių tendencija vis auga visame pasaulyje, dar daugybė vairuotojų vis renkasi automobilius su vidaus degimo varikliais. Šiame skyriuje apžvelgiamos skirtingų resursų reikalaujančios jėgainės reikalingos automobiliui ar elektromobiliui eksploatuoti.

Tiriamieji modeliai ekonominiam įvertinimui pasirinkti : šiame projekte tirtas naujasis „Nissan Leaf“ elektromobilis su elektrine jėgaine, kuri išvysto 110 kW galią ir „Škoda Octavia“ su turbodieseliniu ir turbo benziniu varikliais, kurie taip pat išvysto 110 kW galią ^[16]. 3 lentelėje apžvelgsime šių modelių gamintojų deklaruojamas kuro sąnaudas ir eksploatacinius kaštus remiantis 2019m. kuro bei elektros kainomis.

3 lentelė. Lengvųjų automobilių degalų suvartojimo kaštai

Degalų tipas	Lengvojo automobilio degalų suvartojimo charakteristikos		
	Degalų kaina, eur/l arba eur/kWh	Gamintojo deklaruojamos vidutinės sąnaudos l/100 km ; kWh/100km	Kaštai, eur/100km
Dyzelinas	0.94 – 1.09	3.7	3.48 – 4.03
Benzinas	1.06 – 1.16	4.7	4.98 – 5.45
El. energijos dedamoji	0.149 -0.25	14	2.09 – 3.5

Kaip ir pastebime lentelėje pagal surinktus duomenis elektromobilio eksploatavimo kaštai mažiausi neskaiciuojant nemokamų stotelių, kurias siūlo prekybos centrai ar kitos populiaros apsilankymo vietos. Vienas brangesnių elektromobilių krovimo būdas yra greitosios stotelės, kurių krovimo kaina 0.25 eur/kWh. ^[17]. Kraunant tokių būdu kaštai gali siekti iki 3.5 eur/100km. O dažniausiai pasirenkamas variantas krovimas namuose, kurio kaštai gali siekti 0.149 eur/kWh ir taip išleisite 2.09 eur/100km ^[9].

Nors ir vidaus degimo variklių gamintojai visai stengiasi kuro sąnaudas kaip įmanoma mažinti, eksploatuojant tokios rūšies automobilį kaštai būtų didesni, nei elektromobilio. Pagal pateiktus 2019m. duomenis vidaus degimo variklis su dyzelino rūšies kuru 100km išleis nuo 3.48eur iki 4.03eur, kas palyginus gana panašiai, kaip ir elektromobiliams. Vairuotojai turintys benziniu kuru varomus automobilius degalams išleidžia daugiausiai – nuo 4.98eur iki 5.45 eur/100km.

Žiūrint į surinktus duomenis pastebime, jog elektromobiliai nėra stipriai atsiplėšę kurui skirtomis išlaidomis, bet pranašumų tikrai turi. Jeigu elektromobilių savininkai išnaudotų visus būdus, kaip sutaupyti pvz. krauti nemokamose stotelėse ar per buitinį laidą ar naudotųsi kitomis alternatyvomis – galėtų sutaupyti bent keletą kartų lyginant su vidaus degimo varikliais. Taip pat elektromobilių eksploatacijos išlaidos žymiai mažesnės ir kasmetinio aptarnavimo metu, kadangi jie neturi vidaus degimo variklių, jiems nereikia keisti tepalų, filtrų ir kitų tokio tipo eksploatacinių detalių.

6 IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, jog ličio jonų akumulatoriaus didžiausi pranašumai prieš kitų rūšių akumulatorius yra ilgaamžiškumas, pažangi gamybos technologija bei nuolatinis savikainos mažėjimas. Pastebėta, kad ličio jonų pirmosios kartos akumulatoriuje įrengtuose moduluose yra po 4 celes ir bendras celių skaičius siekia 96 celes, o antrosios kartos ličio jonų akumulatoriuje modulyje yra po 8 celes ir iš viso yra 192 celės. Taip pat antrosios kartos ličio jonų akumulatoriaus baterijoje prisidėjo cheminis junginys kobaltas (CO). Išanalizavus mokslinius straipsnius nustatyta, kad elektromobiliuose Nissan Leaf su 30 kWh talpos ličio jonų akumulatoriais baterijų talpa per vienerius eksploatacijos metus sumažėja tris kartus daugiau (9,9%) nei elektromobiliuose Nissan Leaf su 24 kWh talpos ličio jonų akumulatoriais (3,1%).
2. Bandomųjų važiavimų maršrutas pasirinktas – Europos prospektas, kuriame gausu įvairių eismo sąlygų įtakojančių veiksnių, kaip reguliuojamos sankryžos, pėsčiųjų perėjos bei apsisukimo salelės. Maršruto ilgis yra apie 5,3 kilometro, šiame maršrute yra nuokalnė ir įkalnė. Nuokalnės statumas sudaro 3°, o įkalnės 2.8°. Eksperimentinio bandymo metu atlikta 10 bandomųjų važiavimų su Nissan Leaf[®] elektromobiliais. Kiekvienas bandomasis važiavimas su skirtinga el. prietaisų variacija kartotas po 3 kartus ir iš gautų rezultatų išvestas vidurkis. Atlikti 5 bandymai su 30 kWh talpos integruotu akumulatoriumi ir 5 važiavimai su 40 kWh talpos akumulatoriumi.
3. Didžiausia iškrova su 30 kWh akumulatoriumi užfiksuota, kai buvo įjungtos visos komforto zonos gerinimo sistemos – 248,5 A, didžiausia regeneracijos sistemos sukurta energija užfiksuota 48 A. 40 kWh akumulatorius regeneracijos neužfiksavo, o iškrova svyravo tarp 52 - 54 A. Didžiausia įtampa celėse 30 kWh akumulatoriuje užfiksuota, kaip buvo įjungtas kondicionierius ir šildomos sėdynės – 4,11 V, o 40 kWh akumulatoriuje celėse didžiausia įtampa fiksuota, kaip buvo visi el. prietaisai išjungti ir įjungtas ECO režimas – 3,74 V. Mažiausia įtampa celėse pastebėta su įjungtu kondicionieriumi ir radiju – 3,79 V (30 kWh) ir 3,37 V (40 kWh).
4. Išanalizavus lengvųjų automobilių degalų vartojimo kaštus, nustatyta, jog 100 km su elektromobiliu galima įveikti pigiausiai – 2.09/ 3.5 Eur (priklauso nuo krovimo būdo), o brangiausiai su benzinu varomu lengvuoju automobiliu – 4.98/5.45 Eur.

7 LITERATŪRA

1. LTD, N.M.C. Electric vehicle lithium-ion battery. In *NISSAN TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT ACTIVITIES* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html>.
2. MYALL, D.J. ir kt. Accelerated Reported Battery Capacity Loss in 30 kWh Variants of the Nissan Leaf. In . 2018. .
3. THOMAS G. GOONAN *Lithium use in batteries*. . U.S. Geological Survey Circular 1371 14 p., 2012. .
4. VYTAUTAS Kaip sekasi elektromobiliams Lietuvoje ir pasaulyje :: Automobiliai ir traukiniai : In *www.technologijos.lt* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/automobiliai_ir_motociklai/S-43992/S-43992/straipsnis/Kaip-sekasi-elektromobiliams-Lietuvoje-ir-pasaulyje?l=3&p=1>.
5. Automobile - Early electric automobiles | Britannica. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://www.britannica.com/technology/automobile/Early-electric-automobiles>>.
6. Elektromobilio įkrovimo laikas: kiek trunka, kaip įkrauti greičiau. In *IkrovimoStoteles.lt* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://ikrovimostoteles.lt/elektromobilio-ikrovimo-laikas.html>>.
7. Elektromobilių skaičius Lietuvoje. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<http://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-skaicius-lietuvoje>>.
8. Failure Rate in Nissan LEAF Battery Pack Very Low | Torque News. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://www.torquenews.com/1080/failure-rate-nissan-leaf-battery-pack-very-low>>.
9. Ignitis Elektros energijos kainos namams nuo 2020 sausio 1 dienos. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://ignitis.lt/lt/elektros-energijos-kainos-namams-nuo-2020-sausio-1-dienos>>.
10. Kas yra elektromobilis? Pilnas atsakymas. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<http://www.gelgaudiskisatgaiva.lt/kas-yra-elektromobilis/>>.
11. National High Magnetic Field Laboratory: Museum of Electricity and Magnetism - Planté Battery. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://web.archive.org/web/20141214211738/http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/museum/plantebattery.html>>.
12. Nissan Consult III Plus. In *AE Tools & Computers* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-17]. Prieiga per internetą: <<https://www.aetools.us/products/nissan-consult-iii-plus/>>.
13. Nissan Leaf Facts - Electric Car Facts. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://www.popularmechanics.com/cars/hybrid-electric/reviews/a6183/10-things-you-didnt-know-about-the-nissan-leaf/>>.
14. The world's first electric car. In *University of Groningen* [interaktyvus]. 2019. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://www.rug.nl/university-museum/collections/collection-stories/wagentje-van-stratingh>>.

15. Today in Technology History - Jul 6 - preservada pelo Arquivo.pt. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://arquivo.pt/wayback/20091015184824/http://www.tecsoc.org/pubs/history/2001/jul6.htm>>.
16. Varikliai. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://cc.skoda-auto.com/ltu/lt-LT/engine-scenic?activePage=engines&color=1Z1Z&configurationId=&extraEquipments=GYOQYOQ%7CMASGEA2&id=LTU%3Bskoda%3B2020%3BNX3345%3B0%3B%3Bmda20200430062219%3Blt-LT%3B%3B68000%3B68000&interior=BG&modifiedPages=&snapshotVersion=0ddc51cb-b127-4ec2-8ab7-923879c2a4a0&trimline=NX3%7CAmbition6800068000&visitedPages=trimlines>>.
17. Viešasis įkrovimas & "e-tron" kasdieniame gyvenime Audi tron Pradžia. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: <<https://www.audi.lt/lt/web/lt/models/audi-tron/e-tron-solutions/public-charging.html>>.