

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Laurynas Sakalauskas**

**EKSPLOATACINIŲ VEIKSNIŲ ĮTAKOS ELEKTROMOBILIO  
LIČIO JONŲ BATERIJOS IŠKROVAI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Rolandas Makaras

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**EKSPLOATACINIŲ VEIKSNIŲ ĮTAKOS ELEKTROMOBILIO  
LIČIO JONŲ BATERIJOS IŠKROVAI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Rolandas Makaras  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Darius Juodvalkis  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Laurynas Sakalauskas  
(data)

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
**TRANSPORTO INŽINERIJOS KATEDRA**

**Suderinta:**

Studijų krypties programų vadovas  
prof. Artūras Keršys

Transporto inžinerijos katedros vedėjas  
doc. Rolandas Makaras

2016 m. vasario mėn. 8 d.

**MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Išduota studentui: *Laurynui Sakalauskui*

1. Projekto tema: *Eksploatacinių veiksnių įtakos elektromobilio ličio jonų baterijos iškrovai tyrimas*

Patvirtinta: 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-8

2. Projekto tikslas:

*Ištirti kaip elektrinių komforto zonos prietaisų naudojimas įtakoja ličio jonų akumuliatorių baterijos iškrovimą eksploatacijos metu*

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

- *Atlikti literatūros ir mokslinių straipsnių apžvalgą, susijusių su EV;*
- *Sudaryti bandomųjų važiavimų maršrutą;*
- *Eksperimentinio bandymo metu nustatyti ličio jonų baterijas veikiančių iškrovų reikšmes ir kitas charakteristikas;*
- *Įvertinti ir išanalizuoti gautus duomenis kintant eksploataavimo sąlygoms.*

4. Užduoties išdavimo terminas: 2016 m. vasario mėn. 8 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2017 m. gegužės mėn. 18 d.

Vadovas: \_\_\_\_\_  
(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Užduotį gavau: \_\_\_\_\_  
(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas)



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Laurynas Sakalauskas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Eksploatacinių veiksnių įtakos elektromobilio ličio jonų baterijos iškrovai tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Lauryno Sakalausko**, baigiamasis projektas tema „Eksploatacinių veiksnių įtakos elektromobilio ličio jonų baterijos iškrovai 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)

Sakalauskas, Laurynas. Eksploatacinių veiksnių įtakos elektromobilio ličio jonų baterijos iškrovai tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T)

Reikšminiai žodžiai: *Elektromobilis, ličio jonų baterija, iškrova, įkrova, RBS, talpumas.*

Kaunas, 2017. 53 p.

## SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe tiriama eksploatacinių veiksnių įtaka elektromobilio ličio jonų baterijos iškrovai, siekiama nustatyti iškrovų reikšmes ir kitas baterijos charakteristikas. Apžvelgtos transporto priemonės, turinčios elektros variklius bei jų tipai. Išnagrinėtos įvairių rūšių el. baterijos, kurios naudojamos transporte. Atlikta kitų tyrėjų mokslinių straipsnių analizė, kuri leido nustatyti ličio jonų baterijos trūkumus, bei išanalizuoti jos savybes ir charakteristikas. Nuosekliai aprašyta eksperimentinio tyrimo metu naudojama įranga bei metodika.

Tyrimo metu pasirinktos 5 standartinės komforto zonos el. prietaisų naudojimo situacijos (t.y. ECO režimas su išjungtais el. prietaisais, kai įjungtas AC ir radijas, AC ir šildomos sėdynės, radijas ir šildomos sėdynės bei AC naudojimas su įjungtu radijumi ir šildomomis sėdynėmis), kuriomis remiantis atlikti realūs bandymai pagal nustatytą maršrutą, turintį 2.8° įkalnę ir 3.0° nuokalnę. Bandymų metu išlaikomas pastovus 50-60 km/h greitis greičio ruožo atkarpoje ir skirtingų situacijų duomenys renkami diagnostinės įrangos „Consult III Plus“ rinkiklio pagalba. Gauti duomenys apdorojami, o skaitiniai skaičiavimai atliekami „MS Office“ įrangos pagalba. Bandymų metu naudojama 3-iosios kartos ličio jonų baterija, kuri sumontuota Nissan Leaf automobilyje. Apdoroti ir išanalizuoti tyrimų rezultatai palyginti tarpusavyje, bei su kitų tyrėjų atliktais darbais. Pateiktos baigiamojo darbo išvados ir rekomendacijos.

Sakalauskas, Laurynas. *Research of consumable factors affects for the discharge of lithium-ion battery test*. Vehicle engineering *Master's* final project / supervisor assoc. prof. Dr. Rolandas Makaras. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: Electric vehicle, Lithium-ion battery, discharge, charge, RBS, capacity.

Kaunas, 2017. 53 p.

## **SUMMARY**

The final project of Master's studied the influence of operational factors for the electric discharge of lithium-ion batteries, to identify existing values of discharge and other battery characteristics. Overview of vehicles with electric engines and the types of those engines. Analyzed different types of electronical batteries used in electric transport. Analyzed and reviewed articles done by other researchers which allowed to identify lithium-ion battery shortcomings and research it's features and characteristics. Thoroughly described used equipment and techniques used during the experimental study.

During the research 5 different standard comfort zone electronical devices situations were chosen (ECO mode with all electronical devices off, air-conditioning and radio on, heated seats with air-conditioning, radio with heated seats and air-conditioning with heated seats and radio on), based on these choices test were done in real-life situations on a set route with 2.8° uphill and 3.0° downhill. During the tests steady 50-60 km/h speed was maintained and the results of the different situations were collected using diagnostic equipment called "Consult III Plus". All the obtained data was processed and numerical calculations were done in Microsoft Office software. Tests were done using 3rd generation lithium-ion battery which is used in a Nissan Leaf vehicle. Processed and analyzed test results were compared against each other and against other researcher's results. The conclusions and recommendations of the final project were presented.

# TURINYS

Įvadas .....	5
1 ELEKTROMOBILIŲ IR JUOSE NAUDOJAMŲ BATERIJŲ ANALIZĖ .....	6
1.1 Elektromobilių tipai.....	6
1.2 Elektromobilių baterijų tipai .....	7
1.3 Baterijų ir salono šildymas vyraujant žemai lauko temperatūrai .....	9
1.4 Elektromobilių įkrovimo standartai ir įkrovimo tipai .....	11
1.5 Važiavimo nuotolis ir ličio jonų akumuliatoriaus eksploatavimo laikas .....	14
1.6 Stabdžių regeneracijos sistema.....	16
2 MOKSLINIŲ STRAIPSNIŲ ANALIZĖ.....	18
2.1 Elektromobilio baterijų statinio talpumo testas.....	18
2.2 Lauko temperatūros įtaka elektromobilio važiavimo efektyvumui.....	20
2.3 Realus elektromobilių įkrovos ir iškrovos valdymas hibridinės energijos kaupimo metu.....	21
2.4 Eksperimentinis baterijos energijos patikimumo tyrimas .....	23
3 EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR METODIKA .....	26
3.1 Tyrimo objektas.....	26
3.2 Eksperimentinių tyrimų eiga ir sąlygos.....	27
3.3 Eksperimentinių tyrimų įrenginiai ir priemonės .....	28
4 EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ.....	32
4.1 Eksperimento metu gauti rezultatai .....	32
4.1.1 ECO režimas ir išjungti visi el. komforto zonos prietaisai .....	32
4.1.2 Įjungtas kondicionierius ir radijas.....	37
4.1.3 Įjungtas kondicionierius ir šildomos sėdynės .....	39
4.1.4 Įjungtas radijas ir šildomos sėdynės.....	42
4.1.5 Įjungtas oro kondicionierius, radijas ir šildomos sėdynės .....	44
4.1.6 Ličio jonų baterijos iškrovimo ir įkrovimo įvertis Parodos gatvėje vakarinio piko metu	47
5 REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS .....	49
6 EKONOMINIS ĮVERTINIMAS .....	52
7 IŠVADOS .....	53
8 LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	54

## Įvadas

Elektromobilių naudojimas Europos Sąjungos valstybėse didėja didėjant ir ES valstybių siekiais didinti atsinaujinančių išteklių bei mažinti iškastinio kuro naudojimą ir aplinkos taršą. Didžiausias iššūkis išlieka skatinti ir plėsti elektromobilių naudojimo plėtrą bei kūrimą visapusiškai nepriklausomose valstybėse.

Elektromobiliai po truputį užima vis didesnę automobilių rinkos dalį, todėl yra svarbios ir jų techninės charakteristikos. Šio darbo tikslas yra išnagrinėti kaip kinta ličio jonų akumulatoriaus baterijų iškrovimas įvairiais darbo režimais su skirtingais kombinuota el. prietaisų naudojimo variacija. Tam tikslui įvykdyti naudojama Nissan korporacijos programinė įranga „Consult-III Plus“ ir „Carwings“, o tyrimo objektais bus Nissan Leaf elektromobilis su įmontuota trečios kartos ličio jonų akumulatoriaus baterija.

Darbo tikslas – eksploatacinių veiksnių įtakos elektromobilių ličio jonų baterijos iškrovai tyrimas.

Darbo uždaviniai:





- Atlikti literatūros ir mokslinių straipsnių apžvalgą, susijusią su EV;
- Sudaryti bandomųjų važiavimų maršrutą;
- Eksperimentinio bandymo metu nustatyti ličio jonų baterijas veikiančių iškrovų reikšmes ir kitas charakteristikas;
- Įvertinti ir išanalizuoti gautus duomenis kintant eksploataavimo sąlygoms.



# 1 ELEKTROMOBILIŲ IR JUOSE NAUDOJAMŲ BATERIJŲ ANALIZĖ

## 1.1 Elektromobilių tipai

Elektromobiliai yra visiškai arba iš dalies elektra varomos transporto priemonės, kurios skirstomos į keturis pagrindinius tipus – hibridiniai automobiliai (HEV), kištukiniai – hibridiniai (PHEV), prailgintos kelionės hibridiniai automobiliai (REV) ir grynieji elektromobiliai (BEV). Kiekvieno tipo modeliai ir charakteristikų apžvalga pateikiami 1.1 paveiksle.

Hibridiniai automobiliai (HEV)	Kištukiniai hibridai (PHEV)	Prailgintos kelionės hibridai (REV)	Grynieji elektromobiliai (BEV)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Automobilis varomas ir vidaus degimo varikliu (VDV), ir elektriniu varikliu;</li> <li>Baterijos įkraunamos stabdant (angl. Regenerative braking);</li> <li>Gali nuvažiuoti trumpą atstumą vien tik elektriniu varikliu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automobilis varomas ir VDV, ir elektriniu varikliu (dirbant lygiagrečiai, ar kitais režimais);</li> <li>Baterijos gali būti įkraunamos iš el. tinklo;</li> <li>Vien tik el. varikliu nuvažiuojamas atstumas: 40-60 km.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automobilis varomas elektriniu varikliu; VDV tik įkrauna bateriją;</li> <li>Baterijos gali būti įkraunamos iš el. tinklo;</li> <li>Vien tik el. varikliu nuvažiuojamas atstumas: 40-80 km.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automobilis varomas tik elektra;</li> <li>Didžiausia baterijų talpa;</li> <li>Baterijos įkraunamos iš el. tinklo;</li> <li>Nuvažiuojamas atstumas: 100-300 km.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Toyota Prius</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volvo V70 PHEV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chevrolet Volt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nissan Leaf</li> </ul>
			

1.1 pav. Elektromobilių tipų apžvalga [1]

### Hibridiniai automobiliai (HEV – Hybrid Electric Vehicle)

Šio tipo automobiliai turi įmontuotą tiek vidaus degimo, tiek elektrinį variklį. Pasižymi geresne kuro ekonomija negu VDV aprūpinti automobiliai. Elektros variklis automobiliuose atlieka tik pagalbinę funkciją, dėl to daugelis ekspertų ir technikos specialistų nepriskiria HEV automobilių prie elektromobilių kategorijos. Didžioji dalis Lietuvoje ir pasaulyje eksploatuojamų el. variklį naudojančių automobilių šiomis dienomis sudaro būtent HEV tipo automobiliai.

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

Automobiliai taip pat pasižymi įmontuotais tiek VDV, tiek ir elektriniai varikliais. Šio tipo hibridai gali pakankamai ilgą kelio atkarpą nuvažiuoti vien tik elektriniu varikliu. Automobilio naudojimas mieste suteikia galimybę vien tik elektros pagalba įveikti vienos dienos reikmėms skirtą maršrutą. VDV variklis pradeda veikti iškart išsikrovus el. baterijai. Taip pat įmanomas „lygiagretus“

režimas, kada el. ir VDV varikliai veikia vienu metu. Skirtingai nuo HEV automobilių, kištukiniai hibridai gali būti kraunami iš el. tinklo.

### **Prailgintos kelionės hibridai (REV – Range Extended Vehicle)**

Prailgintos kelionės hibridinį automobilį nuo kištukinių hibridinių automobilių pagrindinis išskiriantis bruožas yra tas, kad REV elektromobilyje vidaus degimo variklis (VDV) nėra sujungtas su automobilio ašimis ir nesudaro tiesioginės varomosios jėgos. Automobilis visuomet varomas el. variklio, o VDV variklis naudojamas tik sukurti elektros variklio generatorių kuomet išsikrauna baterija. Prailgintos kelionės hibridai išsiskiria didesniu nuvažiuojamu atstumu elektros variklio režimu nei PHEV automobiliai.

### **Grynieji elektromobiliai (BEV – Battery Electric Vehicle)**

Šio tipo transporto priemonės varomos išskirtinai tik elektriniais varikliais. Grynojo elektromobilio tipo automobilių baterijų talpa ir yra pati didžiausia, kadangi BEV automobiliai visiškai neneaudoja iškastinio kuro. Transporto priemonės pasižymi didžiausia aplinkosaugine nauda bei degalų ekonomija lyginant su kitais elektromobilių tipais [1].

## **1.2 Elektromobilių baterijų tipai**

Baterijos yra įtaisai kuriuose cheminė energija yra paverčiama elektros energija. Baterijas naudoja dauguma šiuolaikinių prietaisų – mobilieji telefonai, nešiojamieji kompiuteriai, fotoaparatai ir kt. Baterijos yra naudojamos ir elektromobiliuose, kur jos palaiko energijos tiekimą elektriniam varikliui.

Egzistuoja dviejų tipų baterijos – vienkartinės ir pakraunamos. Šiuo atveju pakraunamos baterijos yra daug pranašesnės, nes gali būti naudojamos kelis kartus, tai yra iškraunamos ir vėl įkraunamos naujam naudojimui. Tokio tipo baterijų gali būti įvairių rūšių, kurios skiriasi sudėtimi ir svarbiausiais parametrais – specifine energija (Wh/kg), celių įtampa, pakrovimo ciklų skaičiumi. Tarp populiariausių baterijų yra švininės (angl. lead-acid), nikelio-kadmio (angl. nickel-cadmium) bei ličio jonų (angl. lithium-ion) baterijos. Kiekvienam elektros varikliui reikalinga atitinkama įtampa, kuri gaunama nuosekliai sujungus baterijos celes (jeigu reikia 120 V įtampos varikliui, o kiekviena celė turi po 5 V, reikia sujungti  $120/5 = 24$  celes).

Įkrauta baterija ne visada suteiks vienodą energijos kiekį, tai labai stipriai priklauso įvairių aplinkos veiksnių. Išsikrovimo laikas priklausys nuo iškrovos srovės, aplinkos temperatūros ir kt. Per aukšta iškrovos srovė sutrumpina baterijos gyvavimo laiką, taip pat ir per aukšta ar per žema aplinkos temperatūra, be to baterijai yra kenksminga būti visiškai iškrautai. Ličio jonų baterijos gyvavimo laikotarpį galima prailginti baterijos visiškai neįkraunant – vadinasi tą pačią bateriją galima būtų naudoti ilgiau, tačiau vienu įkrovimu nuvažiuojamas atstumas elektromobiliu sumažėtų (dėl neviseškai įkrautos baterijos) [4].

Yra keletas įkraunamų baterijų technologijų rūšių kurios yra naudojamos hibridinėse ir elektrinėse transporto priemonėse. Pagrindinės technologijų rūšys su charakteristikomis pateikiamos 1.1 ir 1.2 lentelėse.

1.1 lentelė [6]

Baterijų rūšys

Švino rūgšties (Pb-acid)	Švino rūgšties baterijos yra pačios seniausios kraunamosios baterijos turinčios maža energijos ir masės bei energijos ir tūrio santykį. Šie veiksniai reiškia, kad švino rūgšties baterijos užima didelę erdvę montuojant į transporto priemones, įskaitant ir didelį savitąjį svorį. Bet koku atveju šio tipo baterijos išlaiko gana aukštą galios ir svorio santykį, yra pigios, todėl puikiai tinka naudoti kelių transporto priemonėse.
Nikelio kadmio (NiCd)	Baterijos išsiskiria ilgiausiu ilgaamžiškumo ciklu (daugiau nei 1500 ciklų), tačiau turi mažą energijos tankį, palyginti su kitų tipų baterijomis. Kadmio yra toksiškas ir kenksmingas tiek žmonėms, tiek gyvūnams, todėl jos daugiausiai naudojamos buityje ir šiuo metu keičiamos ličio jonų ir nikelio metalo hidrido tipo baterijomis pagal EU teisės aktus.
Nikelio metalo hidrido (NiMH)	Baterijų technologija yra panaši į nikelio kadmio baterijas, išskyrus tai, kad kadmio pakeičiamas mažiau kenksmingu aplinkai elementu. Baterijos turi 3 - 4 kartus didesnę pajėgumą nei NiCd baterijos, tačiau lyginant su ličio jonų baterijomis – energijos pajėgumai yra mažesni ir savaiminis išsikrovimas yra didesnis. Jos naudojamos hibridiniuose automobiliuose: Toyota Prius, Toyota RAV4 ir kituose įkraunamo tipo elektromobiliuose, bei plataus vartojimo elektronikoje.
Ličio jonų (Li-ion)	Iš dalies modernios ličio jonų akumuliatoriaus baterijos turi aukštą įkrovimo tankį. Pagrindiniai trūkumai: talpumo kintamumas ir potencialus perkaitimas. Technologija naudojama plataus vartojimo elektronikoje (pvz. mobiliuosiuose telefonuose) ir tik neseniai pradėtos naudoti transporto priemonių pramonės atšakose (Tesla Roadster elektrinis automobilis ir Toyota Prius hibridinis automobilis).
Ličio jonų polimerų	Identiška technologija ličio jonų baterijoms, turinti mažesnę įkrovimo tankį, bet didesnę gyvavimo ciklų skaičių ir išsiskiriantis itin plonu dizainu (storis apie 1 mm). Didžiausias trūkumas – aukštas perkrovimo lygis ir jeigu baterija iškraunama iki tam tikros įtampos ribos, ji gali daugiau nebeišlaikyti savo talpumo.
Išlydytos nikelio druskos (NaNiCl)	Labiausiai žinoma kaip „Zebro“ tipo baterija, priklausanti išlydytos druskos baterijų grupei. Išlydytos druskos tirpalas naudojamas kaip elektrolitas, suteikiantis didesnę energijos tankį, taip pat galios tankį perkraunamoms baterijoms. Pasižymi dideliu darbinės temperatūros diapazonu – 270 - 350° C, todėl keliami griežti reikalavimai baterijų komponentų naudojimui. Perkaitimas gali sukelti didelių šiluminių nuostolių netgi, kai baterija nenaudojama.

Įvairių tipų baterijų savybės

Baterijos tipas	Specifinė energija (Wh/kg)	Energija / Talpumas (Wh/l)	Galia / Svoris (W/kg)	Įkrovimų ciklų sk. 1-ai baterijai	Energijos naudingumas	Energijos tankis % Pb-aid	Savaiminis išsikrovimas per 24h	Šilumos nuostoliai
Pb-acid	40	60-75	180	500	82.5 %	100 %	1 %	
NiCd	60	50-150	150	1350	72.5 %	150 %	5 %	
NiMH	70	140-300	250-1000	1350	70.0 %	175 %	2 %	
Li-ion	125	270	1800	1000	90.0 %	313 %	1 %	
Li-ion polymer	200	300	>3000			500 %		
NaNiCl	125	300		1000	92.5 %	313 %	0 %	7.20 %

Kuo didesnis energijos tankis, tuo didesnis transporto priemonės įveikimo atstumas todėl tinkamas baterijos energijos ir svorio santykis gali padidinti elektromobilių prekybos kiekius.

Kaip matome pateiktoje duomenų lentelėje daugkartinio įkrovimo baterijos savaime išsikrauna daug dažniau negu šarminės baterijos (iki 5% per dieną, priklausomai nuo temperatūros ir baterijos tipo). Šiuolaikinės ličio pagrindo baterijos rodo pagerėjimą šiame procese.

Baterijos veikimo laikas turėtų būti apibrėžiamas ir apskaičiuojamas vartotojo išlaidomis baterijų susidėvėjimo ir keitimo kaštais. Šis rodiklis priklauso nuo keleto veiksnių, pavyzdžiui, kaip dažnai automobilis yra naudojamas bei įkraunamas ir iškraunamas. Transporto priemonės gamintojas turėtų patarti kaip pratęsti baterijų ilgaamžiškumą (įkrovos naudingumą ir baterijų talpumą) [6].

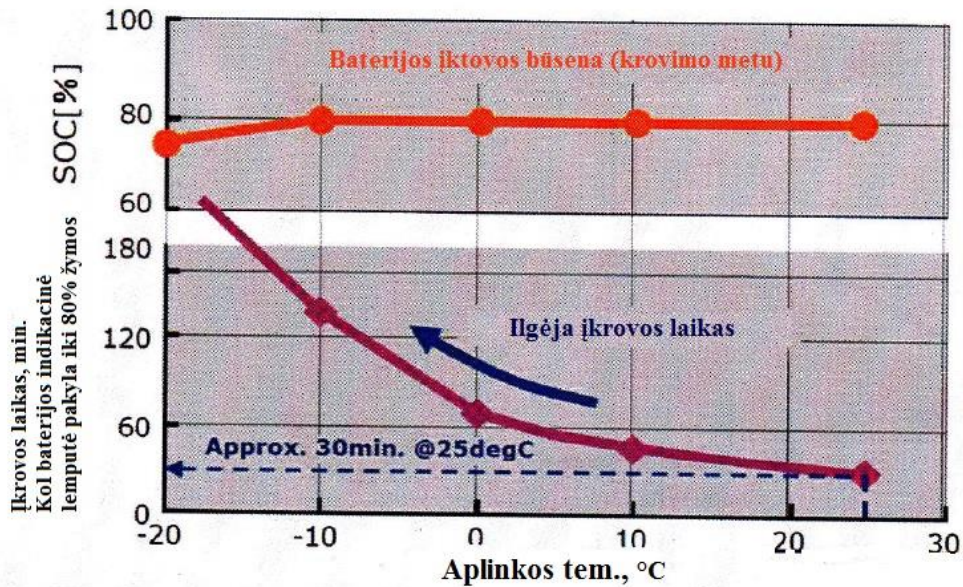
Elektromobilių baterijoms įkrauti gali būti įrengtos specialios krovimo stotelės arba tai galima daryti tiesiogiai iš elektros tinklo. Kaip rodo neseniai atlikti tyrimai, dauguma elektromobilių naudotojų savo transporto priemonės įkrauna naktį. Taip daryti yra patogiu, nes grįžus į namus elektromobilį galima palikti krauti per naktį ir ryte jis būna su visiškai įkrauta baterija. Nereikalinga jokia papildoma infrastruktūra – krauti galima iš įprasto elektros lizdo. Tai taip pat aktualu ir elektros energijos tinklams, nes papildomas naudojimas naktį padeda išlyginti elektros energijos paklausos kreivę. Be to daugumoje šalių, šiuo atveju ir Lietuvoje, yra naudojamas dviejų laiko zonų elektros energijos tarifas – naktį krauti bateriją yra pigiau [4].

Elektromobilio Nissan Leaf ličio jonų akumulatoriaus baterijos konstrukciją sudaro 48 ličio jonų baterijų moduliai, kurių kiekviena sudaro po 4 sujungtas celes, o šios sudaro bendrą 393 V įtampą.

### 1.3 Baterijos ir salono šildymas vyraujant žemai lauko temperatūrai

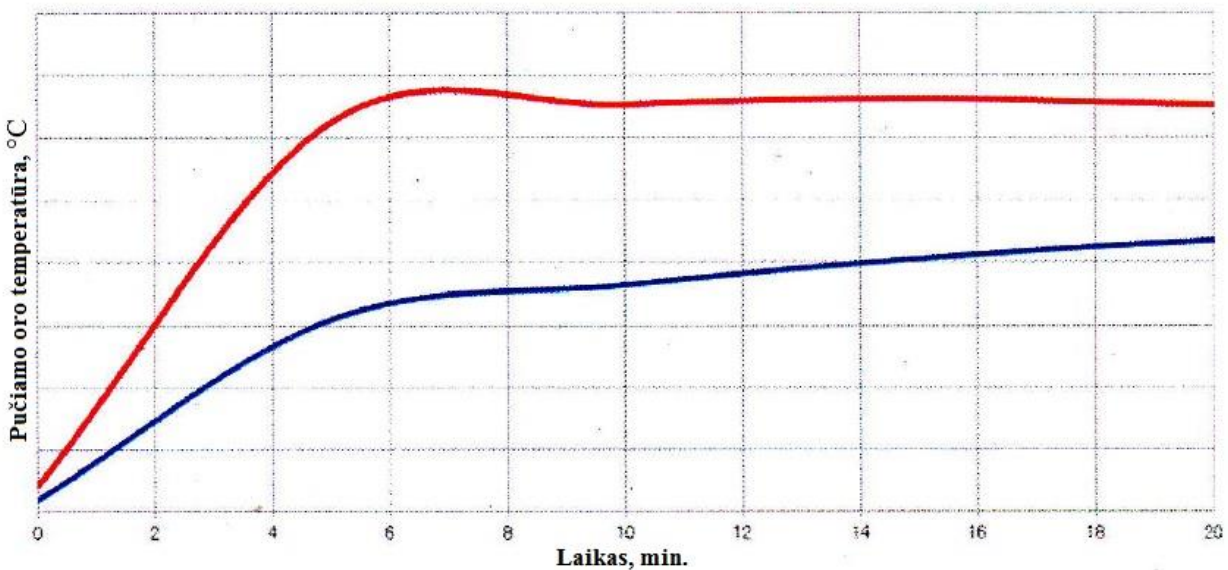
Elektromobilio baterijos įkrovimas vyraujant žemai lauko temperatūrai (temp. žemesnė nei 0 °) gali išaugti kelis kartus, jeigu krovimas vyksta greitojo krovimo režimu. Pavyzdžiui, jeigu baterija yra atšalusi, t.y. jos temperatūra pasiekia -20° C temperatūrą, jos įkrova iki 80 % ribos gali trukti iki 3

valandų. Siekiant užtikrinti, kad baterija neužšaltų yra rekomenduojama bateriją krauti iškart vos tik baigiamas elektromobilio eksploatavimas, kol baterijos temperatūra yra didesnė negu lauko temperatūra. Kaip kinta baterijos įkrovos laikas šaltu metu nurodytas 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Baterijos įkrovos laiko priklausomybė nuo vyraujančios lauko temperatūros [7]

Elektromobilių gamintojai siekdami išvengti baterijų užšalimo prie baterijos celių jungia specialius baterijos šildytuvus. Jie veikia kaip autonominio šildymo sistemos, todėl reikalauja nemažai el. energijos, rekomenduotina elektromobilio baterijos įkrovos lygį šaltu metu palaikyti kiek įmanoma didesnį. Šildymo elementas suveikia automatiškai kai lauko temperatūra pasiekia  $-20^{\circ}\text{C}$  temperatūrą ir energiją naudoja iš ličio jonų baterijos. Jeigu baterijos įkrovos lygis siekia apie 30 %, šildytuvus nebeveikia. Šildymo elementus geriausiai naudoti kai elektromobilio baterijos įkraunamos, tuomet reikiamas el. energijos kiekis yra tiekiamas tiesiogiai iš šakutės lizdo. Šildytuvus veikimo metu naudoja 300 W energiją.








1.3 pav. Ventilatoriaus pučiamo oro temperatūrų grafikas [7]

Anksčiau minėti šildymo elementai taip pat įdiegti prie kabinos ventiliatoriaus. Veikimo principas išlieka tas pats, tik įjungus baterijos šildymą, automatiškai įsijungia ir kabinos šildymas. Lyginant dyzelinio ir elektrinio variklio ventiliatoriaus pučiamo oro temperatūros šilimas aiškiai matomas 1.3 paveiksle (raudona linija – elektromobilio, mėlyna – dyzelinio variklio). Kabinos bei baterijos šildymas didina įveikiamos distancijos nuotolį.

Norint dar labiau padidint nuvažiuojamą atstumą rekomenduotina kabiną ir baterijas šildyti prieš kelionės pradžią. Tai galima daryti rankiniu būdu arba naudotis išmaniosiomis programėlėmis mobiliojo ryšio aparatuose, kompiuterio su internetu prieigos pagalba arba užrakto pultelyje esančiu mygtuku kol elektromobilis prijungtas įkrovai. Galimi šildymo variantai ir sąlygos pateikiamos 1.3 lentelėje [7].

1.3 lentelė [7]

Baterijų ir kabinos šildymo variacijos

		Laikmatis	Telekomunikacijos priemonės ir išmanusis raktelis		
			   		
Veikimo sąlygos		Įjungta įkrovos jungtis	←	Veikiant greitajai įkrovai	Kai išjungtas standartinis įkrovos režimas arba po greitojo įkrovimo
Energijos tiekimas		El. tinklas	←	Greitojo krovimo jungties	Ličio jonų baterija
Veiksmai	Pradžią	Aktyvuojama automatiškai likus 2 valandoms iki išvykimo	Uždavus komandą per išmanųjį telefoną arba kompiuterį. Taip pat išmaniojo raktelio mygtuko aktyvavimu.		
	Laikas	Iki išvykimo laiko	Daugiausiai 2 valandos	2 valandos arba kol baigiasi greitis įkrovimas	Daugiausiai 15 minučių

Įdiegtos sistemos ne tik gerina baterijos charakteristikas, tačiau gerina eksploataavimo sąlygas.

#### 1.4 Elektromobilių įkrovimo standartai ir įkrovimo tipai

Elektromobilių įkrovimo standartai yra reglamentuojami Tarptautinės elektrotechnikos komisijos (angliškai IEC). Pagrindinis šiuo metu naudojamas Europos Sąjungos teritorijoje yra IEC62196 standartas. Jis reglamentuoja naudojamas jungtis ir kabelius, taip pat ir įkrovimo režimus.

IEC62196 standarte įkrovimas nolatine srove (greitas) ir įkrovimas kintamąja srove (nuo buitinio tinklo) reglamentuojami atskirai. Pirmiausiai reikia suprasti, kad elektromobilio akumuliatorius yra nuolatinės srovės, o tinkle turime kintamą srovę. Taigi, elektromobilio įkrovimui privalome

konvertuoti (išlyginti) kintamą srovę į nuolatinę. Tam tikslui naudojamas įkrovimo prietaisas, kuris yra kiekviename elektromobilyje kaip neatsiejama jo dalis. Įkraunant elektromobilį nuo kintamos srovės stotelės, įkrovimo srovė apribojama ne tik pačios stotelės galingumu, bet ir įkraunamo elektromobilio įkrovimo prietaiso galingumu. Elektromobilio gamintojas visada nurodo maksimalios įkrovimo srovės reikšmę.

Įkraunant elektromobilį nuo nuolatinės srovės stotelės (greitas įkrovimas), pačio elektromobilio įkrovimo prietaisas tampa nereikalingas ir jis nedalyvauja šiame procese. Tada įkrovimo greitis priklauso nuo pačios stotelės parametrų. Greito įkrovimo stotelė susikommunikuoja su elektromobilio baterija, nuskaito jo parametrus (temperatūra, talpa ir pan.) ir valdo įkrovimo procesą, kontroliuoja baterijos būklę. Šiuolaikiniuose greito įkrovimo stotelėse įkrovimo įtampa yra 400 V, o įkrovimo srovė siekia 200 A (Tesla Supercharger). Nesunku apskaičiuoti galingumą –  $200\text{ A} \cdot 500\text{ V} = 100\text{ kW}$  [5].

Skirtingai nei automobiliai, varomi tradiciniais vidaus degimo varikliais, elektromobiliui nereikia ir jis negali naudoti benzino. Jis vartoja elektros energiją, sukauptą ličio jonų („Li-ion“) akumuliatoriuje. Automobilio ličio jonų akumuliatorius privalo būti įkrautas elektros energija prieš važiuojant automobiliu. Veikiant automobiliui ličio jonų akumuliatorius palaipsniui išsikrauna. Jei ličio jonų akumuliatorius visiškai išsikrauna, automobilis neveiks, kol akumuliatorius nebus vėl įkrautas. Įkrovimo procesas paprastai trunka maždaug nuo 30 minučių iki 15 valandų.

Elektromobilyje naudojami dviejų tipų akumuliatoriai. Vienas jų yra 12 voltų akumuliatorius, toks pat, koks naudojamas automobiliuose, varomuose benziniais ar dyzeliniais varikliais, o kitas yra ličio jonų akumuliatorius (aukštos įtampos).

12 voltų akumuliatorius tiekia maitinimą automobilio sistemoms ir funkcijoms, pvz., garso sistemai, papildomos saugos sistemoms, priekiniams žibintams ir priekinio stiklo valytuvams.

Ličio jonų akumuliatorius tiekia maitinimą elektros varikliui (traukos varikliui), varančiam automobilį. Be to, ličio jonų akumuliatorius įkrauna 12 voltų akumuliatorių.

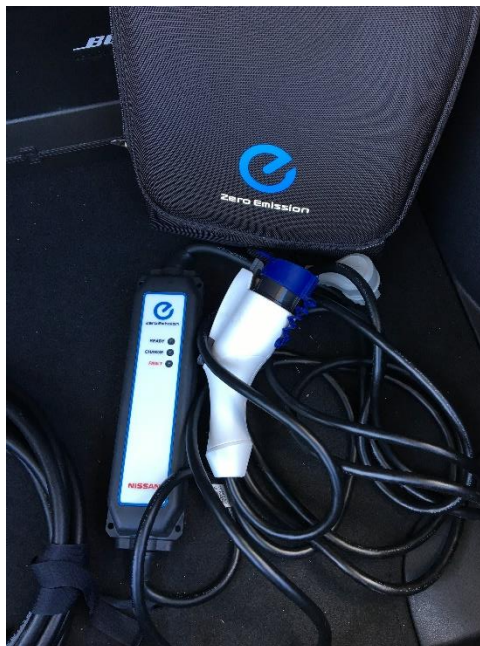
### **Įkrovos režimai**

Baterijų įkrovimo režimai apibrėžiami IEC62196 standartu ir numato keturis įkrovimo tipus:

- Mode 1 – naudojant kintamą srovę nuo buitinio tinklo;
- Mode 2 – naudojant kintamą srovę nuo buitinio tinklo su integruota apsauga į krovimo kabelį (1.4 pav.);
- Mode 3 – naudojant buitinio tinklo vienfazę arba trifazę srovę specialios paskirties jungtimi, kurioje realizuota kontrolė ir apsauga (1.5 pav.);
- Mode 4 – naudojant nuolatinę srovę specialios paskirties jungtimi – greitasis įkrovimas (1.6 pav.).

Pirmojo tipo įkrovimas Mode 1 šiuolaikiniuose elektromobiliuose nenaudojamas, kadangi neužtikrinamas saugumas.





1.4 pav. Nissan Evse įkrovimo kabelis

Mode 2 režimas vyksta naudojant įkrovimo kabelį, kuris komplektuojamas kiekviename elektromobilyje. Maksimali įkrovimo srovė nustatoma 16 A ir yra ribojama paprastos buitinės rozetės pralaidumu. Šakutės lizde yra būtinas tvarkingas įžeminimas (pvz.: su NISSAN LEAF tiekiamas 6 metrų ilgio kabelis, kuriuo prijungus elektromobilį prie 220 V standartinio buitinio elektros lizdo akumuliatorius įkraunamas per maždaug 10 valandų (10 A srovė). Šį kabelį galima naudoti ir jungiantis prie viešųjų įkrovimo punktų).



1.5 pav. Mode 3 tipo vienfazis 16A ir trifazis su 32A kabelis su Type ir Type2 jungtimis [4]

Režimas Mode 3 numato vienfazės arba trifazės įkrovimo stotelės naudojimą. Elektromobilis prijungiamas vienfaziu arba trifaziu kabeliu (priklausomai nuo elektromobilio konstrukcijos). Stotelės komunikavimas su elektromobiliu vyksta per kabelio spec. paskirties kontaktus.





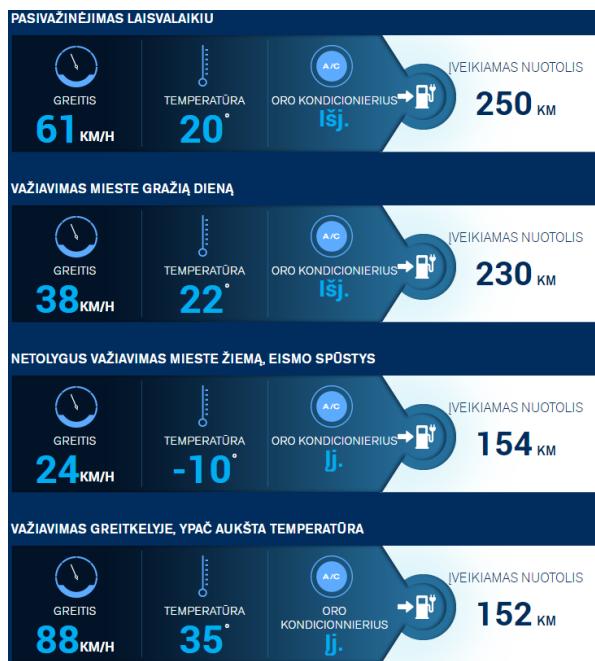
1.6 pav. Greitojo įkrovimo stotelė ir kabelis

Greitojo įkrovimo režimas Mode 4 pasižymi brangiu įrengimu ir yra sunkiai prieinamas buitiniam vartotojui. Dažniausiai montuojamos viešose vietose ir palaiko du skirtingus įkrovimo standartus. (Pvz.: NISSAN greitojo įkrovimo punkte NISSAN LEAF akumuliatorių nuo 0 % iki 80 % galima įkrauti vos per 30 minučių.). Greitajam įkrovimui naudojamos viešos įkrovimo stotelės (iki 50 kW galios). Ličio jonų akumulatoriaus temperatūros matuoklis gali būti naudojamas numatyti apytikslį laiką, per kurį ličio jonų akumuliatorius įkraunamas po to, kai jis išsikrauna (dega senkančio akumulatoriaus įkrovimo iespėjamoji lempūtė), iki 80 % įkrovos lygio. Naudojant šiuos įrenginius, akumuliatorius įkraunamas greičiausiai; įkrovimo laikas gali skirtis, jis automatiškai nustatomas, priklausomai nuo akumulatoriaus temperatūros [2,4].

### **1.5 Važiavimo nuotolis ir ličio jonų akumulatoriaus eksploatavimo laikas**

Kaskart įkrovus akumuliatorių galima nuvažiuoti daug toliau, galima imtis įvairių priemonių. Vienas būdas – automobilio salone palaikyti nuosaikią temperatūrą. Kitas – elektromobilio saloną įšildyti/atvėsinti prieš baigiant krauti. Tai galima nustatyti išmaniuoju telefonu arba tiesiog įjungti laikmatį automobilyje.

Važiavimo nuotolis ilgėja, jeigu važiuojama mažesniu ir pastoviu greičiu arba naudojama taupiuoju režimu (1.7 pav.). Reikia nepamiršti, kad: kaskart stabdant elektros variklis veikia kaip generatorius ir energiją, kuri šiaip būtų be tikslo išseikvota, verčia akumuliatoriaus energija [3].



1.7 pav. Elektromobilio Nissan LEAF įveikimo nuotoliai skirtingais eksploataavimo režimais [3]

Ličio jonų akumulatoriaus geba išlaikyti įkrovą, kuri kaip ir visų akumuliatorių, mažėja, didėjant akumulatoriaus amžiui ir naudojimui trukmei, dėl to naudotas automobilis gali nuvažiuoti trumpesnę atstumą nei naujas. Tai yra įprastas ir tikėtinas reiškinys ir jei taip atsitinka, nereiškia, kad automobilis ar ličio jonų akumulatorius sugedo.

Ličio jonų akumulatoriaus gebai išlaikyti įkrovą gali turėti įtakos tai, kaip vairuojamas automobilis, kokiomis sąlygomis jis laikomas pastatytas, kaip ir koku tipu įkraunamas ličio jonų akumulatorius ir kokia yra ličio jonų akumulatoriaus temperatūra važiuojant automobiliu bei jį įkraunant.

Kad būtų užtikrintas maksimalus važiavimo automobiliu nuotolis, rekomenduojama naudoti numatytąjį nustatymą: ilgų atstumų režimą (100 % įkrovimo). Norėdami užtikrinti maksimalų akumulatoriaus naudojimo laiką, elektromobilį reikėtų vairuoti ir įkrauti laikantis žemiau pateiktomis rekomendacijomis:

- Rekomenduotina naudoti iki 80 % ilgo naudojimo įkrovimo režimą.
- Prieš iš naujo įkraunant baterijas, leiskite įkrovos lygiui nukristi žemiau 80 % ribos.
- Reikia vengti ilgesnį laiką laikyti įkrovą didesnę nei 80 %. Ketinant nevažiuoti automobiliu ilgesnį laiką, prieš pastatant jį reikia įkrauti naudojantis 80 % ilgo naudojimo režimą, po to atjungus įkrovimo laidą ir tikrinti įkrovos lygį kas 3 mėnesius.
- Nepalikti automobilio ilgiau nei 14 dienų su labai maža akumulatoriaus įkrova.
- Prižiūrėti, kad nebūtų pasiekta aukšta akumulatoriaus temperatūra (rodoma akumulatoriaus temperatūra matuoklio raudonoje zonoje), dažnai naudojant DC greitojo įkrovimo funkciją.
- Venkti statyti automobilį ten, kur ypač aukšta arba ypač žema temperatūra (aukštesnė nei 49 °C (120° F) arba žemesnė nei -25° C (-13° F)).
- Vairuokite ramiai, pvz., naudodami važiavimo režimą ECO (Ekonomiškas).

Sumažėjusi lauko temperatūra gali paveikti elektromobilio nuvažiuojamą atstumą dėl sumažėjusios baterijos talpos. Kai lauko temperatūra nukrenta iki  $-20^{\circ}\text{C}$ , elektros baterijos gyvavimo laikas gali sumažėti. Taip pat dėl žemos temperatūros gali sulėtėti cheminiai procesai, kurie lemia mažesnę įveikiamą atstumą su pilnai pakrauta baterija. Papildomai, dažnai elektros energija yra naudojama salonui šildyti šaltuoju metų laiku. Tačiau apie tai elektromobilių gamintojai yra pagalvoję – šiuo metu egzistuojančios pakrovimo sistemos yra gana išmanios ir leidžia nustatyti kada vartotojas norėtų, kad jų elektromobilis būtų paruoštas važiavimui. Tai reiškia, kad, kol elektromobilis vis dar yra įjungtas į elektros tinklą, pakrovimo sistema pasirūpins, kad salonas būtų pašildytas prieš važiavimą. Kiti modeliai turi alternatyvą salono šildymui – vietoj šilto oro generavimo, šildomas yra vairas bei keleivių sėdynės, tai leidžia sutaupyti iki 90 % baterijų energijos palyginus su įprastu salono šildymu. Nemažai elektromobilių testų buvo atlikta Suomijoje ir Kanadoje - kur žiemos būna ypač šaltos, tačiau didesnių bėdų nei apie 30 % sumažėjęs nuvažiuojamas atstumas nebuvo. Be to, žiemą problemų atsiranda ir vidaus degimo variklius turintiems automobiliams [4].

## **1.6 Stabdžių regeneracijos sistema**

Regeneracinių sistemų paskirtis yra kaip įmanoma mažiau įtakoti baterijų iškrovimą, o esant tam tikroms eksploataavimo sąlygoms netgi kaupti el. energiją į bateriją.

Automobilio sistema gali užtikrinti didesnę nuvažiuojamą atstumą, konvertuodama varomąją galią į elektros energiją, kuri yra kaupiama ličio jonų akumuliatoriuje, kai automobilis lėtėja arba važiuoja nuokalne. Taip veikia stabdžių regeneracijos sistema.

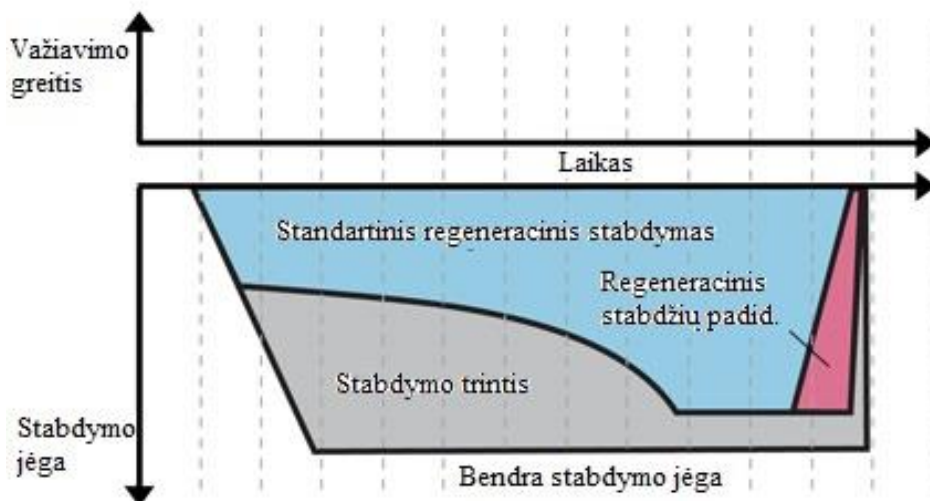
Pagrindinė stabdžių regeneracijos sistemos paskirtis – tiekti dalį energijos ličio jonų akumuliatoriui įkrauti ir didinti nuvažiuojamą atstumą. Antrinė sistemos paskirtis – sukurti „stabdymo varikliu“ efektą, kuris veikia, priklausomai nuo ličio jonų akumuliatoriaus būklės. Esant įjungtai D (Važiuoti) padėčiai, kai atleidžiamas akseleratoriaus pedalas, stabdžių regeneracijos sistema šiek tiek sulėtina greitį, o dalis energijos tiekama ličio jonų akumuliatoriui. Stabdžių regeneracijos sistemos veikimo lygis yra skirtingas, priklausomai nuo ličio jonų akumuliatoriaus įkrovos būsenos.

Perjungus pavarų svirtį į padėtį ECO (Ekonomiškas) arba B (jei įrengta) ir nuėmus koją nuo akseleratoriaus pedalo, stabdžių regeneracijos sistemos panaudojimo lygis yra didesnis, nei važiuojant perjungus į padėtį D (Važiuoti). Tačiau važiuodami dideliu greičiu galite pastebėti, kad stabdžių regeneracijos sistema stabdo automobilį silpniau, nei stabdant varikliu įprastą automobilį. Tai įprasta.

Stabdžių regeneracijos sistema mažiau lėtina automobilį, kai ličio jonų akumuliatorius yra visiškai įkrautas. Stabdžių regeneracijos galia automatiškai mažinama, kai ličio jonų akumuliatorius yra visiškai įkrautas, kad būtų išvengta ličio jonų akumuliatoriaus perkrovimo. Stabdžių regeneracijos galia automatiškai mažinama ir tada, kai akumuliatoriaus temperatūra yra aukšta arba žema (rodoma akumuliatoriaus temperatūros matuoklio rodmenų atitinkamai raudonoje arba mėlynoje zonoje), kad nebūtų sugadintas ličio jonų akumuliatorius. Norint sumažinti greitį ar sustabdyti automobilį,

priklausomai nuo eismo ir kelių sąlygų, reikia naudoti stabdžių pedalą. Automobilio stabdžiams veikianti stabdžių regeneracijos sistema įtakos neturi.

Naudojant stabdžių regeneracijos sistemą gali pasigirsti jos skleidžiamas garsas. Tai yra įprastinė elektromobilio veikimo charakteristika.



1.8 pav. Stabdžių regeneracinės sistemos veikimo diagrama

Stabdant stabdymo jėga sudaroma iš regeneracinės 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 (1.8 pav.). Kai važiavimo greitis tampa mažesnis už stabdymo jėgą, kuri yra generuojama regeneracinės sistemos. Stabžio pedalo valdymo daviklio, automobilio greičio ir baterijos įkrovos lygio duomenys yra svarbiausi parametrai regeneracinės sistemos veikimui [7].

## 2 MOKSLINIŲ STRAIPSNIŲ ANALIZĖ

Elektromobilių gamintojai masinėje transporto priemonių gamyboje naudoja ličio jonų akumuliatoriaus baterijas, tačiau pagrindinis išliekantis uždavinys yra elektromobilio įveikiamas atstumas po visiško baterijų įkrovimo. Yra žinoma, kad elektromobilių įveikiamo atstumo nuotolį lemia ne tik vyraujanti lauko temperatūra, tačiau ir įkrovos tipas bei vairavimo stilius ir kelio sąlygos. Elektromobilių gamintojai svarsto kaip pagerinti šių baterijų veikimą įvairiomis sąlygomis, todėl yra atliekama begalė bandymų.

### 2.1 Elektromobilio baterijų statinio talpumo testas

2013 – aisiais metais, tyrėjų grupė iš Harbino miesto universiteto, atliko tyrimus siekiant išsiaiškinti kaip kinta elektromobilių baterijų įkrovimo ir iškrovimo greitis, darbinė temperatūra, savaiminis išsikrovimas ir baterijų ilgaamžiškumo įtaka įkrovos lygiui. Nagrinėjamas parametras apibūdinamas kaip įkrovos būseną (SOC – angl. State of charge). Šis parametras gali būti taikomas įvairiose srityse ir apibūdinamas kaip svarbus parametras, įvertinantis likutinę baterijų įkrovos būseną. Parametras įvertinamas surinkus baterijos charakteristinius duomenis, kaip įtampa ir el. srovė bei darbinė temperatūra. Maitinimo baterijos SOC vertinimas ir tikslumas yra labai svarbūs, todėl kuriant baterijų dizainą gali būti daromos prielaidos [9].

Mokslininkų grupė [9] įvedė matematinę išraišką, apibūdinančią prieš tai aptartą SOC parametą, kuris gali būti išreiškiamas kaip likusios galios santykis su nominalia baterijos sukuriama galia (2.1 formulė):

$$SOC = 1 - \frac{P_{iškrovimo}}{P_{nominali}} \quad (2.1)$$

čia:

$P_{iškrovimo}$  – iškrovimo galia, kW;

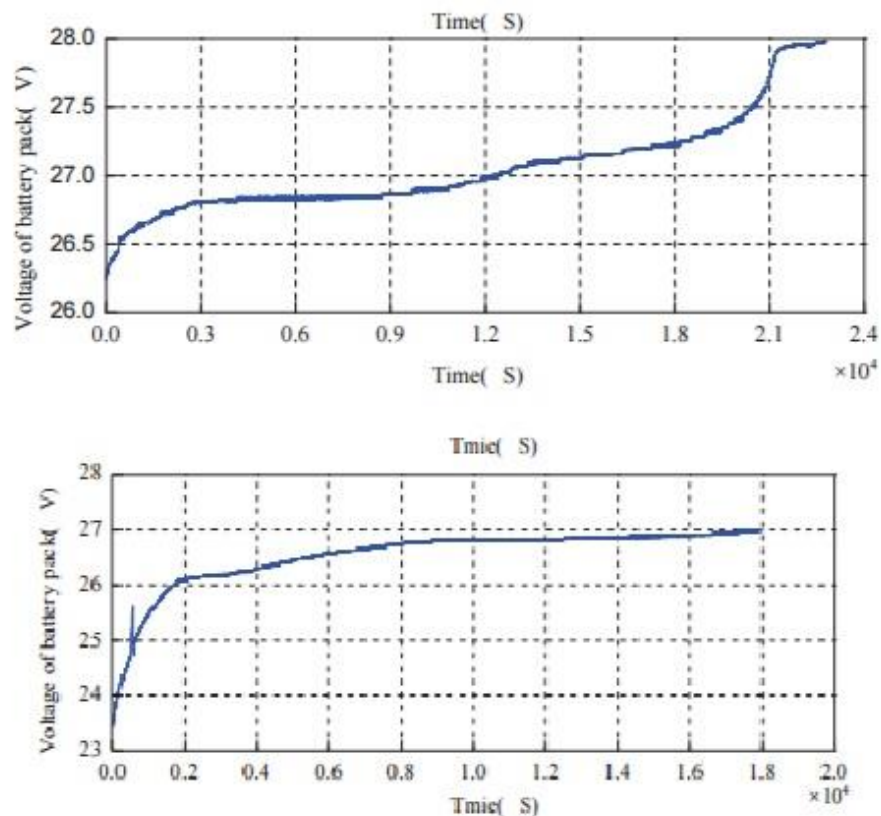
$P_{nominali}$  – nominali baterijos sukuriama galia, kW [9].

Kinijos Liaudies [10] Respublikos mokslininkai ištyrė baterijų įkrovos ir iškrovos būsenai įvertinti skirtus metodus, trumpai apie juos:

- Baterijos iškrovos metodas – patikimiausias SOC skaičiavimo metodas, kuris naudoja pastovią srovę nuolatiniam baterijos iškrovimui. Apibrėžiamas iškrovimo srovės santykiu pagal laiką. Metodas dažniausiai naudojamas laboratorijose ir turi du trūkumus. Vienas iš jų, kad reikalingas ilgas laiko tarpas kol baterija nustoja veikti ir kitas, kad tai sukelia priverstinį baterijos darbo nutrūkimą. Metodas netinkamas naudoti elektromobiliui judant.
- Ampervalandžių (Ah) vartojimo metodas – SOC įvertinimui naudojama apkrovos srovė. Jeigu realiu metu matuojama iškrovimo srovė tiksli ir yra pakankamai duomenų nuo tyrimo pradžios, tuomet tai paprasčiausias ir stabiliausias įvertinimo metodas.

- Sisteminis metodas – pats seniausias metodas. Kadangi baterija yra netiesinė sistema, kuriai sunku nustatyti matematinį įkrovimo ir iškrovimo modelį, modelio pagalba imituojamos dinaminės baterijos charakteristikos. SOC įvertinamas komp. programos parašytu tekstu, įvedus įtampos, srovės, nominalios galios, lauko temperatūros parametrus. Gauti įvesties duomenys vertinami įvedus įverčio paklaidas.
- Kalmano filtravimo metodas – tai duomenų filtravimo metodas pagal netiesines lygtis naudojantis matematine dispersija. Metodas taikomas įvairių rūšių baterijoms, palyginti su kitais metodais ypač tinka hibridinių jėgainių baterijoms. Galima ne tik apskaičiuoti SOC, tačiau ir įvertinti jo paklaidas. Vienintelis trūkumas – aukšti reikalavimai.

Bandymų metu buvo bandoma išsiaiškinti kaip galima pagerinti SOC rodiklį. Eksperimento bandiniu pasirinktas 24 V įtampos ir 100 Ah talpos ličio jonų baterija, kuri įkraunama nuolatinės 35A ir 50A srove, gauti duomenys pateikti 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Baterijos įkrovos rezultatai [9]

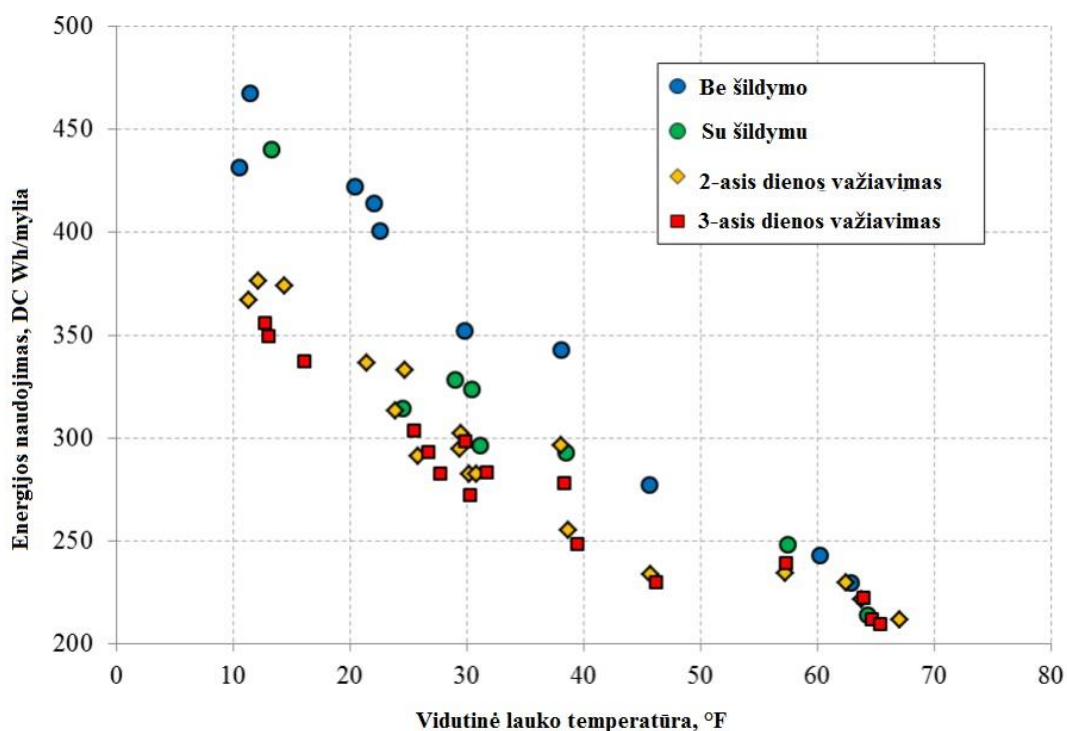
Pagal gautus rezultatų duomenis daroma išvada, kad baterijos įkrovos el. stiprio dydis yra atvirkščiai proporcingas sužadinamai įtampai maitinimo baterijoje, t.y. įkraunant bateriją 35A nuolatine srove sužadinama įtampa siekia 28V, o įkraunant 50A srove – 27V riba.

Atsisžvelgiant į tyrimų metodus galima teigti, kad įkrovos lygio būsenos parametras įvertinamas tiesiogiai nuo pasirinkto metodo rūšies. Pagal praktinius taikymus, Ah – ampervalandžių skaičiavimo metodas yra dažniausiai naudojamas metodas. Jis dažniausiai derinamas su kitais nustatymo

metodais. Sisteminis ir Kalman filtravimo metodai yra perspektyvesnio požiūrio metodai taikomi šiūdienos plėtrai, nors dar nėra pilnai išstobulinti. Akumulatoriaus įkrovimo ir iškrovimo lygis, temperatūra, savaiminis išsikrovimas ir ilgaamžiškumas turi didelį poveikį SOC vertinimui. Sparčiai tobulėjant technologijoms ir el. variklio darbo sąlygoms yra labai sunku įvertinti baterijų statinę įkrovos būseną [9, 10].

## 2.2 Lauko temperatūros įtaka elektromobilio važiavimo efektyvumui

Aidaho (JAV) Nacionalinės laboratorijos mokslininkai 2016 – ujų metų vasario – gegužės mėnesių laikotarpiu atliko bandymus siekiant nustatyti šalčio poveikį elektromobilio vairavimo efektyvumui. Tyrimo objektu pasirinktas 2015 – ujų metų laidos Nissan Leaf automobilis, kurio baterijų nominalus talpumas siekia 24 kWh. Elektromobilis buvo laikomas ir kraunamas atviroje parkavimo aikštelėje. Tyrimui atlikti buvo naudojamosi vieno vairuotojo paslaugomis, sudarius maršrutą, kuris susideda iš kaimo, miesto ir plento darinio. Bandymų laikotarpiu maršrutas kiekvieną dieną įveikiamas kelis kartus siekiant suprasti energijos suvartojimą ir įveikiamo nuotolio ribas, svyruojančias nuo elektromobilio komponentų darbinės temperatūros. Gauti duomenys įrašinėjami ir apdorojami tam skirtomis programinėmis įrangomis. Kadangi bandymų laikotarpiu temperatūra kito nuo 11 iki 73 °F (nuo -12 iki 23° C), elektros energijos suvartojimas ir įveikiamo nuotolio diapozonas smarkiai svyravo. Šalčiausią dieną Nissan Leaf automobilis vartojo net 467 Wh vienai myliai įveikti, o nuvažiuotas nuotolis su pilnai įkrauta baterija siekė tik 50 mylių, t.y. ~ 80.46 km. Šilčiausiu metu atlikto važiavimo rezultatai nestebino, kadangi žinoma, kad didėjant lauko temperatūrai el. energijos suvartojimas linkęs mažėti. Nuvažiuotas atstumas siekė 90 mylių, t.y. ~ 144.84 km.

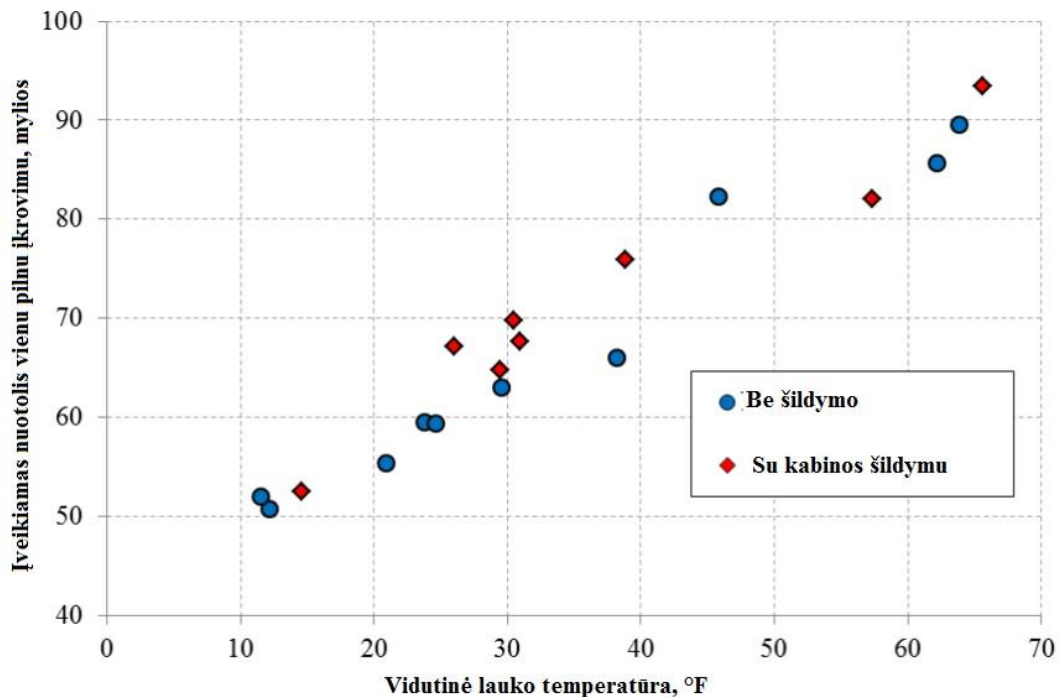


2.2 pav. Energijos vartojimo priklausomybė nuo lauko temperatūros [11]



Bandymų eiga ir sąlygos:

- Visus bandomuosius važiavimus atlieka vienas ir tas pats vairuotojas;
- Automobilyje nėra jokio krovinio;
- Važiavimų metu kruizo kontrolė išjungta dėl sudėtingų eismo sąlygų;
- Naudojami tik artimųjų žibintų ir klimato kontrolės prietaisai;
- Prieš bandymus paliktas lauke stovėti 24 valandas;
- Bandymai atlikti kai kelio dangą švariai nuvalyta, nėra sniego ar šlapdrībės;
- Šildomas vairaratis ir sėdynės išjungtos bandymo metu;
- Prieš testavimą 30 minučių naudojamas autonominis klimato kontrolės laikmatis, skirtas pašildyti elektromobilio kabiną ir bateriją.



2.3 pav. Įveikiamo nuotolio priklausomybė nuo lauko temperatūros [11]

Pagal gautus rezultatus (2.2 ir 2.3 paveikslai) matome, kad šiltėjant lauko temperatūrai arba iš anksto pašildžius elektromobilio kabiną ir bateriją mažėja vidutinės el. sąnaudos kelio nuotolio vienetui bei didėja įveikiamo atstumo diapozonas [11, 12].

### 2.3 Realus elektromobilių įkrovos ir iškrovos valdymas hibridinės energijos kaupimo metu

Mičigano ir Korėjos Respublikos mokslininkai atliko tyrimą, kurio tikslas suprojektuoti ir įvertinti realaus laiko baterijų įkrovos ir iškrovos valdymą bei pratęsti baterijų gyvavimo ciklą skaičių remiantis fizinėmis jų savybėmis.

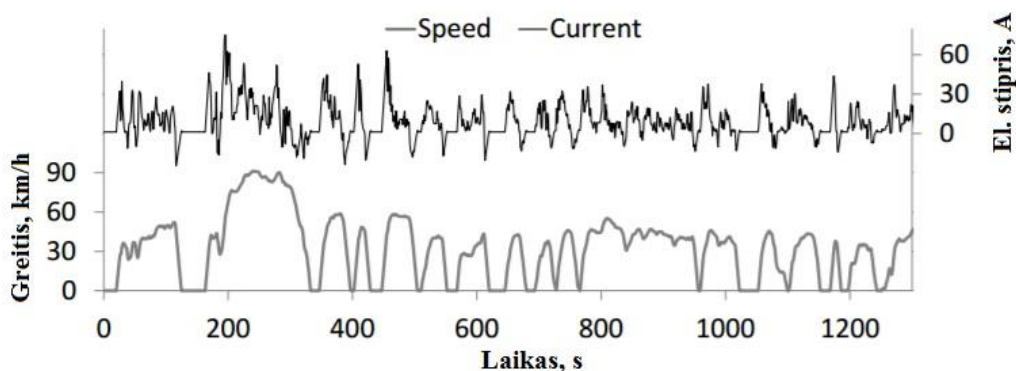
Elektrines transporto priemones paprastai maitina daug baterijos akumuliatoriaus celių, kurioms reikalinga veiksmingai funkcionuojanti baterijos valdymo sistema (BMS – angl. Battery management system). Sistema padeda apsaugoti baterijų celes nuo grubių sąlygų kol efektyviai teikiama



reikiama galia. Bandymų metu pirmiausiai fiksuojamos fizikinės elektromobilio dinaminės savybės, įtakojančios akumuliatoriaus baterijos įkrovos ir iškrovos greitį. Pavyzdžiui, regeneracinės stabdymo sistemos (RBS – angl. Regenerative braking system) sukuriama ir kaupiama energija sukelia el. srovės šuolius baterijoje, kurie mažina baterijos ilgaamžiškumą. Remiantis energijos kaupimo sistemos veikimo principu parengiamos manipuliacinės įkrovos ir iškrovos valdikliai pritaikyti su specialiai paruoštu algoritmu. Atlikus bandymus gauta, kad siūlomas iškrovos ir/ar įkrovos lygio valdymas pagerina baterijos ilgaamžiškumą iki 37.7 % su papildomomis mažomis išlaidomis lyginant su energijos kaupimo sistemomis.

Elektromobilis turi įdiegtą regeneracinę stabdžių sistemą (RBS), kuri panaudoja gaunamą stabdymo energiją ličio jonų baterijos įkrovai. Stabdymo metu RBS konvertuoja automobilio kinetinę energiją į el. energiją kuri perduodama į bateriją ir naudojama automobilio jėgainei.

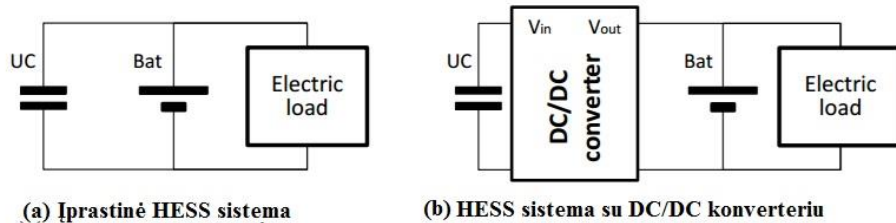
Bandymų metu buvo siekiama išsiaiškinti kokią įtaką RBS daro energijos kaupimo sistemoms. Pagal gautus rezultatus (2.4 pav.) matome, kad elektromobilio greičiui kintant 0-90 km/h greičio diapozone iškrovimo srovės dydis kinta -20-70 A diapozone.



2.4 pav. Elektromobilio maitinimo srovės priklausomybė nuo važiavimo greičio [13]

Kaip buvo minėta anksčiau, baterijos gyvavimo ciklas mažėja atsiradus el. srovės šuoliams, atsiradusiems veikiant RBS sistemai. Norint išspręsti šia problemą, mokslininkai montuoja ultra kondensatorius (UCS) kaip papildomą sistemą į BMS. BMS su UCS sudaro hibridinę energijos saugojimo sistemą (HESS – angl. Hybrid Energy Storage System). Sistema veikia amortizatoriaus principu, sklandžiai ir greitai sugerdamas kylančius svyravimus, taip pat panaudodama UCS savybes, kaip galios ir energijos tankis pagreitina momentinių el. energijos pertrūkių perdavimą iš RBS. Vienintelis minusas – didelė sistemos savikaina. Techninės UCS charakteristikos pateikiamos 2.1 lentelėje.

Atlikus papildomus tyrimus nustatyta, jog HESS sistemą prijungus tiesiogiai prie baterijos (2.5 pav.), UCS veikia kaip filtras ir praleidžia mažus energijos šuolius sumažindamas baterijos iškrovą. Tačiau HESS jungiant prie DC/DC konverterio su baterija sumažinami įtampos šuoliai iki 20 %, o baterijos ilgaamžiškumas didėja iki 13 %.



2.5 pav. Hibridinės energijos saugojimo sistemos schema [13]

2.1 lentelė

Ličio jonų ir Ultra kondensatoriaus charakteristikos [13]

Tipas	Ultra kondensatorius	Ličio jonų baterija
Galios tankis, W/kg	100-10000	80-2000
Energijos tankis, Wh/kg	1-10	60-150
Išlaidos, USD/WH	10.3	3.7

Siekiant padidinti elektromobilių rinkos paklausą ir padaryti elektromobilius finansiškai prieinamus, baterijų valdymo sistemos turėtų atlaikyti grubius įkrovos ir iškrovos normų pakitimus, kurie žymiai paveikia baterijų darbą. Eksperimento metu nustatyta, kad efektyvų baterijos valdymą galima pasiekti naudojant papildomas HESS sistemas, mažinančias el. energijos sunaudojimo kaštus. Sistemos tobulinimas pagerintų baterijos darbo efektyvumą nedidinant jos sąnaudų [13,14, 19].

## 2.4 Eksperimentinis baterijos energijos patikimumo tyrimas

Elektros inžinerijos departamento mokslininkai iš Monrealio miesto 2009 – aisiais metais tyrė kaip galima pagerinti ir lengvai pritaikyti dinaminį baterijos modelį jų naudojimui. Įkrovos ir iškrovos energija baterijos modeliui patvirtinta eksperimentiškai su keturiais skirtingais baterijų tipais, t.y. švino rūgšties (Pb-Acid), nikelio kadmio (NiCd), ličio jonų (Li-ion) ir nikelio metal idrido (NiMH). Bandymų metu naudojamos gamintojo nustatytomis iškrovos kreivėmis, užtenka naudotis tik po tris kreivės duomenų taškus siekiant nustatyti reikiamus parametrus. Sukurtas dinaminis baterijos modelis apdorojamas programinės įrangos pagalba ir naudojamas elektromobilio simuliacijai remiantis hibridinės jėgainės baterijų maitinimo šaltiniais. Gauti rezultatai patvirtina iškeltus tyrėjų tikslus ir atspindi dinamišką baterijos energijos patikimumą.

Standartinė nikelio metal hidrido baterijų iškrovos kreivė pateikta 2.6 paveiksle. Iškrovos kreivės labai panašios į Šepardo modelį, galinčios apibūdinti baterijų energijos įtampų kaitą, kai esami duomenys kinta nepaisant atviros el. grandinės ir įkrovos būsenos. Akumuliatorių baterijose kintama įtampa apskaičiuojama pagal 2.2 formulę:

$$U_{batt} = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} \cdot it - R \cdot i + A_{exp} \cdot (-B \cdot it) - K \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* \quad (2.2)$$

čia:

$U_{batt}$  – baterijos įtampa, V;

$E_0$  – pastovi baterijos įtampa, V;

$K$  – poliarizacijos konstanta, V/Ah; arba poliarizacijos varža,  $\Omega$ ;

$Q$  – baterijos talpumas, Ah;

$it$  – reali baterijos įkrova, Ah;

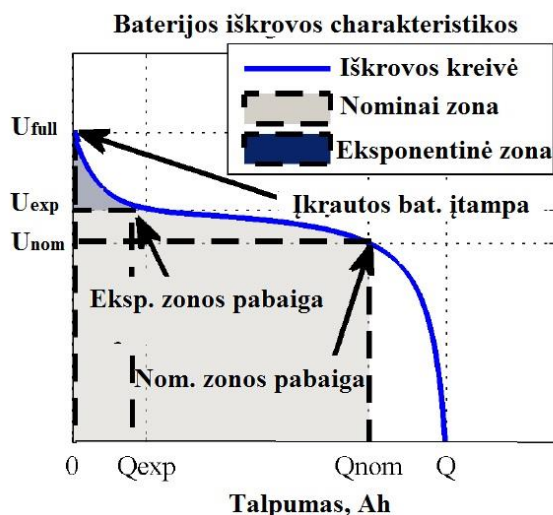
$A$  – eksponentinė amplitudė, V;

$B$  – eksponentinė laiko zonos inversija ( $\text{Ah}$ )<sup>-1</sup>;

$R$  – savitoji varža,  $\Omega$ ;

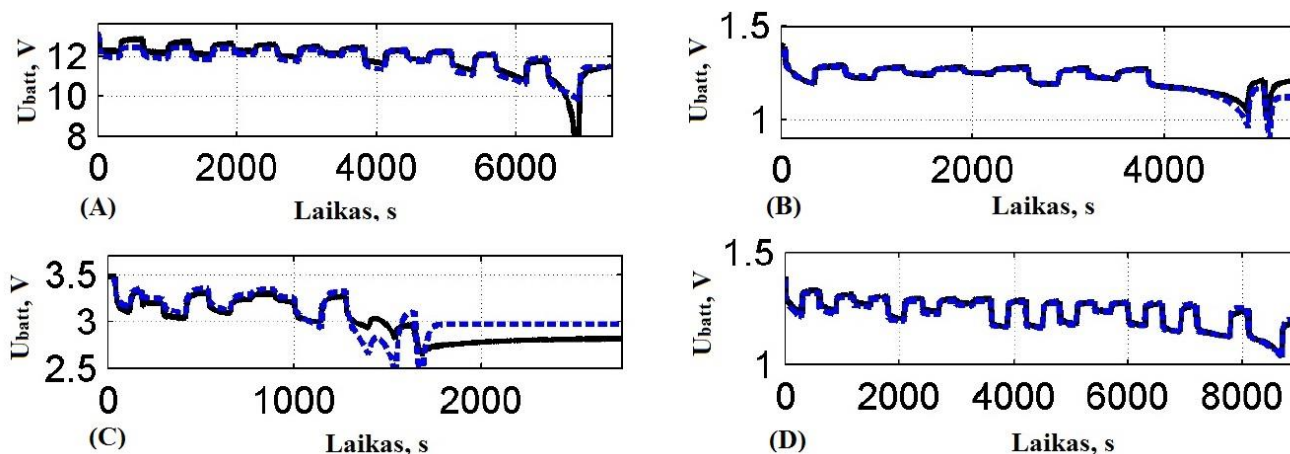
$i$  – savitasis baterijos el. stipris, A;

$i^*$  – filtruotas baterijos el. stipris, A [14].



2.6 pav. Standartinė iškrovos kreivė [14]

Apibūdinto modelio specifika nustato naudojamą filtruotą srovės dydį. Eksperimentiniai rezultatai rodo (2.7 pav.) lėtą įtampos dinaminį kitimą nuo momentinės apkrovos dydžio.



2.7 pav. Tyrimo rezultatai [14]

Tyrimo metu gauti rezultatai rodo, kad švino rūgšties bateriją, kurios talpumas 7.2 Ah iškraudinėjant nuolatine srove beveik dvi valandas baterijos savitoji įtampa kinta 8-12 V ribose.

Nikelio kadmio bateriją, kurios talpumas siekia 2.3 Ah iškraudinėjant pusantros valandos pasiekama savitoji baterijos įtampa kinta 0.8-1.4 V ribose.

Ličio jonų baterijos celę, kurios talpumas siekia 2.3 Ah iškraudinėjant apie vieną valandą pasiekama savitoji baterijos įtampa kinta 2.5-3.4 V ribose.

Nikelio metal hidrido bateriją, kurios talpumas siekia 6.5 Ah iškraudinėjant dvi su puse valandos pasiekama savitoji baterijos įtampa svyruoja 1.1-1.4 V ribose.

Tyrimų rezultatai įrodo, kad iš gamintojo teikiamų iškrovos kreivių pasirinkus bet kuriuos tris atskaitos taškus galima nustatyti dinaminį baterijos energijos patikimumą. Žinant baterijos patikimumą galima reguliuoti arba kurti patikimesnes baterijų valdymo sistemas efektyvesniam objekto naudojimui [15, 16, 17, 18].

### 3 EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR METODIKA

Eksperimentinio tyrimo tikslas – ištirti kaip kombinuotas komforto prietaisų naudojimas veikia ličio jonų akumulatoriaus baterijų iškrovimą eksploatacijos metu. Todėl norint atlikti tyrimą reikia surinkti kuo daugiau duomenų. Tyrimui įgyvendinti buvo derinti keli duomenų rinkimo prietaisai, gebantys matuoti tam tikrus parametrus vienu metu. Taip pat buvo sudarytas specialus maršrutas, kuriuo siekiama sukurti kuo realesnes sąlygas kasdieninio eksploataavimo metu.

#### 3.1 Tyrimo objektas


Eksperimentinio tyrimo objektu buvo pasirinkta 3 – iosios kartos elektromobilio ličio jonų akumulatoriaus baterijos (Li – ion). Pasirinktų baterijų charakteristikos yra pateikiamos 3.1 paveiksle.

	Nominali įtampa, V	397
	Nominalus talpumas, kWh	30
	Baterijos celių sk.	48
	Baterijos celių išdėstymas	$(4 - 4 - 2 - 2) \times 2 + 24$
	Gabaritiniai matmenys	1547 x 1188 x 264
	Svoris, kg	275.0
	Sukuriamą galia, kW	>80

3.1 pav. Elektromobilio ličio jonų baterijos charakteristikos [2, 7]

Ličio jonų baterija pasižymi itin dideliu talpumu, todėl būtent šio tipo baterijos buvo tiriamos sudarant kuo realesnes eksploataavimo sąlygas.

Bandymui pasirinktas ličio jonų baterijas galima rasti įmontuotas bene pačiame populiariausiame pasaulyje esančiame Nissan Leaf markės automobilyje. Pasirinkto elektromobilio charakteristikos pateikiamos 3.2 paveiksle.

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

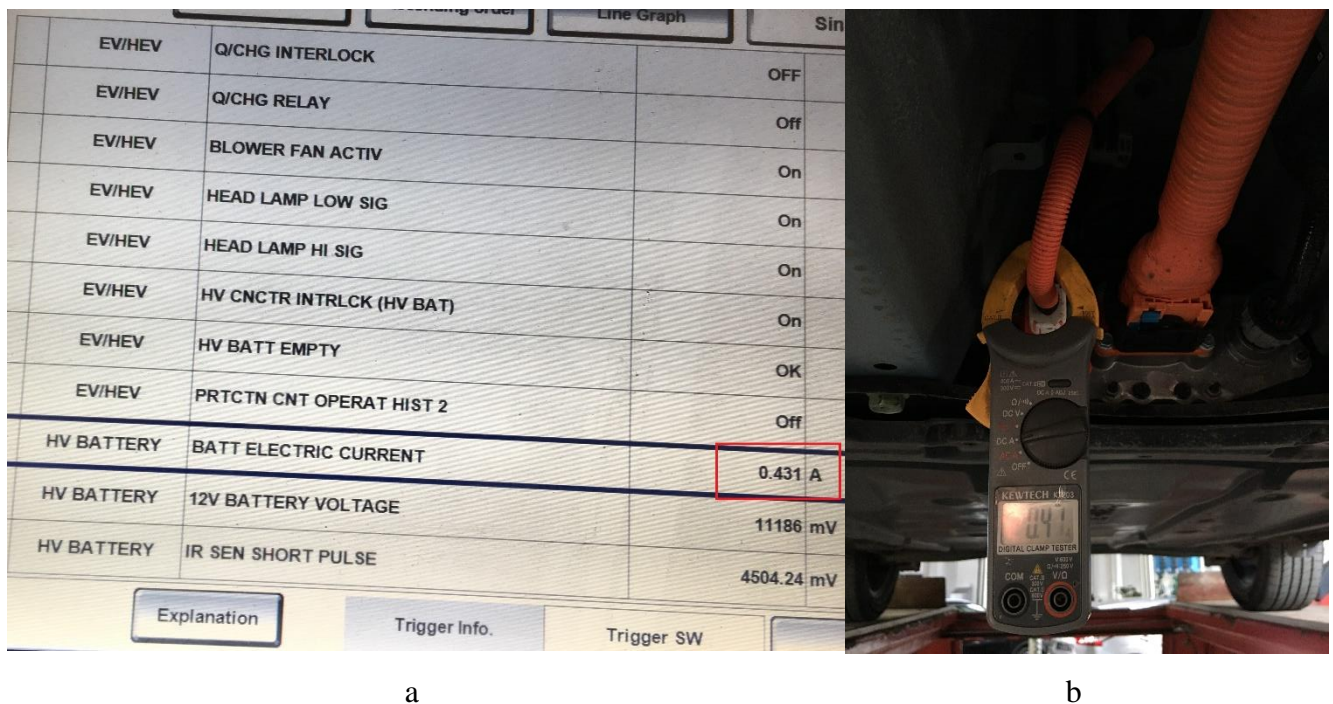
3.2 pav. Elektromobilio techninės charakteristikos [2, 7]

Pasirinktas elektromobilis yra dinamiškas, pasižymintis žemu svorio centru, bei judrus miesto automobilis.

### 3.2 Eksperimentinių tyrimų eiga ir sąlygos

Eksperimentinis baterijų veikimas, t.y. įkrovimo ir iškrovimo įtaka eksploatuojant, analizuojama užduodant elektromobiliui realias eksploatavimo sąlygas prieš tai jas įkrovus greitojo įkrovimo stotelės pagalba.

Eksperimento bandymų pradžioje buvo įvertintas baterijų iškrovos dydis jį matuojant realiu metu naudojantis srovės replėmis ir diagnostine įranga. Bandomasis baterijos iškrovos matavimas buvo atliekamas sužadinus el. variklio srovę, taip pat įjungus kai keletą komforto zonų kaip: artimųjų šviesų žibintai, oro kondicionierius ir radijas. Kadangi el. jėgainė nesukuria galios elektromobilio riedėjimui, todėl iškrovimo srovė srovės replėmis buvo matuojama plonesniojo, t.y. laido, kuris tiekia el. srovę elektromobilio kabinos prietaisams maitinti. Bandymo metu gauti duomenys rodo, kad realiu metu srovės žnyplėmis išmatuotas iškrovos dydis siekia 0.41 A, o diagnostinės įrangos parametrai rodo 0.431 A iškrovos dydį (nurodyta 3.2 paveiksle). Gauti duomenys skiriasi ~ 5%, todėl bandymus atlikti nuspręsta naudojantis diagnostinės įrangos pagalba.



3.2 pav. Išmatuoti iškrovos dydžiai

a – diagnostinės įrangos „Consult III Plus“ pagalba, b – srovės replių KT203 AC/DC pagalba

Tyrimai atliekami esant sekančioms sąlygoms:

- Standartinis ličio jonų akumulatoriaus baterijų įkrovimas: prie  $(10 \pm 2)^\circ \text{C}$  temperatūros, baterijos įkraunamos greitojo krovimo 50 kW galios stotele tol, kol pasiekama baterijos įtampos riba;



- Prijungus kompiuterinės diagnostikos įrangą stebimi realūs variklio valdymo ir baterijų akumulatoriaus valdymo modulių rezultatai bei analizuojami keliomis skirtingomis programinėmis įrangomis;
- Elektromobilio varomosios jėgainės apkrova visų bandymų metu buvo vienoda – stengiamasi išlaikyti pastovų 50 – 60 km/h greitį greičio ruožo atkarpoje atsižvelgiant į eismo sąlygas ir reguliuojamųjų įrengimų ženklus. Automobilio masės ir jos pasiskirstymas ant ašių priimtas kaip neturintis didelės įtakos iškrovimo parametrų nustatymui, kadangi bandymai atliekami esant tik vairuotojui;
- Kiekvienas važiavimas su skirtingais apkrovų režimais kartojamas kelis kartus vienodomis sąlygomis ir iš gautų bandymų rezultatų išvedamas vidurkis.

### 3.3 Eksperimentinių tyrimų įrenginiai ir priemonės

Šiuolaikiniai automobiliai turi daugybę įvairių elektrinių valdymo blokų, kurie fiksuoja su juo susijusius tam tikrus duomenis ir siunčia juos į pagrindinį valdymo bloką (ECM), kuris valdo visus kitus blokus. Vartotojams, kurių transporto priemonės turi geresnę komplektaciją, yra suteikiama numatomo įveikiamo atstumo informacija borto kompiuterio pagalba. Taip pat G sensoriaus pagalba kompiuterio ekrane yra pateikiama momentinė G jėga. Nors automobiliai ir yra aprūpinti aukščiausio tipo technologijomis, tačiau negalima stebėti visų reikalingų parametrų su standartinėmis automobilio įrangomis. Todėl tyrimo metu buvo naudojamos specialios įrangos, kurios yra naudojamos automobilių gamintojų ir lenktynių inžinierių.

#### **Panasonic Toughbook CF-19 su „Consult III Plus“ programine įranga ir VIM**

Įranga naudojama tam, kad būtų galima prisijungti prie variklio valdymo bei ličio jonų akumulatoriaus baterijų valdymo blokų ir įsirašyti reikiamus duomenis. Diagnostinė įranga su automobilio sąsajos moduliu ir jungtimi bei naujausia programinės įrangos „Consult III Plus“ (3.4 pav.) versija yra specialiai pritaikyti Nissan ir Infiniti markės automobiliams.

Šios įrangos pagalba galima stebėti ir įrašinėti automobilio jėgainės parametrus, perprogramuoti valdymo blokus tiesiog prisijungus prie transporto priemonės pagrindinio valdymo bloko. Tyrimo metu buvo įrašinėjami pagrindiniai elektromobilio eksploataciniai charakteristikų parametrai. Gauti duomenys yra labai tikslūs, duomenys fiksuojami 1, 3 ir 6 milisekundžių tikslumu, arba 1 ir 3 sekundžių intervalais.





Prietaiso valdymas atliekamas naudojantis funkciniais klavišais, o matavimo rezultatai pateikiami skystųjų kristalų ekrane. Pagrindiniai šio prietaiso techniniai parametrai pateikiami 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė

Pagrindiniai prietaiso KT203 AC/DC techniniai parametrai

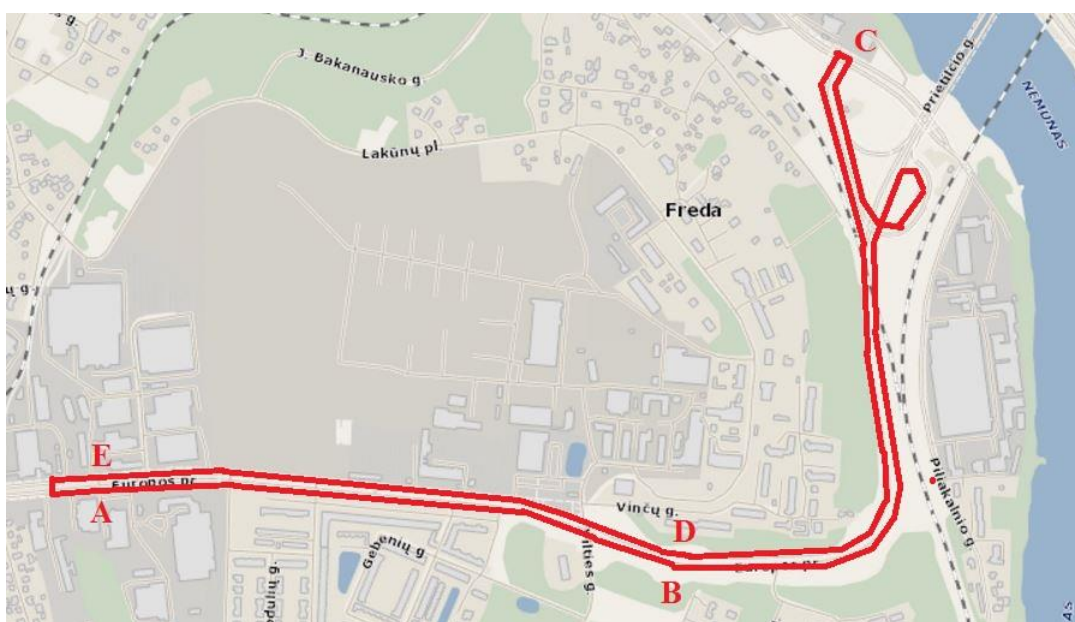
<i>Prietaiso KT203 AC/DC matavimo diapozonas ir techniniai parametrai</i>	
AC/DC srovė	0..40 – 400 A
Maksimali rezoliucija	Iki 0.01 A
AC/DC įtampa	Iki 600 V
Varža	Iki 4 kΩ

Matavimo prietaiso sensoriniai elementai ir skaičiavimo blokas įmontuoti viename korpuse, maitinimas – papildomas elektros šaltinis – 9V šaltinis.

### Maršrutas

Pasirinktas maršrutas turi didelę įtaką eksperimentų rezultatams ir jų sklaidai, todėl jo pasirinkimui buvo skirta daug dėmesio. Automobilių gamintojai testus atlieka uždaroje laboratorijoje išlaikant idealias eksploataavimo sąlygas. Norint gauti realius ir kasdieninį važiavimo pobūdį atitinkančius rezultatus, reikia skirti daug dėmesio maršruto parinkimui, taip pat reikia atsižvelgti į laiką, kad eismo intensyvumas nebūtų per daug intensyvus ir neiškraipytų rezultatų.

Sudarinėjant maršrutą (3.5 pav.) buvo siekiama sukurti kuo įvairiasnes važiavimo sąlygas. Įvertinus Kauno miesto planą, pasirinktas bandymų maršrutas driekiasi: Europos pr. – Prietilčio g. – H. ir O. Minkovskių g. – Prietilčio g. – Europos pr.



3.5 pav. Tyrimo maršrutas Kauno mieste

Tyrimui nustatytą maršrutą galima suskirstyti į keturias atkarpas:

- A – B ir D – E: atkarpose yra intensyvus eismas su tam tikrais eismo objektais, tokiais kaip šviesoforas ir nereguliuojamos pėsčiųjų perėjos;
- B – C: atkarpos ilgis nuokalne lėtėjant eismo srautui. Elektromobiliu važiuojama tolygiu greičiu įjungus kruizo kontrolę ir tolygiai lėtėjant;
- C – D: atkarpos ilgis įkalne maksimaliai greitėjant. Elektromobiliu važiuojama tolygiai greitėjant įjungus kruizo kontrolę kai viską valdo kompiuteris.

Pasirinktos atkarpos ruože C-D įkalnės statumas sudaro  $2.8^\circ$ , o nuokalnė  $3.0^\circ$  statumą atkarpoje B-C, bendras ruožo ilgis tiek kylant tiek ir leidžiantis sudaro po vieną kilometrą. Viso maršruto ilgis sudaro 5.3 kilometrus.

Pagal sudarytą maršrutą iš gautų duomenų bus matyti kaip skiriasi automobilio eksploatacinių veiksnių įtaka ličio jonų akumulatoriaus baterijų charakteristikoms užduodant skirtingas eksploatacijos sąlygas. Taip pat stebėti kokią įtaką baterijos iškrovai / įkrovai sudaro regeneracinės stabdžių sistemos veikimas.

## 4 EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ

Eksperimentinių tyrimų prie skirtingų eksploataavimo veiksmų metu buvo nustatytos pagrindinės ličio jonų baterijos iškrovimo charakteristikos“

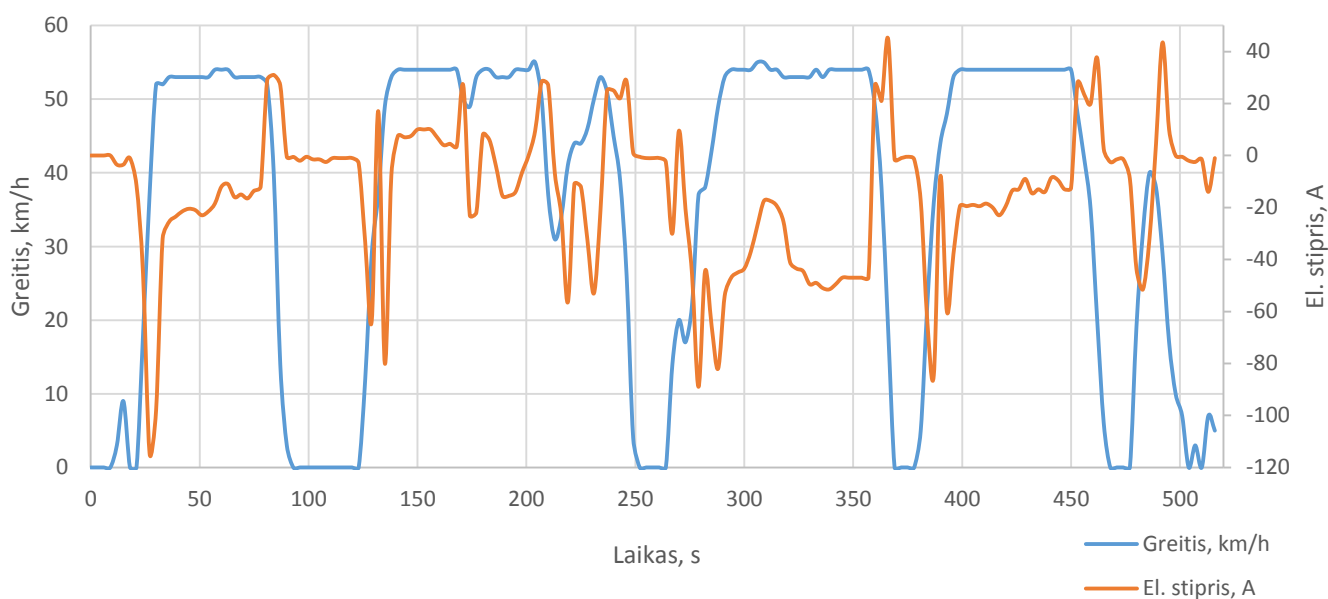
- Statinis baterijos talpumas;
- Statinė nominali ličio jonų baterijos sukuriama galia varomajai jėgainei;
- Statinis iškrovimo laikas kilovatvalandėmis.

### 4.1 Eksperimento metu gauti rezultatai

Eksperimento metu matuotos savitosios baterijos charakteristikos ir automobilio parametrai įvairiais eksploatacijos metu naudojamais komforto zonos veiksniais. Ličio jonų baterijos iškrovimo charakteristikoms apskaičiuoti matuojamos baterijų temperatūros, celių įkrovos lygis, automobilio greitis, galios suvartojimas ir begalė kitų parametrų. Vėliau duomenys apdorojami specialiomis MS Office programinės įrangos paketais ir gauti duomenys lyginami grafių bei stulpelinių diagramų pavidalu.

#### 4.1.1 ECO režimas ir išjungti visi el. komforto zonos prietaisai

Bateriją įkrovus greitojo krovimo 50 kW galios stotelės pagalba nuolatine srove prie normalios  $10\pm 2^{\circ}$  C temperatūros. Praėjus nemažiau 30 min. po ličio jonų baterijos įkrovos pradėti bandomieji važiavimai ir apdorojus duomenis nustatytos baterijos charakteristikos išvedus duomenų algoritminius vidurkius. Gauti rezultatai pateikti 4.1-4.5 paveiksluose. Atliktų rezultatų apibendrinimas pateiktas 4.1 lentelėje.

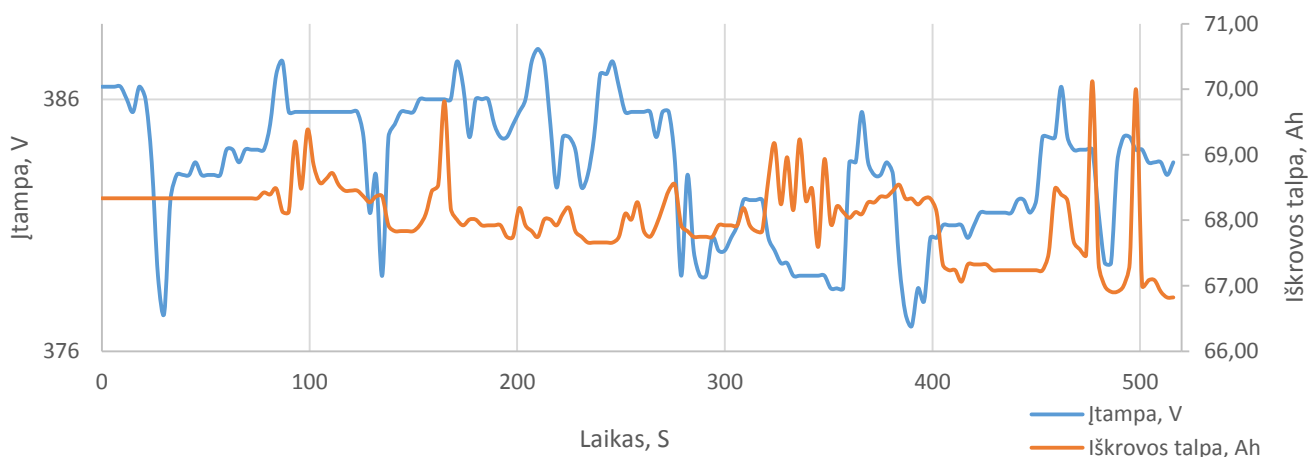


4.1 pav. Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Elektromobilis turi įdiegtą regeneracinę stabdžių sistemą (RBS), kuri panaudoja gaunamą stabdymo energiją ličio jonų baterijos įkrovai. Stabdymo metu RBS konvertuoja automobilio kinetinę

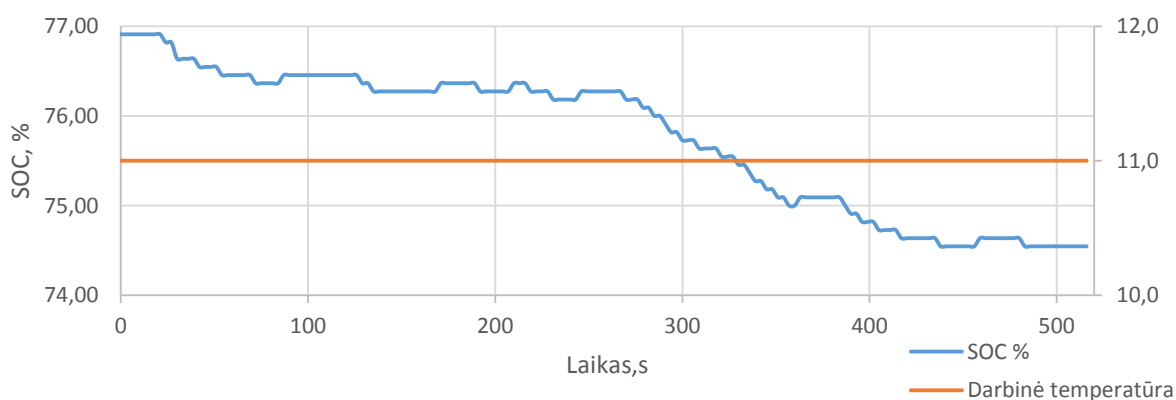
energiją į el. energiją kuri perduodama į bateriją ir naudojama automobilio jėgainei. Eksperimentinio bandymo rezultatai išreikšti 4.1 paveiksle leidžia stebėti kaip veikia ši sistema ir įtakoja baterijos veikimą. Važiuojant elektromobiliu nustatytu maršrutu išjungus komforto zonos įrenginius baterijos iškrovai didžiausią įtaką daro akseleratoriaus pedalo nuspaudimo padėtis, t.y. užduodama jėga vartojamai jėgainei. Įsibėgėjant automobiliui iki 55 km/h greičio iškrovos dydis pasiekia 114,5 A dydį, o stabdant sugeneruojamas el. kiekis siekia 45 A dydį. Grafike matomi automobilio sustojimai buvo įtakojami transporto srauto judėjimo ir sankryžų reguliuojamųjų elementų.

Ličio jonų baterijos statinis talpumas nurodo teorinį laiką per kurį baterijos gali būti iškraunamos naudojant pastovaus dydžio srovę. Bandymo metu baterija patyrė įvairias apkrovas, todėl nubraižius statinio baterijos talpumo grafiką (4.2 pav.) gaunama, kad elektromobiliui greitėjant baterijos įtampa krenta iki 377 V ribos, o lėtėjant kyla iki 387,5 V ribos. Tuo tarpu baterijos talpumas iškrovimo metu yra pastovus ir siekia 68,3 Ah, o įkraunant, t.y. elektromobiliui lėtėjant – 67,75 Ah.



4.2 pav. Statinis baterijos talpumas

Statinio baterijos talpumo kreivių simetriškumas rodo tvarkingą baterijos darbą, tačiau vietomis pasitaiko keli įtampos šuoliai. Įtampos kreivės kitimas rodo, kad atsiranda pašalinis baterijos iškrovimas ir atsiranda nuostoliai. Įprastomis sąlygomis nuostoliai gali siekti iki 10%.

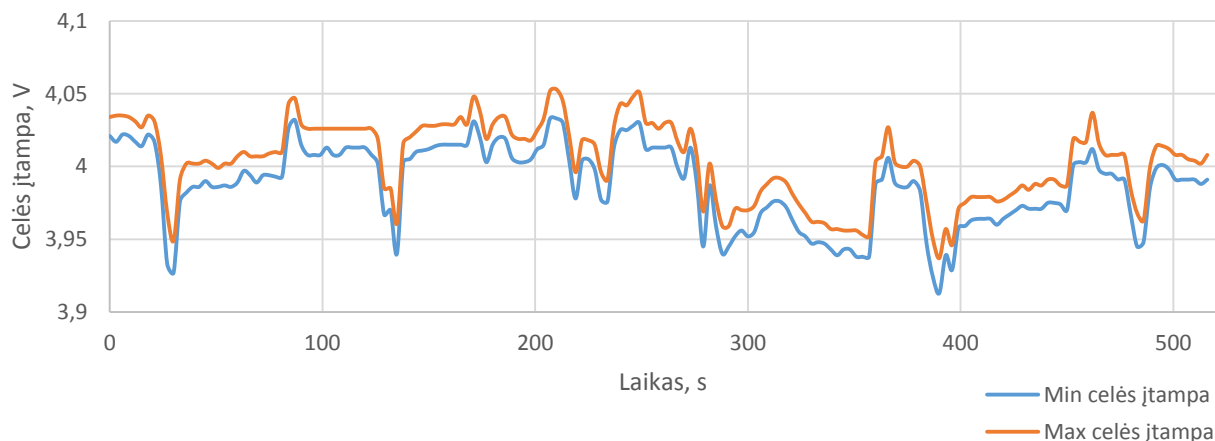


4.3 pav. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Elektromobilio baterijos visaverčiam išnaudojimui didelę įtaką turi pasiekiamą elementų darbinė temperatūra. Yra žinoma, kad baterija geriausiai veikia kai darbinė temperatūra vyrauja  $-10-20^{\circ}$

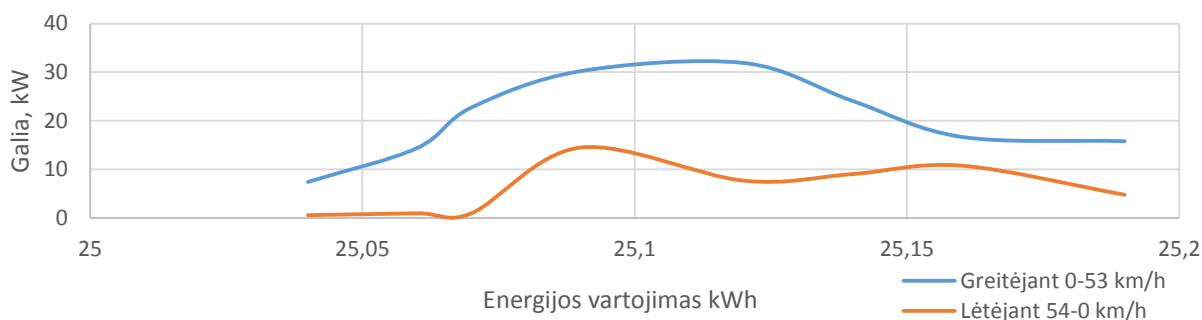
C ribose. Eksperimento metu darbinė temperatūra siekia 11° C, o baterijos įkrovos lygis sumažėja 3 % nuo kelio ir riedėjimo apkrovų.

Eksplotacijos metu skirtingai keičiasi baterijos celių įtampos dydžiai, kadangi ne visos celės yra išnaudojamos vienodai. Nustatyta, kad minimali celės įtampa bandymo pradžioje siekė 4,01 V, o maksimali riba 4,03 V (4.4 pav.). Keičiantis apkrovoms jų dydžiai iš kart reaguoja į pokyčius ir keičia savo parametrus. Galiausiai bandymo pabaigoje gauti parametrai nukrito iki 3,99 V ir 4.0 V ribų.



4.4 pav. Baterijos celių įkrovos kitimas

Elektromobilio jėgainei sukuriant apkrovą ir automobiliui greitėjant el. energijos vartojimo kaštai didėja. El. variklio sukuriama traukos galia nėra tiesiogiai proporcinga energijos suvartojimo dydžiui. Elektromobiliui greitėjant pasiekama 32 kW galia ir energijos sunaudojimas siekia 25,2 kWh, o lėtėjant – 14.5 kW ir energijosvartojimas mažėja iki 25 kWh ribos (4.5 pav.).



4.5 pav. Išvystomos galios priklausomybė nuo energijos vartojimo

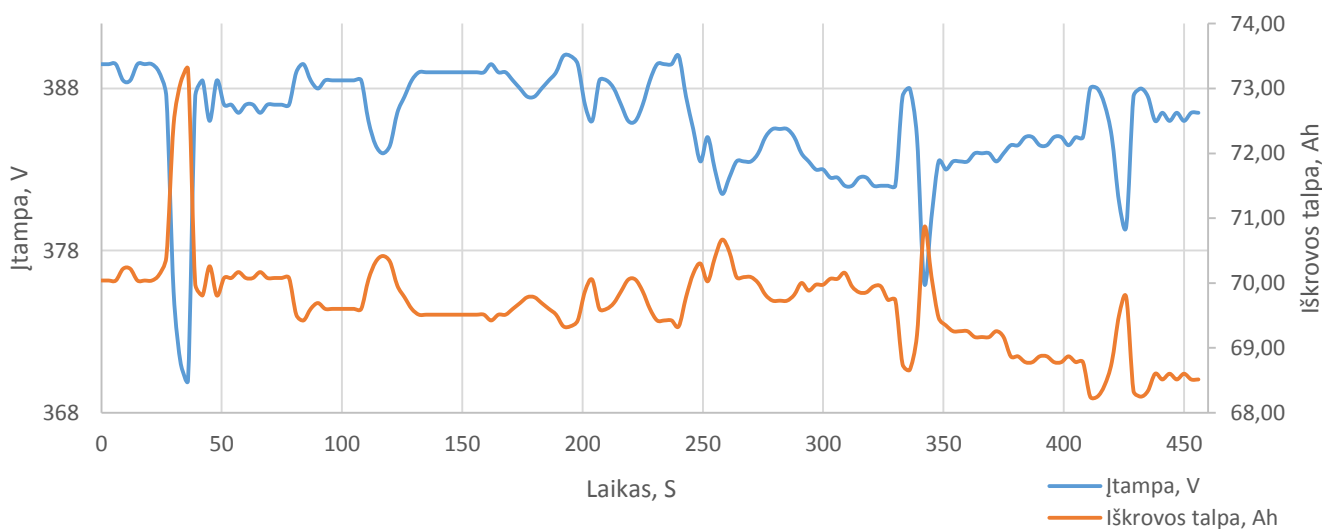
Siekiant sužinoti ar didėjantis masės kiekis daro įtaką eksperimento rezultatams jis buvo kartojamas dar kartą įsodinus keleivį (keleivio svoris siekia 80 kg). Gauti rezultatai pateikiami 4.6-4.10 paveiksluose.

Kartojant bandymą tuo pačiu maršrutu, tik šį kartą sėdint ir keleiviui baterijos iškrova šiek tiek didėja, lyginant su rezultatais gautais važiuojant tik vairuotojui. Įsibėgėjant automobiliui iki 55 km/h greičio iškrovos dydis pasiekia 134,5 A dydį, o stabdant sugeneruojamas el. kiekis siekia 27 A dydį. Grafike matome, kad automobilis buvo šiek tiek pristabdomas transporto srauto judėjimo ir sankryžų reguliuojamųjų elementų.



4.6 pav. Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

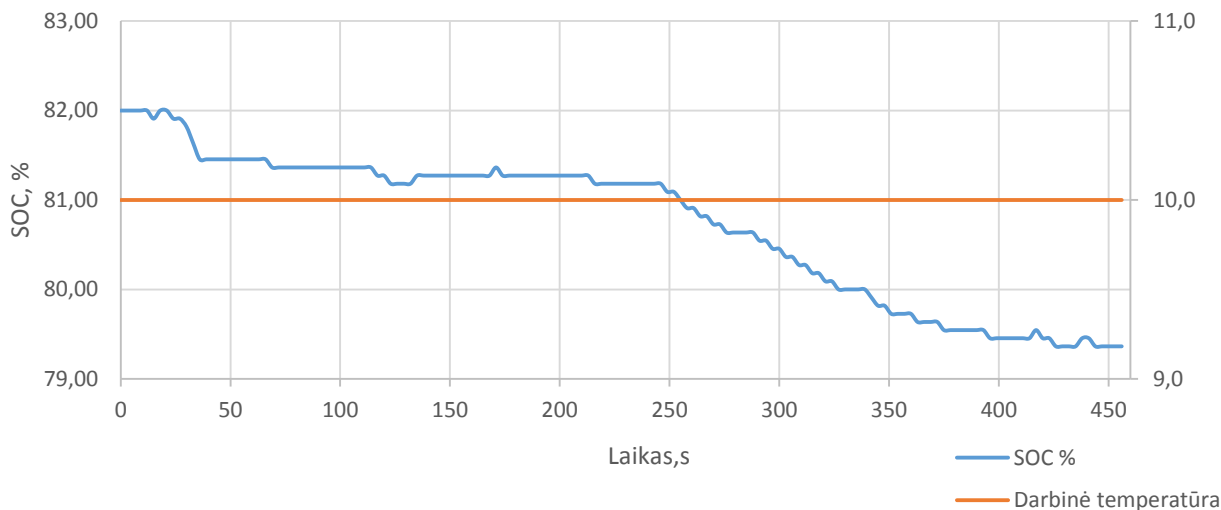
Bandymo metu baterija patyrė įvairias apkrovas, todėl nubraižius statinio baterijos talpumo grafiką (4.7 pav.) gaunama, kad elektromobiliui greitėjant baterijos įtampa krenta iki 370 V ribos, o lėtėjant kyla iki 389,5 V ribos. Tuo tarpu baterijos talpumas iškrovimo metu siekia 73,3 Ah, o įkraunant, t.y. elektromobiliui lėtėjant – 68,25 Ah.



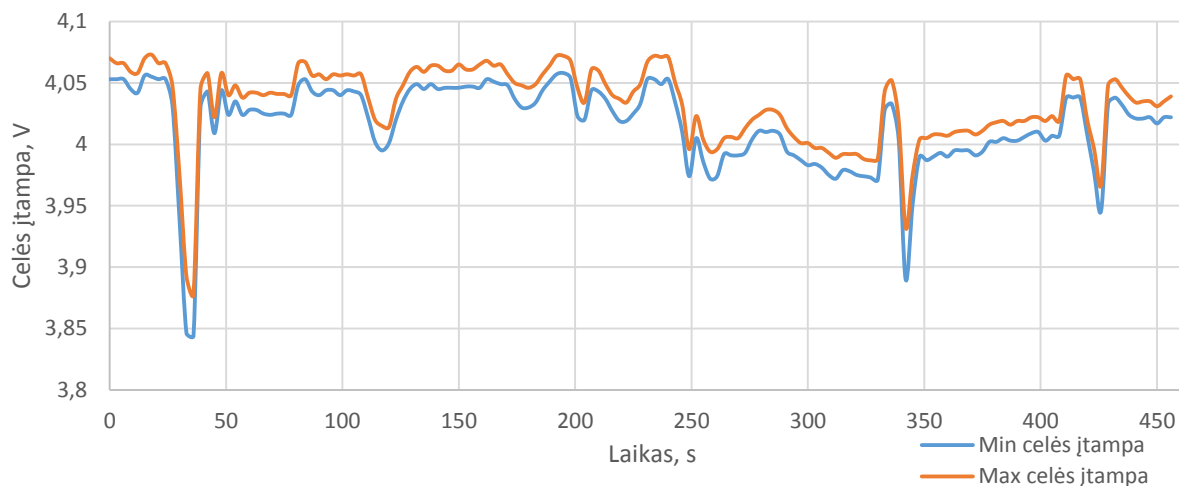
4.7 pav. Statinis baterijos talpumas

Eksperimento metu darbinė baterijų temperatūra (4.8 pav.) siekia 10° C, o baterijos įkrovos lygis sumažėja beveik 3 % nuo kelio ir riedėjimo apkrovų.

Elektromobilio eksploatacijos metu keičiantis kelio ir riedėjimo apkrovoms skirtingai keičiasi ir baterijos iškrovimas, į tai reaguoja ir baterijos celės. Minimali celės įtampa bandymo pradžioje siekė 4,05 V, o maksimali riba 4,06 V (4.9 pav.). Bandymo pabaigoje gauti parametrai nukrito iki 4,02 V ir 4,03 V ribų.

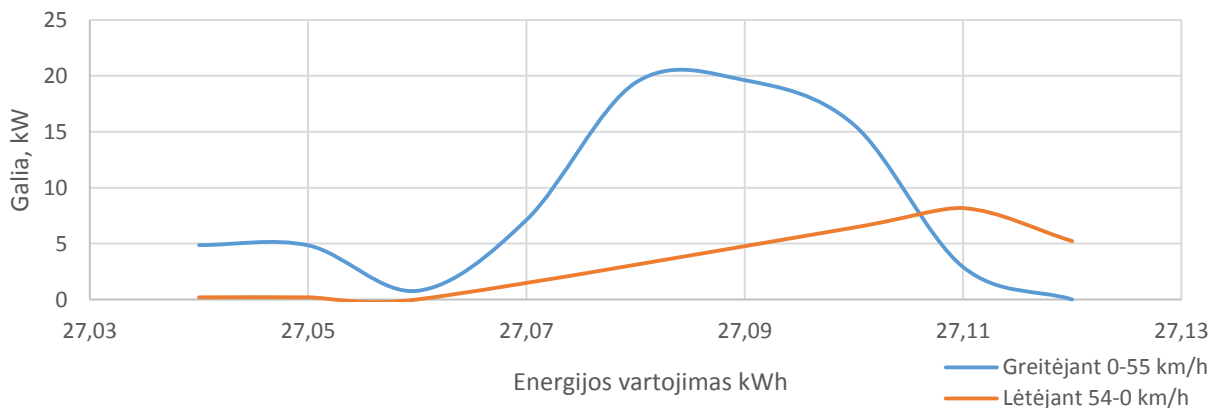


4.8 pav. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros



4.9 pav. Baterijos celių įkrovos kitimas

Elektromobilio jėgainei sukuriant apkrovą ir automobiliui greitėjant el. energijos vartojimo kaštai didėja. El. variklio sukuriama traukos galia nėra tiesiogiai proporcinga energijos suvartojimo dydžiui. Elektromobiliui greitėjant pasiekama 20 kW galia ir energijos sunaudojimas siekia 27,12 kWh, o lėtėjant – 8,7 kW ir energijosvartojimas mažėja iki 27 kWh ribos (4.10 pav.).



4.10 pav. Išvystomos galios priklausomybė nuo energijos vartojimo

Bandomųjų važiavimų metu gauti duomenys lyginami ir pateikiami 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė

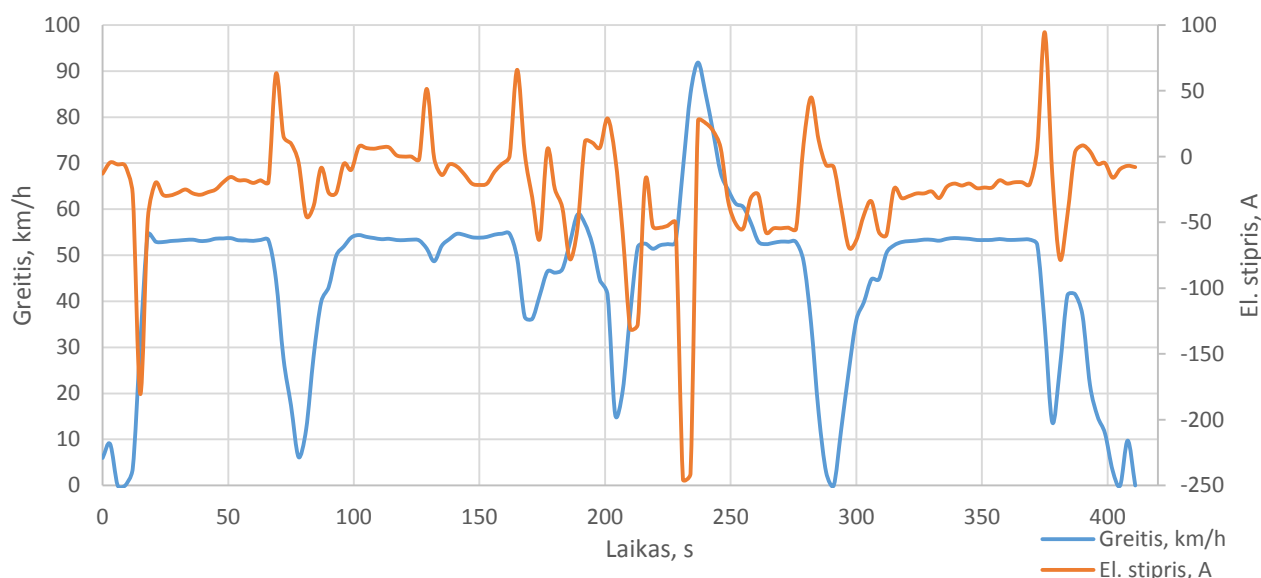
### Rezultatų palyginimas

	Viskas išjungta – 1 žmogus		Viskas išjungta – 2 žmonės	
	Greitėjant	Lėtėjant	Greitėjant	Lėtėjant
Greitis, km/h	0-53	54-0	0-55	54-0
El. stipris, A	114.5	45	134.5	27
Galia, kW	31.9	14.5	19.61	8.17
Energijos vartojimas, kWh	25.2	25.05	27.12	27.04
Min celės įtampa, V	3.92	4.03	3.84	4.02
Max celės įtampa, V	3.95	4.05	3.88	4.05
Baterijos įtampa, V	377.5	388	370	388
Iškrovos talpa, Ah	68.34	67.75	73.30	70.33
SOC, %	75		80.5	
Baterijos darb. temp., °C	11		10	

Lyginant gautus duomenis galima teigti, kad automobilio masės krovumas daro didesnę įtaką ličio jonų baterijos iškrovumui nei tikėtasi. Elektromobiliui greitėjant iškrovos dydis skiriasi 20A, o sugeneruojama energija stabdymo metu skiriasi per pusę. Tiek baterijos, tiek ir celių charakteristikos skiriasi labai nedaug.

#### 4.1.2 Įjungtas kondicionierius ir radijas

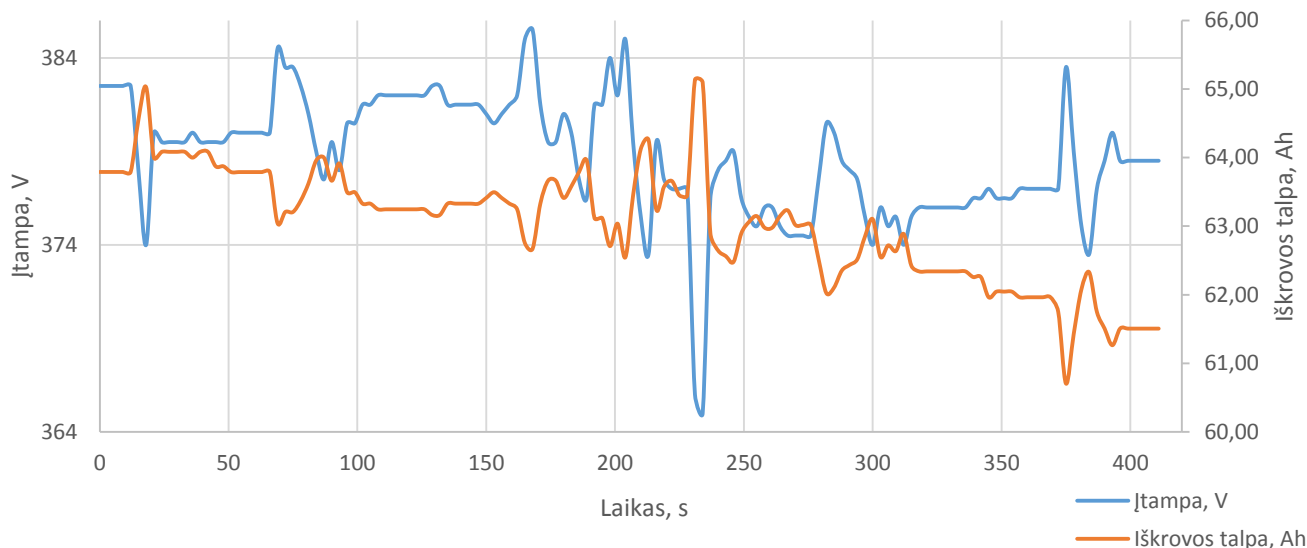
Bandymai kartojami naudojantis komforto zonos priemonėmis, kurios dažniausiai naudojamos keikvieno vairuotojo šiltu metų laikotarpiu. Gauti rezultatai apdorojami ir pateikiami 4.11 paveiksle.



4.11 pav. Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio



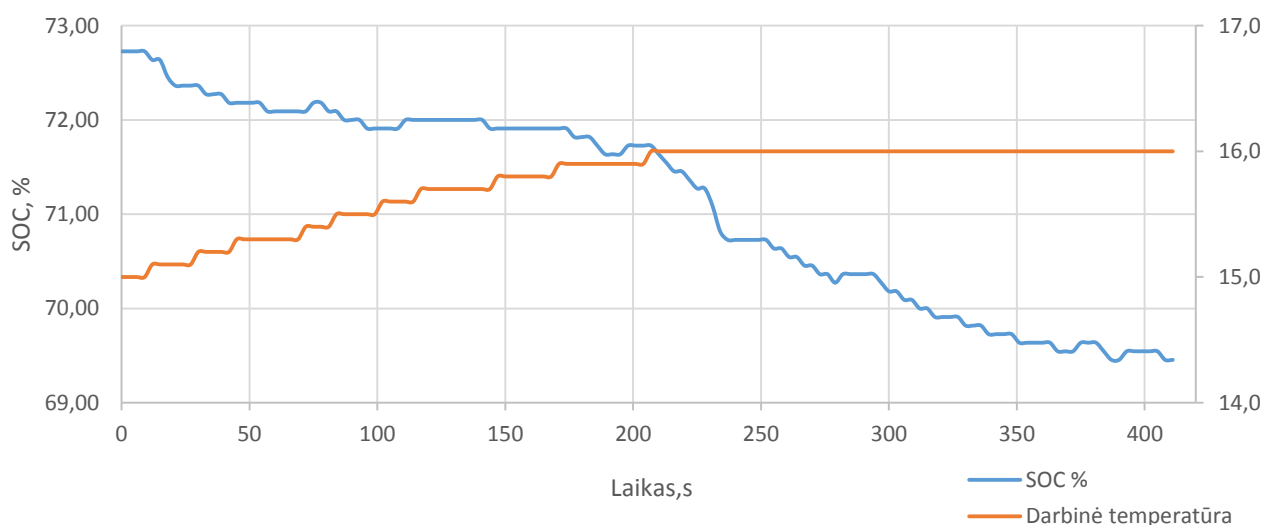
Atliekant bandymą atliktas vienas sustojimas prie reguliuojamosios sankryžos ir vienas pristabdymas transporto sraute. Automobiliui greitėjant nuo 0 iki 55 km/h pasiektas iškrovimo stipris siekia 180,5 A, o stabdant nuo 54 iki 0 km/h greičio sugeneruojamo el. stiprio reikšmė – 45 A. Taip pat galime matyti, kad atsiradus staigiam elektromobilio pristabdymui regeneracinės st. sistema sugeneruoja didesnę energiją negu automobilį sustabdant, t.y. pristabdžius el. stipris pasiekia 94.5 A reikšmę.



4.12 pav. Statinis baterijos talpumas

Baterijai patyrus apkrovas nubraižomas statinio baterijos talpumo grafiks (4.12 pav.) gaunama, kad elektromobiliui greitėjant nuo 0 iki 55 km/h baterijos įtampa krenta iki 365 V ribos, o lėtėjant nuo 54 iki 0 km/h greičio - kyla iki 383,5 V ribos. Tuo tarpu baterijos talpumas iškrovimo metu siekia 65,1 Ah, o įkraunant, t.y. elektromobiliui lėtėjant – 60,70 Ah.

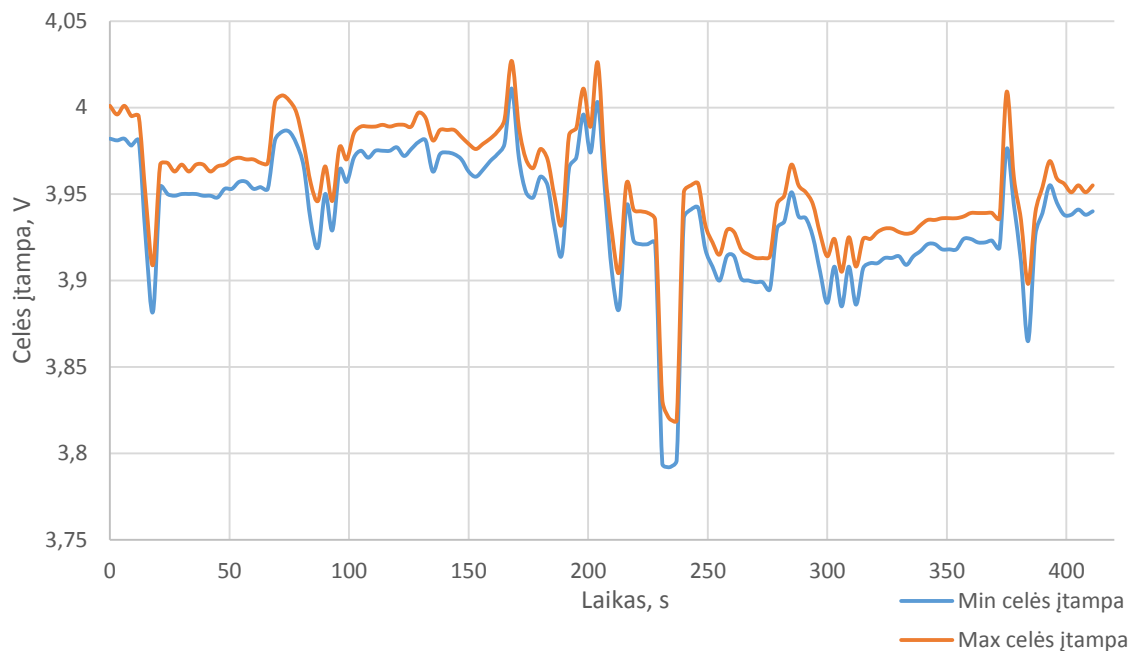
Eksperimento metu darbinė baterijų temperatūra (4.13 pav.) siekia 16°C, o baterijos įkrovos lygis sumažėja beveik 3% .



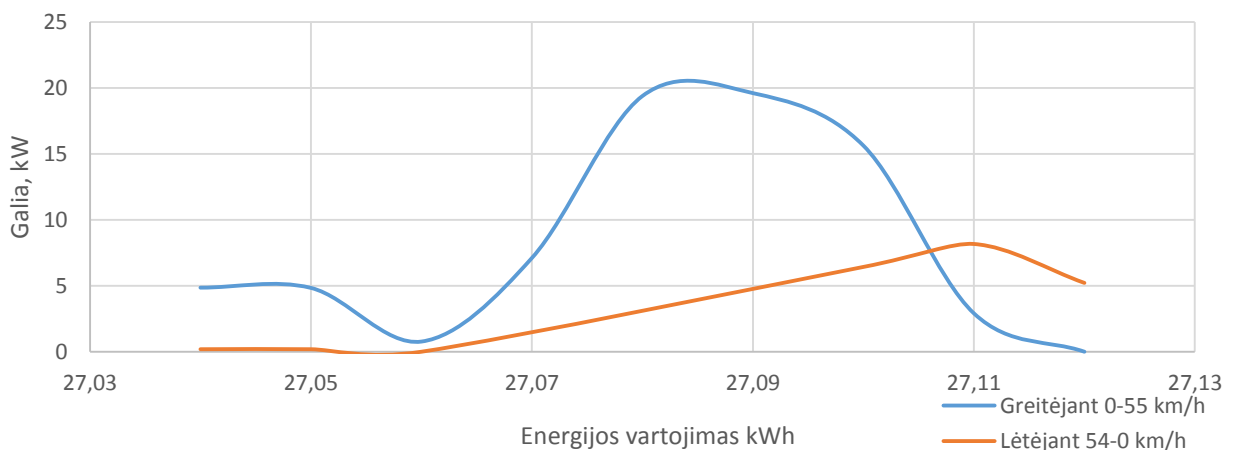
4.13 pav. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Elektromobilio eksploatacijos metu keičiantis kelio ir riedėjimo apkrovoms skirtingai keičiasi ir baterijos iškrovimas, į tai reaguoja ir baterijos celės. Minimali celės įtampa bandymo pradžioje

siekė 3,98 V, o maksimali riba 3,99 V (4.14 pav.). Bandyto pabaigoje gauti parametrai nukrito iki 3,94 V ir 3,96 V ribų.



4.14 pav. Baterijos celių įkrovos kitimas



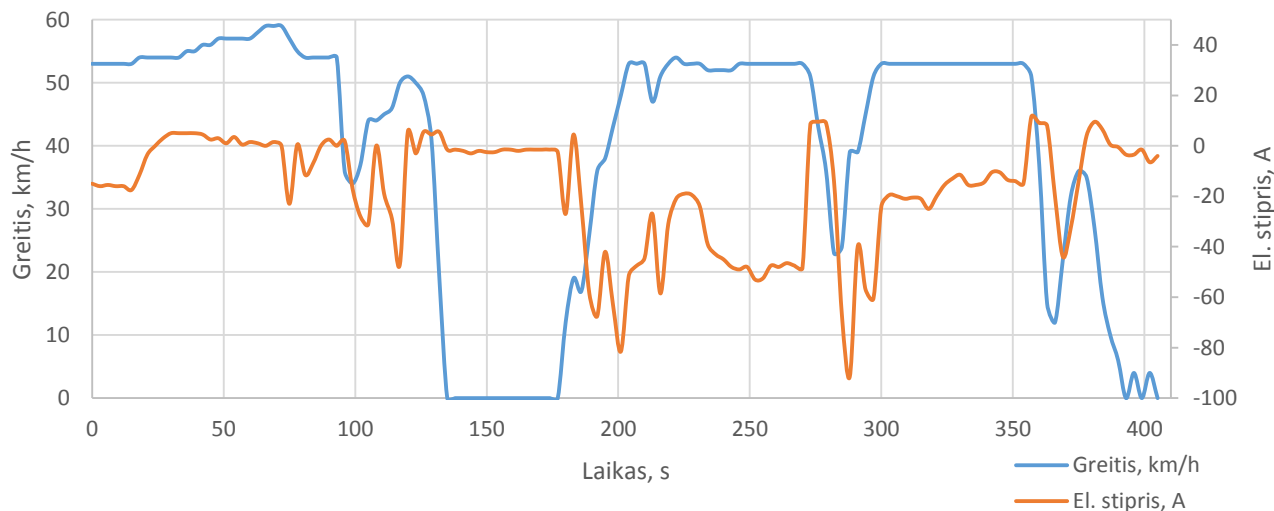
4.15 pav. Išvystomos galios priklausomybė nuo energijos vartojimo

Elektromobiliui greitėjant el. energijos vartojimo kaštai didėja. El. variklio sukuriama traukos galia nėra tiesiogiai proporcinga energijos suvartojimo dydžiui, todėl greitėjant pasiekama 20 kW galia ir energijos sunaudojimas siekia 27,12 kWh, o lėtėjant – 8,7 kW ir energijosvartojimas mažėja iki 27 kWh ribos (4.10 pav.).

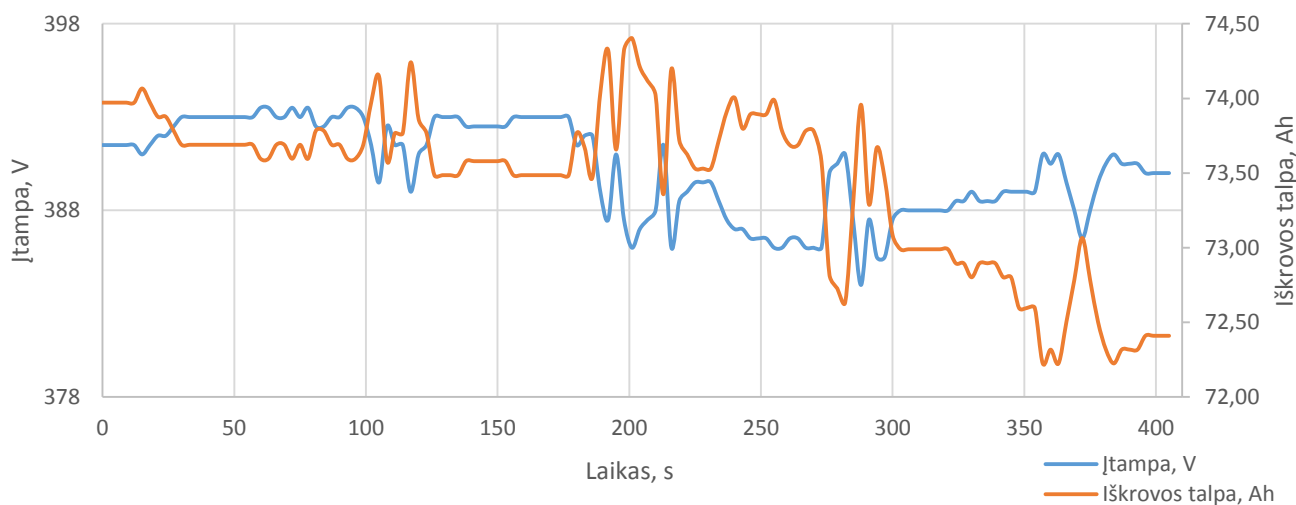
#### 4.1.3 Įjungtas kondicionierius ir šildomos sėdynės

Šaltuoju metų laikotarpiu kiekvienas vairuotojas šildo kabinos saloną įjungtu kondicionieriumi, tačiau norėdamas įveikti trumpas atkarpas dar komfortabiliau jis įsijungia ir šildomas sėdynes. Siekiant išsiaiškinti kokią įtaką baterijos iškrovimui turi šių dviejų sistemų naudojimas ir yra atliekamas bandomasis važiavimas. Gauti rezultatai apdorojami ir pateikiami sekančiuose paveiksluose.

Atliekant bandymą atliktas vienas sustojimas prie reguliuojamosios sankryžos ir užtrukta apie 38 sekundes, kadangi varomoji jėgainė išjungta, o kondicionieriaus ir šildomų sėdynių naudojimas ijungtas, galima stebėti suvartojimą sistemų el. energijos kiekį (4.16 pav.), kuris siekia tik 3 A. Elektromobiliui greitėjant iki 53 km/h greičio iškvos dydis didėja iki 91,5 A, o lėtėjant nuo 51 iki 0 km/h greičiui sugeneruojamas el. stipris pasiekia tik 9 A ribą.

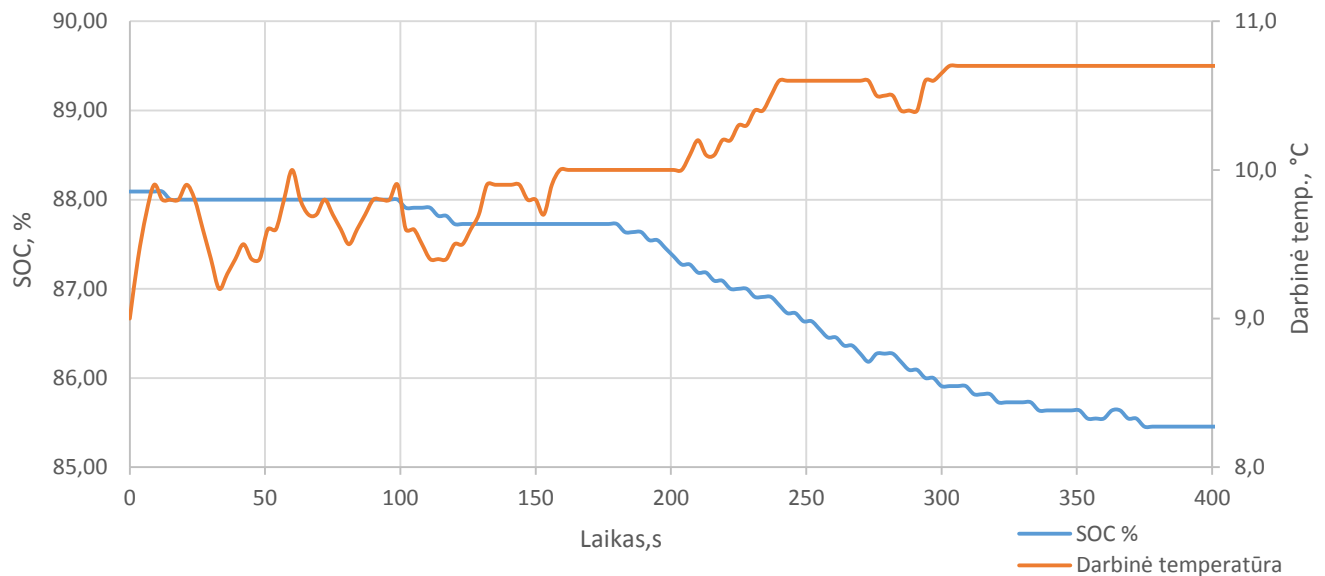


4.16 pav. Baterijos iškvos ir įkvos priklausomybė nuo važiavimo greičio



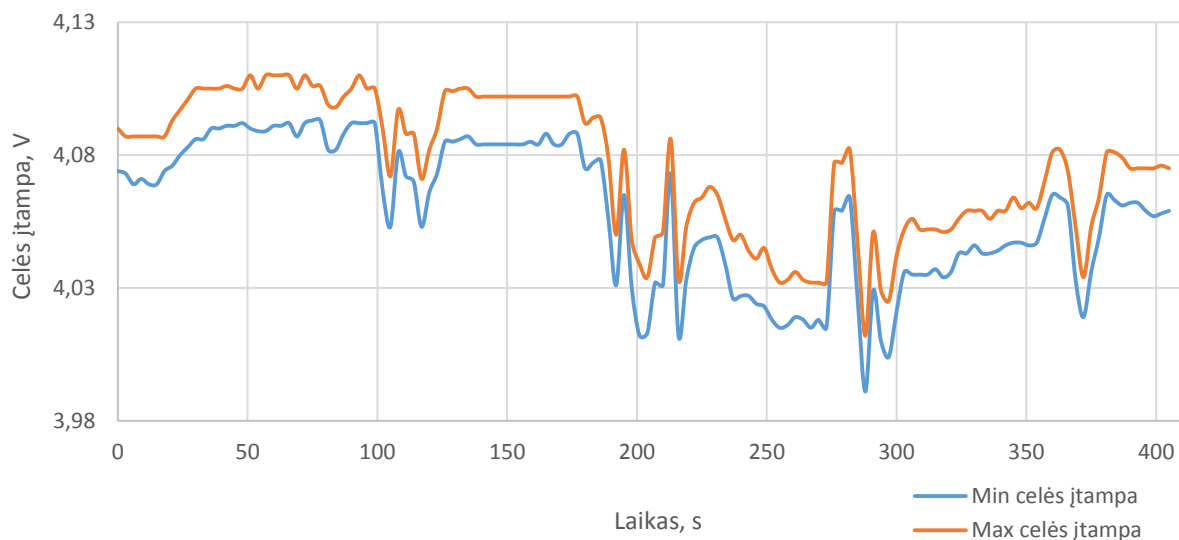
4.17 pav. Statinis baterijos talpumas

Statinio baterijos talpumo grafikas vis beveik viso važiavimo metu išlieka simetriškas, išskyrus elektromobilio važiavimą pastoviu greičiu, kai iškvos talpumas staigiai pakyla kelis kartus. Baterijos įtampos kitimas greitėjant nuo pradinės 391,5 V įtampos mažėja iki 386 V, o lėtėjant pasiekia 390,5 V. Iškvos talpumas analogiškai kinta nuo 74 kWh pradinės reikšmės iki 74,4 kWh greitėjant ir iki 72,2 kWh elektromobiliui lėtėjant.



4.18 pav. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

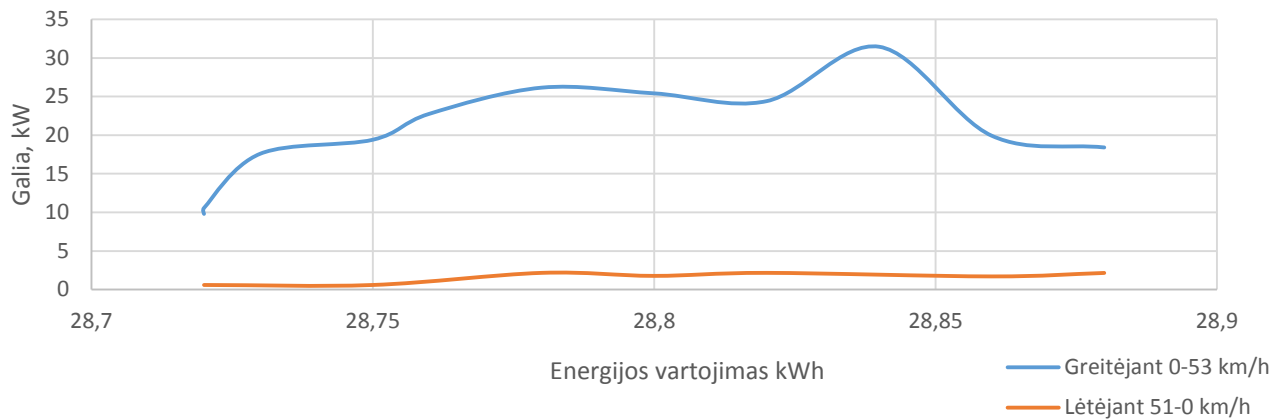
Darbinė baterijų temperatūra (4.18 pav.) bandymo metu siekia apie 11°C, o baterijos įkrovos lygis sumažėja beveik 2,5% nuo sukeltų apkrovų.



4.19 pav. Baterijos celių įkrovos kitimas

Eksplotacijos metu keičiantis ne tik kelio ir riedėjimo, tačiau ir el. prietaisų vartojimo apkrovoms skirtingai keičiasi ir baterijos iškrovimas, į tai reaguoja ir baterijos celės. Minimali celės įtampa bandymo pradžioje siekė 4,05 V, o maksimali riba 4,06 V (4.19 pav.). Bandymo pabaigoje gauti parametrai nukrito iki 4,02 V ir 4,03 V ribų.

Elektromobilio jėgainei sukuriant apkrovą kartu su el. prietaisų apkrovomis ir automobiliui greitėjant/lėtėjant el. energijos vartojimo kaštai didėja/mažėja. Elektromobiliui greitėjant pasiekama 31,5 kW galia ir energijos sunaudojimas siekia 29 kWh, o lėtėjant – 2,2 kW ir energijosvartojimas mažėja iki 28,72 kWh ribos (4.20 pav.).



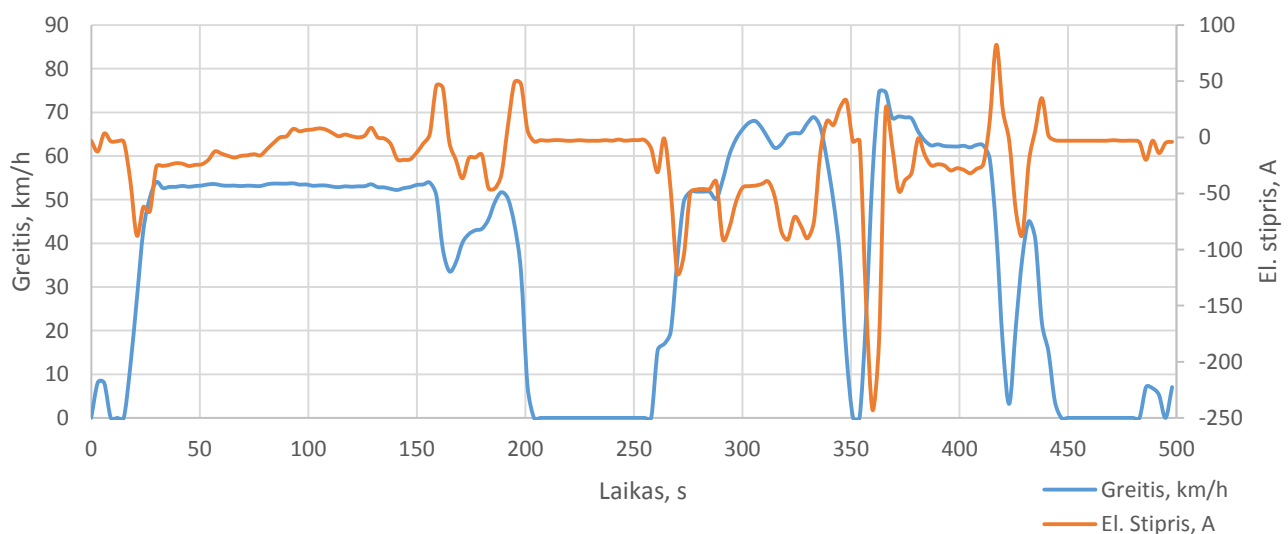
4.20 pav. Išvystomos galios priklausomybė nuo energijos vartojimo

Iškrovos rezultatai pasiekti elektromobiliui važiuojant, t.y. greitėjant ir lėtėjant su transporto srautu, todėl kai kurie duomenys išsikreipia ir neatitinka realių parametų reikšmių.

#### 4.1.4 Įjungtas radijas ir šildomos sėdynės

Atšalus orams vairuotojas šildo kabinos saloną įjungtu kondicionieriumi, tačiau norėdamas įveikti trumpas atkarpas dar komfortabiliau jis įsijungia ir šildomas sėdynes ar radiją. Šio bandymo metu aiškinsimės kaip baterijos iškrovą bei įkrovą veikia įjungtas radijo prietaisas ir šildomos sėdynės. Rezultatai apdorojami ir pateikiami sekančiuose paveiksluose.

Atliekant bandymą atliktas vienas sustojimas prie reguliuojamosios sankryžos ir užtrukta apie 50 sekundžių, kadangi varomoji jėgainė išjungta, o radijo ir šildomų sėdynių naudojimas įjungtas, galima stebėti suvartojimą sistemų el. energijos kiekį (4.21 pav.), kuris siekia tik 3 A. Elektromobiliui greitėjant iki 52 km/h greičio iškrovos dydis didėja iki 88 A, o lėtėjant nuo 53 iki 0 km/h greičiui sugeneruojamas el. stipris pasiekia tik 83 A ribą.



4.21 pav. Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

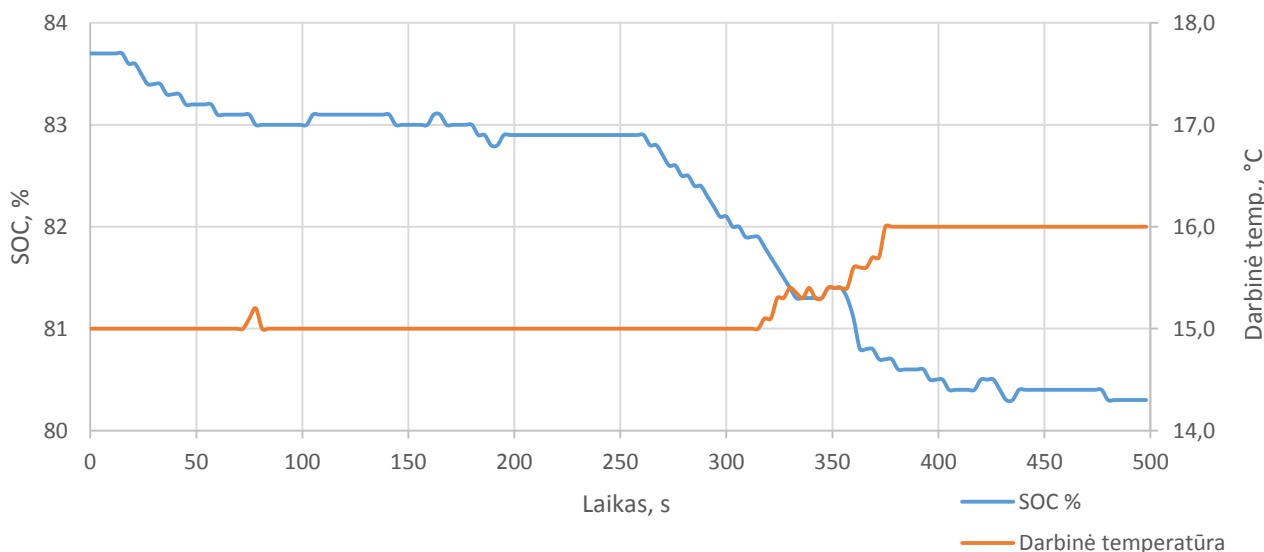
Statinio baterijos talpumo grafikas viso važiavimo metu išlieka simetriškas. Baterijos įtampos kitimas greitėjant nuo pradinės 385 V įtampos mažėja iki 366 V, o lėtėjant pasiekia 388 V.

Iškrovos talpumas analogiškai kinta nuo 66 kWh pradinės reikšmės iki 67,5 kWh greitėjant ir iki 65 kWh elektromobiliui lėtėjant.



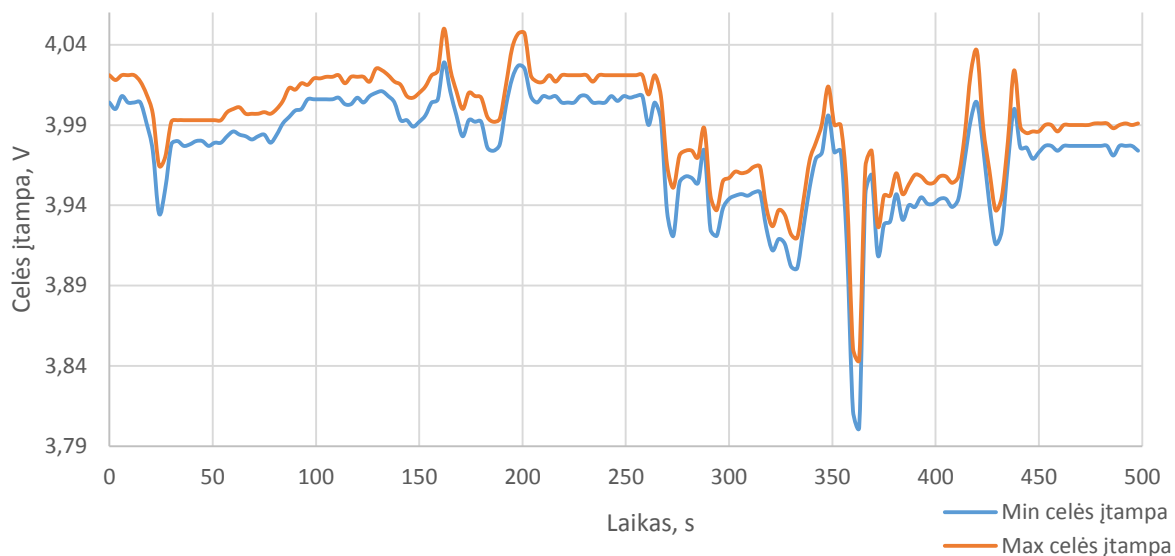
4.22 pav. Statinis baterijos talpumas

Darbinė baterijų temperatūra (4.23 pav.) bandymo metu siekia apie 15°C ir tik bandymo pabaigoje staigiai kyla iki 16°C reikšmės, o baterijos įkrovos lygis sumažėja beveik 3,5%.



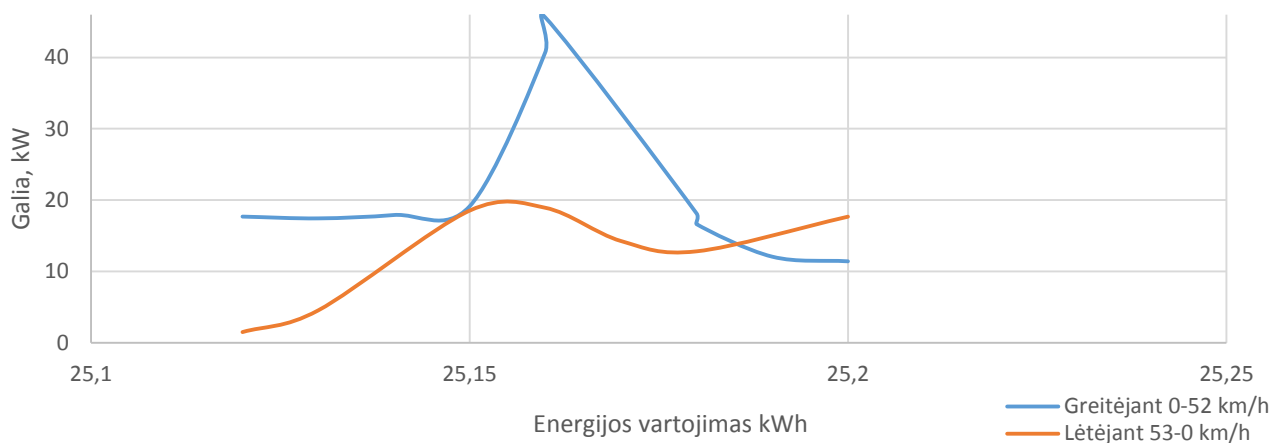
4.23 pav. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Eksploatacijos metu keičiantis ne tik kelio ir riedėjimo, tačiau ir el. prietaisų vartojimo apkrovoms skirtingai keičiasi ir baterijos iškrovimas, į tai reaguoja ir baterijos celės. Minimali celės įtampa bandymo pradžioje siekė 4,0 V, o maksimali riba 4,02 V (4.24 pav.). Bandymo pabaigoje gauti parametrai nukrito iki 3,97 V ir 3,99 V ribų.



4.24 pav. Baterijos celių įkrovos kitimas

Elektromobilio jėgainei sukuriant apkrovą kartu su el. prietaisų apkrovomis ir automobiliui greitėjant/lėtėjant el. energijos vartojimo kaštai didėja/mažėja. Elektromobiliui greitėjant pasiekama 45,6 kW galia ir energijos sunaudojimas siekia 25 kWh, o lėtėjant – 18,9 kW ir energijosvartojimas mažėja iki 25,13 kWh ribos (4.25 pav.).

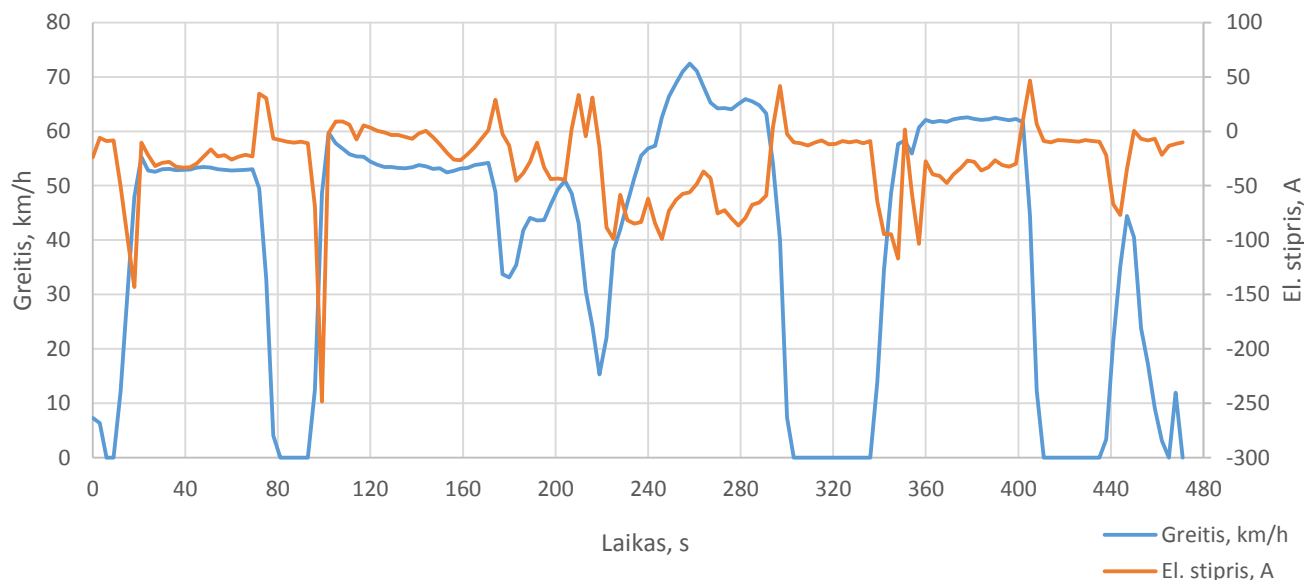


4.25 pav. Išvystomos galios priklausomybė nuo energijos vartojimo

Išvystomos galios rezultatų kreivė stipriai šoka į viršų, todėl gautų rezultatų įvertinimas pagal energijos suvartojimą išsikreipia.

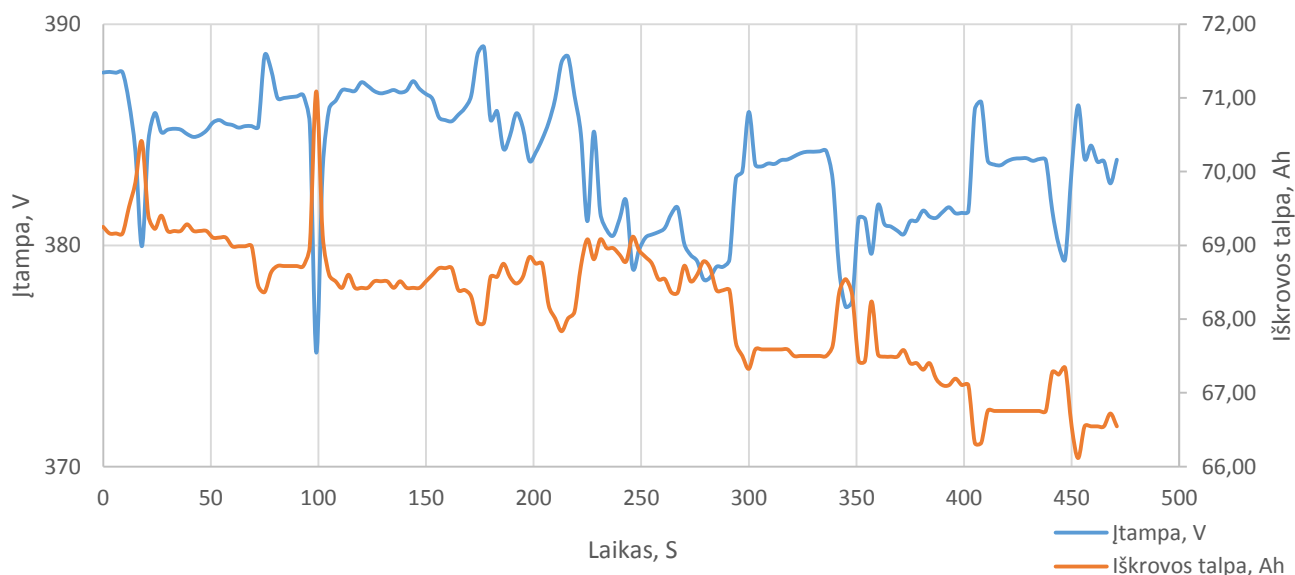
#### 4.1.5 Įjungtas oro kondicionierius, radijas ir šildomos sėdynės

Šaltuoju metų laikotarpiu kiekvienas vairuotojas įlipęs į automobilio kabiną iškart jaučia žemą temperatūrą, todėl kuo skubiau bando išildyti saloną įjungtu kondicionieriumi, tačiau norėdamas įveikti trumpas atkarpas dar komfortabiliau jis įsijungia ir šildomas sėdynes, be abejo linksmesniam keliavimui naudojamas ir radijo prietaisas.. Siekiant išsiaiškinti kokią įtaką baterijos iškrovimui turi šių kombinuotas sistemų naudojimas ir yra atliekamas bandomasis važiavimas. Gauti rezultatai apdorojami ir pateikiami sekančiuose paveiksluose.



4.26 pav. Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Atliekant bandymą atlikti vienas sustojimas prie reguliuojamosios sankryžos ir užtrukta apie 50 sekundžių, kadangi varomoji jėgainė išjungta, o radijo ir šildomų sėdinių bei kondicionieriaus naudojimas įjungtas, galima stebėti suvartojimą sistemų el. energijos kiekį (4.26 pav.), kuris siekia 12 A. Elektromobiliui greitėjant iki 55 km/h greičio iškrovos dydis didėja iki 143 A, o lėtėjant nuo 61 iki 0 km/h greičiui sugeneruojamas el. stipris pasiekia tik 46,5 A ribą.

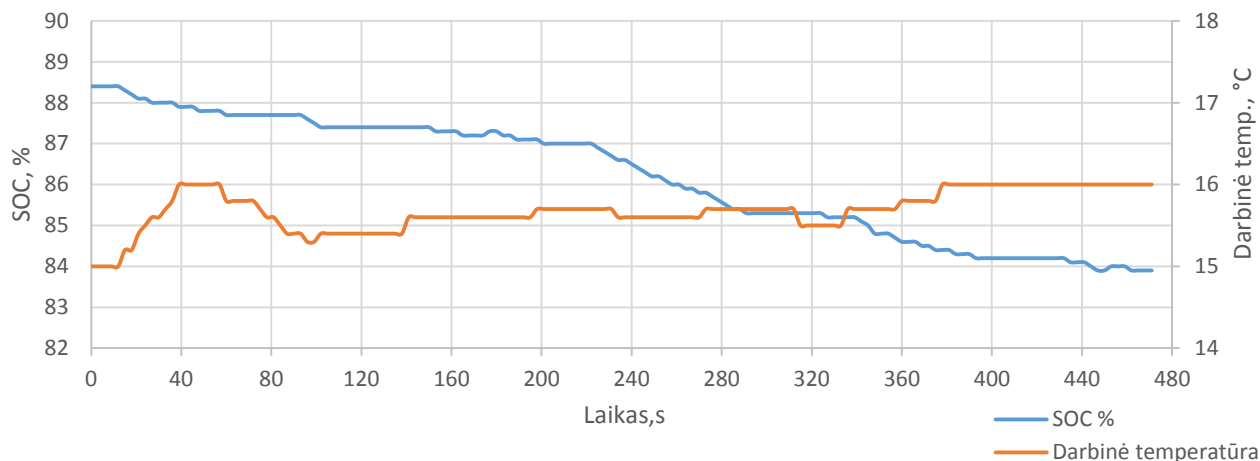


4.27 pav. Statinis baterijos talpumas

Baterijai patyrus apkrovas nubraižomas statinio baterijos talpumo grafiks (4.27 pav.) gaunama, kad elektromobiliui greitėjant nuo 0 iki 55 km/h baterijos įtampa krenta iki 375 V ribos, o lėtėjant nuo 61 iki 0 km/h greičio - kyla iki 385 V ribos. Tuo tarpu baterijos talpumas iškrovimo metu siekia 61 Ah, o įkraunant, t.y. elektromobiliui lėtėjant – 66 Ah.

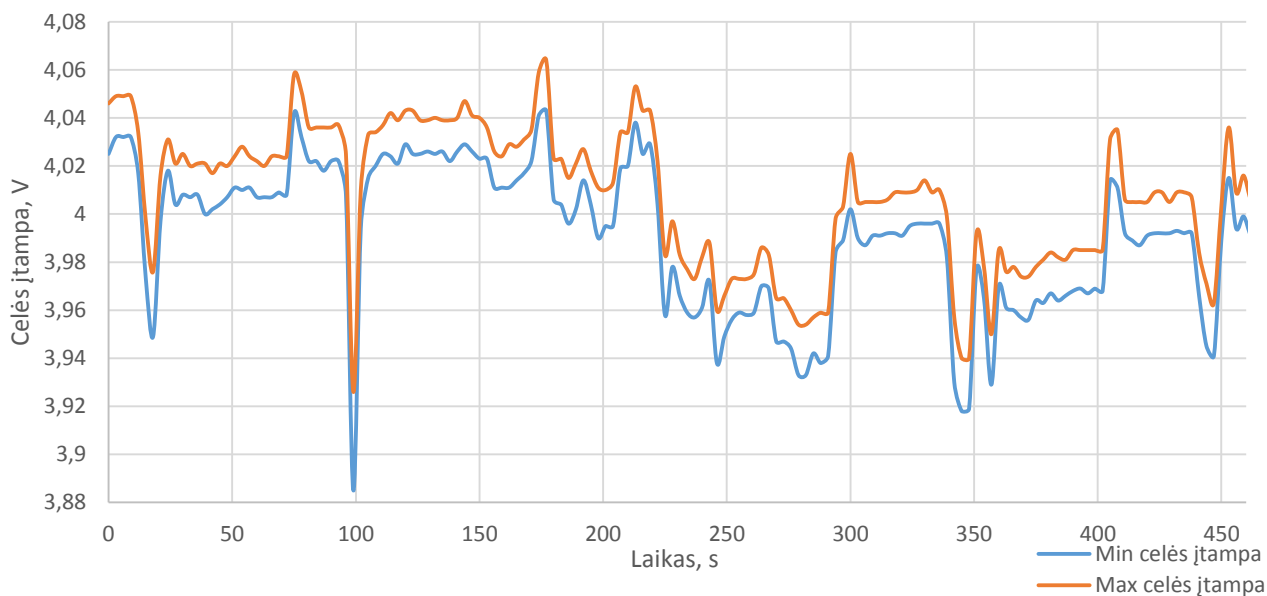
Eksperimento metu darbinė baterijų temperatūra (4.13 pav.) keičiai 15-16°C, o baterijos įkrovos lygis sumažėja beveik 4,5% .



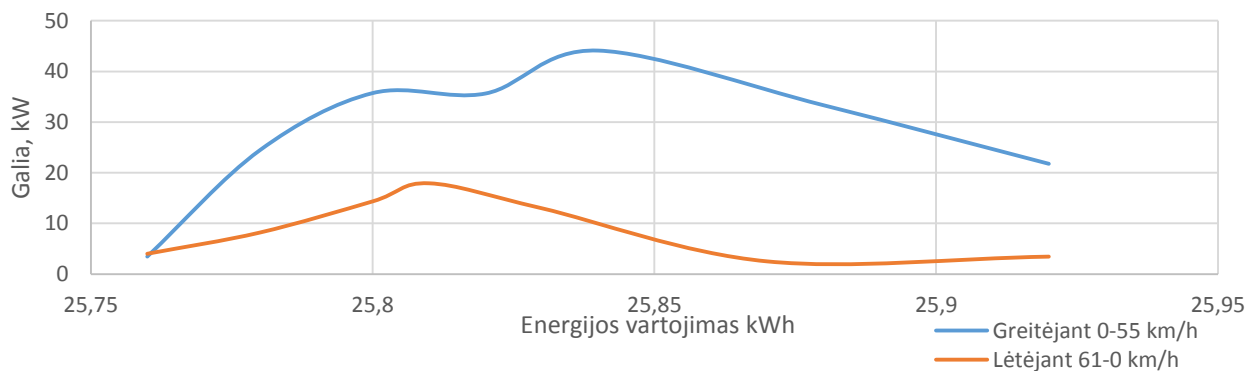


4.28 pav. Baterijos įkrovos lygis nuo baterijos darbinės temperatūros

Eksplotacijos metu skirtingai keičiasi baterijos celių įtampos dydžiai, kadangi ne visos celės yra išnaudojamos vienodai. Nustatyta, kad minimali celės įtampa bandymo pradžioje siekė 4,02 V, o maksimali riba 4,04 V (4.29 pav.). Keičiantis apkrovoms jų dydžiai iš kart reaguoja į pokyčius ir keičia savo parametrus. Galiausiai bandymo pabaigoje gauti parametrai nukrito iki 3,99 V ir 4.0 V ribų.



4.29 pav. Baterijos celių įkrovos kitimas



4.30 pav. Išvystomos galios priklausomybė nuo energijos vartojimo

Elektromobilio jėgainei sukuriant apkrovą kartu su el. prietaisų apkrovomis ir automobiliui greitėjant/lėtėjant el. energijos vartojimo kaštai didėja/mažėja. Elektromobiliui greitėjant pasiekama 44 kW galia ir energijos sunaudojimas siekia 25,92 kWh, o lėtėjant – 17,9 kW ir energijos vartojimas mažėja iki 25,76 kWh ribos (4.30 pav.).

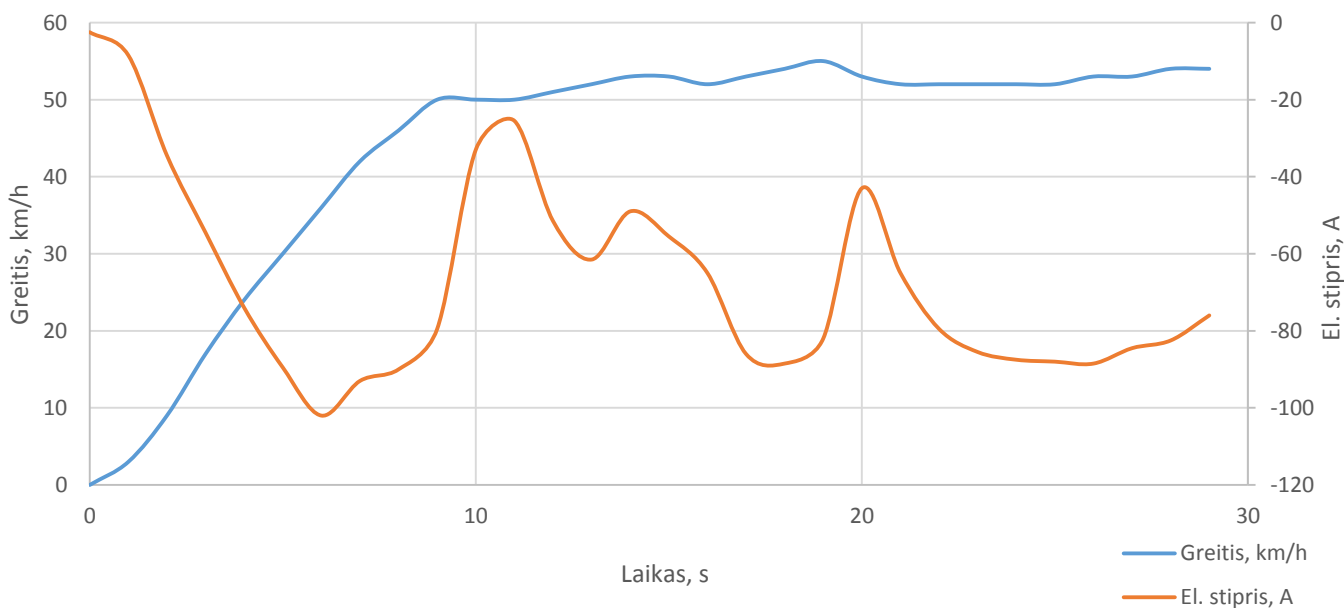
#### 4.1.6 Ličio jonų baterijos iškrovimo ir įkrovimo įvertis Parodos gatvėje vakarinio piko metu

Lėtėjimas stabdant ir greitėjimas įsibėgėjant lemia vidutinį automobilio greitį. Elektromobilio atžvilgiu šie veiksniai lemia ličio jonų baterijos iškrovos dydžių kaitą ir važiuojant įkalne suvartojamas energijos dydis visada bus didesnis, nes riedėjimo, įkalnės ir oro varža padeda stabdyti transporto priemonę inercija, o nuokalnė – trukdo stabdyti, t.y. vis didėjant greičiui reikės naudoti didesnę stabdymo jėgą, didesnę laiką veiks RBS sistema ir regeneruos el. energiją į baterijas.

Siekiant ištirti kaip šie veiksniai įtakoja ličio jonų baterijas parenkamas elektromobilio bandymų maršrutas sunkiausia įkalne ir nuokalne Kauno mieste, t.y. Parodos gatvės atkarpa link Sporto gatvės. Kalno statumas sudaro 11° kampą ir driekiasi 700 metrų. Vakarinio piko metu susidarius transporto spūstims tenka nemažai laiko stovėti spūstyse ir lėtai kilti įkalne, ko pasekoje elektromobilio baterijų talpumas turėtų sparčiai mažėti, o leidžiantis nuokalne – didėti. Įvertinus leistiną greitį atkarpoje bei greitį važiuojant transporto sraute pasirenkama, kad bandymus važiuojant įkalne atliksime 20, 30, 40, 50 ir 60 km/h greičiais, o važiuojant nuokalne – 20 ir 40 km/h greičiais.

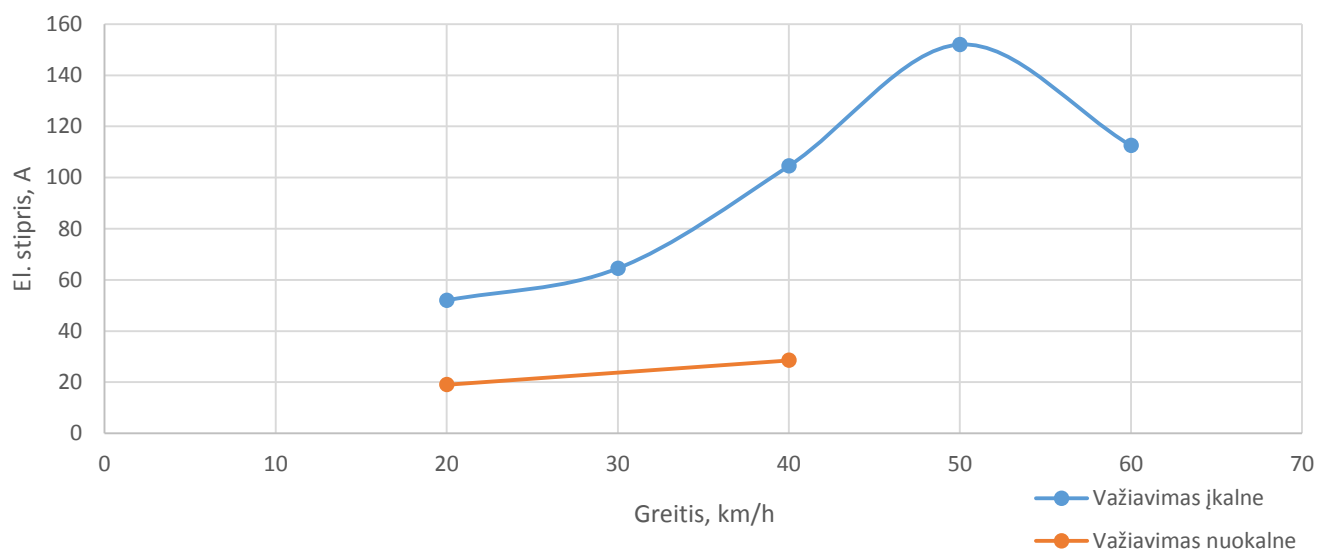
Kaip ir prieš tai atliktuose bandymuose kompiuterinės diagnostikos įrangos pagalba matuojamos baterijų temperatūros, celių įkrovos lygis, automobilio greitis, galios suvartojimas ir begalė kitų parametrų. Vėliau duomenys apdorojami specialiomis MS Office programinės įrangos paketais ir gauti duomenys lyginami grafių bei stulpelinių diagramų pavidalu.

Važiuojant įkalne pastoviu 60 km/h valandą greičiu apdorojami duomenys ir braižoma baterijos įkrovos ir iškrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio (4.31 pav.).



4.31 pav. Baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Išanalizavus gautus rezultatus ir išvedus aritmetinius bandymų vidurkius brėžiamas vidutinės baterijos įkrovos ir iškrovos priklausomybės nuo greičio grafikas (4.32 pav.).



4.32 pav. Vidutinės baterijos iškrovos ir įkrovos priklausomybės nuo važiavimo greičio

Kiekvienas bandomojo važiavimo tipas prie skirtingo greičio atliktas po tris kartus ir išvedus aritmetinius vidurkius gauta, kad elektromobiliui kylant įkalne nuo 20 iki 50 km/h greičiu iškrovimo srovės dydis kinta nuo 50 iki 152 A. Bandymą atlikus 60 km/h greičiu įkrovos srovės dydis sumažėja iki 112,5 A. Važiuojant nuokalne 20 km/h greičiu sugeneruojamas el. energijos dydis siekia 19 A, o greičiui padidėjus iki 40 km/h regeneracinė sistema priima didesnę srovės dydį, kuris siekia 28,5 A.

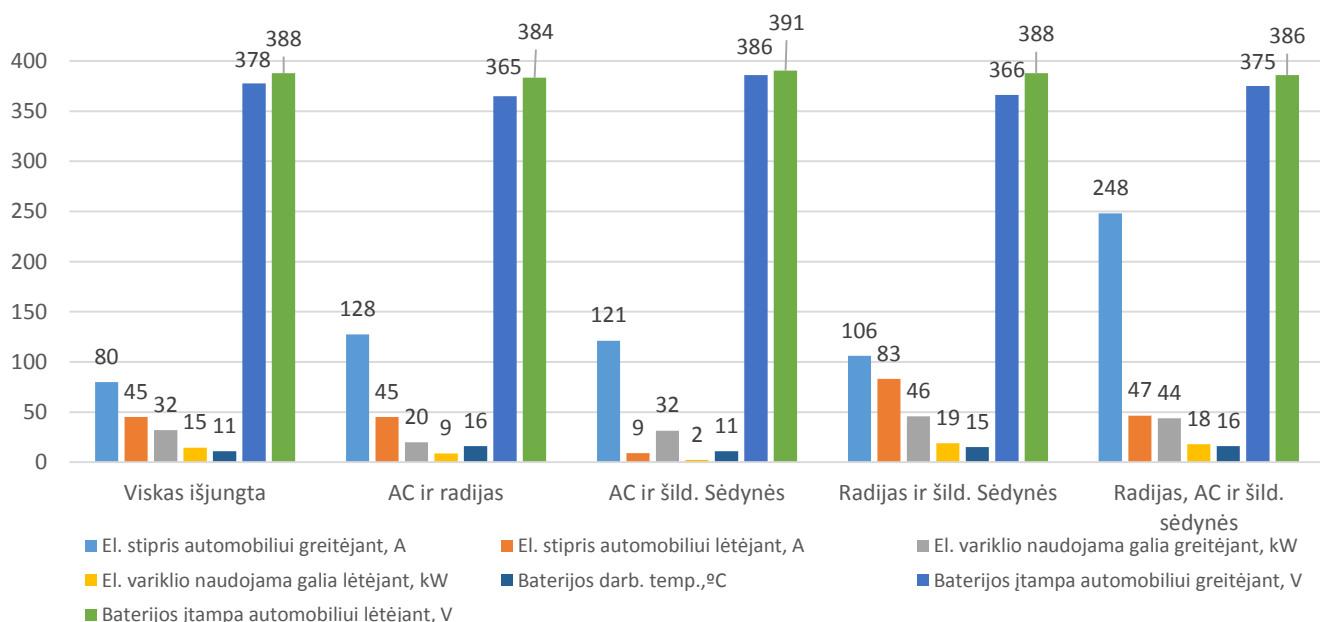
## 5 REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS

Apibendrinant rezultatus galima teigti, kad ličio jonų baterijos iškrovimui el. prietaisų naudojimas turi nedidelę įtaką, tačiau jų pilnavertis naudojimas kartu su varomąja jėgaine sudaro didelę iškrovą ir smarkiai keičia jos charakteristikas.

Aidaho (JAV) Nacionalinės laboratorijos mokslininkai siekė nustatyti šalčio poveikį elektromobilio vairavimo efektyvumui ir padarė išvadas, kad baterijai neįšilus iki darbinės temperatūros zonos (t.y. -10-20 °C) jos talpumas smarkiai mažėja, o baterijos celėms įšalus iš karto netenkama 20% baterijos talpos. Tyrėjų atlikti bandymai parodė, kad baterijai neįšilus iki darbinės temperatūros galima įveikti iki 84 km atstumą, o ją pašildžius - net 145 km. Atliktų baterijos iškrovos bandymų metu, jos celių darbinė temperatūra neviršijo leistinos zonos ribų ir elektromobiliu vienos dienos bandymais įveiktas 73,6 km nuotolis, o baterijos įkrovos lygis nukrito 31 %.

Harbino miesto universiteto mokslininkai išveda SOC parametro apibūdinimą ir nuolat tyrinėja nuolatine el. srove iškraunamos baterijos celės parametrus bei įkrovos lygį. Lyginant su atliktais bandymais nesileista nagrinėti daugiau nei 300 vienetų celių, todėl vertinamas bendras baterijos įkrovos lygis, kuris kinta 3-5 % ribose priklausomai nuo apkrovos rušies ir dydžio.

Darbas pasižymi baterijos iškrovos testais atliekant juos realiomis sąlygomis ir vertinant realius duomenis pagal kelio ir riedėjimo bei el. sistemų apkrovas. Taip pat vertinama kaip keičiasi baterijos charakteristikos (rezultatai lyginami 5.1 lentelėje ir 5.1 paveiksle) keičiant el. prietaisų apkrovas.

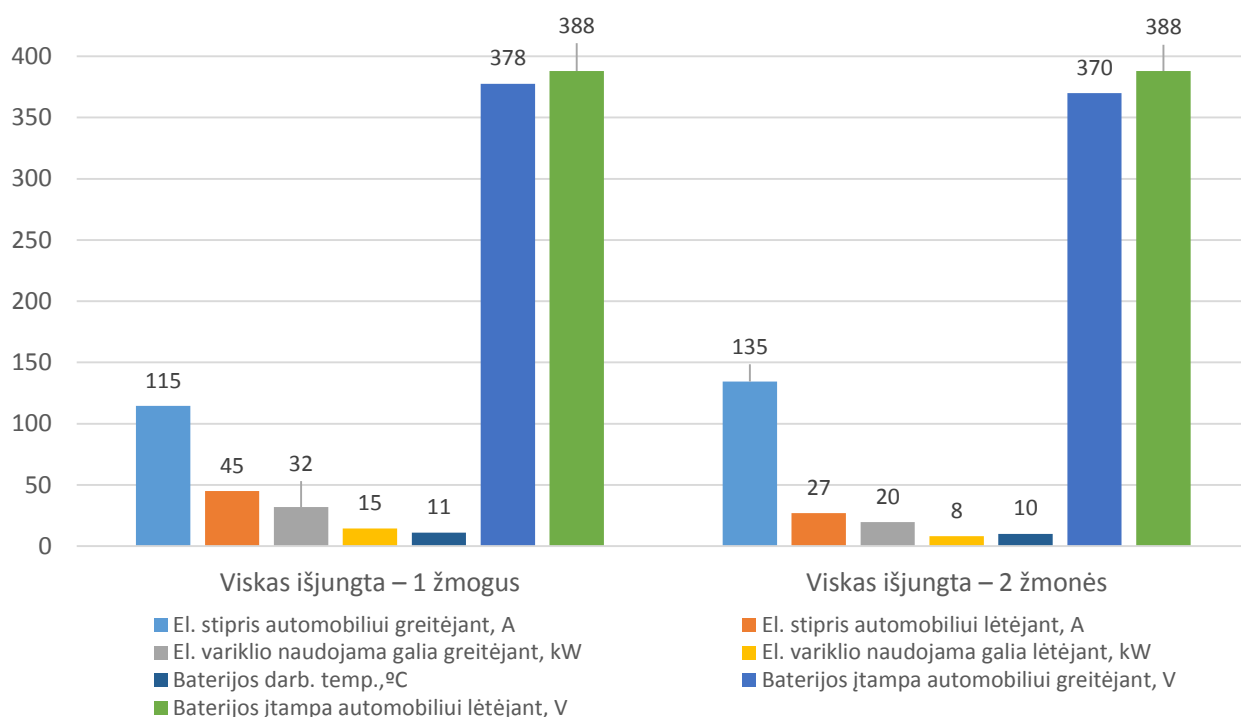


5.1 pav. Rezultatų palyginimas

Pagal gautus rezultatus matome, kad didžiausią įtaką baterijos iškrovai turi visų el. prietaisų naudojimas ir pasiekama maksimali iškrovos reikšmė siekia 248 A. Gauti rezultatai rodo, kad įjungtas AC ir radijas suvartoja daugiau energijos negu įjungtas AC ir šildomos sėdynės bei radijas ir šildomos sėdynės ir visais atvejais kai buvo naudojami el. komforto zonos prietaisai iškrovos srovės dydis siekė

~100 A dydį. Energijos vartojimas svyruoja nuo 25 iki 29 kWh (žr. 5.1 lentelę), rezultatų kaita skiriasi tik dėl apkrovos tipo, kadangi bandymų metu stengtasi išlaikyti pastovų elektromobilio greitį ruože. Baterijos darbinės temperatūros pokytis keičiant apkrovos pobūdį keičiaisi nuo 11 iki 16° C. Pagal gautus duomenis daroma prielaida, kad el. variklio naudojama galia automobiliui greitėjant ir lėtėjant ženkliai priklauso nuo startavimo pobūdžio, bei akseleratoriaus ir stabdžio pedalų valdymo.

Eksperimentinio bandymo metu taip pat įvertinta elektromobilio masės krovumo įtaka elektromobilio baterijos iškrovai. Gauti rezultatai pagal 4.1 lentelę rodo, kad automobilio greitėjimo metu iškrovos srovės dydis skiriasi tik 20 A reikšme nuo neapkrauto automobilio bandymo, o regeneruojamos energijos srovės dydis apkrautam automobiliui mažėja per pusę, kadangi stabdymo metu reikalinga didesnė stabdymo jėga norint sustoti. Kiti svarbūs baterijos parametrai lyginami stulpeline diagrama 5.2 paveiksle.



### 5.2 pav. Baterijos charakteristikų palyginimas

Bandymo metu eksploatuojant elektromobilį baterijos darbinė temperatūra praktiškai išliko pastovi, nes skyrėsi tik 1° C. Automobiliui lėtėjant baterijos įtampa pasiekė vienodą 388 V ribą, o greitėjant – rezultatas skyrėsi 8 V.

Eksperimentinių bandymų rezultatai ir baterijos charakteristika pateikiamos 5.1 lentelėje.

## Rezultatų palyginimas

	Viskas išjungta		AC ir radijas		AC ir šild. Sėdynės		Radijas ir šild. Sėdynės		Radijas, AC ir šild. sėdynės	
	Greitėjant	Lėtėjant	Greitėjant	Lėtėjant	Greitėjant	Lėtėjant	Greitėjant	Lėtėjant	Greitėjant	Lėtėjant
Greitis, km/h	0-53	54-0	0-55	54-0	0-53	51-0	0-52	53-0	0-55	61-0
El. stipris, A	80	45	127.5	45	121	9	106	83	248	46.5
Galia, kW	31.9	14.5	20	8.7	31.5	2.2	45.6	18.9	44	17.9
Energijos vartojimas, kWh	25.2	25.05	27.12	27	29	28.72	25.2	25.1	25.92	25.76
Min celės įtampa, V	3.92	4.03	3.74	3.89	3.99	4.06	3.8	4.02	3.88	4.05
Max celės įtampa, V	3.95	4.05	3.82	4.02	4.01	4.08	3.84	4.03	3.93	4.07
Baterijos įtampa, V	377.5	388	365	383.5	386	390.5	366	388	375	386
Iškrovos talpa, Ah	68.34	67.75	65.1	60.7	74.4	72.2	67.5	65	66	61
SOC, %	75		71		86		82		86	
Baterijos darb. temp., °C	11		16		11		15		16	

Rezultatų kitimą daugiausiai įtakoja vairuotojo emocinė būsena ir vairavimo stilius bei komforto zonos sistemų vartojimas.

## 6 EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

Mažėjant iškastinio kuro atsargoms kyla išgaunamų degalų kaina. Tai labai svarbus faktorius transporto priemonių savininkams, kuriems auganti kaina sukelia papildomas išlaidas ne tik įveikiamam atstumui, tačiau ir produktų bei paslaugų kainos augimui kasdieninėje aplinkoje. Naudojant atsinaujinančius išteklius galima kurti el. energiją, kurios kaštai ganėtinai maži.

Vidutinio elektromobilio sąnaudos 100 km nuotoliui įveikti siekia 16 kWh energijos. Įkrovimo metu baterijų akumuliatorius praranda apie 10-13% energijos, todėl elektromobiliui jau reikalingas 18 kWh energijos kiekis iš rozetės šakutės. Eksperimentinio tyrimo metu naudotas Nissan Leaf elektromobilis vidutiniškai suvartoja iki 12kWh energijos, tačiau įvertinus energijos nuostolius pažymimas 13.2 kWh sunaudojimas. Vidutinio lengvojo automobilio degalų sunaudojimo kaštai 100 km nuotoliui įveikti pateikiami 5.1 lentelėje ir palyginami su elektromobilio kaštais.

5.1 lentelė

Transporto priemonių degalų suvartojimo kaštai

Degalų tipas	Lengvojo automobilio degalų suvartojimo charakteristikos		
	Degalų kaina, €/l arba €/kWh	Vidutinės sąnaudos l/100 km	Kaštai, €/100km
Dyzelinas	1.052	5.3	5.57
Benzinas	1.148	7.7	8.84
LPG dujos	0.582	9	5.24
El. energijos dedamoji	0.114	13.2	1.50

Remiantis vidutinėmis degalų sąnaudomis ir kainomis pagal sudarytą duomenų lentelę matome, kad elektromobilis išlieka pigiausia transporto priemone. Lyginant su kitais degalais, elektra įveikiamas 100 km nuotolis yra 3.71 kartus pigesnis už dyzeline jėgaine aprūpintą automobilį, ~5.89 karto pigesnis nei benzininę ir 3.49 karto pigesnis už suskystintas dujas naudojamą transporto priemonę.

## 7 IŠVADOS

Atlikti eksploatacinių veiksnių įtakos elektromobilio ličio jonų baterijos iškrovai tyrimai, kuriais buvo siekiama nustatyti veikiančių iškrovų reikšmes ir kitas baterijos charakteristikas eksploataavimo metu sudarytame bandymų maršrute.

1. Nustatyta, kad didžiausią įtaką baterijos iškrovimui turi komforto zonos el. prietaisų naudojimas eksploataavimo metu. Automobiliui greitėjant nuo 0 iki 55 km/h greičio pasiekiami maksimali el. srovės stiprio vertė siekia 248 A. Elektromobiliui lėtėjant RBS generuojamos el. srovės dydis stabdant yra 46,5 A. Akseleracijos metu pasiekiami 44 kW galia ir sunaudojamos energijos kiekis siekia 26 kWh.
2. Elektromobilio masės krovumas daro didesnę įtaką ličio jonų baterijos iškrovumai. Tr. priemonei greitėjant iškrovos dydis skiriasi 20A, o sugeneruojama energija stabdymo metu skiriasi per pusę.
3. Pastebėta, kad net 4 iš 5 atvejų, kai elektromobilio eksploataavimo metu buvo naudoti el. prietaisai el. srovės dydis siekė apytiksliai 100 A reikšmę, o baterijos celių įtampos reikšmės kintant veikiams apkrovoms skiriasi iki 3% ribos. Baterijų darbinė temperatūra neturi jokios įtakos baterijų iškrovimui, kadangi temperatūros dydis yra darbinės zonos ribose.
4. Didžiausiais baterijos iškrovos dydis judant su transportu srautu įkalne siekia 152 A kai visos sistemos yra išjungtos ir elektromobilio greitis yra 50 km/h, greičiui tiek didėjant, tiek ir mažėjant nuo šios ribos, iškrovos srovės dydis mažėja, tačiau ilgiau išlieka pastovus. Riedant srautu ir stabdant transporto priemone sugeneruojamos energijos dydis priklauso nuo riedėjimo greičio ir stabdymo elementų sukuriamos jėgos dydžio, t.y. riedant 20 km/h greičiu – el. srovė siekia 19A, o riedant 40 km/h greičiu - 28,5 A.
5. Išnagrinėjus transporto priemonių degalų vartojimo kaštus ir elektromobilio įkrovos nuostolius pastebėta, kad visiškai elektra varoma transporto priemone įveikti 100 kilometrų nuotolį yra pigiausia, t.y. el. energijos vartojimo kaštai siekia ~1,50 €. Tai daugiau nei du kartus pigesnis keliavimo būdas lyginant su kitomis degalų rūšimis.



## 8 LITERATŪROS ŠARAŠAS

1. Kompleksinė transporto plėtros galimybių studija, [žiūrėta 2016-06-18], prieiga per internetą: <http://ukmin.lrv.lt/uploads/ukmin/documents/files/Inovacijos/Kompleksine%20EM%20transporto%20pletros%20galimybiu%20studija.%2009%2010%20Final.pdf>
2. Elektromobilio Nissan LEAF eksploatacijos vadovas ir techninės charakteristikos (Nissan Europe Norrdic LTD OY), [žiūrėta 2016-06-18], prieiga per internetą: <https://eu.nissan.biz/wps/myportal/b2bdealerportal/salesmarketinglbi/salesmarketing/>
3. Elektromobilio Nissan Leaf techniniai duomenys, [žiūrėta 2016-06-18], prieiga per internetą: <http://www.nissan.lt/LT/lt/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/prices-and-specifications.html>
4. Lietuvos susisiekimo ministerijos el. puslapis, [žiūrėta 2016-06-18], prieiga per internetą: [28https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/bendra-informacija-apie-elektromobilius](https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/bendra-informacija-apie-elektromobilius)
5. Elektromobilių ir jų priedų platintojo Lietuvoje el. tinklalapis, [žiūrėta 2016-06-18], prieiga per internetą: <http://electrocars.lt/wp-content/uploads/2016/04/Ikrovimo-standartai-LT.pdf>
6. Mokslinis straipsnis „Hibridiniai automobiliai ir elektromobiliai. Technologijos, išlaidos ir nauda“, [žiūrėta 2017-03-05], prieiga per internetą: [http://www.seai.ie/News\\_Events/Press\\_Releases/Costs\\_and\\_benefits.pdf](http://www.seai.ie/News_Events/Press_Releases/Costs_and_benefits.pdf)
7. Profesinės kvalifikacijos mokymų medžiaga „LEAF technical introduction training“, [žiūrėta 2017-03-05].
8. Diagnostinės įrangos „Consult III Plus“ atstovo el. puslapis, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <https://www.aetools.us/products/nissan-consult-iii-plus/>
9. H.Wang, Y. Liu, H. Fu ir G. Li. Elektromobilio baterijų statinio talpumo testas, 2013, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: [http://www.sersc.org/journals/IJCA/vol6\\_no2/17.pdf](http://www.sersc.org/journals/IJCA/vol6_no2/17.pdf)
10. JAV Energijos Departamento, Aidaho Nacionalinės laboratorijos tyrimas „ Elektromobilio statinio talpumo tyrimas“, 2016, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <https://energy.gov/sites/prod/files/2015/02/f19/batteryFocus8207.pdf>
11. JAV Energijos Departamento, Aidaho Nacionalinės laboratorijos tyrimas „ Lauko temperatūros įtaka elektromobilio važiavimo efektyvumui“, 2016, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/2015LeafColdWeatherTestJune2016.pdf>
12. Nepriklausomas tyrėjų konsorciumo tinklaraštis, D.Reichmuth „Ar elektromobilis gali važiuoti šaltu oru? Faktai ir...“, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <http://blog.ucsusa.org/dave-reichmuth/electric-cars-cold-weather-temperatures>

13. E. Kim, K. G. Shin ir J. Lee tyrimas „Realus elektromobilių įkrovos ir iškrovos valdymas hibridinės energijos kaupimo metu“, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: [https://kabru.eecs.umich.edu/papers/publications/2014/main\\_hess3.pdf](https://kabru.eecs.umich.edu/papers/publications/2014/main_hess3.pdf)
14. A.Pesaran „Ultra kondensatorių įdiegimas ir įvertinimas hibridinėse transporto priemonėse“, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <https://www.nrel.gov/transportation/assets/pdfs/45596.pdf>
15. O. Tremblay ir L.A. Dessaint tyrimas „Eksperimentinis baterijos energijos patikimumo tyrimas“, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <http://www.evs24.org/wevajournal/php/download.php?f=vol3/WEVJ3-2230080.pdf>
16. M. Durr, A. Cruden, S. Gair ir J.R. Mc-Donald „Dinaminis akumulatoriaus modelis ir naudojimas el. jėgainės celėse“, [žiūrėta 2017-05-06], prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775306000401>
17. O. Tremblay, L. Dessaint, A. Dekkiche, „Bendrasis akumulatoriaus baterijos modelis dinaminiam tyrimams hibridinėse jėgainėse“, [žiūrėta 2017-05-06], prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/4342930\\_A\\_Generic\\_Battery\\_Model\\_for\\_the\\_Dynamic\\_Simulation\\_of\\_Hybrid\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/4342930_A_Generic_Battery_Model_for_the_Dynamic_Simulation_of_Hybrid_Electric_Vehicles)
18. R. Rynkiewicz „Įkrovos ir iškrovos modelis akumulatoriaus baterijoms“, [žiūrėta 2017-05-06], prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/3789696\\_Discharge\\_and\\_charge\\_modeling\\_of\\_lead\\_acid\\_batteries](https://www.researchgate.net/publication/3789696_Discharge_and_charge_modeling_of_lead_acid_batteries)
19. E. Faggioli, P.Rena, V.Danel, X. Andrieu, R. Mallant and H. Kahlen „Super kondensatoriai elektromobilių energijos valdymo sistemose“, 1999, psl. 261-269, [žiūrėta 2017-05-05], prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775399003262>