

# ELEKTROMOBILIO „NISSAN LEAF“ ĮKROVOS IR IŠKROVOS ANALIZĖ

*Darius Šeržentas*

*Šiaulių valstybinė kolegija, Aušros al. 40, Šiauliai*

## **Anotacija**

Straipsnyje nagrinėjama elektromobilio „Nissan Leaf“ įkrovos ir iškrovos sistemų analizė, akcentuojant šiuolaikinių elektrinių transporto priemonių technologinę pažangą ir efektyvumo aspektus. Tyrimas apima skirtingų įkrovimo lygių (AC ir DC) bei jungčių tipų palyginimą, įkrovos sistemos komponentų ir valdymo signalų veikimą, taip pat rekuperacinio stabdymo iškrovos metodų analizę. Eksperimentinė dalis paremta realaus naudojimo duomenimis, gautais naudojant lėtąjį ir greitąjį įkrovimą, taip pat diagnostine įranga atliekamais matavimais. Nustatyta, kad įkrovimo efektyvumas siekia 94,9 proc., o rekuperacinis stabdymas padeda susigrąžinti dalį energijos. Palyginus „eco“ ir „drive“ režimus, nustatyta, kad energijos sąnaudos gali skirtis iki 21,5 proc., tai įrodo „eco“ režimo efektyvumą. Tyrimo rezultatai gali būti naudingi tobulinant elektromobilių energetines sistemas, tiriant elektromobilį ateityje stebint jo nusidėvėjimą, iškilusius gedimus. Taip pat suprasti realių parametrų skirtumą nuo gamintojo deklaruojamų parametrų.

**Pagrindiniai žodžiai:** elektromobilis, įkrova, iškrova, efektyvumas, „Nissan Leaf“

## **Įvadas**

Šiuolaikinės transporto priemonės sparčiai tobulėja, o elektromobiliai tampa vis populiariesni kaip alternatyva vidaus degimo varikliams varomiems tradiciniams automobiliams. Tai lemia tiek aplinkosaugos reikalavimai, tiek technologinė pažanga, leidžianti kurti vis efektyvesnes elektrinių transporto priemonių sistemas. Vienas svarbiausių elektromobilių technologinių aspektų yra jų įkrovos ir iškrovos sistemos, kurios tiesiogiai daro įtaką transporto priemonės naudojimo patogumui, energijos efektyvumui ir ilgaamžiškumui. Elektromobilių įkrovos sistema apima įvairius įkrovimo metodus, įskaitant lėtąjį (kintanti srovė, alternating current - AC) ir greitąjį (nuolatinė srovė, direct current - DC) įkrovimą, kurie skiriasi savo galia, įkrovimo trukme ir infrastruktūros reikalavimais. Taip pat vis didesnę reikšmę įgyja išmaniosios įkrovimo technologijos, leidžiančios vartotojams optimizuoti energijos suvartojimą pagal elektros tinklo apkrovą bei elektros kainų svyravimus. Iškrovos sistema yra ne mažiau svarbi. Ji susijusi ne tik su transporto priemonės energijos naudojimu važiavimo metu, bet ir su galimybėmis integruoti elektromobilius į platesnę elektros tinklo ekosistemą. Tiriamasis objektas yra Šiaulių valstybinės kolegijos suteiktas 2024 metų elektromobilis „Nissan Leaf“. Šio tyrimo tikslas yra kiek įmanoma detaliau išanalizuoti elektromobilio „Nissan Leaf“ įkrovos ir iškrovos sistemas, naudojantis įvairiomis diagnostikos sistemomis ir realaus, kasdieninio naudojimo būdais. Tyrimo uždaviniai:

- Išanalizuoti skirtumus tarp skirtingų elektromobilių įkrovos sistemos tipų ir jų kroviklių;
- Išanalizuoti elektromobilio „Nissan Leaf“ įkrovos sistemos sandarą ir veikimo principą;
- Išanalizuoti elektromobilio „Nissan Leaf“ rekuperacinės sistemą ir jos veikimą;
- Išanalizuoti elektromobilio „Nissan Leaf“ iškrovos sistemą, skirtingus važiavimo režimus pagal važiavimo stilius.

## **1. Elektromobilių įkrovos sistemos ir kroviklių tipai**

Pagrindiniai įkrovimo lygiai – pirmasis, antrasis ir trečiasis – skiriasi pagal įtampos, srovės ir galios parametrus, todėl skirtingai veikia krovimo greitį. Pirmasis lygis (AC, iki 3,6 kW) naudoja standartinį 230 V buitinių elektros lizdą, tinkamas namų sąlygoms, tačiau baterijos įkrovimas gali trukti daugiau nei 13 valandų. Antrasis lygis, naudojamas plačiai tiek privačiose, tiek viešose įkrovimo stotelėse, siūlo greitesnę įkrovimą – nuo 3,6 iki 22 kW, naudojant tiek vienfazį, tiek trifazį tinklą (230–400 V), todėl 40 kWh baterija įkraunama per 2–11 val. Trečiasis lygis (DC, greitis įkrovimas)

naudoja 400–1000 V įtampą ir galią nuo 50 iki 350 kW, tai leidžia įkrauti elektromobilį iki 80 % vos per 15–60 minučių – tai ypač aktualu kelionėse[1]. Elektromobilių (EV) įkrovimo jungtys skiriasi pagal regioną, srovės tipą ir įkrovimo lygį. Europoje dominuoja Tipas 2 (IEC 62196-2, dar vadinamas „Mennekes“), pritaikytas kintamajai srovei (AC) ir naudojamas 1 ir 2 įkrovimo lygiuose. Tipas 1 (SAE J1772), dažnesnis Šiaurės Amerikoje ir Japonijoje, taip pat palaiko AC įkrovimą, tačiau nėra paplitęs Europoje[2]. Universalumu išsiskiria CCS (Combined Charging System), leidžiantis naudoti tiek AC, tiek nuolatinę srovę (DC) – jis egzistuoja dviejose versijose: CCS1 (Amerika) ir CCS2 (Europa). Japonijoje sukurta „CHAdEMO“ jungtis skirta tik greitam DC įkrovimui, tačiau reikalauja atskiros AC jungties. „Tesla“ naudojamas NACS standartas vienija AC ir DC įkrovimą vienoje kompaktiškoje jungtyje, o adapterių pagalba gali būti naudojamas ir su kitų gamintojų automobiliais[3].

## **2. Elektromobilio „NISSAN LEAF“ įkrovos sistema**

Tiriamas elektromobilis 2024 metų „Nissan Leaf“ yra naujausias modelis, skirtas Europos rinkai. Jis aprūpintas 62 kWh talpos akumuliatorių baterija ir 160 kW galios varikliu, varančiu priekinius varomuosius ratus. Gamintojo deklaruojamas nuvažiuojamas atstumas yra ne mažesnis nei 300 km. Prie elektromobilio pridamas AC srovės krovimo laidas, skirtas krauti iš 220V įtampos lizdo. Įkrovos sistema palaiko du įkrovimo tipus - Type 2 (Mennekes - IEC 62196) ir „CHAdEMO“ greitą krovimą. Greitojo įkrovimo greitis priklauso nuo naudojamo įkroviklio ir didžiausios įkrovimo galios, kurią gali pasiekti elektromobilis. Šiuo atveju palaikomas iki 50 kW galios spartusis įkrovimas. Įkrovos sistema sudaryta iš 9 komponentų: įkrovimo laido, įkrovimo būsenos indikatorius, elektromobilio valdymo modulis (VCM), galios tiekimo modulis (PDM), greitos ir standartinės įkrovos lizdų, įkrovimo jungties užrakto pavaros, įkrovimo angos dangčio atidarymo pavaros ir jungiklio, bei spartaus įkrovimo jungtuko[4].

### **2.1 Elektromobilio „Nissan Leaf“ signalų ir komunikacijų valdymas**

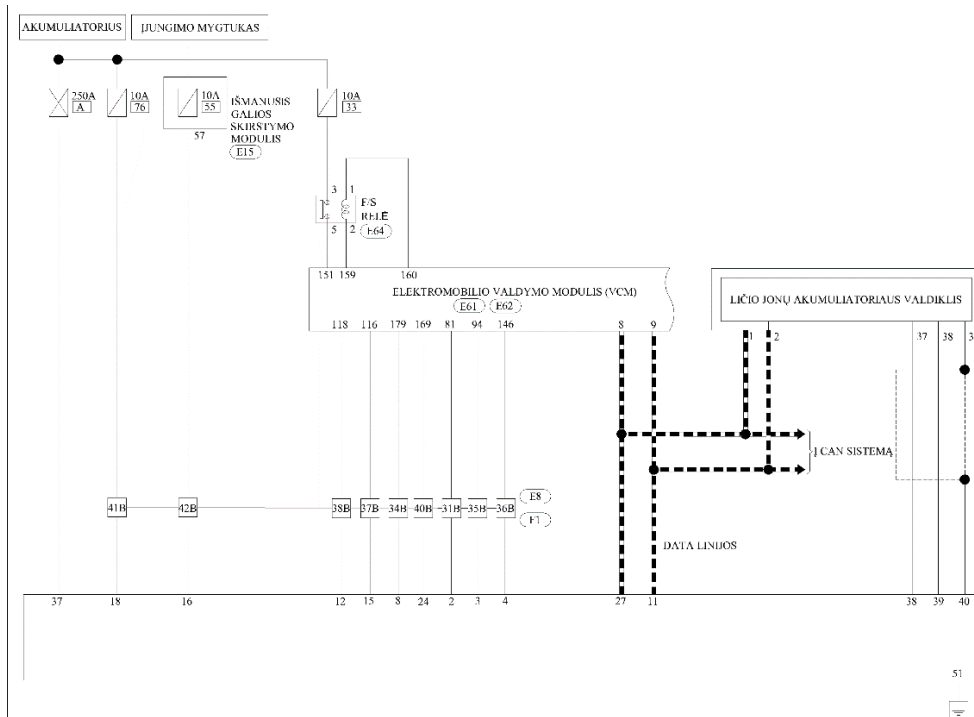
Transporto priemonės įkrovimo sistemą daugiausia valdo elektromobilio valdymo modulis (VCM). Kiekvienas įrenginys atlieka operaciją pagal modulio signalą. VCM priima signalus iš greitos įkrovos lizdo, galios tiekimo modulis, greitos įkrovos mygtuko ir įkrovos lizdo dangtelio atidarymo mygtuko. Jis valdo dangtelio atidarymo pavarą, įkrovos jungties užrakinimo pavarą, įkrovos lizdo lempuotę, įkrovos indikatorius, galios tiekimo modulį, greitos įkrovos lizdą ir patį kroviklį. CAN ryšys vyksta tarp VCM ir akumuliatorių baterijos, galios tiekimo modulis ir kombinacijos skaitiklio, galios tiekimo modulis ir greitos įkrovos lizdo ir greitojo kroviklio. PWM signalas siunčiamas tarp normalios įkrovos laido, įkrovos lizdo ir galios tiekimo modulis. LBC (ličio jonų akumuliatoriaus valdiklis) siunčia įkrovos tipo signalą, akumuliatorių talpos, srovės ir įtampos signalus, likusio laiko iki pilno įkrovimo signalą galios tiekimo ir elektromobilio valdymo modulių. VCM siunčia DC/DC aktyvavimo signalą, įkrovos relės padėties signalą, didžiausios įkrovos galios signalą, nustatyto DC/DC keitiklio išėjimo signalą PDM. PDM (galios tiekimo blokas) siunčia diagnostikos klaidų kodų signalus, AC įėjimo tipo signalą, EV sistemos išpėjamosios lempuotės prašymo signalą, įkrovos laido (EVSE) PWM ryšio signalą, DC/DC keitiklio būsenos signalą, aukštos įtampos pynės blokavimo signalą, EV sistemos įjungimo prašymo signalą, EVSE prijungimo signalą VCM. Galios tiekimo modulis siunčia įkrovimo srovės užklauso signalą greitajam krovikliui. Kombinuotas skaitiklis siunčia nustatymų informacijos signalą VCM. AV (pramogų, navigacijos ir susijungimo) valdymo blokas siunčia transporto priemonės padėties informacija VCM[4].

## 2.2 Ličio jonų akumulatoriaus įkrovos valdymas

Yra dviejų tipų ličio jonų akumuliatorių įkrovimas. Įprasto įkrovimo metu komercinis maitinimo šaltinis paverčiamas nuolatinės srovės maitinimo šaltiniu, o greitojo įkrovimo metu naudojamas specialus įkroviklis. Ličio jonų akumulatoriaus įkrovimą daugiausia valdo VCM. VCM aktyvuoja EV sistemą prijungdamas įkrovimo jungtį, atlikdamas nuotolinį valdymą arba naudodamas integruotą laikmatį, kad būtų pradėtas ličio jonų akumulatoriaus įkrovimas[4].

## 2.3 Įprastinės įkrovos valdymas

Kai įprastinė įkrovimo jungtis prijungiama esant išjungtam maitinimo jungikliui, elektromobilio valdymo modulis nustato, kad sistema veikia įkrovimo režimu, ir įjungia F/S relę ir M/C relę, kad būtų galima įkrauti akumuliatorių. Tada elektromobilio valdymo modulis nustato įkrovimo galią pagal ličio jonų akumulatoriaus įkrovimo galios signalą, gautą iš ličio jonų akumulatoriaus valdiklio, ir įkrovimo galios signalą, gautą iš galios tiekimo modulio[4].



1 pav. Elektromobilio „Nissan leaf“ įkrovos elektrinė schema[4]

Elektromobilio valdymo modulis siunčia didžiausią įkrovimo galios signalą į galios tiekimo modulį. Galios tiekimo modulis nustato įkrovimo galią remdamasis didžiausios įkrovimo galios signalu ir didžiausios įėjimo srovės signalu, kurį siunčia įprastas įkrovimo įrenginys. Tuo pačiu metu elektromobilio valdymo modulis įjungia pagrindinę sistemos relę 1 ir pagrindinę sistemos relę 2. Todėl pradedamas ličio jonų akumulatoriaus įkrovimas. Šiuo režimu įkrovimui prijungiama įkrovimo įrenginys. Įprastas įkrovimas apima tiesioginio įkrovimo režimą ir įkrovimo pagal laikmatį režimą. Visais režimais įkrovimo lygį galima nustatyti į 100 %. Elektromobilio valdymo modulis sustabdo įprastinį įkrovimą, kai nustato, įprastinis įkrovimo įrenginys yra atjungtas. Be to, esant toliau nurodytoms sąlygoms, elektromobilio valdymo modulis laikinai sustabdo įprastinį įkrovimą ir pereina į budėjimo režimą:

- Kai nutrūksta kintamosios srovės įtampa ir PWM ryšys iš įprasto įkrovimo įrenginio.

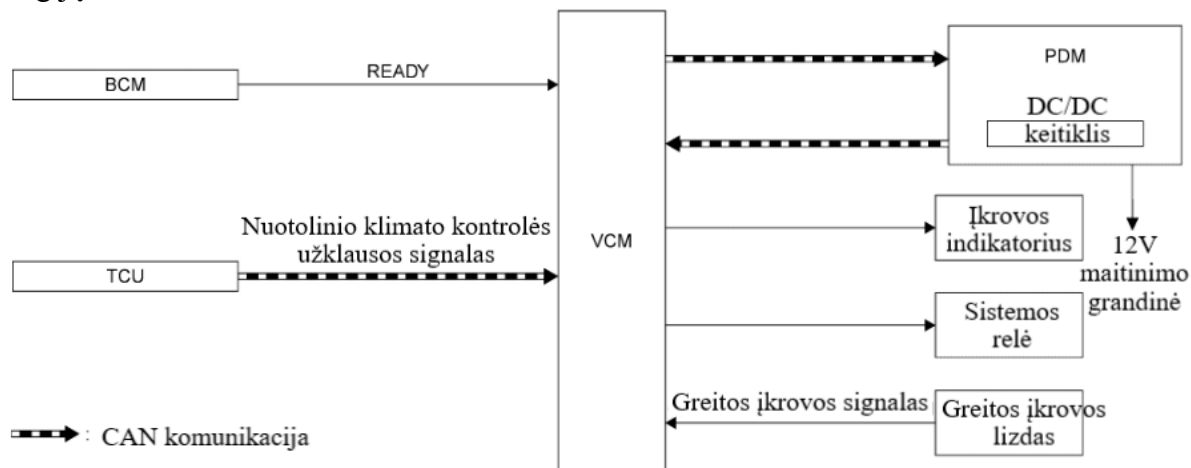
- Kai nuspaudžiamas normalaus įkrovimo jungties atleidimo jungiklis.
- Kai ličio jonų akumuliatoriaus temperatūra pasiekia 60 °C arba aukštesnę[4].

## 2.4 Greitos įkrovos valdymas

Kai greitojo įkrovimo jungtis prijungiama prie greitojo įkrovimo prievado ir paspaudžiamas greitojo įkroviklio paleidimo jungiklis, elektromobilio valdymo modulis nustato, kad paleidimo jungiklis įjungtas pagal greitojo įkroviklio paleidimo / sustabdymo signalą 1. Tada įjungia F/S CHG relę, sistemos pagrindinę relę 1, sistemos pagrindinę relę 2 ir greitojo įkrovimo relę, kad paruoštų greitąją įkrovimą. Taip pat nustato tikslinę įkrovimo galią pagal ličio jonų akumuliatoriaus įkrovimo galios signalą, gautą iš ličio jonų akumuliatoriaus valdiklio, ir greitojo įkroviklio išėjimo galimos srovės signalą, gautą iš greitojo įkroviklio. Greitasis įkroviklis valdo išėjimo galią pagal įkrovimo srovės užklauskos signalą, gautą iš elektromobilio valdymo moduli per galios tiekimo modulį CAN ryšiu. Kai įkrovos kiekis pasiekia nustatytą dydį ir elektromobilio valdymo moduli gauna ličio jonų akumuliatoriaus įkrovos užbaigimo signalą iš ličio jonų akumuliatoriaus valdiklio, jis sustabdo įkrovą. Greito įkrovimo režimas - tai režimas, kuriuo atliekamas įkrovimas naudojant greitąją įkroviklį. Maksimalus įkrovimo lygis priklauso nuo ličio jonų akumuliatoriaus likučio lygio įkrovimo pradžioje. Net jei įkrovimas nebaigtas, kai praeina greitajame įkroviklyje nustatytas įkrovimo laikas arba automobilyje nustatytas laikas (ne daugiau kaip 255 minutės), įkrovimas nutraukiamas[4].

## 2.5 Automatinis 12 V sistemos krovimo valdymas

Automatinė 12 V akumuliatoriaus įkrovimo kontrolė - tai kontrolė, skirta sumažinti akumuliatoriaus išsikrovimo dažnumą automatiškai įkraunant 12 V akumuliatorių, jei 12 V akumuliatoriaus įtampa yra žema, kai raktelis pasuktas į ON padėtį arba transporto priemonė ilgą laiką paliekama be priežiūros. Kai VCM nustato automatinio įkrovimo poreikį, VCM valdo DC/DC keitiklį ir sistemos pagrindinę relę ir įkrauna 12 V akumuliatorių naudodamas ličio jonų akumuliatoriaus energiją[4].



2 pav. Elektromobilio „Nissan Leaf“ 12 V sistemos įkrovimo valdymas[4]

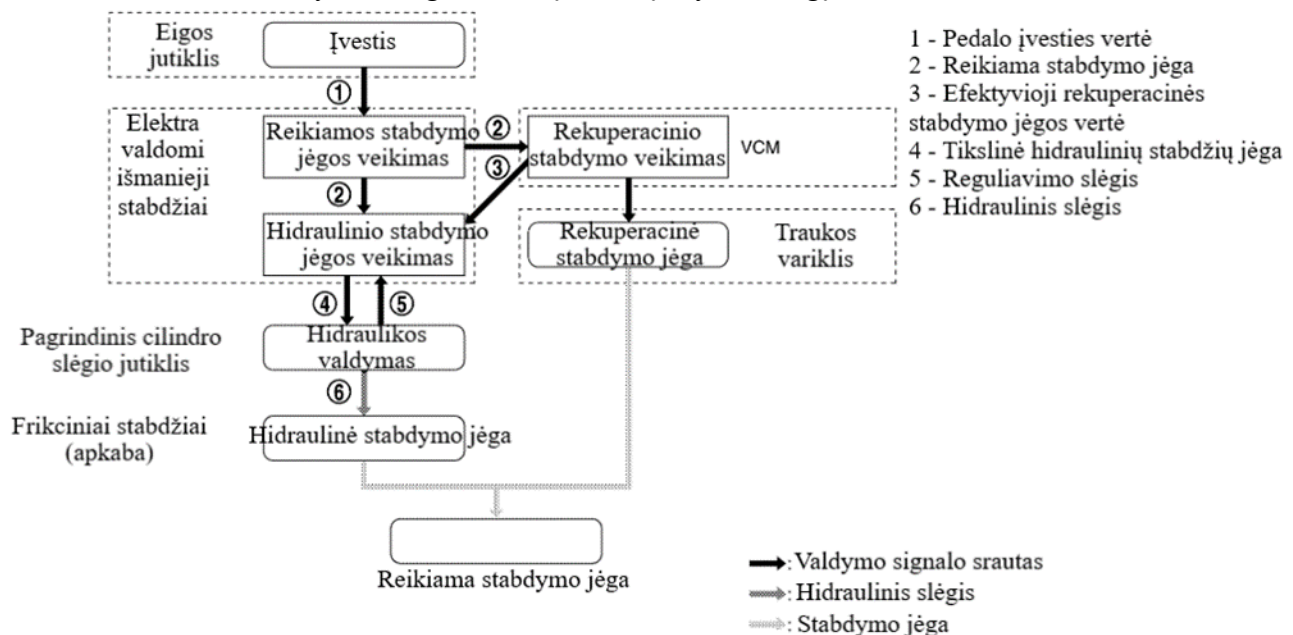
VCM matuoja neveikimo laiką naudodamas vidinį laikmatį. Jei neveikimo laikas pasiekia 24 valandas, VCM automatiškai įkrauna 4 minutes. VCM iš naujo nustato nepertraukiamo veikimo būsenos laiką, kai transporto priemonė atitinka vieną iš toliau nurodytų sąlygų:

- READY tęsiasi ilgiau, nei 4 minutes.

- Įprastas įkrovimas tęsiasi ilgiau, nei 4 minutes.
- Greitasis įkrovimas tęsiasi ilgiau, nei 4 minutes.
- Klimato kontrolės sistema. Laikmatis arba nuotolinis klimato valdymas tęsiasi ilgiau, nei 4 minutes.
- Kai automatinio įkrovimo metu 12 V akumuliatorius atpažįstamas kaip visiškai įkrautas (įkrovimo srovė yra 1,5 A arba mažesnė)[4].

### 3. Elektromobilio „NISSAN LEAF“ rekuperacinė sistema

Rekuperacinis stabdys varo traukos variklį, kuris veikia kaip generatorius ir padangų sukimosi metu sukuriama kinetinę energiją paverčia elektros energija. Šitaip gauta elektros energija įkrauna ličio jonų akumuliatorių. Kai stabdžiai įjungiami (važiuojant), elektra varomas išmanusis stabdžių blokas apskaičiuoja reikiamą stabdymo jėgą pagal eigos jutiklio įvesties reikšmę (rodančią stabdžių pedalo paspaudimo intensyvumą) ir rezultatą siunčia į VCM. Kartu jis apskaičiuoja hidraulinę stabdymo jėgą, reikalingą reikiamai stabdymo jėgai sukurti. VCM apskaičiuoja rekuperacinę stabdymo jėgą, kurios reikia reikiamai stabdymo jėgai sukurti, ir rezultatą siunčia elektra varomam pažangiajam stabdžių blokui. Tuo pat metu traukos variklio keitiklis naudoja traukos variklį rekuperaciniam stabdymui atlikti. Elektra varomas pažangusis stabdžių blokas vėl apskaičiuoja hidraulinę stabdymo jėgą, remdamasis rekuperacinės stabdymo jėgos rezultatu iš VCM ir apskaičiuotu hidraulinės stabdymo jėgos rezultatu. Remdamasis apskaičiuotu hidraulinės stabdymo jėgos rezultatu, elektra varomas pažangusis stabdžių blokas jame esančiu varikliu judina pagrindinio cilindro stūmoklį, reguliuodamas skysčio slėgį pagrindiniame cilindre pagal pagrindinio skysčio slėgį. Jis taip pat atlieka reguliavimą, kad faktiškai veikiantis skysčio slėgis atitiktų tikslinį skysčio slėgį[4].



3 pav. Elektromobilio „Nissan Leaf“ rekuperacinės sistemos valdymas[4]

Pagrindinio cilindro sukuriamas skysčio slėgis per ABS pavarą ir elektrinį bloką (valdymo bloką) perduodamas į kiekvieną stabdžių apkabą. Veikiant kooperatyviam regeneraciniam stabdžiui, elektra varomo išmaniojo stabdžių bloko viduje esantis variklis judina pagrindinio cilindro stūmoklį pagal regeneracijos kiekį. Judinant pagrindinio cilindro stūmoklį, didėja skysčio slėgis, veikiantis ABS pavarą ir elektrinį bloką (valdymo bloką). Stabdžių pedalo eiga nesikeičia. Kai stabdžių valdymas

sustabdytas (prieš pat transporto priemonės sustabdymą arba transporto priemonei stovint), kooperatyvinis rekuperacinių stabdžių valdymas nevykdomas[4].

#### 4. Elektromobilio „NISSAN LEAF“ iškrovos sistema

„Nissan Leaf“ ZE1 palaiko V2G ir V2H iškrovos metodus. Tam reikia CHAdeMO dvikrypčio įkroviklio, suderinamos energijos valdymo sistemos ir tinklo arba namų sistemos patvirtinimo (kai kuriose vietovėse reikalingas komunalinių paslaugų bendrovės leidimas)[4].

##### 4.1 lentelė. Elektromobilio NISSAN LEAF iškrovos sistemos duomenys

Iškrovos tipas	Galia	Panaudojimas
V2G	Iki 10 kW	Palaiko tinklo stabilumą
V2H	~ 6 – 7 kW	Maitina namus, kai nutrūksta elektros energijos tiekimas
V2L	1 – 2 kW (ribota)	Įkrauna įrenginius, paleidžia prietaisus

Standartinė iškrova veikia naudojantis elektromobiliu kasdien, kai veikia variklis, pramogų sistemos komforto sistemos ir t.t. Vartotojas paspaudžia „start“ mygtuką ir įjungia elektromobilį. BMS pradeda nuolatinį energijos poreikio sekimą ir vykdymą. Realiu laiku stebimi akceleratoriaus padėtis, kelias (pagal įvairius jutiklius ir navigacijos sistemą), komforto sistemos poreikiai, skaičiuojamas momentinės galios poreikis varikliui, akumuliatorių baterijos įkrovos būklė (SOC), temperatūra. Jei įkrova mažesnė nei 5 %, tuomet įjungiamas energijos taupymo režimas (limp mode) ribojama akceleracija, greitis, atjungiamos nebūtinoms vartotojui sistemos. Įsižiebia įspėjimo žinutė prietaisų skydelyje. Jei įkrova didesnė nei 5 %, tuomet įjungiamas inverteris, nuolatinė srovė iš akumuliatorių baterijos paverčiama į kintamą srovę reikalinga varikliui. Inverteris reguliuoja dažnį ir srovės stiprumą, kad būtų keičiama variklio galia. Priklausomai nuo energijos poreikio sistema valdo variklio sukimo momentą ir galią bei užtikrina tolygų važiavimą ir efektyvų energijos naudojimą. Jei vairuotojas atleidžia akceleratoriaus pedalą ar stabdo sistema aktyvuoja rekuperacinį stabdymą (variklis veikia kaip generatorius ir grąžina energiją į akumuliatorių bateriją). Vykdoma temperatūros kontrolė, jei temperatūra pasiekia pavojingą – apribojama variklio galia. Visa procedūra veikia nuolat – kas kelias milisekundes ir realiu laiku keičiamas energijos tiekimas pagal esamas sąlygas[4].

#### 5. Tiriamoji elektromobilio „NISSAN LEAF“ įkrovos ir iškrovos dalis

Tyrimas pradėtas stebint elektromobilio įkrovimą naudojant gamintojo pateiktą „CTEK 3002“ lėto įkrovimo kroviklį. Šis įrenginys veikia 50 Hz dažniu, 16 A srove ir iki 400 V įtampa. Įkrovimo metu, esant 220 V įtampai, buvo fiksuota 3,3 kW įkrovimo galia per vieną fazę. Įkrovimo procesas pradėtas esant 10 % akumuliatoriaus talpos, o pabaigtas pasiekus 100 %. Elektros skaitiklio duomenimis, viso buvo sunaudota 52,92 kWh elektros energijos. Remiantis gamintojo informacija, nominali visos akumuliatoriaus talpos vertė siekia 62 kWh, tad 10 % būtų lygu 6,2 kWh. Tokiu būdu, akumuliatoriui nuo 10 % iki 100 % pakrauti buvo sunaudota apie 55,8 kWh energijos ( $62 - 6,2 = 55,8$  kWh). Vis dėlto, realūs įkrovimo duomenys rodo, kad pakrauti šią talpą užteko 52,92 kWh energijos. Tai galėtų pasirodyti nelogiška, tačiau skirtumą lemia tai, kad vartotojui nėra matomas tikrasis akumuliatoriaus rezervas – gamintojas įprastai palieka nenaudojamą talpos dalį, kuri padeda išlaikyti ilgalaikį baterijos patikimumą. Atlikus detalesnę analizę, paaiškėjo, jog reali naudojama talpa siekia

55,8 kWh, o 10 % nuo šios vertės – 5,58 kWh. Taigi, realus įkrovimas siekė 50,22 kWh (55,8 – 5,58), o likę 2,7 kWh (52,92 – 50,22) atspindi sistemos nuostolius. Tai sudaro apie 5,1 % bendros įkrovimo energijos. Tokio dydžio nuostoliai – gana nedideli, kadangi, remiantis viešai prieinama informacija, standartiniai nuostoliai elektromobilių įkrovimo metu dažnai siekia apie 10 %. Šiuo atveju įkrovimo sistemos efektyvumas siekia net 94,9 %, kas laikoma labai geru rezultatu[6].

Antrasis tyrimo etapas buvo skirtas greito įkrovimo analizei. Elektromobilis buvo prijungtas prie „Inbalance Grid“ greito įkrovimo stotelės, turinčios CHAdeMO jungtį. Nors gamintojo duomenimis stotelės galia siekia 50 kW, realus įkrovimo metu fiksuotas vidurkis buvo 33,68 kW – tai yra 16,32 kW mažiau nei nurodyta. Per 10 minučių elektromobilis buvo įkrautas 5,56 kWh energijos, kurios pakanka nuvažiuoti apie 27,78 km. Tai atitinka 10 % akumulatoriaus talpos papildymą. Remiantis šiais duomenimis, įkrovimas nuo 10 % iki 80 % šioje stotelėje užtruktų apie 70 minučių. Įdomu tai, kad prieš įkrovimą prijungus diagnostikos įrangą, buvo pastebėtas neatitikimas tarp prietaisų skydelio ir faktinių duomenų – diagnostika rodė 20 % akumulatoriaus talpos, kai tuo tarpu skydelis – vos 10 %. Šis skirtumas rodo, kad gamintojas sąmoningai slepia dalį realios talpos, siekdamas apsaugoti bateriją nuo per didelio nusidėvėjimo. Todėl nors oficialiai deklaruojama talpa yra 62 kWh, faktiškai naudotojas gali naudotis maždaug 55,8–56 kWh.

Vienas iš išskirtinių elektromobilių bruožų yra gebėjimas stabdymo metu ne tik sumažinti greitį, bet ir atgauti dalį energijos. Šis procesas vadinamas rekuperaciniu stabdymu, kurio metu kinetinė energija, kuri įprastai būtų prarandama stabdant, paverčiama į elektros energiją ir saugoma akumuliatoriuje. Tyrimo metu buvo analizuotas „Nissan Leaf“ modelio rekuperacinis stabdymas realiomis sąlygomis, pasitelkiant tikslią diagnostinę įrangą. Analizė atlikta naudojant „BOSCH ESI[tronic]“ diagnostinę įrangą, kuri pasižymi patogiu duomenų pateikimu grafiškai ir galimybe realiu laiku stebėti elektromobilio parametrus. Buvo pasirinkti trys stabdymo scenarijai, kurių metu stebėti tokie rodikliai kaip greitis, variklio sūkiai per minutę (RPM), akumulatoriaus įtampa ir srovė. Šių duomenų pagrindu buvo apskaičiuota rekuperacijos metu sugeneruotos energijos apimtis.

Pirmuoju atveju automobilis buvo stabdomas nuo 130 iki 90 km/h greičio per 12 sekundžių laikotarpį. Didžiausia momentinė sugeneruota rekuperacinė galia siekė 46,238 kW, o aukščiausia fiksuota srovė – 122 A. Apskaičiuota, kad šio stabdymo metu į akumuliatorių buvo grąžinta apie 0,083 kWh energijos. Antrasis scenarijus apėmė ilgesnį ir platesnio greičio intervalo stabdymą – nuo 104 iki 25 km/h. Šis procesas truko 27 sekundes. Buvo užfiksuota dar didesnė momentinė galia – 51,612 kW, o srovė pasiekė 138 A. Atitinkamai sugeneruota energija siekė 0,207 kWh. Tai didžiausias energijos kiekis iš visų trijų matavimų. Trečiasis tyrimo etapas vyko stabdant nuo 135 iki 55 km/h greičio per 10 sekundžių. Nors greičio skirtumas gana didelis, trumpas stabdymo laikas ir mažesnė apkrova lėmė mažesnę energijos atgavimą – momentinė galia siekė 36,908 kW, srovė – 95 A, o sugeneruota energija – apie 0,08 kWh.

Norint išsamiai įvertinti elektromobilio energijos sąnaudas ir efektyvumą realiomis sąlygomis, buvo atliktas išsamus tyrimas, apimantis važiavimus įvairiais greičiais ir skirtingais režimais. Tyrimai buvo vykdomi tiek realiame kelyje, tiek laboratorinėmis sąlygomis pasitelkiant DYNOMAG galios matavimo stendą, esantį Šiaulių valstybinėje kolegijoje. Diagnostikai naudota „BOSCH ESI[tronic]“ įranga, leidžianti tiksliai fiksuoti momentinius energijos parametrus. Tiriamasis elektromobilis turėjo du važiavimo režimus – „eco“ ir „drive“. Esminis skirtumas tarp jų – akceleratoriaus jautrumas: „eco“ režime jis yra ribotas, todėl automobilis akseleruoja švelniau, o tai leidžia efektyviau naudoti energiją ir padidina vienu įkrovimu nuvažiuojamą atstumą. Tyrimo metu buvo išanalizuoti dažniausiai Lietuvoje

taikomi greičio ribojimai: 50, 70, 90, 100, 110 ir 130 km/h. Važiuojant „eco“ režimu naudota kruizo kontrolė, siekiant užtikrinti kuo pastovesnį greitį ir tiksliau fiksuoti energijos suvartojimą.

- 50 km/h: didžiausia iškrova – ~5 kW, mažiausia – ~3,5 kW, vidutinė – ~4 kW
- 70 km/h: didžiausia – ~15,2 kW, mažiausia – ~10,3 kW, vidutinė – ~12,3 kW
- 90 km/h: didžiausia – ~20 kW, mažiausia – ~12,2 kW, vidutinė – ~15,8 kW
- 100 km/h: didžiausia – ~29 kW, mažiausia – ~14,8 kW, vidutinė – ~20,4 kW
- 110 km/h: didžiausia – ~25,5 kW, mažiausia – ~22 kW, vidutinė – ~23,8 kW
- 130 km/h: didžiausia – ~43,6 kW, mažiausia – ~27,2 kW, vidutinė – ~36,4 kW

Tuo pačiu maršrutu ir esant toms pačioms greičio riboms buvo atlikti analogiški matavimai naudojant „drive“ režimą.

- 50 km/h: didžiausia – ~16,7 kW, mažiausia – ~8,9 kW, vidutinė – ~10,8 kW
- 70 km/h: didžiausia – ~21,5 kW, mažiausia – ~7,4 kW, vidutinė – ~11,9 kW
- 90 km/h: didžiausia – ~20,3 kW, mažiausia – ~16,1 kW, vidutinė – ~18,5 kW
- 100 km/h: didžiausia – ~34 kW, mažiausia – ~22,5 kW, vidutinė – ~27,3 kW
- 110 km/h: didžiausia – ~29,9 kW, mažiausia – ~21,9 kW, vidutinė – ~25,4 kW
- 130 km/h: didžiausia – ~52,9 kW, mažiausia – ~40,9 kW, vidutinė – ~49,6 kW

Palyginus „eco“ ir „drive“ režimų energijos sąnaudas, nustatyta, kad vidutinis suvartojimo skirtumas siekia apie 21,5 %. Tai reiškia, jog važiuojant „eco“ režimu, elektromobilis vienu įkrovimu gali įveikti vidutiniškai 21,5 % ilgesnį atstumą. Toks rezultatas patvirtina gamintojų teiginius apie „eco“ režimo naudą – jis leidžia gerokai sumažinti energijos vartojimą be reikšmingo poveikio vairavimo patogumui. Be to, efektyvesnis energijos panaudojimas prisideda prie mažesnio akumulatoriaus dėvėjimosi ir pailgina bendrą elektromobilio eksploatacijos laiką.

## Išvados

Įkrovimo greitis tiesiogiai priklauso nuo įkrovimo lygio – kuo aukštesnis lygis, tuo didesnė galia pasiekama ir trumpesnis įkrovimo laikas. Lėčiausias, pirmasis lygis, tinkamas tik buitiniam naudojimui, o trečiasis užtikrina greitą įkrovimą ilgesnėse kelionėse. Antrasis įkrovimo lygis yra praktiškiausias kasdieniam naudojimui, nes užtikrina pakankamai greitą įkrovimą tiek namuose, tiek viešose įkrovimo stotelėse, suderinant įkrovimo spartą ir infrastruktūros prieinamumą. Trečiojo lygio (DC) įkrovimas labiausiai tinkamas kelionėms – dėl itin trumpo įkrovimo laiko iki 80 % (per 15–60 minučių), šis metodas yra būtinas greitkeliuose ir ilgose trasose. Jungčių tipai yra svarbūs suderinamumui ir kelionių planavimui. Skirtingi regionai naudoja skirtingus įkrovimo jungčių standartus, todėl svarbu atsižvelgti į tai renkantis elektromobilį ar planuojant keliones į užsienį. Europoje dominuoja Tipas 2 ir CCS2 jungtys, kurios yra plačiausiai palaikomi ir suderinami sprendimai tiek AC, tiek DC įkrovimui, todėl užtikrina geriausią infrastruktūros prieinamumą. Tesla NACS standartas tampa vis universalesnis – dėl „Tesla“ įkrovimo tinklo ir adapterių sistemos šis standartas vis dažniau pritaikomas ir kitų gamintojų elektromobiliuose.

Rekuperacinis stabdymas „Nissan Leaf“ elektromobilyje leidžia efektyviai atgauti dalį važiuojant prarandamos energijos, kuri kitu atveju būtų paversta šiluma stabdžių sistemose. Nors sugeneruoti energijos kiekiai per trumpus stabdymus nėra dideli (iki 0,2 kWh), ilgesnės kelionės metu ir dažnai stabdant šis procesas gali žymiai prisidėti prie bendro energijos efektyvumo ir pailginti vienu įkrovimu įveikiamą atstumą. Šie duomenys taip pat leidžia daryti išvadą, kad rekuperacijos efektyvumas priklauso nuo greičio intervalo, stabdymo trukmės bei automobilio techninių parametrų. Didžiausias energijos atgavimas pasiektas stabdant nuo vidutinio iki žemo greičio per ilgesnį laiką. Tai rodo, kad protingas vairavimo stilius – planuojamas stabdymas ir greičio reguliavimas – gali prisidėti prie didesnio elektromobilio efektyvumo.



Palyginus „eco“ ir „drive“ režimų energijos sąnaudas, nustatyta, kad vidutinis suvartojimo skirtumas siekia apie 21,5 %. Tai reiškia, jog važiuojant „eco“ režimu, elektromobilis vienu įkrovimu gali įveikti vidutiniškai 21,5 % ilgesnį atstumą. Toks rezultatas patvirtina gamintojų teiginius apie „eco“ režimo naudą – jis leidžia gerokai sumažinti energijos vartojimą be reikšmingo poveikio vairavimo patogumui. Be to, efektyvesnis energijos panaudojimas prisideda prie mažesnio akumulatoriaus dėvėjimosi ir pailgina bendrą elektromobilio eksploatacijos laiką.

### Informacijos šaltinių sąrašas

1. EV charging explained. Prieiga per internetą 2025 05 26:  
<<https://evchargingexplained.com/history-of-electric-vehicle-charging/>>
2. Fuad Un-Noor, Sanjeevikumar Padmanaban, Lucian Mihet-Popa, Mohammad Nurunnabi Mollah and Eklas Hossain. A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. Published: 17 August 2017.
3. achid, A.; El Fadil, H.; Gaouzi, K.; Rachid, K.; Lassioui, A.; El Idrissi, Z.; Koundi, M. Electric Vehicle Charging Systems: Comprehensive Review. Energies 2023, 16, 255. <https://doi.org/10.3390/en16010255>
4. NISSAN LEAF (ZE1) service manual. Nissan Automotive, February 2022.
5. Car owners manual. Prieiga per internetą 2025 04 23:  
<<https://www.nissan.co.uk/owners/car-repair/car-owner-manual/manuals/iom/leaf/0ze1/e0/2023/eco-mode-2.shtml#:~:text=The%20ECO%20mode%20helps%20reduce,mode%2C%20push%20the%20ECO%20switch.>>
6. EV charging losses. Prieiga per internetą 2025 04 23:  
<<https://www.readelectricavenue.com/p/an-inconvenient-truth>>