

ELEKTROMOBILIO NISSAN LEAF ELEKTRINĖS PAVAROS ANALIZĖ

Nėrijus Limontas

Šiaulių valstybinė kolegija, Aušros al. 40, Šiauliai

Anotacija

Baigiamajame projekte analizuojama 2024 m. elektromobilio *Nissan Leaf* elektrinė pvara. Darbo tikslas – įvertinti pavaros techninius parametrus, palyginti juos su gamintojo pateiktais duomenimis ir įvertinti, kaip ši informacija perteikiama vartotojui. Tyrimo metu nagrinėjamos rinkoje naudojamos elektrinės pavaros, atliekami galios, sukimo momento bei efektyvumo matavimai. Projektas aktualus didėjant elektromobilių populiarumui ir siekiant užtikrinti vartotojui tikslią informaciją apie transporto priemonės veikimą.

Pagrindiniai žodžiai: elektrinė pvara, elektromobilio variklis.

Įvadas

Pastaraisiais metais automobilių pramonė išgyvena reikšmingus pokyčius, susijusius su perėjimu nuo vidaus degimo variklių prie elektrinių pavarų sistemų. Ši transformacija skatina mažesnę iškastinio kuro vartojimą bei išmetamųjų teršalų kiekį ir kelia naujus iššūkius transporto inžinerijoje. Vienas iš pirmųjų masiškai gaminamų ir plačiai prieinamų elektromobilių – *Nissan Leaf* – išsiskiria techniniu paprastumu ir patikimumu. Pagrindinis jo efektyvumo veiksnys – elektrinė pvara, kurios analizė leidžia įvertinti konstrukcijos, veikimo ir energijos vartojimo aspektus. Šio straipsnio tikslas – ištirti *Nissan Leaf* elektrinės pavaros sistemos struktūrą, veikimo principus ir jų įtaką eksploatacinėms charakteristikoms. *Tyrimo tikslas* – išanalizuoti *Nissan Leaf* elektrinės pavaros efektyvumą, naudojamą galią, bei reikiamą sukimo momentą. Tyrimo uždaviniai: 1. Išanalizuoti rinkoje esančias elektrines pavaras. 2. Išanalizuoti *Nissan Leaf* elektrinę pavarą. 3. Aptarti gautus rezultatus ir palyginti juos su gamintojo pateiktais.

Elektromobilio istorija



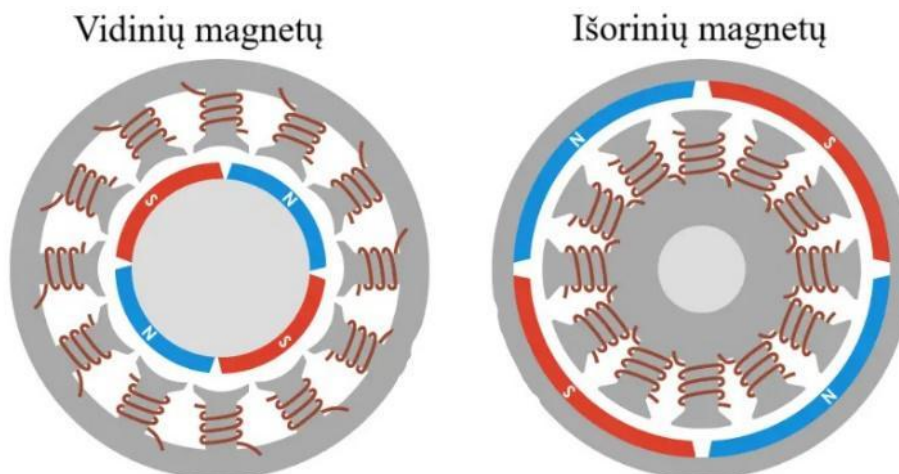
1 pav. Elektromobilis Fiat X1/23

Elektromobilis – tai motorinė transporto priemonė, turinti bent vieną elektrinės energijos keitiklį ir įkraunamą energijos kaupimo sistemą, įkraunamą iš išorės. Elektromobilių kategorijai priskiriami tiek gryniesiems elektromobiliai, tiek įkraunami hibridai. Pirmasis hibridinės pavaros elektromobilis buvo sukurtas 1916 m., o jau 1920 m. Anglijoje elektromobiliai pradėti vertinti kaip alternatyva benzinu varomoms transporto priemonėms. Po Pirmojo pasaulinio karo, didėjant benzino kainoms, elektromobilių paklausa augo – jų skaičius išaugo net 800 %.

1959 m. pasirodė naujas elektromobilio modelis, turėjęs 30 km nuvažiuojamą atstumą ir 7 val. įkrovimo laiką. 1968 m. „General Motors“ pristatė hibridinį modelį, o 1973 m. rinkoje pasirodė pirmasis elektrinis autobusas, kuris, deja, neprigijo. Vėliau pasirodė tokie modeliai kaip *Fiat X1/23*. Tolesnį proveržį elektromobilių rinkoje lėmė 1990–2000 m. laikotarpis, o nuo 2008 m. prasidėjo intensyvi gamyba, kurią ženkliai išplėtė tokie gamintojai kaip *Tesla*.

Elektromobiliuose naudojamos elektrinės pavaros

Bešepetėlinis nuolatinės srovės variklis (BLDC)



2 pav. Bešepetėlio variklio struktūra

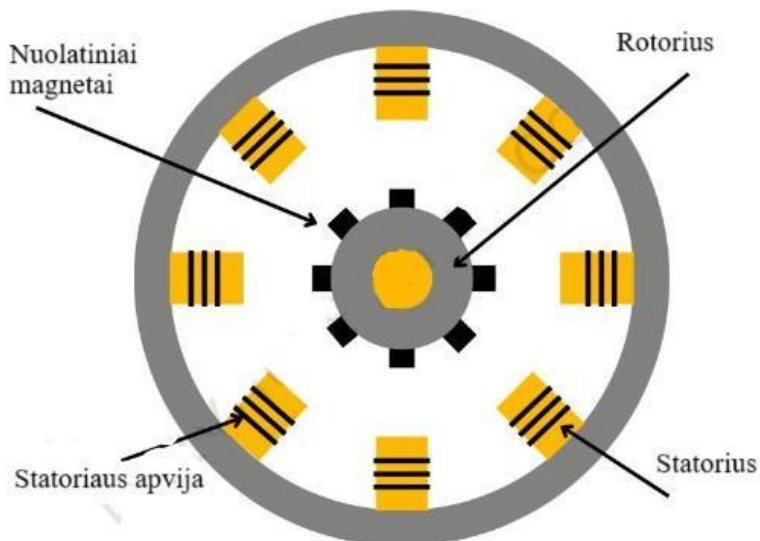
Bešepetėliniai nuolatinės srovės varikliai (angl. *Brushless DC motors* – BLDC) – tai modernūs elektros varikliai, pasižymintys aukštu efektyvumu, ilgaamžiškumu ir kompaktiška konstrukcija. Skirtingai nei tradiciniai šepetėliniai varikliai, BLDC varikliai neturi mechaninių kontaktinių komponentų (šepetčių), todėl jų mechaninis nusidėvėjimas yra minimalus, o priežiūros poreikis – labai mažas.

Šių variklių rotoriuje montuojami nuolatiniai magnetai, o statoriuje – trifazės apvijos, kurios valdomos elektronine komutacija, dažniausiai įgyvendinama per impulsų pločio moduliacijos (PWM) valdiklį. BLDC variklių konstrukcija leidžia pasiekti iki 90 % naudingumo koeficientą, todėl jie plačiai taikomi ne tik elektromobiliuose, bet ir aviacijoje, robotikoje bei pramoniniuose servopavarų sprendimuose. Dėl geros galios ir svorio santykio bei didelio sukimo momento prie mažų sūkių šie varikliai ypač tinkami elektrinėms pavaroms.

Nuolatinių magnetų sinchroninis variklis (PMSM)

Nuolatinių magnetų sinchroniniai varikliai (angl. *Permanent Magnet Synchronous Motors* – PMSM) išsiskiria tuo, kad jų rotoriuje yra įtaisyti stiprūs nuolatiniai magnetai, dažniausiai gaminami iš retųjų žemių metalų, tokių kaip neodimis arba samaris. Skirtingai nei BLDC varikliai, PMSM generuoja sinuso formos įtampos bangas, todėl užtikrina tolygesnį sukimo momentą ir mažesnę akustinį triukšmą. PMSM veikia sinchroniškai – rotorius sukasi tiksliai tokia pačia kampine sparta kaip ir statoriaus magnetinis laukas, o tai leidžia pasiekti didesnę valdymo tikslumą, efektyvumą bei

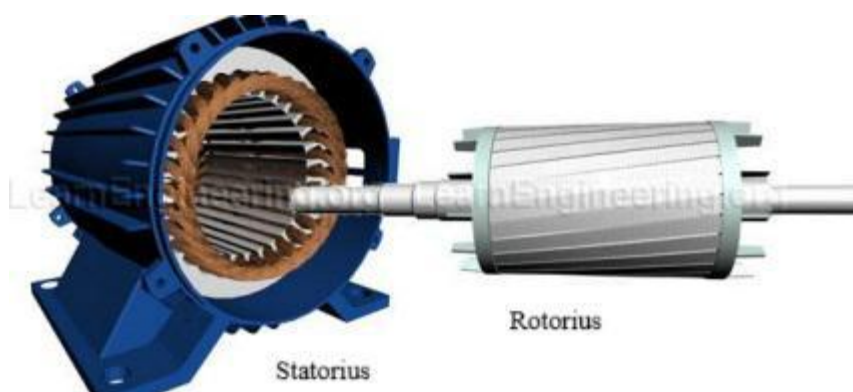
geresnį dinaminių charakteristikų stabilumą. Dėl šių savybių PMSM plačiai naudojami aukštos klasės elektromobiliuose (pvz., „Hyundai Kona“, „BMW i3“), kur reikalingas optimalus efektyvumo ir valdymo tikslumo derinys.



3 pav. Nuolatinių magnetų sinchroninis variklis

Asinchroninis (indukcinis) variklis

Asinchroninis variklis, dar vadinamas indukcinio, yra vienas iš plačiausiai naudojamų elektros variklių pramonėje ir elektromobiliuose. Jo veikimas pagrįstas elektromagnetinės indukcijos principu – statoriaus sukuriama besisukantis magnetinis laukas indukuoja sroves rotoruje, kurios sukuria sukimo momentą. Šio tipo varikliai neturi nei šepečių, nei nuolatinių magnetų, todėl yra mechaniškai paprasti, patikimi ir atsparūs darbo sąlygų pokyčiams (pvz., temperatūros ar apkrovos svyravimams). Nors jų naudingumo koeficientas kiek mažesnis nei PMSM ar BLDC variklių (įprastai 80–88 %), jie turi kitų pranašumų: didesnę atsparumą perkrovoms, mažesnę savikainą ir lankstesnes aušinimo galimybes. Asinchroniniai varikliai naudoti pirmajame „Tesla Model S“ bei kituose komerciniuose elektromobiliuose, kur svarbus didelis galios tankis ir patikimumas.

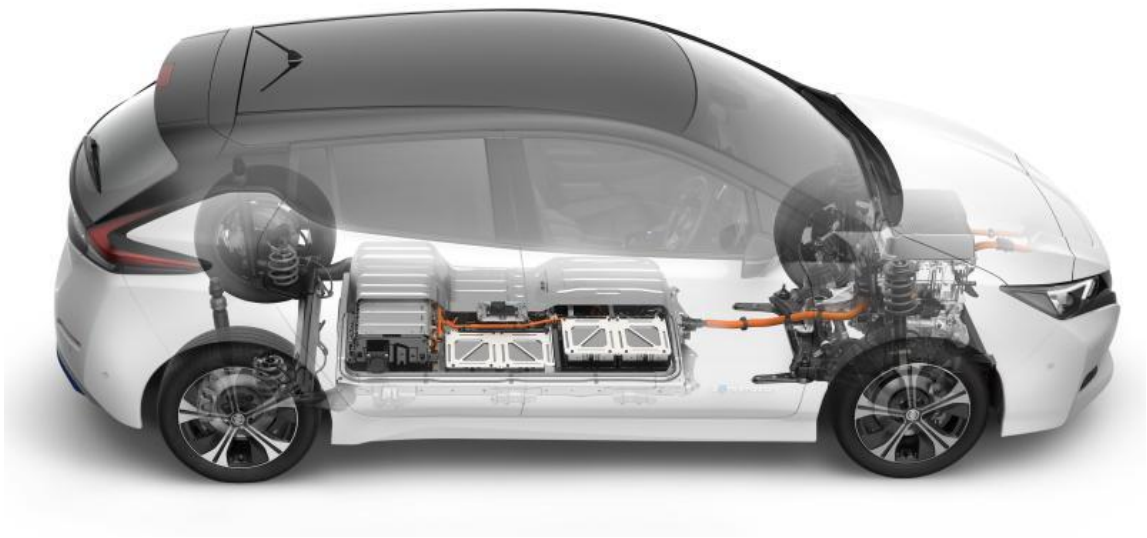


4 pav. Asinchroninio variklio sandara

Elektromobilis Nissan Leaf

Elektromobiliai Nissan Leaf gaminami nuo 2010 m. laikui bėgant elektromobiliai užsitarnavo pakankamai aukštą vietą elektromobilių rinkoje. 2017 m. pirmos katros Leaf buvo atnaujintas, o 2019

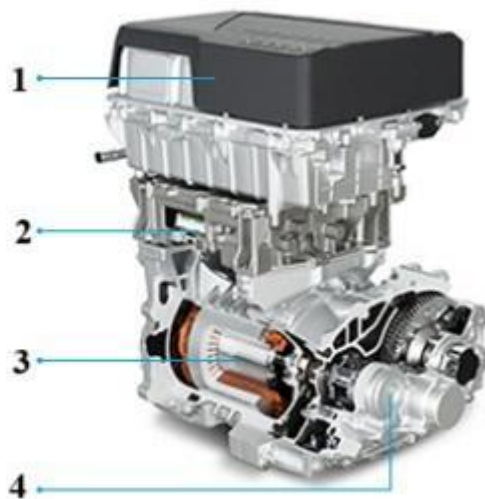
metais išleista versija su ekonomišku ir patikimu varikliu EM57 ir 62 kWh baterija. Elektromobilis pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Elektromobilis Nissan Leaf

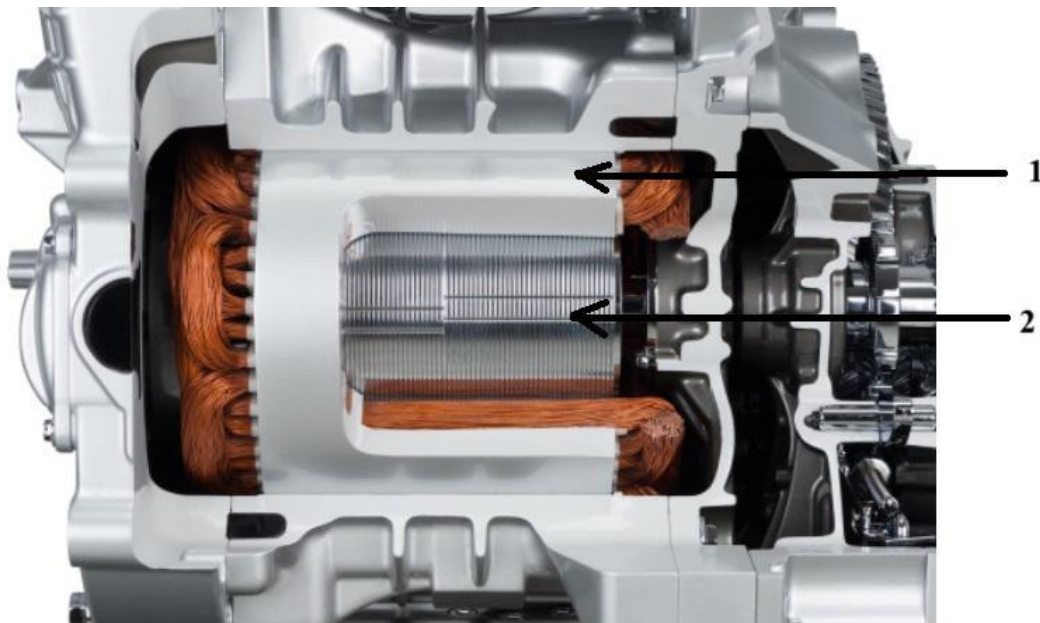
Kaip deklaruoja gamintojas, elektromobilis išvysto 110 kW galią bei 340 Nm sukimo momentą. Elektromobilis gali nuvažiuoti 385 km. Kaip teigia gamintojas elektromobilis turi labai žemą pasipriešinimo koeficientą, kuris siekia vos 0,28. Norint išgauti didesnę elektromobilio galią, buvo patobulinta elektromobilio važiuoklė, ji tapo gerokai standesnė. Visi sunkūs komponentai, tokie kaip baterija, yra elektromobilio kėbulo centre tam, kad elektromobilis taptų stabilesnis tiek įsibėgėjant tiek ir įveikiant posūkius. Elektromobilio komponentų išdėstymas pateiktas 5 paveiksle.

Naujajame elektromobilyje Nissan Leaf e+ sumontuota Intelligent Ride Control sistema, kuri skirta tikslesniam variklio sukimo momento generavimui posūkiuose, sumažinti vibraciją, pagerinti važiavimo kokybę bei vairavimo kontrolę.



6 pav. Elektromobilio Nissan Leaf variklio komponentai: 1 – maitinimo modulis, 2 – inverteris, 3 – elektros variklis, 4 – redukcinė pavara.

Elektromobilyje Nissan Leaf maitinimo modulis, inverteris ir elektrinė pavara yra sumontuoti elektromobilio priekyje. Šiame elektromobilyje visi šie trys įrenginiai sumontuoti vienas ant kito. Kaip tai atrodo ir jų išdėstymas pateiktas 6 paveiksle. Toks komponentų montavimas padarytas dėl ekonomiško ir vietos taupymo.



Kaip matyti iš 6 paveikslo, visi įrenginiai sudaro vieną bendrą komponentą. Pagal pateiktą paveikslą matome, kad pačiame viršuje yra sumontuotas maitinimo modulis, kuris atsakingas už variklio darbą. elektromobiliuose Nissan Leaf yra naudojami sinchroniniai varikliai. Kaip veikia sinchroninis variklis yra pateikta teorinėje dalyje. Variklio skerspjūvis pateiktas 7 paveiksle.

7 pav. Elektromobilio Nissan Leaf variklio skerspjūvis: 1 – Statorius, 2 – rotorius

Kaip matome pateiktame paveiksle (žr.7 pav.) variklis sudarytas iš rotoriaus ir statoriaus, kurie tarpusavyje generuoja magnetinį lauką sukurdami sukamąjį judesį. Šiuo atveju statorius generuoja magnetinį lauką, o statorius sukasi tokiu pat greičiu.

Elektromobilio Nissan Leaf tyrimas

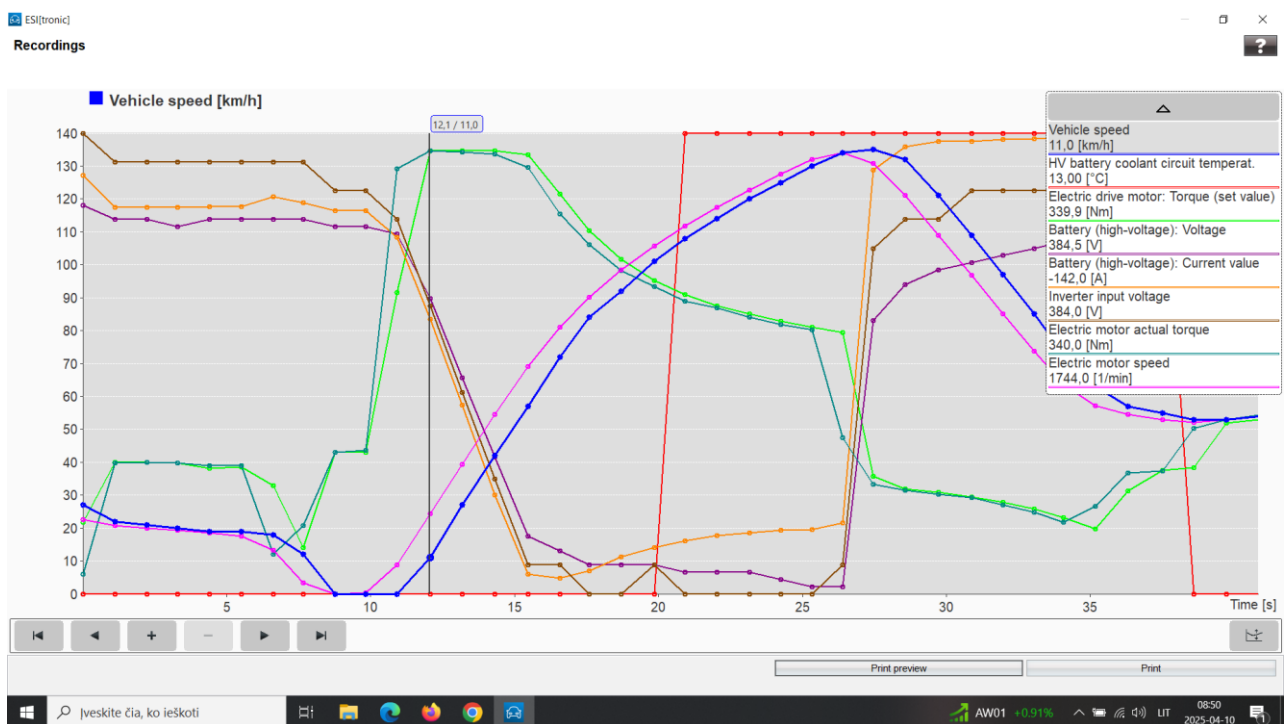
Atliktas matavimas naudojant galios matavimo stendą DINOMAG. Gautas rezultatas pateiktas 8 paveiksle.



8 pav. Galios matavimo stendo rezultatai

Kaip matyti iš pateikto grafiko, matavimai atlikti naudojant abu automobilio važiavimo režimus eco ir normal. Pirmame grafike pateiktas eco režimo važiavimas. Gautas rezultatas maksimali galia siekia 109.79 kW. O sukimo momentas pasiektas 234,35 Nm. Sekantis grafikas važiavimas normal režimu. Gauti rezultatai 141,02 kW galia ir 283,13 Nm sukimo momentas. Palyginus gautus grafikus matyti, kad eco režimu galia yra mažesnė 22,15 %, o sukimo momentas 17,23%.

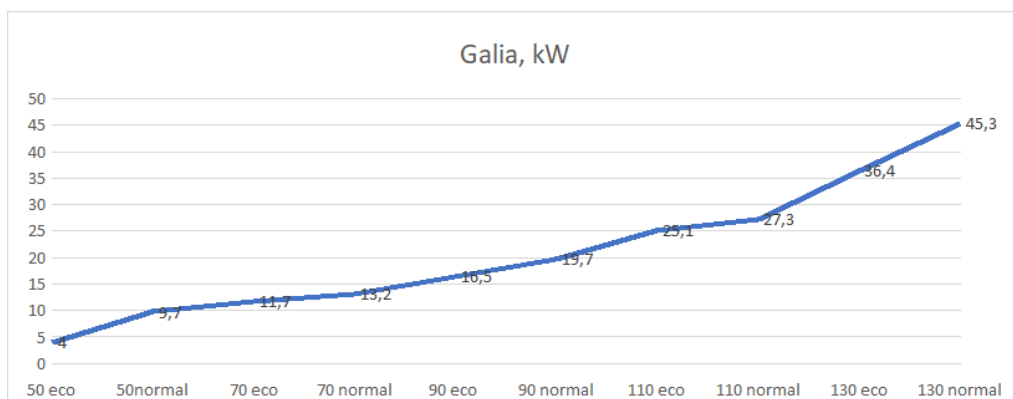
Naudojant diagnostikos įrangą BOSCH Esi[tronic] 2.0. ir BOSCH KTS 560 atkilti matavimai važiuojant keliu realiomis sąlygomis. Gautas rezultatas pateiktas 9 pav.



9 pav. Rezultatas važiuojant gatve

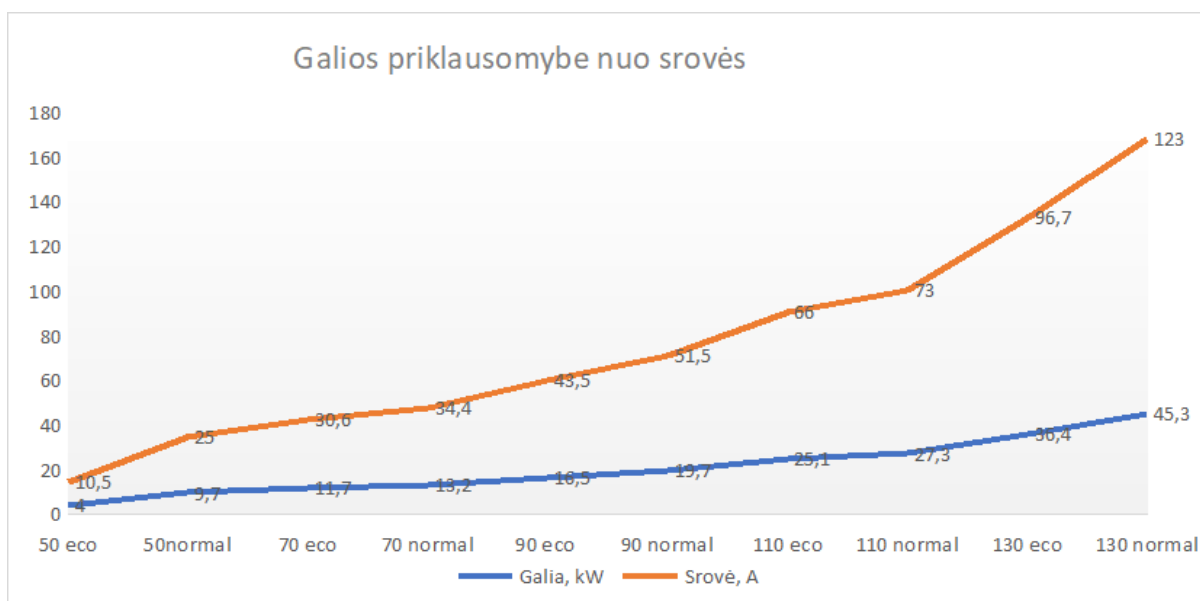
Pagal gautą grafiką matyti, kad didžiausia galia pasiekta esant 72 km/h greičiui ir ji siekia 176 kW, taip pat pasiektas didžiausias sukimo momentas 340 Nm.

Atlikus važiavimus realiomis sąlygomis duomenys buvo nuskaityti visais pagrindiniais greičiais: 50, 70, 90, 110 ir 130. Buvo suskaičiuota, kokia galia reikalinga norint išlaikyti kiekvieną atitinkamą greitį. Reikalinga galia pateikta 10 pav.



10 pav. Galios poreikio kreivė

Kaip matome, kuo didesniu greičiu važiuojama tuo didesnis galios poreikis reikalingas taip pat puikiai matyti abiejų režimų galios poreikis. Kadangi didėjant greičiui didėja ir galios poreikis, tai automatiškai didėja ir reikalinga srovė šiam greičiui palaikyti. Kokia srovė reikalinga pateikta 11 pav.



11 pav. srovės poreikis galios atžvilgiu

Pagal paveikslą matyti, kad didėjant galiai didėja ir srovės poreikis, tik srovės poreikis auga ženkliai greičiau. Tarkim važiuojant autostrada 130 km/h greičiu reikalinga galia yra 45,3 kW, o srovės poreikis jau 123 A.



12 pav. Stabdymo kreivė

Kadangi elektrinė pvara elektromobiliuose veikia netik kaip variklis, bet atlieka ir generatoriaus funkciją stabdymo metu tai buvo atlikti matavimai ir recuperacijai. 12 paveiksle pareikta kreivė stabdant elektromobilį nuo 105 km/h iki 25 km/h.

Stabdymo metu yra generuojama energija kuri gražinama į akumuliatorių bateriją, pagal pateikta grafika (žr. 12 pav.) matome kad mažėjant greičiui ir atsirandant stabdymui pradeda generuoti elektros srovė. Vieno stabdymo metu vidutiniškai buvo generuojama apie 77 A srovė, didžiausia stabdymo metu užfiksuota srovė buvo 138 amperai.

Išvados

Darbe išanalizuotos trys pagrindinės elektromobilių pavaros: bešepetėliai elektros varikliai, nuolatinių magnetų sinchroniniai varikliai bei asinchroniniai varikliai dar vadinami indukciniais. Aptarta kiekvieno variklio elektromagnetinio lauko veikimas bei visų trijų variklių sandara. Aptarti paleidimo ir valdymo metodai. Išsiaiškinta, kad dažniausiai naudojami elektros varikliai elektromobiliuose yra nuolatinių magnetų ir asinchroniniai varikliai. Elektromobilio Nissan Leaf elektrinėje pvaroje yra naudojamas nuolatinių magnetų sinchroninis variklis, kuriame statoriaus sukurtas besisukantis magnetinis laukas yra lygus rotorius sukimosi dažniui, kitaip tariant rotorius sukasi vienodu greičiu kaip ir magnetinis laukas. Atlikus elektromobilio Nissan Leaf elektrinės pavaros analizę nustatyta, kad automobilis išvysto 160 kW galią, bei 340 Nm sukimo momentą, kaip ir deklaruoja gamintojas, tačiau didžiausia galia pasiekta važiuojant 72 km/h greičiu, 176 kW, o didžiausias sukimo momentas pasiektas vos paspaudus akseleratoriaus pedalą. Atlikus matavimus tam tikrais greičiais pastebėta kad kuo didesnis greitis tuo didesnis galios poreikis, tuo pačiu ir srovės kiekis reikalingas išlaikyti atitinkamą greitį stipriai išauga. Pagal atliktus matavimus ir gautus rezultatus nustatyta, kad automobilis yra žema sūkis, o tai reiškia kad elektromobilio Nissan Leaf elektrinė pvara yra veiksmingiausia prie nedidelių greičių ir elektromobilis yra tinkamiausias eksploatuoti miesto sąlygomis.

Informacijos šaltiniai

1. Fiat 1x/23. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://www.stellantisheritage.com/en-uk/heritage/stories/flat-x1-23>

2. Nuolatinių magnetų sinchroninis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://about-motors.com/motorcontrol/pmsm/>

3. Bešepetėlis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://www.semiconductorforu.com/brushless-dc-motor-an-engine-for-an-electric-vehicle/>

4. Bešepetėlis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/>

5. Bešepetėlis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://www.electricaltechnology.org/2016/05/bldc-brushless-dc-motor-construction-working-principle.html>

6. Nuolatinių magnetų sinchroninis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://about-motors.com/motorcontrol/wrsm/#construction>

7. Nuolatinių magnetų sinchroninis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://polynoteshub.co.in/about-permanent-magnet-synchronous-motor-pmsm/>

8. Asinchroninis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://www.drivesandautomation.co.uk/useful-information/asynchronous-ac-motors/>

9. Indukcinis variklis. Prieiga per internetą 2025-05-23

https://studyelectrical.com/2014/11/how-three-phase-induction-motor-work.html#google_vignette

10. Indukcinis variklis, nuotrauka. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://www.scribd.com/document/367769958/Basics-of-Induction-Motors>

11. Elektromobilis Nissan Leaf. Prieiga per internetą 2025-05-23

<https://www.greencarcongress.com/2017/09/20170906-leaf.html>