

## ELEKTRINIO AUTOMOBILIO ENERGIJOS SĄNAUDŲ TYRIMAS, ESANT SKIRTINGIEMS VAŽIAVIMO REŽIMAMS

**Gvidas AKSTINAS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [gvidas.akstinas@stud.vdu.lt](mailto:gvidas.akstinas@stud.vdu.lt)

**Tomas MICKEVIČIUS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [tomas.mickevicius1@vdu.lt](mailto:tomas.mickevicius1@vdu.lt)

### Santrauka

Elektrinių transporto priemonių populiarumas pasaulyje sparčiai auga. Elektromobiliai eksploatacijos metu neišskiria tiesioginių išmetamųjų dujų, todėl reikšmingai prisideda prie oro kokybės gerinimo miestuose ir klimato kaitos mažinimo. Šiame straipsnyje nagrinėjama elektromobilio energijos sąnaudų priklausomybė nuo skirtingų važiavimo režimų realiomis eksploataavimo sąlygomis. Tyrimas atliktas naudojant elektromobilį „VW e-UP“. Šiame elektriniame automobilyje integruota energijos valdymo sistema, leidžianti vairuotojui pasirinkti skirtingus važiavimo režimus pagal eksploatacijos sąlygas ir energijos taupymo poreikius. Bandymo duomenys buvo registruoti diagnostine įranga, važiuojant tuo pačiu 10,7 km maršrutu, taikant tris skirtingus važiavimo režimus („Normal“, „Eco“ ir „Eco+“). Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti realiomis važiavimo sąlygomis. Bandymo metu buvo analizuota momentinė galia, vidutinės energijos sąnaudos ir SOC pokyčiai. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad „Normal“ režime fiksuojami didžiausi galios pikai ir didžiausios energijos sąnaudos – 9,9 kWh/100 km. Tuo tarpu „Eco“ režime energijos sąnaudos sumažėjo iki 9,08 kWh/100 km (–8,3 %), o „Eco+“ – iki 8,83 kWh/100 km (–10,8 %). Darbe buvo pastebėta, kad nors „Normal“ režime regeneruojama daugiau energijos, bendras efektyvumas išlieka mažesnis dėl didesnių pagreitėjimo nuostolių. Tyrimas patvirtina, kad ekonomiškai važiavimo režimai reikšmingai mažina energijos suvartojimą, o „Eco“ režimas yra optimalus kompromisas tarp efektyvumo ir komforto.

**Reikšminiai žodžiai:** elektrinis automobilis, važiavimo režimai, įkrovos lygis, energijos sąnaudos.

### Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais transporto sektorius patiria fundamentalią transformaciją, kurią skatina tiek technologinė pažanga, tiek augantis poreikis mažinti aplinkos taršą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (Guo et al., 2017). Vidaus degimo varikliais varomos transporto priemonės ilgą laiką dominavo pasaulinėje mobilumo sistemoje, tačiau jų neigiamas poveikis aplinkai, iškastinio kuro išteklių ribotumas ir griežtėjantys taršos reikalavimai paskatino intensyvią alternatyvių technologijų plėtrą (Ehsani et al., 2018). Viena svarbiausių šios transformacijos krypčių tapo elektromobilių technologija, kuri šiandien laikoma pagrindiniu tvaraus transporto sprendimu (Tie et al., 2013).

Elektromobilių populiarumas pasaulyje sparčiai auga dėl kelių esminių priežasčių. Visų pirma, elektromobiliai eksploatacijos metu neišskiria tiesioginių išmetamųjų dujų, todėl reikšmingai prisideda prie oro kokybės gerinimo miestuose ir klimato kaitos mažinimo (Neubauer & Wood, 2014). Transporto sektorius sudaro didelę dalį pasaulinių anglies dioksido emisijų, todėl jo elektrifikacija yra kritinis žingsnis siekiant tarptautinių klimato tikslų (Tie et al., 2013). Elektromobiliai pasižymi didesniu energijos konversijos efektyvumu, nes elektros varikliai gali pasiekti daugiau nei 85–90 % efektyvumą, kai tuo tarpu vidaus degimo varikliai dažniausiai neviršija 30–40 % (Ehsani et al., 2018).

Vienas iš svarbesnių elektromobilių privalumų yra jų energijos vartojimo efektyvumas, kuris tiesiogiai susijęs su baterijos technologija, energijos valdymo sistemomis ir transporto priemonės eksploataavimo sąlygomis (Fiori et al., 2016). Moksliniuose straipsniuose autoriai pažymi, kad elektromobilių energijos suvartojimas priklauso nuo daugelio veiksnių, įskaitant vairavimo stilių, kelio reljefą, aplinkos temperatūrą, transporto priemonės apkrovą, aerodinamiką ir pagalbinių sistemų veikimą (Kim, Chung, 2020). Siekdami optimizuoti energijos vartojimą, gamintojai integruoja pažangias energijos valdymo strategijas, kurios leidžia vartotojui pasirinkti skirtingus važiavimo režimus (Kühl et al., 2019).

Eksperimentiniai tyrimai realiomis važiavimo sąlygomis yra būtini siekiant objektyviai įvertinti elektromobilių energijos vartojimo charakteristikas ir suprasti, kaip skirtingi valdymo režimai veikia energijos sąnaudas. Tokie tyrimai leidžia nustatyti ne tik technologinius apribojimus, bet ir praktines energijos taupymo galimybes, kurios svarbios tiek vartotojams, tiek transporto sistemų planuotojams. Atsižvelgiant į šiuos aspektus, šiame darbe siekiama eksperimentiškai įvertinti elektromobilio energijos sąnaudų priklausomybę nuo skirtingų važiavimo režimų, analizuojant energijos suvartojimą, baterijos įkrovos pokyčius ir regeneracinio stabdymo efektyvumą realiomis eksploataavimo sąlygomis.

**Tyrimo tikslas** – įvertinti elektrinio automobilio energijos sąnaudų priklausomybę nuo važiavimo režimų.

Išskeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Ištirti skirtingų važiavimo režimų (Normal, Eco ir Eco+) įtaką energijos suvartojimui.
2. Išanalizuoti akumuliatoriaus įkrovos pokyčius (SOC), esant skirtingiems važiavimo režimams.
3. Įvertinti regeneracinio stabdymo metu sugrąžinamos energijos kiekį ir jo įtaką bendroms energijos sąnaudoms.

### Teoriniai elektrinio automobilio energijos sąnaudų aspektai

Elektromobilių plėtrą stipriai skatina ir teisės aktai bei politinės iniciatyvos, kuriomis siekiama palaipsniui atsisakyti vidaus degimo variklių (Neubauer et al., 2014). Daugelis valstybių ir regionų jau yra paskelbę planus riboti arba visiškai nutraukti naujų benzininių ir dyzelinių automobilių pardavimą artimiausiais dešimtmečiais (Tie et al., 2013). Tokios iniciatyvos apima griežtesnius emisijų standartus, finansines paskatas elektromobilių pirkėjams, infrastruktūros plėtrą ir investicijas į atsinaujinančią energetiką. Šios tendencijos rodo, kad elektromobiliai ne tik tampa technologine alternatyva, bet ir formuoja naują transporto paradigmą, kurioje energijos efektyvumas ir tvarumas yra pagrindiniai prioritetai.

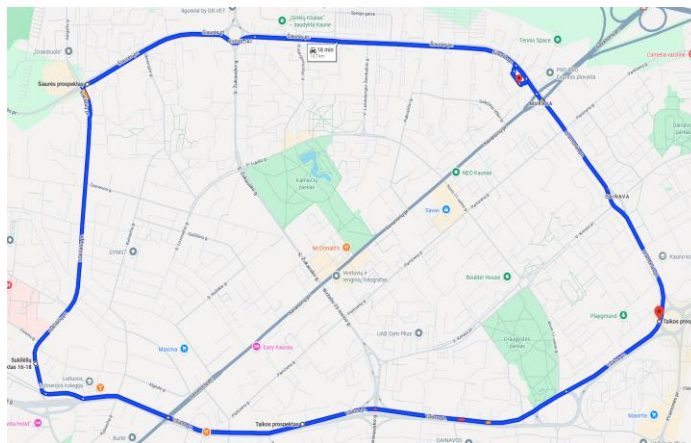
Šiuolaikiniuose elektromobiliuose dažniausiai naudojami keli važiavimo režimai, tokie kaip standartinis, ekonomiškasis ir maksimaliai energiją taupantis režimas. Šie režimai keičia variklio galios paskirstymą, pagreičio charakteristikas, regeneracinio stabdymo intensyvumą, klimato kontrolės veikimą ir maksimalų transporto priemonės greitį (Zhang et al., 2018). Ekonomiškasis režimas paprastai riboja galios pikus, skatina tolygesnį važiavimą ir mažina pagalbinių sistemų energijos vartojimą, todėl gali reikšmingai padidinti nuvažiuojamą atstumą. Tačiau tokie režimai dažnai susiję su sumažėjusiu komfortu ir dinamika, todėl jų efektyvumas turi būti vertinamas ne tik teoriniu, bet ir praktiniu aspektu. Autoriai vertindami, kaip važiavimo režimas („Normal“ ir „Eco“) bei regeneracinio stabdymo strategija veikia elektromobilio energijos suvartojimą realiomis važiavimo sąlygomis savo darbe nustatė, kad „Eco“ važiavimo režimas gali sumažinti elektromobilio energijos suvartojimą apie 10 % realiomis eismo sąlygomis, daugiausia dėl ribojamos galios, mažesnio greičio ir tolygesnio važiavimo. Didžiausias regeneracinio stabdymo efektyvumas pasiekiamas miesto eismo sąlygomis, tačiau skirtingi regeneracijos režimai labiau keičia stabdymo strategiją nei bendrą atgautos energijos kiekį (Ciešlik et al., 2020).

Nepaisant technologinių patobulinimų, elektromobilių gamintojų deklaruojami energijos vartojimo ir nuvažiuojamo atstumo rodikliai dažnai nustatomi standartizuotomis laboratorinėmis sąlygomis, kurios ne visada atspindi realią eksploataciją. Tokie bandymai atliekami pagal apibrėžtus važiavimo ciklus, kontroliuojamą temperatūrą ir optimizuotas aplinkos sąlygas, todėl gauti rezultatai gali skirtis nuo realaus naudojimo (Wu et al., 2015). Praktikoje energijos suvartojimas priklauso nuo sudėtingų ir dinamiškų veiksnių, kurie gali reikšmingai keisti transporto priemonės efektyvumą.

### Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimui atlikti buvo pasirinktas miesto klasės elektra varomas automobilis „VW e-UP“. Tyrimo objektas – elektromobilio energijos sąnaudų priklausomybė nuo skirtingų važiavimo režimų. Tyrimo metu vertinant momentinę galią, bendrą energijos suvartojimą, baterijos įkrovos lygio (SOC) pokyčius bei regeneracinio stabdymo metu susigrąžinamos energijos kiekį buvo pasirinktas miesto maršrutas, kurio atstumas – 10,7 km (žr. 1 pav.).

Elektromobilis „VW e-UP“ yra kompaktiškas miesto klasės automobilis, kuriame integruota pažangi energijos valdymo sistema, leidžianti vairuotojui pasirinkti skirtingus važiavimo režimus pagal eksploatacijos sąlygas ir energijos taupymo poreikius. Bandymo metu buvo taikomi „Normal“, „Eco“ ir „Eco+“ režimai. Techninėse charakteristikose pažymima, kad priklausomai nuo važiavimo režimo, gali kisti transporto priemonės galios charakteristikos, energijos paskirstymas, pagalbinių sistemų veikimas ir regeneracinio stabdymo strategijos. Kiekvienas taikomas režimas atspindi skirtingą kompromisą tarp dinamiinių savybių, komforto ir energijos efektyvumo.



1 pav. Tyrimui atlikti pasirinktas maršrutas  
*Fig 1. Route chosen for the study*

Bandymo metu duomenų registravimui buvo naudojama diagnostinė sistema „OBDeleven“ įranga, kuri leidžia per OBD sąsają realiu laiku nuskaityti transporto priemonės valdymo blokuose registruojamus parametrus. Duomenys buvo registruojami 300–500 milisekundžių intervalu. Tyrimo metu buvo registruojami bandymo metu gauti parametrai:

- momentinė energijos galia (kW);
- baterijos įkrovos lygis (SOC, %). Baterijos įkrovos lygis (SOC) – tai baterijoje likusios energijos kiekio rodiklis, išreikštas procentais nuo maksimalios naudingos talpos. Tai yra tiesioginis energijos sunaudojimo indikatorius – kuo labiau jis sumažėja per tam tikrą atstumą, tuo daugiau energijos buvo paimta iš baterijos;

- regeneracinės galios reikšmės. Regeneracinis stabdymas elektromobiliuose (EV) yra technologija, leidžianti automobiliui lėtėjimo ar važiavimo nuokalne metu elektros variklį paversti generatoriumi.
- važiavimo laikas;
- važiavimo greitis.

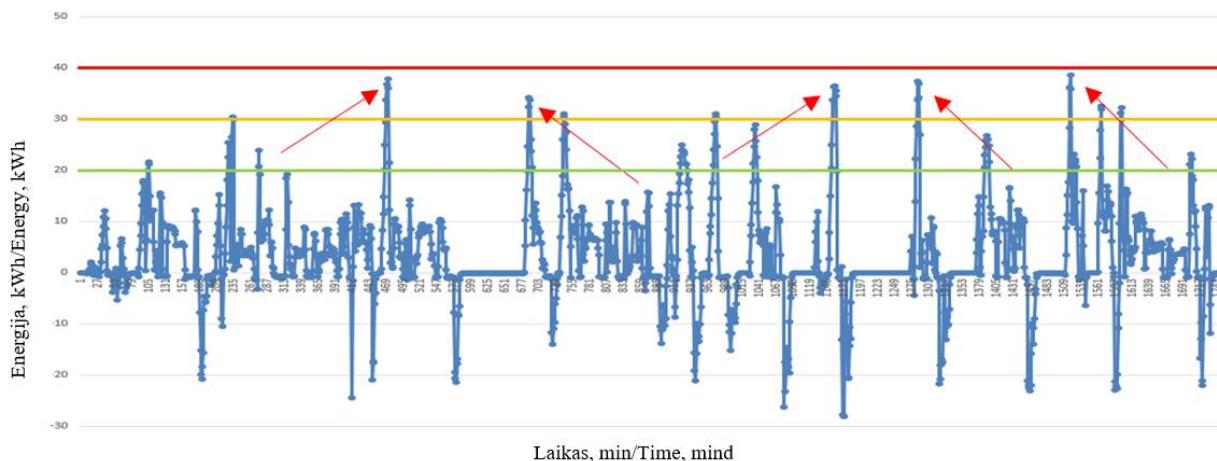
Siekiant užtikrinti gautų rezultatų tikslumą, tyrimas buvo atliekamas važiuojant tuo pačiu 10,7 km maršrutu ir vertinant kiekvieną režimą atskirai. Važiavimo sąlygos buvo suvienodintos (laikas, eismo intensyvumas, kelio danga). Su kiekvienu važiavimo režimu bandymas buvo kartojamas tris kartus. Visais atvejais buvo išlaikoma pradinė baterijos įkrova – 80 %. Siekiant sumažinti subjektyvų poveikį buvo naudotas tas pats vairavimo stilius.

Gauti duomenys buvo susisteminti, o duomenys pavaizduoti grafiškai.

## Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Bandymo metu buvo registruojama momentinė energijos galia (kW) laiko atžvilgiu, važiuojant tuo pačiu maršrutu trimis skirtingais režimais: „Normal“, „Eco“ ir „Eco+“.

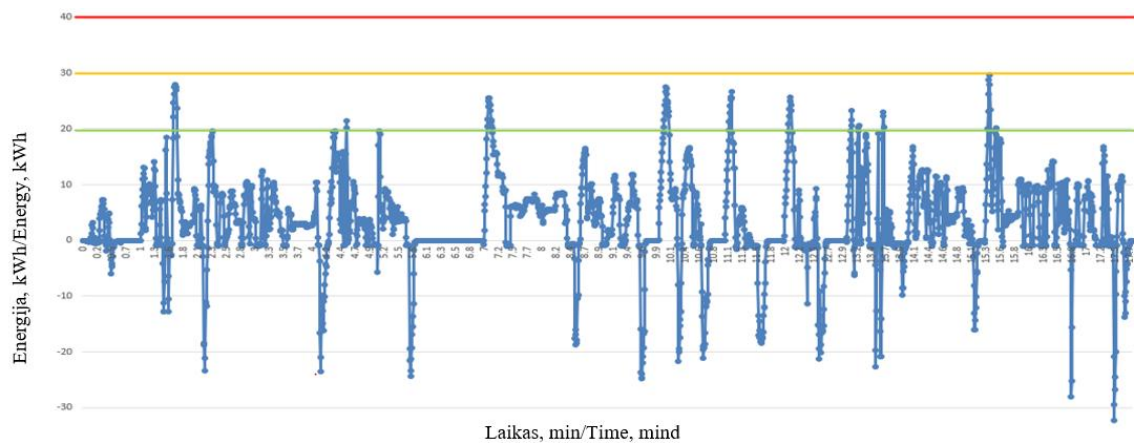
2 paveiksle pateikti energijos sąnaudų kitimai važiuojant „Normal“ režimu. Horizontalioji ašis atspindi laiką (min), o vertikalioji – momentinę energijos galią (kW). Teigiamos reikšmės rodo energijos vartojimą (akceleraciją ar pastovų važiavimą), o neigiamos – regeneracinio stabdymo metu į bateriją grąžinamą energiją. Kaip matyti „Normal“ režimo grafike, aiškiai matomi dideli ir staigūs galios šuoliai, kurių pikinės reikšmės siekia apie 35–38 kW, kai kuriais momentais artėdamos prie maksimalios sistemos galios ribos. Šie pikai yra žymiai aukštesni nei kituose režimuose. Tokie rezultatai rodo agresyvesnę galios paskirstymą.



**2 pav.** Energijos sąnaudos važiuojant „Normal“ režimu  
**Fig 2.** Energy consumption when driving in Normal mode

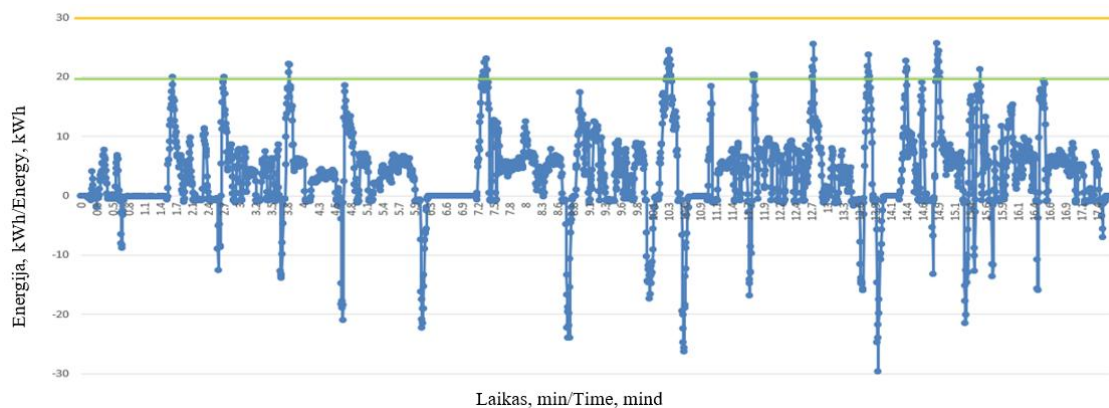
Šiame režime variklio galia nėra ribojama, vairuotojui nuspaudus akceleratoriaus pedalą, valdymo sistema leidžia greitai pasiekti aukštą momentinę galią. Elektros variklis dėl savo konstrukcijos gali generuoti didelį sukimo momentą iš karto, todėl momentinė galia pakyla staigiai. Svarbu pabrėžti, kad energijos sąnaudos nėra linijinis procesas. Staigūs galios pikai reiškia dideles sroves baterijoje, o tai didina vidinius nuostolius dėl varžos. Kuo didesnė momentinė srovė, tuo daugiau energijos prarandama šilumos pavidalu. Grafike taip pat matomi gilūs neigiami pikai regeneracijos metu. Tai reiškia, kad dalis kinetinės energijos sėkmingai grąžinama į bateriją. Tačiau bendras energijos balansas išlieka mažiau efektyvus, nes pagreitinimo metu sunaudojama daugiau energijos nei susigrąžinama stabdant.

3 paveiksle pateiktos energijos kitimo sąnaudos važiuojant „Eco“ režimu. „Eco“ režimo grafike matyti aiškiai sumažėję momentinės galios pikai. Maksimalios reikšmės dažniausiai neviršija 25–30 kW ribos, o dauguma akceleratoriaus momentai yra švelnesni ir tolygesni. Skirtumą nuo „Normal“ režimo lemia energijos valdymo sistemos intervencija. „Eco“ režime ribojama momentinė galia, todėl net staigiau nuspaudus akceleratorių sistema „išlygina“ galios tiekimą. Tai sumažina srovės šuolius baterijoje ir atitinkamai mažina energijos nuostolius. Dėl šių priežasčių galios grafiko amplitudė tampa siauresnė – pikai žemesni, o energijos pasiskirstymas tolygesnis laiko atžvilgiu. Tai rodo efektyvesnę energijos naudojimą ir mažesnius nuostolius.



**3 pav.** Energijos sąnaudos važiuojant „Eco“ režimu  
**Fig 3.** Energy consumption when driving in Eco mode

4 paveiksle matyti energijos sąnaudų kitimas važiuojant „Eco+“ režimu. Kaip matyti, „Eco+“ režime momentinės galios pikai yra mažiausi iš visų trijų režimų. Dauguma teigiamų reikšmių svyruoja tarp 10–22 kW, o didesni nei 25 kW šuoliai pasitaiko retai. Pastebima, kad šiame režime galios apribojimas yra didžiausias. Net maksimaliai nuspaudus akceleratorių, sistema neleidžia pasiekti tokių pikų kaip „Normal“ režime. Tai tiesiogiai sumažina baterijos apkrovą ir šiluminius nuostolius. Kadangi energijos poreikiai ribojami nuo pat pradžių, grafike matoma mažesnė dinamika ir mažesnė galios dispersija. Tai rodo didžiausią sistemos efektyvumą energijos taupymo požiūriu.



**4 pav.** Energijos sąnaudos važiuojant „Eco+“ režimu  
**Fig 4.** Energy consumption when driving in Eco+ mode

1 lentelėje pateikti vairavimo režimų baterijos įkrovos lygiai. Vertinant skirtingus važiavimo režimus, SOC pokytis leidžia objektyviai įvertinti jų efektyvumą. Jeigu važiuojant tuo pačiu maršrutu vienu režimu SOC sumažėja mažiau nei kitu, tai reiškia, kad tas režimas energiją naudoja efektyviau. SOC yra svarbus praktinis kriterijus, padedantis nustatyti, kuris važiavimo režimas leidžia nuvažiuoti didesnę atstumą su tuo pačiu baterijos įkrovos kiekiu.

**1 lentelė.** Vairavimo režimų baterijos įkrovos lygiai

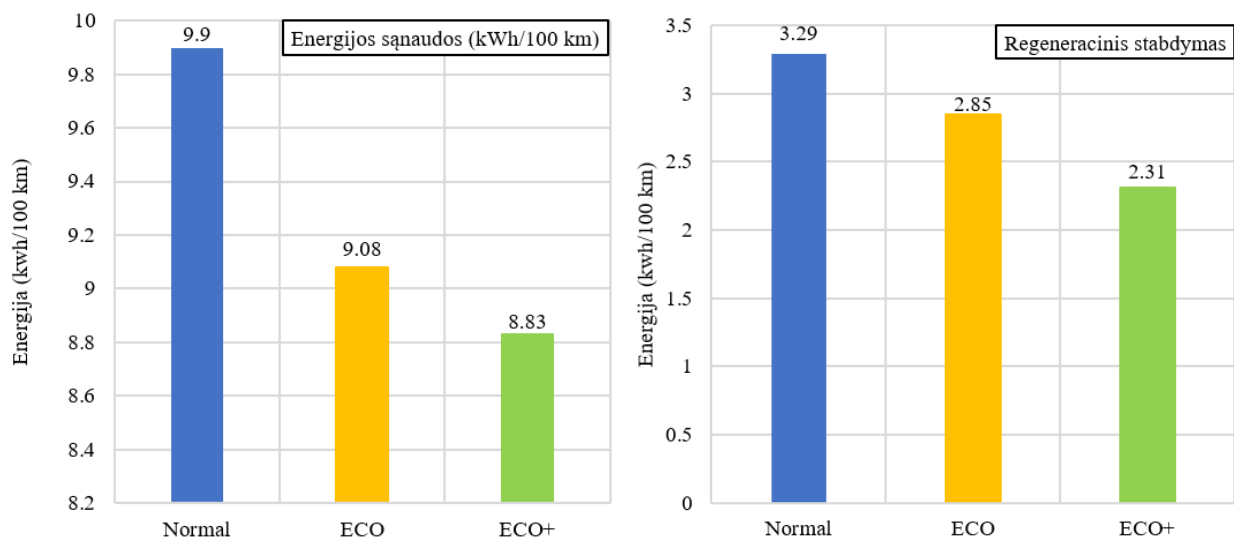
**Table 1.** Battery charge levels for driving modes

| Režimas | SOC pradžioje (%) | SOC pabaigoje (%) | SOC pokytis (%) |
|---------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Normal  | 80                | 76.79             | 3.21            |
| ECO     | 80                | 77.05             | 2.95            |
| ECO+    | 80                | 77.13             | 2.87            |

Galima pastebėti baterijos įkrovos lygių priklausomybę nuo pasirinkto važiavimo režimo. Kiekvieno bandymo pradžioje automobilio baterijos įkrovos lygis buvo 80 %. Kaip matyti, mažiausias SOC sumažėjimas „Eco+“ režime (2,87 %), tai rodo didžiausią bendrą energijos panaudojimo efektyvumą. „Normal“ režime užfiksuotas didžiausias įkrovos kritimas (3,21 %) patvirtina, kad net esant aktyvesnei regeneracijai, bendras energijos balansas išlieka mažiau palankus dėl didesnių sisteminių nuostolių ir aukštesnės baterijos apkrovos.

SOC rezultatai tiesiogiai koreliuoja su vidutinėmis energijos sąnaudomis ir patvirtina bendrą tyrimo išvadą – važiavimo režimo pasirinkimas turi aiškų ir išmatuojamą įtaką elektromobilio energijos efektyvumui.

Atlikus bandymus su visais važiavimo režimais, buvo apskaičiuotos energijos sąnaudos įvertinant regeneracinio stabdymo metu sugrąžinamą elektros energiją (žr. 5 pav.). Iš bendrų energijos sąnaudų matyti, kad „Normal“ režimas reikalauja daugiausia energijos, vidutinis energijos suvartojimas siekė 9,9 kWh 100 km atstumui, tuo tarpu, „Eko“ režimas sunaudojo vidutiniškai 9,08 kWh/100 km, o „Eko+“ režimas – 8,83 kWh/100 km.



**5 pav.** Vairavimo režimų bendros energijos sąnaudos ir regeneracinio stabdymo susigrąžintos energijos kiekis  
**Fig 5.** Total energy consumption of driving modes and amounts of energy recovered by regenerative braking

Galima teigti kad „Normal“ režimas sugeneravo daugiausiai energijos dėl agresyvesnio važiavimo (žr. 5 pav.). Šiame režime yra stipriau akceleruojama ir stabdoma bei vyrauja didesni greičio šuoliai (žr. 2 pav.). Svarbu paminėti, kad nors „Normal“ režimo regeneracijos daugiau, bendros sąnaudos „Normal“ režime vis tiek didžiausios, nes energijos išnaudojama daugiau negu susigrąžinama.

Atliktas tyrimas patvirtina, kad realiomis miesto sąlygomis, kai vyrauja dažni pagreitėjimai ir galios pikai, energijos poreikis yra didesnis nei laboratoriniuose WLTP ar kituose standartizuotuose cikluose. Čia atsispindi tikrasis akceleracijos, riedėjimo ir aerodinaminio pasipriešinimo energijos poreikis. Darbe buvo pastebėta, kad gamintojo deklaruojamos energijos sąnaudos viršijo bandymo metu išmatuotos energijos sąnaudas.

## Išvados

1. Atliktas tyrimas parodė, kad pasirinktas važiavimo režimas turi tiesioginę ir reikšmingą įtaką elektromobilio energijos suvartojimui realiomis eksploataavimo sąlygomis. „Normal“ režime buvo fiksuojami didžiausi momentinės galios pikai, kurie lėmė didesnes sroves baterijoje ir didesnius energijos nuostolius. Dėl to šiame režime vidutinės energijos sąnaudos siekė apie 9,9 kWh/100 km. Tuo tarpu „Eco“ režime, ribojant variklio galią ir išlyginant energijos tiekimą, energijos sąnaudos sumažėjo iki 9,08 kWh/100 km, o „Eco+“ režime – iki 8,83 kWh/100 km. Tai rodo, kad ekonomiškai režimai leidžia sumažinti energijos suvartojimą atitinkamai apie 8,3 % ir 10,8 %. Gauti rezultatai patvirtina, kad tolygesnis važiavimas ir mažesni galios svyravimai yra pagrindiniai veiksniai, lemiantys efektyvesnę energijos panaudojimą.

2. Akumulatoriaus įkrovos lygio (SOC) analizė parodė aiškią priklausomybę nuo pasirinkto važiavimo režimo. Visų bandymų pradžioje baterijos įkrovos lygis buvo vienodas (80 %), todėl gauti rezultatai leidžia objektyviai palyginti skirtingų režimų efektyvumą. Didžiausias įkrovos sumažėjimas buvo užfiksuotas „Normal“ režime – 3,21 %, kas rodo didžiausią energijos sunaudojimą. „Eco“ režime SOC sumažėjo mažiau – 2,95 %, o „Eco+“ režime – mažiausiai, tik 2,87 %. Šie rezultatai patvirtina, kad ekonomiškai važiavimo režimai leidžia efektyviau naudoti baterijos energiją ir sumažina energijos nuostolius. Be to, SOC pokyčiai tiesiogiai koreliuoja su vidutinėmis energijos sąnaudomis, todėl galima teigti, kad mažesnis įkrovos kritimas reiškia didesnę nuvažiuojamą atstumą su tuo pačiu energijos kiekiu.

3. Tyrimo metu nustatyta, kad didžiausias regeneracinio stabdymo metu susigrąžinamos energijos kiekis buvo „Normal“ režime. Tai paaiškinama tuo, kad šiame režime vyrauja intensyvesni pagreitėjimai ir dažnesni stabdymai, todėl daugiau kinetinės energijos gali būti paversta elektros energija. Tačiau, nepaisant didesnio regeneracijos kiekio, bendros energijos sąnaudos šiame režime išlieka didžiausios, nes pagreitėjimo metu sunaudojama daugiau energijos nei susigrąžinama stabdymo metu. Priešingai, „Eco“ ir „Eco+“ režimuose regeneruojamos energijos kiekis yra mažesnis, tačiau dėl tolygesnio važiavimo ir mažesnių galios svyravimų bendras energijos balansas yra efektyvesnis. Tai rodo, kad regeneracinis stabdymas negali kompensuoti neefektyvaus vairavimo, o svarbiausias veiksnys energijos taupymui yra stabilus ir tolygus važiavimo režimas.

## Literatūra

- Chen, Y., Kang, S., Zhao, Y., Wang, Z., & Du, X. (2019). A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards. *Journal of Energy Chemistry*, 59, 83–99.
- Cieślak, W., Szwajca, F., & Golimowski, J. (2020). The possibility of energy consumption reduction using the ECO driving mode based on the RDC test. *Combustion Engines*, 182(3), 59–69. <https://doi.org/10.19206/CE-2020-310>

3. Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design* (3rd ed.). CRC Press.
4. Fiori, C., Ahn, K., & Rakha, H. (2016). Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. *Applied Energy*, 168, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.097>
5. Guo, J., Liu, Z., & Wu, Y. (2017). Energy efficiency analysis of electric vehicles based on driving cycle simulation. *Applied Energy*, 204, 1193–1203. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.051>
6. Kim, Y., & Chung, Y. (2020). Energy consumption analysis of electric vehicles based on driving patterns and environmental conditions. *Energies*, 13(2), Article 276. <https://doi.org/10.3390/en13020276>
7. Kühl, N., Huber, J., & Satzger, G. (2019). Predicting the energy consumption of electric vehicles using machine learning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 74, 147–160. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.008>
8. Neubauer, J., & Wood, E. (2014). The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility. *Journal of Power Sources*, 257, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.01.075>
9. Tie, S. F., & Tan, C. W. (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82–102. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.077>
10. Wu, X., Freese, D., Cabrera, A., & Kitch, W. A. (2015). Electric vehicles' energy consumption measurement and estimation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 52–67. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.007>
11. Zhang, R., Yao, E., Yang, Z., & Zhang, Y. (2018). Electric vehicle energy consumption estimation considering road grade and driving behavior. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.09.030>

## INVESTIGATION OF ELECTRIC VEHICLE CONSUMPTION UNDER DIFFERENT DRIVING MODES

### Summary

The popularity of electric vehicles is growing rapidly in the world. Electric vehicles do not emit direct exhaust gases during operation; therefore, they significantly contribute to improving air quality in cities and reducing climate change. The study was conducted using the electric vehicle “VW e-UP”. This electric vehicle has an integrated energy management system that allows the driver to select different driving modes according to operating conditions and energy saving needs. Test data was recorded using diagnostic equipment while driving the same 10.7 km route using three different driving modes (“Normal”, “Eco” and “Eco+”). Experimental studies were conducted under real driving conditions. The analysis focused on instantaneous power demand, average energy consumption, battery state of charge (SOC), and the amount of energy recovered through regenerative braking. The results showed that the Normal mode produced the highest power peaks and the largest energy consumption, with an average of 9.9 kWh/100 km. In Eco mode, energy consumption decreased to 9.08 kWh/100 km, while Eco+ mode achieved the lowest value of 8.83 kWh/100 km. Compared to Normal mode, energy consumption was reduced by approximately 8.3% in Eco mode and 10.8% in Eco+ mode. The study also showed that regenerative braking generated the highest amount of recovered energy in Normal mode due to more frequent acceleration and braking events. However, despite higher regeneration, the total energy consumption in this mode remained the highest. In Eco and Eco+ modes, smoother driving patterns reduced both power peaks and overall energy demand. Overall, the results confirm that driving mode significantly influences electric vehicle energy efficiency, and optimized driving modes can noticeably reduce energy consumption and increase driving range.

**Keywords:** electric car, driving modes, SOC, energy consumption.