

APLINKOS TEMPERATŪROS ĮTAKOS ELEKTROMOBILIO LIČIO JONŲ BATERIJOS PARAMETRAMS TYRIMAS

Mykolas BLĖDA, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: mykolas.bleda@vdu.lt

Tomas MICKEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: tomas.mickevicius1@vdu.lt

Santrauka

Ličio jonų baterijos (LIB) dėl didelio energijos ir galios tankio bei ciklinių charakteristikų naudojamos kaip energijos šaltiniai elektra varomose transporto priemonėse. Tačiau LIB susiduria su tam tikromis kliūtimis, ribojančiomis jų taikymo sritį. Vienas iš pagrindinių apribojimų yra aplinkos temperatūros poveikis tinkamam LIB veikimui. Šiame straipsnyje nagrinėjama aplinkos temperatūros įtaka elektromobilio ličio jonų baterijos charakteristikoms. Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti naudojant specializuotą baterijų testavimo įrangą. Eksperimento metu buvo keičiama aplinkos temperatūra (+20 °C, 0 °C, ir -20 °C), prie kurios buvo iškraunama ir įkraunama „Samsung“ ličio jonų (NMC) baterija iki minimalios talpos. Bandymo metu buvo registruojami pagrindiniai elektriniai parametrai. MATLAB paketo Simulink aplinkoje buvo sukurtas modelis. Modelio validavimas buvo atliktas lyginant eksperimentiniais tyrimais ir modeliavimu gautas elektrinių charakteristikų reikšmes. Gauti validavimo rezultatai parodė, kad sukurtas baterijos modelis pakankamai tiksliai atkuria įkrovimo ir iškrovimo procesus, o didžiausia įtampos paklaida neviršijo 7 %. Sukurtas modelis leido palyginti skirtingų tipų baterijas: ličio kobalto oksido (LiCoO₂), ličio nikelio (Li-NiO₂) ir ličio geležies fosfato (LiFePO₄). Darbe buvo pastebėta, kad elektromobilių baterijų veikimas tiesiogiai priklauso nuo aplinkos temperatūros, kuri daro įtaką įkrovimo ir iškrovimo proceso stabilumui, baterijos talpai bei įtampos kitimui apkrovos metu. Esant žemai temperatūrai, pastebimas didesnis įtampos kritimas, lėtesnis energijos perdavimas ir sumažėjusi baterijos talpa.

Reikšminiai žodžiai: ličio jonų baterija, įkrovimas, iškrovimas, modelis.

Įvadas

Elektromobilių technologijų plėtra tampa svarbia kryptimi transporto ir energetikos sektoriuose, siekiant mažinti iškastinio kuro naudojimą ir didinti energijos vartojimo efektyvumą. Pagrindinis elektromobilio energijos šaltinis – ličio jonų baterija – lemia transporto priemonės nuvažiuojamą atstumą, įkrovimo trukmę, galios charakteristikas ir eksploatacinį patikimumą. Dėl šios priežasties baterijų veikimo analizė skirtingomis eksploatacijos sąlygomis išlieka aktuali tiek moksliniams tyrimams, tiek praktiniams inžineriniams sprendimams.

Vienas iš reikšmingiausių veiksnių, darančių įtaką baterijų veikimui, yra aplinkos temperatūra (Yang et al., 2019). Esant žemai temperatūrai, baterijų įkrovimo ir iškrovimo procesai tampa mažiau stabilūs, didėja įtampos kritimas, mažėja pasiekiamą talpa ir ribojamos įkrovimo srovės. Šie procesai tiesiogiai veikia elektromobilio eksploatacines savybes ir yra ypač aktualūs šalto klimato sąlygomis. Temperatūros poveikis dažnai vertinamas eksperimentiniais bandymais, kurie reikalauja specializuotos įrangos bei laiko sąnaudų. Tokie tyrimai kelia saugos riziką susijusią su ličio jonų baterijų perkaitimu, terminės degradacijos procesais ir gaisro pavojumi.

Mokslinėje literatūroje taip pat aptinkami skaitmeniniai baterijų modeliai, leidžiantys analizuoti baterijų elgseną įvairiomis aplinkos sąlygomis ir įvertinti pagrindinių elektrinių parametų kitimą. Tokie modeliai dažniausiai taikomi kaip papildoma priemonė eksperimentiniams tyrimams, suteikianti galimybę prognozuoti baterijų veikimą realiomis eksploatacijos sąlygomis. Nepaisant gausių tyrimų, dauguma publikacijų orientuojasi į aukštos galios baterijų modulių arba pilnų baterijų paketų analizę, tuo tarpu pavienių elementų eksperimentinis tyrimas skirtingomis temperatūromis kartu su skaitmeniniu modeliavimu vis dar išlieka aktuali tyrimų kryptis. Tokie tyrimai leidžia tiksliau įvertinti baterijos elementų elgseną ir pritaikyti gautus duomenis baterijų valdymo sistemų (BMS) modeliavimui.

Tyrimo tikslas – įvertinti aplinkos temperatūros įtakos elektromobilio ličio jonų baterijos elektrinėms charakteristikoms.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išanalizuoti ličio jonų baterijų įkrovimo ir iškrovimo procesų elektrinių parametų (įtampos, srovės ir talpos) kitimą esant skirtingoms aplinkos temperatūroms.

2. Sudaryti baterijos įkrovimo ir iškrovimo modelį MATLAB/Simulink aplinkoje baterijos elgsenai aprašyti.

Teoriniai ličio jonų baterijų veikimo žemų temperatūrų sąlygomis aspektai

Elektromobilių eksploatacija žemų aplinkos temperatūrų sąlygomis išlieka vienu iš pagrindinių techninių iššūkių, tiesiogiai veikiančių energijos kaupimo sistemų efektyvumą ir transporto priemonių eksploatacines charakteristikas. Tyrimai rodo, kad ličio jonų baterijų elektriniai parametrai – įtampa, srovė ir talpa – yra itin jautrūs temperatūros pokyčiams, ypač esant neigiamoms temperatūroms (Wang, 2017; Madani et al., 2023).

Apžvalginiai tyrimai, nagrinėjantys elektromobilių veikimą žemų temperatūrų sąlygomis, pabrėžia, kad temperatūros poveikis pasireiškia ne tik baterijos lygiu, bet ir visos transporto sistemos mastu. Šaltyje ribojami įkrovimo

režimai, pailgėja įkrovimo trukmė, didėja energijos sąnaudos dėl salono ir baterijos šildymo, o tai lemia bendrą elektromobilio nuvažiuojamo atstumo sumažėjimą (Senol et al., 2023). Eksperimentiniai ir modeliavimo tyrimai rodo, kad žemų temperatūrų poveikis baterijų talpai ir įtampos kritimui turi tiesioginę įtaką elektromobilio energijos balansui. Važiavimo bandymai ir laboratoriniai tyrimai patvirtina, kad esant neigiamoms temperatūroms elektromobilių nuvažiuojamas atstumas gali sumažėti reikšminga dalimi, priklausomai nuo važiavimo režimo ir energijos vartotojų struktūros (Steinstraeter et al., 2021).

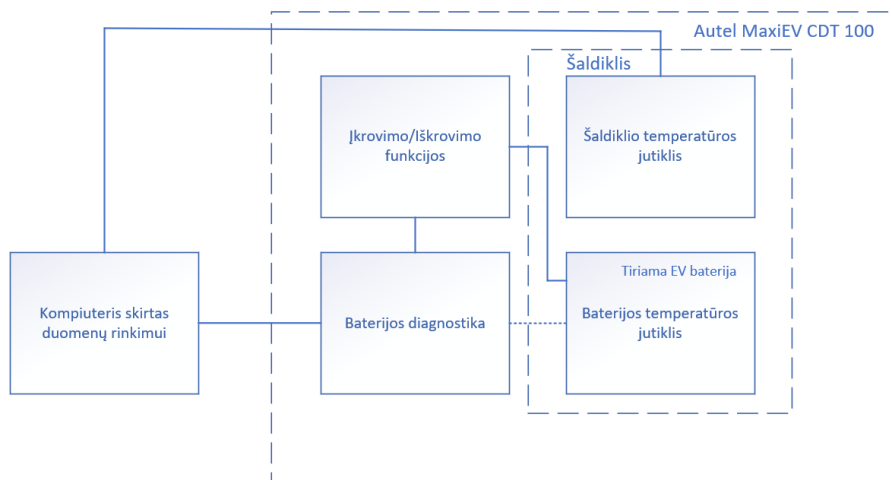
Kitų autorių tyrimai pabrėžia, kad temperatūros poveikis elektromobilių veikimui yra kompleksinis reiškinys, apimantis ne tik baterijų elgseną, bet ir pavaros sistemos bei pagalbinių vartotojų efektyvumo pokyčius. Padidėję energijos nuostoliai ir ribojami galios srautai lemia bendrą transporto priemonės eksploatacinių rodiklių blogėjimą, todėl šie aspektai turi būti vertinami inžineriniu požiūriu (Senol et al., 2023). Atskiri eksperimentiniai tyrimai, atliekami su pavienėmis ličio jonų celėmis, leidžia detaliau įvertinti temperatūros įtaką įkrovimo ir iškrovimo procesams. Nustatyta, kad žemose temperatūrose ryškiai krenta iškrovimo įtampa, o įkrovimo procesai tampa riboti dėl saugos ir ilgaamžiškumo reikalavimų, todėl tokie tyrimai sudaro pagrindą baterijų veikimo modeliavimo taikymui (Chen et al., 2022; Wang, 2017).

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimų objektas – elektromobiliuose naudojamų ličio jonų baterijų įkrovimo ir iškrovimo procesai bei jų pagrindinių elektrinių parametrų kitimas skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis. Tyrime analizuojama baterijų įtampos, srovės, talpos ir įkrovos lygio (SOC) priklausomybė nuo aplinkos sąlygų, vertinant eksperimentinius matavimus ir skaitmeninio modeliavimo rezultatus.

Eksperimentiniai tyrimai atlikti naudojant baterijų įkrovimo ir iškrovimo bandymų stendą, leidžiantį valdyti apkrovos režimus ir registruoti pagrindinius elektrinius parametrus realiuoju laiku. Tyrimų metu naudotas Autel MaxiEV CDT100 įrenginys, skirtas elektromobilių aukštos įtampos baterijų modulių testavimui. Įrenginys leido vykdyti kontroliuojamus įkrovimo ir iškrovimo ciklus bei registruoti įtampą (V), srovę (A), laiką (min) ir temperatūrą (°C).

Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti naudojant naują „Samsung“ ličio jonų celę (NMC), kurios cheminė sudėtis ir pagrindinės elektrinės charakteristikos atitinka „VW e-Golf“ elektromobilyje naudojamų baterijų elementų sudėtį. Toks pasirinkimas leido užtikrinti tyrimų rezultatų pritaikomumą realioms transporto priemonių eksploatacijos sąlygoms, kartu sumažinant bandymų sudėtingumą ir saugos riziką. Naudotos „Samsung“ NMC celės nominali talpa – 2,5 Ah, nominali įtampa – 3,6 V, o darbinė įtampos riba eksperimento metu buvo 2,5–4,2 V.



1 pav. Eksperimentinio tyrimo metodikos principinė schema

Fig. 1. Experimental research methodology scheme

Baterijos talpa apskaičiuota integruojant srovės reikšmes laiko atžvilgiu:

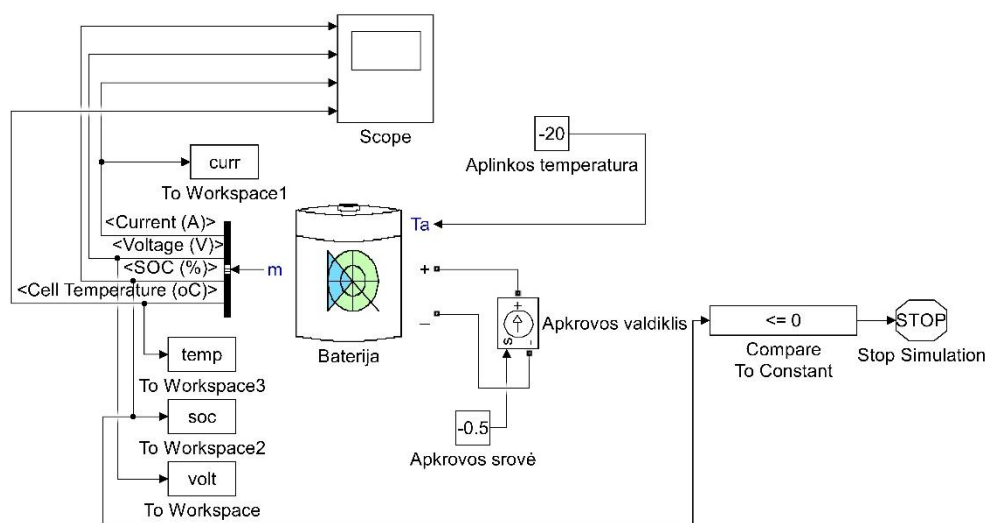
$$C = \sum(I \cdot \Delta t) \quad (1)$$

čia: C – talpa (Ah), I – srovė (A), Δt – laiko intervalas (h).

Bandymai vykdyti esant +20 °C, 0 °C ir –20 °C aplinkos temperatūroms. Prieš kiekvieną bandymą baterijos elementas (celė) buvo palaikomas nustatytoje temperatūroje ne trumpiau kaip 4 valandas, siekiant užtikrinti tolygų temperatūros pasiskirstymą visame tūryje. Eksperimentinis ciklas sudarytas iš pilno iškrovimo iki apatinės leistinos įtampos ribos ir vėlesnio įkrovimo iki nominalios talpos. Iškrovimas vykdytas pastovios srovės (CC) režimu 0,5 A srove, o įkrovimas – 1 A srove. Eksperimentinio tyrimo metu naudoto bandymų stendo struktūra pateikiama principinėje schemoje (žr. 1 pav.).

Baterijų elgsenos analizei buvo taikomas skaitmeninis modeliavimas, naudojant MATLAB/Simulink programinę aplinką, kuri leidžia aprašyti ir analizuoti elektros energijos kaupimo sistemų dinaminį procesus. Šioje aplinkoje sukurtas baterijos įkrovimo ir iškrovimo modelis, skirtas pagrindinių elektrinių parametrų – įtampos, srovės ir talpos –

kitimui skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis įvertinti. Modelis buvo sudarytas remiantis eksperimentinių tyrimų metu gautais duomenimis. Modelyje aprašyta baterijos įtampos priklausomybė nuo srovės, talpos ir temperatūros, taip pat įvertintas vidinės varžos poveikis įtampos kritimui apkrovos metu. Įvertinus eksperimentinių tyrimų sudėtingumą, laiko sąnaudas ir saugos aspektus, skaitmeninis modeliavimas pasirinktas kaip papildoma priemonė, leidžianti sumažinti fizinių bandymų apimtį, ypač dirbant su aukštomis srovėmis ir neigiamomis temperatūromis, kurios gali didinti baterijų terminės degradacijos ar saugos riziką. Modeliavimo schema MATLAB/Simulink aplinkoje pateikiama 2 paveiksle.

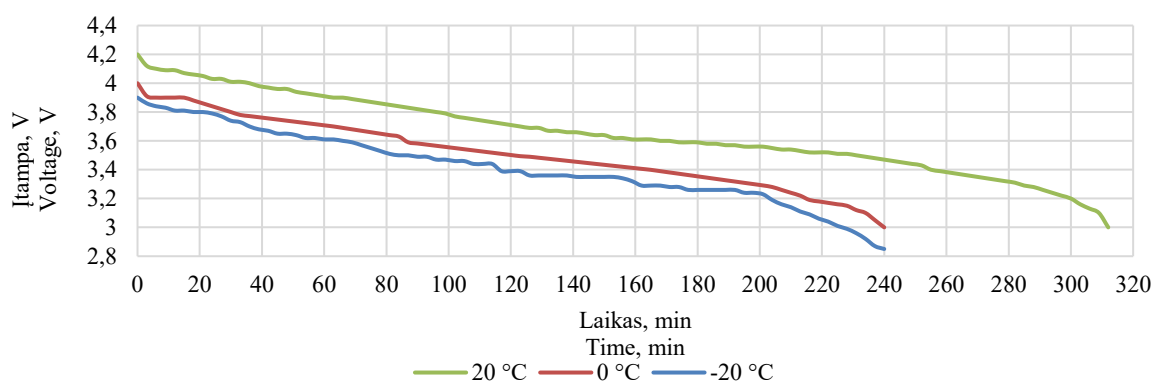


2 pav. Baterijos įkrovimo ir iškrovimo procesų modeliavimo schema
Fig. 2. Battery charging and discharging process modelling scheme

Modeliavimo rezultatų patikimumas vertintas lyginant modeliuotas ir eksperimentines įtampos priklausomybes laiko atžvilgiu, apskaičiuojant santykinę paklaidą.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

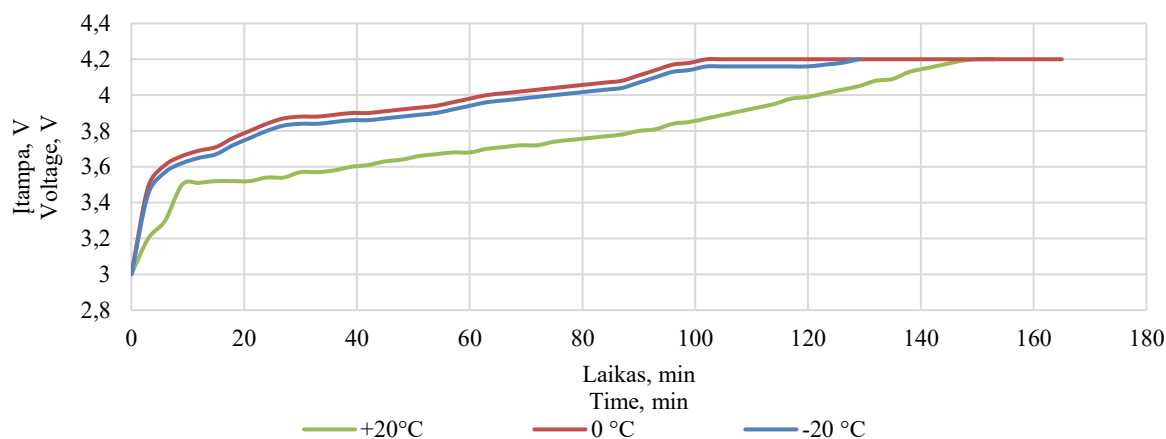
Eksperimentinių tyrimų metu buvo analizuoti „Samsung“ ličio jonų (NMC) celės iškrovimo ir įkrovimo procesai, registruojant įtampos kitimą laiko atžvilgiu esant skirtingoms aplinkos temperatūroms. Kiekvienai nagrinėtai temperatūrinei sąlygai buvo atlikti trys eksperimentiniai bandymai, o gauti rezultatai leido įvertinti pagrindines temperatūros poveikio tendencijas. 3 paveiksle pateiktos eksperimentiniu būdu gautos celės iškrovimo įtampos kreivės esant +20 °C, 0 °C ir -20 °C temperatūroms. Gauti rezultatai rodo, kad aplinkos temperatūra turi tiesioginę įtaką iškrovimo proceso eigai ir darbinės įtampos palaikymo trukmei.



3 pav. „Samsung“ ličio jonų (NMC) celės iškrovimo įtampos kitimas laiko atžvilgiu esant skirtingoms temperatūroms
Fig. 3. Discharge voltage variation of Samsung NMC lithium-ion cell over time at different ambient temperatures

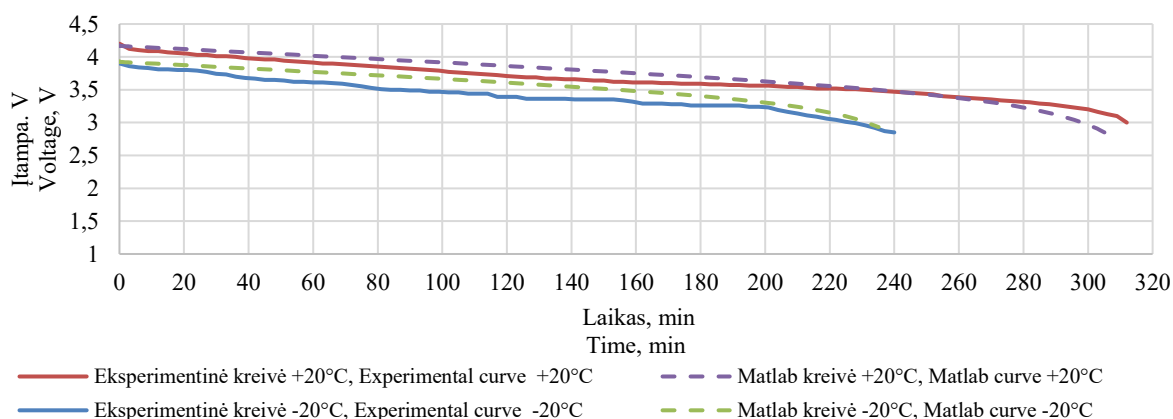
Kaip matyti, esant +20 °C temperatūrai, įtampos mažėjimas vyksta tolygiai per visą iškrovimo laikotarpį, o celė darbinę įtampą išlaiko maždaug 300 min. Sumažinus temperatūrą iki 0 °C, bendras iškrovimo laikas sutrumpėja iki maždaug 230–240 min, o įtampos kritimas tampa statesnis antroje iškrovimo proceso dalyje. Tuo tarpu esant -20 °C temperatūrai, stabilaus veikimo intervalas sumažėja iki maždaug 210–220 min, o vidutinė iškrovimo įtampa per visą procesą yra pastebimai mažesnė. Tai paaiškinama tuo, kad žemoje temperatūroje padidėja celės vidinė varža, todėl iškrovimo metu įtampos kritimas tampa didesnis. Palyginus rezultatus, matyti, kad esant -20 °C temperatūrai iškrovimo trukmė sumažėja apie 25 – 30 %, lyginant su +20 °C sąlygomis.

4 paveiksle pateiktas „Samsung“ ličio jonų (NMC) celės įkrovimo įtampos kitimas laiko atžvilgiu esant skirtingoms aplinkos temperatūroms. Bandymo metu buvo analizuotas tos pačios „Samsung“ ličio jonų (NMC) celės įkrovimo procesas, siekiant įvertinti aplinkos temperatūros poveikį įtampos kilimo eigai ir įkrovimo trukmei. Kaip matyti, iš pateikto įtampos kitimo laiko atžvilgiu esant $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aplinkos temperatūroms grafiko, temperatūra turi reikšmingą įtaką įkrovimo proceso trukmei ir įtampos kilimo spartai. Esant $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, celė galutinę įkrovimo įtampą pasiekia per maždaug 150 min. Sumažinus temperatūrą iki $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, įkrovimo trukmė sutrumpėja iki maždaug 120 – 130 min, o esant $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – iki maždaug 100–110 min, kas atitinka apie 15–20 % ir 25–30 % trumpesnę įkrovimo trukmę, lyginant su $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sąlygomis. Kaip matyti, žemos temperatūros reikšmingai mažina ličio jonų baterijų talpą, galios tankį ir įkrovimo efektyvumą.



4 pav. „Samsung“ ličio jonų (NMC) celės įkrovimo įtampos kitimas laiko atžvilgiu esant skirtingoms aplinkos temperatūroms
Fig. 4. Charging voltage variation of Samsung NMC lithium-ion cell over time at different ambient temperatures

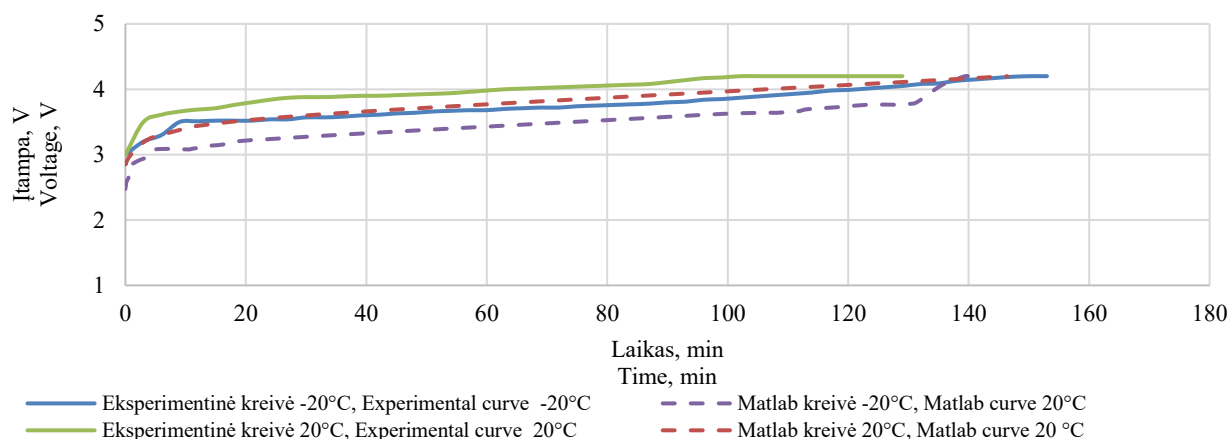
Atsižvelgiant į eksperimentinių tyrimų metu nustatytą aplinkos temperatūros poveikį iškrovimo procesui, toliau buvo vertinamas sudaryto baterijos modelio, atitinkančio „Samsung“ NMC celės parametrus, atitikimas realiems matavimo duomenims. Naudojant MATLAB/Simulink programinę aplinką buvo sukurtas modelis, leidžiantis įvertinti baterijos celės pagrindinių elektrinių parametrų – įtampos, srovės ir talpos – kitimą skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis. 5 paveiksle pateiktas eksperimentinių ir sukurto modelio „Samsung“ NMC celės iškrovimo įtampos priklausomybių palyginimas. Modelio validavimui buvo pasirinktos $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros, reprezentuojančios nominalias ir žemos temperatūros sąlygas. Dėl šios priežasties eksperimentinių ir modelių rezultatų palyginimas 5 ir 6 paveiksluose pateiktas šioms temperatūroms. Kaip matyti, sudaryto modelio didžiausi skirtumai pastebimi galutinėje iškrovimo stadijoje.



5 pav. Eksperimentinių ir sukurto modelio, Samsung NMC celės iškrovimo įtampos priklausomybių palyginimas
Fig. 5. Comparison of experimental and simulated discharge voltage characteristics of Samsung NMC cell

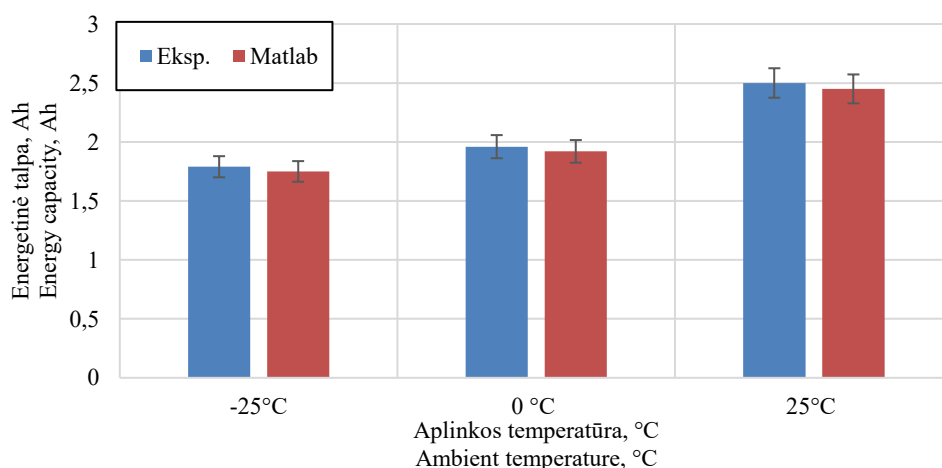
Modelio validavimas buvo atliktas lyginant eksperimentiniais tyrimais ir modeliavimu gautas elektrinių charakteristikų reikšmes. Gauti validavimo rezultatai parodė, kad sukurtas baterijos modelis pakankamai tiksliai atkuria įkrovimo ir iškrovimo procesus, o didžiausia įtampos paklaida neviršijo 7 %.

6 paveiksle pateiktas eksperimentinių ir modelių Samsung NMC celės įkrovimo įtampos priklausomybių laiko atžvilgiu palyginimas esant $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aplinkos temperatūroms. Bandymo rezultatai parodė, kad modelis pakankamai tiksliai atkuria įkrovimo proceso eigą. Esant $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, modelių įkrovimo trukmė iki galutinės įtampos skiriasi nuo eksperimentinių duomenų ne daugiau kaip 5 %, o esant $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai skirtumas siekia atitinkamai 6–7 %. Didžiausi neatitikimai buvo stebimi galutinėje įkrovimo stadijoje, kai įtampa artėja prie maksimalios leistinos reikšmės.



6 pav. Eksperimentinių ir sukurto modelio, „Samsung“ NMC celės įkrovimo įtampos priklausomybių palyginimas
Fig. 6. Comparison of experimental and simulated charging voltage characteristics of Samsung NMC cell

Įvertinus iškrovimo trukmę ir taikant pastovios srovės 0,5 A režimą, buvo apskaičiuota celės talpa skirtingomis temperatūros sąlygomis. 7 pav. matyti, kad esant +20 °C temperatūrai, buvo gauta 2,5 Ah talpa, esant 0 °C – 1,96 Ah, o esant –20 °C – 1,79 Ah. Tai rodo, kad esant –20 °C temperatūrai talpa sumažėja atitinkamai 28–30 %, lyginant su +20 °C aplinkos temperatūros sąlygomis. Šį reiškinį lemia sumažėjęs elektrolito joninis laidumas ir padidėjusi vidinė baterijos varža, dėl kurios padidėja įtampos kritimas apkrovos metu. Tai atitinka ir kitų mokslinių tyrimų gautais rezultatais (Lv et al., 2022)



7 pav. Baterijos modulio celės talpa iškraunant skirtingose temperatūrose
Fig. 7. Battery capacity when discharging at temperatures

Modeliuojant celės iškrovimo procesą tokiomis pačiomis apkrovos ir temperatūros sąlygomis, buvo apskaičiuotos atitinkamos talpos reikšmės esant +20 °C ir –20 °C temperatūroms. Esant +20 °C modeliuota talpa siekė 2,45 Ah, o esant –20 °C – 1,75 Ah. Palyginus eksperimentines ir modeliuotas reikšmes nustatyta, kad didžiausias talpos neatitikimas neviršija 5–7 %, kas atitinka anksčiau nustatytą įtampos paklaidos ribą. Tai patvirtina, kad sukurtas modelis atkuria įtampos kitimą laiko atžvilgiu ir bendrą energijos atidavimo charakteristiką skirtingomis temperatūros sąlygomis. Galima teigti, kad tokia paklaida laikoma priimtina baterijų modeliavimo tyrimuose, nes literatūroje dažniausiai nurodoma 5 – 10 % modeliavimo paklaidos riba.

Išvados

1. Atlikta ličio jonų baterijų įkrovimo ir iškrovimo procesų analizė parodė, kad aplinkos temperatūra daro reikšmingą įtaką pagrindiniams elektriniams parametrams ir baterijos talpai.
2. MATLAB paketo Simulink aplinkoje sukurtas baterijos įkrovimo ir iškrovimo modelis leido aprašyti pagrindines baterijos veikimo tendencijas skirtingose aplinkos temperatūros sąlygose. Gauti validavimo rezultatai parodė, kad sukurtas baterijos modelis pakankamai tiksliai atkuria įkrovimo ir iškrovimo procesus, o didžiausia įtampos paklaida neviršijo 7 %.
3. Nustatyta, kad esant +20 °C temperatūrai Samsung NMC celės talpa siekia apie 2,5 Ah, o sumažinus temperatūrą iki –20 °C ji sumažėja iki 1,79 Ah, atitinkamai 28–30 %, kas parodo, kad žemos temperatūros sąlygomis ženkliai mažėja baterijos energijos atidavimo galimybės ir blogėja eksploatacinės charakteristikos.

4. Gauti rezultatai rodo, kad žemų temperatūrų poveikis turi būti įvertintas projektuojant elektromobilių baterijų šilumos valdymo sistemas bei optimizuojant baterijų įkrovimo strategijas šalto klimato sąlygomis.

Literatūra

1. Chen, Z., Xiong, R., Wang, C., Zhang, J., Li, W., Zhao, Y., Yu, H., Zhou, Y., & Wang, J. (2022). Research on electric vehicle range under cold condition. *Advances in Mechanical Engineering*, 14(3), 1–11. <https://doi.org/10.1177/16878132221087083>
2. Cheng, F., Liu, S., Li, Z., Wang, X., Zhang, Y., & Li, J. (2022). Influence of low temperature on electric vehicle battery performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 2395, Article 012024.
3. Lv, S., Wang, X., Lu, W., Zhang, J., & Ni, H. (2022). The influence of temperature on the capacity of lithium-ion batteries with different anodes. *Energies*, 15(1), Article 60. <https://doi.org/10.3390/en15010060>
4. Madani, S. S., Alizadeh, M., Ahmadi, P., Ghadimi, N., & Li, L. (2023). Thermal behavior modeling of lithium-ion batteries. *Symmetry*, 15(8), Article 1597.
5. Senol, M., Bayram, I. S., Naderi, Y., & Galloway, S. (2023). Electric vehicles under low temperatures: A review on battery performance, charging needs, and power grid impacts. *IEEE Access*, 11, 39818–39843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3268615>
6. Steinstraeter, M., Heinrich, T., & Lienkamp, M. (2021). Effect of low temperature on electric vehicle range. *World Electric Vehicle Journal*, 12(3), Article 115. <https://doi.org/10.3390/wevj12030115>
7. Wang, K. (2017). Study on low temperature performance of Li-ion battery. *Open Access Library Journal*, 4, Article e4036. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104036>
8. Yang, S., Ling, C., Fan, Y., Yang, Y., Tan, X., & Dong, H. (2019). A review of lithium-ion battery thermal management system strategies and the evaluate criteria. *International Journal of Electrochemical Science*, 14, 6077–6107.

STUDY OF AMBIENT TEMPERATURE INFLUENCE ON LITHIUM-ION BATTERY PARAMETERS IN AN ELECTRIC VEHICLE

Abstract

Lithium-ion batteries are widely used in electric vehicles due to their high energy and power density, but their performance is strongly affected by ambient temperature. This paper investigates how temperature influences the electrical characteristics of an electric vehicle lithium-ion battery. Experiments were carried out using specialized battery testing equipment by charging and discharging a Samsung NMC cell at +20 °C, 0 °C, and –20 °C while recording key electrical parameters. A battery model was developed in MATLAB Simulink and validated by comparing simulated and experimental results; the maximum voltage error did not exceed 7%. The validated model was then used to compare different battery chemistries (LiCoO₂, LiNiO₂, and LiFePO₄). The results show that lower temperatures reduce charge/discharge stability and available capacity and increase voltage drop under load, leading to slower energy transfer and decreased battery performance in cold conditions.

Keywords: lithium-ion battery, charging, discharging, model.