

# Elektromobilių akumuliatorių baterijų talpa ir įtampa. Elektrocheminiai, sisteminiai ir eksploataciniai aspektai

Saulius Grinkevičius\*, Saulius Tamokaitis

Klaipėdos valstybinė kolegija, Technologijų fakultetas

Bijūnų g. 10, LT-91123 Klaipėda

El.paštas: [s.grinkevicius@kvk.lt](mailto:s.grinkevicius@kvk.lt), [s.tamokaitis@kvk.lt](mailto:s.tamokaitis@kvk.lt)

(Gauta 2026 m. kovo mėn.; atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.; prieiga internete nuo 2026 m. gegužės 8 d.)

## Anotacija

Elektromobilių akumuliatorių baterijų sistema (Battery Pack) yra sudėtingas elektrocheminis ir elektroninis kompleksas, lemiantis transporto priemonės nuvažiuojamą atstumą, efektyvumą, dinamiką ir saugą. Šiame straipsnyje analizuojami du pagrindiniai parametrai – energijos talpa (kWh) ir vardinė įtampa (V), jų tarpusavio ryšys, įtaka galios perdavimui ir įkrovimo charakteristikoms. Aptariami šiuolaikinių ličio jonų baterijų chemijos tipai, modulinė struktūra ir aukštos įtampos (400–800 V) platformų konstrukciniai sprendimai.

**Reikšminiai žodžiai:** akumulatorius, degradacija, baterijų talpa kWh, įtampa V.

## Abstract

The electric vehicle battery system (Battery Pack) is an electrochemical and electronic complex, determining driving range, efficiency, dynamics, and safety. This paper analyses the two key parameters — energy capacity (kWh) and nominal voltage (V) — their interdependence, influence on power delivery, and charging characteristics. Contemporary lithium-ion battery chemistries, modular architectures, and design solutions for high-voltage (400–800 V) platforms are discussed.

**Key words:** Battery, cell, degradation, battery capacity kWh, voltage V

## Įvadas

Elektromobilių akumuliatorių baterijų sistema (Battery Pack) yra sudėtingas elektrocheminis ir elektroninis kompleksas, kuris užtikrina patikimą ir efektyvią energijos kaupimo ir tiekimo funkciją. Ši sistema sudaryta iš daugelio integruotų elementų, įskaitant individualius elementus akumulatorius (celes), modulius, baterijų valdymo sistemą (BMS), šiluminės kontrolės ir saugos posistemes. Pastarųjų vaidmuo yra itin svarbus ne tik siekiant užtikrinti, kad baterija veiktų efektyviai, būtų saugi, bet ir norint pagerinti eksploatacines savybes. Šiuo metu elektromobilių baterijų srityje dominuojanti yra ličio jonų (Li-ion) technologija, kuri pasižymi aukštu energijos tankiu, ilgu naudojimo laikotarpiu ir dideliu ciklų skaičiumi. Ličio jonų baterijos tapo standartine pasirinkimo galimybe daugelyje gaminamų elektromobilių modelių dėl jų pažangių elektrocheminių savybių ir geros energijos kaupimo galios (Scrosati & Garche, 2010). Svarbiausi parametrai, apibūdinantys elektromobilio bateriją, yra jos energijos talpa (kWh) ir vardinė įtampa (V). Energijos talpa nurodo, kiek iš viso gali būti sukaupta ir išleidžiama energijos kiekio, o įtampa – potencialo tarp teigiamo ir neigiamo polių skirtumą, kuris lemia baterijos galios tiekimo galimybes ir sąveiką su kitomis automobilio sudedamosiomis dalimis. Šie parametrai tiesiogiai veikia galios tiekimą, efektyvumą, kabelių skerspjūvį, inverterio struktūrą ir įkrovimo spartą (Doyle, Fuller, & Newman, 1993). Tačiau svarbu pažymėti, kad baterijų talpa ir jų įtampa nėra pastovūs parametrai, o priklauso nuo elektrocheminių procesų, medžiagų savybių ir eksploatacinių sąlygų (Vetter, Novák, et al, 2005). Straipsnyje analizuojami elektrocheminiai, sisteminiai ir eksploataciniai rodikliai.

**Tikslas** – išnagrinėti elektromobilių akumuliatorių baterijų energijos talpą kWh ir talpą lemiančius konstrukcinius bei cheminius veiksnius, įvertinti celėse naudojamų cheminių medžiagų poveikį įtampos dydžiui, nustatyti įkrovimo srovės A priklausomybę nuo sistemos įtampos V ir palyginti 400 V bei 800 V baterijų struktūrų eksploatacinius skirtumus.

## Uždaviniai:

- Išnagrinėti akumuliatorių baterijas pagal talpą kWh.



- Išanalizuoti akumuliatorių baterijų gamybai naudojamas medžiagas.
- Išnagrinėti akumuliatorių baterijose naudojamą įtampą V.
- Pateikti elektromobiliuose naudojamų 400V ir 800V baterijų privalumus ir trūkumus.

### Akumuliatorių energijos talpa kWh

Akumulatoriaus talpa kWh apibūdina bendrą energijos kiekį, kurį baterija gali sukaupti ir atiduoti per visą savo veikimo laikotarpį. Ji yra viena svarbiausių charakteristikų, leidžiančių įvertinti, kiek energijos elektromobilis gali naudoti viena įkrova ar vieno ciklo metu. Elektromobilių baterijoms būdingi du pagrindiniai parametrai, tai: energijos talpa kWh – kiek energijos gali būti sukaupta ir vardinė įtampa (V) – elektrinis potencialų skirtumas tarp teigiamo ir neigiamo polių. Šie parametrai lemia galios tiekimą, efektyvumą, kabelių skerspjūvį, inverterio struktūrą ir įkrovimo spartą.

Fizikiniai dydžiai ir žymėjimai:

Akumulatoriaus talpa, matuojama vatvalandėmis Wh arba kilovatvalandėmis kWh. Tai bendras energijos kiekis, kuris gali būti sukauptas baterijoje. Celių talpa, matuojama ampervalandėmis Ah. Ji nurodo, kiek ampervalandžių gali būti sukaupta vienoje ląstelėje ar modulyje. Akumuliatorių (celių) įkrovos įtampa, matuojama voltais (V). Ji reiškia potencialo skirtumą tarp teigiamo ir neigiamo polių. Bendroji baterijos vardinė įtampa, kuri dažniausiai būna nuosekliai sujungtų celių įtampų suma, apskaičiuojama pagal formulę:

$$E = Q_{bendr.} \times U_{vid.} \quad (1)$$

čia:

$E$  – energijos talpa;

$Q_{bendr.}$  – bendras baterijos įkrovos kiekis mAh arba Ah, priklausomai nuo konstrukcijos;

$U_{vid.}$  – vidutinė baterijos įkrovos įtampa V.

Teoriškai pateikiama reali ir nominali talpa nurodo energijos talpą baterijose. Elektrochemiškai pasiekiami (nominali talpa) energija, o BMS (baterijų valdymo modulis) leidžiama eksploatuoti (naudojama talpa), kurios dalis sudaro 90–95 % nominalios talpos. Tai būtina ciklinio ilgaamžiškumo ir degradacijos kontrolei (Scrosati & Garche, 2010).

Kadangi akumuliatorių baterijos dažniausiai sudarytos iš kelių ar kelių dešimčių akumuliatorių (celių), jų bendroji talpa kWh apskaičiuojama naudojant formulę:

$$E = \frac{n \times C \times U}{1000}, \quad (2)$$

čia:

$E$  – bendroji akumuliatorių baterijos talpa kWh;

$n$  – akumuliatorių (celių) skaičius;

$C$  – kiekvieno akumulatoriaus (celės) talpa Ah;

$U$  – vieno akumulatoriaus (celės) įtampa V.

Ši formulė leidžia įvertinti, kiek energijos kWh gali būti sukaupta visoje akumuliatorių baterijoje.  $C$  ir  $U$  priklauso nuo cheminės medžiagos ir akumulatoriaus (celės) konstrukcijos. Talpa  $E$  yra tiesiogiai proporcinga celių skaičiui ir jų individualiai talpai bei įtampai. Kuo didesnė  $C$  ir  $U$ , tuo daugiau energijos galima sukaupti vienoje akumuliatorių baterijoje. Talpa kWh nurodo, kiek energijos galima išnaudoti baterijos veikimo metu. Efektyvus energijos naudojimas priklauso nuo akumuliatorių baterijos konfigūracijos, valdymo ir šiluminės kontrolės (1 lentelė).



**1 lentelė.** Akumuliatorių talpa kWh šiuolaikiniuose EV ir nuvažiuojamas atstumas  
**Table 1.** Battery capacity kWh in modern EVs and driving range

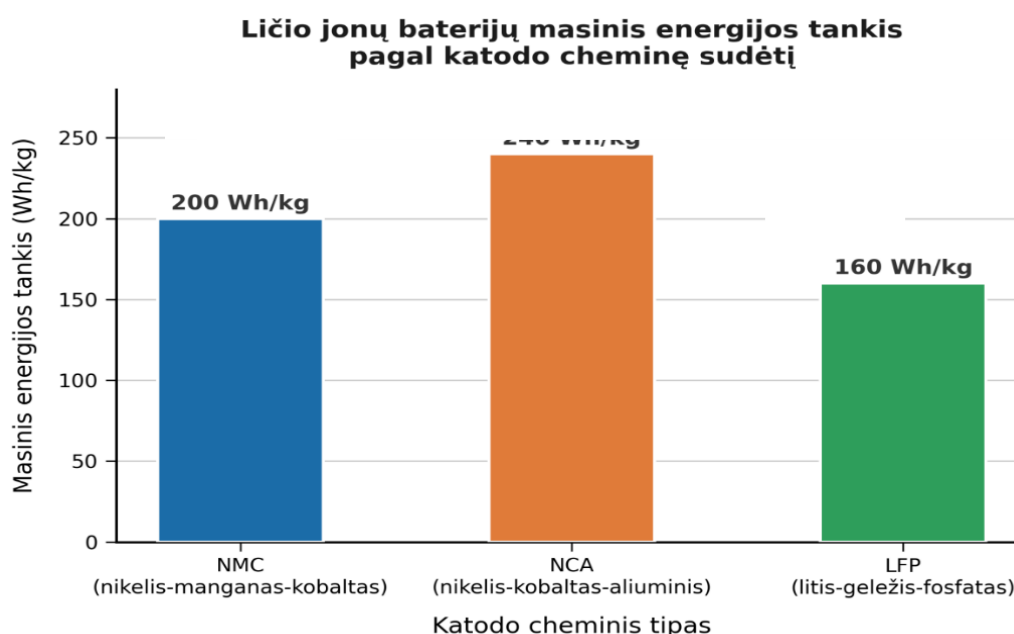
Elektromobilio klasė	Baterijos talpa kWh	Nuvažiuojamas atstumas pagal WLTP
Miesto EV	30–50	200–350 km
Vidutinė klasė EV	60–80	350–500 km
Aukštesnė klasė EV	90–120	500–700 km

Elektromobilių akumuliatorių baterijų talpa išreiškiama kilovatvalandėmis (kWh). Tai toks parametras, kuris nurodo sukuriamą galios vienetą per vieną valandą. Akumulatoriaus talpa (kWh) nurodo bendrą energijos kiekį, kurį baterija gali sukaupti. Jis priklauso nuo:

celių dydžio ir jų kiekio;

cheminės medžiagos ir jų energijos tankio;

akumuliatorių baterijos konstrukcijos efektyvumo (1 pav.).

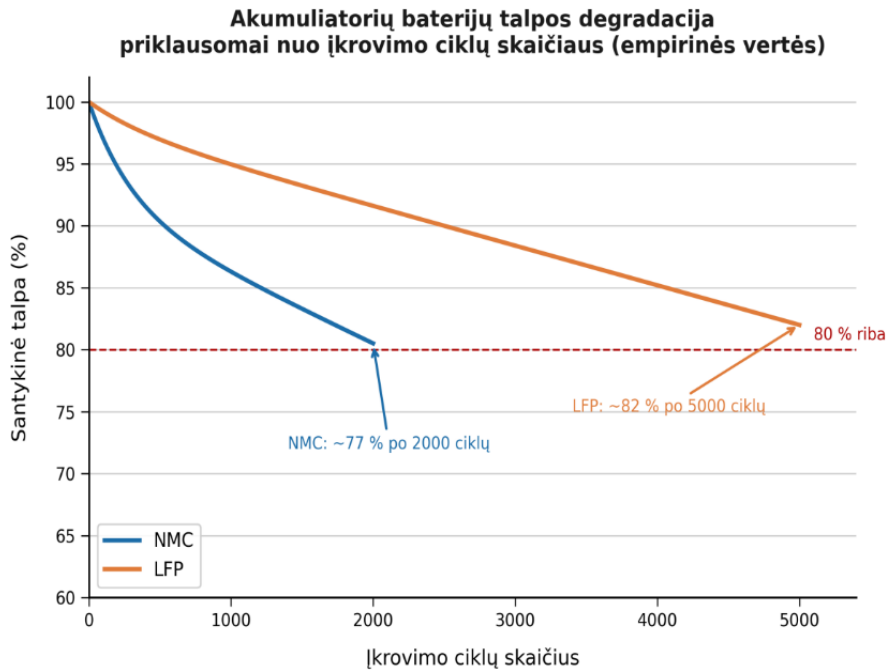


**1 pav.** Skirtingų cheminių elementų energijos tankis  
**Fig. 1.** Energy density of different chemical elements

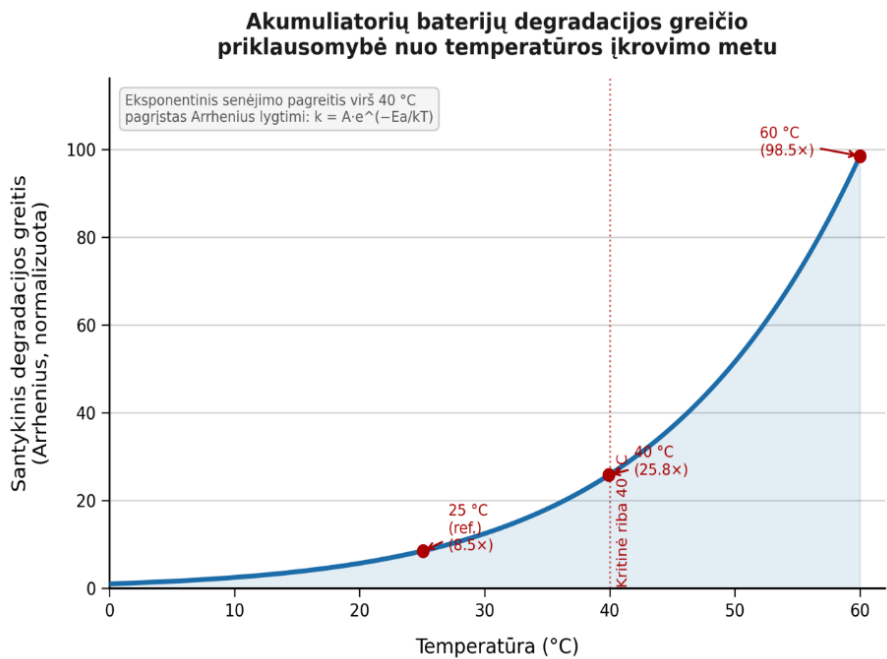
Akumuliatorių baterijos veikimo laikas priklauso nuo energijos sunaudojimo greičio kW ir baterijos talpos.

Akumuliatorių baterijų degradacijos priklausomybė nuo įkrovimo ciklų skaičiaus ir temperatūros (Scrosati & Garche, 2010) (2 ir 3 pav.):

- NMC baterijos gali prarasti ~ 10–23 % talpos po 300–500 ciklų esant standartinėms sąlygoms.
- LFP elemento degradacija yra lėtesnė ir dažnai pasiekama >3000 ciklų prieš reikšmingą degradaciją.
- LFP tipo ciklų skaičius geriau išlaiko talpą, kartais >2000–5000 ciklų su <20 % degradacija.



2 pav. Akumuliatorių baterijų talpos degradacijos priklausomybė nuo įkrovimo ciklų skaičiaus (empirinės vertės)  
Fig. 2. Battery capacity degradation dependence on charge cycle count. (Empirical values)



3 pav. Akumuliatorių baterijų talpos degradacijos priklausomybė nuo temperatūros įkrovimo metu, iliustruojanti eksponentinį senėjimo pagreitį virš 40 °C.

Fig. 3. Battery capacity degradation dependence on temperature during charging, illustrating exponential ageing acceleration above 40 °C.

Cheminė akumulatoriaus (celės) sudėtis nulemia energijos kiekį joje, energijos atidavimą ir energijos priėmimą. Cheminės reakcijos metu įvyksta oksidacijos-redukcijos reakcijos, kurioms vykstant dalyvauja elektrodo medžiagos ir jonai. Šių reakcijų metu susidaro elektronų srautas, sukuriantis elektrinį lauką ir įtampą. Šis potencialo skirtumas priklauso nuo reakcijų krypties, koncentracijų, temperatūros ir kitų veiksnių (Vetter, Novák, et. al, 2005).

## Akumulatoriuose (celėse) naudojami pagrindiniai cheminiai elementai ir jų funkcijos

Nuo cheminių elementų panaudojimo akumulatoriuose (celėse) priklauso darbiniai ir eksploataciniai parametrai.

Pastaruoju metu akumulatoriuose (celėse) naudojami šie cheminiai elementai:

Li (litis) – dažniausiai naudojamas kaip anodo medžiaga (teigiamas elektrodo polius) ličio jonų baterijose. Li yra labai lengvas ir turi aukštą elektrinį potencialą, todėl leidžia kurti didelės įtampos baterijas. Li jonų reakcijos metu įvyksta oksidacija ir redukcija, leidžiančios jonų judėjimą tarp elektrodo ir elektrolito.

C (anglis) – anglis arba grafitas: dažnai naudojamas kaip anodo medžiaga ličio jonų baterijose. Grafito sluoksniuose išsidėstę ličio jonai gali įsiskverbti ir išsiskirti iš struktūros, vykdant *redox* reakcijas.

Co (kobaltas) – kobalto oksidai ( $\text{LiCoO}_2$ ) yra dažna katodo medžiaga ličio jonų baterijose. Kobaltas veikia kaip *redox* centras, keičiasi oksidacijos būsenos vykdant reakcijas, leidžiančias išleisti ar priimti elektronus.

Ni (nikelis) – nikelio oksidai naudojami kaip katodo medžiaga, suteikianti didelį našumą ir stabilumą. Nikelis dalyvauja *redox* procesuose, keičiantis oksidacijos būsenoms.

Mn (manganas) – manganas dažnai naudojamas kaip katodo medžiaga (pvz.,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ). Manganas veikia kaip *redox* centras, leidžiantis stabiliai vykdyti reakcijas ir užtikrinti saugumą.

Pb (švinas) – švino rūgšties akumulatoriuose švino ir švino dioksido junginiai yra pagrindiniai elementai, kurie dalyvauja oksidacijos-redukcijos reakcijose.

H (vandenilis) – elektrolituose dažnai naudojami  $\text{H}^+$  jonai, ypač rūgštiniuose akumulatoriuose, kaip dalyvaujantys reakciniai elementai.

Funkcijos akumulatoriuose:

Li (litis) – anodo medžiaga; dalyvauja oksidacijos reakcijoje, išskirdama elektronus ir leidžianti ličio jonams judėti į katodą.

Kobaltas, nikelis, manganas – katodo medžiagos, kurios keičiasi oksidacijos būsenomis, prima ir išleidžia elektronus, užtikrinant chemines reakcijas.

Grafitas – anodo medžiaga, kurioje ličio jonai juda į ir iš sluoksnių struktūrų.

Švinas – katodo ir anodo medžiagos rūgštiniame akumulatoriuje.

Šie elementai ir jų reakcijos yra pagrindiniai cheminiai procesai, leidžiantys akumulatoriams kaupti ir atiduoti elektros energiją (Nitta, Wu, Lee, & Yushin, 2015).

Cheminiai procesai akumulatoriuose pagrįsti oksidacijos-redukcijos reakcijomis, kuriose dalyvauja specifiniai elementai ir jonai. Pavyzdžiui, ličio jonai judėdami tarp grafito anodo ir  $\text{LiCoO}_2$  katodo keičiasi oksidacijos būsenomis, leidžiančiomis kaupti ir atiduoti elektros energiją. Kiti elementai, tokie kaip nikelis, manganas ar švinas, atlieka panašias funkcijas, bet su skirtingais cheminiais junginiais ir reakcijomis, priklausomai nuo akumulatoriaus tipo (2 lentelė) (Doyle, Fuller, & Newman, 1993).

2 lentelė. Cheminių procesų poveikis įtampos dydžiui

Table 2. Effect of chemical processes on voltage level

Akumulatoriaus (celės) tipas	Cheminės reakcijos	Potencialo skirtumas V	Cheminės reakcijos grandinė	Įtampa V
Li-ion ( $\text{LiCoO}_2$ )	$\text{Li}^+$ priėmimas ar išleidimas	~ 4,2 V	$\text{LiCoO}_2 + \text{Li}^+ + e^- \leftrightarrow \text{Li}_x\text{CoO}_2$	3,0–4,2 V
Švino rūgštis	$\text{PbO}_2$ ir $\text{Pb}$ reakcijos	~ 2,1 V	$\text{PbO}_2 + \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	2,0–2,1 V
Nikelio oksidai	$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}$ redox	~ 4,3 V	$\text{LiNiO}_2$	3,7–4,3 V
Manganas ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )	$\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$	~ 4,1 V	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	3,9–4,1 V

Cheminės reakcijos ir jų potencialai lemia akumulatoriaus įtampos dydį. Reakcijos, vykstančios su didesniais potencialų skirtumais (pvz.,  $\text{LiCoO}_2$  ir Li), sukelia didesnę įtampą, o



reakcijos, vykstančios su mažesniais potencialais (pvz., Pb rūgšties akumulatoriuose), sudaro mažesnę įtampą. Todėl norint sukurti didelės įtampos akumulatorius, naudojamos cheminės reakcijos, vykstančios su didesniais oksidacijos potencialais (Doyle, Fuller, & Newman, 1993; Linden, & Reddy, 2011).

### Akumuliatorių ir akumuliatorių baterijų įtampa (V)

Akumuliatorių baterijos įtampa (V) yra elektrinio potencialo skirtumas tarp teigiamo ir neigiamo poliaus. Akumuliatorių baterijos įtampa dažnai yra susijusi su jos elementų (celių) įtampa. Šiuolaikiniuose elektromobiliuose dažniausiai naudojamos 350–800 V sistemos. Aukštesnė įtampa leidžia efektyviau perduoti galią į elektros variklį ir sumažina srovės nuostolius. Vieno ličio jonų akumulatoriaus elemento (celės) nominali įtampa priklauso nuo akumulatoriuje (celėje) naudojamų cheminių medžiagų:

- ~ 3,6–3,7 V (NMC – nikelio-mangano-kobalto oksido),
- ~ 3,6–3,7 V (NCA – nikelio-kobalto-aliuminio oksido),
- ~ 3,2 V (LFP ličio-geležies-fosfato).

Akumulatoriuje (celėje) naudojant cheminius elementus NMC – nikelį, manganą ir kobaltą, pasiekiamas saugumas, ilgas naudojimo laikas, aukštas energijos kaupimo ir atidavimo koeficientas ir stabilumas. Naudojant tokias celes išlaikomas energijos ir saugumo balansas. Celėje naudojant NCA – nikelio-kobalto-aliuminio oksidą gaunamas didelis energijos tankis, ilgas naudojimo laikas, aukštas energijos kaupimo ir atidavimo koeficientas. Šio cheminio junginio celės naudojamos elektromobiliuose dėl aukšto energijos tankio.

NMC ir NCA elementai leidžia pasiekti didesnę įtampą ir energijos tankį, tačiau jų saugumas ir ilgaamžiškumas priklauso nuo cheminių elementų savybių ir gamybos technologijų (Trumbull, n.d).

Akumuliatorių baterijų įtampa didinama jungiant akumuliatorių elementus nuosekliai. Jeigu vienos ličio-jonų baterijos celės įtampa yra apie 3,6 V, o norima pasiekti 400 V sistemos įtampą, tai apskaičiuojama naudojant formulę:

$$U_{bat} = n \cdot U_{cell} \quad (3)$$

čia:

$n$  – elementų skaičius nuosekloje grandinėje;

$U_{cell}$  – vienos celės įtampa;

$U_{bat}$  – baterijos įtampa.

Atliekant akumuliatorių baterijos analizę apskaičiuotas energijos ir galios perdavimas [2]. Momentinės galios (W) išraiška:

$$P = V \times I \quad (4)$$

čia:

$V$  – įtampa (V);

$I$  – srovė (A).

Baterijos energijos kiekio atiduodamo per laiko vienetą išraiška apskaičiuojama remiantis formule:

$$E = P \times t \quad (5)$$

čia:

$E$  – energija Wh;

$P$  – galia W;

$t$  – laikas h.



## 400 V ir 800 V struktūros akumuliatorių baterijos

Akumuliatorių baterijos, turinčios 400V struktūrą, naudojamos daugelyje EV. 400V akumuliatorių baterijos yra ekonomiškesnės ir turi gerai išvystytą infrastruktūrą. 400V sistemų įkrovimo galia paprastai siekia apie 150–250 kW, tai prilygsta 375–600A. Šios struktūros akumuliatorių baterijų privalumas – mažesnė gamybos kaina ir platus suderinamumas su esama viešojo įkrovimo infrastruktūra, o trūkumas – lėtesnis ultragreitas įkrovimas ir didesnis svoris dėl aušinimo bei storų kabelių poreikio (U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, n.d.).

Akumuliatorių baterijos, turinčios 800V struktūrą, naudojama aukštos klasės EV. 800V EV akumuliatorių baterijos turi naujos kartos sistemą, įgalinančią žymiai didesnę įkrovimo galią iki 350 kW, tai prilygsta 435A. Įkrovimo srovės pokytis didina įkrovimo efektyvumą ir gerina šilumos valdymą. Padvigubinus įtampą iki 800V, sumažėja reikalinga srovė tai pačiai galiai, tai sumažina energijos ir šiluminius nuostolius, leidžia naudoti plonesnius, lengvesnius laidus, sumažinti akumuliatorių baterijos svorį ir bendrą transporto priemonės svorį, pagerinti nuvažiuojamą atstumą. Tuo pat metu 800V struktūros akumuliatorių baterijų įkrovimui reikalingi pažangesni, brangesni komponentai, galintys atlaikyti aukštesnę įtampą.

Šių akumuliatorių baterijų privalumai – itin greitas įkrovimas (pvz., Porsche Taycan gali būti įkrautas 100 km įveikiamam atstumui per 5 min.) ir geresnis energijos panaudojimas, o trūkumai – didesnė automobilio kaina ir ribotas skaičius įkrovimo stotelių, galinčių visiškai išnaudoti šią įtampą.

Didesnė akumuliatorių baterijos įtampa sumažina reikalingą srovę tokiam pačiam energijos poreikiui, o mažesnė srovė sumažina varžinius nuostolius, pagerina efektyvumą ir šiluminės charakteristikas.

$$I = \frac{P}{U} \quad (6)$$

čia:

$I$  – srovė A;

$P$  – galia W;

$U$  – įtampa V.

Pvz.: turime akumuliatorių baterijos įkrovimo gali 350 kW ir įtampą 800 V įtampa, tai srovė bus:

$$I = \frac{350000}{800} \approx 435A$$

Kai akumuliatorių baterijos įkrovimo galia 250kW ir įtampą 400 V įtampa, tai srovė bus:

$$I = \frac{250000}{400} \approx 625A$$

Vidinė akumuliatorių baterijų varža nėra pastovi – ji didėja baterijai senstant arba esant labai žemai temperatūrai, todėl šiluminiai nuostoliai auga. Akumuliatorių baterijų šiluminiai (galios) nuostoliai ir priklausomybė nuo varžos:

$$P_{th} = I^2 \cdot R_{in} \quad (7)$$

čia:

$P_{th}$  – šiluminiai galios nuostoliai W;  $I^2$  – elektros srovė A;  $R_{in}$  – elektrinė varža  $\Omega$ .



**3 lentelė.** Pagrindiniai 400 V ir 800 V akumuliatorių baterijų struktūros skirtumai  
**Table 3.** Main differences between 400 V and 800 V battery structures

Savybės	400 V akumuliatorių baterijų struktūra	800 V akumuliatorių baterijų struktūra
Įkrovimo galia	Dažniausiai ribojama iki 150–250 kW	Gali siekti 350 kW ir daugiau
Įkrovimo laikas	10–80 % per 30–40 min.	10–80 % per 15–20 min.
Efektyvumas	Didesni šiluminiai nuostoliai dėl stipresnės srovės	Mažesni šiluminiai nuostoliai, didesnis nuvažiuojamas atstumas
Svoris	Sunkesni, storesni aukštos įtampos kabeliai	Lengvesni, plonesni kabeliai ir mažesni komponentai

Rinkoje pasitaiko transporto priemonių, naudojančių 400 V ir 800 V įtampos akumuliatorių baterijas (3 lentelė):

**400V modeliai:** Tesla Model 3/Y, Volkswagen ID.4, BMW i4;

**800V modeliai:** Hyundai Ioniq 5/6, Kia EV6/EV9, Porsche Taycan, Audi e-tron GT.

Žvelgiant į ateitį akumuliatorių baterijų įtampa turi tendenciją didėti ir jau kai kurie elektromobilių gamintojai, tokie kaip: „Lucid Air“, jau naudoja dar aukštesnę **900 V+** įtampą (International Energy Agency, 2023).

### Išvados

1. Elektromobilių akumuliatorių baterijų energijos talpa kWh priklauso nuo trijų pagrindinių veiksnių: akumuliatorių (celių) skaičiaus, individualios akumuliatorių (celių) talpos (Ah) ir akumuliatorių (celių) įtampos (V). Baterijos energijos talpa yra tiesiogiai proporcinga šiems dydžiams, todėl miesto EV naudoja 30–50 kWh baterijas (200–350 km rida), o aukštesnio segmento EV – 90–120 kWh (iki 700 km rida). BMS leidžia eksploatuoti 90–95 % nominalios talpos, užtikrinant ciklo ilgaamžiškumą.

2. Celių cheminė sudėtis tiesiogiai lemia elektrinį potencialą ir energijos tankį. NMC bei NCA celių vardinė įtampa siekia 3,6–3,7 V, todėl jos pasiekia didžiausią energijos tankį; jos naudojamos ten, kur svarbu rida ir dinamika. LFP celių įtampa yra 3,2 V, tačiau šios celių degradacija yra lėtesnė ( $\geq 3000$  ciklų) ir jos pasižymi didesniu saugumu – tai privalumas komerciniams ir miesto EV. Oksidacijos-redukcijos reakcijų potencialai vienareikšmiškai lemia, kokia įtampa pasiekama vienoje celėje.

3. Šiuolaikinių elektromobilių baterijų sistemų vardinė įtampa siekia 350–800 V ir pasiekama nuosekliai jungiant celes ( $U_{\text{nat}} = n \times U_{\text{nell}}$ ). Didesnė įtampa leidžia efektyviau perduoti galią ir sumažina varžinius nuostolius. Srovės mažėjimas geometriškai mažina šiluminius nuostolius. Aukštesnės įtampos sistemos taip pat leidžia naudoti plonesnius laidus, sumažinti akumuliatorių baterijos masę.

4. 400 V ir 800 V akumuliatorių baterijų struktūrų palyginimas rodo, kad 800 V sistemose, pagal formulę  $I = P / U$ , srovė yra maždaug perpus mažesnė (apie 435 A prie 350 kW), nei 400 V sistemose (apie 625 A prie 250 kW). Dėl kvadratinės priklausomybės  $P_a = I^2 \times R$  šiluminiai nuostoliai sumažėja iki keturių kartų, todėl galima naudoti plonesnius laidus, mažesnio pajėgumo aušinimo sistemas ir sumažinti akumuliatorių baterijos masę. Praktikoje 800 V sistemos leidžia įkrauti bateriją nuo 10 iki 80 % per 15–20 min., o 400 V – per 30–40 min., tačiau jos pasižymi didesne komponentų kaina ir didesniais infrastruktūros reikalavimais. 400 V akumuliatorių baterijų struktūra išlieka optimali masinės rinkos elektromobiliams, o 800 V labiau tinkama aukštesnės klasės segmentui, ryškėjant tendencijai pereiti prie 900 V ir aukštesnės įtampos sistemų.

### Literatūra

- Doyle, M., Fuller, T., & Newman, J. (1993). Modeling of galvanostatic charge and discharge of the lithium/polymer/insertion cell. *Journal of The Electrochemical Society*, 140(6), 1526–1533.
- International Energy Agency. (2023). *Global EV outlook 2023: Catching up with climate ambitions*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>



- Linden, D., & Reddy, T. B. (Eds.). (2011). *Handbook of batteries* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: Present and future. *Materials Today*, 18(5), 252–264.
- Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419–2430.
- Trumbull, K. (n.d.). *BU-310: How does cobalt work in Li-ion?* Battery University, Cadex Electronics Inc. <https://batteryuniversity.com/article/bu-310-how-does-cobalt-work-in-li-ion>
- U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (n.d.). *Battery basics*. Alternative Fuels Data Center. [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/battery\\_basics.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/battery_basics.pdf)
- Vetter, J., Novák, P., Wagner, M. R., Veit, C., Möller, K.-C., Besenhard, J. O., Winter, M., Wohlfahrt-Mehrens, M., Vogler, C., & Hammouche, A. (2005). Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 147(1–2), 269–281. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.01.006>

## Battery Systems of Electric Vehicles. Electrochemical, Systemic and Operational Aspects

(Received in March, 2026; Accepted in April 2026; Available Online from 8<sup>th</sup> of May, 2026)

### Summary

Electric vehicle (EV) battery systems represent complex electrochemical and electronic assemblies that ensure reliable energy storage and delivery. The dominant technology in this field is lithium-ion (Li-ion), characterised by high energy density, long service life and a large number of charge cycles.

The energy capacity of a battery pack (kWh) is determined by three key factors: the number of cells, the individual cell capacity (Ah) and the cell voltage (V). Urban EVs typically employ 30–50 kWh batteries providing a range of 200–350 km, while premium-segment vehicles use 90–120 kWh packs capable of up to 700 km. Battery management systems (BMS) allow exploitation of 90–95% of nominal capacity to preserve cycle longevity.

Cell chemistry directly governs both voltage and energy density. NMC and NCA cells achieve a nominal voltage of 3.6–3.7 V and the highest energy density, making them suitable where range and performance are priorities. LFP cells operate at 3.2 V but offer superior cycle life exceeding 3000 cycles with less than 20% capacity degradation, making them preferable for commercial and urban applications.

Modern EV battery systems operate at 350–800 V, achieved by connecting cells in series. Elevated voltage reduces the current required for equivalent power transfer, thereby decreasing resistive losses. A comparison of 400 V and 800 V architectures demonstrates that 800 V systems require approximately half the current (435 A at 350 kW versus 625 A at 250 kW), reducing thermal losses by a factor of four due to the quadratic relationship between current and heat dissipation. Consequently, 800 V systems enable charging from 10 to 80% in 15–20 minutes compared to 30–40 minutes for 400 V systems, though they demand more advanced components and expanded charging infrastructure. The industry trend points clearly toward 900 V and higher voltage platforms.

