



Mico Hämäläinen

# Mitä kuluttajan olisi hyvä tietää sähköautoista? – Sähköauton ostajan opas tekniikan näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

29.4.2025

# Tiivistelmä

Tekijä:	Mico Hämäläinen
Otsikko:	Mitä kuluttajan olisi hyvä tietää sähköautoista? – Sähköauton ostajan opas tekniikan näkökulmasta
Sivumäärä:	49 sivua
Aika:	29.4.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Autosähkötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Sanna Heikkinen

---

Tämän insinööriyön tavoitteena oli laatia kuluttajalle selkeä ja kattava opas sähköautoista ja niiden teknologiasta. Oppaan tarkoituksena on tarjota luotettavaa tietoa, joka tukee kuluttajaa tämän mahdollisessa ostopäätöksessä. Käsiteltävät aihealueet valittiin työn tutkimuskysymysten pohjalta, ja sisältö syventyy sähköautojen teknisiin rakenteisiin ja järjestelmiin. Työssä vertaillaan sähkö- ja polttomoottoriautojen keskeisiä eroja sekä tuodaan esiin sähköauton kannalta oleellisia teknisiä kokonaisuuksia käytännönläheisesti.

Tämä insinööriyö toteutettiin konstruktiiivisena tutkimuksena, jonka tutkimusmenetelmänä hyödynnettiin kirjallisuuskatsausta. Tietoa kerättiin ja vertailtiin useista eri lähteistä, joiden avulla rajattiin työn tutkimuskokonaisuus. Keskeinen lähdeaineisto koostuu alkuperäistutkimuksista, tieteellisistä artikkeleista sekä aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta. Työssä tarkastellaan vaiheittain sähköauton ja polttomoottoriauton teknisiä eroavaisuuksia sekä esitellään sähköauton toiminnan kannalta olennaisimmat rakenteet ja järjestelmät. Lisäksi teknisiä ratkaisuja verrataan käytännön tasolla esimerkkiauto Volkswagen ID.4:ään.

Tutkimuksen tuloksena syntyi opas, joka tarjoaa kuluttajalle hyödyllistä tietoa sähköautoista ja niiden teknologiasta, sekä tukee ostopäätöksen tekemisessä ja teknisen ymmärryksen syventämisessä. Oppaassa esitellään keskeiset tiedot sähköautoista, niiden komponenteista ja tärkeimmistä teknisistä ratkaisuista verraten niitä polttomoottorillisiin autoihin.

Avainsanat: sähköauto, sähkömoottori, ajoakku, korkeajänniteakku, akunhallintajärjestelmä, BMS

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Mico Hämäläinen  
Title: A buyer's guide to electric cars from a technical point of view – What the consumer should know about electric vehicles?  
Number of Pages: 49 pages  
Date: 29 April 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Automotive Engineering  
Professional Major: Automotive Electronics Engineering  
Supervisor: Sanna Heikkinen, Lecturer

---

The objective of this bachelor's thesis was to create a clear and comprehensive guide for consumers about electric cars and their technology. The purpose of the guide is to provide reliable information to support consumers in their potential purchasing decisions. The topics were chosen based on the research questions of the study, and the content delves into the technical structures and systems of electric cars. The thesis compares the key differences between electric and internal combustion engine vehicles and highlights essential technical aspects of electric cars in a practical manner.

This bachelor's thesis was carried out as constructive research, utilizing a literature review as the research method. Information was collected and compared from various sources to define the scope of the study. The key source material consists of original research studies, scientific articles, and literature related to the topic. The thesis examines step-by-step the technical differences between electric and internal combustion engine vehicles and presents the most essential structures and systems for the functioning of an electric car. In addition, technical solutions are compared on a practical level using the example car, Volkswagen ID.4.

As a result of the research, a guide was created to provide consumers with useful information about electric cars and their technology, while also supporting decision-making in purchases and deepening technical understanding. The guide presents key information about electric cars, their components, and the most important technical solutions, comparing them to internal combustion engine vehicles.

Keywords: electric vehicle, electric motor, traction battery, high-voltage battery, battery management system, BMS

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen taustaa	1
1.2	Tutkimusasetelma ja metodologiset valinnat	2
2	Sähköauton erot polttomoottoriautoon	3
2.1	Moottori	3
2.2	Voimanlähde ja energiankulutus	4
2.3	Lataaminen	5
2.3.1	Latausstandardeja ja tapoja	6
2.3.2	Plug & Charge	9
2.3.3	Vaihtovirralla peruslataaminen vs. tasavirralla pikalataus	10
2.4	Huoltaminen, korjaukset ja katsastus	11
3	Sähköauton tärkeimmät tekniset rakenteet ja järjestelmät	13
3.1	Ajoakku	13
3.2	Sähkömoottori	19
3.3	Latausjärjestelmä ja OBC	19
3.4	DC-DC-muunnin	22
3.5	Ohjausyksiköt ECU ja VCU	24
3.6	Akunhallintajärjestelmä BMS	24
3.6.1	Akun varaustila eli State of Charge SoC	25
3.6.2	Akun kunto-tila eli State of Health SoH	26
3.7	Korkeajänniteakun lämmönvaihto ja jäähdytys	27
3.8	Lämmitys, PTC-vastus ja lämpöpumput	28
4	Esimerkkiauto Volkswagen ID.4	29
5	Insinööriyön toteutus ja tulokset	33
5.1	Tutkimusote ja tutkimusmenetelmä	33
5.2	Tutkimusprosessin kuvaus	34
5.3	Tulokset	35
5.4	Luotettavuuden arviointi	39

6 Yhteenveto

42

Lähteet

45

## Lyhenteet

AC	<i>Alternating Current.</i> Vaihtovirta.
BMS	<i>Battery Management System.</i> Akunvalvontajärjestelmä. Tehtävänä valvoa akuston toimintaa, kennojen jännitteitä ja lämpötilaa sekä tasata kennojen sähkövarausta.
CCS	<i>Combined Charging System.</i> Sähköajoneuvon pikalatauspistoketyyppi ja -standardi.
DC	<i>Direct Current.</i> Tasavirta.
ECU	<i>Electronic Control Unit.</i> Elektroninen ohjausyksikkö.
ICE	<i>Internal Combustion Engine.</i> Polttomoottori.
LFP	Litiumrautafosfaatti
LMO	Litiummangaanioksidi
LTO	Litiumtitaanioksidi
NCA	Litiumnikkelikobolttialumiinioksidi
NMC	Litiumnikkelimangaanikobolttioksidi
OBC	<i>On-Board Charger.</i> Vastaa sähköauton korkeajänniteakun lataamisesta. Muuttaa autoon ladattavan vaihtovirran tasavirraksi.
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient.</i> Termistori, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa.

- SoH *State of Health*. Akun todellinen kuntotila verrattuna ideaaliseen kuntotilaan.
- SoC *State of Charge*. Akun varaustila.
- V2G *Vehicle-to-Grid*. Sähköauto yhdistettynä sähköverkkoon.
- V2L *Vehicle-to-Load*. Sähköauto yhdistettynä sähköntuottajana ulkoiselle sähkölaitteelle.
- V2V *Vehicle-to-Vehicle*. Sähköauto yhdistettynä toiseen sähköautoon.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen taustaa

Sähköautojen määrä on ollut suuressa kasvussa viime vuosien aikana. Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2019 Suomen henkilöautokannasta sähköautoja oli alle 5 000 kappaletta. Vuonna 2024 sähköautojen määrä on jo yli 118 000 muodostaen noin 4,3 prosenttia koko Suomen henkilöautokannasta. (11ie - Autot käyttövoiman mukaan, 1990–2024.) Vaikka sähköautojen määrä on yli 20-kertaistunut, kuluttajien tieto sähköautojen ominaisuuksista saattaa silti olla pintapuolista, sillä helposti saatavilla oleva informaatio painottuu pääasiassa ostohintaan ja toimintasäteeseen. Lisäksi sähköautoiluun liittyy paljon myyttejä ja väärinkäsityksiä, ja laajemman teknisen tiedon etsiminen voi osoittautua kuluttajalle haasteelliseksi.

Tämän insinööriyön tavoitteena on toimia informatiivisena oppaana, joka kokoaa yhteen tiedon siitä, mitä kuluttajan olisi hyvä tietää sähköautoista. Aihetta lähestytään tarkastelemalla sähköautojen ja polttomoottorillisten autojen eroavaisuuksia ja syventyen sähköautojen teknisiin ratkaisuihin ja järjestelmiin. Huolellisesti laadittu opas pyrkii tukemaan kuluttajaa mahdollisen ostopäätöksen tekemisessä ja lisäämään aiheesta kiinnostuneiden tietoa sähköautoista, erityisesti teknillisestä näkökulmasta. Valmiin insinööriyön tarkoituksena on tarjota kuluttajalle ajankohtainen tietopaketti sähköautoilusta samalla palvelun tiedeyhteisön tutkimus- ja kehittämistarpeita.

Insinööriyö jakautuu teoreettiseen ja empiiriseen osioon. Teoriaosuudessa aiheeseen syvennytään kahdesta eri näkökulmasta. Luvussa 2 käsitellään sähköautoja, niiden erilaisia teknisiä ratkaisuja sekä sitä, miten sähköautot eroavat polttomoottorillisista autoista. Luvussa 3 perehdytään sähköautojen tärkeimpiin komponentteihin ja niiden toimintoihin. Luvussa 4 perehdytään esimerkkiauto Volkswagen ID.4:ään ja verrataan sen teknisiä ratkaisuja lukujen 2 ja 3 sisältöön perustuen saatavilla olevaan tietoon. Luku 5 käsittelee tämän insinööriyön

toteutusta ja tuloksia, esitellen oppaan laatimisessa hyödynnetyt tutkimusmenetelmät.

Sähköautolla tarkoitetaan tässä työssä täyssähköistä ajoneuvoa, jossa kaikki ajamiseen tarvittava energia varastoidaan autossa oleviin akkuihin. Sähköautot eroavat polttomoottoriautoista erityisesti energiavaraston ja moottorin osalta. Siinä missä polttomoottoriauto käyttää nestemäistä polttoainetta, sähköauto varastoi energian akkuihin, jotka koostuvat ladattavista kennoista. (Sähköautot.)

## 1.2 Tutkimusasetelma ja metodologiset valinnat

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli luoda tietokatsaus sähköautoista sekä niiden eroavaisuuksista polttomoottorillisiin autoihin kuluttajille sekä aiheesta kiinnostuneille. Oppaalla pyritään auttamaan mahdollisissa ostopäätöksissä sekä tuomaan enemmän tietoa sähköautoista ja niihin liittyvästä teknologiasta. Lisäksi oppaalla pyritään murtamaan mahdollisia väärinymmärryksiä tai myyttejä sähköauton käyttämisestä.

Tämän aiheen pohjalta päätutkimuskysymykseksi muodostui: *Mitä kuluttajan olisi hyvä tietää sähköautoista?* Päätutkimuskysymyksen asettelun ollessa hyvin laaja tarvittiin myös alatutkimuskysymyksiä insinööriyön aihealueen rajaamiseksi. Päätutkimuskysymystä täydentäen alatutkimuskysymyksiksi valikoituivat: *Miten sähköauto eroaa polttomoottoriautosta käytännön ja tekniikan näkökulmista?* sekä *Mitkä ovat sähköauton tärkeimmät tekniset rakenteet ja järjestelmät?*

Insinööriyön tutkimusotteena käytettiin konstruktivistista tutkimusta, jonka tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsauksen avulla pyrittiin yhdistelemään, vertailemaan ja analysoimaan olemassa olevaa teoriaa ja empiiristä tietoa, jonka pohjalta opas valmistui. Insinööriyön keskeisin lähdeaineisto muodostui alkuperäistutkimuksista, tieteellisistä artikkeleista sekä asiakokonaisuutta koskevasta kirjallisuudesta. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta muodostettu synteesi loi kattavan kokonaiskuvan sähköauton hankinnassa

huomioon otettavista käytännön ja tekniikan aspekteista, jonka perusteella opas laadittiin. Insinööriyön laatiminen edellytti kriittisesti toteutettua tiedonkeruuta.

## 2 Sähköauton erot polttomoottoriautoon

Tässä luvussa käsitellään suurimpia sähköauton ja perinteisen polttomoottorillisen auton eroavaisuuksia.

### 2.1 Moottori

Täyssähköisissä sähköajoneuvoissa on kaikissa käytössä perinteisen polttomoottorin sijaan sähkömoottori. Sähkömoottori voi olla sijoitettuna joko suoraan vetävän pyörän läheisyyteen tai erilliseen paikkaan, josta välitetään voima pyörälle vetoakselistolla. (How Do All-Electric Cars Work?)

Sähkömoottorin hyötysuhteeseen verrattessa polttomoottorilliset autot ovat erittäin tehottomia. Vain 20 % polttomoottorin käyttämästä energiasta hyödynnetään auton liikuttamiseen. Suurin osa energiasta menee hukkaan lämpöhäviönä. Muita häviöitä tuottavat voimansiirrossa mekaaninen kitka, moottoria jäähdyttävien pumppujen ja tuulettimien energiankulutus sekä auton sähköjärjestelmä. Koska sähkömoottorilla ei ole vastaavia häviöitä yhtä suuressa mittakaavassa, saadaan hyötysuhteeksi 87–91 %, muun muassa jarrutusenergian talteenoton toisin sanoen rekuperaation avulla. (Cohen 2023.)

Polttomoottoriin verrattuna sähkömoottorilla on myös suuri etu kiihtyvyydessä välittömän väännön muodostumisen ansiosta. Toisin kuin polttomoottorillisen, sähköauton ei tarvitse odottaa tiettyä kierrosaluetta vääntääkseen parhaiten vaan kaikki vääntö on käytössä kaikilla sähkömoottorin kierrosalueilla. Näin saadaan kiihdyttämisestä myös sulavampaa. (How does the motor of an electric car work? 2023.)

## 2.2 Voimanlähde ja energiankulutus

Sähköautossa on moottorin voimanlähteenä ajoakku, jota on ladattava sähköautoille suunnitellusta kiinteästä latausasemasta tai kannettavalla latauslaitteella, joka kytketään joko voimavirta- tai sukopistorasiaan. Kuitenkin ajoneuvon mukana tullut kannettava sukopistorasiaan kytkettävä latauslaite on saanut paljon negatiivista palautetta palo- ja tuoteturvallisuudesta vastaavilta tahoilta. Mikäli tämänlaista kannettavaa latauslaitetta käytetään, on latausteho laskettava 8 ampeerin kohdalle, sillä kotitalouspistorasia ei kestä jatkuvaa 16 ampeerin kuormitusta. (Ikonen 2024a.)

Korkeajännitteisen ajoakun lisäksi sähköautoissa on oltava myös polttomoottorillisista autoista löytyvä matalajännitteisempi 12 voltin akku, joka käyttää matalajännitepuolen komponentteja (How Do All-Electric Cars Work?). Näihin lukeutuvat esimerkiksi auton informaatio- ja viihdetekniikka, valaistus sekä sähköautoissa ajoakunhallintajärjestelmä, eli BMS. Matalajännitepuoli ottaa latausta vastaan ajoakulta DC-DC-muuntajan kautta. (How Do All-Electric Cars Work?)

Sähköautot ovat merkittävästi energiatehokkaampia kuin polttomoottoriautot eivätkä päästä pakokaasuja. Ne kuluttavat yleensä energiaa 15–25 kWh/100 km, mutta kulutus vaihtelee suuresti sääolosuhteiden mukaan. Kylmällä säällä kulutus voi nousta yli 35 kWh/100 km. Vertailun vuoksi dieselauto, jonka keskimuutos on 5 l/100 km, kuluttaa noin 50 kWh/100 km ja bensiiniauto 7 l/100 km keskimuutoksella noin 63 kWh/100 km energiaa. (Sähköautot.)

Toimintasäteessä polttomoottoriautot ovat kuitenkin yhä edellä. Dieselautolla 50 litran tankilla pääsee noin 1 000 km ja bensiiniautolla noin 600 km. Tämä johtuu siitä, että polttoaineen energiatiheys on huomattavasti suurempi kuin litiumioniakkujen: dieselillä noin 12 kWh/kg, kun taas akuilla vain noin 0,1 kWh/kg. Tämän vuoksi sähköauton 1 000 km toimintasäde voisi vaatia noin tonnin painoisen akun. Akkujen energiatiheys on kuitenkin kehittynyt nopeasti ja kehitys jatkuu, mikä parantaa sähköautojen toimintasädettä tulevaisuudessa. (Sähköautot.)

## 2.3 Lataaminen

Nykyaikaista sähköautoa voidaan ladata sekä vaihtovirralla että tasavirralla. Vaihtovirtalataus on niin sanottua normaalia latausta, kun taas tasavirtalataus on niin sanottua pikalatausta. Suurin kuluttajalle näkyvä ero lataustapojen välillä on latauksen kesto, vaikkakin eroja on paljon enemmän. Niitä käsitellään myöhemmissä kappaleissa sekä luvuissa 2.3.1 ja 2.3.3. Vaihtovirralla ladataessa akku voidaan ladata tyhjästä täyteen 5–8 tunnissa riippuen akustosta ja laturista, siinä missä joissakin toteutuksissa voidaan tasavirralla pikalatauksella saavuttaa akun täysi lataus jopa alle tunnissa. (What Is an On-Board Charger (OBC) Incorporated in Electric Vehicles? – AC/DC Conversion System That Allows Faster Battery Charging and is Highly Efficient – 2023.) Tämän vuoksi pikalatureita nähdäänkin enemmän huoltoasemilla sekä kauppojen pihoilla, missä vietetään vähemmän aikaa kuin esimerkiksi työpaikoilla, joissa vaihtovirralla toimivat latausasemat ovat yleisempiä (AC vs DC Charging: 7 Fundamental Differences 2022).

Auton vastaanottama latausteho riippuu sekä siihen kytketyn ulkoisen latauslaitteen tehosta että myös autossa itsessään asennettuna olevasta latauslaitteesta. Esimerkkinä, jos ladattava auto kytketään 22 kW vaihtovirtalatausasemaan, mutta autossa oleva sisäinen laturi pystyy ottamaan vastaan vain 11 kW tehoja, lataa tällöin laturi akkua vain 11 kW teholla. (Kummunmäki 2024.) Tämä sama sääntö pätee myös tasavirtalatauksessa. Suuritehoisempikin laturi antaa ladata akkua vain auton ohjelmiston määrittämän lataustehon mukaisesti. Lataustehoon vaikuttavat myös lämpötila, akun varaustaso sekä akun ikääntyminen. (Witt 2024.)

Autoa voidaan ladata myös kotona vaihtovirralla autoon soveltuvalla johdolla 230 V verkosta erikseen sähköauton lataukseen varatusta pistorasiasta, jolloin virta on myös pieni, tai erillisestä asennetusta kotilatausasemasta voimavirralla. Kotilatureita on saatavilla kiinteänä asennuksena kolmivaiheisena voimavirralla 22 kW ja 11 kW tehoilla sekä yksivaiheisina 3,7 kW teholla niin sanotulla superchuko-kytkennällä. Tämän lisäksi on saatavilla myös tavalliseen pistorasiaan

kytkettävää pienemmän tehon laturia, joka on yleensä tarkoitettu vain tilapäiseen lataamiseen turvallisuussyistä. (Kummunmäki 2024.)

### 2.3.1 Latausstandardeja ja tapoja

Sähkötekniikan alan kansallisen standardointijärjestön Seskon suosituksen SK 69-1:2023 mukaan sähköajoneuvoille on neljä, joista sähköautoille on olemassa pääosin kolme, eri latausstandardia ja tapaa. Nämä ovat kevytlataus eli Mode 1, hidaslataus eli Mode 2, peruslataus eli Mode 3 ja tehollataus, joka kuuluu lataustapaan 4 eli Mode 4. Lataustapaa 1 eli kevytlatausta käytetään lähinnä pientehoisiin sähköajoneuvoihin, kuten sähköskoottereihin. Sähköautolle ensisijaisena latausvaihtoehtona on lataustapa 3 eli peruslataus tyyppin 2 Mennekes-pistorasiasta. (Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023.) Tehollataukselle on olemassa kaksi standardia, CCS ja CHAdeMo, joista ensimmäinen on muodostunut käytetyimmäksi standardiksi ajoneuvojen valmistajien kanssa. Jälkimmäistä löytyy enimmäkseen vain japanilaisista sähköautoista sekä plug-in-hybrideistä. (Ikonen 2024b.)

Lataustavassa 2 eli hidaslatauksessa sähköajoneuvoa ladataan yksivaiheisella vaihtosähköllä SFS 5610-standardin mukaisesta kotitalouspistorasiasta, joka sijaitsee ajoneuvon läheisyydessä, esimerkiksi auton lämmityspistorasiakotelosta. Kansainvälisen sähköalan standardointijärjestön IEC:n määrittelemänä hidaslataus tarkoittaa sähköauton lataamista pistorasiasta, joka ei ole erikseen tarkoitettu sähköautojen lataukseen. (Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023.) Lataustapa 2 vaatii kannettavan latauslaitteen käyttöä, ja näistä käytetään myös nimityksiä ”sukolaturi”, ”matkalaturi” tai ”mobiililaturi”. Näissä latauslaitteissa toinen pää asetetaan 230 voltin pistorasiaan ja toinen pää autoon. Nämä latauslaitteet on kuitenkin tarkoitettu vain tilapäiseen lataukseen, sillä virranrajoituksen puuttuessa voi aiheutua tulipalovaara. (Ikonen 2024a.)

Kotitalouspistorasian käyttöön liittyy rajoituksia. Pistorasiat on usein suojattu 10 A -sulakkeella tai johdonsuojakatkaisijalla. Käytännön kokemus on osoittanut, että vaikka käytössä olisi 16 ampeerin sulake, kotitalouspistorasia ei kestä

jatkuvaa 16 A -virtaa, erityisesti, jos pistorasia on ollut pitkään käytössä. Markkinoilla on olemassa kuitenkin myös 16 ampeeria kuormaa kestäviä erityisiä pistorasioita, mutta niitä käyttääkseen pitää varmistaa verkon soveltuvuus jatkuvalle 16 ampeerin kuormalle. Vaihtoehtoisesti hidaslatausta voidaan suorittaa myös teollisuuspistorasiasta, kuten kolmivaiheisesta niin sanotusta voimavirtapistorasiasta tai yksivaiheisesta niin sanotusta karavaanaripistorasiasta, joita voidaan kuormittaa pidempiä aikoja, yleensä 16 A -sulakkeella, kuin tavallista kotitalouspistorasiaa. (Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023.)

Peruslatauksessa eli lataustavassa 3 sähköajoneuvoa ladataan vaihtovirralla kuvassa 1 olevassa sähköajoneuvoon sopivalla latausjohdolla, joka liitetään erityiseen SFS-EN 62196-2 -standardin mukaiseen tyyppiin 2 sähköautopistorasiaan. Tämä latausjohto voi olla erillinen tai osa kiinteää latausasemaa. Latausvirta voi olla kolmivaiheella jopa 3x63 A, jolloin maksimilatausteho on 43 kW. Käytettävän sähkötehon mukaan pistokytkeitä voidaan käyttää myös pienemmillä virroilla. Latausprosessin aikana pistokytkimet lukittuvat mekaanisesti tai sähköisesti paikoilleen. Latausjärjestelmässä on tiedonsiirtoväylä, joka varmistaa ajoneuvon oikean ja turvallisen kytkennän latauspisteeseen. Tämän väylän avulla voidaan myös ohjata kuormitusta ja säätää autolle tulevan virran syöttöä. (Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023.)



Kuva 1. Type 2 -latausjohto peruslataukseen (Hadhuey 2015).

Lataustavassa 4 autoon syötetään kiinteässä latauspisteessä muunnettua tasavirtaa suoraan akkuun, jolloin virta ei kulje autossa olevan sisäisen laturin kautta. Lataustavalla voidaan saavuttaa tietyillä latausasemilla satojen kilowattien latausteho, mikäli ladattava akusto pystyy vastaanottamaan tätä. Latausjohto on osa latausasemaa, ja sen ajoneuvopistoke on standardin SFS-EN 62196-3 mukainen, joko FF eli CCS eli *Combined Charging System*, joka näkyy kuvassa 2 tai AA eli CHAdeMO, joka on kuvassa 3. Nykyisten teholatureiden autoon syöttämät tasavirrat voivat olla satoja ampeereita, ja lataustehot vaihtelevat tyypillisesti 50 kW:sta useisiin satoihin kilowatteihin. Vaikka lataustapa 4 usein liitetään teholataukseen, markkinoilla on myös latureita, joiden teho on alle 50 kW, esimerkiksi kaksisuuntaisen latauksen sovelluksissa. (Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023.) Kaksisuuntaista latausta käsitellään lisää luvussa 3.3.



Kuva 2. CCS-latausjohto (Ikonen 2024b).



Kuva 3. CHAdeMo-latausjohto (Ikonen 2024b).

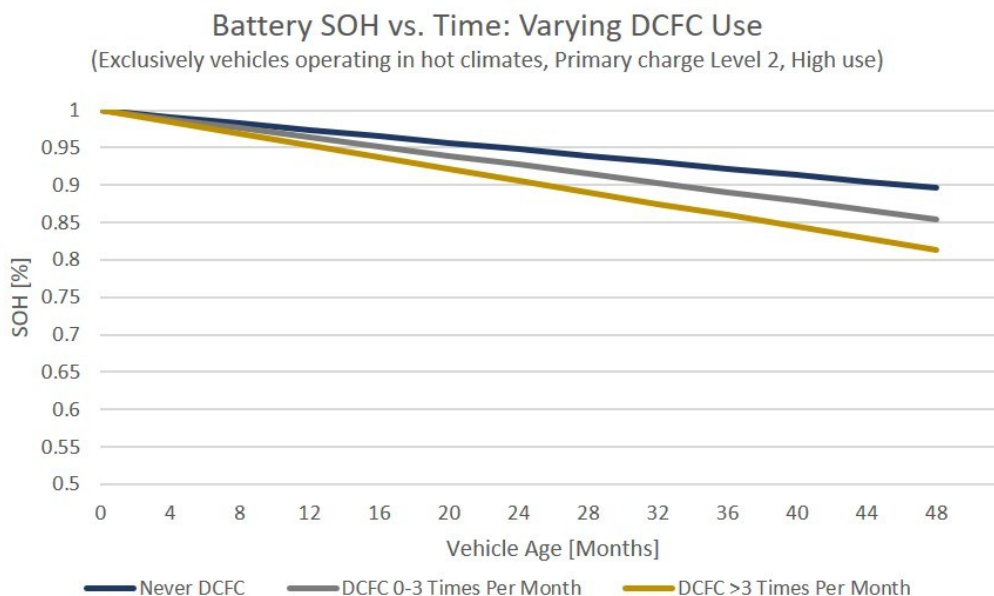
### 2.3.2 Plug & Charge

Plug & Charge, eli kytke ja lataa, on teknologia, joka mahdollistaa sähköauton lataamisen latausasemalla ilman erillistä tunnistautumista RFID-tunnisteella, latauskortilla tai sovelluksella. Toiminnon käyttäminen vaatii yleensä latausaseman toimittajan kanssa tehdyn lataussopimuksen. Plug & Charge toimii ISO15118-standardin avulla, joka mahdollistaa tietoturvallisen yhteyden auton ja latausverkon välillä. Käytännössä latausprosessi menee seuraavasti: Auto kytketään latauslaitteeseen, joka tunnistaa ajoneuvon ja sen asiakastilin. Tunnistus tapahtuu automaattisesti, ja lataus alkaa muutamassa sekunnissa. (ISO15118 Plug&Charge: Tunnistaudu latausjohdolla 2018.)

### 2.3.3 Vaihtovirralla peruslataaminen vs. tasavirralla pikalataus

Vaihtovirralla ladatessa lataus tapahtuu joko kotitalouksien latauslaitteilla tai julkisilla latauspisteillä. Yleensä ajoakun täyteen lataaminen kestää kolmivaiheisella peruslatauksella noin kahdeksan tuntia. Tällöin auton sisäänrakennettu laturi eli OBC muuntaa vaihtovirran akulle sopivaksi tasavirraksi. Pikalataus tarkoittaa akun nopeaa lataamista lyhyessä ajassa. Pikalatauksessa latausasema syöttää suoraan akkuun sen jännitteeseen sopivaa tasavirtaa suurella teholla. Tällä tavalla akku saadaan ladattua nopeasti. Pikalataus kestää yleensä noin 30 minuutista tuntiin riippuen esimerkiksi akun koosta. Näitä latureita löytyy usein esimerkiksi moottoriteiden levähdysalueilta ja kauppakesuksista. (What Is an On-Board Charger (OBC) Incorporated in Electric Vehicles? – AC/DC Conversion System That Allows Faster Battery Charging and is Highly Efficient – 2023.)

Vaihtovirralla lataaminen mielletään usein auton akustolle paremmaksi vaihtoehdoksi, sillä jatkuvan pikalataamisen on todettu aiheuttavan akustolle ennenaikaista kulumista ja täyden latauskapasiteetin sekä SoH:n eli akun todellisen kuntotilan huonontumista. Siksi autojen valmistajatkin ovat suositelleet, ettei pikalatausta käytettäisi jatkuvasti. Geotabin suorittaman tutkimuksen mukaan autot, joita oli ladattu kahden vuoden ajan vähintään kolme kertaa kuussa pikalatauksella, olivat menettäneet 10 % enemmän akun kokonaiskapasiteetista (SoH) verrattuna autoihin, joita oli ladattu vain vaihtovirralla. Tutkimus oli toteutettu lämpimässä ilmastossa ja vaihtovirralla käytetty 240 voltin latausta. Kuvasta 4 voidaan todeta, miten autojen akkujen SoH muuttuu auton vanhetessa. Sinisellä viivalla autoa ei ladattu koskaan DC-latauksella. Harmaa viiva kuvaa latausta 0–3 kertaa kuussa ja keltainen viiva enemmän kuin kolme kertaa kuussa. (Argue 2025.)



Kuva 4. Kaavio akun kuntotilan heikkenemisestä auton ikääntyessä (Argue 2025).

## 2.4 Huoltaminen, korjaukset ja katsastus

Sähköautot tarvitsevat polttomoottorillisiin verratessa vähemmän huoltoa, sillä huollettavia kohteita on sähköautoissa vähemmän. Sähköautoon ei tarvitse tehdä samanlaisia huoltoja, jotka ovat taas välttämättömiä ICE:n eli polttomoottorillisen auton toiminnan varmistamiseksi. Näistä mainittakoon esimerkiksi moottorin sekä vaihteiston öljyhuollot sekä ilman- ja polttoainesuodattimien vaihdot. Yleisimmät sähköauton huoltotoimenpiteet ovat auton toiminnan kannalta määräaikaishuollossa kuntotarkastukset, jarrunesteiden vaihto sekä raitisilmasuodattimen vaihdot. (Sähköauton huolto ja katsastus.)

Sähköautoissa on useissa toteutuksissa korkeajänniteakustolla sekä sähkömoottorilla toteutettu jäähdytys nestemäisesti, jolloin sähköautossa käytetään jäähdytysnestettä. Komponenttien rikkoutumisen ehkäisemiseksi on tärkeää varmistaa tämän jäähdytysjärjestelmän toiminta sekä havaita mahdolliset korjaustarpeet mahdollisimman ajoissa. (Sähköauton huolto ja katsastus.)

Sähköautolla jarruttaessa tapahtuu suurin hidastaminen sähkömoottorin regeneroivan energiatalteenottojärjestelmän kautta, jolloin itse auton käyttöjarruja käytetään vähän. Tämä säästää auton jarrujen kulutusta, mutta jarrujen vähäinen käyttö voi aiheuttaa esim. jarrulevyjen ruostumista sekä jarrujen jumiutumista. (Sähköauton huolto - Tärkeimmät huoltokohteet.)

Kun kuluvia osia on vähemmän, on myös huoltaminen paljon halvempaa kuluttajalle. Consumer Reportsin teettämän tutkimuksen mukaan sähköauton huoltaminen maksaa auton elinkaaren aikana huomattavasti vähemmän kuin vertailukelpoisen polttomoottorillisen auton. Tutkimuksessa kerrotaan kuluttajan voivan säästää noin 4 600 Yhdysvaltain dollaria sähköauton eliniän aikana verrattuna ICE:en. (Harto 2020: 9–11.)

Sähköauton katsastus on yleensä polttomoottoriautoa edullisempaa, koska päästömittausta ei tarvita. Katsastuksessa tarkastetaan myös silmämääräisesti akun ja korkeajännitejärjestelmän kunto, erityisesti akun kotelo. Koska akku sijaitsee usein auton pohjassa, mahdolliset vauriot nähdään parhaiten auton alta. Akun herkkyyden vuoksi kotelon ehjyys on erittäin tärkeää, ja sen kuntoa arvioidaan yleensä myös huollon yhteydessä. (Sähköauton huolto ja katsastus.)

Sähköautojen määräaikaiskatsastukset ovat yleistyneet nopeasti ajoneuvokannan kasvun myötä. Vuonna 2023 katsastettiin yli kaksinkertainen määrä sähköautoja verrattuna vuoteen 2022. Samalla hylkäysprosentti nousi 11,7 prosentista 18,4 prosenttiin. Nelivuotiaista sähköautoista hylättiin 16,8 %. Yleisimmät syyt hylkäykseen olivat tukivarsien ja laakereiden välyksellisyys sekä laittomat ikkunatummennukset. Raskas akusto lisää auton kokonaispainoa, mikä kuormittaa erityisesti alustarakenteita ja selittää osaltaan tukivarsiviat. (Uudistetut Trafficomin katsastuksen vikatilastot julkaistu - miltei joka viides sähköauto hylättiin 2024.)

### 3 Sähköauton tärkeimmät tekniset rakenteet ja järjestelmät

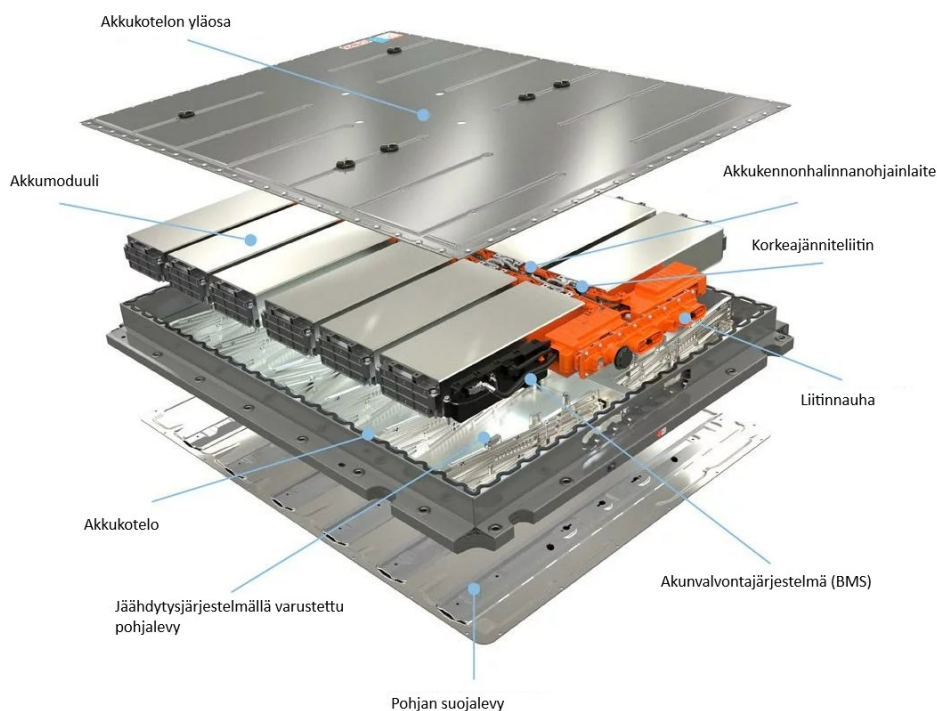
Sähköautoissa on useita tärkeitä komponentteja eli rakenneosia, jotka takaavat sähköauton toiminnan. Tässä luvussa käsitellään tärkeimpiä rakenneosia ja niiden toimintoja laajemmin.

#### 3.1 Ajoakku

Sähköauton ajoakku voidaan mieltää samanlaiseksi kuin polttomoottorillisessa autossa polttoainetankki. Akkuun pakataan energiaa sähköisessä muodossa siinä missä polttomoottorilliseen autoon varastoidaan energiaa nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa polttoaineena. Kun sähköautolla ajetaan, puretaan ajoakusta energiaa sähkömoottoriin, aivan kuin polttomoottoriin syötettäisiin tankista polttoainetta.

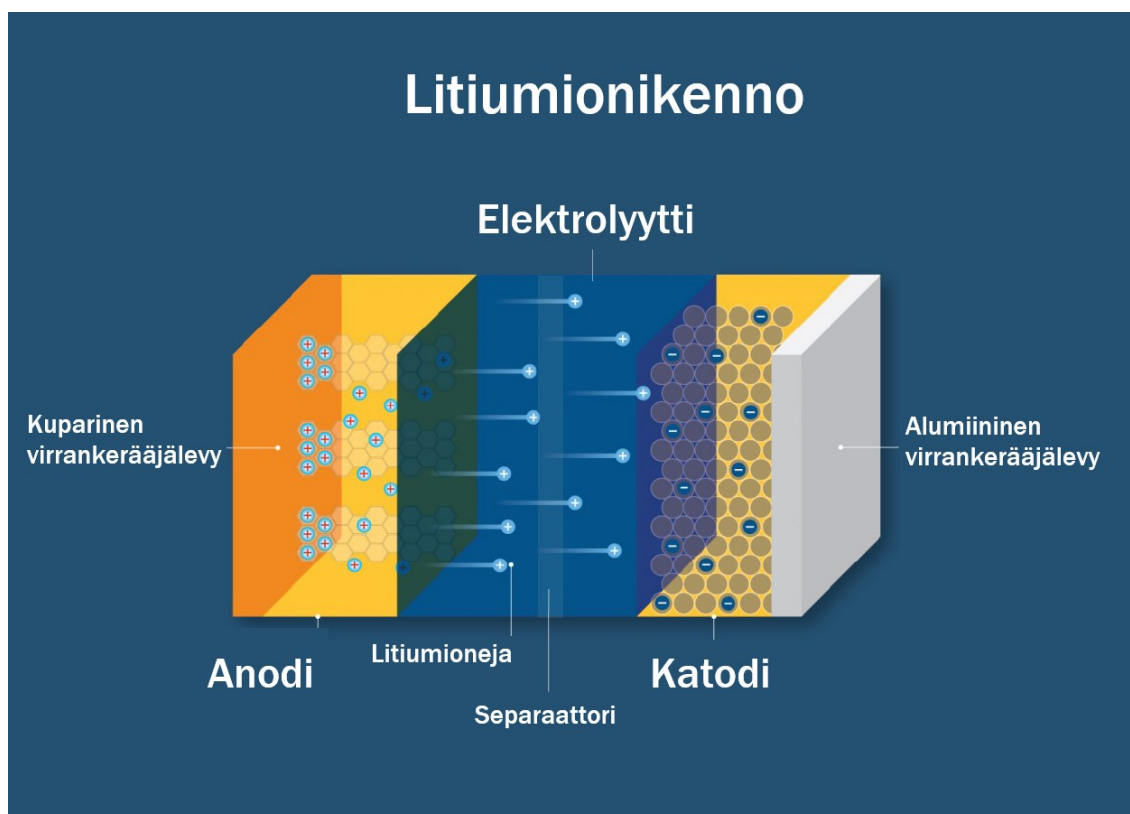
Sähköauton akun tulee täyttää monia vaatimuksia: sen on kestävä mekaanista rasitusta, ääriämpötiloja ja toistuvia lataus- ja purkusyklejä, oltava kevyt, kompakti, tehokas ja turvallinen sekä edullinen ja ympäristöystävällinen. Lisäksi sen tulee säilyttää nämä ominaisuudet luotettavasti kymmenien vuosien ajan. Yhdenkin ominaisuuden puuttuminen voi tehdä akun sopimattomaksi ajoneuvo-käyttöön. (Linja-aho 2023.)

Korkeajänniteakkutoteutuksia on monia, mutta sähköautoissa on käytössä lähes poikkeuksetta litiumioniakut, jotka muodostuvat yleensä akkumoduuleista, eli rakenneosista, joissa taas on tietty määrä litiumakkukennoja. Akkukenno on ajoakun pienin yksittäinen rakenneosa, joka varastoi ja vapauttaa energiaa. Esimerkkikuvassa 5 nähdään havainnointi Volkswagen ID -automallin ajoakusta, jossa 24 akkukennoa muodostaa yhden akkumoduulin ja 12 moduulia valmiin akkupaketin. (Kokkonen 2019.)

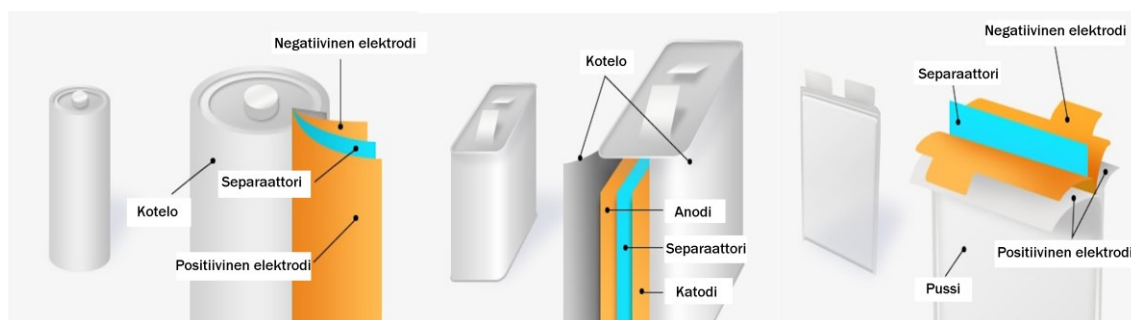


Kuva 5 Havainnekuva erään Volkswagen ID -mallin ajoakusta (mukaillen Volkswagen Kuvituskuvat: Moottorin arkisto).

Tyypillinen litiumionikemno tuottaa noin 3,7 voltin jännitteen, joka vaihtelee varustilan mukaan 3–4 voltin välillä. Kennoja yhdistetään sarjaan jännitteen kasvattamiseksi ja rinnan virranantokyvyn parantamiseksi, ja niistä muodostetaan moduuleita, jotka kootaan autossa käytettäväksi akuksi. Litiumionikennoissa on kerroksittain positiivielektrodi katodi, joka muodostuu litiummetallioksidista alumiinisella virrankerääjälevyllä, negatiivielektrodi anodi, joka on yleensä grafiittia kuparisella virrankerääjälevyllä, välissä muovikalvoinen separaattori ja elektrolyytti. Rakenne pakataan eri muotoisiksi kennoiksi, kuten sylinteri-, pussi- tai prismaattisiksi kennoiksi. (Linja-aho 2023.) Havainnekuvasssa 6 nähdään kat-saus litiumionikemnon rakenteesta sekä kuvassa 7 erilaisia kennotyyppettä, joista vasemmalla on sylinterikemno, keskellä prismaattinen kemno ja oikealla pussikemno.



Kuva 6. Havainnekuva erään litiumioniakkukennon rakenteesta (Mukaillen What Are Lithium-Ion Batteries? 2021).



Kuva 7. Erilaiset akkukennotyypit. (Mukaillen Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells.)

Sylinterimuotoiset kennot kestävät muita kennoja paremmin lataus- ja purkusykliä, mutta omaavat heikomman kapasiteetin painoon nähden verrattuna muihin kennoihin. Koska sylinterikennot ovat nimensä mukaisesti sylinterinmuotoisia, on myös akkumoduulin suunnittelu hankalampaa sylinterin jättämien rakojen vuoksi. Taulukosta 1 voidaan havaita, miten sylinterikennot ovat myös

painavampia kuin muut kennotyypit, mikä ajoneuvokäytössä vaikuttaa sähköauton suorituskykyyn heikentävästi. Sylinterikennoja käyttää aktiivisesti omissa automalleissaan Tesla. (Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells.)

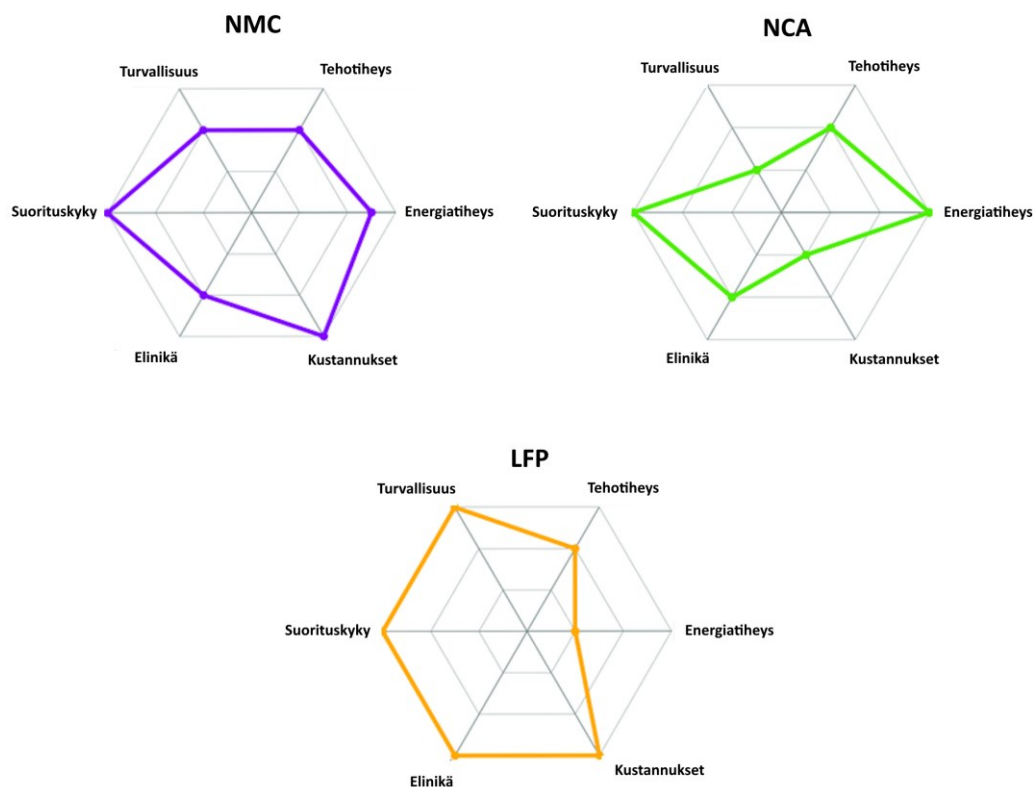
Prismaattiset kennot on sylinterikennoihin verrattuna helpompi pakata akkumuodulleiksi niiden yksinkertaisen muodon ansiosta. Taulukosta 1 huomataan prismaattisen kennon parempi kapasiteetti painoon nähden, mutta myös heikompi elinikä. Pussikennot on nimensä mukaisesti pakattu pehmeisiin polymeeripinoitettuihin alumiinipusseihin ja ovat kevyin vaihtoehto kennotyypeistä. Pussikennot tarjoavat saman verran purku- ja lataussyklejä elinikänsä aikana kuin prismaattiset kennot, mutta ovat huomattavasti riskialttiimpia ylikuumentumiselle ja sitä myötä akkupaloille. (Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells.)

Taulukko 1. Akkukennotyyppien ominaisuuksien vertailua (Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells).

	Sylinterimäinen	Prismaattinen	Pussi
<b>Kapasiteetti</b>	2300–26000 mAh (koon mukaan)	20000–30000 mAh	2300–26000 mAh (koon mukaan)
<b>Elinikä</b>	25000 sykliä	2000 sykliä	2000 sykliä
<b>Koko</b>	Keskikokoinen	Iso	Pieni
<b>Kustannus</b>	Pieni	Keskinkertainen	Suuri
<b>Ylikuumenemisriski</b>	Pieni	Keskinkertainen	Iso
<b>Keksintövuosi</b>	1880-luvulla	1960-luvulla	1970-luvulla
<b>Kennojen välissä raot</b>	Kyllä	Ei	Ei
<b>Paino</b>	Painava	Keskipainoinen	Kevyt
<b>Kemiallinen koostumus ja rakenne</b>	Litiumioni Alumiini- tai teräskotelo	Litiumioni Alumiini- tai teräskotelo	Litiumioni Polymeeripinnoitettu alumiinifolio
<b>Käytössä autonvalmistajilla</b>	Tesla	BMW, Volkswagen	General Motors (Stellantis)

Litiumioniakkukemioita on erilaisia, joista nykyään sähköautoissa käytetyimpiä ovat NMC:tä, eli litiumnikkelimangaanikobolttioksidia ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ), sekä NCA:ta, eli litiumnikkelikobolttialumiinioksidia ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ), katodina käyttävät akkukemiat. NCA on kalliimpi toteuttaa tarvittavan suuremman koboltin määrän vuoksi, sekä on myös herkempi akkupaloille. Kuitenkin NCA on energiatehokkaampi ratkaisu kuin NMC. (AutoZine technical School - Electric Cars.)

Muut akkukemiat, kuten LTO eli litiumtitaanioksidi, LMO eli litiummangaanioksidi, sekä LFP eli litiumrautafosfaatti, ovat myös käytössä eräissä sähköajoneuvoissa. Muiden akkukemioiden jäädessä kehityksen osalta taka-alalle, LFP:tä kehitetään yhä aktiivisesti ajoneuvokäyttöön (Möller ym. 2024). Kuvassa 8 on merkittynä erilaisten litiumioniakkukemioiden ominaisuuksia, josta voidaan todeta LFP:n hyvä potentiaali kestoikässä, turvallisuudessa, tehokkuudessa sekä halvassa hinnassa, mutta NCA:han sekä NMC:hen verratessa LFP tarjoaa huomattavan energiakapasiteetin.



Kuva 8. Akkukemioiden vertailua (Mukaiillen Saldaña ym. 2019).

## 3.2 Sähkömoottori

Sähkömoottori on sähköauton sydän, joka liikuttaa sähköautoa. Sähkömoottori saa energiansa ajoakulta. Sähkömoottori voi olla sijoitettuna samanlaiseen sijaintiin kuin polttomoottori, eli niin sanottuun konetilaan, vetävään akseliin tai vetävän pyörän läheisyyteen. (How Do All-Electric Cars Work?)

Sähkömoottoreissa on kaksi pääkomponenttia, jotka ovat roottori ja staattori. Staattori on nimensä mukaan *staattinen*, eli pysyy paikallaan rakenteessa, jossa roottori suorittaa akselillaan pyörimisliikettä eli *rotaatiota*. Toiminta perustuu sähkömagnetismiin, jota voidaan kytkeä päälle ja pois, mikä taas liikuttaa roottoria. Magneettikenttä voidaan saada aikaiseksi joko staattorissa tai roottorissa. Vastaparina käytetään joko kestopagneettia tai toista sähkömagneettia. Yleisimpiä sähkömoottorityyppejä ovat tasavirtamoottorit sekä tahtimoottorit eli *synkronimoottorit*. (Sähkömoottorityypit.)

Sähköauton moottorin ohjaus on kriittinen moottorin kiihdytys- ja jarrutusmomentin säätämiseksi nopeasti ja sujuvasti. Moottoria ohjataan usein taajuusmuuttajalla, joka muuttaa akun tasavirran sopivaksi tasa- tai vaihtovirraksi, moottorityypin mukaan. Sähkömoottori toimii myös generaattorina jarrutuslaitteissa, jolloin ne hidastavat autoa ja tuottavat samalla sähköenergiaa. (Sähkömoottorityypit.)

Moottorin mitoituksessa huomioidaan jatkuva nimellismomentti, vaikka moottori kestää hetkellisesti suurempaa kuormitusta. Rajoittavina tekijöinä ovat maksimimomentti ja lämmönsietokyky, johon vaikuttaa moottorin jäähdytysratkaisu. Ilmajäähdytys on yksinkertainen, mutta vähemmän tehokas alhaisilla kierrosnopeuksilla verrattuna nestejäähdytykseen. (Sähkömoottorityypit.)

## 3.3 Latausjärjestelmä ja OBC

OBC eli *On-Board Charger* on sähköauton sisäänrakennettu laturi, joka vastaa sähköauton ajoakun latauksesta vaihtovirralla. OBC muuttaa akulle

verkkovirrasta ladattavan jännitteen oikeaksi sekä vaihtovirran tasavirraksi, eli on täten *invertteri*. OBC:n käyttöjännite riippuu latausasemasta, yleensä 200–400 V ja latausteho vaihtelee 3.6 kW ja 22 kW välillä. Tasavirralla ladattaessa ei sähkövirta kulje OBC:n kautta, koska latausasema muuntaa verkkovirran vaihtovirrasta suoraan tasavirraksi. (What Is an On-Board Charger (OBC) Incorporated in Electric Vehicles? – AC/DC Conversion System That Allows Faster Battery Charging and is Highly Efficient 2023.) Taulukossa 2 vertaillaan eri automallien OBC lataustehoja.

Joidenkin sähköauton OBC-järjestelmä mahdollistaa myös kaksisuuntaisen latauksen. Tämä ominaisuus mahdollistaa sähköauton ajoakun käyttämisen energiavarastona, jolla voidaan tehdä seuraavaa:

- Hyödyntää ajoakua ulkoisten sähkölaitteiden virransaannissa (Vehicle-to-Load, V2L).
- Syöttää ajoakusta virtaa takaisin sähköverkkoon (Vehicle-to-Grid, V2G).
- Ladata toista sähköautoa (Vehicle-to-Vehicle, V2V).

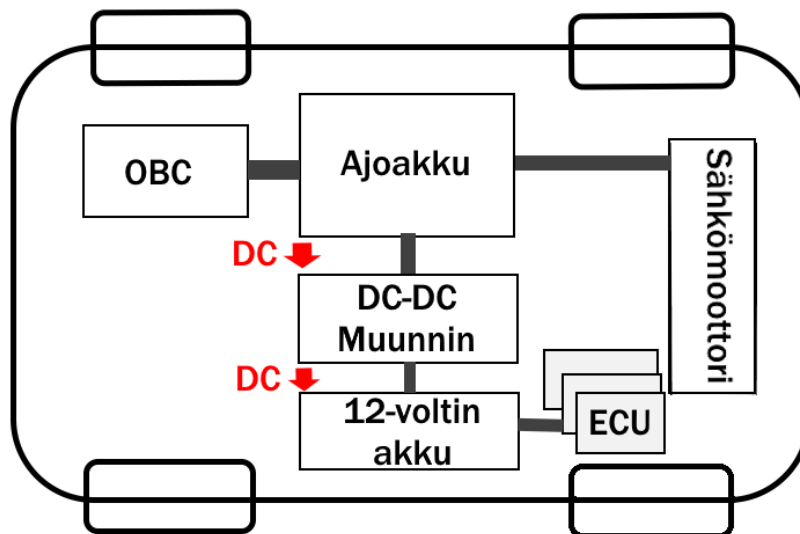
Nämä toiminnot tekevät sähköautoista monipuolisempia ja tukevat kestäväää energian käyttöä. (Demystifying Electric Vehicles: What is on board charger? 2024.)

Taulukko 2. Vertailua eri automallien OBC:n välillä (What is an electric car onboard charger?).

Auton malli	OBC:n enimmäislatausteho (kW)
Honda e	6,6 kW
Nissan Leaf	6,6 kW
Mazda MX-30	6,6 kW
Kia e-Niro	7,2 kW
Hyundai Ioniq	7,2 kW
Kia Soul EV	7,2 kW
Volkswagen e-up!	7,2 kW
Fiat 500e	7,4 kW
Vauxhall Corsa-e	7,4 kW
Vauxhall Mokka Electric	7,4 kW
Jaguar I-Pace	11 kW
Polestar 2	11 kW
Mini Electric	11 kW
Audi Q8 e-tron	11 kW
Porsche Taycan	11 kW
Skoda Enyaq iV EV	11 kW
Renault Zoe R135	22 kW
Polestar 4 Long Range Single Motor	22 kW

### 3.4 DC-DC-muunnin

Sähköautossa monet sähkökomponentit, kuten esimerkiksi ajovalot ja informaatio- sekä viihdejärjestelmät, toimivat korkeajännitteen sijaan matalajännitteellä. Tämän vuoksi sähköautossa on oltava myös matalajännitevirtapiiri, jossa on oltava matalajännitteinen, yleensä 12 voltin lyijyakku. DC-DC muunnin, eli tasajännitemuunnin, vastaa tämän matalajänniteakun latauksesta. Muunnin muuntaa ajoakun korkeajännitteen matalajännitteeksi, jolla 12 voltin akku pysyy ladattuna ja käyttökelpoisena. Tämä toiminto on ensisijaisen tärkeä auton matalajännitekomponenttien toiminnan varmistamiseksi. (What Is a DC/DC converter in an Electric Vehicle (EV)? – Device that converts high voltage into low voltage 2023.) Havainnekuvasta 9 voidaan havaita tasavirran kulku ajoakulta matalajännitteiselle akulle.

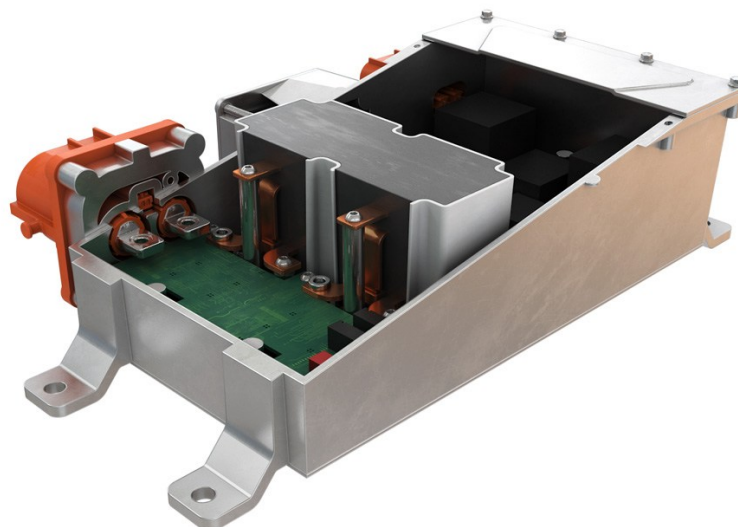


Kuva 9 Havainnekuva sähköauton virrankulusta (Mukaiillen What Is a DC/DC converter in an Electric Vehicle (EV)? – Device that converts high voltage into low voltage 2023).

DC-DC-muuntimissa käytetään yleisesti kytkentäteknikkaa, joka mahdollistaa jännitteen muuttamisen tehokkaasti joko suuremmaksi tai pienemmäksi.

Muuntamisen aikana energiaa varastoidaan hetkellisesti magneetti- ja sähkökenttinä. Kytkeäpohjainen ratkaisu on energiatehokkaampi kuin lineaarinen muunnos, jossa energiaa hukkuu lämpönä. Nopeiden puolijohteiden, kuten FET-transistorien, käyttö lisää hyötysuhdetta ja vähentää lämpöhäviöitä. Tämän avulla voidaan pidentää akun käyttöikää ja vähentää jäähdytyksen tarvetta, mutta toteutus vaatii tarkkaa piirisuunnittelua. (Kosuru 2023.)

Tasajännitemuuntimen tulee pystyä muuttamaan suuria määriä virtoja eri sähkölaitteille, mutta samalla pysyä mahdollisimman kompaktina sähköautossa. Hyvin suunnitellun muuntimen tärkeimmät ominaisuudet ovat suuren virran sekä jännitteen kesto, kompakti koko, mahdollisimman häviötön muunto sekä lämmönsietokyky (What Is a DC/DC converter in an Electric Vehicle (EV)? – Device that converts high voltage into low voltage 2023). Joissain sähköautoissa voi olla myös korkeampaa jännitettä kuin 12 voltia vaativia toimilaitteita, näistä mainittakoon ohjaustehostin, jonka käyttöjännite voi olla 42 voltia. Tämän vuoksi näissä toteutuksissa DC-DC-muuntimen täytyy pystyä mukauttamaan ulostulojännitettään käyttökohteen mukaan. (DC-DC converters.) Kuvassa 10 voidaan havaita erään DCDC-muuntimen läpileikkauksesta kevyt rakenne sekä kompakti toteutus.



Kuva 10. Läpileikkaus DC-DC-muuntimesta (DC-DC converters, Eatonin luvalla).

### 3.5 Ohjausyksiköt ECU ja VCU

Vaikka sähköauton voimalinja on yksinkertainen, ECU-yksiköiden, eli elektronisten ohjainlaitteiden määrä ja älykkyys kasvaa jatkuvasti. Sähköautojen ECU:t muistuttavat polttomootoriautojen ECU:jen rakennetta, mutta voimalinjan ohjaus on erilainen sen perustuessa polttomootorin ja vaihteiston sijaan akkuihin ja sähkömootoreihin. ECU:t luokitellaan ohjaamiensa toimintojen mukaan, ei ajoneuvoluokan. Uudemmissa sähköautoissa ECU:t hallitsevat entistä enemmän parametreja antureiden ja automaation määrän kasvettua, erityisesti ajoavustimien ja tehonhallinnan vuoksi. (ECUs.)

VCU eli *Vehicle Control Unit*, eli ajoneuvon ohjausyksikkö toimii sähköauton niin sanottuina aivoina, joka hallitsee moottoria, akkua, lämmönhallintaa ja energian talteenottoa. Se mahdollistaa eri järjestelmien yhteistoiminnan, kommunikoi muiden ohjausyksiköiden kanssa ja tukee turvallisuus- ja diagnostiikkatoimintoja. VCU ohjaa koko ajoneuvon elektronisia järjestelmiä, joten sitä voisi verrata tietokoneen keskusyksikköön. (The Brain Behind EVs: The Role of a Vehicle Control Unit.)

### 3.6 Akunhallintajärjestelmä BMS

Акунhallintajärjestelmä eli BMS on elektroninen järjestelmä, joka ohjaa ja suojaa ladattavaa akkua varmistaakseen sen parhaan suorituskyvyn, pitkän käyttöiän ja turvallisuuden. BMS seuraa akun tilaa, tuottaa oheistietoa ja raportoi kriittisistä tiedoista. Tärkeitä mittareita, joita BMS seuraa ja laskee, ovat akun varaustila SoC eli State of Charge, kunto SoH eli State of Health ja jäljellä oleva kapasiteetti. Järjestelmä seuraa lisäksi keskeisiä suureita, kuten virtaa, jännitettä ja lämpötilaa. BMS suojaa akkua aktiivisesti vaaratilanteilta, kuten syväpurkautumiselta, ylijännitteeltä, ylikuumenemiselta ja ylivirralla. (Understanding the Role of a Battery Management System (BMS) in Electric Vehicles. 2025: 1.)

Suojauksen lisäksi BMS säätelee akun toimintaympäristöä hallitsemalla akun lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä, jotta akku pysyy sen optimaalisen lämpötila-

alueen sisällä. Toinen keskeinen toiminto on kennojen tasapainotus eli balansointi, joka varmistaa, että kaikki kennot latautuvat ja purkautuvat tasaisesti, mikä parantaa akun kokonaisvaltaista suorituskykyä ja kestävyyttä. (Understanding the Role of a Battery Management System (BMS) in Electric Vehicles. 2025: 1.)

Laaja valvonta-, raportointi- ja suojaustoiminto tekee BMS:stä keskeisen järjestelmän nykyaikaisissa ladattavissa akuissa, ja sen ansiosta akku toimii luotettavasti ja turvallisesti. BMS toimii tavallaan koko akkupaketin aivoina: se tekee päätöksiä keräämänsä tiedon perusteella, ja nämä päätökset vaikuttavat suoraan akun suorituskykyyn ja käyttöikään. Ilman BMS:ää akku voisi ylikuormittua tai purkautua liikaa, mikä heikentäisi akun elinikää ja voisi johtaa sen vaurioitumiseen. (Understanding the Role of a Battery Management System (BMS) in Electric Vehicles. 2025: 1.)

### 3.6.1 Akun varaustila eli State of Charge SoC

Акun varaustila SoC määritellään käytettävissä olevan energiamäärän prosenttiosuutena akun nimelliskapasiteetista. SoC on keskeinen osa akunhallintajärjestelmää, sillä sen avulla arvioidaan akun todellista tilaa ja varmistetaan, että akku toimii turvallisella käyttöalueella. Tämä auttaa hallitsemaan akun latausta ja purkua, mikä puolestaan pidentää akun käyttöikää. (HariPrasad ym. 2020: 605.)

SoC-arvoa ei voida mitata suoraan, vaan se lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$SoC = 1 - \frac{\int i dt}{Cn} \quad (1)$$

Jossa:

$i$  = virta (akun lataus- tai purkuvirta)

$C_n$  = akun suurin kapasiteetti

Varaustila lasketaan siis seuraamalla, kuinka paljon virtaa akusta on otettu tai siihen on ladattu tietyn ajan kuluessa suhteessa akun kokonaiskapasiteettiin. (Hariprasad ym. 2020: 605.)

### 3.6.2 Akun kuntotila eli State of Health SoH

Акун kuntotila SoH kuvaa akun tilaa verrattuna uuteen akkuun. SoH antaa tietoa akun käytettävissä olevasta purkukapasiteetista koko sen elinkaaren ajalta. Sähköajoneuvoissa SoH kuvaa akun kykyä ajaa tietty etäisyys. (Hariprasad ym. 2020: 606.)

Kapasiteetin heikkeneminen (*capacity fade*) ja tehoheikkeneminen (*power fade*) yhdessä muodostavat akun kunnolle olennaiset ominaisuudet. Kapasiteetin heikkeneminen tarkoittaa ajomatkan lyhenemistä täyteen ladatulla akulla, kun taas tehoheikkeneminen tarkoittaa kiihtyvyyden vähenemistä. Tehoheikkeneminen tapahtuu, kun akun kennon impedanssi kasvaa iän myötä. Tämän seurauksena kokonaisimpedanssi kasvaa. Kokonaisimpedanssi voidaan laskea seuraavasti:

$$R = R_{HF} + R_{tc} \quad (2)$$

Jossa:

$R_{HF}$  = taajuusvastus

$R_{tc}$  = siirtovastus.

(Hariprasad ym. 2020: 606.)

### 3.7 Korkeajänniteakun lämmönvaihto ja jäähdytys

Sähköautojen akkujen ollessa tänä päivänä hyvin kehittyneitä ja suurikapasiteettisia tarvitsevat ne myös harvemmin latausta. Akkua ladattaessa tai purettaessa syntyy paljon lämpöä, ja siksi sähköautolle on äärimmäisen tärkeää suunnitella hyvä lämmönvaihtojärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmän on kyettävä pitämään akun lämpötila 20–40 celsiusasteen välillä eli akun optimaalisimmassa toimintalämpötilassa sekä myös varmistaa, etteivät akun moduulien lämpötilaerot pääse kasvamaan yli 5 celsiusasteen. Mikäli lämpötilaa ei valvota, voi akku ylikuumetessaan aiheuttaa mahdollisen räjähdysvaaran. (Electric Vehicle Coolant and Cooling Systems.)

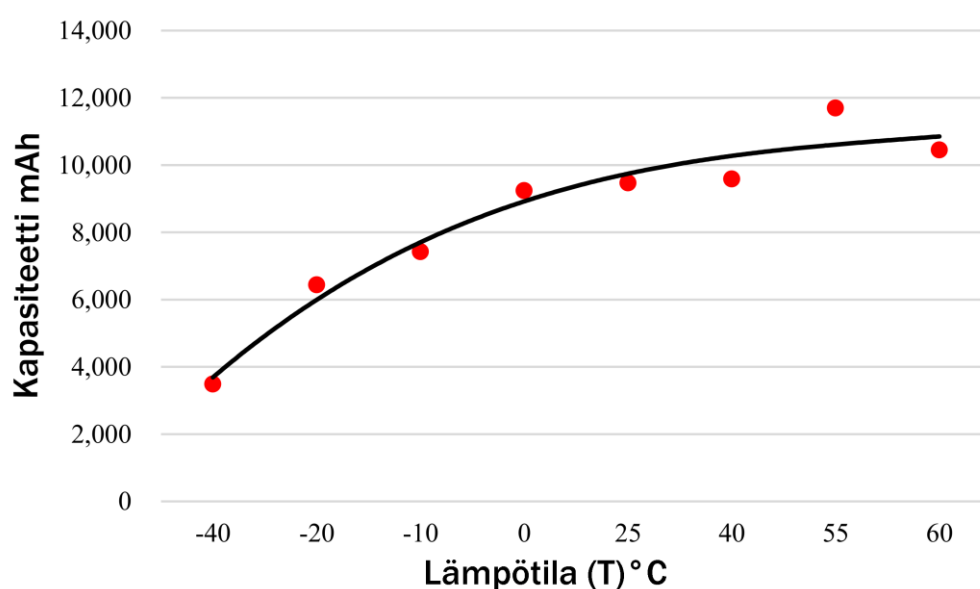
Korkeajänniteakkujen jäähdytystavoista on tällä hetkellä käytössä kaksi yleistä, jotka ovat ilmajäähdytteiset sekä nestejäähdytteiset toimintatavat. Ilmajäähdytteinen akku voi olla jäähdytetty joko aktiivisesti, passiivisesti tai hyödyntäen molempia ratkaisuja. Aktiivinen jäähdytys sisältää yleensä erillisen tuulettimen, jolla ohjataan ilmavirtausta akkuun. Passiivinen jäähdytys taas muodostuu auton liikkeessä ollessa ilmavirtauksista tai esim. ajoneuvon matkustamon ilmanohjauksesta. Ilmajäähdytys on hieman hiipunut tuotannossa viime aikoina, mutta on ollut käytössä joissain automalleissa kustannustehokkaampana ratkaisuna verraten nestejäähdytykseen. (Guerra 2023.)

Nestejäähdytys on tehokkaampi jäähdytystapa verrattuna ilmajäähdytykseen, mutta on myös monimutkaisempi ja kalliimpi toteuttaa. Kuitenkin tämä jäähdytysmuoto on sähköautoissa enimmäkseen käytössä oleva toteutus. Nestejäähdytys voi olla toteutettu vesijäähdytyksellä, kylmäaineella tai jäähdytysnesteellä, joka on samankaltaista mitä ICE:ssä käytetään. Nämä toteutukset vaativat myös muita komponentteja, kuten jäädytysletkuja tai -putkia, pumpun sekä lämmönvaihtimen. Nestejäähdytys voi olla toteutettu sekä välillisesti että välittömästi. Välillisessä jäähdytyksessä akkua ja sen kennoja jäähdytetään akussa olevien jäähdytyskanavien kautta, jossa viilentävä aine pääsee kulkemaan. Tämä toimintatapa voidaan nähdä samanlaisena verrattuna ICE:n jäähdytykseen, jossa moottorin lohossa on nesteellä omat tarkkaan sijoitetut

jäähdytyskanavat, jotka takaavat moottorin optimaalisen toimintalämpötilan. Väli­littömässä jäähdytyksessä akun kennoja jäähdytetään niiden ollessa suoraan nesteen kanssa kosketuksessa tai upoksissa. Näin taataan tasainen jäähdytys ja lämmönhallinta jokaiselle kennolle. Väli­littön jäähdytysmalli vaatii erityisen dielektrisen eli sähköä johtamattoman nesteen käyttöä, millä pitää olla myös hyvät lämmönkestävyysominaisuudet. Koska jälkimäistä toteutustapaa on tällä hetkellä vielä vaikea toteuttaa, välillinen jäähdytys on suositumpi vaihtoehto sähköajoneuvokäytössä. (Guerra 2023.)

### 3.8 Lämmitys, PTC-vastus ja lämpöpumput

Litiumioniakun tarvitsee olla oikeassa lämpötilassa toimiakseen parhaiten. Pohjoisissa talviolosuhteissa, jossa lämpötilat ovat usein alle 0 °celsiusasteen, akun toimintakyky laskee huomattavasti. Kuvasta 11 voidaan todeta, miten eri lämpötilat vaikuttavat litiumioniakun kapasiteettiin (Lv ym. 2021: 6). Tämän vuoksi akut tarvitsevat jäähdytyksen lisäksi myös lämmitystä. Akkujen lämmitys voi olla toteutettu lämpöpumpuilla, lämpövastuksella tai nestekierrolla ja vesipumpulla. Ajoakunlämmityksen lisäksi sähköautolla pitää olla myös matkustamolle lämmitysjärjestelmä.



Kuva 11. Erään litiumioniakun kapasiteetti/lämpötilakuvaaja (Mukai­llen Lv ym. 2021: 6).

Sähköauton lämmitys eroaa polttomoottoriautojen lämmityksestä, sillä sähkömoottori ei tuota samalla tavalla lämpöä kuin polttomoottori. Alun perin varhaiset sähköautot, kuten Nissan Leaf ja Mitsubishi i-MiEV, käyttivät vastuslämmitystä, jossa sähkö kulkee johteen läpi ja tuottaa lämpöä. Tämä kuluttaa kuitenkin paljon energiaa ja heikentää ajomatkaa kylmissä olosuhteissa. Nykypäivänä sähköautoissa käytetään myös PTC-vastuksia, joiden nimi tulee englannin kielen ilmaisusta *Positive Temperature Coefficient*, ja jotka tunnetaan positiivisen lämpötilakertoimen lämmittiminä. Ne toimivat samalla periaatteella, kuin perinteiset vastukset, mutta ovat tehokkaampia, koska niiden virrankulutus vähenee lämpötilan noustessa. (Yekikian 2023.)

Nykypäivänä sähköautoissa käytetään yhä enemmän lämpöpumppuja lämmitykseen, sillä ne ovat huomattavasti tehokkaampia kuin perinteiset vastus- tai PTC-lämmittimet. Lämpöpumput toimivat samalla periaatteella kuin ilmastointilaitteet, mutta ne tuottavat lämpöä ulkoilman avulla. Lämpöpumpun etuja ovat, että se voi myös jäähdyttää autoa sekä on energiatehokkaampi, mikä vähentää akun rasitusta ja parantaa ajomatkaa verrattuna perinteisiin lämmitysmuotoihin. Vaikka lämmittimen tehokkuus vaikuttaa siihen, kuinka paljon ajomatka heikenee, kylmä sää itsessään vähentää aina ajomatkaa, joten ajoneuvon kuljettajien on huomioitava tämä kaksinkertainen vaikutus. (Yekikian 2023.)

## 4 Esimerkkiauto Volkswagen ID.4

Tarkastelukohteeksi valikoitui Volkswagen ID.4 sen yleisyyden ja suosion perusteella. Malli on voittanut Tekniikan Maailman Sähköiset perheautot -vertailutestin ja niitä on arvioitu nyt olevan liikennekäytössä yli 5 400 kappaletta (Suomen teillä liikkuu jo yli 10 000 Volkswagen ID.-malliperheen täyssähköautoa 2024). Tämän lisäksi Volkswagen ID.4 käyttää autossaan nykyaikaisessa sähköautossa olevaa teknologiaa, josta kerrotaan tässä osiossa lisää myöhemmin. Tästä eteenpäin tarkastelu kohdentuu erityisesti ID.4 GTX -malliin, josta kappaleen lopussa oleva läpivalaistu kuva 12 esittelee auton voimalinjaratkaisua.

**ID.4 GTX**

Antrieb / Drive system



Kuva 12. Volkswagen ID.4 GTX läpivalaistuna (Volkswagen AG).

Volkswagen ID.4 GTX käyttää takamoottorina kestopagneettisia synkronimootoreita eli tahtimootoreita ja etumoottorina asynkroni- eli oikosulkumoottoria. Kuvassa 12 nähdään, miten GTX:n etuakselin ja taka-akselin välillä ei ole mekaanista linkkiä kuten yleisesti olisi nelivetoisessa polttomoottorillisessa autossa. (Volkswagen ID.4 is the most affordable all-wheel-drive electric vehicle on sale in the U.S. 2021.) Taulukosta 3 voidaan todeta moottoreiden yhdistetyn tehon olevan 250 kW ja väännön 679 Nm. Yksivaihteisella vaihteistolla ID.4 GTX kiihtyy 0–100 km/h 5,4 sekunnissa. (Technical data of the ID.4 2023; Volkswagen ID.4 GTX.)

Taulukko 3. Volkswagen ID.4 GTX voimansiirto ja suorituskyky, teknisiä tietoja. (Technical data of the ID.4 2023; Volkswagen ID.4 GTX.)

<b>Voimansiirto ja suorituskyky</b>	
Etumoottorityyppi	Oikosulkumoottori
Takamoottorityyppi	Kestomagneetti
Yhdistetty teho	250 kW
Yhdistetty vääntö	679 Nm
Vaihteisto	Yksivaihteinen
Kiihtyvyys 0–100 km/h	5.4 s
Huippunopeus	180 km/h
Arvioitu todellinen kantama	420 km

ID.4 GTX käyttää modulaarista akkusuunnittelua, jossa on käytössä pussikennot sekä joillain markkina-alueilla prismaattiset kennot (Why battery power will drive the future of transportation 2022). Malli on saatavilla 82 kWh nimelliskapasiteetin omaavalla litiumioniajoakulla, jonka käytettävissä oleva kapasiteetti on 77 kWh. Akkukennojen katodimateriaalina on käytetty NMC-kemialla ja nimellisjännite on 352 volttia. Toimintamatkaksi on arvioitu 420 km ja kulutukseksi 18,3 kWh/100 km, joka vastaa 2.1 l/100 km polttoainetta. (Volkswagen ID.4 GTX.)

Taulukko 4 listaa ajoakun teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Volkswagen ID.4 GTX ajoakun teknisiä tietoja (Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells; Kokkonen 2019; Usein kysyttyä sähköautoilusta; Volkswagen ID.4 GTX; Volkswagen MEB Battery Pack ID Family 2023).

Akku	
Akkuteho (nimellinen kapasiteetti)	82 kWh
Akkuteho (käytettävissä kapasiteetti)	77 kWh
Arkkitehtuuri (jännite)	400 volttia
Akun nimellisjännite	352 volttia
Akkutyyppe	Litiumioni
Akkukemia (katodi)	NCM
Kennojen lukumäärä	288
Moduulien lukumäärä	12
Kennotyyppi	Prismaattinen ja pussi
Valmistajan myöntämä akkutakuu	8 v / 160 000 km

GTX-mallin suurin tasavirtalatausteho on 175 kW, kun käytetään Type 2 CCS -liitäntää. Vaihtovirralla auton sisäinen laturi (OBC) mahdollistaa enintään 11 kW lataustehon, jolloin akun lataaminen 10–80 % tasolle kestää noin kahdeksan tuntia. Ajoakun esilämmitystä voidaan käyttää auton navigointisovelluksen ohjaamana. Automalli tukee myös kaksisuuntaista latausta, mikä mahdollistaa varastoidun energian hyödyntämisen esimerkiksi kodin sähkönkulutuksessa ja edistää näin ympäristöystävällisempää ja älykkäämpää energiankäyttöä.

(Volkswagen ID.4 GTX.) Taulukko 5 esittää lataukseen liittyvät keskeiset tekniset tiedot kappaleen lopussa sekä taulukko 6 kertoo automalliin yleistä liittyvää informaatiota.

Taulukko 5. Volkswagen ID.4 GTX latauksen teknisiä tietoja (Volkswagen ID.4 GTX).

Lataus	
Latausstandardi	Type 2 / CCS
Enimmäislatausteho AC	11 kW
Ilmoitettu latauksen kesto AC 0–100 % (11 kW)	8 h 15 min
Enimmäislatausteho DC	175 kW
Ilmoitettu latauksen kesto DC 10–80 % (175 kW)	28 min
Akun esilämmitys	Kyllä (Navigoinnin ohjaamana)
Plug & Charge tuki	Kyllä ISO 15118-2
Kaksisuuntainen lataus	Tuki V2G DC max 10 kW

Taulukko 6. Volkswagen ID.4 GTX yleistä liittyvää informaatiota (Volkswagen ID.4 GTX).

Muuta tietoa	
Omamassa	2256 kg
Kokonaismassa	2770 kg
Pituus	4584 mm
Leveys	1852 mm
Pohjalevy	VW MEB

Toukokuussa 2022 Volkswagen ilmoitti alkavansa kehittää uutta yhtenäistä prismaattista akkukennoa, joka mahdollistaa useiden akkukemioiden käytön ja tullaan ottamaan käyttöön suurimmassa osassa konsernin sähköautoja. Vuodesta

2025 alkaen Saksassa Salzgitterin tehtaalla aloitetaan tämän kennon massa-tuotanto, ja tavoitteena on tuottaa akkuja puolelle miljoonalle autolle vuodessa. Uuden kennon avulla pyritään alentamaan akkujen kustannuksia jopa puolella, ja sen prototyypiversiot ovat olleet lupaavia erityisesti toimintasäteen, latausnopeuden ja turvallisuuden osalta. (Ground breaking in Salzgitter: Volkswagen enters global battery business with “PowerCo” 2022.)

## 5 Insinööriyön toteutus ja tulokset

Tässä osiossa esitellään insinööriyön tutkimuksen menetelmälliset valinnat sekä kuvataan tutkimusprosessin eteneminen ja sen tulokset.

### 5.1 Tutkimusote ja tutkimusmenetelmä

Tässä insinööriyössä hyödynnettiin konstruktivistista tutkimusotetta, joka kuuluu interventionistisiin tutkimuksiin lukeutuviin tutkimusmuotoihin. Konstrukttiivinen tutkimus tarkoittaa menetelmää, jossa tutkimusongelmaa lähestytään kehittämällä jokin konkreettinen ratkaisu – esimerkiksi malli, tuote tai opas. Tällainen tutkimus keskittyy käytännönläheisiin ongelmiin, ja ratkaisua etsitään hyödyntämällä aiempaa teoriaa, kirjallisuutta ja tutkimustietoa. (Kananen 2017: 10–15.)

Tutkimusotteen määrittämisen jälkeen valittiin tutkimusmenetelmäksi kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaus on monimenetelmällinen ja analyyttinen menetelmä, jonka tavoitteena on tuottaa uutta tietoa arvioimalla, vertailemalla ja yhdistelemällä aiempaa tutkimusta. Kirjallisuuskatsauksen valinta tutkimusmenetelmäksi tuki oppaan tavoitetta muodostaa olemassa olevasta tiedosta synteesi, joka vastaa asetettuun tutkimuskysymykseen (Kananen 2017: 38–42; Vilka 2023: 1.1.1 Tutkimuskohteena tutkimukset; Vilka 2023: 1.5 Kirjallisuuskatsaus prosessina.)

Kirjallisuuskatsaus voidaan jakaa neljään vakiintuneeseen katsaustyyppiin, joista jokainen soveltuu eri tarkoituksiin. Tässä konstruktivisessa insinööriyössä käytettiin integratiivista kirjallisuuskatsausta, joka soveltuu hyvin

toiminnallisiin opinnäytetöihin. Menetelmä mahdollistaa sekä aiemman tutkimustiedon että käytännön ammatillisen tiedon systemaattisen yhdistämisen. Menetelmän valintaa perusteli myös se, että insinööriyössä hyödynnettiin sekä vertaisarvioituja että vertaisarvioimattomia lähteitä (Vilkkä 2023: 1.3 Kirjallisuuskatsauksen aineistot; Vilkkä 2023: 4.2.3 Teoreettiseen viitekehykseen soveltuvat katsaustyyppit.)

Kirjallisuuskatsaus toteutettiin kohdennettuna, jotta insinööriyön laajuus ja tarkoitus pysyivät hallinnassa. Kohdennettu lähestymistapa mahdollisti tutkimustiedon kriittisen arvioinnin, käsitteellisen viitekehyksen muodostamisen sekä käytännönläheisen synteessin tuottamisen, joka vastasi tutkimuskysymyksiin. (Vilkkä 2023: 4.2.3 Teoreettiseen viitekehykseen soveltuvat katsaustyyppit; Vilkkä 2023: 1.2.2 Integriivinen kirjallisuuskatsaus.)

## 5.2 Tutkimusprosessin kuvaus

Tutkimusprosessi toteutettiin hyödyntämällä kahta toisiaan täydentävää tutkimusmenetelmää: tiedonkeruuta ja kerätyn aineiston analyysiä. Insinööriyön teoreettinen viitekehys ja päätutkimuskysymys rakentuivat työn tarkoituksen ja tavoitteiden määrittelyn perusteella. Näiden pohjalta muodostettiin myös alatutkimuskysymykset, joihin pyrittiin vastaamaan integriivisen kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuskatsauksen kautta kerätyn aineiston analyysi mahdollisti kokonaiskäsityksen muodostamisen niistä keskeisistä asioista, jotka oppaassa tulisi avata tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi.

Katsauksen onnistumisen edellytyksenä on tarkoituksenmukaisen tutkimusaineiston muodostaminen, minkä takia myös tiedonhaku tulee toteuttaa systemaattisesti, perustellusti ja toistettavaa menetelmää käyttäen. (Vilkkä 2023: 1.5 Kirjallisuuskatsaus prosessina.) Tiedonhaun tueksi ja luotettavuuden varmistamiseksi laadittiin hakusuunnitelma, johon kirjattiin ennalta määritetyt tutkimuskysymykset, avainsanat, aihealueet ja maininnat sekä tutkimuksen sisällölle määritettiin rajauskriteerit. Tiedonhakukantojen valintaan vaikutti keskeisesti konstruktiivisen tutkimuksen käytännönläheinen tavoite: oppaan laatiminen.

Katsausprosessin päämäärä ohjasi etsimään tietoa lähteistä, jotka tukevat tutkimuksen soveltavaa luonnetta. Ensisijaisiksi tiedonhakukanaviksi valittiin Metropolian kirjasto- ja tietopalvelu LibGuides, kestävän kehityksen asiantuntijataho Motiva sekä tieteellisiä tutkimuksia ja artikkeleita kokoava julkaisualusta ResearchGate. Kysymyksenasettelua tarkasteltiin tiedonhaun yhteydessä koko prosessin ajan. (Vilkkä 2023: 1.5 Kirjallisuuskatsaus prosessina; Vilkkä 2023: 2.1.1 Kysymyksen asettelu lähtökohtana; Vilkkä 2023: 2.1.2 Alkuperäistutkimusten ja lähteiden hakuprosessi.)

Tutkimusaineiston valinnan jälkeen aineisto valmisteltiin sisällönanalyysiä varten. Aineisto jaoteltiin tutkimuskysymysten pohjalta kolmeen ryhmään, mikä mahdollisti aiheen systemaattisen jäsentelyn ja tarkastelun. Kirjallisuuskatsauksen analyysimenetelmänä hyödynnettiin laadullista sisällönanalyysiä, jonka tavoitteena oli alkuperäistutkimusten syvälinen ja tutkiva lukeminen. Tämän analyysin pohjalta muodostettiin asiakokonaisuuksia, joiden avulla rakennettiin synteesi tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Analyysi toteutettiin osittain aineistolähtöisesti, mikä mahdollisti tutkimusmateriaalin tarkastelun ilman valmiiksi määriteltyä teoreettista viitekehystä. (Vilkkä 2023: 3.1 Sisältöanalyysi ja analyysin havainnollistaminen.)

Aineiston analyysin keskiössä oli tutkimuskysymyksiin vastaaminen, mikä edellytti aiheeseen olennaisesti liittyvien käsitteiden ja termien tunnistamista sekä niiden sanallista kuvaamista. Analyysi toteutettiin luokittelemalla nämä käsitteet Word-tiedostoon, mikä mahdollisti asiakokonaisuuden selkeän jäsentelyn. Käsitteiden systemaattinen kuvaaminen, luokittelu ja kategorisointi loivat perustan sisällön tarkastelulle ja tukivat oppaan rakentamista. Word-tiedoston pohjalta tehtiin sisällölliset valinnat, jotka muodostivat tämän insinöörityön rakenteen.

### 5.3 Tulokset

Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että sähköauton ja polttomoottoriauton keskeiset erot niin käytännön kuin tekniikan näkökulmasta ovat keskeisiä asioita, jotka kuluttajan olisi hyvä tuntea ostopäätöstä tehdessä.

Näistä eroista keskeisimmät liittyvät moottoriin, voimanlähteeseen ja energiankulutukseen, lataamiseen sekä mahdollisiin huolto-, korjaus- ja katsastuskustannuksiin.

Täyssähköisissä ajoneuvoissa on kaikissa sähkömoottori, jonka hyötysuhde on huomattavasti parempi verrattuna polttomoottoriin, mikä tekee sähköautoista energiatehokkaampia. Sähköautoissa on käytössä korkeajännitteinen ajoakku, joka tarjoaa tarvittavan energian moottorille. Vaikka sähköautot ovat merkittävästi energiatehokkaampia, polttomoottoriautojen toimintasäde on edelleen pidempi, mikä johtuu polttoaineen suuremmasta energiatiheydestä verrattuna litiumioniakkuihin.

Nykyaikaisia sähköautoja voidaan ladata sekä vaihtovirralla että tasavirralla. Vaihtovirtalataus on normaalia latausta, kun taas tasavirtalataus edustaa niin sanottua pikalatausta. Latausteho riippuu sekä autoon kytketyn latauslaitteen tehosta että auton omasta latauslaitteesta. Sähköautoille on olemassa kolme erilaista lataustapaa, jotka ovat hidaslataus, peruslataus ja tasavirralla tehollataus. Vaikka tehollataus on kätevää, sen jatkuva käyttö voi aiheuttaa akun enenaikaista kulumista ja huonontaa akun kuntoa, erityisesti sen täyden latauskapasiteetin osalta. Siksi hidaslataaminen sekä peruslataaminen mielletään usein akustolle paremmaksi vaihtoehdoksi.

Sähköautot vaativat polttomoottoriautoihin verrattuna vähemmän huoltoa, sillä niissä on vähemmän liikkuvia ja kuluvia osia. Useissa sähköautomalleissa sähkömoottori ja korkeajänniteakku jäähdytetään nestekiertoisesti, mikä edellyttää jäähdytysnesteen käyttöä. Jotta vältytään komponenttien rikkoutumiselta, on tärkeää varmistaa jäähdytysjärjestelmän moitteeton toiminta ja puuttua mahdollisiin vikoihin ajoissa. Vähemmän huoltoa vaativat rakenteet tekevät sähköauton ylläpidosta myös kuluttajalle edullisempaa ja sähköauton huoltokustannukset ovat auton elinkaaren aikana merkittävästi pienemmät kuin vastaavan polttomoottoriauton. Lisäksi sähköauton katsastus on usein halvempaa, sillä päästömittauksia ei tarvita. Katsastuksessa tarkastetaan kuitenkin silmämääräisesti korkeajännitejärjestelmän, erityisesti akun kotelon kunto.

Kirjallisuuskatsauksen mukaan sähköautoihin liittyvä helposti saatavilla oleva tieto painottuu erityisesti ostohintaan, toimintasäteeseen, ekologisuuteen ja turvallisuuteen. Näihin tekijöihin vaikuttavat olennaisesti sähköauton tekniset rakenteet ja järjestelmät, jonka vuoksi niiden ymmärtäminen on kuluttajalle tärkeää ostopäätöstä tehtäessä. Kirjallisuuskatsauksen perusteella keskeisimmät rakenteet ja järjestelmät ovat ajoakku, sähkömoottori, sisäänrakennettu laturi OBC, sähköiset ohjausjärjestelmät ECU:t, akunhallintajärjestelmä BMS sekä sähköauton lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät.

Sähköauton ajoakun on täytettävä useita vaatimuksia ja akun on oltava toimintavarma vuosien ajan. Ajoakku on iso kokonaisuus, joka koostuu rakenneosista eli moduuleista, jotka taas koostuvat vielä pienemmistä osista, eli kennoista. Kennoja on toteutuksen mukaan tarjolla kolmea eri tyyppiä, joilla on jokaisella hyvät ja huonot puolensa, mitkä voivat vaikuttaa sähköauton turvallisuuteen sekä toimintaan. Enimmäkseen sähköautojen litiumioniakuissa käytetään kobolttia sisältäviä akkukemioita, jotka takaavat hyvän energiatiheuden, mutta ovat myös paloherkkiä ja osin kalliita. Kuitenkin myös koboltti- ja nikkelivapaata litiumrautafosfaattikemiaa kehitetään sähköautoihin, mikä on kobolttiakkukemioille turvallisempi ja edullisempi vaihtoehto.

Sähkömoottori on sähköauton keskeinen voiman tuottaja, joka saa energiansa ajoakusta ja liikuttaa sähköautoa. Sähkömoottorilla on polttomoottoriin verrattuna suuri etu auton kiihtyvyyteen välittömän väännön muodostuksen ansiosta. Sähkömoottorin ei tarvitse erikseen pyöriä tietyllä kierrosalueella vääntääkseen parhaiten, vaan kaikki vääntö on käytettävissä heti alhaisilla kierroksilla. Tämän ansiosta sähköauto myös kiihtyy sulavasti.

OBC:n eli auton sisäisen laturin latausteho määrittää sen, kuinka suurella enimmäislatausteholla voidaan autoa ladata hidas- tai peruslatauksessa. Vaikka auto kytkettäisiinkin 22 kW latausasemaan, OBC:n enimmäistehon ollessa vain 11 kW, latautuu auto tällöin vain 11kW teholla. Siksi on tärkeää tietää auton sisäisen laturin enimmäislatausteho. Joissakin ajoneuvoissa OBC tukee kaksisuuntaista latausta, jolloin sähköauton akkua voidaan hyödyntää myös

energiavarastona – tämä tekee sähköautoista monipuolisempia ja tukee kestäväen energian käyttöä.

Sähköautoissa ECU:t hallitsevat yhä useampia parametreja antureiden ja automaation lisääntymisen takia, erityisesti ajoavustinjärjestelmien ja tehonhallinnan alueilla. Keskeisin ohjainyksikkö VCU toimii ajoneuvon keskusohjaimena. Se hallitsee moottorin, akun, lämmönhallinnan ja energian talteenoton toimintaa, koordinoi eri järjestelmien välistä yhteistyötä sekä tukee turvallisuus- ja diagnostiikkatoimintoja. Käyttäjän näkökulmasta nämä ohjausyksiköt parantavat ajokemusta ja turvallisuutta, koska ne mahdollistavat ajoneuvon älykkään ja tehokkaan toiminnan, joka voi merkittävästi vaikuttaa ajomatkaan, ajoturvallisuuteen ja ajomukavuuteen.

Akunhallintajärjestelmä BMS on sähköauton keskeinen elektroninen järjestelmä, jonka tehtävänä on valvoa ja ohjata akkua siten, että sen suorituskyky, käyttöikä ja turvallisuus pysyvät optimaalisina. BMS seuraa akun varaustilaa SoC:tä, kuntoa SoH:ta sekä jäljellä olevaa kapasiteettia, ja suojaa akkua mahdollisilta vaaratilanteilta. SoH, joka kertoo akun todellisen kuntosuhteen verrattuna uuteen ja kuvaa akun kykyä ajaa tietty etäisyys, muodostuu kapasiteetin heikkenemisestä, tehon heikkenemisestä sekä akun sisäisen vastuksen kasvamisesta. BMS säätelee myös akun lämpötilaa hallitsemalla lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä, jotta akku toimii aina sille sopivassa lämpötila-alueessa. Lisäksi BMS tasapainottaa akun kennojen varaustiloja, mikä parantaa akun kestävyyttä ja suorituskykyä. Ilman BMS:ää akku olisi altis vaurioille, jotka voisivat lyhentää sen käyttöikää merkittävästi.

Sähköauton akun lataus- ja purkuposessissa syntyy runsaasti lämpöä, minkä vuoksi tehokas lämmönhallinta on äärimmäisen tärkeää turvallisuuden ja akun käyttöiän kannalta. Ilman riittävää jäähdytystä akku voi ylikuumentua ja aiheuttaa vakavia vaaratilanteita, kuten räjähdysriskin. Tällä hetkellä sähköautoissa käytetään yleisesti kahta jäähdytystapaa, ilma- ja nestejäähdytystä, jotka voivat toimia joko passiivisesti tai aktiivisesti. Aktiivinen jäähdytys hyödyntää esimerkiksi tuulettimia ilmavirran ohjaamiseen, kun taas passiivinen jäähdytys

perustuu auton liikkeessa syntyviin ilmavirtauksiin tai matkustamon ilmanohjaukseen. Nestejäähdytys on ilmajäähdytystä tehokkaampi ja on yleisempi toteutustapa nykyaikaisissa sähköajoneuvoissa.

Akut tarvitsevat jäähdytyksen lisäksi myös lämmitysjärjestelmän toimiakseen optimaalisesti. Akkujen lämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi lämpöpumpuilla, lämpövastuksella tai nestekierrolla ja vesipumpulla. Ajoakun lämmityksen lisäksi myös matkustamon lämmitys on tärkeää, ja se eroaa polttomoottoriautojen lämmityksestä, sillä sähkömoottori ei tuota lämpöä samalla tavalla kuin polttomoottori. Nykyisin sähköautoissa käytetään yhä enemmän lämpöpumppuja lämmitykseen, koska ne ovat huomattavasti tehokkaampia kuin vastus- tai PTC-lämmittimet. Lämpöpumput toimivat ilmastointilaitteen tavoin, mutta ne tuottavat lämpöä ulkoilman avulla. Lämpöpumpun etuja ovat sen kyky jäähdyttää autoa ja sen energiatehokkuus, mikä vähentää akun rasiutusta ja parantaa ajomatkaa verrattuna perinteisiin lämmitysmuotoihin. Kylmä sää itsessään kuitenkin vähentää ajomatkaa, joten kuljettajien on otettava huomioon sekä lämmitysjärjestelmän että kylmän sään vaikutukset ajomatkaan.

#### 5.4 Luotettavuuden arviointi

Konstruktiiivisen tutkimuksen luotettavuutta ja laatua arvioidaan ensisijaisesti tutkimusmenetelmien käytön sekä konstruktion onnistumisen näkökulmista. Konstruktiiivisen tutkimuksen arviointi edellyttää konstruktion toteutuksen seuraamista ja raportointia koko tutkimusprosessin ajan, sillä ilman prosessiarviointia on miltei mahdotonta arvioida konstruktion onnistumista tai siihen vaikuttaneita tekijöitä. Täten tutkimuksen toteutuksen vaiheiden raportointi on keskeisessä roolissa luotettavuuden ja eettisyyden arviointia, sillä se mahdollistaa tutkimusprosessin vaiheiden jäljentämisen ja tehtyjen ratkaisujen arvioinnin objektiivisesti. (Kananen 2017: 69–79.)

Tutkimukseen valittujen tutkimusmenetelmien luotettavuutta ja eettisyyttä arvioidaan niiden soveltuvuuden ja käytön kannalta. Tutkimusta voidaan pitää luotettavana silloin, kun siihen valitaan hyvään tieteelliseen käytäntöön kuuluvia

tutkimuksen kriteerien mukaisia ja eettisesti oikeita tutkimusmenetelmiä, joihin kuuluvat tutkimuksen aineistonkeruu-, analyysi- ja arviointimenetelmät. (Kananen 2017: 69–70.) Tämän insinööriyön tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta, jonka aineistonkeruun ja sisällön analyysinpohjalta opas rakentui. Kirjallisuuskatsauksen luotettavuuden arviointiin kuuluu kaksi laadunarviointia, jotka ovat valituille alkuperäistutkimuksille tehty laadunarviointi ja toteutetun kirjallisuuskatsauksen laadun arviointi. (Vilka 2023: 3.2 Aineiston laadunarviointi, luotettavuus, pätevyys ja eettisyys.)

Kirjallisuuskatsauksen alkuperäistutkimusten laadunarviointi toteutettiin arvioimalla alkuperäistutkimuksen soveltuvuutta kirjallisuuskatsaukseen sekä arvioimalla tutkimusaineiston sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä. Tutkimusaineisto koostui huolellisesti valituista lähteistä, kuten alkuperäistutkimuksista, tieteellisistä artikkeleista ja aiheeseen liittyvästä ammattikirjallisuudesta. Valitun tutkimusaineiston monipuolisuus palveli konstruktivisen tutkimuksen käytännönläheistä luonnetta mahdollistaen informatiivisen oppaan laadinnan. Varsinaisen tutkimusaineiston laadunarvioinnissa kiinnitettiin huomiota myös tutkimusaineiston lähteisiin. Valittu tutkimusaineisto keskittyi pääsääntöisesti tarkastelemaan ja kuvaamaan sähköautojen eroavaisuuksia polttomoottorilliseen autoon sekä keskeisiä sähköauton rakenteita ja järjestelmiä, erityisesti tekniikan näkökulmasta. Kirjallisuuskatsaukseen valikoituna lähdeaineistona käytettiin asianmukaista, olennaista ja ajankohtaista lähdekirjallisuutta suomen ja englannin kielellä. Tähän kirjallisuuskatsaukseen valittuja alkuperäistutkimuksia voidaan pitää luotettavina siltä osin, että ne vastaavat tutkimuksen alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin luoden synteesin, jonka pohjalta opas rakentui. (Kananen 2017: 70–74.)

Tutkimuksen luotettavuuden ja laadun arvioimiseksi ja niiden varmentamiseksi insinööriyön lähtökohdat, tavoitteet ja tarkoitus määriteltiin oppaan laadinnan aluksi mahdollisimman tarkasti. Insinööriyön tutkimuskysymykset muotoiltiin vastaamaan katsausprosessin tavoitetta, tarkoitusta ja kohderyhmää ja kysymyksenasettelua tarkasteltiin suhteessa tiedonhakuun koko katsausprosessin ajan. Insinööriyön tutkimuskysymykset tarkentuivat lopulliseen muotoonsa

kirjallisuuskatsauksen aikana tehtyjen empiiristen havaintojen perusteella. (Kananen 2017: 62–69; Vilka 2023: 2.1.1 Kysymyksen asettelu lähtökohtana; Vilka 2023: 2.1.2 Alkuperäistutkimusten ja lähteiden hakuprosessi.)

Katsausprosessin tiedonhaun toteuttaminen ennalta suunnitellusti, perustellusti ja toistettavaa menetelmää käyttäen on myös keskeinen osa tutkimusmenetelmän luotettavuuden arviointia (Vilka 2023: 2.1.2 Hakuprosessi, avainsanat ja asiasanat). Luotettavuuden varmentamiseksi tutkimusaineiston kerääminen toteutettiin mahdollisimman jäsennellysti, läpinäkyvästi, tarkasti ja kattavaksi. Kirjallisuuskatsauksen tiedonhaun tueksi laadittiin hakusuunnitelma, johon kirjattiin ennalta määritetyt tutkimuskysymykset, valittiin tarkoituksenmukaiset tietokannat, hakusanat ja -fraasit sekä määriteltiin tutkimusten seulontakriteerit. Tutkimusprosessin luotettavuutta tukee huolellisesti valittu lähdeaineisto, tarkkaan määritellyt hakutermit sekä systemaattinen raportointisuunnitelma.

Tämän insinööriyön luotettavuutta arvioitaessa on tärkeää huomioida, että valittu aihepiiri on laaja ja täten vaati sen merkittävää rajausta. Opas tarjoaa rajatun katsauksen sähköautoiluun liittyvistä teemoista, jotka muodostavat monipuolisen ja teknisesti erityispiirteisen kokonaisuuden verrattuna perinteisiin polttomoottoriajoneuvoihin. Tieto sähköautoista ja sähköautoilusta kehittyy jatkuvasti teknologian edetessä, jonka vuoksi myös tämän työn sisältöä on tarkasteltava osana nopeasti muuttuvaa kehitystä. Vaikka tulevaisuuden innovaatiot tulevat todennäköisesti muovaamaan sähköautoilun kehityssuuntaa, tarjoaa tämä opas teknisesti ajantasaisen ja luotettavan perustan aihealueen ymmärtämiselle nykytilanteessa.

Tutkimusprosessin keskiössä oli konstruktion toteutuksen aikainen vuoropuhelu teknisen tiedon ja kuluttajia palvelevan käytännöllisen informaation välillä. Insinööriyön sisällölliset valinnat tehtiin kirjallisuuskatsauksen pohjalta samalla peilaten näitä oppaan toiminnallisten tarpeiden toteuttamiseen. Tutkimusmenetelmien valinnan osalta tutkimuksessa saavutettiin pätevyys, sillä tutkimuksen konstruktiota saatiin rakennettua valittujen tutkimusmenetelmien avulla. Tutkimusprosessi raportoidaan insinööriyössä laajasti ja järjestelmällisesti, jolloin myös

tutkimusprosessia voidaan pitää luotettavana toteutuksen osalta. Huolellisesti dokumentoitu tutkimusprosessi sekä perustellut metodologiset valinnat tukevat työn laadullista luotettavuutta, vaikka objektiivista arviointia toimeksiantajan taholta ei ole saatavilla. (Kananen 2017: 69–79.)

## 6 Yhteenveto

Sähköautojen määrä kasvaa jatkuvasti. Vaikka kuluttajalle luodaankin mielikuva huolettomasta sähköautoilusta, niin myös sähköautot edellyttävät akun lataustavan ja latausnopeuksien tuntemusta, kylmän sään vaikutusten ja lämmitysjärjestelmien toimintaperiaatteiden ymmärrystä ja säännöllisiä huoltotoimenpiteitä. Siksi ennen ostopäätöstä kuluttajan on hyvä perehtyä sähköauton keskeisimpiin komponentteihin ja järjestelmiin sekä sähköauton ja polttomoottorillisen auton eroavaisuuksiin.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tarjota kuluttajille ja muille aiheesta kiinnostuneille informatiivinen katsaus sähköautoiluun, syventyen sähköauton keskeisiin toimintoihin ja komponentteihin. Aiheen valintaan vaikutti kiinnostukseni sähköautojen kehityksestä, jota olin jo pitkään seurannut ammattini puolesta. Halusin hyödyntää aiempaa osaamistani ja omia havaintojani luodakseni kokonaisuuden, joka tekee sähköautojen tekniikasta helpommin ymmärrettävää erityisesti käytännön näkökulmasta. Työn tavoitteena oli yhdistää tekninen tieto ja käyttäjälähtöinen näkökulma siten, että opas palvelee sekä uusien että kokeneempien sähköautoilijoiden tarpeita. Konstruktivisen tutkimuksen myötä syntyi selkeä ja kattava opas, joka auttaa kuluttajia ymmärtämään sähköauton toiminnan perusteet, komponentit sekä niiden roolit ja erot perinteisiin polttomoottori-autoihin, jotka ovat edelleen johtavassa asemassa Suomen liikenteessä.

Insinööriyön laadinnan suurimmaksi haasteeksi muodostui olemassa olevan tiedon laajuus, joka edellytti pohdintaa siitä, kuinka relevantti ja insinööriyön kannalta olennaisin tieto saataisiin rajattua. Tämän takia kirjallisuuskatsauksen kautta kerättyä ja analysoitua aineistoa tarkasteltiin jatkuvasti suhteessa

insinööriyön tutkimuskysymyksiin. Oppaan lopullinen sisältö rakentui tutkimusprosessin aikana tarkentuneiden tutkimuskysymysten pohjalta.

Jatkotutkimuksena voitaisiin toteuttaa kuluttajatutkimus, jossa kartoitetaan eri tutkimusmenetelmin, mitkä asiat kuluttajaa kiinnostaa sähköautoissa tai mitkä ovat kuluttajatutkimuksen perusteella ne asiat, jotka vaikuttavat ostopäätöksiin, ja miten näiden asioiden ymmärrys voisi tukea päätöksentekoa. Kvantitatiivinen tutkimus, kuten suuriin tilastoihin perustuva analyysi, voisi tuoda esiin yleisiä trendejä kuluttajien asenteissa ja valinnoissa eri demografisissa ryhmissä. Kvalitatiivinen tutkimus puolestaan voisi antaa syvempää ymmärrystä kuluttajien motiiveista ja asenteista sähköautojen suhteen.

Tämän insinööriyön luotettavuuden ja laadun arvioinnissa on tärkeää tunnistaa, että käsiteltävä aihealue on laaja ja on siksi vaatinut huolellista rajaamista. Kirjallisuuskatsauksena toteutettua konstruktivistista tutkimusta voidaan pitää luotettavana ja laadukkaana, kun tutkimusprosessi on kuvattu täsmällisesti, valitut tutkimusmenetelmät on perusteltu huolellisesti sekä silloin, kun valmis konstruktiio vastaa tässä työssä esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Valmistunut opas tarjoaa tiivistetyn, mutta informatiivisen katsauksen sähköautoilun keskeisiin teemoihin, jotka muodostavat teknisesti monipuolisen ja erityispiirteisen kokonaisuuden verrattuna perinteisiin polttomoottoriajoneuvoihin. Huomioitavaa on, että sähköautoteknologia kehittyi nopeasti, minkä takia tämän oppaan sisältöä on tarkasteltava suhteessa jatkuvasti muuttuvaan toimintaympäristöön.

Insinööriyön perusteella voidaan todeta, että helposti saatavilla oleva informaatio sähköautoista perustuu usein niiden toimintasäteeseen, ostohintaan, ekologisuuteen ja turvallisuuteen. Näiden asioiden kannalta avainasemassa ovat sähköauton tekniset ratkaisut sekä niiden toiminnot, joihin kuluttajan olisi hyvä perehtyä ennen ostopäätöstä. Tämä insinööriyönä toteutettu opas tarjoaa kattavan kokonaiskuvan siitä, mitä kuluttajan olisi hyvä tietää sähköautoista. Opas luotiin huomioiden sen käytännönläheinen luonne valiten insinööriyöhön tavoitetta palvelevat tutkimusote ja metodologiset valinnat. Sen lisäksi että

insinööriyö täyttää sille asetetut tavoitteet työn luotettavuuden ja laadun osalta, toimii se ajankohtaisena kuluttajan ja tiedeyhteisön tarpeita palvelevana oppaana.

## Lähteet

11ie - Autot käyttövoiman mukaan, 1990–2024. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <[https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_mkan/stat-fin\\_mkan\\_pxt\\_11ie.px/table/tableViewLayout1/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__mkan/stat-fin_mkan_pxt_11ie.px/table/tableViewLayout1/)>. Luettu 23.4.2025.

AC vs DC Charging: 7 Fundamental Differences. 2022. Verkkoaineisto. go-e. <<https://go-e.com/en/magazine/ac-dc-charging>> Päivitetty 5.8.2024. Luettu 4.1.2025.

Argue, Charlotte. 2025. How Long Do Electric Car Batteries Last? Verkkoaineisto. Geotab. <<https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>>. Julkaistu 13.12.2019. Päivitetty 29.8.2024. Luettu 4.1.2025.

AutoZine technical School - Electric Cars. 2017. Verkkoaineisto. Autozine. <[https://www.autozine.org/technical\\_school/engine/EV.html](https://www.autozine.org/technical_school/engine/EV.html)>. Luettu 11.4.2025.

The Brain Behind EVs: The Role of a Vehicle Control Unit. Verkkoaineisto. Exro. <<https://www.exro.com/industry-insights/the-role-of-a-vehicle-control-unit>>. Luettu 20.4.2025.

Cohen, Eric. 2023. EV vs ICE: Surprising differences in efficiency, cost, and impact. Verkkoaineisto. WiTricity. <<https://witricity.com/media/blog/ev-vs-ice-surprising-differences>>. 11.4.2023. Luettu 19.4.2025.

Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells. Verkkoaineisto. Keyence. <<https://www.keyence.eu/products/marker/laser-marker/resources/laser-marking-resources/comparison-of-different-types-of-electric-vehicle-battery-cells.jsp>>. Luettu 11.4.2025.

DC-DC converters. Verkkoaineisto. E-Mobility Engineering. <<https://www.emobility-engineering.com/dc-dc-converters/>>. Luettu 3.1.2025.

Demystifying Electric Vehicles: What is on board charger? 2024. Verkkoaineisto. Scalvy <<https://scalvy.com/what-is-on-board-charger/>>. 16.4.2024. Luettu 18.4.2025.

Electric Vehicle Coolant and Cooling Systems. Verkkoaineisto. Dober. <<https://www.dober.com/electric-vehicle-cooling-systems>>. Luettu 4.4.2025.

Gaizka Saldaña, José Ignacio San Martín, Inmaculada Zamora, Francisco Javier Asensio 1, Oier Oñederra. 2019. Analysis of the Current Electric Battery Models for Electric Vehicle Simulation. MDPI 18.7.2019. s. 2. Akkukemioiden vertailukuva.

Ground breaking in Salzgitter: Volkswagen enters global battery business with "PowerCo". 2022. Verkkoaineisto. Volkswagen. <<https://www.volkswagen-group.com/en/press-releases/ground-breaking-in-salzgitter-volkswagen-enters-global-battery-business-with-powerco-16899>>. 7.7.2022. Luettu 19.4.2025.

Guerra, Maria. 2023. Electric Vehicle Battery Cooling Methods Are Evolving. 15.3.2023. 2023. Verkkoaineisto. Battery Technology. <<https://www.batterytechonline.com/thermal-management/electric-vehicle-battery-cooling-methods-are-evolving>>. 15.3.2023. Luettu 4.4.2025.

Hadhuey. 2015. - Own work, CC BY-SA 4.0, <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45826314>> (TYPE 2 LATAUSPISTOKE KUVA).

Hariprasad, Priyanka, Sandeep, Ravi, Shekar. 2020. Battery Management System in Electric Vehicles. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 5.5.2020. s. 605–606.

Harto, Chris. 2020. Electric Vehicle Ownership Costs: Today's Electric Vehicles Offer Big Savings for Consumers. Consumer Reports. s. 9–11. <<https://www.consumerreports.org/hybrids-evs/evs-offer-big-savings-over-traditional-gas-powered-cars/>>. <<https://advocacy.consumerreports.org/wp-content/uploads/2020/10/EV-Ownership-Cost-Final-Report-1.pdf>>. Luettu 1.10.2024.

How Do All-Electric Cars Work? Verkkoaineisto. Alternative Fuels Data Center. <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>>. Luettu 18.6.2024.

How does the motor of an electric car work? 2023. Verkkoaineisto. Becharge. <<https://bec.energy/en/e-mobility-tips/how-does-the-motor-of-an-electric-car-work/>>. 14.4.2023. Luettu 18.7.2024.

Ikonen, Taneli. 2024a. Sähköautojen lataus – Kaikki mitä tulee tietää – Pikaopas. Verkkoaineisto. Nordic Plug. <<https://nordicplug.fi/pages/sahkoautojen-lataus-pikaopas>>. Päivitetty 27.4.2024. Luettu 11.1.2025.

Ikonen, Taneli. 2024b. Sähköauton pikalataus – opas. Verkkoaineisto. Nordic Plug <<https://nordicplug.fi/pages/sahkoauton-pikalataus-opas>>. Päivitetty 27.4.2024. Luettu 5.1.2025.

ISO15118 Plug&Charge: Tunnistaudu latausjohdolla. 2018. Verkkoaineisto. Virta. <<https://www.virta.global/fi/blogi/iso15118-plugcharge-tunnistaudu-latausjohdolla>> 12.12.2018. Luettu 18.4.2025.

Kananen, Jorma. 2017. Kehittämistutkimus interventiotutkimuksen muotona. Opas opinnäytetyön ja pro gradun kirjoittajalle. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja, 232. Tampere: Suomen Yliopistopaino – Juvenes Print.

Kokkonen, Eetu. 2019. Tiedätkö miten sähköauton akut toimivat? Volkswagen kertoo. Verkkoaineisto. Moottori. <<https://moottori.fi/uutinen/tiedatko-miten-sahkoauton-akut-toimivat-volkswagen-kertoo/>>. Luettu 11.4.2025.

Kosuru, Venkata Satya. 2023. DC-DC Converter and its Use in Electric Vehicles. Verkkoaineisto. Powerelectronicsnews. <<https://www.powerelectronicsnews.com/dc-dc-converter-and-its-use-in-electric-vehicles/>>. 28.3.2023. Luettu 20.4.2025.

Kummunmäki, Juha. 2024. Sähköauton latausaseman valinta – 11 kW vai 22 kW? -. Verkkoaineisto. Nordicplug. <<https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/sahkoauton-kotilatausasema-11kw-vai-22kw>>. 22.7.2024. Luettu 5.1.2025.

Linja-aho, Vesa. 2023. Miten sähköauton akku toimii? Nyt otetaan perusasiat haltuun – Tee-se-itse-miesten ja -naisten aika on ohi. Verkkoaineisto. Apu / Tuulilasi. <<https://www.apu.fi/artikkelit/miten-sahkoauton-akku-toimii-tasta-perusasiat-haltuun>>. 9.10.2023. Päivitetty 12.8.2024. Luettu 11.4.2025.

Lv, Shuaishuai. Wang, Xingxing. Lu, Wenfan. Zhang, Jiaqiao. Ni, Hongjun. 2021. The Influence of Temperature on the Capacity of Lithium Ion Batteries with Different Anodes. MDPI. s. 6.

Möller, Timo. Cepnik, Clemens. Azevedo, Marcelo. Campagnol, Nicolò. Kinzel, Yunjing. 2024. The future of electric vehicles & battery chemistry. Verkkoaineisto. McKinsey & Company. <<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-battery-chemistries-powering-the-future-of-electric-vehicles>>. 17.12.2024. Luettu 12.4.2025.

SFS 5610:2024 Kotitalouksiin ja vastaaviin käyttöihin tarkoitettut pistokytkimet. Yleiset vaatimukset. Sesko ry. 19.3.2024.

SFS-EN 62196 –sarja. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles. Sesko ry. 6.12.2022.

Suomen teillä liikkuu jo yli 10 000 Volkswagen ID.-malliperheen täyssähköautoa. 2024. Verkkoaineisto. <<https://news.cision.com/fi/volkswagen---k-auto/r/suomen-teilla-liikkuu-jo-yli-10-000-volkswagen-id-malliperheen-tays-sahkoautoa,c4084818>>. 19.12.2024. Luettu 23.4.2025.

Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023. Verkkoaineisto. Sesko ry. <[https://sesko.fi/wp-content/uploads/2023/06/SESKOn-lataussuositus-6-painos\\_2023-05-18.pdf](https://sesko.fi/wp-content/uploads/2023/06/SESKOn-lataussuositus-6-painos_2023-05-18.pdf)> 18.5.2023. Luettu 5.1.2025.

Sähköautot. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot)>. Luettu 23.4.2025.

Sähköauton huolto ja katsastus. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/sahkoautoillen\\_-\\_arjen\\_alykas\\_sahkoautoilu/sahkoauton\\_huolto\\_ja\\_katsastus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/sahkoauton_huolto_ja_katsastus)> Päivitetty 23.10.2024. Luettu 15.1.2025.

Sähköauton huolto - Tärkeimmät huoltokohteet. Verkkoaineisto. Vianor. <[https://vianor.fi/vianor/sahkoauton-huolto/?srsId=AfmBOor89Hvsvo\\_NPqnFjHBpXlc7h8fuqLxESIXPyvx41ltu9OkvNWaA](https://vianor.fi/vianor/sahkoauton-huolto/?srsId=AfmBOor89Hvsvo_NPqnFjHBpXlc7h8fuqLxESIXPyvx41ltu9OkvNWaA)>. Luettu 15.1.2025.

Sähkömoottorityypit. Verkkoaineisto. Motiva <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit)>. Päivitetty 28.2.2025. Luettu 17.4.2025.

Technical data of the ID.4. 2023. Verkkoaineisto. Volkswagen Newsroom. <<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/the-id4-from-volkswagen-15712/technical-data-of-the-id4-15724>>. Luettu 16.4.2025.

Understanding the Role of a Battery Management System (BMS) in Electric Vehicles. 2025. Monolithic Power 11.3.2025, s. 1.

Usein kysyttyä sähköautoilusta. Verkkoaineisto. Volkswagen. <<https://www.volkswagen.fi/fi/sahkoautot/usein-kysyttya-sahkoautoista.html>>. Luettu 19.4.2025.

Uudistetut Traficomin katsastuksen vikatilastot julkaistu - miltei joka viides sähköauto hylättiin. 2024. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://traficom.fi/fi/ajankohtaista/uudistetut-trafficomin-katsastuksen-vikatilastot-julkaistu-miltei-joka-viides>>. 22.04.2024. Luettu 20.4.2025.

Vilka, Hanna. 2021. Tutki ja Kehitä. 5. päivitetty painos. Jyväskylä: PS-kustannus. E-kirja. Luettavissa: <<https://metropolia.finna.fi/Record/3amk.290454?sid=5005401263>>. Viitattu 23.4.2025.

Vilka, Hanna. 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilijoina. Helsinki: Art House. E-kirja. Luettavissa: <<https://metropolia.finna.fi/Record/3amk.303188?sid=5005026407>>. Viitattu 23.4.2025.

Volkswagen ID.4 GTX. Verkkoaineisto. EV Database. <<https://ev-database.org/car/2030/Volkswagen-ID4-GTX>>. Luettu 18.4.2025.

Volkswagen ID.4 GTX. Volkswagen AG. <<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/id4-gtx-7052>>.

Volkswagen ID.4 is the most affordable all-wheel-drive electric vehicle on sale in the U.S. 2021. Verkkoaineisto. VW US Media Site. <<https://media.vw.com/en-us/releases/1557>>. 17.6.2021. Luettu 18.6.2024.

Volkswagen Kuvituskuvat: Moottorin arkisto.

Volkswagen MEB Battery Pack ID Family. 2023. Verkkoaineisto. Battery Design. <<https://www.batterydesign.net/volkswagen-meb-battery-pack-id-family/>>. Luettu 19.4.2025.

What Are Lithium-Ion Batteries? 2021. Verkkoaineisto. UL Research Institutes. <<https://ul.org/research-updates/what-are-lithium-ion-batteries/>>. 14.9.2021. Luettu 12.4.2025.

What Is a DC/DC converter in an Electric Vehicle (EV)? – Device that converts high voltage into low voltage –. 2023. Verkkoaineisto. Panasonic Industry. <<https://industrial.panasonic.com/ww/ss/technical/ap7>>. 22.9.2023. Luettu 3.1.2025.

What is an electric car onboard charger? Verkkoaineisto. We Power Your Car. <<https://wepoweryourcar.com/what-is-an-electric-car-onboard-charger/>>. Luettu 18.4.2025.

What Is an On-Board Charger (OBC) Incorporated in Electric Vehicles? – AC/DC Conversion System That Allows Faster Battery Charging and is Highly Efficient –. 2023. Verkkoaineisto. Panasonic Industry. <<https://industrial.panasonic.com/ww/ss/technical/ap5>>. Päivitetty 21.7.2023. Luettu 4.1.2025.

Why battery power will drive the future of transportation. 2022. Verkkoaineisto. Volkswagen. <<https://www.vw.com/en/newsroom/everything-electric/batteries.html>>. 10.5.2022. Luettu 19.4.2025.

Witt, Jon. 2024. Update: Scientists Reveal how EV Fast Charging Impacts Battery Health. Verkkoaineisto. Recurrent. <<https://www.recurrentauto.com/research/impacts-of-fast-charging>>. 11.6.2024. Luettu 19.4.2025.

Yekikian, Nick. 2023. Heaters in Electric Cars: How Do They Work? Verkkoaineisto. edmunds. <<https://www.edmunds.com/electric-car/articles/heaters-in-electric-cars-how-do-they-work.html>>. 23.5.2023. Luettu 12.4.2025.