



**SÄHKÖAUTOJEN KEHITYSTRENDIT 2010-2020 JA KEHITYSNÄKYMÄT  
TULEVAISUUDESSA**

**ELECTRIC CARS DEVELOPMENT TRENDS IN 2010-2020 AND FUTURE  
DEVELOPMENT PROSPECTS**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan kandidaatintyö

2021

Eetu Lempiäinen

Tarkastaja: TkT Harri Eskelinen

## ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Eetu Lempiäinen

### **Electric cars development trends in 2010–2020 and future development prospects**

Bachelor's thesis

2021

28 pages, 7 figures, 2 tables and 1 appendice

Examiner: D. Sc. (Tech.) Harri Eskelinen

Supervisor: D. Sc. (Tech.) Harri Eskelinen

Keywords: Electric cars, Electric car development trends, Future prospects for electric cars

The world is constantly striving to find clean power sources for vehicles. Transportation as a whole is one of the biggest emitters of toxic emissions. Electric cars are a possible solution to this challenge. The aim of this bachelor's thesis is to collect information of the development trends of electric cars in the 2010–2020 century and the future development prospects.

The research utilizes triangulation, which is carried out with the help of scientific sources, commercial sources and expert interviews. The findings of the three different methods of triangulation are combined into a set of benchmarks that include the charging network, battery capacity, ranges, CO2 emissions, and electric motors.

After 10 years, traffic will be significantly electrified. Battery technologies are evolving and capacity can be increased without a significant increase in battery weight. The charging infrastructure will grow and the fast charging stations will increase. Traditional cable charging will still be the most popular charging method in the near future. Battery capacities have grown significantly in ten years and the growth seems to continue in the future. Induction motors and permanent magnet motors currently compete in electric car motors. From these, the induction motor is more preferable to manufacture, but the permanent magnet motor has a better power-to-density ratio. There are still major development targets in batteries and charging systems. Temperature dependence factors related to battery capacities still require research.

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Konetekniikka

Eetu Lempiäinen

### **Sähköautojen kehitystrendit 2010–2020 ja kehitysnäkymät tulevaisuudessa**

Konetekniikan kandidaatintyö

28 sivua, 7 kuvaa, 2 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastaja: TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja: TkT Harri Eskelinen

Avainsanat: Sähköautot, Sähköautojen kehitystrendit, Sähköautojen tulevaisuudennäkymät

Maailmalla pyritään jatkuvasti etsimään puhtaita voimanlähteitä ajoneuvoille. Liikenne kokonaisuudessaan on yksi suurimmista myrkyllisten päästöjen aiheuttajista. Sähköautot ovat mahdollinen ratkaisu tämän haasteen lieventämiseen. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kerätä tietoja sähköautojen kehitystrendeistä 2010–2020 luvulla sekä kehitysnäkymistä tulevaisuudessa.

Tutkimuksessa hyödynnetään triangulaatiota, joka toteutetaan tieteellisten lähteiden, kaupallisten lähteiden sekä asiantuntijahaastattelun avulla. Triangulaation kolmen eri menetelmän havainnot yhdistetään kokonaisuudeksi vertailukriteeristön avulla, johon kuuluvat latausverkosto, akkujen kapasiteetti, kantamat, hiilidioksidipäästöt sekä sähkömoottorit.

10 vuoden kuluttua liikenne on huomattavasti sähköistynyt. Akkutekniikat kehittyvät ja kapasiteettia saadaan kasvatettua ilman merkittävää akkujen painon nousemista. Latausinfrastruktuuri tulee kasvamaan ja pikalatausasemat lisääntymään. Perinteinen kaapelilla lataaminen tulee vielä lähitulevaisuudessa olemaan suosituin lataustapa. Akkujen kapasiteetit ovat kasvaneet kymmenessä vuodessa huomattavasti ja tulevaisuudessa kasvu näyttää jatkuvan. Sähköautojen moottoreissa kilpailevat tällä hetkellä induktiomootorit ja kestopagneettimootorit. Näistä induktiomootori on edullisempi valmistaa, mutta kestopagneettimootorilla on parempi tehotehys suhde. Suurimmat kehityskohteet ovat akuissa ja latausjärjestelmissä. Akkumateriaalien kierrätys on vielä haasteellista. Tutkimusta vaativat vielä akkukapasiteetteihin liittyvät lämpötilariippuvuustekijät.

## Sisällysluettelo

Abstract

Tiivistelmä

1. Johdanto.....	5
1.1 Tutkimusongelma.....	6
1.2 Työn tavoitteet, tutkimuskysymykset sekä rajaukset.....	7
2. Sähköautotyypit .....	8
2.1 Täyssähköautot .....	8
2.2 Polttonennoautot .....	9
2.3 Hybridiautot .....	9
2.4 Ladattavat tai pistoke- hybridiautot .....	10
3. Tutkimusmenetelmät trendien ja kehitysnäkymien tunnistamiseksi.....	11
4. Tieteellisiin ja kaupallisiin lähteisiin perustuvat havainnot sähköautojen kehityksestä.....	13
4.1 Tietokannoista löytyvä aineisto sähköautojen kehityksestä .....	13
4.2 Autovalmistajien tuottama kaupallinen aineisto .....	16
5. Asiantuntijahaastattelun tulokset.....	18
6. Tiedonhaun ja asiantuntijahaastattelun havaintojen yhdistäminen .....	20
7. Pohdinta .....	24
7.1 Vertailu eri lähteiden tuottaman informaation kesken .....	24
7.2 Tutkimuksen luotettavuus .....	24
7.3 Johtopäätökset.....	24
7.4 Tulevaisuuden näkymiin liittyvät epävarmuustekijät .....	25
7.5 Jatkotutkimusaiheet.....	25
Lähteet .....	26

Liitteet

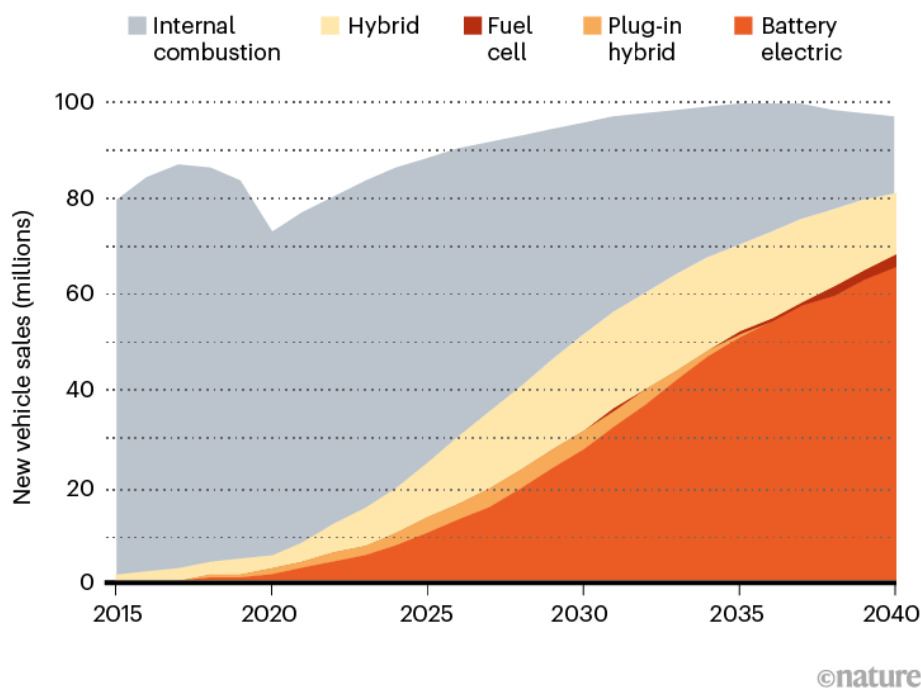
Liite 1. Asiantuntijahaastattelun kysymykset

## 1. Johdanto

Maailmalla pyritään jatkuvasti etsimään puhtaita voimanlähteitä ajoneuvoille. Liikenne kokonaisuudessaan on yksi suurimmista myrkyllisten päästöjen aiheuttajista, joka edistää ilmastonmuutosta sekä aiheuttaa ihmisille terveyshaittoja. (Wilberforce et al. 2017, s. 25695) Sähköautot ovat mahdollinen ratkaisu tämän haasteen lieventämiseen. Sähköautolla itse ajaminen ei tuota päästöjä, mutta päästöjä syntyy välillisesti sähkön tuottamisesta, sekä sähköautojen valmistusprosessista. Tämä kandidaatintyö kertoo sähköautojen kehitystrendeistä 2010–2020 välillä sekä aiheen kehitysnäkymistä tulevaisuudessa. Kuvassa 1 on Castelvechin artikkelissa oleva ennustus autokannan sähköistymisestä 2040 mennessä.

### GOING ELECTRIC

A forecast suggests that by 2035, more than half of new passenger vehicles sold worldwide will be electric, even without further policies to promote switching.



Kuva 1. Ennusteen mukaan vuoteen 2035 mennessä yli puolet uusista myydyistä autoista ovat sähköisiä. (Castelvechi, D. 2021, s.2)

## 1.1 Tutkimusongelma

Tutkimuksen ongelmina ovat ympäristöystävällisyyteen liittyen hiilidioksidipäästöt. Sähköautojen valmistus ja akkujen kierrätys aiheuttavat suuren määrän hiilidioksidipäästöjä. (Andwari et al. 2017, s. 424) Akkujen raaka-aineista osa on harvinaisia metalleja, joiden louhinta aiheuttaa suuria päästöjä. Nämä metallit louhitaan suurilta osin Aasiasta ja niiden kuljetus Eurooppaan aiheuttaa myös suuret hiilidioksidipäästöt. (EAA 2016, s. 41)

Joidenkin uusien sähköautojen akut ovat jo niin painavia, että autojen tehopainosuhte on mennyt huonoksi. Liian monta matkustajaa kyydissä saattaa saada jo auton suorituskyvyn laskemaan ja kuormankannon yläraja tulee vastaan, joka kuluttaa akun nopeammin tyhjäksi. Akkujen kehittyessä niiden paino ei saisi kuitenkaan mennä niin suureksi, että ajomukavuus kärsii. Sähköautojen ostopäätökseen vaikuttaa tällä hetkellä vahvasti yhdellä latauksella päästävä kilometrimäärä ja toisaalta latauspisteiden riittävyys ja latausnopeus. (Andwari et al. 2017, s. 415–424) Markkinoilla on tällä hetkellä laaja valikoima erilaisia sähköautoja, joidenka moottorit kehittyvät kovalla vauhdilla. Nämä saattavat lisätä myös päästöjä valmistusketjussa.

Aiheeseen liittyy monelta eri kannalta ongelmia, jotka on syytä selvittää, jotta saadaan ajankohtainen ja tiivis katsaus ongelmista ja niiden ratkaisuksista.

## 1.2 Työn tavoitteet, tutkimuskysymykset sekä rajaukset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena koota tietoja sähköautojen kehitystrendeistä 2010–2020 välillä, sekä kehitysnäkymistä tulevaisuudessa. Kehitystrendien avulla pyritään selvittämään, minkälainen on sähköautojen tilanne tulevaisuudessa 10 vuoden kuluttua. Tutkimuksen taustaksi esitellään myös erilaiset sähköautotyypit.

Työn tutkimuskysymyksinä ovat:

- Miten sähköautojen valmistukseen, erityisesti akkujen ympäristöystävällisyyteen liittyvät epäkohdat voitaisi ratkaista?
- Mitä uusimmat sähkömoottorisovellukset ovat ja mitä ominaisuuksia niissä on?
- Millä keinoilla akkujen kapasiteettia voitaisiin kasvattaa ja painoa pienentää?
- Minkälainen olisi optimaalinen latausverkon tiheys ottaen huomioon nykyisten akkujen suorituskyvyn?

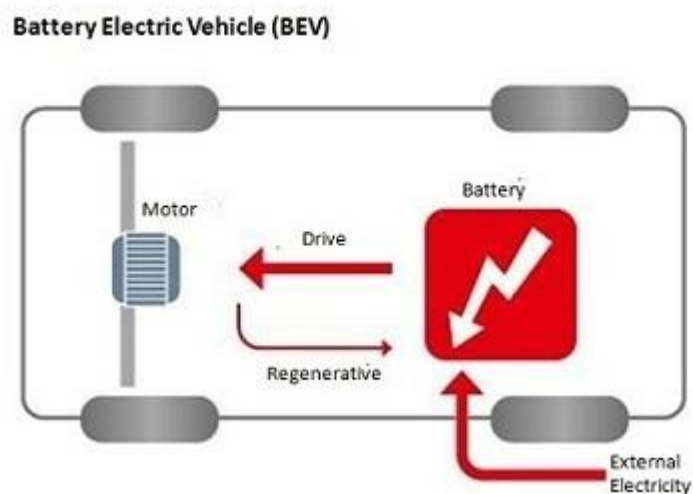
Tutkimus on rajattu käsittelemään vain henkilöautokokoisia sähköautoja. Esimerkiksi sähköistä julkista liikennettä tai muita sähköajoneuvoja ei käsitellä tässä tutkimuksessa.

## 2. Sähköautotyypit

Luvussa 2 esitellään lyhyesti erilaiset sähköautotyypit ja niiden toimintatavat. Sähköautotyyppejä ovat täyssähköautot, polttokennoautot, hybridautot sekä ladattavat hybridautot.

### 2.1 Täyssähköautot

Täyssähköautot toimivat akkuihin varastoidulla sähköllä, jotka ladataan verkkovirralla. Niiden pääkomponentit koostuvat suurjänniteakusta, yhdestä tai useammasta sähkömoottorista (joko tasa- tai vaihtovirta) ja elektroniikan säätöjärjestelmästä. Polttomoottoriautoihin verrattuna täyssähköautot pystyvät tuottamaan vakion ja suuren vääntömomentin koko auton nopeusalueellaan. Näin ollen ei tarvita alennusvaihteistoa niin kuin tavallisissa polttomoottoriautoissa tarvitaan. (Nieuwenhuis, Cipcigan & Sonder 2020, s. 228) Täyssähköautoilla ajaminen ei tuota pakokaasupäästöjä, koska kaikki voima tulee sen akkuihin varastoidusta energiasta. (Wilberforce et al. 2017, s. 25703) Kuvassa 2. on esitettyä täyssähköauton toimintaperiaate.

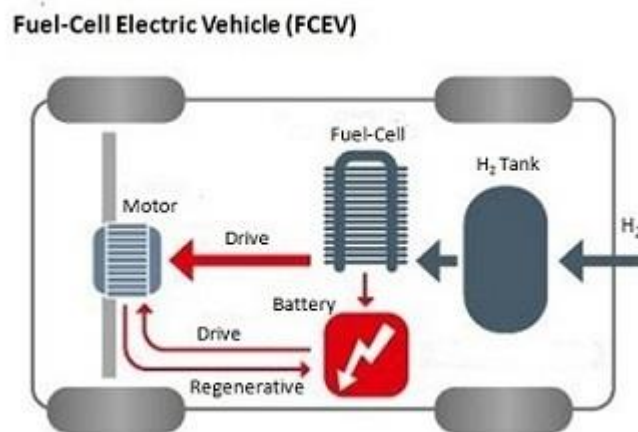


Kuva 2. Täyssähköauton toimintaperiaate. (Omazaki. Types of Electric Cars and Working Principles.)



## 2.2 Polttokennoautot

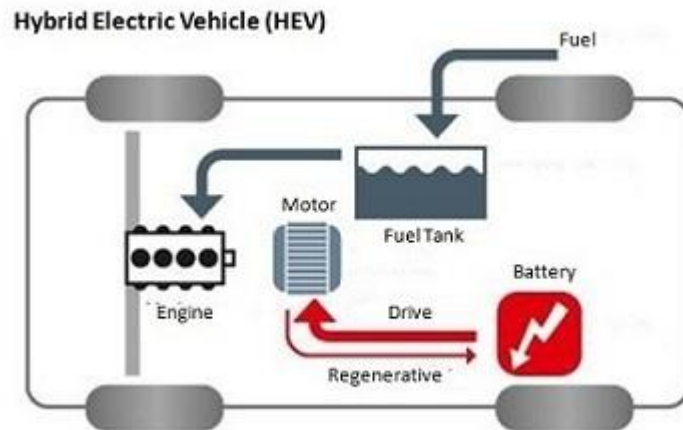
Polttokennoautot lukeutuvat myös täysin sähköisiksi autoiksi. Niillä on samanlainen voimansiirto kuin täyssähköautoilla, mutta energianlähteenä toimii polttokennopino. Polttokennoautoihin tankataan vetyä, joka tuottaa vain vettä ja lämpöä eikä ollenkaan pakokaasupäästöjä. (Wilberforce et al. 2017, s. 25710) Kuvassa 3. on esitettyä polttokennoauton toimintaperiaate.



Kuva 3. Polttokennosähköauton toimintaperiaate. (Omazaki. Types of Electric Cars and Working Principles.)

## 2.3 Hybridiautot

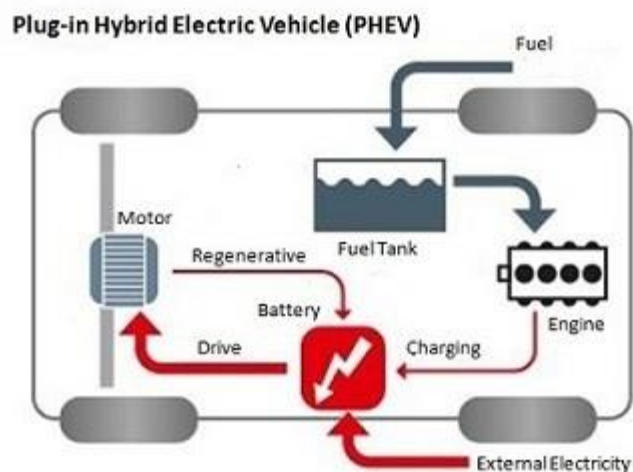
Hybridiautot ovat autoja, jotka toimivat sekä polttomoottorilla että sähkömoottorilla. Tavallisesti hybridiautojen akut latautuvat regeneratiivisesti jarrutuksen yhteydessä. Sähkömoottori tukee polttomoottoria kiihdytyksen aikana tai pysähtyessä sekä liikkeelle lähdössä. (Nieuwenhuis et al. 2020, s. 229) Hybridiautoissa on pienempi polttoaineenkulutus sekä pakokaasupäästöt tavalliseen polttomoottoriautoon verrattuna. (Wilberforce et al. 2017, s. 25727) Kuvassa 4. on esitettyä hybridiauton toimintaperiaate.



Kuva 4. Hybridauton toimintaperiaate. (Omazaki. Types of Electric Cars and Working Principles.)

#### 2.4 Ladattavat tai pistoke- hybridautot

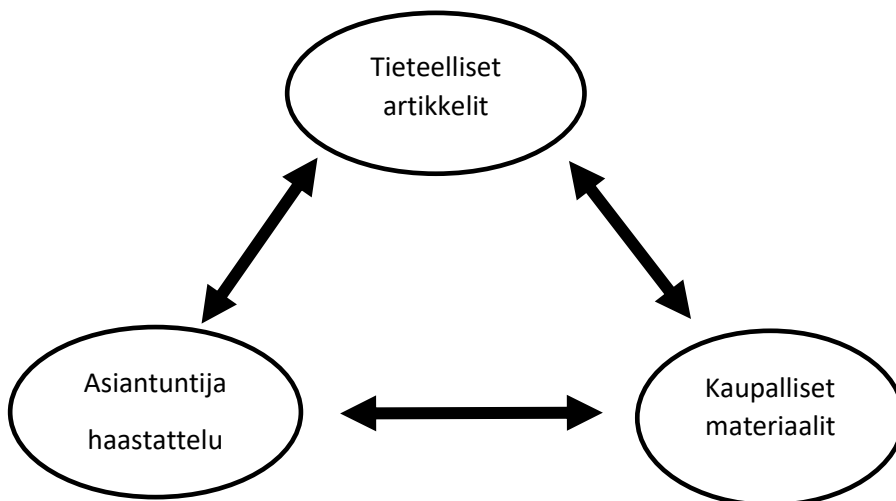
Ladattavat hybridautot toimivat sekä polttomoottorilla että sähkömoottorilla. Erona tavallisiin hybridautoihin on se, että niillä voi ajaa myös joko täyssähköisenä tai pelkällä polttomoottorilla. (Wilberforce et al. 2017 s.25708–25709) Ladattavien hybridautojen akut ovat huomattavasti suurempia kuin tavallisten hybridautojen ja niiden akut ladataan verkkovirralla. Suurempi akku sekä polttomoottori yhdessä tekevät ladattavien hybridautojen kantamasta huomattavasti suuremman kuin tavallisissa hybridautoissa. (Nieuwenhuis et al. 2020, s. 229) Kuvassa 5. on esitetty ladattavan hybridauton toimintaperiaate.



Kuva 5. Ladattavan hybridi-auton toimintaperiaate. (Omazaki. Types of Electric Cars and Working Principles.)

### 3. Tutkimusmenetelmät trendien ja kehitysnäkymien tunnistamiseksi

Tutkimus tehdään vertailemalla ja pohtimalla eri lähteistä saatuja tietoja liittyen sähköautojen kehitystrendeihin ja tulevaisuuden näkymiin. Tutkimuksessa hyödynnetään triangulaatiota, jossa tutkittavaa asiaa tarkastellaan kolmesta eri näkökulmasta. Triangulaation avulla pyritään lisäämään tutkimuksen luotettavuutta hankkimalla tietoa kolmesta toisistaan riippumattomasta lähteestä sekä tarkastelemalla, kuinka hyvin nämä lähteet tukevat toisiaan. Triangulaation idea on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Tutkimuksessa käytettävän triangulaation periaatekuva.

Tieteellisiä artikkeleita etsiessä hyödynnettiin LUT-tiedekirjaston aineistotietokanta Primoa sekä Scopusta. Lähteitä etsittiin vuodesta 2015 alkaen ja vain vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita. Tietokannoista löytyvistä lähteistä katsottiin, että lähteillä on hyvät SNIP, SJR

ja CiteScore arvot. Tutkimuksessa pyrittiin etsimään vain tutkimusongelmiin liittyviä artikkeleita. Tietoa haettiin myös Google Scholar hakukoneen kautta saatavilla olevista tieteellisistä artikkeleista. Kaupallisia materiaaleja käytettiin myös tutkimusta tehdessä. Näistä haettiin tietoa sähköautojen valmistajien kaupallisista materiaaleista heidän nettisivuiltaan. Kaupallisia lähteitä etsiessä tutkittiin ensin minkä sähköautovalmistajien autoja on eniten Suomessa tällä hetkellä. Kolmantena lähestymistapana oli asiantuntijahaastattelu. Haastattelussa haastateltiin LUT:n sähkötekniikan professoria. Haastateltavan henkilön osaamisalue soveltuu työhön hyvin, koska hän on sovelletun elektroniikan asiantuntija. Haastattelukysymykset ovat esitettynä liitteessä 1. Haastattelu toteutetaan avoimena haastatteluna.

Triangulaation kolmen eri menetelmän tuottamat havainnot yhdistetään kokonaisuudeksi taulukon 1. vertailukriteeristön avulla. Tieteellisistä lähteistä saadut havainnot ovat esitettynä luvussa 4.1, kaupallisista lähteistä luvussa 4.2 ja asiantuntijahaastattelun tulokset luvussa 5. Näistä kolmesta eri lähestymistavasta saadut havainnot ovat esitettynä luvussa 6. täytetyssä vertailukriteeritaulukossa.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetty vertailukriteeristö

Vertailukriteeri	Havainnot tieteellisistä lähteistä	Havainnot kaupallisista lähteistä	Havainnot asiantuntijahaastattelusta	Johtopäätökset
Latausverkosto				
Akkujen kapasiteetti				
Kantamat				
Hiiidioksidipäästöt				
Sähkömoottorit				

## 4. Tieteellisiin ja kaupallisiin lähteisiin perustuvat havainnot sähköautojen kehityksestä

Luvussa 4. on esitettyä tietokannoista sekä kaupallisista lähteistä löytyvät aineistot sähköautoista liittyen niiden latausverkostoon, akkujen kapasiteettiin, autojen kantamiin, hiilidioksidipäästöihin sekä sähkömoottorisovelluksiin.

### 4.1 Tietokannoista löytyvä aineisto sähköautojen kehityksestä

Sähköautojen tyypillisin lataustapa on sähköverkosta lataaminen kaapelin kautta. Menetelmä on tehokas, kevyt ja kompakti. Kaapelin kautta lataamiseen liittyy kuitenkin turvallisuus ongelmia, sillä johdoissa kulkee suuri jännite. Sähköautojen syöttölaitteet ovat vaarojen ehkäisemiseksi suunniteltu siten, että sähkövirta pysähtyy, jos johdon liitintä ei ole kytketty kunnolla. Tyypillisin sähköautojen lataus tapahtuu 220V vaihtovirralla, jolla akut latautuvat täyteen noin 5–8 tunnissa. (Andwari et al. 2017, s. 419) Nykyisin on olemassa myös pikalatausasemia, joissa käytetään tasavirtalatausteknologiaa. Pikalatausasemien teholuokat ovat huomattavasti korkeammat kuin tavallisten latausasemien tehot. Näissä noin 80 % akkujen varauksesta saadaan ladattua alle puolessa tunnissa. Pikalatausasemat ovat tulevien vuosien houkuttavimmat latausratkaisut sähköautoilussa. (Nieuwenhuis et al. 2020, s. 238)

Kaapelin kautta lataamiselle vaihtoehtoinen lataustapa on akkujen vaihtoasemat, jotka olisivat nopeimpia sähköautojen latausvaihtoehtoja. Akun latauksen sijaan se korvattaisiin suoraan jo täyteen ladatulla akulla. Tällä ratkaisulla on kuitenkin neljä pääongelmakohtaa. Akusto pitäisi fyysisesti avata, joka aiheuttaisi kipinöinti riskiä ja heikentäisi koskettimia. Toiseksi kyseiset asemat edellyttävät kalliin infrastruktuurin koskien akkujen lataamista, valvontaa, varastointia sekä huomattavaa määrää akkuja. Kolmanneksi sähköautojen akustot pitäisi suunnitella juuri tähän sopiviksi, eikä näin ole useimmissa kaupallisissa malleissa tehty. Viimeisenä on korkeatasoisen standardin ylläpito. Useiden erilaisten ja yhteensopimattomien akkujen olemassaolo markkinoilla pakottaisi asemien varastoimaan jokaista erilaista akkua, mikä lisäisi tarvittavaa varastointitilaa ja investointeja.

Kolmantena sähköautojen latausvaihtoehtona ovat induktiiviset laturit. Menetelmällä sähköautot latautuvat magneettisella induktiolla, jossa latausinfrastruktuuri on näkymätön ja huomaamaton tien pinnan alla. Menetelmän tärkeimpänä etuna on sen turvallisuus. Kaapeleihin kompastumisen ja kipinöiden vaaraa ei ole. Hyötysuhde on kuitenkin alle 90 %, joka on pienempi kuin tavallisissa latausjohdoissa. Laturin lähettämä sähkömagneettinen säteily saattaa kuitenkin vaikuttaa auton elektroniikkaan ja autojen suojausta tälle haitalle tulisi vielä kehittää. (Andwari et al. 2017, s. 419–420)

Latausinfrastruktuurin saavutettavuus voidaan jakaa yksityisiin, julkisiin ja puolijulkisiin latausinfrastruktuureihin. Yksityinen latausinfrastruktuuri tarkoittaa kuluttajien omia latauspaikkoja esimerkiksi autotalliin asennettu latauspylväs. Julkinen latausinfrastruktuuri pitää sisällään yleiset pysäköintipaikat, huoltoasemat ynnä muut, jotka ovat avoinna kaikille kuluttajille. Puolijulkinen latausinfrastruktuuri rajoittuu tietyille ihmisryhmille esimerkiksi työpaikkojen latauspylväät työntekijöille. Vaikka suurin osa sähköautojen käyttäjistä haluaisi käyttää yksityistä latausinfrastruktuuria, ovat julkiset latauspaikat välttämättömiä, jotta käyttäjät voivat ajaa pidempiäkin matkoja. (Zhang et al. 2018, s. 501)

Tärkeänä tekijänä latausinfrastruktuurin käyttöönotossa on sähköautojen käyttäjien latauskäyttäytymisen ymmärtäminen latauspaikkojen ja määrien suhteen. Tutkimusten perusteella on huomattu, että suurin osa sähköautojen käyttäjistä haluaisivat ladata autonsa kotona iltaisin suurimman sähköverkon kysynnän aikana. Pysäköintipaikat ovat kuitenkin sähköautojen suosituin latauspaikka etenkin pikalataustolpat. (Morrissey, Weldon & O'Mahony 2016, s. 258)

Nykyisin sähköautoissa suosituin akkutyyppe on litiumioniakku. Sähköautojen teknisten ominaisuuksien perusteella helposti laskettava parametri on energiankulutus ajettua kilometriä kohti. Nykyaikaisissa sähköautoissa tämä parametri on melko laajalla skaalalla noin 67–216 Wh/km. Akkujen painoa lisäävät lisäelementit kuten akkujen hallintajärjestelmä, jäähdytys- ja turvajärjestelmä sekä akkumoduulien asennuslaatikko. Nämä kaikki elementit huomioon ottaen akkujärjestelmän hintana voi olla jopa 1 €/Wh. Autovalmistajat eivät halua nostaa akkujen kapasiteettia liikaa, koska 100 km ajoon akkujärjestelmän paino voi nousta yli 150 kg. (Berjoza & Jurgena 2017, s. 1388–1389) Vuonna 2017 täyssähköautoissa akkujen kapasiteetit alkoivat 18 kWh arvosta ja keskiarvo oli noin 45 kWh. (Zubi et al. 2018, s. 298–299) Teoriassa kaksinkertainen akun kapasiteetin lisäys pitäisi johtaa kaksinkertaiseen kantamaan, mutta näin ei kuitenkaan tapahdu.

Kapasiteetin lisääminen lisää huomattavasti inertiamassaa, joka hidastaa auton kiihtymistä ja kantamaa. Esimerkkinä Tesla Model S kahden mallin välillä akun kapasiteettia nostettiin 41 % ja sen toimintasäde kasvoi vain 15 %. Tämä on tyypillistä sähköautoille, jotka kasvattavat akun kapasiteettia käyttämällä saman tekniikan akkuja kapasiteetin lisäämiseksi. (Berjoza et al. 2017, s. 1391)

Nyky-yhteiskunnassa käytetään ajoneuvoja, joissa tavallisesti ajomatka on yli 600 km ja polttoaineiden täyttöaika alle viisi minuuttia ja tankkauspaikkoja on laajalti melkein joka paikassa. Ladattavat hybridiautot eivät juurikaan poikkea tästä nykyisestä standardista, kun taas täyssähköautot pyrkivät yhä pääsemään tälle tasolle. Tesla on kuitenkin osoittanut nykyisellä tekniikallaan, että on hyvin mahdollista saavuttaa yli 500 km ajomatkat nopeilla alle tunnin latausajoilla. Tästä alkaa vähitellen tulemaan standardi myös muilla sähköautoilla. Yli 500 km ajomatkan sähköautot vaativat kuitenkin yli 80 kWh:n akun kapasiteettia, joka ei ole tällä hetkellä taloudellisesti kannattavaa keskiluokkaisille ihmisille. Suurimmat sähköautomarkkinat ovat tällä hetkellä 20–50 kWh:n akkukapasiteettialueella. Tulevaisuudessa kuitenkin akuissa saavutetaan huomattavia kustannussäästöjä ja pidemmän ajomatkan edullisuus kehittyy ja yli 500 km ajomatkoista sähköautoissa tulee lopulta standardi. (Zubi et al. 2018, s. 300)

Vaikka sähköautojen päästöt koko elinkaaren aikana ovat kokonaisuudessaan tällä hetkellä vain hieman alemmat kuin dieselpolttomootoriautojen, sitä pidetään yleensä yhtenä ratkaisuna kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteisiin vuoteen 2050 mennessä. (Andwari et al. 2017, s. 424) Sähköautojen hallitsevaa maailmaa odottaessa materiaalitutkijat työskentelevät kahden suuren haasteen edessä. Akuissa olevien metallien määrää tulisi vähentää sillä ne ovat kalliita ja niitä on hankalasti saatavilla, ja louhinta aiheuttaa suuret päästöt. Toisena haasteena on akuissa olevien harvinaisten arvometallien kierrätys. (Castelvecchi 2021, s. 337) Sähköautojen valmistus on tyypillisesti paljon energiaintensiivisempää kuin tavallisten polttomootoriautojen. Sähköautojen valmistukseen tarvitaan yleensä noin 70 % enemmän energiaa tavallisiin polttomootoriajoneuvoihin verrattuna. Tämä johtuu pääasiassa sähkömoottorien ja akustojen valmistuksesta. Sähkömoottoreissa käytettävissä magneeteissa säkä akuissa on useita harvinaisia metalleja, joita ei ole saatavilla Euroopassa. Näiden metallien louhinta ja kuljetus aiheuttavat suuret kasvihuonepäästöt. Erityisesti nikkelin ja koboltin tuotantoprosessit aiheuttavat merkittäviä ympäristöriskejä. (EAA 2016, s. 41–44)

Sähköautot aiheuttavat elinkaarensa aikana erilaisia päästöjä. Tuotantovaiheessa päästöt sisältävät mekaanisten osien valmistuksessa aiheutuvat päästöt. Näissä sähköautot sekä polttomoottoriautot aiheuttavat samanlaiset päästöt. Päästöjä aiheutuu myös mahdollisesti sähköntuotannosta, jos sähköautoa ladatessa energia tulee uusiutumattomista lähteistä, kuten maakaasusta tai hiilestä. Auton elinkaaren lopulla sähköautojen ja polttomoottoriautojen kierrätyksessä aiheutuu muuten samanlaiset hiilidioksidipäästöt lukuun ottamatta sähköautojen moottorien ja akkujen kierrätystä. (Vidhi & Shrivastava 2018, s. 5)

Nykyään suurimmassa osassa sähköautoista on käytössä joko kestopagneettimoottorit tai induktio-moottorit. Huomattava osa edistyksellisistä sähköautoista käyttää induktio-moottoria. Moottoreissa tehotehiys suhde on tärkeä vertailuarvo. Tehotehiys suhde saadaan jakamalla huipputeho (kW) massalla (kg). Kestopagneettimoottoreissa on huomattavasti parempi tehotehiys suhde kuin induktio-moottoreissa. (Bhatt, Mehar & Sahajwani 2019, s. 4–6)

#### 4.2 Autovalmistajien tuottama kaupallinen aineisto

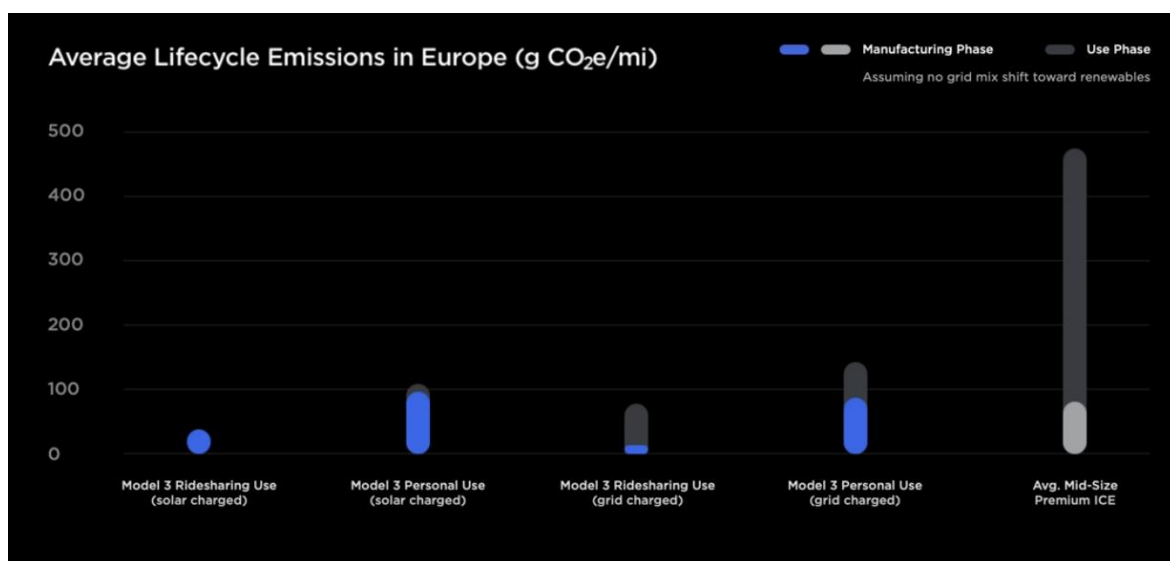
Kaupallisia materiaaleja etsittiin autovalmistajien nettisivuilta. Tutkimukseen autovalmistajista valittiin 4 eniten käytössä olevaa täyssähköautoa Suomen liikenteessä tällä hetkellä. 4 eniten käytössä olevaa sähköautomerkkiä ovat Tesla (5452 kpl), Volkswagen (3316 kpl), Nissan (1591 kpl) sekä Hyundai (1580 kpl). (Traficom, Liikennekäytössä olevat sähköautot. 2021) Autovalmistajien internet sivuilta löytyneen aineiston mukaan kyseisten uusien sähköautojen kantamat ovat 260–637 km välillä. (Tesla, Volkswagen, Nissan & Hyundai. 2021)

Vuoden 2021 Tesla autojen kantamat ovat jokaisessa mallissa yli 500 km, joista suurimman arvon saa model S, jonka kantamaksi ilmoitettu valmistajan sivulla jopa 637 km. Teslan akkutehtaat ovat ottaneet käyttöön oman suljetun kierron kierrätysjärjestelmän, joka varmistaa, että 100 % vastaanotetuista Teslan akuista kierrätetään ja jopa 92 % niiden raakametalleista käytetään uudelleen. (Tesla. 2021)

Ajoneuvojen ympäristövaikutusten määrittämiseksi on huomioitava sen koko elinkaari. Keksimääräisesti polttomoottoriajoneuvoilla hiilidioksidipäästöt ovat elinkaarensa aikana noin 69 tonnia CO<sub>2</sub> päästöjä lukuun ottamatta öljynjalostuksessa aiheutuvia päästöjä. (Tesla. 2021) Kuvassa 7 on esitettyä uuden Tesla Model 3 elinkaaren ja käytön aikaiset



hiilidioksidipäästöt verrattuna keskimääräisiin polttomoottoriajoneuvojen hiilidioksidipäästöihin. Kuvasta havaitaan, että sähköauton valmistusprosessi henkilökohtaisella käytöllä tuottaa hieman suuremmat hiilidioksidipäästöt kuin polttomoottoriauton, mutta käytöstä aiheutuvat päästöt ovat aurinkosähköllä nollassa ja latausverkkoa käytettäessä moninkertaisesti alemmat kuin polttomoottoriautolla. (Tesla. 2021)



Kuva 7. Keskimääräiset elinkaaren hiilidioksidipäästöt Euroopassa. (Tesla. 2021)

Tutkimukseen valituista neljästä sähköautovalmistajasta kaikki muut ilmoittivat internet-sivuillaan autoissa käytettävien akkujen kapasiteetit paitsi Tesla. Uusien autejen akkujen kapasiteetit ovat 36,8–87 kWh välillä. Keskiarvallisesti näiden autojen akkujen kapasiteetti on noin 62 kWh. Näistä Pienimmällä akun kapasiteetilla oli Volkswagen e-up 36,8 kWh ja suurin Nissan ARIYA 87 kWh akulla.

Hyundain, Nissanin sekä Volkswagenin sähköautoja pystyy ladata vaihtovirralla kotona ja julkisilla latausasemilla sekä tasavirralla pikalatausasemilla. Tesloja voi ladata kotiin asennettavalla Teslan lataus tolppalla, super charger -asemilla tai destination charger -asemilla. (Tesla, Volkswagen, Nissan & Hyundai. 2021)

Luvun 4. käsitellyistä aiheista sähköautojen akkujen kapasiteettiin, kantamiin, latausverkostoon, hiilidioksidipäästöihin sekä sähkömoottorisovelluksiin liittyen saatiin tiedeyhteisön näkökulmat sekä kaupalliset sähköautojen valmistajien näkökulmat.

## 5. Asiantuntijahaastattelun tulokset

Asiantuntijahaastattelussa haastateltiin LUT:n sähkötekniikan professoria. Haastateltava on sovelletun elektroniikan asiantuntija, jonka osaamisalue soveltuu työhön hyvin. Haastattelulla pyritään vahvistamaan tutkimuksen luotettavuutta ja toteutetaan tutkimusasetelmassa kuvattu triangulaatio. Haastattelu toteutettiin avoimena haastatteluna ja haastattelukysymykset löytyvät liitteestä 1.

Haastateltavan mukaan liikenteessä tullaan ajamaan 10 vuoden päästä suurilta osin sähköautoilla, koska sähköjakelu infrastruktuuri on jo nyt olemassa toisin kuin muiden korvaavien polttoaineiden tai energioiden. Vaihtoehtoisen infrastruktuurin rakentaminen veisi huomattavan pitkän ajan, joten sähköautoihin siirtyminen on helppoa ja todennäköistä.

Sähköautojen moottoreissa tällä hetkelle keskenään kilpailevat induktiomootorit sekä kestmagnetoidut tahtimootorit. Autoteollisuudessa avainsanoina ovat keveys ja kustannustehokkuus. Induktio-mootori on edullisempi valmistaa, mutta kestmagneettitahtikoneessa on parempi tehotehiheys suhde. Kestomagneettimoottoreissa haasteena on kuitenkin kestmagneeteissa käytettävät materiaalit, joista Kiina omistaa suurimman osan mikä vaikuttaa kustannuksiin huomattavasti. Kestomagneettimoottoreiden valmistaminen on haastavampaa, koska kestmagneettien asennus roottoreihin on hankalaa ja automatisointi ei vielä ole hyvin kehittynyt. Hiilinanoputkikämeillä tehty sähkömootori keventäisi moottoria huomattavan monta kiloa. Tämä ei ole vielä kuitenkaan toteutunut, mutta tätä ollaan tutkimassa. Valmistajat pyrkivät saamaan moottoreista kevyempiä ja helpommin valmistettavia.

Sähköautojen akkutuotannon ympäristövaikutusten hallinta on iso haaste. Valmistukseen liittyvät ympäristöongelmat lähtevät jo kaivostoiminnasta ja päättyvät akkujen kierrätyksessä kemiallisiin prosesseihin. Mitä enemmän akkujen materiaaleja hankittaisi stabiileista Suomen kaltaisista valtioista, joissa ympäristöseikat otetaan huomioon tarkemmin sitä ympäristöystävällisempää tuotanto olisi. Jos akkumateriaalien raaka-aineiden hankinta alkaa keskittyä vain kehitysmaihin, joissa työolosuhteet ja ympäristöasiat eivät ole kunnossa, vihreänä pidetyn sähköautoilun imago huononee.

Latausinfrastruktuurin kehitys on vielä vaiheessa suomessa. Lataus paikkoja ei ole vielä riittävää määrää, mutta niitä rakennetaan koko ajan kovalla vauhdilla. Rakennustoiminnassa haasteena on standardisointi, kun on olemassa montaa erilaista liittintyyppiä. Vaikka lataustolppia on jo jonkin verran standardisoitu kaikki autovalmistajat eivät välttämättä noudata niitä. Tämä hidastaa latausinfrastruktuurin rakentamista, mutta se kehittyy kovalla vauhdilla.

Haastateltavan mukaan sähköautojen suurimmat kehityskohteet liittyvät akkuihin ja latausjärjestelmiin. Verrattaessa esimerkiksi bensa-auton tankkaamiseen polttoaineen tankkaamisessa energiaa menisi autoon laskennallisesti noin 6–10 MW. Tämä olisi hyvin epätodennäköistä sähköautojen latausnopeudeksi. Lataus on siis polttoaineisiin verrattuna hidasta ja sen nopeuttamisessa on vielä paljon kehitettävää. Akkukapasiteeteissa on myös kehitettävää etenkin niiden lämpötilariippuvuustekijät aiheuttavat vielä paljon töitä tutkimuksessa ja tuotekehityksessä.

Polttokennoautoissa haasteena on vety. Vetyä ei ole vapaana saatavilla luonnossa, joten sitä joudutaan valmistamaan. Valmistamisen hyötysuhde on suhteellisen heikko. Sähkön tulisi olla todella halpaa, jotta sitä kannattaisi käyttää suurissa määrin vedyn valmistuksessa. Vedyn käyttäminen liikennepolttoaineena edellyttäisi vedynjakeluinfrastruktuurin, jota suomessa ei tällä hetkellä ole. Meriliikenteessä vedyllä tulee olemaan suurempi rooli tulevaisuudessa sekä mahdollisesti lentoliikenteessä.

Sähköautoilun yksi suurimmista haasteista on akkumateriaalien kierrätys, kun akun elinikä on äärellinen. Akkumateriaalien kierrättämiseen liittyvä infrastruktuuri on vasta rakentumassa, eikä ole vielä hyviä tekniikoita, miten saataisiin kustannustehokkaasti ja järkevästi talteen arvokkaat materiaalit akustoista.

Asiantuntijahaastattelun kysymykset suunnattiin niin, että vertailukriteeristön asioihin tulee asiantuntijan näkökulmat.

## 6. Tiedonhaun ja asiantuntijahaastattelun havaintojen yhdistäminen

Luvussa 6. esitetään rinnakkain havainnot tieteellisistä ja kaupallisista havainnoista sekä asiantuntijahaastattelusta. Näiden kolmen havainnon perusteella tuotetaan johtopäätökset kustakin vertailukriteeristä, jotta voidaan tunnistaa sähköautojen kehitystrendit ja kehitysnäkymät. Taulukossa 2. on esitetty täytetty vertailukriteeristötaulukko.

Taulukko 2. Täytetty vertailukriteeristö

Vertailukriteeri	Havainnot tieteellisistä lähteistä	Havainnot kaupallisista lähteistä	Havainnot asiantuntijahaastattelusta	Johtopäätökset
Latausverkosto	Sähköautojen tyypillisin lataustapa on sähköverkosta kaapelin kautta 220V vaihtovirralla lataaminen. Pikalatausasemat tulevat yleistymään tulevaisuudessa. Vaihtoehtoisina lataustapoina ovat akkujen vaihtoasemat sekä induktiiviset latausasemat. Nämä eivät	Sähköautojen lataus on mahdollista kotona ja julkisilla latausasemilla vaihtovirralla. Pikalatausasemat mahdollista on ladata auto tasavirralla huomattavasti nopeammin.	Latausinfrastruktuurin kehitys on vielä vaiheessa Suomessa. Latauspaikkoja ei vielä ole riittävää määrää, mutta niitä rakennetaan kovalla vauhdilla. Latausinfrastruktuurin rakentumista hidastaa sähköautovalmistajien osittainen piittaamattomuus lataustolppien standardeista.	Latausinfrastruktuuri tulee kehittymään ja pikalatausasemat tulevat lisääntymään. Lähitulevaisuudessa suosituimpana lataustapana tulee yhä olemaan perinteinen kaapelin kautta lataaminen.

<p>Akkujen kapasiteetti</p>	<p>kuitenkaan ole vielä suosiossa. Suosituin akkutyyppe on litiumioniakku. Vuonna 2017 sähköautojen akkujen kapasiteetit olivat keskiarvoltaan noin 45 kWh. Suurimmat markkinat vuonna 2018 olivat 20–50 kWh akkukapasiteetti alueella.</p>	<p>Uusien sähköautojen akkukapasiteetit ovat 36–87 kWh välillä. Tutkimuksessa olevien sähköautojen akkukapasiteetti en keskiarvo on noin 62 kWh.</p>	<p>Akkujen kapasiteeteissa on vielä kehittymisen varaa, etenkin niiden lämpötilariippuvuust ekijät aiheuttavat vielä töitä tutkimuksessa sekä tuotekehityksessä.</p>	<p>Akkujen kapasiteetit ovat kehittyneet vuodesta 2017 vajaalla 20 kWh:lla. Kehitys näyttää jatkuvan.</p>
<p>Kantamat</p>	<p>Sähköautojen kantamissa on vielä kehittymisen varaa. Yli 500 km kantamat vaativat yli 80 kWh akun kapasiteetin, joka ei ole taloudellisesti kannattavaa keskiluokan ihmisille. (2018)</p>	<p>Uusien sähköautojen kantamat ovat akkujen kapasiteetista riippuen 260–637 km välillä. Yli 500 km kantamiin päästään yhä pienemmillä akkujen kapasiteetilla.</p>	<p>-</p>	<p>Kantamat ovat kehittyneet jo muutamassa vuodessa huomattavasti. Yli 500 km kantamiin päästään yhä pienemmillä akkujen kapasiteeteilla.</p>

Hiilidioksidipäästöt	Sähköautojen valmistukseen vaaditaan huomattavasti suurempi määrä energiaa, johtuen sähkömoottorien ja akkujen valmistuksesta. Sähköautojen valmistuksessa päästöt ovat samaa luokkaa kuin polttomoottoriautoilla, lukuun ottamatta akkujen ja sähkömoottorien valmistusta.	Sähköautojen valmistuksessa on vain hieman suuremmat päästöt kuin polttomoottoriautoilla, mutta käytössä aiheutuvat päästöt ovat huomattavasti pienemmät, jotka aiheutuvat välillisesti latausenergiasta riippuen. Teslan akkutehtailla on käytössä suljetun kierron kierrätysohjelma, jossa 100 % vastaanotetuista akuista kierrätetään ja jopa 92 % raakametalleista käytetään uudelleen.	Sähköautoissa akkutuotannon ympäristövaikutusten hallinta on isona haasteena. Valmistukseen liittyvät ympäristöongelmat lähtevät jo kaivostoiminnasta ja päättyvät akkujen kierrätyksessä kemiallisiin prosessointeihin.	Sähköautojen valmistuksessa vaaditaan enemmän energiaa, johtuen sähkömoottorien ja akkujen valmistuksesta, ja näiden valmistus aiheuttaa suurimmat hiilidioksidipäästöt. Itse ajaminen on kuitenkin päästötöntä, koska pakokaasupäästöjä ei tule. Sähköautojen akkutuotannon ympäristövaikutusten hallinta on suurimpana haasteena.
Sähkömoottorit	Suurimmassa osassa sähköautoja on käytössä kestopagneetti	-	Moottoreissa tällä hetkellä kilpailevat induktiomoottorit sekä kestopagneettimoottorit	Tällä hetkellä suurimmassa osassa sähköautoissa on käytössä kestopagneetti

	<p>moottorit tai induktiomoottori t. Huomattava osa edistyksellisistä sähköautoista käyttää induktiomoottori a. Kestomagneetti moottoreilla on kuitenkin parempi tehotiheys suhde.</p>		<p>orit. Induktiomoottori on edullisempi valmistaa, mutta kestopagneettimoottorissa on parempi tehotiheys suhde. Kestomagneettimoottoreiden valmistus on haastavampaa. Hiilinanoputkikämeillä tehty sähkömoottori keventäisi moottoria huomattavasti, mutta tämä on vasta tutkimusvaiheessa. Valmistajat pyrkivät saamaan moottoreista kevyempiä ja helpommin valmistettavia.</p>	<p>induktio-moottori t tai kestopagneetti moottorit. Näistä induktiomoottori on edullisempi valmistaa, mutta kestopagneetti moottoreilla on parempi tehotiheys suhde. Kehitysvaiheessa ovat vielä hiilinanoputkikämeillä tehdyt sähkömoottorit.</p>
--	--	--	---	---

Vertailukriteeristön avulla pystyttiin yhdistämään tieteellisten- ja kaupallisten lähteiden sekä asiantuntijahaastattelun keskeisimmät havainnot. Lähestymistavoilla saatiin melko samantapaisia havaintoja, poikkeuksena kuitenkin akkujen kapasiteeteissa sekä kantamissa. Sähkömoottoreista jäi kuitenkin aukko kaupallisten materiaalien kohdalla sekä kantamista asiantuntijahaastattelun kohdalla.

## 7. Pohdinta

Luvussa 7. esitetään kootusti tärkeimmät johtopäätökset, mahdolliset jatkotutkimusaiheet sekä tehdyn tutkimuksen luotettavuusnäkökohdat.

### 7.1 Vertailu eri lähteiden tuottaman informaation kesken

Kandidaatintyössä käytetty vertailukriteeristö toteutui varsin hyvin. Latausverkostosta, akkujen kapasiteetista sekä hiilidioksidipäästöistä saatiin kaikista tietoa tieteellisistä artikkeleista, kaupallisista materiaaleista sekä asiantuntijahaastattelusta. Sähköautojen kantamista sekä moottorista jäi kuitenkin osittain aukot taulukkoon 2. Asiantuntijahaastattelussa ei puhuttu sähköautojen kantamista ja kaupallisista materiaaleista ei löytynyt sähköautojen moottorien sovelluksista tietoa. Näistä vertailua suoritettiin kahden eri lähestymistavan avulla.

### 7.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuuden varmistamiseksi työssä käytettiin tutkimusmenetelmänä triangulaatiota. Lähteitä valittiin myös siten, että ne ovat vain vertaisarvioituja artikkeleja sekä julkaistu vuodesta 2015 alkaen. Tutkimuksessa käytettyjen lähteiden keskimääräinen julkaisuvuosi oli 2018. Scopuksesta löytyvistä tieteellisistä artikkeleista katsottiin, että julkaisuilla on hyvät CiteScore, SJR ja SNIP arvot. Tutkimuksessa käytettyjen lähteiden CiteScore arvot olivat: 30.5, 4.7, 9.0 ja 10.2. SJR arvot olivat: 3.522, 0.598, 1.212 ja 2.093 ja SNIP arvot: 4.684, 1.161, 1.335 ja 1.94. Näistä arvoista nähdään, että käytetyt lähteet ovat suurilta osin luotettavaa materiaalia.

### 7.3 Johtopäätökset

Latausinfrastruktuuri tulee kehittymään ja pikalatausasemat tulevat lisääntymään. Lähitulevaisuudessa lataustapana tulee yhä olemaan perinteinen kaapelin kautta lataaminen. Akkujen kapasiteetit ovat kehittyneet vuodesta 2017 tähän päivään vajaalla 20 kWh:lla, ja kehitys näyttää jatkuvan. Sähköautojen kantamat ovat kehittyneet jo muutamassa vuodessa



huomattavasti. Yli 500 km kantamiin päästään yhä pienemmillä akkujen kapasiteeteilla. Sähköautojen valmistuksessa vaaditaan polttomoottoriautoihin verrattuna enemmän energiaa, johtuen sähkömoottorien ja akkujen valmistuksesta. Näiden valmistus aiheuttaa suurimmat hiilidioksidipäästöt sähköautojen valmistusketjussa. Itse ajaminen on kuitenkin päästötöntä, koska pakokaasupäästöjä ei tule. Suurimpana haasteena sähköautojen tuotannossa on akkutuotannon ympäristövaikutusten hallinta. Tällä hetkellä suurimmassa osassa sähköautoista on käytössä induktiomootorit tai kestromagneettimootorit. Näistä induktiomootori on edullisempi valmistaa, mutta kestromagneettimootoreilla on parempi tehoiheys suhde. Kehitysvaiheessa ovat vielä hiilinanoputkikämeillä tehdyt sähkömoottorit.

#### 7.4 Tulevaisuuden näkymiin liittyvät epävarmuustekijät

Tutkimuksen taustalla on 10 vuoden aika, jonka perusteella tehtiin päätelmät. Näiden perusteella pystytään päättelemään tulevaisuuden näkymiä sähköautoihin liittyen. Kuitenkin tulevaisuudessa saattaa tulla innovaatioita ja täysin uusia sovelluksia esimerkiksi sähkömoottoreihin, akustoihin ja latausinfrastruktuureihin liittyen, joita tämän tutkimuksen tulevaisuuden näkymissä ei olla pohdittu.

#### 7.5 Jatkotutkimusaiheet

Sähköautojen lataus on polttoaineiden tankkaamiseen verrattuna hidasta ja sen nopeuttamisessa on vielä paljon kehitettävää. Jatkotutkimukselle on tarvetta myös akkukapasiteettien lämpötilariippuvuustekijöihin liittyen. Sähkömoottorien kehityskohteina ovat painon alentaminen. Hiilinanoputkikämeillä tehty sähkömoottori keventäisi sähkömoottoria huomattavan monta kiloa. Tämä ei ole vielä kuitenkaan toteutunut ja se vaatii tutkimustyötä.

## Lähteet

Andwari, A., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R. & Esfahanian, V. 2017. A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 78. S. 414–430.

Berjoza D. & Jurgena I. 2017. Influence of batteries weight on electric automobile performance. *Engineering for rural development*. S. 1388–1394

Bhatt, P., Mehar, H., & Sahajwani, M. 2019. Electrical Motors for Electric Vehicle – A Comparative Study. *SSRN Electronic Journal*.

Castelvecchi, D. 2021. Electric cars and batteries: how will the world produce enough? *Nature*. 596. S. 336–339

EAA. 2016. Electric vehicles in Europe. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 27.10.2021]. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe>

Hyundai. Sähköautot 2021. [Hyundain www-sivuilla]. [Viitattu 20.11.2021]. Saatavissa: <https://www.hyundai.fi/sahkoautot/>

Morrissey, P., Weldon, P., & O'Mahony, M. 2016. Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour. *Energy Policy*, 89. S. 257–270.

Nieuwenhuis, P., Liana Cipcigan, L. & Sonder, H. 2020. The Electric Vehicle Revolution. *Future Energy*. S. 227–243

Nissan. Sähköautot 2021. [Nissanin www-sivuilla]. [Viitattu 20.11.2021]. Saatavissa: [https://www.nissan.fi/mallisto/sahkoautot.html?&cid=psmfMc3o0\\_dc|U&gclid=Cj0KQiAkZKNBhDiARIsAPsk0WiWRXHY8hF1b200AmUvAmAVt3tPtrx5EWreummlNsVbWChhyeBUebkaApl1EALw\\_wcB](https://www.nissan.fi/mallisto/sahkoautot.html?&cid=psmfMc3o0_dc|U&gclid=Cj0KQiAkZKNBhDiARIsAPsk0WiWRXHY8hF1b200AmUvAmAVt3tPtrx5EWreummlNsVbWChhyeBUebkaApl1EALw_wcB)

Omazaki. Julkaisuaika tuntematon. Types of Electric Cars and Working Principles. [www-sivut]. [Viitattu 19.10.2021]. Saatavissa: <https://www.omazaki.co.id/en/types-of-electric-cars-and-working-principles/>

Tesla. Sähköautot 2021. [Teslan www-sivuilla]. [Viitattu 22.11.2021]. Saatavissa: [https://www.tesla.com/fi\\_fi](https://www.tesla.com/fi_fi)

Traficom, Liikenne käytössä olevat ajoneuvot. 2021 [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi\\_\\_Liikennekaytossa\\_olevat\\_ajoneuvot/010\\_kanta\\_tau\\_101.px/table/tableViewLayout1/](https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/010_kanta_tau_101.px/table/tableViewLayout1/)

Vidhi, R., & Shrivastava, P. 2018. A Review of Electric Vehicle Lifecycle Emissions and Policy Recommendations to Increase EV Penetration in India. *Energies*. 11. S. 1–15

Volkswagen. Sähköautot 2021. [Volkswagenin www-sivuilla]. [Viitattu 22.11.2021]. Saatavissa: <https://www.volkswagen.fi/fi/mallit.html?---=%7B%22filter-service%22%3A%22%2F%3FengineType%3DS%25C3%25A4hk%25C3%25B6%22%7D>

Wilberforce, T., El-Hassan Z., Khatib, F. N., Al Makky, A., Baroutaji, A., Carton, J. G., & Olabi, A. G. 2017. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42. S. 25695–25734.

Zhang, Q., Li, H., Zhu, L., Campana, P. E., Lu, H., Wallin, F., & Sun, Q. 2018. Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 94. S. 500–509.

Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. 2018. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 89. S. 292–308.

## Liite 1. Asiantuntijahaastattelun kysymykset

- Miten näet sähköautot tulevaisuudessa?

-Miten sähköautojen moottorit tulevat kehittymään? (ja voimalinjan)

-Miten sähköautojen valmistukseen, erityisesti akkujen ympäristöystävällisyyteen liittyvät epäkohdat voitaisi ratkaista?

-Onko latauspaikkoja tarpeeksi suomessa ja miten latausverkkoa voisi parantaa?

-Mikä on teidän mielipiteesi mitkä ovat sähköautojen suurimmat kehityskohteet?

-Minkälaisen tulevaisuuden näet polttokennoautoilla?

-Mitkä ovat sähköautojen suurimmat ongelmat / haasteet?