



**TÄYSSÄHKÖAUTOJEN YLEISTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT TALOU-
DELLISESTA NÄKÖKULMASTA SUOMESSA**

Factors influencing full-electric vehicle adoption from an economic perspective in Finland

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

Tekijän Jyri Hirvonen

Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Tiina Sinkkonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Tuotantotalous

Tekijä: Jyri Hirvonen

Täyssähköautojen yleistymiseen vaikuttavat tekijät taloudellisesta näkökulmasta Suomessa

Tuotantotalouden kandidaatintyö 2022

42 sivua ja 12 kuvaa

Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Tiina Sinkkonen

Avainsanat: Sähköauto, kustannukset, taloudellisuus, akusto

Keywords: Electric vehicle, costs, economy, battery

Sähköautojen suosio on kasvanut viime vuosina tekniikan kehittymisen ja kustannusten laskemisen myötä. Päästöttömän liikenteen tuki on lisännyt tietoisuutta ja latausmahdollisuuksia. Työ antaa kattavan katsauksen tähän ajankohtaiseen aiheeseen tarkastellen sähköautojen erilaisia taloudellisia tekijöitä. Työn tavoitteena on tarjota lukijalle tilannekuva sähköautojen nykyisestä tekniikan tasosta ja sähköautojen osuudesta tieliikenteessä. Työssä annetaan myös kuva tulevista mahdollisista innovaatioista, taloudellisista tekijöistä ja autokannan kehityksestä.

Kirjallisuuskatsaus toteutettiin keräämällä tietoa ajankohtaisesta kirjallisuudesta. Tutkimuksia sekä kirjallisuutta vertailtiin kriittisesti ja syntetisoitiin yleisiä oletuksia. Työn tuloksista selviää, että sähköautojen kanta kasvaa nopeasti monen eri taloudellisen ja teknologisen kehityksen vauhdittamana. Tällä hetkellä olemassa olevat teknologiset, yhteiskunnalliset ja liiketoimintamallien haasteet ovat ajan myötä mahdollista ratkaista ja siirtyä kohti puhtaampia, tehokkaampia ja edullisempia kuljetusratkaisuja.

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
1.1	Tausta	4
1.2	Tavoite ja tutkimuskysymykset.....	5
1.3	Tutkimusmenetelmät ja rajaus	5
1.4	Työn rakenne.....	6
2	Täyssähköautojen kehityksen tausta ja nykytilanne.....	7
2.1	Kehityksen tausta	7
2.2	Päästösäädökset.....	8
2.3	Valtion tuki puhtaille energiamuodoille.....	9
2.4	Sähköautojen massatuotanto	11
3	Täyssähköautojen yleistymiseen vaikuttavat taloudelliset tekijät.....	15
3.1	Hankintahinta ja jälleenmyyntiarvo	15
3.2	Sähköautojen lataus.....	16
3.3	Akusto	20
3.4	Käyttökulut ja huolto.....	22
3.5	Valtion tuet ja määräykset.....	24
4	Sähköautoilun tulevaisuuden näkymät	27
4.1	Sähköautojen integrointi sähköverkkoon.....	27
4.2	Langaton lataus	28
4.3	Sähköiset yhteiskäyttöautot.....	29
4.4	Sähköautokannan tulevaisuuden arvio	30
5	Johtopäätökset	34
	Lähteet	37

1 Johdanto

1.1 Tausta

Ensimmäistä kertaa jo 1800-luvulla kehiteltyjen sähköajoneuvojen suosio on kasvanut viime vuosina, kun tekniikka on kehittynyt ja valmistuskustannukset ovat laskeneet huomattavasti (BloombergNEF 2022). Maailmanlaajuinen tarve puhtaille liikennevaihtoehdoille ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja ilmansaasteiden vähentämiseksi on lisännyt tietoisuutta, latausmahdollisuuksia ja helpottanut täyssähköautojen laajamuotoista käyttöönottoa (Axsen et al. 2020). Varsinkin Euroopan unionin alueella sähköautojen käyttöönottoa on kannustettu verohelpotuksilla, hankintatuilla ja laajentamalla julkisia latausverkostoja (T&E 2020).

Sähköautot tarjoavat perinteisiin polttomoottoriajoneuvoihin verrattuna useita etuja, kuten pidemmät huoltovälit, lähes äänettömät sähkömoottorit ja paremman hyötysuhteen (e-AMRIT 2022). Kasvavat kasvihuonepäästöt ovat kiihdyttäneet tarvetta korvata perinteiset polttomoottoriajoneuvot puhtaammilla energiamuodoilla, tämän seurauksena täyssähköautojen rooli fossiilisten polttoaineiden syrjäyttämisessä on kasvattanut merkitystään viime vuosina niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti (T&E 2020). Täyssähköautoissa ajamiseen tarvittava energia saadaan kokonaan perinteisten fossiilisten polttonaineiden sijaan akustoihin varastoidusta sähköenergiasta (Motiva 2022a)

Sähköautojen kyky vähentää kasvihuonepäästöjä on kuitenkin riippuvainen puhtaasta sähköenergiasta, siksi myös sähköautojen menestys on pitkälti riippuvainen riittävästä ja edullisesta uusiutuvasta energiasta. Sähköautot tarjoavat kulkuvälineen lisäksi myös muita tapoja energiavallankumouksessa. Integroimalla sähköautojen akkukapasiteetit energiaverkkoon, voivat sähköautot tarjota merkittäviä synergiaetuja sähköautojen akkukapasiteetin ja sähköverkon välille (CME 2020). Tämän tyylliset synergiaedut pystyvät vauhdittamaan sähköautojen laajamuotoista käyttöönottoa ja samalla tarjota sähköautojen omistajille taloudellisia hyötyjä (Muratori et al. 2021). Vaikka täyssähköautot kiistatta tuovat etuja perinteisiin polttomoottoriajoneuvoihin verrattuna, on sähköautoilla vielä merkittäviä esteitä ylitettävänä, jotta ne todella horjuttaisivat polttomoottorien valta-asemaa henkilöliikenteessä.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena on selvittää millä tekijöillä on vaikutusta täyssähköautojen yleistymiseen ja miltä alan tulevaisuus näyttää. Lisäksi työssä selvitetään mitkä tekijät ovat mahdollistaneet sähköautojen tämänhetkisen tilanteen. Työssä käytetään vastakkainasettelua sähköautojen ja polttomoottoriajoneuvojen vertailussa. Kirjallisuuskatsaus antaa kokonaisvaltaisen ja kattavan kuvan täyssähköautoihin liittyvistä taloudellisista tekijöistä, joiden perusteella lukija saa konkreettisen kuvan eri tekijöiden vaikutuksista sähköautojen suosioon. Kandidaatintyö rakentuu kahden tutkimuskysymyksen ympärille:

1. *Mitkä yksityiset ja julkiset taloudelliset tekijät vaikuttavat sähköautojen suosioon?*
2. *Miltä täyssähköautojen tulevaisuus näyttää?*

Työ antaa kattavan kuvan täyssähköautojen nykytilanteen mahdollistaneista tekijöistä, sekä katsauksen alan tulevaisuuteen tilastojen ja analyysien valossa. Aihe on ajankohtainen, sillä autoteollisuus on murroksessa sähköautojen kasvaneen suosion takia. Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa kuluttajien käyttäytymistä sekä taloudellisten tekijöiden ja säästösten vaikutusta täyssähköautojen suosioon.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja rajaus

Työ on kirjallisuuskatsaus. Aihetta on käsitelty tieteellisten artikkelien, tilastojen, kirjallisuuden ja ajankohtaisten uutisten valossa. Työssä tutkitaan täyssähköautojen taloudellista kannattavuutta konkreettisten esimerkkien avulla eroja polttomoottoriajoneuvoihin verrattuna.

Työssä keskitytään sähköautoilua tukeviin taloudellisiin tekijöihin ja haasteisiin, jolloin ympäristötekijät rajautuvat työn ulkopuolelle. Työ on rajattu maantieteellisesti Suomeen, mutta tuloksia voi soveltaa ilmastoltaan Suomea vastaaviin maihin. Sähköautojen latauspaikkojen käsittelyssä jätetään ilmaiset julkiset latauspisteet rajauksen ulkopuolelle, sillä niiden syvemmän liiketoimintamallin käsittely ei sovellu tähän työn aihealueeseen.

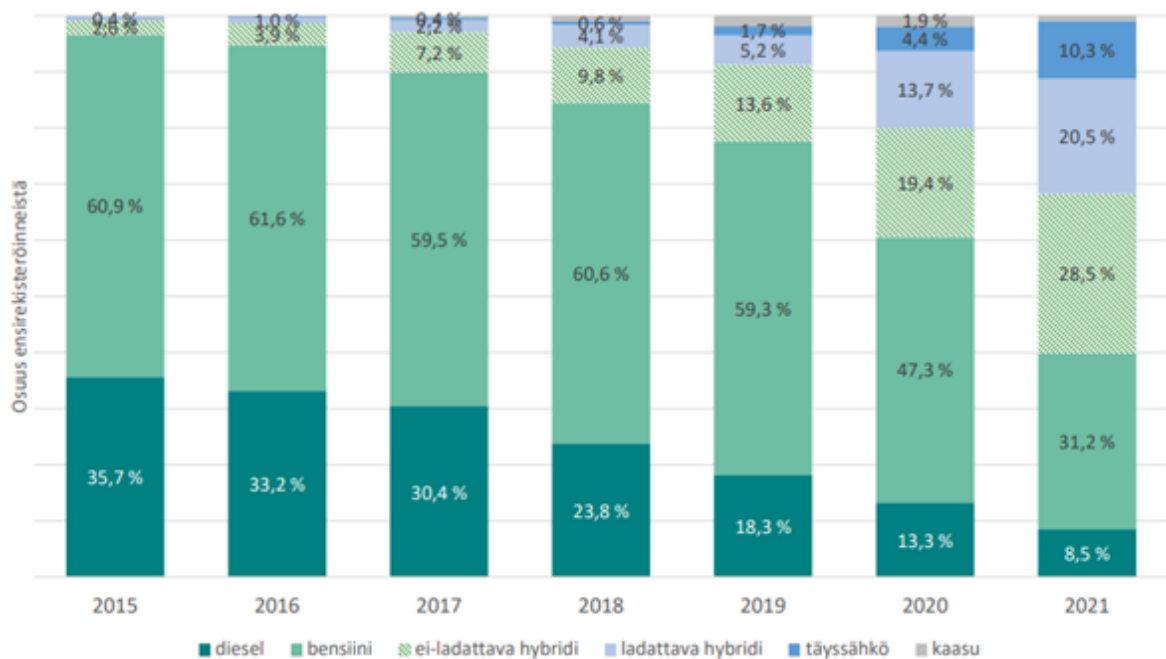
1.4 Työn rakenne

Työ alkaa johdannolla, jossa esitetään työn tausta, tavoitteet, tutkimuskysymykset, rakenne ja rajaus. Luvussa kaksi käsitellään tekijät, jotka ovat mahdollistaneet sähköautojen nykyisen kehityksen. Luvussa kaksi käsitellyt asiat myös pohjustavat työssä myöhemmin käsiteltäviä asioita. Luvussa kolme tarkastellaan sähköautojen yleistymisen vaikuttavia tekijöitä. Luvussa hyödynnetään vastakkainasettelua konkreettisen kuvan luomiseksi sähkö- ja polttomoottoriajoneuvojen välisten ominaisuuksien vertailussa. Neljäs luku puolestaan käsittelee sähköautojen mahdollisuuksia ja mahdollisia ratkaisuja tällä hetkellä olemassa oleviin ongelmiin. Neljännessä luvussa käsitellään myös Suomen autokannan kehitystä käyttövoimien välillä. Lopuksi johtopäätöksissä kerrotaan, millaisia vaikutuksia sähköautoihin liittyvillä taloudellisilla tekijöillä on sähköautojen suosioon.

2 Täyssähköautojen kehityksen tausta ja nykytilanne

2.1 Kehityksen tausta

Täyssähköautojen suosio alkoi vauhdilla kasvamaan vasta 2010-luvun loppupuolella, kun teknologia kehittyi ja täyssähköautojen hinnat alkoivat putoamaan (IEA 2021). Vielä vuonna 2015 täyssähköautojen osuus autokannasta oli lähes olematon, uusien rekisteröityjen sähköautojen kohdalla tilanne oli lähes yhtä huono. Osuus ensirekisteröinneissä on kuitenkin nousut vauhdilla. Koko autokannasta täyssähköautojen osuus on edelleen hyvin pieni ja vuonna 2021 se oli vain ~0,8 %, mutta ensirekisteröityjen autojen kohdalla vuoden 2021 tilanne oli jo merkittävästi parempi ~10,3 %. (Autoala tiedotuskeskus, 2022d)



Kuva 1. Ensirekisteröintien jakautuminen käyttövoimien välillä (Autoalan tiedotuskeskus, 2022d)

Autokannassa sähköautojen suhde perinteisiin polttomoottori ajoneuvoihin kasvaa. Autokannan hitaan uudistumisen vuoksi, kestää vielä vuosia ennen kuin autokannan uudistuessa sähköautot saavuttavat perinteiset polttomoottori ajoneuvot.

Autokannan muutokset näkyvät myös teollisuuden puolella, jossa murrosvaiheessa oleva autoteollisuus on kokenut muodonmuutosta viime vuosien aikana. Sähköajoneuvojen

markkinaosuuden vahvan kasvun on mahdollistanut käytännössä kolme päätekijää, massa-tuotanto, taloudellinen tuki puhtaille energiamuodoille ja liikenteen päästösäädökset (T&E 2020).

2.2 Päästösäädökset

Valtion vaikutus sähköautoiluun näkyy nykyään monin tavoin; siirtymistä ei jouduteta pelkästään taloudellisilla kannustimilla, vaan myös päästörajoitusten ja liikkumista helpottavien säädösten muodossa. Suomessa noudetaan Euroopan unionin asettamia direktiivejä, jotka rajoittavat esimerkiksi uusien autojen hiukkasten, typen oksidien ja hiilimonoksidi päästöjä (Autoalan tiedotuskeskus 2022b). Euroopan unionissa uusille henkilöautoille on asetettu erinäisiä päästövaatimuksia jo kymmenien vuosien ajan, joita on uudistettu vastaamaan kiristyneitä päästötavoitteita (Euroopan parlamentti 2018). Tällä hetkellä henkilöautoille on voimassa EU:n asettama vuoden 2020 päästötavoite (Motiva 2022a). Tällä päästötavoitteella pyritään hillitsemään liikenteen kasvihuonepäästöjä ohjaamalla auton valmistajia pois fossiilisista polttoaineista. Liikenteen päästötavoitteella pyritään saamaan liikenteen päästöt vastaamaan myös Euroopan unionin laajempaa päästötavoitetta. Tällä tavoitteella on ollut merkittäviä positiivisia vaikutuksia esimerkiksi eurooppalaisten autonvalmistajien sähköautojen tuotantomääriin.

Useassa EU maassa on otettu kannustimena käyttöön myös vähäpäästöisiä, sekä nollapäästöisiä alueita, joissa saa liikkua vain tiukat päästörajoitukset täyttävillä ajoneuvoilla. Suomessa ei vielä toistaiseksi ole otettu vastaavia alueita käyttöön henkilöautoille, mutta vähäpäästöisten ajoneuvojen kulkua on helpotettu esimerkiksi avaamalla vähäpäästöisiä kaistoja, jossa saa liikkua vain matalapäästöisillä ($\text{CO}_2 > 80 \text{ g/km}$) ajoneuvoilla (YLE 2018).

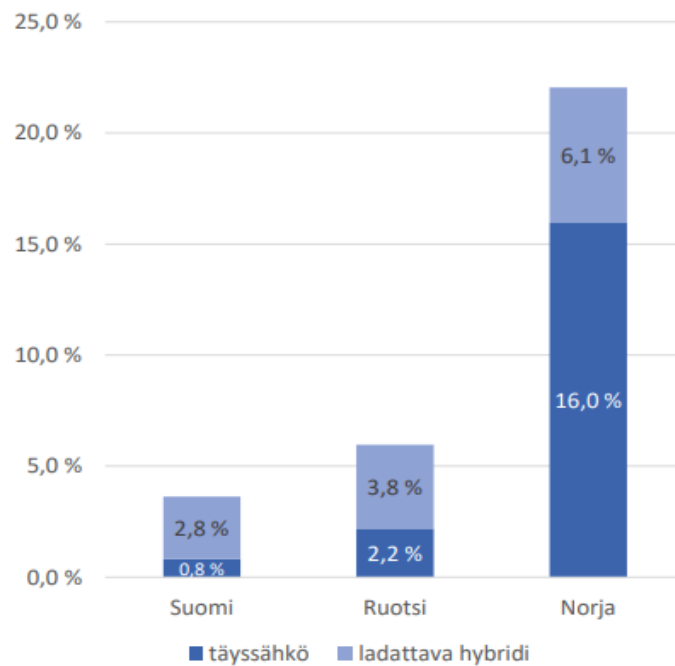
Hiilidioksidia on pääsääntöisesti pidetty merkittävimpana yksittäisenä liikenteen kasvihuonekaasuna ja sitä on pyritty rajoittamaan merkittävästi. Hiilidioksidille ei kuitenkaan ole asetettu lainsäädännöllistä raja-arvoa, sillä ne eivät kuulu säänneltyihin päästöihin, mutta hiilidioksidin määrää säännellään auton valmistajille asetettua valmistettujen autojen yhteistä keskiarvopäästöä. (Autoalan tiedotuskeskus 2022b) Vuoden 2020 tavoitteen mukaan uusien henkilöautojen keskiverto hiilidioksidipäästöt tulevat olla alle 95 g/km (Euroopan parlamentti 2018). Tämä päästöraja-arvo ei koske yksittäistä ajoneuvoa, vaan autonvalmistajan EU:hun vuoden aikana rekisteröidyn ajoneuvon keskimääräistä tasoa (Motiva 2022a). Ylittämällä tämän rajan, ovat autonvalmistajat velvollisia maksamaan sanktion suuruudeltaan

95€ per g/km (Euroopan parlamentti 2018). Hiilidioksidia lukuun ottamatta, muut henkilöautoja koskevat päästörajoitukset ovat ajoneuvokohtaisia, eivätkä sidoksissa valmistajan keskiarvoon (Motiva 2022a). Sähköautoista ei synny säänneltyjä päästöjä käytön aikana, joten tuottamalla sähköautoja valmistajat pystyvät alentamaan keskiarvopäästöjä.

Autojen päästöillä on myös vaikutus valtion kokonaispäästöihin. Valtion näkökulmasta sähköautot ovat kokonaispäästöjen näkökulmasta polttomoottoreita parempia korkeamman energiatehokkuuden ansiosta. Sähköntuotannossa syntyvät päästöt myös kuuluvat päästökauppasektorin piiriin. EU:n päästölaskenta tapa myös suosii sähköautojen tuotantoa, helpottaen autoteollisuutta valmistajien näkökulmasta (Autoala tiedotuskeskus, 2022d).

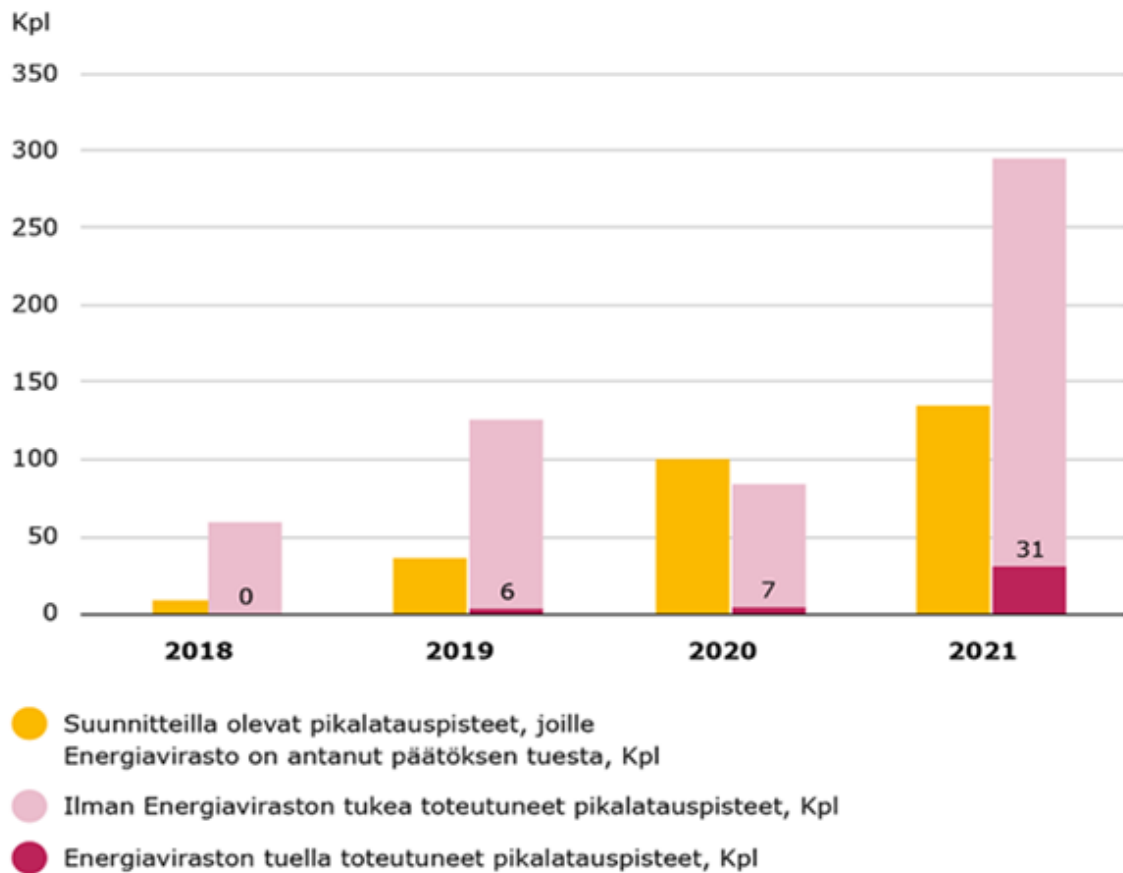
2.3 Valtion tuki puhtaille energiamuodoille

Latausverkoston ja taloudellisten kannustimien on todettu olevan merkittävässä roolissa sähköautojen käyttöönotossa. Tämä on huomioitu valtion toimesta ja sähköautoja nykyään tuetaan taloudellisesti suorasti sekä epäsuorasti. Suoria tukimuotoja ovat esimerkiksi ajoneuvon hankintatuki, alennettu ajoneuvovero, taloyhtiöiden latausinfraan tuet ja yrityksille verotusarvosta tehtävät vähennykset (Autoala tiedotuskeskus, 2022d). Suomessa hankintatuet ovat länsimaisella tasolla erittäin alhaiset, mikä näkyy moniin Euroopan maihin verrattuna hitaampana sähköautokannan kasvuna (Jokela 2021). Suomi on sähköautokannassa noin 3 vuotta Ruotsia jäljessä ja noin 7-8 vuotta Norjaan nähden (Autoala tiedotuskeskus, 2022d). Epäsuorasti valtio edistää esimerkiksi sähköautoilua latausinfraa koskevilla säädöksillä ja helpotetulla liikkumisella (Autoala tiedotuskeskus, 2022d). Tukia ja säädöksiä käsitellään tarkemmin luvussa 3.2.



Kuva 2. Sähköautojen osuus autokannasta (Autoalan tiedotuskeskus, 2022d)

Ensimmäisten sähköautojen tullessa Suomeen liikenteeseen, julkinen lataus oli lähestulkoon olematonta. Tarjolla oli vain hitaita latausasemia, eikä kuluttaja voinut olla varma, löytyykö jokaiselta latausasemalta yhteensopivaa pistoketta. Nykyään standardien ja laajentuneen verkoston ansiosta autoilija voi melko huoletta matkustaa pitempiäkin matkoja kohtuullisilla latausajoilla. Suomessa on monen muun Euroopan maan tavoin panostettu merkittävästi julkisiin latausverkostoihin ja latauspisteitä alkaa olla miltei yhtä paljon kuin tankkausasemia fossiilisille polttoaineille (E-mobility 2022; Laitinen 2020).



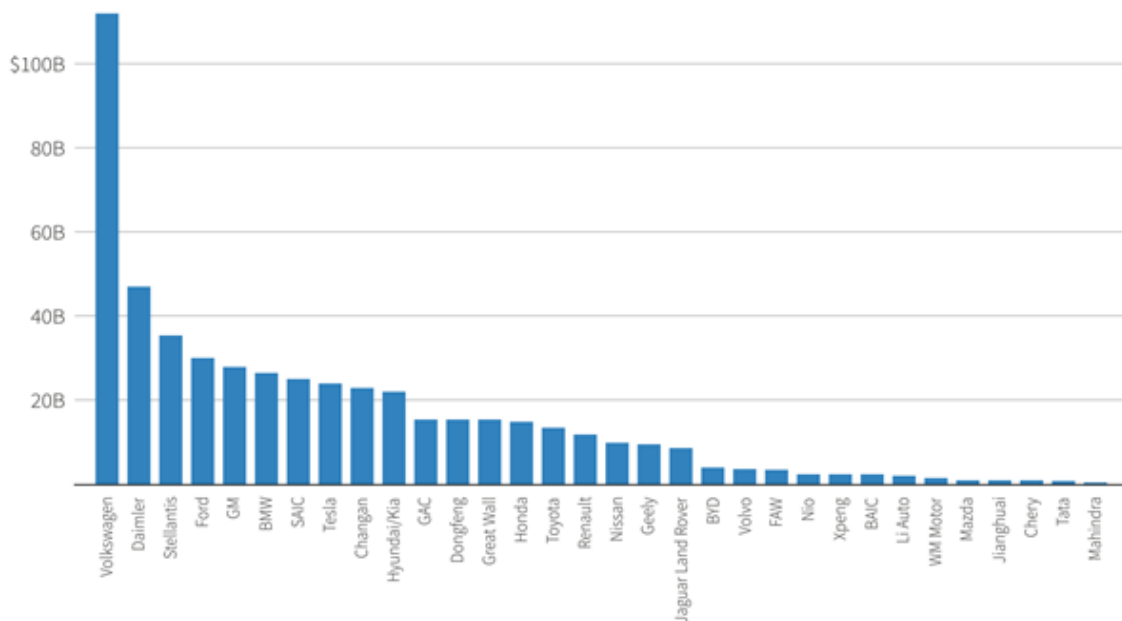
Kuva 3. Pikalatauspisteverkoston kehitys (Energiavirasto 2022)

2.4 Sähköautojen massatuotanto

Auton valmistajat ovat havahtuneet markkinoilla tapahtuvaan murrokseen, ja ovat päivittäneet mallistojaan vastaamaan kuluttajien tarpeita. Jo 2000-luvun alkupuolella useat automerkit valmistivat sähkökäyttöisiä autoja, kun sähkömoottorien tärinän, päästöjen ja melun puute nähtiin selvänä etuna bensiini- ja dieselautoihin (IEA 2017). Laajamuotoisempi käyttöönotto alkoi tapahtua kuitenkin vasta vuosia myöhemmin 2010-luvun loppupuolella. Euroopan ja Pohjois-Amerikan autonvalmistajat ovat vastanneet markkinoiden muutokseen tarjoamalla kuluttajille täysin uusia täyssähkömalleja tai päivittämällä jo olemassa olevia malleja sähköisiksi (Muratori et al. 2021).

Tämä laajamuotoinen massatuotantoon siirtyminen on ollut merkittävässä roolissa nykytilanteen saavuttamiseksi. Useimmat suurista autonvalmistajista ovat investoineet suuria summia sähköautoihin ja niiden valmistusprosesseihin. Hyvänä esimerkkinä toimii Ford, jonka vuonna 2021 julkaiseman yli 11 miljardin dollarin investointisuunnitelmalla yritys tähtää

parantamaan kilpailukykyään markkinoilla (Ford 2021). Investoinnilla Ford pyrkii kehittämään uusia sähköautojen komponentteihin ja niiden valmistusprosessiin liittyviä kvantitatiivisia sekä kvalitatiivisia innovaatioita (Ford 2021). Autoalan kokonaisinvestointien summa sähköautojen ja akustojen tuotantoon on \$ 515 miljardia, ja suurimpana yksittäisenä valmistajana toimii Saksalainen Volkswagen yli 100 miljardin dollarin investoinneilla (BloombergNEF, 2022).



Kuva 4. Autonvalmistajien investoinnit sähköautoihin ja akustoihin (BloombergNEF, 2022)

Euroopan suurin henkilöautovalmistaja ja Suomen täyssähköautojen markkinajohtaja Volkswagen on investointien myötä kasvattanut täyssähkömallistoaan vuoden 2015 kahdesta täyssähkömallista vuoden 2021 18 malliin (Volkswagen 2022a). Volkswagen on myös luvannut, että puolet sen myynnistä olisi sähköisiä malleja vuoteen 2030 mennessä (Volkswagen 2022a). Ford sanoi, että se odottaa 40–50 % myynnistään sähköä vuosikymmenen loppuun mennessä ja vuonna 2021 myös maailman suurimman autonvalmistajan Toyotan lausunto uusista investoinneista, joiden tavoitteena on saavuttaa 3,5 miljoonan sähköautojen vuosimyynti vuoteen 2030 mennessä (IEA 2022). Vastaavia muutoksia on nähtävissä myös muiden suurten valmistajien mallistoissa (Sunday Times Driving 2022).

Sähköautomurroksella on heijastusvaikutusta myös autoteollisuuden ulkopuolelle. Kasvaneen raaka-aineiden kysynnän takia on elektroniikka-, metalli- ja kaivosteollisuudessa

nähtävissä merkittäviä investointeja, kuten Terrafamen Suomeen perustama akkukemikaalitehdas, joka on tuotantokapasiteetiltaan yksi maailman suurimmista (Terrafame 2021).

Sähköautojen massatuotantoon siirryttäessä autoteollisuudessa ja sen ulkopuolella massiiviset investoinnit näkyvät ajoneuvojen teknologisessa kehittämisessä, kaupallistamisessa ja skaalaedun myötä hintojen alenemisessa. Tämä näkyy erityisesti sähköautojen akustoissa ja niiden toimitusketjuissa. Akkujen maailmanlaajuiset keskihinnat ovat laskeneet miltei 90 % vuoden 2010 yli 1000 \$ per kWh, vuoden 2019 156 \$ per kWh hintatasoon nähden. Samaan ajanjakson aikana myös litiumakkukennojen energiatiheys on lähes kaksinkertaistunut. Vuonna 2010 akkujen energiatiheys oli 140Wh/kg ja vuonna 2019 saavutettiin jo 240Wh/kg taso. Kustannusten aleneminen johtuu pääasiassa teknisistä parannuksista. Kennojen, moduulien ja pakkausten suunnittelun parannukset auttavat myös parantamaan suorituskykyä. Merkittävimpänä yksittäisenä komponenttina akustojen hinta- ja teknologinen kehitys on tehnyt sähköautoista ominaisuuksiltaan varteenotettavan kilpailijan polttomoottori ajoneuvoille. (Muratori et al. 2021)



Kuva 5. Litiumakustojen hintojen aleneminen (BloombergNEF, 2022)

Kasvaneella kysynnällä on myös negatiivisia puolia. Maailmalaajuisen komponenttipulan takia autonvalmistajilla on ollut ongelmia saada kaikkia autojen vaatimia osia markkinoilta. Joissain tapauksissa ominaisuuksia on jouduttu vähentämään ja pahimmissa tapauksissa koko tuotanto on jouduttu keskeyttämään saatavuusongelmien takia (Electrek, 2021).

Komponenttipulan ja raaka-aineiden hintojen nousun vuoksi valmistajat ovat joutuneet vastaamaan tilanteeseen nostamaan autojen jälleenmyyntihintoja kattamaan kasvaneet valmistuskulut (Wayland 2022).

Täyssähköisten autojenvalmistajien ja mallien kasvaneesta lukumäärästä huolimatta, mallien saatavuus on hyvin rajallinen polttomoottori ajoneuvoihin nähden. Syy mallien vähäiseen määrään on myös osittain liitoksissa uusien teknologioiden hitaaseen käyttöönottoon, sekä autonvalmistajien sähköautoja suurempiin tuloihin polttomoottori ajoneuvojen huolto ja ylläpito palveluista (Muratori et al. 2021). Autoalalla on kokonaisuudessaan paljon pääomaa sidoksissa fossiilisia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen valmistuslinjoissa ja valmistukseen liittyvän aineettoman pääoman muodossa (Morris 2020). Autonvalmistajien lisäksi fossiilisiin polttoaineisiin on sidoksissa esimerkiksi öljy-yhtiöt, palvelukeskukset ja esittelytila verkostot, joten alalla tapahtuvat muutokset vaativat aikaa (Morris 2020).

3 Täyssähköautojen yleistymiseen vaikuttavat taloudelliset tekijät

3.1 Hankintahinta ja jälleenmyyntiarvo

Sähköautomarkkinoilla on paljon puhuttu, mutta vähän tutkittu kuluttajien jälleenmyyntiahdistuneisuutta (resale anxiety) sähköautojen jälleenmyyntihinnoista. Jälleenmyyntiahdistuneisuudella tarkoitetaan kuluttajien pelkoa, joka johtuu sähköautojen epävarmasta tulevasta jälleenmyyntiarvosta (Lim et al. 2015). Sähköautojen markkinat ovat vielä suhteellisen pienet ja vakiintumattomat polttomoottoriajoneuvoihin nähden (Brückmann et al. 2021). On laajalti myös todettu, että sähköautojen jälleenmyyntiarvoihin liittyy enemmän epävarmuutta, koska historiallista tietoa jälleenmyynnistä on vähän (Hagman et al. 2016).

Tällainen ahdistuneisuus voi johtua näennäisesti paradoksaalisesta tilanteesta. Toisaalta nopea kehitys akkutekniikassa ja muissa sähköautojen ominaisuuksissa on erittäin toivottavaa, koska se parantaa sähköautojen nykyisiä ominaisuuksia. Toisaalta nopea edistyminen näillä linjoilla voi saada kuluttajat huolestumaan siitä, että tänään ostetun sähköauton arvo laskee jopa nopeammin kuin perinteisen polttomoottori ajoneuvon, jonka he todennäköisemmin tuntevat. (Brückmann et al. 2021)

Sähköautojen markkinat ovat kasvaneet merkittävästi viime vuosina, jonka ansiosta voidaan odottaa, että jälleenmyyntiahdistuneisuus vähenee. Lisäksi autonvalmistajat ovat vastanneet oletettuun tai todelliseen "jälleenmyyntiahdistuneisuuteen" antamalla takuita perinteisiin autoihin verrattavissa olevista jälleenmyyntiarvoista tai akun kapasiteetista. (Lim et al. 2015, Zhang and Zhao 2021)

Kun täyssähköautot ilmestyivät ensimmäisen kerran markkinoille, kokonaisomistuskustannukset olivat varmasti arvaamattomampia kuin perinteisillä autoilla (Haddadian et al. 2015). Kuten Lim et al. (2015, s. 102) huomauttavat, markkinoiden vakiintuessa jälleenmyyntiahdistuneisuus todennäköisesti vähenee, kun sähköautojen ominaisuuksia, kestävyyttä ja todellista jälleenmyyntihintaa seurataan sekä saadaan enemmän tietoa. Samoin ahdistuneisuuden ennustetaan vähenevän askel askeleelta sähköajoneuvojen yleistymisen ja suullisen tiedon kulkeutumisen kautta (Rajper et al. 2020).

Kuluttajien suhtautuminen auton jälleenmyyntiarvoon ei kuvasta kuitenkaan autojen todellista jälleenmyyntiarvoa. Polttoaineiden nopea hintojen nousu on vaikuttanut sähkö- ja polttomoottoriajoneuvojen jälleenmyyntihintoihin. Autokauppaan onkin syntynyt poikkeuksellinen tilanne, että käytetyistä sähköautoista asiakas voi joutua maksamaan jopa uutta vastaavaa enemmän. (Tanskanen 2022)

Sähkö- ja polttomoottoriajoneuvoja on hankala verrata objektiivisesti keskenään mallien välisten eroavaisuuksien takia. Kirjallisuudessa ei siis ole selvää yhdenmukaisuutta näiden kahden ajoneuvoluokkien ostohintojen välillä eroavien ominaisuuksien takia. Yleisesti sähköautoja kuitenkin pidetään vielä näistä kahdesta kalliimpana hankkia.

Maaailmanlaajuinen automarkkinoiden tutkimusyritys Jato toteaa markkinahintoihin perustuvassa analyysissään, että jopa hintahaarukan alapäässä oleva Renault Zoe ei pysty kilpailemaan nykyisten henkilöajoneuvojen keskimääräisten vähittäismyyntihintojen kanssa. Euroopassa, joka on sähköautojen toiseksi suurin markkina-alue, suosituimpien uusien henkilöautojen vähittäismyyntihinnat vaihtelivat vuonna 2019 noin 32 500–93 500 euron välillä. Suomessa kuljetuskustannuksien, verotuksen ja kovan kysynnän takia kuluttaja voi joutua maksamaan ajoneuvosta huomattavasti vähittäismyyntihintoja enemmän. Myyntihinnat vaihtelevat paljon myös merkkien ja varustelutasojen perusteella. Hintaluokan alkupäästä kuluttaja voi odottaa löytävänsä autojen perusversioita matalalla varustelutasolla. (Jato 2019)

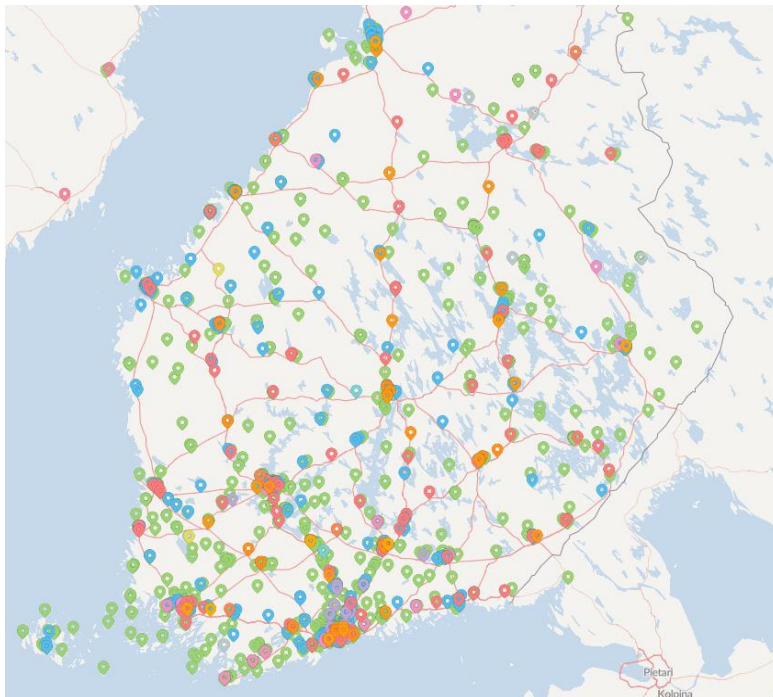
3.2 Sähköautojen lataus

Toisin kuten perinteiset polttomoottoriajoneuvot, sähköautot tarvitsevat latauspisteitä toimiakseen. Suomi on haastava ympäristö sähköautoille myös pitkien välimatkojen ja kylmien talvien takia. Sähköautot ja varsinkin täyssähköautot, ovat näillä pitkillä välimatkoilla usein hyvin riippuvaisia julkisista latauspisteistä. Infrastruktuurin suunnittelu ja kustannustehokaiden sekä kätevien julkisten ja yksityisten laturien ekosysteemin käyttöönotto on keskeisessä roolissa sähköautojen käyttöönoton tukemisessa (CME 2020).

Suomen latausverkosto on kasvanut nopeasti valtion tuen lisäksi suurten yksityisten investointien avulla ja uusia latauspaikkoja rakennetaan muun muassa huoltoasemille ja kauppojen yhteyteen (Muratori et al. 2021; Autoala tiedotuskeskus 2022c). Vuoden 2021 lopulla Suomessa julkisia latauspisteitä on 5451 kappaletta ja latauspaikkoja 1675 kappaletta, joka

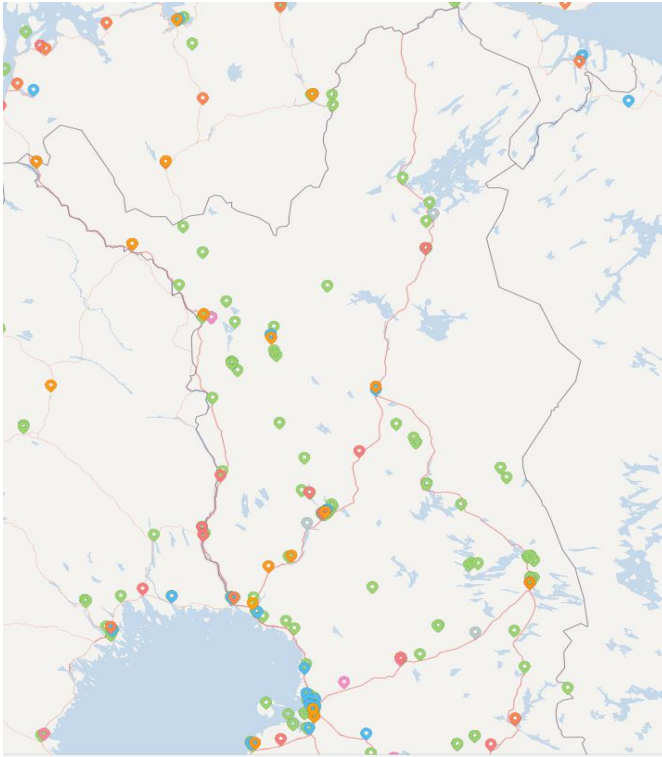
on noin 1400 % kasvu vuoden 2015 tilastoon nähden (E-mobility 2022; Salonen et al. 2015). Pikalatauksen vaatimat suuritehoiset (>22kW) julkiset pisteet olivat vuoden 2021 tilaston mukaan kuitenkin huomattavasti harvemmassa, kuin hitaat (<22kW) latauspisteet, sillä vain noin 15 % julkisista latauspisteistä tarjosi suuritehoista latausta (E-mobility 2022).

Riittävä tankkaus- tai latausinfrastruktuurin puute on estänyt monia aikaisempia pyrkimyksiä päästä pois öljyperäisistä polttoaineista (Muratori et al. 2021). Sähköautot ovat tämän saman esteen edessä. Suurista yksityisistä ja julkisista investoinneista huolimatta, sähköautojen latausinfrastruktuuri vaatii parantamista niin taajama-alueella, kun sen ulkopuolella (Transport & Environment 2019). Eteläisessä Suomessa paikoittain sähköautojen latauspaiikat ovat lukumääräisesti ohittaneet jo perinteiset tankkausasemat, mutta akuston lataaminen vaatii kuitenkin huomattavasti enemmän aikaa kuin perinteinen tankkaaminen (Latauskartta.fi 2022).



Kuva 6. Julkisten latauspisteiden määrä Suomen eteläosassa. (Latauskartta.fi 2022)

Suomen pohjoisosissa julkisten latauspisteiden tilanne on selvästi heikompi, sillä siellä pitkien välimatkojen lisäksi, julkiset latauspisteet ovat keskittyneet pitkälti turistikeskuksiin ja asuinkeskittymiin (Latauskartta 2022).



Kuva 7. Julkisten latauspisteiden määrä Suomen pohjoisosassa. (Latauskartta.fi 2022)

Täyssähköautot eivät ole pelkästään julkisten latauspisteiden varassa, vaan auto on ladattavissa myös kannettavien verkkovirtaan kytkettävien latauslaitteiden avulla. Sähköauton omistajilla on mahdollista hankkia autolle myös kotilatausasema, josta lataustehoa saadaan huomattavasti kannettavia latauslaitteita enemmän (Nordic Plug, 2022). Kotiasemat ja niiden asennuttaminen vaativat kuitenkin investointeja, jotka puolestaan nostavat sähköautoon liittyviä kokonaiskustannuksia.

Yksityiset pisteet ovatkin merkittävä osa sähköautojen latausta, sillä noin 50-80 % latauksesta suoritetaan kotona, 15-25 % töissä ja vain noin 5 % julkisissa latureissa (Muratori et al. 2021). Kotilaturit vaihtelevat mallista riippuen pääsääntöisesti 3,6 kW ja 22 kW välillä. Normaalisti auton mukana tuleva oma kannettava latauslaite tarjoaa vain 3,6 kW tehon, jolloin auton lataus vie ajallisesti useita tunteja. Puolestaan kotiaseman normaaliteho on 11 kW, mikä on myös suhteellisen alhainen nopeimpiin pikalatureihin nähden, mutta asemasta riippuen tehoa on mahdollista kasvattaa tästä moninkertaiseksi. Suuritehoiset pikalataukseen soveltuvat kotilaturit ovat hankintahinnaltaan kuitenkin huomattavasti hitaita latureita kalliimpia. (Nordic Plug 2022)

Markkinakehityksen alkuvaiheessa, kun ajoneuvoja on suhteellisen vähän, tulevaisuuden kysyntä on epävarmaa ja suurin osa latauksista tapahtuu sähköauton kotipaikalla. Julkisia

latausasemia käytetään yleensä vähän näissä alkuvaiheissa, mikä on vaikea haaste yksityisille investoinneille. Tällöin varsinkin hidasta laturia jopa moninkertaisesti hintavimmat pikalaturit voivat olla rahoitusongelman edessä (YLE 2021, U.S Department of Energy 2015). Sähköajoneuvojen latauksen vaikutus jakelujärjestelmiin on erityisen kriittinen suurteholatauksessa ja tapauksissa, joissa monet sähköautot ovat keskittyneet tiettyihin paikkoihin, kuten asuinalueiden yhteyteen ja mahdollisesti hyötyajoneuvojen varastoihin. Suurempien ajoneuvojen ja maanteiden pikalatausasemien lataamiseen liittyy tyypillisesti korkeampi tehotaso: sähköautojen tasavirta pikalataus (DCFC) on nykyään tyypillisesti 50 kW/pistoke, mutta tehotasot kasvavat nopeasti. Kaupalliset latauspaikat, joissa on useita pistokkeita samassa paikassa, voivat johtaa mahdollisiin megawatin tasoihin kuormituksiin. Etenkin kaikista nopeimmat tasavirralla toimivien (DCFC) pikalaturien kaupallinen toiminta saattaa vaatia kalliita päivityksiä jakelujärjestelmiin, mikä puolestaan voi vaikuttaa voimakkaasti julkisen pikalatauksen kustannustehokkuuteen, varsinkin jos asemien käyttöaste on alhainen. (Muratori et al. 2021)

Ottaen huomioon kotilatauksen tärkeyden, laturien saatavuus katupysäköintiin on todennäköisesti välttämätöntä kerrostalo alueilla (Muratori et al. 2021). Sähköautoilla on polttomoottori ajoneuvoihin nähden kadunvarsilatauksen puutteen lisäksi myös muita lataukseen liittyviä haittapuolia, sillä akuston lataus nopeimmallakin pikalatauksella on huomattavasti hitaampaa kuin bensa-auton tankkaaminen. Tutkimuksen mukaan latausta vaativilla automaatioilla latausajan osuus pysähdyksissä olostä on 72 - 75 %, latausaika on kuitenkin mahdollista puolittaa latausasemien optimaalisella käytöllä (S.Roni et al. 2019). Lyhyemmän kantaman takia sähköautoja joudutaan lataamaan useammin kuin perinteisiä polttomoottori-ajoneuvoja tankkaamaan, joten myös pysähdysvälit ovat tiheämmässä. Tutkimuksessa pikalatauspaikoilla nähtiin olevan vaikutus sähköautoilijoiden reitin valintaan, kun puolestaan hitailla latauspaikoilla ei juurikaan nähty olevan vaikutusta (Ashkrof et al. 2019). Pikalatauspaikat mahdollistavat korkeamman lataushinnan perimisen, kun kuluttajat ovat valmiit maksamaan nopeammasta latauksesta (LeBlanc 2022).

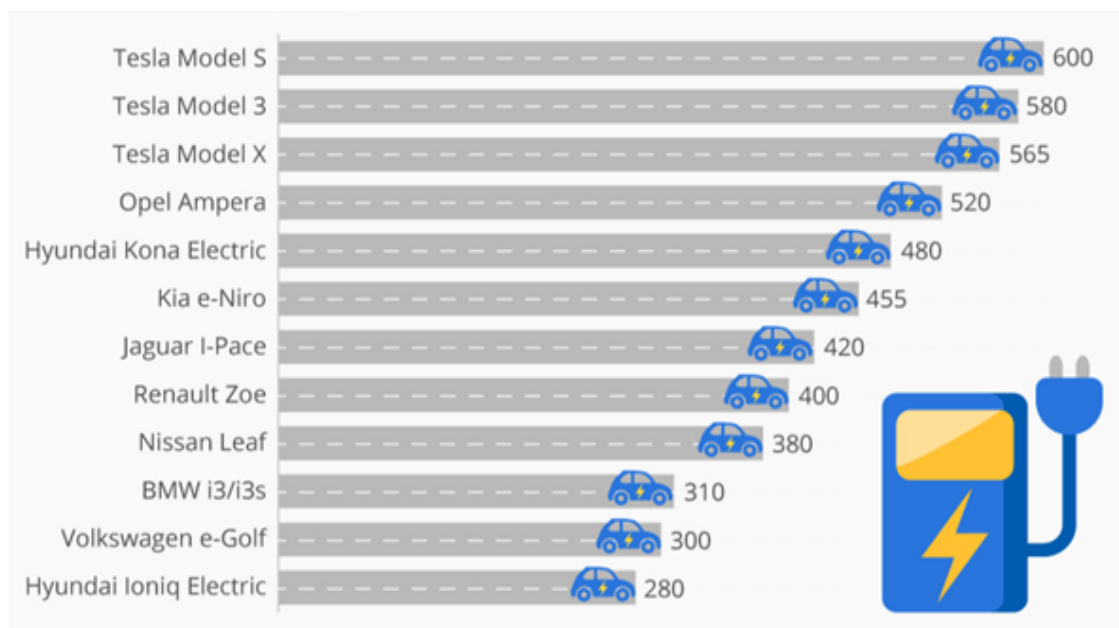
Paikallisella tasolla sähköajoneuvojen lataus voi lisätä sähkökuormitusta merkittävästi, millä voi olla negatiivisia vaikutuksia jakeluverkon kaapeleihin ja jakelumuintajiin, sekä sähkön laatuun ja luotettavuuteen (Khalid et al. 2019). Sähköautojen kotilataus merkitsee kotitalouksien sähkönkulutuksen merkittävää kasvua, mikä voi edellyttää myös kotitalouksien sähköjärjestelmän päivityksiä. Sähköautojen latauksen vaatimat suuret sähkövirrat voivat

ylittää enimmäistehon, jota jakeluverkosto pystyy tukemaan. Erityisesti vanha infrastruktuuri ja korkean sähkönkulutuksen ajat, kuten ruuhka-aikojen kulutuspiikit ja arkipäivät ovat haasteellisia jakeluverkolle. (IEA 2017)

EU:ssa on nykyään standardisoitu myös sähköautojen latauspistokkeet, joten lain mukaan kaikkien latauspaikkojen on tuettava Type-2 latausta. Sähköautoilija voi nykyään olla varma löytävänsä yhdenmukaisen latauspistokkeen jokaiselta latausasemalta. Latauspaikoilta löytyvä Type-2 laturi ei kuitenkaan tue nopeinta pikalatausta, jolloin latausaika voi nousta moninkertaiseksi nopeimpaan pikalataukseen nähden. (Virta 2022b) Euroopan unionin alueella yhtenäisestä latauspistokkeesta huolimatta, autoilija voi törmätä esteisiin latauksen yhteydessä. Sähköautolla matkustaminen on edelleen monimutkaista Euroopan unionin alueella yhdenmukaisen maksujärjestelmän ja käyttäjätietovaatimusten puutteen vuoksi (ECA 2021).

3.3 Akusto

Litium akuston kapasiteetti, energiatiheys ja hyötysuhde ovat parantuneet teknologisten kehitysten myötä merkittävästi ja lähestyvät nopeasti perinteisten polttomoottori ajoneuvojen keskimääräistä kantamaa (Muratori et al. 2021). Sähköauton toimintasäde on riippuvainen auton akuston kapasiteetista, ympäristön olosuhteista, ajotyylistä ja monesta muusta tekijästä. Työssä akustot jaetaan kolmeen yleiseen kapasiteettiluokkaan, helpottamaan tutkimista millaisia ominaisuuksia ja toimintasädetä kuluttaja voi auton akustolta odottaa. Kapasiteetiltaan 20-30 kWh akun kantama on yleisesti noin 150-250 km, suurempien 40-60 kWh kantama on 300-450 km ja suurten 75-95 kWh akuston kantama on >500 km (Motiva 2022a). Arvot ovat kuitenkin suuntaa antavia, sillä mallien ja merkkien välillä kantamassa on vaihtelua jopa kymmeniä prosentteja (Tiedge et al. 2015). Yleisesti ottaen testit ovat myös osoittavat sähköautojen olevan noin 10 % alhaisemmat virallisista arvostaan realistisemmissä olosuhteissa (NAF 2022). Toimintasäteeltään polttomoottoriautot ovat yleisesti vielä täyssähköautoja reilusti edellä, 50 litralla polttoainetta dieselauton toimintasäde on noin 1 000 km ja bensiiniauton noin 600 km (Motiva 2022a, European Commission 2022).



Kuva 8. Sähköautojen kantamia vuoden 2019 tilaston mukaan (Statista 2019)

Ero johtuu energiavaranon energiatiheydestä. Dieselpolttoaine on energiatiheydeltään 12 kWh/kg, verrattuna litiumakkujen energiatiheys, joka on vain noin 0,1 kWh/kg. Sähköautoissa 1 000 km:n toimintasädetä varten tarvittaisi noin 1 000 kg:n painoinen akku. Sähköautoissa akuston kapasiteettia lisäämällä myös auton paino nousee merkittävästi, joka puolestaan kasvattaa kulutusta. Polttomoottori ajoneuvoissa on mahdollista lisätä kantamaa pienemmällä painon lisäyksellä polttoaineiden energiatiheyden ansiosta. (Motiva 2022)

Yksittäisenä esimerkkinä tarkastelemme vuonna 2021 Suomen suosituimman sähköauton Volkswagen ID.4 kantamaa, jolla on valmistajan antaman kantaman mukaan 77 kWh akulla 520 km, kun puolestaan Suomen 2021 suosituimman uuden polttomoottoriajoneuvon Toyota Corolla valmistajan tarjoaman kantama on mallista riippuen 679–720 km (Volkswagen 2022b, Toyota 2022, Traficom 2022b). Suuren akkukapasiteetin sähköautot alkavat kilpailemaan toimintasäteilään bensiiniautojen kanssa, mutta diesel autoihin verrattuna toimintasäde on vielä merkittävästi alhaisempi.

Sähköautojen akusto myös kuluu käytössä ja niillä on rajallinen käyttöikä. Jokaisen lataus syklin yhteydessä akku menettää pienen osan kapasiteetistaan. Yleisesti akuston käyttöön päätymiskriteerinä käytetään usein 20 %:n kapasiteetin menetystä. Tällöin akuston kuntoa pidetään riittämättömänä sähköauton käyttöön. Sykliin määrä ennen kuin kyseinen kapasiteetin menetys saavutetaan, riippuu olosuhteista, käyttötavoista ja monesta muusta tekijästä.

Yleisesti akusto kuitenkin kestää noin 1500-2000 sykliä ennen akuston vaihdon tarvetta, mutta käyttäjä voi vaikuttaa tähän käyttötavoilla. (Garcia 2021)

Auton valmistajat tarjoavat yleisesti akustoihin pitkiä noin 5-8 vuoden tai 100 000 – 200 000 ajokilometrin takuita. Akustot eivät myöskään hajoa kokonaan, vaan vaihtotarpeen määrittää monesti akuston kapasiteetin alenema. (Motiva 2022d) Takuun rautessa akuston vaihtaminen voi tulla hyvinkin kalliiksi. Akuston ollessa täyssähköautojen kallein komponentti, pudonneista litiumakkujen hinnoista huolimatta, kapasiteetiltaan pienimpienkin akustojen vaihto maksaa tuhansia euroja. Esimerkkinä 150 € per kWh hintatasolla, 50 kWh akun hinnaksi tulee 7500 €.

3.4 Käyttökulut ja huolto

Sähköautot ovat pääsääntöisesti Suomessa polttomoottori ajoneuvoja kalliimpia hankkia, mutta halvempia ylläpitää ja ajaa (Autoala tiedotuskeskus, 2022d). Alkuinvestoinnin jälkeen sähköauto alkaa siis kuroa polttomoottori ajoneuvoja kiinni kokonaiskustannuksissa. Aikaväli, jonka jälkeen ajoneuvo tulee kuluttajalle halvemmaksi, riippuu kuitenkin ajetuista kilometreistä ja energian hinnoista.

Sähköautot ovat polttomoottoreita huomattavasti energiatehokkaampia ja muuttavat yli 77 % sähköverkosta tulevasta sähköenergiasta pyörille tehoksi. Perinteiset bensiinikäyttöiset ajoneuvot vastaavasti muuttavat vain noin 12–30 % bensiiniin varastoidusta energiasta pyörien voimaksi, joten sähköautojen energiatehokkuus on moninkertainen. (U.S. Department of Energy, 2022)

Sähköauton energiankulutus ihanteellisissa olosuhteissa on jopa alle 0,15 kWh/km, mutta yleinen keskiarvo on lähempänä 0,2 kWh/km. Ihmiset matkustavat eri aikoina ja eri määriä, joten kuluttajan halutessa laskea sähköautonsa kulutuksen kustannuksia, tulee laskuun huomioida sään, ajotottumusten ja energian hinnan kaltaiset muuttuvat tekijät. Keskiaverto suomalainen ajaa vuodessa hieman yli 16 800 km, jolloin 0,15 €/kWh sähkön hinnalla vuotuiseksi energian kustannukseksi tulee hieman yli 500 €. Keskiaverto suomalaisen autoilijan kilometreillä ja polttoaineen hinnan ollessa yli 2 € litralta, voi kuluttaja säästää jopa tuhansia euroja vuodessa ajaessaan sähköautolla perinteisen polttomoottori ajoneuvon sijaan. Polttoaineiden ja sähkön hinnat kuitenkin alati muuttuvat markkinoilla, eikä kuluttaja voi odottaa hintojen pysyvän samoina tulevaisuudessa. (Virta 2022a)

Halvemman ajettavuuden lisäksi sähköautot ovat huomattavasti polttomoottori ajoneuvoja edullisempia ylläpitää. Tutkimuksien mukaan sähköautojen huolto- ja korjauskustannukset ovat noin puolet koko ajoneuvon käyttöiän aikana polttomoottoreihin nähden (Muratori et al. 2021). Arvion mukaan jo ensimmäisen kolmen vuoden ja ~97 000 km aikana huoltokuluissa säästää 23 % (Muratori et al. 2021). Matalammat kulut selittyvät tarkastellessa autojen komponentteja. Sähköautoissa on vähemmän liikkuvia osia vastaaviin polttomoottori ajoneuvoihin nähden, jolloin kuluvia osia on vähemmän ja todennäköisyys myös hajoamisiin pienenee (Motiva 2022b). Sähköautoilija säästää myös siinä, ettei esimerkiksi öljynvaihtoja tarvita ja voimansiirtokin on yksinkertaisempi polttomoottoriautoihin verrattuna.

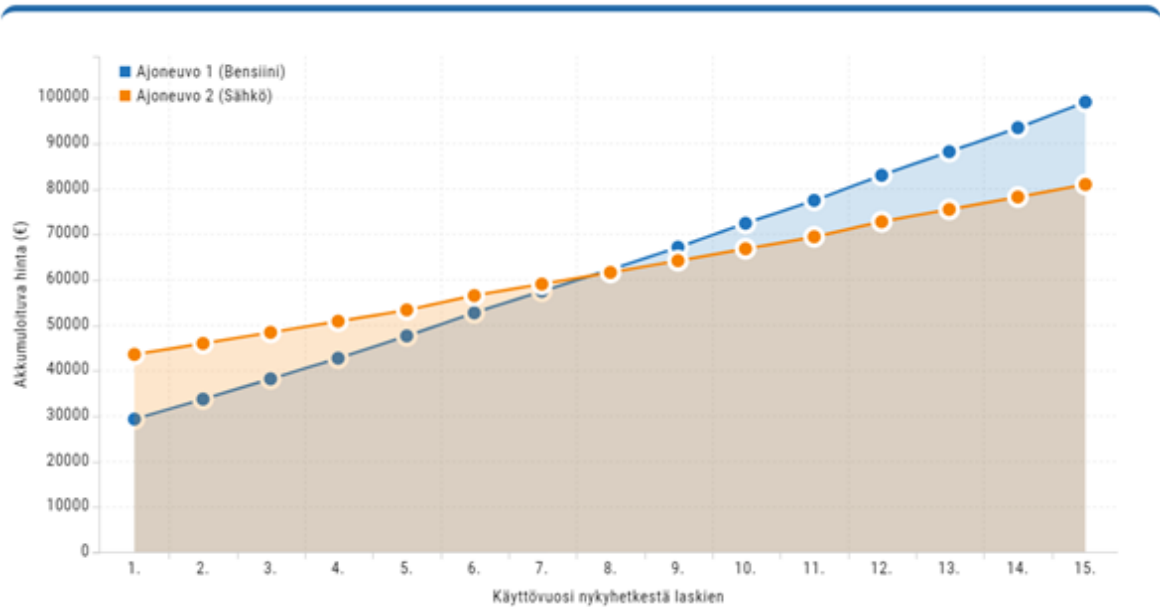
Täyssähköautot ovat yleisesti myös merkittävästi polttomoottoriajoneuvoja edullisempia käyttää. Sadalla ajokilometriä vuoden 2021 energian keskihinnoina autoilija voi olettaa maksavansa bensiini ajoneuvolla:

Bensiinin 2021 keskihinta 1,68 €/L, kulutus 5-10 L/100 km = ~8,4 € – 16,8 €

Täyssähköautolle:

Sähkön 2021 keskihinta 0,16 €/kWh, kulutus 15-20 kWh/100 km = ~2,4 € - 3,2 €. (YLE 2022)

Käyttökulut eivät kuitenkaan anna kokonaisvaltaista kuvaa kustannuksista. Suomen ilmastopaneelin tutkijoiden kehittämässä laskurissa (<https://www.ilmastopaneeli.fi/autokalkulaatori/>) voi sisällyttää erilliset sivukustannukset ja verot kokonaiskustannusten laskemiseen. Laskuri mahdollistaa autoilijalle näiden kahden eri käyttövoimien vertailun, sekä selvittää millä käyttöasteella ja aikavälillä sähköauto tulee kustannuksiltaan polttomoottori ajoneuvoa edullisemmaksi. Esimerkkinä kuvassa 9 sähköauton hankintahinnaksi asetettu 40 000 € ja vastaavasti bensiiniautolle 25 000 €. Kyseisillä hankintahinnoilla ja keskiporto suomalaisen ajokilometreillä (16 800 km), kahdeksannen käyttövuoden aikana sähköauton kokonaiskustannukset alittavat bensiiniauton kokonaiskustannukset.



Kuva 9. Ajoneuvojen elinkaarikustannuksia sähkö- ja bensiinikäyttöisille ajoneuvoille. (Ilmastopaneeli 2022)

Laskurilla saadut kustannukset ovat suuntaa antavia, sillä energian hintojen muuttuessa ja sääolosuhteiden vaihdellessa ei autoilija voi olettaa saavansa samoja arvoja tulevaisuudessa. Suomen ilmasto on varsinkin talvisin litiumakustoa rasittava ja toimintamatkat laskevat merkittävästi kylmällä säällä. Autoliiton norjalaisen sisarjärjestön suorittamassa maailman suurimmassa sähköautojen testausohjelmassa testattiin 31 eri sähköautomallin toimintamatkaa talviolosuhteissa. Testin perusteella kaikkien 31 mallin poikkeama oli yli 10 prosenttia ajoneuvovalmistajan ilmoittamasta vakio-olosuhteissa tehdystä testeistä, sekä testattujen mallien välillä ilmeni vaihtelua kymmeniä prosentteja. (NAF 2022)

3.5 Valtion tuet ja määräykset

Täyssähköautojen taloudelliset tuet ovat olleet kiistatta merkittävässä roolissa sähköautojen laajamuotoisessa käyttöönotossa (Muratori et al. 2021). Suomessa valtio tarjoaa yksityishenkilöille seuraavien kriteerien täyttävälle ensirekisteröidyille sähköajoneuvoille hankintatukea 2000 euroon asti:

- Auto on täyssähköinen henkilöauto
- Auton kokonaishinta on enintään 50 000 euroa
- Hankittu tai pitkäaikaisvuokrattu sähköauto on uusi ja ensirekisteröimätön
- Auton voi hankkia aikaisintaan 1.1.2022 ja tukea on haettava viimeistään 31.3.2023

- Ostaja tai vuokraaja on yksityishenkilö
- Hankittava ajoneuvo ensirekisteröidään Suomeen
- Hankittu tai pitkäaikaisvuokrattu auto tulee hakijan omaan käyttöön
- Hakija sitoutuu pitämään hankintatuen kohteena olevan auton omistuksessaan tai hallinnassaan liikenneasioiden rekisterissä tai Ahvenanmaan ajoneuvorekisterissä vähintään 1 vuoden ajan auton ensirekisteröinnistä. (Traficom 2022c)

Tukea on saanut auton ostaja tai vuokraaja, jos autoa sitoutuu vuokraamaan vähintään kolmen vuoden ajanjaksoksi. Suomessa henkilöautojen autovero perustuu auton valmistajan ilmoittamiin hiilidioksidipäästöihin, jolloin hankintatuen lisäksi nollapäästöisiksi 0 g/km kategorisoidut täyssähköautot ovat oikeutettu alimpaan mahdolliseen 2,7 % veroluokkaan. Sähköautojen käyttövoimaveron on erittäin alhainen 1,5 Snt/pv/100kg, kun esimerkiksi dieselautojen käyttövoimaveron on 5,5 Snt/pv/100kg. Helsingissä on käytössä paikallisesti myös vähäpäästöisten autojen pysäköintimaksuista alennus, jolloin kaupunki myöntää vähäpäästöisille henkilöautoille ja täyssähköisille L-luokan ajoneuvoille 50 % kadunvarsipysäköinti alennuksen vyöhykkeillä 1 ja 2. (Tesla 2022)

Suomessa valtio tarjoaa tällä hetkellä sähköautojen hankintatuen ja alennetun verotuksen lisäksi taloyhtiöille 35 % tuen latausinfraan kustannuksista 90 000 euroon asti ja yrityksille 750 euron latauspisteavustuksen, per käyttökuntoinen avustusehdot täyttävä latauslaite (Traficom, 2022a, E-mobility 2022). Yrityksillä on lisäksi mahdollista saada työsuhdeautoihin käyttöetuna vähennystä verotusarvosta 170 €/kk, jos auto on ensirekisteröity 1.1.2020 tai sen jälkeen (Autoalan tiedotuskeskus 2022a). Tämän kaltaiset julkisen sektorin tuet heijastuvat myös yksityisen sektorin puolelle, kasvaneiden rahoitusten ja valmistuskapasiteetin muodossa (Muratori et al. 2021). Taloudellisilla kannustimilla valtioiden tasolla pyritään kuluttajia ohjaamaan kohti puhtaita käyttövoimia ja helpottamaan siirtymää polttomoottori ajoneuvoista sähköisiin kulkuneuvoihin.

Marraskuussa 2020 voimaan astunut sähköautojen latausverkoston kehittämiseen vaikuttava laki edellyttää kevästä 2021 alkaen latausvalmiuden asentamista uusiin pysäköintialueisiin sekä korjattaviin pysäköintialueisiin. Latauspistevalmiudella tarkoitetaan putkitusta tai muita johtoteitä, joihin voidaan myöhemmin asentaa tarvittava kaapelointi sähköajoneuvojen latauspisteitä varten, sekä kaapelointia sähköajoneuvojen latauspisteitä varten. Lain mukaan uuden tai laajamittaisesti korjattavan asuinrakennuksen yhteyteen on asennettava latauspistevalmius jokaista pysäköintipaikkaa varten, jos pysäköintipaikkoja on enemmän

kuin neljä. Laki velvoittaa myös jo olemassa olevia, ei-asuinkäytössä olevia rakennuksia, joissa on yli 20 pysäköintipaikkaa, kuten kouluja, päiväkoteja, sairaaloita ja muita julkisia rakennuksia. Näissä kohteissa tulee asentaa vähintään yksi latauspiste ja latausvalmius tulee asentaa vähintään puoleen pysäköintipaikoista vuoden 2024 loppuun mennessä. (Finlex 2020)

4 Sähköautoilun tulevaisuuden näkymät

4.1 Sähköautojen integrointi sähköverkkoon

Suomessa, kuten lähes kaikkialla maailmassa, sähköä pyritään tuottamaan yhä enemmän uusiutuvalla energialla. Uusiutuvat energiamuodot tuovat puolestaan uusia haasteita sähköverkolle niiden suuresti vaihtelevan tuottavuuden takia. Uusiutuvien energiamuotojen haasteena on se, että ne tuottavat energiaa vain silloin kun olosuhteet ovat suotuisat niille. Potentiaalinen miljoonien sähköautojen yhdistäminen sähköjärjestelmään tulevina vuosikymmeninä toisi sähköverkkoon kapasiteettia vastata kuormituksen vaihteluihin (Muratori et al. 2021). Sähköautojen akkukapasiteettia hyödynnetään jo nykyään sähköverkoissa, mutta se on vielä pääsääntöisesti testauksen tasolla ja integroitu kapasiteetti on vielä hyvin pieni (Muratori et al. 2021).

Sähköautoilijat saavat integroinnista vakaan verkon lisäksi muitakin synergiaetuja. Älykkäällä latauksella, jossa sähköajoneuvojen lataus ajoitetaan verkon signaalien ja ajan myötä vaihtelevien sähkönhintojen perusteella tai muut hallintatavat voivat auttaa minimoimaan sähköautojen latauksen vaikutusta jakeluverkkoihin. Älykkäällä latauksella akustot voidaan siis ladata täyteen alhaisen kysynnän aikaan ja vapauttaa takaisin verkkoon kysynnän ja hinnan kasvaessa. Älykäs lataus vaatii kuitenkin sekä asianmukaisia liiketoimintamalleja että signaaleja. Jakeluverkonhaltijoiden markkinat tällaisten palvelujen tarjoamiselle eivät ole vielä täysin kehittyneitä. (Muratori et al. 2021)

Suomessa on viime vuosina rakennettu suuria määriä tuulipuistoja tavoitteena päästä hiili-neutraalisuuteen, sekä rakenteilla on vielä useita lisää (Motiva, 2022c). Kasvaneen tuulivoiman myötä Suomen sähköverkkoon on tullut paljon vaihtelevuutta ja sähköä joudutaan monesti tuomaan naapurimaista Suomeen tyyninä päivinä. Tulivoiman yhteydessä sähköautojen ohjattu älykäs lataus on tervetullut ominaisuus, sillä tuotannon ja kysynnän suhteita on helpompi tasoittaa varastoidulla energialla. Sähköautojen akkukapasiteetin hyödyntäminen voisi sähköverkon vakauden lisäksi vähentää Suomen riippuvuutta tuodusta sähköstä. Lähellä tuotetun sähkön hyödyntäminen auttaisi myös vähentämään sähkön siirrossa syntyvää hävikkiä, jolloin suurempi osa tuotetusta sähköstä saataisiin hyötykäyttöön.

4.2 Langaton lataus

Sähköautojen tullessa yhä suosituimmiksi, mahdollisuus lataukseen kodin ulkopuolella on noussut yhä merkittävämmäksi tekijäksi. Langaton lataus on noussut vaihtoehdoksi perinteisen latauksen rinnalle potentiaalisesti vaihtoehdoksi. Langattomassa latauksessa lataus tapahtuu WPT (Wireless Power Transfer) -tekniikalla, joka ei vaadi fyysistä kosketusta sähköenergian siirtoprosessissa. WPT:tä on menestyksekkäästi sovellettu jo pidemmän aikaa erilaisten kannettavien laitteiden, kuten lääketieteellisten instrumenttien, elektronisten hammasharjojen ja älypuhelimien lataamiseen. Tämän teknologian potentiaalia on nykyään alettu selvittämään isommassa mittakaavassa sähköautojen lataukseen. (Young 2018)



Kuva 10. Asfaltin alle tuleva langattoman latauksen järjestelmä. (Tekniikkatalous 2022)

Ensimmäinen käyttöön otettu sähköautojen langaton lataustekniikkajärjestelmä oli suunniteltu lataamaan sähköautoja autotallissa tai julkisissa pysäköintipaikoissa, kun ajoneuvo on pysähtyneessä (staattinen lataus). Teknologian kehittyttyä autoja kyetään lataamaan myös liikkeessä (dynaaminen langaton lataus). Dynaamisella langattomalla latauksella pystyttäisiin poistamaan tarve pysähtyä lataamaan ajoneuvoa, joka on ollut sähköautojen suuri

haittapuoli polttomoottoriautoihin nähden. Järjestelmä hyödyntää tienpinnan alle upotettua latausinfrastruktuuria, joka siirtää sähköä ajoneuvoon sen liikkuessa tai ollessa paikallaan. Korea Advanced Institute of Science and Technology otti käyttöön vuonna 2009 ensimmäisen kaupallisen dynaamisen langattoman lataussähköauton, joka sai suurta huomiota medialta. WPT-tekniikka on kehittynyt nopeasti ja useita kaupallisia WPT-järjestelmiä on jo julkaistu. Järjestelmän käyttöönotto on kuitenkin ollut suhteellisen hidasta korkean hinnan ja joidenkin teknisten haasteiden takia. (Young 2018)

Langattoman latauksen järjestelmä on herättänyt kiinnostusta myös Suomessa. Vantaalle kaavailaan ensimmäistä langattoman latauksen pilottihanketta, joka mahdollistaisi sähköautojen staattisen latauksen. Suomessa pilottihankkeella pyritään saamaan konkreettisia testituloksia, jonka jälkeen järjestelmää lähdetään mahdollisesti laajentamaan kaupalliseen käyttöön. Langattoman latauksen nähdään ensimmäisenä soveltuvan ammattiliikenteen käyttöön, kuten taksien tai logistiikkayritysten. WTP-infrastruktuurin rakentaminen on kallista, joten Suomessa ei olla vielä lähitulevaisuudessa nähtävissä laajamuotoisempaa langattoman latauksen tieverkostoa. (Tuppurainen 2022)

4.3 Sähköiset yhteiskäyttöautot

Yhteiskäytön vaikutuksista ja mahdollisista hyödyistä on tehty monia tutkimuksia ja useimmat osoittavat, että sillä on hyödyllisiä sosiaalisia-, ympäristö- ja taloushyötyjä perinteiseen yksityiskäyttöön nähden (ICCT 2021). Viimeaikaiset tutkimukset ovat samalla kuitenkin osoittaneet kuluttajien riittämättömän tietämyksen ja suuren epävarmuuden sähköautoteknologiasta (Schlüter et al. 2019). Sähköautojen yhteiskäytön käyttäjät voivat testata innovaatiota ja sen mahdollisia etuja jokapäiväisessä elämässä saaden tietoa ja luottamusta sähköautoihin (Schlüter et al. 2019).

Sähköajoneuvojen hyväksyttävyyttä katukuvassa voitaisiin saavuttaa paremmin kohdentamalla sähköisiä yhteiskäyttöautoja kaupunkialueilla asuville aktiivisesti matkustaville henkilöille. Sähköajoneuvojen yhteiskäyttöpalvelujen edistäminen, autojen omistamisen vähentämisen ja yksilöiden liikkuvuuden lisäämisen kaupunkialueilla voivat toimia politiikan välineinä, jolla siirretään liikkumisjärjestelmän muutosta kohti sähköistä liikennettä. Lisäksi, kun otetaan huomioon sähköautojen tietoisuuden ja kokemuksen merkitys ostopäätöksiin

vaikuttamisessa, sähkökäytön hyötyjen mahdollistaminen miljoonille potentiaalisille autonostajille voisi epäsuorasti auttaa lisäämään yksityisomistuksessa olevien sähköautojen käyttöä. (Schlüter et al. 2019)

Sähköajoneuvot ovat yleisesti kalliimpia ostaa, mutta niiden polttoaine- ja ylläpitokustannukset ovat alhaisemmat kuin perinteisillä polttomoottoriajoneuvoilla. Jaetuilla autoilla on tyypillisesti raskaammat käyttötavat kuin yksityisissä ajoneuvoissa ja alhaisemmat käyttökustannukset voivat tehdä elinkaarikustannuksiltaan sähköautoista polttomoottoriajoneuvoja huomattavasti edullisempia. Yhteisomistuksessa olevien autojen matkaprofiili on yleensä yksityisomistuksessa olevia autoja lyhyempiä, jolloin sähköautot voisivat soveltua siihen vieläpä erittäin hyvin. (Kamiya et al. 2019)

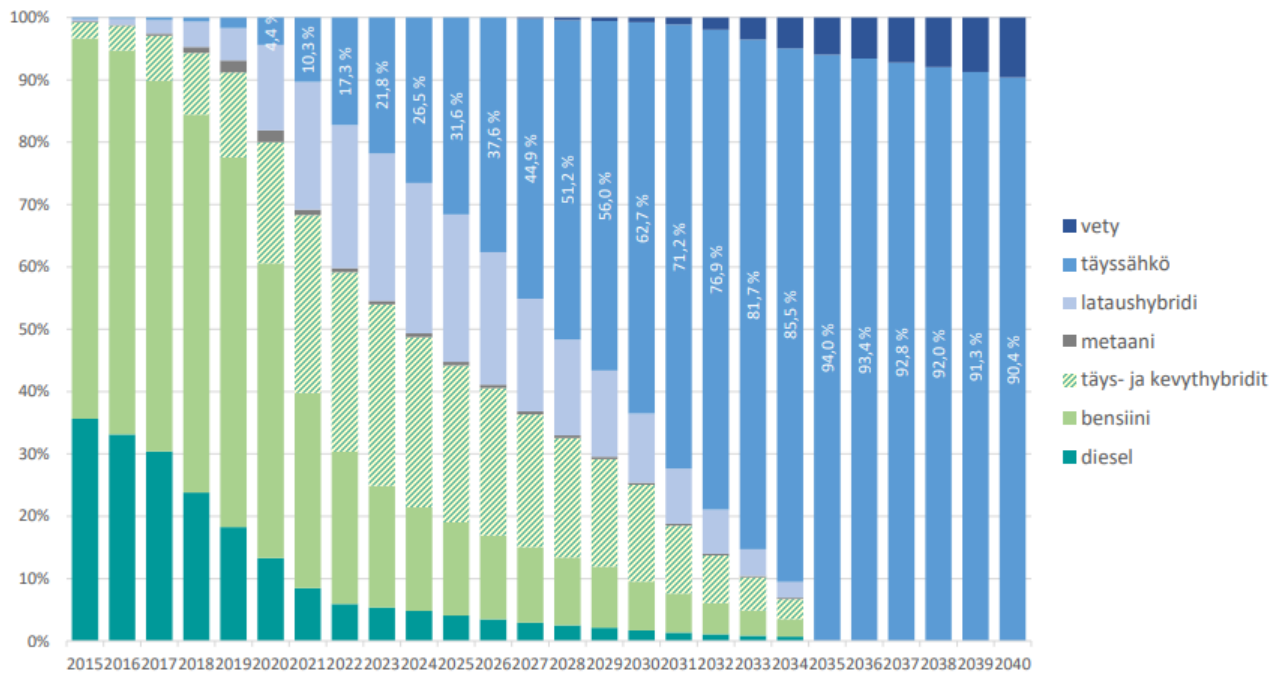
Sähköautojen käyttöönotto Uberin ja Lyftin kaltaisissa kyytipalveluissa on ollut vielä hidasta, huolimatta merkittävistä polttoaine- ja ylläpitosäästämahdollisuuksista. Suuret kyytipalvelu yritykset ovat osoittaneet mielenkiintoa sähköautoja kohtaan ja pyrkivät suosimaan sähköautoja yhä enemmän liiketoiminnassaan. Siirtyminen sähköautoihin yhteisautojen ja kyytipalveluiden osalta voi johtaa paljon suurempiin ajoneuvokohtaisiin kasvihuonekaasujen vähennyksiin verrattuna yksityisomistuksessa oleviin sähköautoihin. Korkea käyttöaste ja nopeampi kaluston vaihtuvuus voivat myös nopeuttaa akkujen innovaatio sykliä ja johtaa entistä tehokkaampien ajoneuvojen nopeampaa käyttöönottoa. Kun otetaan huomioon kuluttajien tietoisuuden ja kokemuksen vaikutus ostopäätöksiin, sähköautojen mahdollistaminen miljoonille potentiaalisille autonostajille voisi epäsuorasti lisätä yksityisomistuksessa olevien sähköautojen käyttöä. (Kamiya et al. 2019)

4.4 Sähköautokannan tulevaisuuden arvio

EU-komission ilmasto- ja energiapaketissa osana Green Deal-ohjelmaa EU nosti vuoden 2030 päästövähennystavoitetta 40 %:sta 55 %:iin, jolloin tarve päästä fossiilisista polttoaineista eroon kasvoi. Sähköautojen suosion on ennakoitu tulevaisuudessa kiihtyvän entisestään, sillä lainsäädäntö, erilaiset kansalliset ja EU-laajuiset ohjaustoimet vaikuttavat sähköautojen kysyntään. Myös EU:n ja kansallisella tasolla kiristyvät ilmastotavoitteet ja energian hintakehitys ohjaavat kohti vihreää siirtymää liikennesektorilla, päämääränä tehdä Euroopasta hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. (Autoala tiedotuskeskus, 2022d)

Tarkastelemalla muiden Euroopan maiden sähköautokannan kehitystä on Suomen mahdollista päästä tiekartan sähköautotavoitteeseen. Valtiolla on suuri mahdollisuus vaikuttaa sähköautojen yleistymisen nopeutumiseen. Vaikuttavimpia valtion toimia ovat olleet toimenpiteet, jotka vaikuttavat polttomoottoriautojen ja täyssähköautojen hintaeroon (Demos Helsinki & Tampereen yliopisto 2021). Sähköautokannan kehitys on riippuvainen yksityisten kuluttajien, yritysten, sekä valtion päätöksistä. Autonvalmistajat sekä yritykset autoalan ulkopuolelta kehittävät uutta teknologiaa ja innovaatioita tehden sähköautoista kilpailukykyisempiä vaihtoehtoja.

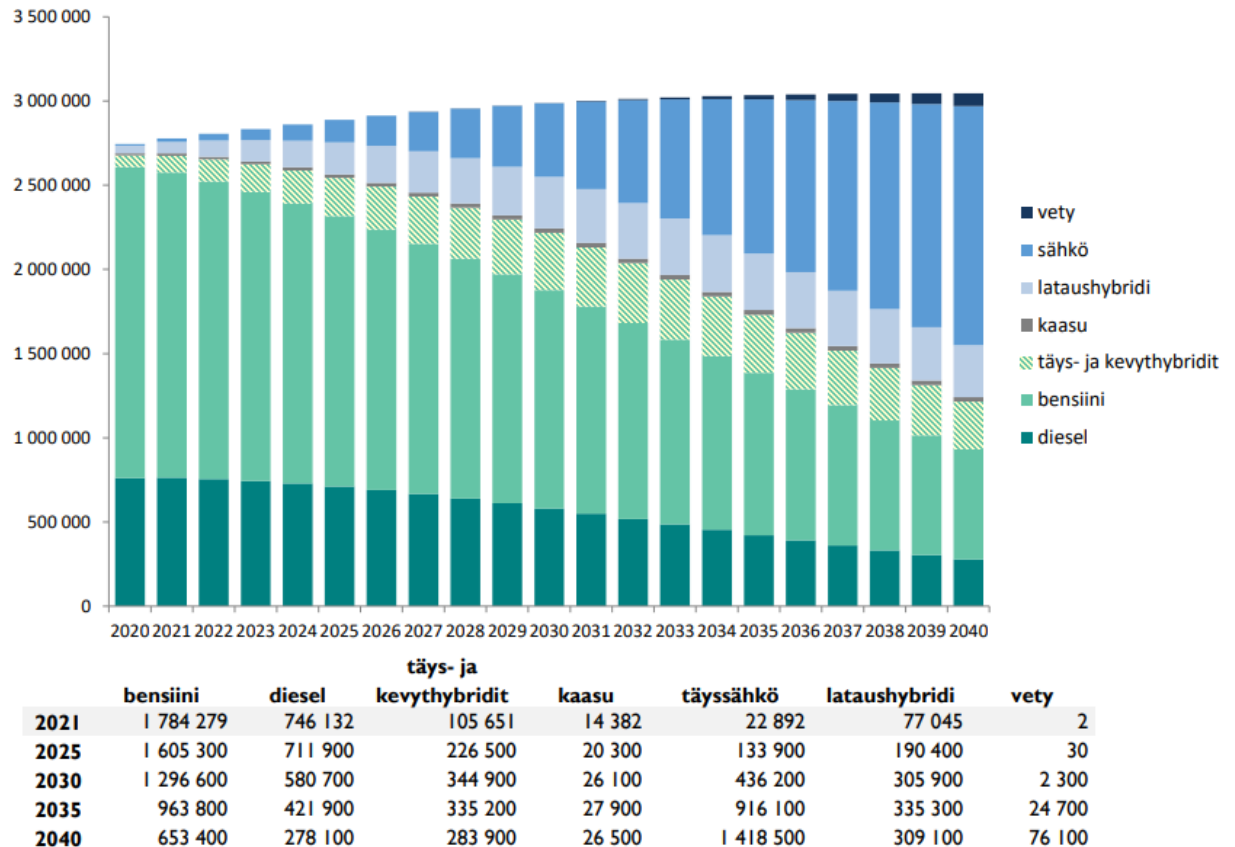
Kysyntää nostavat puolestaan myös uudet kannusteet, kuten autoveron poisto ja työsuhdeautojen kannusteet. Kysyntää puolestaan rajoittaa sähköautojen korkea hankintahinta ja latausmahdollisuuksien rajoitteet sekä ongelmat. Sähköautojen yleistymistä hidastavat myös mahdolliset akkujen saatavuusongelmat. (Autoala tiedotuskeskus, 2022d)



Kuva 11. Suomen ensirekisteröintien käyttövoimaennuste vuosille 2022-2040 (Autoalan tiedotuskeskus, 2022d)

Liikenne- ja viestintäministeriön laatiman tieliikennekartan vuodelle 2030 tavoitteen mukaan liikenteeseen halutaan 700 000 ladattavaa henkilöautoa, joista puolet olisivat täyssähköisiä. Tavoite on reilusti enemmän kuin tieliikennekartan perusennuste, jonka mukaan pelkästään ladattavia henkilöautoja olisi 350 000. Puolestaan ensirekisteröintien suhteen autoalan käyttövoimaennusteen mukaan fossiilisista polttoaineista päästäisiin eroon vuonna

2035, jonka jälkeen ensirekisteröitäisiin pelkästään vety- ja täyssähköautoja. Koko autokannasta täyssähköautoja tulisi ennusteen mukaan olla lukumääräisesti jo lähes yhtä paljon kuin bensiinikäyttöisiä, jotka tällä hetkellä dominoivat autokantaa. Vuoteen 2040 mennessä autokannan uudistuessa täyssähköautojen tulisi olla dominoiva käyttövoima, lukumäärällisesti ollen lähes yhtä suuri kuin muut käyttövoimat yhteensä. (Autoala tiedotuskeskus, 2022d)



Kuva 12. Suomen autokannan käyttövoimaennuste vuosille 2022-2040 (Autoalan tiedotuskeskus, 2022d)

Liikenne- ja viestintäministeriön tiedostanut latausverkoston tärkeyden ja näkee, että Suomessa on kolme vaihtoehtoa latausverkoston kehittämiseksi:

- Nykytoimin jatkaminen
- Nykytoimet ja niiden tehostaminen
- Uusi lainsäädäntö

Ensimmäisessä vaihtoehdossa A julkista sähköautojen latausverkostoa vahvistettaisiin jatkamalla nykyisiä toimenpiteitä. Valtio jatkaisi nykyisiä kappaleessa 3.2 käsitellyn latauspistelain noudattamista. Vaihtoehdossa B jatkettaisiin toteuttamistavassa A mainittuja

toimenpiteitä kansallisen sähköautojen latausverkoston rakentumiseksi. Lisäksi panostettaisiin nykyistä enemmän kansallisen latausinfrastruktuurin tavoitteelliseen suunnitteluun, sekä kaikkien muidenkin vaihtoehtoisten käyttövoimien osalta. Kolmantena vaihtoehtona olisi säätää uusi laki, jossa huoltoasemaketjuja velvoitaisi rakennuttamaan latauspisteitä huoltoasemien yhteyteen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022)

Tarkastelemalla esimerkiksi Norjan autokannan kehitystä ja tukien vaikutusta autokantaan, voidaan saada käsitystä niiden vaikutuksista ja mitä tavoitteen saavuttaminen vaatii. Tavoitteen saavuttaminen on riippuvainen lokaalien tekijöiden lisäksi myös globaaleista tekijöistä. Suomessa ladattavien autojen autokantaan voidaan vaikuttaa tukemalla taloudellisesti ja lainsäädännöllisesti sähköautoja, mutta esimerkiksi raaka-aineiden saatavuuden ja tuotannon ongelmiin on Suomen lähes mahdotonta vaikuttaa. Täyssähköautokannan kehitys siis monien taloudellisten ja teknologisten tekijöiden summa (Autoala tiedotuskeskus, 2022d). Vasta tulevaisuudessa nähdään päästäänkö tavoitteisiin.

5 Johtopäätökset

Työn tavoitteena oli tutkia täyssähköautojen yleistymiseen vaikuttavia taloudellisia tekijöitä ja selvittää miltä alan tulevaisuus näyttää. Lisäksi työssä selvitetään, mitkä tekijät ovat mahdollistaneet nykytilanteen ja suosion viimeaikaisen kasvun. Työn tavoitteena on toimia tietopakettina kuluttajalle verrattaessa sähköautojen ominaisuuksista ja sähköautoihin vaikuttavista tekijöistä perinteisiin polttomoottoriajoneuvoihin Suomessa. Työssä vastataan kahden tutkimuskysymyksen:

1. *Mitkä yksityiset ja julkiset taloudelliset tekijät vaikuttavat sähköautojen suosioon?*
2. *Miltä täyssähköautojen tulevaisuus näyttää?*

Täyssähköautojen kohdalla on nähty merkittäviä teknologisia ja taloudellisia parannuksia, jotka puolestaan näkyvät liikenteessä sähköautojen lukumääräisenä kasvuna. Viimeisen kymmenen vuoden aikana sähköautot ovat nousseet marginaalisesta osuudesta ja selvästi heikommilta ominaisuuksiltaan jo hyvin varteenotettavaksi kilpailijaksi polttomoottoriajoneuvoille. Matka nykytilanteeseen ei kuitenkaan ole ollut helppo. Toisin kuten polttomoottoriajoneuvot, sähköautot tarvitsevat sähköenergiaa toimiakseen, jolloin latausverkosto on merkittävässä roolissa sähköautojen käyttöönotolle. Muutos autoteollisuudessa ja sitä ympäröivissä sidosryhmissä on ollut hidasta, koska polttomoottoriajoneuvojen ympärille rakennettu verkosto on massiivinen ja sitonut niin paljon resursseja, että verkoston muuttaminen on kallista ja aikaa vievää.

Sähköautojen suosio selittyy pitkälti taloudellisilla tekijöillä. Valtio myöntää tukia niin yksityisille henkilöille, yrityksille kuin myös taloyhtiöille. Valtion tukien ohella myös yksityiset investoinnit ovat vauhdittaneet käyttöönottoa. Autonvalmistajat ovat kasvattaneet sähköisten mallien valmistuskapasiteettia ja yksityisillä investoinneilla on rakennettu latausasemia. Valtion tuella sähköautoille ei ole ainakaan lähitulevaisuudessa nähtävissä hiipumisen merkkejä.

Sähköautot tuovat mukanaan uudet haasteet, vaikka niiden mukana tulee myös paljon positiivisia uudistuksia. Sähköautojen yleistymistä hidastaa niin teknologiset kuin taloudelliset tekijät. Vastauksena ensimmäiseen tutkimuskysymyksen, seuraavana on listattu

kirjallisuudesta löytyneet sähköautoihin vaikuttavat taloudelliset tekijät ja niiden vaikutukset sähköautojen yleistymiseen:

➤ **Hankintahinta ja jälleenmyyntiarvo**

- + Jälleenmyyntiarvo
- Korkea hankintahinta
- Kehittymättömät markkinat

➤ **Valtion tuet ja määräykset**

- + Tuet yksityishenkilöille, yrityksille ja taloyhtiöille
- + Alhainen verotus
- + Helpotettu liikennöinti
- + Autonvalmistajien päästösäädökset

➤ **Käyttökulut ja huolto**

- + Edulliset käyttökustannukset
- + Alhaisemmat huoltokustannukset
- Kalliit akustot

➤ **Akusto ja lataus**

- + Energiatehokas käyttövoima
- Rajallinen toimintamatka
- Pitkät latausajat
- Akkujen tuotantokapasiteetin rajallisuus
- Latausinfrastruktuurin kehittämistarpeet

Toinen tutkimuskysymys käsitteli sähköautokannan kehitystä ja tulevaisuuden innovaatioita. Tekijät tarjoavat ratkaisuja moniin sähköautojen tämänhetkisiin ongelmiin ja nopeuttaisivat autoalan murrosta. Langaton latausjärjestelmä poistaisi tarpeen pysähtyä lataamaan akkuja ja tarjoisi käytännössä rajattoman kantaman. Sähköautojen energiaverkkoon integrointi voi tuoda autoilijalle lisätuloja, joka helpottaa kokonaiskustannuksissa. Yhteiskäyttöautot voisivat puolestaan poistaa tarpeen kokonaan omaan henkilökohtaiseen autoon ja sen mukana tuleviin kuluihin.

Suomen hallitus on asettanut optimistisen tavoitteen sähköautoille. Hallituksen tavoitteen mukaan tieliikenteeseen pyritään saamaan 700 000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä. Tämä on merkittävä kasvu nykytilanteeseen, mutta valtion ja EU:n toimesta tätä siirtymää edistetään taloudellisin kannustimin ja erinäisin polttomoottoreita ja fossiilisia polttoaineita koskevien säädösten muodossa. Autoalan murroksen nopeuteen vaikuttavat myös monet

innovaatiot ja teknologiset kehitykset, joten sähköautokannan kasvu ei ole pelkästään valtion tuen varassa, vaan monien tekijöiden summa.

Sähköautojen ja polttomoottoriajoneuvojen ominaisuuden eroavat toisistaan. Osa ominaisuuksista ovat helposti vertailtavissa, mutta kaikkia ominaisuuksia mahdoton verrata objektiivisesti keskenään. Vaikuttavia tekijöitä on monia, niin negatiivisia kuin positiivisia. Ominaisuudet ja niiden sopivuus on loppujen lopuksi käyttäjästä riippuvainen, eikä yksi ajoneuvo sovi kaikille. Kuluttajan tarpeet, mieltymykset ja arvot ovat tekijät, jotka ratkaisevat ostopäätöksen.

Lähteet

Autoalan tiedotuskeskus, 2022a. Automarkkinoiden vuosikatsaus 2022.

Autoalan tiedotuskeskus, 2022b. Säännelty pakokaasupäästöt. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 6.6.2022]. Saatavissa: https://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/pakokaasupaastot

Autoalan tiedotuskeskus, 2022c. Sähkö. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.7.2022]. Saatavilla: https://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ja_kayttovoimat/sahko

Autoalan tiedotuskeskus, 2022d. Autoalan käyttövoimaennusteet.

Axsen J, Plötz P & Wolinetz M, 2020. Crafting strong, integrated policy mixes for deep CO₂ mitigation in road transport. *Nature Climate Change*. 10, s. 809–818.
<https://doi.org/10.1038/s41558-020-0877-y>

Bill LeBlanc, 2022. EV charging and pricing: What are consumers willing to pay? [Viitattu 18.7.2022]. Saatavilla: <https://www.esource.com/429201ebtf/ev-charging-and-pricing-what-are-consumers-willing-pay>

BloombergNEF, 2022. Electric Vehicle Outlook 2022.

CEM, 2020. Electric Vehicle and Power System Integration: Key insights and policy messages from four CEM workstreams, Clean Energy Ministerial.

Demos & Tampereen yliopisto, 2021. Suomen täyssähköautokannan kasvu ja päästövähennykset.

e-AMRIT, 2022. Benefits of Electric Vehicles. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://e-amrit.niti.gov.in/benefits-of-electric-vehicles>

E-mobility, 2022. Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q1/2022.

Electrek, 2021. Global semiconductor shortage could stymie EV manufacturers in 2021. [Viitattu 16.7.2022]. Saatavilla: <https://electrek.co/2021/02/12/global-semiconductor-shortage-could-stymie-ev-manufacturers-in-2021/>

Energiavirasto, 2022. Latausinfra mahdollistaa fossiilitonta liikennettä. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/latausinfra-mahdollistajana>

Euroopan parlamentti, Uudet päästötavoitteet henkilö- ja pakettiautoille. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 6.6.2022]. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180920STO14027/uudet-paastotavoitteet-henkilo-ja-pakettiautoille>

European Commission, 2022. CO₂ emission performance standards for cars and vans. [WWW-sivut]. [Viitattu 6.6.2022]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en

ECA, 2021. Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated, European Court of Auditors.

Finlex, 2020. 733/2020. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200733>

Ford, 2021. Ford To Lead America's Shift To Electric Vehicles With New Mega Campus In Tennessee And Twin Battery Plants In Kentucky; \$11.4B Investment To Create 11,000 Jobs And Power New Lineup Of Advanced EVs. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.7.2022]. Saatavilla: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/09/27/ford-to-lead-americas-shift-to-electric-vehicles.html>

Kamiya G & Teter J, 2019. Shared, automated... and electric?, IEA, [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.7.2022]. Saatavilla: <https://www.iea.org/commentaries/shared-automated-and-electric>

Brückmann G, Wicki M, Bernauer T, 2021. Is resale anxiety an obstacle to electric vehicle adoption? Results from a survey experiment in Switzerland. *Environmental Research Letters*. 16 124027. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac3531>

Green Toyota, What is the MPG of the 2021 Toyota Corolla. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 4.6.2022]. Saatavissa: <https://www.greentoyota.com/research/new-toyota-corolla-mpg.htm>

Haddadian G, Khodayar M & Shahidehpour M, 2015. Accelerating the global adoption of electric vehicles: barriers and drivers. *Electricity Journal*. 28, s. 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2015.11.011>

Hagman J, Ritzén S, Stier J J & Susilo Y 2016 Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion. *Research in Transportation Business & Management*. 18, s. 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2016.01.003>

Laitinen H, 2020. Huoltoasemat 2020. Saatavissa: https://books.google.fi/books?id=aFYMEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

ICCT (International Council on Clean Transportation), 2021. Success factors for electric carsharing.

IEA, 2017. Global EV Outlook 2017, International Energy Agency, Paris.

IEA, 2021 Global EV Outlook 2021. International Energy Agency, Paris.

IEA, 2022. Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales>

Ilmastopaneeli, 2022. Autokalkulaattori. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/autokalkulaattori/>

- Jato, 2019. Electric cars cost double the price of other cars on the market today. [Viitattu 16.7.2022]. Saatavilla: <https://www.jato.com/electric-cars-cost-double-the-price-of-other-cars-on-the-market-today/>
- Jokela M, 2021. Maavertailu: Suomessa sähköauton hankintatuet kevyitä. Moottori.fi. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://moottori.fi/liikenne/jutut/maavertailu-suomessa-sahko-auton-hankintatuet-kevyita/>
- Jose L.Garcia, 2021. Cubesat Handbook. Mission Design to Operations, s. 185-197 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817884-3.00009-6>
- Khalid R, Alam S, Sarwar A & Asghar J, 2019. A comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid. *eTransportation*, Volume 1. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100006>
- Latauskartta, 2022. Verkkoaineisto. Latauskartta.fi. [Viitattu 7.6.2022]. Saatavissa: <https://latauskartta.fi/>
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2022. Vaikuta sähköautojen latausverkoston kehittämiseen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/vai-kuta-sahkoautojen-latausverkoston-kehittamiseen>
- Lim M , Mak H & Rong Y, 2015. Toward mass adoption of electric vehicles: impact of the range and resale anxieties. *Manufacturing & Service Operations Management*. Volume 17, Nro 1. 101–19. <https://doi.org/10.1287/msom.2014.0504>
- Tuppurainen M, 2022. Sähköautojen langatonta latausta aletaan kehittää Vantaalla. Moottori. [Viitattu 25.7.2022]. Saatavilla: <https://moottori.fi/liikenne/jutut/sahkoautojen-langatonta-latausta-aletaan-kehittaa-vantaalla-jo-elokuussa/>
- Matteo Muratori et al, 2021. The rise of electric vehicles—2020 status and future expectations. *Progress in Energy*, Volume 3, Number 2. Saatavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/abe0ad/meta#prgeabe0ads2>
- Mohammad S. Roni, Zonggen Yi, John G. Smart, 2019. Optimal charging management and infrastructure planning for free-floating shared electric vehicles. Volume 76, s. 155-175. [Viitattu 16.7.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.021>
- Morris James, 15.8.2020. Why Isn't Everyone Buying EVs Yet? It's Not Just The Price. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.7.2022]. Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/jamesmorris/2020/08/15/why-isnt-everyone-buying-evs-yet-its-not-just-the-price/?sh=67cf47ab16f4>
- Motiva, 2022a. Sähköautot. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 6.6.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_vii-saasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot
- Motiva, 2022b. Sähköauton huolto ja katsastus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.7.2022]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoil-len_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/sahkoauton_huolto_ja_katsastus

- Motiva, 2022c. Tuulivoima suomessa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa
- Motiva, 2022d. Sähköauton tekniikka ja akku. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoilen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/sahkoauton_tekniikka_ja_aku
- NAF, 2022. EV range and charge test. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.7.2022]. Saatavilla: <https://nye.naf.no/elbil/elbil-nytt/ev-range-and-charge-test>
- Nordic Plug, 2022. Sähköautot ja sähköautojen lataus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 15.7.2022] Saatavilla: <https://nordicplug.fi/pages/sahkoautojen-lataus-pikaopas>
- Ashkrof P, Correia G & Arem B, 2020. Analysis of the effect of charging needs on battery electric vehicle drivers' route choice behaviour: A case study in the Netherlands. *Transportation Research*, Volume 78 [Viitattu 18.7.2022]. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919309757>
- Rajper Z & Albrecht J, 2020 Prospects of Electric Vehicles in the Developing Countries: A Literature Review *Sustainability*, 12 1906. <http://dx.doi.org/10.3390/su12051906>
- Salonen N, Poskiparta L & Kumpula T, 2015. Sähköautojen julkiset latauspisteet. Helsinki, 13 s.
- Schlüter Jan, & Johannes Weyer, 2019. "Car Sharing as a Means to Raise Acceptance of Electric Vehicles: An Empirical Study on Regime Change in Automobility." *Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour* 60, s. 185–201. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.005>
- Statista, 2019. The Electric Cars That Will Get You the Furthest. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://www.statista.com/chart/17132/the-electric-cars-that-will-get-you-the-furthest/>
- Sunday Times Driving, CAR MAKERS' ELECTRIC VEHICLE PLANS FOR 2022 AND BEYOND. [Viitattu 4.6.2022]. Saatavissa: <https://www.driving.co.uk/news/new-cars/current-upcoming-pure-electric-car-guide-updated/>
- Tanskanen J, 2022. Autokaupassa sähköautot viedään lähes käsistä – vähän käytetty sähköauto maksaa jopa enemmän kuin uusi. *Yle*. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-12410009>
- T&E, 2020. Infrastructure report 2020: Recharge EU.
- Tekniikkatalous, 2022. Sähköautojen langaton lataaminen tulee nyt Suomeen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/sahkoautojen-langaton-lataaminen-tulee-nyt-suomeen-kokeilu-alkaa-syksylla/5242f84a-9e51-4676-99bd-95bfa6f2e0bd>

- Terrafame, 2021. Terrafamen akkukemikaalitehtaan tuotannon ylösajo on käynnistynyt. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.7.2022]. Saatavilla: <https://www.terrafame.fi/ajankoh-taista/uutiset/2021/06/terrafamen-akkukemikaalitehtaan-tuotannon-ylosajo-on-kaynnisty-nyt.html>
- Tesla, 2022. Autojen insentiivit. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: https://www.tesla.com/fi_FI/support/incentives
- Tietge,U, Mock P,Zacharof N, Vicente F, 2015. Real-world fuel consumption of popular European passenger car models. Issue 1. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/292046751_Real-world_fuel_consumption_of_popular_European_passenger_car_models
- Traficom, 2022. Sähköauto. Viitattu 20.7.2022. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/fi/aja-vaihtoehtoa/sahkoauto>
- Transport & Environment, 2019. Roll-out of public EV charging infrastructure in the EU.
- U.S. Department of Energy, 2015. Costs Associated With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment.
- U.S. Department of Energy, 2022. All-Electric Vehicles. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>
- Virta, 2022a. EV Charging. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.7.2022]. Saatavilla: <https://www.virta.global/blog/ev-charging-101-how-much-electricity-does-an-electric-car-use>
- Virta, 2022b. Latausstandardid. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.7.2022]. Saatavilla: <https://www.virta.global/fi/blogi/latausstandardit>
- Volkswagen, 2022. Hybridi- ja sähköautot. [WWW-sivut]. [Viitattu 4.6.2022]. Saatavissa: <https://www.volkswagen.fi/fi/sahkoautot.html#v2021>
- Wayland M. 2022. Raw material costs for electric vehicles have doubled during the pandemic, CNBC. [Viitattu 5.8.2022]. Saatavilla: <https://www.cnbc.com/2022/06/22/electric-vehicle-raw-material-costs-doubled-during-pandemic.html>
- YLE, 2021. Monen huoltoasemayrittäjän talous ei kestä sähköautojen pikalatureiden hankintaa – hinta voi nousta 100 000 euroon, mahdollinen velvoite huolena. [Viitattu 18.7.2022]. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-12030996>
- YLE, 2018.Länsiväylällä alkoi koko maan mittakaavassa ainutlaatuinen kokeilu. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 7.6.2022]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10011989>
- Young J, 2018. Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 95, Pages 844-866. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.006>
- Zhang X, Zhao C, 2021. Resale value guaranteed strategy, information sharing and electric vehicles adoption. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03901-4>