

Anssi Suhonen

Autokannan sähköistymisen vaikutuksia autoalaan ja päästöihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

15.11.2017

Tekijä Otsikko	Anssi Suhonen Autokannan sähköistymisen vaikutuksia autoalaan ja päästöihin
Sivumäärä Aika	43 sivua 15.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Ammatillinen pääaine	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Lehtori, Pertti Ylhäinen, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tämän insinööritöön tavoitteena oli kerätä tietoa maailmanlaajuisesta sähköautojen yleistymisestä sekä päästö- ja käyttövoimalakien vaikutuksista autokantojen sähköistymiseen. Kerätyn tiedon avulla selvitettiin, millaisia vaikutuksia henkilöautokannan sähköistymisellä on liikenteestä aiheutuviin päästöihin ja autoalaan sekä mitä vaatimuksia kasvava sähköautokanta tuo energiantuotanto- ja jakeluinfrastruktuurille. Työ tehtiin Metropolia AMK:lle ja se on luonteeltaan kirjallisuustutkielma. Työ keskittyi ainoastaan henkilöautokantaan raskaan kaluston ja julkisen liikenteen jäätyä tarkastelun ulkopuolelle.</p> <p>Pohjan luomiseksi työssä tarkasteltiin nykyisten liikenteen päästöjen koostumusta ja verrattiin sähköautojen hiilijalanjälkeä bensiini- ja dieselautojen hiilijalanjälkeen. Lisäksi työssä käytiin läpi nykyistä sähkö- ja hybridautoteknologiaa. Merkittäväksi huomioksi työssä nousivat aluekohtaiset vaikutukset sähköautojen hiilijalanjälkeen ja se, miten energiantuotanto on sidoksissa sähköautojen ympäristöystävällisyyteen. Vaikutuksia tuotiin esille muuttamalla eri maiden tärkeimmillä energiantuotantomenetelmillä tuotetun sähköautojen lataussähkön kasvihuonepäästömäärät vastaamaan bensiini- ja dieselautojen polttoaineenkulutusta kuljettua matkayksikköä kohden.</p> <p>Autokantaan vaikuttavien lakien osalta tutustuttiin eri valtioiden nykyisiin ja tuleviin päästölakeihin ja niiden aiheuttamiin mahdollisiin seurauksiin autoalan eri osa-alueilla. Tietoa kerättiin aluekohtaisesti paikallisista ja kansainvälisistä uutislähteistä sekä virallisista tietokannoista, tutkimuksista ja lähteistä.</p> <p>Lopuksi työssä laskettiin suuren sähköautokannan vaikutuksia sähkön kysyntään ja suuren automäärän yhtäaikaisen lataamisen tuottamia piikkejä sähkönkulutuksessa Suomen nykyisessä sähköverkossa. Lisäksi tarkasteltiin Suomen latauspisteinfrastruktuurin nykyistä tilannetta ja tulevaa suunniteltua kehitystä.</p> <p>Työ osoitti sähköautojen tuomien ympäristöetujen olevan vahvasti sidoksissa koko ajoneuvon elinkaaren aikana tehtyihin valintoihin eri tuotantoprosessien suhteen. Autokannan sähköistymisen todettiin tuovan myös omat haasteensa autoalan teollisuudelle ja yrityksille, jotka joutuvat sopeutumaan mahdollisesti avainasemaan nousevan teknologian tuomiin muutoksiin.</p>	
Avainsanat	sähköauto, hybridauto, autokanta, päästölaki, teknologia, infrastruktuuri, päästöt, sähköverkko, latauspiste

Author Title	Anssi Suhonen The Electrification of the Vehicle Stock and Its Effects on the Automotive Industry and Emissions
Number of Pages Date	43 pages 15 th of November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive engineering
Professional Major	Automotive Design Engineering
Instructor	Pertti Ylhäinen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to gather data on the global increase in the popularity of electric vehicles (EVs) and how emission laws and regulations affect the percentage of electric vehicles in the vehicle stock. With this data, the aim was to find out the effects of a growing EV base on traffic caused emissions and on the automotive industry and what kinds of demands an increase in EVs will place on current power grids and production. This thesis was assigned by Helsinki Metropolia University of Applied Sciences and is in the form of a literary analysis. Heavy road equipment and public transportation were left out of this analysis.</p> <p>To create a base for the thesis, current traffic generated emissions and their composition were examined and the carbon footprint of current EVs was compared to that of gasoline and diesel vehicles. In addition, current electric and hybrid vehicle technologies were examined and compared to standard internal combustion engine vehicles. Significant attention was given to regional effects on the carbon footprint generated from EV production and how the method of producing energy to charge the vehicles affects the size of the total carbon footprint. To bring a better understanding of the total emissions generated, the carbon footprint of EVs charged under different power production methods was translated into fuel consumption and compared to current gasoline and diesel vehicles fuel consumption.</p> <p>Concerning regulations affecting the composition of vehicle bases, attention was given to various countries' current and future emission laws and how they might affect the automotive industry and aftermarket businesses. Information was gathered from regional and international news sources as well as official databases and sources.</p> <p>Finally, the power demand and spike in electricity consumption caused by a large number of EVs charging simultaneously was calculated based on data on the Finnish national power grid. In addition, the current state of the EV charging point infrastructure and future plans to expand it were examined.</p> <p>This research proves that the environmental impact of EVs is heavily tied to the production choices and decisions made throughout the entire lifespan of the vehicle. A growing EV stock is also shown to bring its own challenges that the automotive industry will need to adapt to.</p>	
Keywords	electric vehicle, hybrid, vehicle base, emission regulations, emissions, technology, infrastructure, power grid, charging point

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Autokannan sähköistäminen lainsäädännön kautta	2
2.1	Muuttuva autokanta	2
2.2	Kannustimia sähköauton käyttöön	4
2.3	Käyttövoimiin vaikuttavien lakien tuomia hyötyjä	5
3	Tieliikenteen päästöt	6
3.1	Nykyiset päästörajoitukset Euroopassa	6
3.2	Tieliikenteen osuus päästöistä	7
3.3	Päästöjen koostumus	9
4	Sähkökäyttöiset ajoneuvot	11
4.1	Sähkökäyttöiset ajoneuvotyypit	11
4.1.1	Hybridiajoneuvot	11
4.1.2	Sähköautot	16
4.2	Aluekohtaiset vaikutukset sähköautojen hiilijalanjälkeen	19
4.2.1	Vertailu bensiiniautojen tuottamiin päästöihin	20
4.2.2	Vertailu dieselautojen tuottamiin päästöihin	22
4.3	Akkuteknologia ja sen ympäristöjälki	24
4.3.1	Akkujen raaka-ainetuotanto	24
4.3.2	Litiumioniakustojen kierrätys	25
5	Autokannan sähköistymisen vaikutukset autoalalla	27
5.1	Ajoneuvojen valmistusteollisuus	27
5.2	Huoltamatoiminta ja jälkimarkkinat	28
6	Sähköautojen latausinfrastruktuuri	31
6.1	Sähköautojen lataussähköntarve	31
6.2	Latauspisteinfrastruktuuri	33
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	39

Lyhenteet

A	Ampeeri. Sähkön virran yksikkö.
BEV	Battery-only Electric Vehicle. Akkukäyttöinen sähköajoneuvo.
BEVx	Range extender equipped electric vehicle. Sähköauto range extenderillä.
CO	Hiilimonoksidi eli häkä. Ihmisille haitallinen kaasu.
CO ₂	Hiilidioksidi. Kasvihuonekaasu.
CO _{2e}	Carbon dioxide equivalent. Yksikkö, jota käytetään kasvihuonekaasumäärien ilmaisemiseen niitä vastaavana CO ₂ -määränä.
EPA	Environmental Protection Agency, USA. Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto.
EU	Euroopan Unioni
EV	Electric vehicle. Sähköajoneuvo.
FHEV	Full Hybrid Electric Vehicle. Täyshybridiajoneuvo.
HC	Hiilivedyt. Syntyvät polttoaineiden epätäydellisen palamisen seurauksena.
HEV	Hybrid Electric Vehicle. Hybridiajoneuvo.
LFP	Lithium Iron Phosphate. Litium rauta fosfaatti. Litiumioniakkukemia.
LMO	Lithium Manganese Oxide. Litium mangaani oksidi. Litiumioniakkukemia.
NMC	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide. Litium nikkeli mangaani koboltti oksidi. Litiumioniakkukemia.

NO _x	Typen oksidit. Osa bensiini- ja dieselajoneuvojen pakokaasuja.
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Pistoke-ladattava hybridaajoneuvo.
W	Watti. Tehon yksikkö.
Wh	Wattitunti. Energian yksikkö. Vastaa watin tehoa tunnin ajan.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön kirjoitushetkellä on maailmalla lähes kaikkien valtioiden toimesta ryhdytty toimiin päästöjen, pääasiassa kasvihuonekaasujen kuten hiilidioksidin (CO₂), vähentämiseksi. Merkittävimpanä yhteistyön merkinä ja tavoitteena on vuonna 2015 hyväksytty Pariisin ilmastopimus, jossa 194 valtiota yhdessä sopivat pyrkivänsä rajoittamaan ilmaston lämpenemisen 1,5 asteeseen esiteollisesta ajasta. Autoteollisuuden ja liikenteen ollessa yksi suurimpia CO₂ -päästöjen aiheuttajia, tulevat ilmastopimuksen vaikutukset näkymään erityisen paljon jo lähitulevaisuudessa autoalalla sekä liikenteessä.

Tässä insinööriyössä käsitellään pääasiassa jo muutaman valtion suunnittelemaa ja hyväksymiä autojen käyttövoimaa koskevia lakeja, joilla uusien autojen myynti rajoitetaan tai pyritään ohjaamaan lähes kokonaan päästöttömiin tai hyvin vähäpäästöisiin ajoneuvoihin ja nykyinen bensiini- ja dieselpolttoainevoittainen autokanta pyritään ajamaan alas. Tämän työn kirjoitushetkellä näiden valtioiden joukkoon kuuluvat Iso-Britannia, Norja, Ranska ja Intia, ja vastaavanlaisia rajoitteita ajoneuvojen käyttövoimalle suunnittelevat myös Kiina, Alankomaat ja Saksa.

Käyttövoima- ja päästölakien päästöttömillä ajoneuvoilla tarkoitetaan täysin sähkökäyttöisiä ajoneuvoja (BEV, "Battery-only electric vehicle, sähköauto, esim. Teslan mallisto) ja hyvin vähäpäästöisillä ajoneuvoilla tarkoitetaan esimerkiksi ladattavia hybridiajoneuvoja (PHEV, "Plug-in hybrid electric vehicle, ladattava hybridiajoneuvo, esim. Toyota Prius PHEV) ja mahdollisesti muita ajoneuvoja, joiden päästöt jäävät selkeästi alle nykyisten bensiini- ja dieselmoottoristen ajoneuvojen päästötasojen. Todellisuudessa jokainen ajoneuvo jossain elinkaarensa aikana aiheuttaa päästöjä, joita syntyy myös ennen ajoneuvon käyttöönottoa valmistuksen aikana. Näihin päästöihin ja ajoneuvojen koko hiilijalanjälkeen vaikuttavat merkittävästi valmistusmenetelmät ja valmistukseen käytetyn energian tuotantotapa. Sähkökäyttöisissä ajoneuvoissa myös sähkön tuotantotapa vaikuttaa ajoneuvon käytön tuottamiin päästöihin, oli kyse BEV- tai HEV-ajoneuvosta (Hybrid electric vehicle, hybridiajoneuvo).

Tässä työssä keskitytään myös käyttövoimalakien mahdollisiin vaikutuksiin henkilöautokantoihin, eri ajoneuvotyyppien tuottamiin päästöihin ja autokannan sähköistymisen vaikutuksiin autoalaan kuten huoltamotoimintaan, osamyyntiin ja muihin autoalan yrityksiin

sekä niiden toimintaan. Tarkastelun kohteena on myös valtionlaajuisen BEV-ajoneuvojen käytön vaatiman laajan latausverkon vaatimukset sähköntuotannolle ja sähköverkoinfrastruktuurille sekä aluekohtaisten erojen vaikutukset BEV-ajoneuvojen tuotantoon ja hiilidioksidipäästöihin verrattaviin CO₂e-päästöihin valtiotasolla. Raskas kalusto, mukaan lukien kuorma-autot, julkisen liikenteen ajoneuvot ja liikennekäyttöön soveltuvat työkoneet, jäävät tarkastelun ulkopuolelle, vaikka osassa käyttövoimaa rajoittavia ja lajeja suunnittelevissa valtioissa lakien tuomat rajoitukset koskisivat näitäkin ajoneuvoja henkilöautojen lisäksi.

Tässä työssä tutkitaan myös Suomen tämänhetkisen autokannan tilannetta sähkökäyttöisten ajoneuvojen osalta sekä Suomen sähköajoneuvojen latausverkon ja energiantuotannon tilannetta. Trafikin tilastojen mukaan ladattavia sähkökäyttöisiä ajoneuvoja oli vuonna 2016 rekisterissä ja liikennekäytössä Suomessa 4824 kpl, joista vain 23,7 % oli BEV-ajoneuvoja [1; 2]. Koko Suomen liikenteessä olevasta autokannasta ladattavien sähkökäyttöisten henkilöautojen osuus vuonna 2016 oli 0,18 % [3], eli toistaiseksi vain pieni osuus autokannasta on sähkökäyttöisiä ajoneuvoja. Sähkökäyttöisten ajoneuvojen suosio Suomessa on kuitenkin kasvussa ja niiden osuuden autokannasta odotetaan kasvavan.

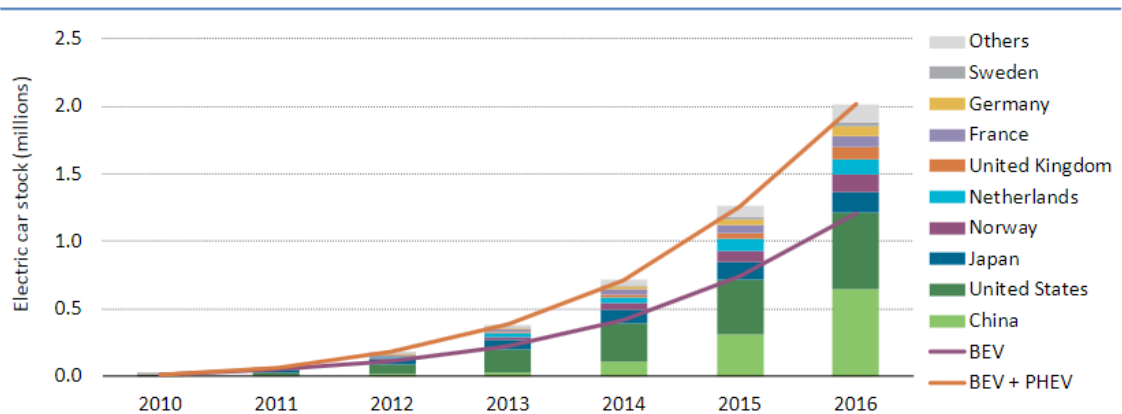
2 Autokannan sähköistäminen lainsäädännön kautta

2.1 Muuttuva autokanta

Bensiini- ja dieselvoittainen autokanta on hiljalleen muuttumassa sähkökäyttöisten ajoneuvojen tullessa yhä useamman käyttäjän saataville. Akkuteknologian ja valmistustapojen kehittyminen on viime vuosina tuonut aiemmin lähinnä korkeampituloisten saatavilla olleet sähköautot nyt myös keskituloisten saataville. Myös asennemuutokset päästöjä kohtaan ja ilmaston tämänhetkinen tilanne ovat vaikuttaneet sähköautojen suosioon pääasiallisena kulkuvälineenä ja sähköautojen osuus globaalista autokannasta on jatkuvassa kasvussa. Norjassa sähköautojen markkinaosuus on maailman suurin: vuonna 2016 sähköautojen myynti kattoi 29 % ajoneuvojen kokonaisymyynnistä. Muita merkittäviä maita sähköautojen markkinaosuuksien suhteen ovat Alankomaat 6,4 %:n markkinaosuudella ja Ruotsi 3,4 %:n markkinaosuudella. Kuvassa 1 näemme globaalin sähköautokannan kehityksen IEA:n suorittaman EVI (Electric Vehicle Initiative) valtioiden ilmoittamien ajoneuvojen myyntimääriin perustuvan analyysin pohjalta. Kuvasta havaitsemme

myös BEV-ajoneuvojen myynnin kasvaneen suuremmaksi kuin ladattavien hybridien myynnin. [4, s. 5]

Figure 1 • Evolution of the global electric car stock, 2010-16



Notes: The electric car stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005. When available, stock numbers from official national statistics have been used, provided good consistency with sales evolutions.

Kuva 1. Globaalinen sähköautokannan kehitys (miljoonaa ajoneuvoa) [4, s. 5].

Muutamit valtiot, joiden joukkoon kuuluvat Norja, Iso-Britannia, Ranska ja Intia, pyrkivät vauhdittamaan muutosta autokannassa bensiini- ja dieselkäyttöisistä autoista sähkökäyttöisiin vähempipäästöisiin autoihin rajoittamalla tai kannustamalla uutena myytävät henkilöautot täysin sähköisiin BEV- tai hyvin vähäpäästöisiin PHEV-ajoneuvoihin. Näistä valtioista Iso-Britannia ja Ranska ovat päättäneet, että vuodesta 2040 alkaen uutena saa myydä ainoastaan BEV-ajoneuvoja tai erittäin vähäpäästöisiä ladattavia hybridiajoneuvoja. Intia on päättänyt tuoda vastaavan lain voimaan vuonna 2030 ja Norja pyrkii laskemaan bensiini- ja dieselautojen myynnin ja kysynnän lähes olemattomaksi vuoteen 2025 mennessä. Muiden maiden joukossa Alankomaat, Kiina ja Saksa ovat tätä työtä kirjoittaessa ilmoittaneet harkitsevansa liittyvänsä mukaan uutena myytävien ajoneuvojen käyttövoiman rajoitukseen ympäristösyistä. [5]

Osa autonvalmistajista on muuttamassa käyttövoimavalikoimaansa sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin. Valmistajista mm. kiinalaisen autovalmistaja Geelyn omistama Volvo on päättänyt vuodesta 2019 eteenpäin myydä ainoastaan hybridi- ja BEV-ajoneuvoja. Lisäksi ainakin BMW, Renault-Nissan ja Volkswagen ovat kehittämässä mallistoansa sähköpajotteisemmaksi. [6]

2.2 Kannustimia sähköauton käyttöön

BEV-ajoneuvojen omistajille on useissa maissa luvassa etuja ja kannustimia. Tällä hetkellä Iso-Britanniassa sähköauton käyttäjille luvataan seuraavia etuja [7; 8]:

- 35 % ajoneuvon arvosta tai 4 500 £ avustusrahaa ostohetkellä
- vapautus Lontoon ruuhkamaksuista
- verohelpotuksia
- korottomia autolainoja yksityisille ihmisille 35 000 £:aan asti ja yrityksille 100 000 £:aan asti
- ilmaisia pysäköintialueita sähköautoille
- matalat latauskustannukset halvemmalla yö sähköllä.

Norja myöntää seuraavia helpotuksia sähköautojen ostajille ja käyttäjille [7]:

- vapautus 25 %:n arvonlisäverosta ostohetkellä
- vapautus tuontiveroista
- helpotuksia käyttöverotuksessa
- vapautus tietullimaksuista ja kunnallisista pysäköintimaksuista
- lupa käyttää linja-autokaistoja vapaasti
- vapautus lossimaksuista
- 50 %:n alennus yritysten omistamien ajoneuvojen verotuksesta.

Norja on tukenut sähkökäyttöisten ajoneuvojen yleistymistä jo pitkään, ja osa edellä mainituista eduista sähköautojen kuljettajille tulivat voimaan jo vuonna 1990. Nämä jo voimassa olleet ja vuosien aikana lisätyt kannustimet ovat johtaneet sähköajoneuvojen markkinaosuuden kasvamiseen Norjassa maailman korkeimpaan eli 29 %:iin vuoteen 2016 mennessä. [4, s. 7; 10]

Tämänhetkiset edut Iso-Britanniassa ja Norjassa tulevat todennäköisesti muuttumaan autokantojen muutoksien myötä pääpainon kuitenkin pysyessä sähköajoneuvojen käytön kannustamisessa. Kannustimien tehtäviin kuuluu kasvattaa sähköajoneuvojen osuutta paikallisissa autokannoissa ja vähentää päästöjä sekä toimia siirtymävaiheena bensiini- ja dieselajoneuvoista sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin ennen käyttövoimarajoitusten voimaantumista. Käyttövoimaa rajoittavien lakien tultua voimaan korkeapäästöisiä ajoneuvoja sakotettaisiin nykyistä korkeampien käyttöverojen ja tiemaksujen muodossa kannustaen edelleen vanhan bensiini- tai dieselajoneuvon vaihtamista BEV- tai PHEV-ajoneuvoon.

2.3 Käyttövoimiin vaikuttavien lakien tuomia hyötyjä

Rajoittamalla ajoneuvojen käyttövoimaa liikenteessä hyvin vähäpäästöisiin tai päästöttömiin ajoneuvoihin saadaan aikaan merkittäviä paikallisia ympäristöhyötyjä. Kun suurkaupunkien liikenteestä suuri osa korvataan pakokaasuttomilla autoilla, paranevat kaupunkien paikalliset ilmanlaadut merkittävästi ja tiheästi asutuilla alueilla vähentyneen pakokaasun tuomat positiiviset terveysvaikutukset voivat olla suuret. Pelkästään terveyshaittojen poistumisen myötä saadaan valtioiden liikenteestä ja päästöistä aiheutuneita sairaanhoitokuluja pienemmäksi ja sairaanhoitosysteemin kuormitusta laskettua. Myös polttomoottoriautojen käytöstä syntyvät ongelmajättemäärät, kuten ajoneuvon käytöstä syntyvät jäteöljyt ja vanhat jarru- ja jäähdytysnesteet, pienenevät ja sähköautojen pienentyneen huoltotarpeen myötä omistajille aiheutuvat ajoneuvon huolto- ja ylläpitokulut pienenevät nykyisestä. Kuvassa 2 nähdään Nissan Leafin huolto-ohjelma ensimmäisen kahden vuoden ajalle huoltojen keskittyen pääosin kulutusosien, kuten jarrujen ja renkaiden, tarkistukseen. Bensiini- ja dieselautojen huolto-ohjelmaan kuuluvat näiden lisäksi öljynvaihdot sekä muiden moottorin kulutusosien, kuten ilmansuodattimien ja sytytystulppien vaihto.

Nissan Leaf määräaikaishuolto-ohjelma	6 kk 12 000 km	12 kk 24 000 km	18 kk 36 000 km	24 kk 48 000 km
Useita kohtia sisältävä tarkistushuolto (Renkaiden siirto akseleiden välillä, kulutusosien tarkastus)	x	x	x	x
Laajempi kuntotarkastus (Sisältäen latausportin, akuston kunnan, jarrulinjojen tarkastuksen)		x		x
Avaimen pariston vaihto			x	
Jarrunesteen vaihto		x		x
Sisäilmasuodattimen vaihto		x		x

Kuva 2. Nissan Leafin huolto-ohjelma ensimmäisten 48 000 km:n ajalle [11, mukaillen].

3 Tieliikenteen päästöt

3.1 Nykyiset päästörajoitukset Euroopassa

Pariisin ilmastosopimus on tuonut rajut globaalit tavoitteet päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen vähentämiseksi on esimerkiksi Euroopan unionilla ollut käytössä päästörajoituksia uutena rekisteröitävälle ajoneuvoille jo ennen Pariisin ilmastokokousta sekä sakkoja rajoitukset ylittävälle ajoneuvoille. Sakot jäävät ajoneuvovalmistajan maksettavaksi ja pohjautuvat CO₂-päästöihin kilometriä kohden. Vuodesta 2012 alkaen sakot päästörajojen ylityksestä olivat seuraavat:

- 5 € ensimmäistä g/km ylityksestä
- 15 € seuraavasta g/km ylityksestä
- 25 € kolmannesta g/km ylityksestä
- 95 € jokaisesta seuraavasta g/km ylityksestä.

Vuodesta 2019 alkaen jokaisesta g/km ylityksestä tulee sakkoa 95 €.

Päästöt lasketaan ajoneuvovalmistajan malliston päästöjen keskiarvona. Tämä sallii autovalmistajan valmistaa suurempipäästöisiäkin ajoneuvoja, kunhan valmistajan ajoneuvomalliston muiden mallien päästöt mukaan laskettuna malliston kokonaispäästöt pysyvät rajoitusten puitteissa. Tilanteessa, jossa valmistajan malliston päästökeskiarvo nousee rajojen yläpuolelle, maksaa valmistaja sakkoja jokaisesta uutena rekisteröitävästä ajoneuvosta ylläolevan listan mukaan. Vuonna 2016 rekisteröityjen ajoneuvojen keskimääräiset CO₂-päästöt olivat 118,1 g/km, joka oli selkeästi alle asetetun 130 g/km rajan. Vuodesta 2021 alkaen raja muuttuu arvoon 95 g/km. [12]

Koska valmistajien malliston päästökeskiarvo on tarkastelun kohteena, on Euroopan komissio asettanut ajoneuvovalmistajille pistesysteemin matalapäästöisille ajoneuvoille, joka toimii kannustimena vähäpäästöisten ajoneuvojen valmistamiseksi sekä päästöjä vähentävien innovaatioiden ja kehitystyön tekemiseksi. Jokainen tietyn matalan päästörajan alle jäävä valmistettu ajoneuvo lasketaan useampana ajoneuvona valmistajan malliston päästökeskiarvon hyväksi seuraavasti:

- 2 ajoneuvoa vuonna 2020
- 1,67 ajoneuvoa vuonna 2021
- 1,33 ajoneuvoa vuonna 2022

- 1 ajoneuvo vuodesta 2023 eteenpäin.

CO₂ -päästörajana on tuolloin 7,5 g/km ja valmistajat voivat vähäpäästöisiä ajoneuvoja valmistamalla helpottaa muun mallistonsa vaikutusta päästökeskiarvoonsa. [12]

Pienille autovalmistajille on asetettu erilaiset tavoitteet, jossa päästöjä tulee vähentää tietty prosentuaalinen määrä aikaisempaan malliston päästökeskiarvoon verrattuna. Erit-täin pienet ja erikoiskulkuneuvoja tuottavat valmistajat ovat vapautettuja EU:n valmista-jille suunnatuista päästörajoituksista.

3.2 Tieliikenteen osuus päästöistä

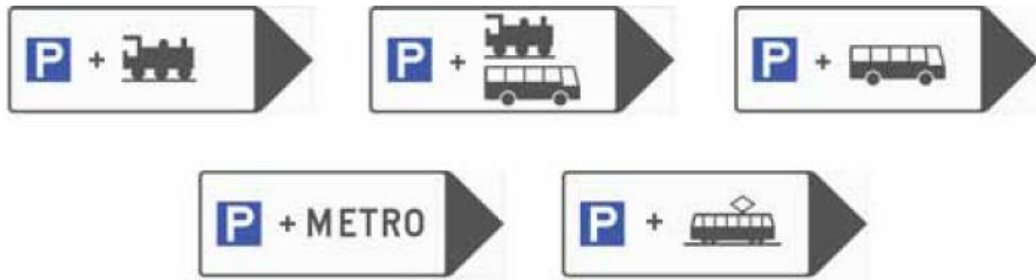
Liikenteen osuus maailmanlaajuisista vuosittaisista kasvihuonekaasupäästöistä on mer-kittävä. Yhdysvaltojen Environmental Protection Agency (EPA) suorittaman tutkimuk-sen mukaan vuonna 2010 liikenteen osuus kasvihuonepäästöistä oli 14 %, josta 95 % on laskettu olevan fossiilisten polttoaineiden polttamisen seurauksena. Teollisuusmaiden tuottamista päästöistä yli puolet aiheutuu liikenteen seurauksena ja kaikista tuotetuista kasvihuonekaasuista CO₂:n osuus on n. 65 %. [13] Yhdysvalloissa tuotetuista kasvio-huonepäästöistä noin kolmannes on lähtöisin tieliikenteestä ja näistä päästöistä n. 80 % on CO₂ -päästöjä [14]. Kuvassa 3 on havainnollistettu kasvihuonekaasujen tuottajien osuudet globaalisti tuotetuista kasvihuonekaasuista vuonna 2010.



Kuva 3. Kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat vuonna 2010. Päästöjen tuottajien osuudet ilmoitettu prosentteina. Liikenteen osuus 14 % kokonaispäästöistä. [13]

Varsinkin suurkaupunkialueilla liikenteen vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun korostuvat erityisesti ruuhka-aikoina valtateiden läheisyydessä. Ruuhkautuneilla teillä liikenne etenee sysäyksittäin ja ajoneuvot viettävät pahimmillaan useita minutteja kerrallaan pysähdyksissä moottorin käydessä. Tämä hitaasti etenevä liikenne kasvattaa ajoneuvojen polttoaineen kulutusta ja näin ollen myös ajoneuvojen tuottamia päästöjä kuljettuun matkaan nähden. Alueilla, joissa liikennettä on erityisen paljon, voidaan liikenteen aiheuttamat päästöt nähdä ilman samenessena ja hengityselinsairauksien, kuten astman ja keuhkosyövän, lisääntymisenä.

Ruuhkien ja hitaasti etenevän liikenteen vähentämiseksi esimerkiksi Suomessa kannustetaan julkisen liikenteen käyttöä liityntäpysäköintialueilla, joihin liittyvät liikennemerkit on esitetty kuvassa 4. Pysäköintimaksuihin voi saada alennuksia pysäköimällä liityntäpysäköintialueilla julkisen liikenteen käytön yhteydessä. Pienemmällä liikenteen määrällä vähenee myös yleiseen terveyteen haitallisesti vaikuttava liikenteestä syntyvä melusaaste. Osassa valtioista, kuten Japanissa, on kehitetty suurkaupunkialueiden julkinen liikenne niin laajaksi ja tehokkaaksi, ettei auton omistaminen ole välttämättä lainkaan tarpeellista. Vaikka tieliikenne vähenee esimerkiksi Tokiossa huomattavasti suurimman osan ihmisistä liikkua julkisilla kulkuneuvoilla, jäljelle jäävän liikenteen aiheuttamat ilmanlaadun heikkenemiset näkyvät alueella edelleen.



Kuva 4. Suomessa käytössä olevat liityntäpysäköintialueisiin ohjaavat tiemerkinnot [15].

Kiinassa Pekingissä liikenteen vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun korostuivat erityisen hyvin vuonna 2015, kun kaupungin alueella olevien 5 miljoonan auton käyttöä rajoitettiin ydinkeskustan alueella sotilasparaatiin valmistautuessa sekä sen aikana. Myös alueen tehtaiden toiminta keskeytettiin väliaikaisesti ja näiden toimenpiteiden ansiosta Pekingin ilmanlaatu parani alueella normaalisti mitatusta ilmanlaatuindeksin keskiarvosta 160 (indeksin korkein arvo 500, korkeampi arvo kuvaa huonompaa ilmanlaatua) arvoon 17, mikä on alhaisimpia Pekingissä mitattuja arvoja vuosiin. [16]

3.3 Päästöjen koostumus

Ajoneuvojen pakokaasupäästöt koostuvat useasta osasta, joista jokainen vaikuttaa omalla tavallaan ympäristöön ja ihmisten terveyteen. Tämän hetken ajoneuvojen pakokaasupäästöt sisältävät pääosin seuraavia aineita [17]:

- Hiilidioksidi (CO_2), bensiini- ja dieselajoneuvojen käytön päätuote. Kasvihuonekaasu ja näiden joukosta ilmastonmuutosta tällä hetkellä eniten edistävää pakokaasupäästö.
- Typen oksidit (NO_x), typen kanssa reagoineiden aineiden tuottamat kemikaalit. Aiheuttaa otsonin muodostumista maanpinnan läheisyydessä sekä maaperän ja vesistöjen happamoitumista ja rehevöitymistä.
- Hiilivedyt (HC), polttoaineen epätäydellisen palamisen johdosta syntyvät kemikaalit. Aiheuttavat ilman samenemista, smogia, ja otsonin muodostumista maan pinnan läheisyydessä. Ärsyttää silmiä ja keuhkoja ja aiheuttaa hengitystieoireita.
- Hiilimonoksidi eli häkä (CO), epätäydellisen palamisen tuotos, jolloin polttoaineessa oleva hiili ei hapetu täysin CO_2 :ksi. Hajuton ja väritön myrkyllinen kaasu, joka syrjäyttää hapen verenkierrossa ja voi suuren altistumisen jälkeen johtaa kuolemaan. Osatekijä ilman samenemisessä.
- Hiukkaspäästöt, syntyvät polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena ja aiheuttavat hengitystieoireita ja syöpää altistuneille.

Bensiini- ja dieselajoneuvot tuottavat samankaltaisia päästöjä normaaleissa käyttilämpötiloissa, mutta päästökomponenttien määrät toisiinsa nähden eroavat bensiiniajoneuvon tuottaessa enemmän CO, HC ja CO₂ -päästöjä kilometriä kohden kuin dieselajoneuvot ja dieselajoneuvon tuottaessa puolestaan enemmän hiukkas- ja NO_x-päästöjä. Päästöjen määrään ja koostumukseen on pyritty vaikuttamaan vähentävästi asentamalla ajoneuvoihin katalysaattoreita ja hiukkassuodattimia.

Taulukko 1. Diesel- ja bensiiniajoneuvojen päästöt kilometriä kohden. Vertailuarvona käytetään katalysoimatonta bensiinimoottorista autoa, jonka päästöarvoiksi on merkitty 100 [18].

Ajoneuvot	CO	HC	NO _x	CO ₂	Hiukkaspäästöt
Bensiiniauto ilman katalysaattoria	100	100	100	100	-
Bensiiniautot katalysaattorilla	42	19	23	100	-
Dieselautot ilman katalysaattoria	2	2	31	85	100

Suomen ja muiden kylmiä talvia kokevien valtioiden sääoloissa tulee ottaa myös huomioon kylmän sään vaikutukset ajoneuvojen tuottamiin päästöihin moottorien kylmäkäynnistyksen ja normaaliin käyttölämpötilaan lämpenemisen yhteydessä. Moottorin käyttölämpötilan ollessa alhainen ei polttoaineen palaminen moottorin sisällä ole yhtä tehokasta kuin moottorin käydessä normaalissa käyttölämpötilassa ja moottorin päästöarvot ovat usein korkeammat. [18]

Koska dieselajoneuvojen hiukkas- ja NO_x-päästöt ovat korkeammat kuin bensiiniajoneuvoilla, dieselajoneuvojen päästöjen vähentämiseksi on kehitetty erityisesti kaupunkiajoon soveltuva matalarikkinen dieselpolttoaine, ultra-low-sulfur diesel (ULSD), joka voi vähentää hiukkaspäästöjä jopa 34 – 84% moottorista riippuen aiemmin käytettyyn dieseliin verrattuna. Tämä polttoaine on nyt yleisimpiä Euroopassa myytyjä dieselpolttoaineita ja yhdessä hiukkassuodattimien ja muiden päästönhallintalaitteiden kanssa laskee dieselille ominaisia haitallista ympäristövaikutusta kaupunki- ja ruuhka-ajossa lähemmäksi bensiinimoottorien päästöjen tasoa.

4 Sähkökäyttöiset ajoneuvot

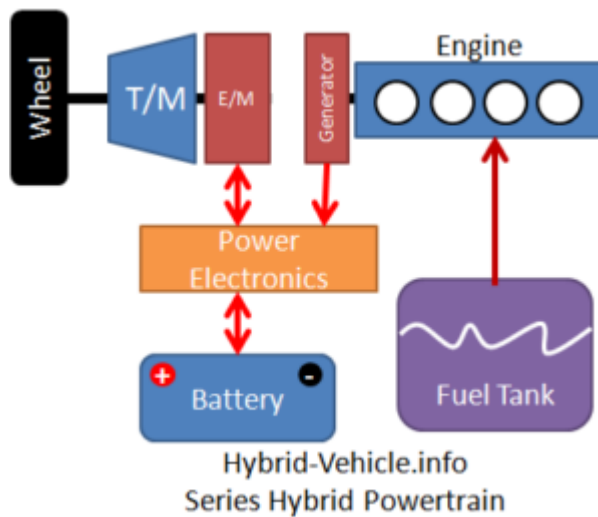
4.1 Sähkökäyttöiset ajoneuvotyypit

Sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin luetaan täysin sähkön voimalla liikkuvat ajoneuvot (BEV) ja osittain sähkön voimalla liikkuvat hybridi ajoneuvot (HEV) ja ladattavat hybridi autot (PHEV), jotka saavat osan käyttövoimastansa myös polttomoottorilta.

4.1.1 Hybridi ajoneuvot

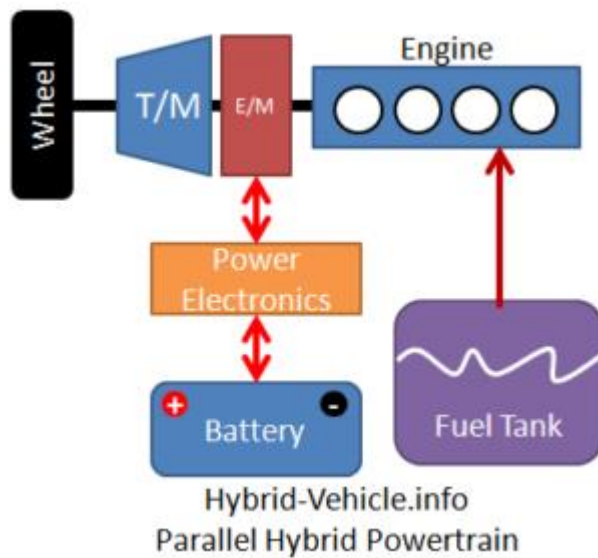
Tällä hetkellä yleisimpiin sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin kuuluvat hybridi ajoneuvot (HEV), jotka käyttävät käyttövoimanaan sekä polttoainetta että sähköä. Hybridi ajoneuvoja on eri tyyppisiä, joista taloudellisimpia ovat ”täyshybridit” (FHEV) sekä ladattavat hybridit (PHEV). Täyshybridit (esimerkiksi Toyota Prius ja Toyotan Hybrid Synergy Drive -ajoneuvot) käyttävät päätoimisena voimanlähteenään polttoainetta ja polttomoottoria, joka myös tuottaa sähköä ajoneuvon sähkömoottorille ja akustolle.

Ajoneuvot voivat olla tekniikaltaan joko sarjahybridejä, rinnakkaishybridejä tai näiden yhdistelmä. Kuvassa 5 on havainnollistettu sarjahybriditekniikka, jossa polttomoottori ei ole lainkaan yhteydessä ajoneuvon vetolaitteistoon, vaan toimii ainoastaan sähkön tuottajana sähkömoottorille ja sen akustolle (esim. Chevrolet Volt, range extenderillä varustetut sähköautot). Tekniikasta ja akun varaustasosta riippuen polttomoottori voi tuottaa sähköä joko suoraan sähkömoottorille, akulle sen lataustason ylläpitämiseksi sen ollessa jo tarpeeksi korkea, tai molemmille samanaikaisesti. Sarjahybriditekniikka on parhaimmillaan ajossa, jossa joudutaan pysähtymään usein. Näissä tilanteissa ajoneuvo voi sammuttaa polttomoottorin ja käydä kokonaan sähkön voimalla, jolloin esimerkiksi ruuhka-ajon normaalisti aiheuttamat suuremmat päästöt saadaan pysymään sarjahybridiajoneuvon tapauksessa alhaisina. Koska polttomoottori ei ole kytkettynä ajoneuvon vetoakselistoon mitenkään, sitä voidaan käyttää polttoainetehokkuuden kannalta optimaalisella kierrosnopeudella ja kuormituksella ajoneuvon nopeudesta riippumatta. Tämä parantaa entisestään ajoneuvon polttoainetaloudellisuutta.



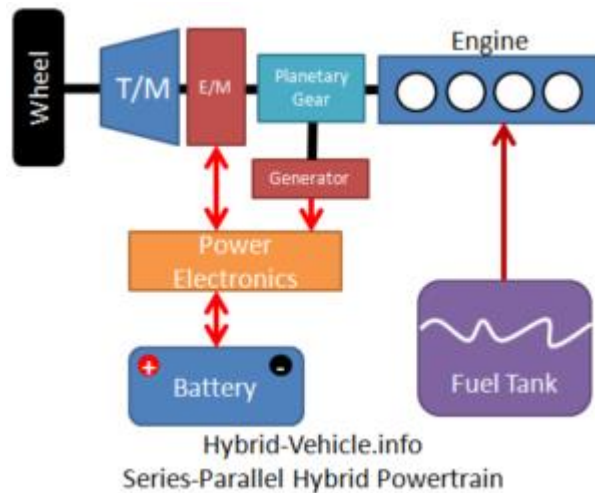
Kuva 5. Kaavio sarjahybriditekniikasta. Polttomoottori tuottaa generaattorin avulla sähköä akustolle, jota sähkömoottori käyttää ajoneuvon liikuttamiseen (T/M = vaihteisto, E/M = sähkömoottori). [19]

Rinnakkaishybriditekniikassa, joka on havainnollistettu kuvassa 6, polttomoottori ja sähkömoottori on kytketty samaan vetoakselistoon jolloin polttomoottori ja sähkömoottori toimivat rinnakkain ajoneuvon liikuttamiseen (esim. Honda Insight). Tekniikasta riippuen polttomoottori voi olla kytkettynä samaan vetoakseliin sähkömoottorin kanssa, jolloin sähkömoottori pyörii yhdessä polttomoottorin kanssa. Tässä konfiguraatiossa sähkömoottori joko lataa akustoa polttomoottorin voimalla ajoneuvon liikkua tai toimii yhdessä polttomoottorin kanssa vetoakseliston käyttämiseen ja ajoneuvon liikuttamiseen. Akustoa voidaan usein ladata myös jarrutusenergian talteenotolla, jolloin vetoakselisto pyörittää akustoa lataavaa myös generaattorina toimivaa sähkömoottoria. Rinnakkaishybridi voidaan myös toteuttaa niin, että polttomoottori voidaan kytkeä irti vetoakselista, jolloin autoa liikuttaa ainoastaan sähkömoottori. Rinnakkaishybrideissä käytetään yleensä pienempiä akustoja sarjahybrideihin verrattuna, koska polttomoottorin osuus ajoneuvon liikuttamisesta on merkittävämpi kuin sarjahybrideissä. Koska polttomoottori on kytketty samaan vetoakselistoon kuin sähkömoottori ja sen rooli ajoneuvon liikuttamisessa on lähempänä perinteistä polttomoottorikäyttöistä ajoneuvoa, ei moottoria voida käyttää sarjahybridin tavoin aina polttoainetehokkuuden kannalta optimaalisella kierrosalueella. Tämän lähelle kuitenkin päästään käyttämällä ajoneuvossa muuttuvavälityksistä vaihteistoa (CVT-vaihteisto, Constantly Variable Transmission), joka sallii moottorin kierrosnopeuden pysyvän vakiona auton nopeuden muuttuessa.



Kuva 6. Kaavio rinnakkaishybriditekniikasta. Polttomoottori on kytketty samaan vetoakselistoon sähkömoottorin kanssa. [19]

Nämä kaksi tekniikkaa voidaan yhdistää, jolloin polttomoottorin tuottamasta käyttövoimasta voidaan osa johtaa vetopyörästölle ja osa akuston lataamiseen (esim. Toyota Prius ja muut Toyotan Hybrid Synergy Drive -teknologiaa käyttävät ajoneuvot, Honda Accord Hybrid). Tämä rinnakkais-sarjahybriditunnetaan myös power-split-hybridinä, jonka toiminnasta on esitetty kaavio kuvassa 7. Näissä hybrideissä on kaksi sähkömoottoria, joista toinen on kytketty vetoakselistoon ja tuottaa käyttövoimaa pyörille ja toinen toimii laturina akustolle. Polttomoottori on kytketty sähkömoottorin kanssa samaan vetoakselistoon planeettapyörästön välityksellä, johon on myös kytketty akustoa lataava sähkömoottori. Planeettapyörästö mahdollistaa polttomoottorin käytön polttoainetehokkuuden kannalta optimaalisella kierrosalueella, sen tuottaman käyttövoiman osittaisen välittämisen akuston lataamiseen ja osittaisen välittämisen mekaanisesti ajoneuvon liikuttamiseen.



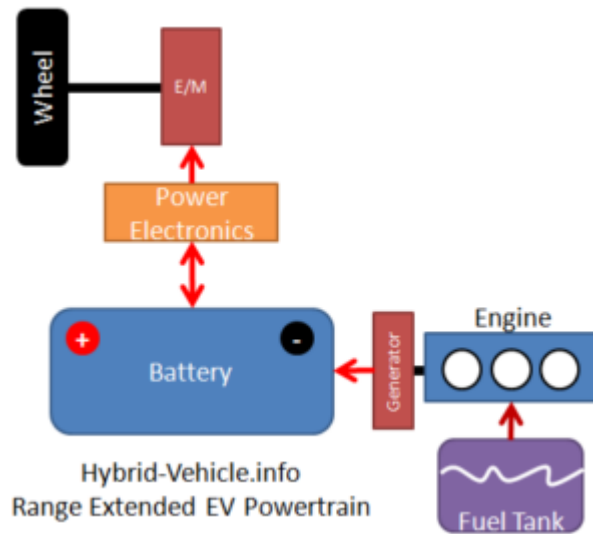
Kuva 7. Power-split-hybriditekniikka. Polttomoottori ja sähkömoottori kytketty samaan vetoakseliin, mutta nämä erottaa planeettapyörästä. Tämä mahdollistaa sekä rinnakkais- että sarjahybriditekniikan yhdistämisen. [19]

Osa hybridiajoneuvoista kuuluu pistokeladattavien hybridien eli plug-in hybridien joukkoon (PHEV). Koska PHEV-ajoneuvot voidaan ladata suoraan sähköverkosta, on polttoaineen osuus käyttövoiman tuottamisesta yleensä pienempi ja autot voivat liikkua ladattuna lyhyistä pitkiinkin matkoja täysin sähkövoimalla. PHEV-ajoneuvo voi olla rinnakkais-, sarja-, tai power-split-hybridi tekniikaltaan, mutta yleensä PHEV-ajoneuvojen akuston kapasiteetti on suurempi kuin perinteisten FHEV-ajoneuvojen sähköpainotteisen ajamisen ollessa usein etusijalla pistokelatausominaisuuden ansiosta.

PHEV -ajoneuvot voidaan jakaa kahden tekniikan toimintaperiaatteen mukaan: blended, eli yhdistetty toimintatapa, ja täysin sähköinen toiminta. Blended-periaatteen mukaan toimivat ajoneuvot käyttävät liikkumiseen pääasiassa sähkömoottoria, mutta raskaan kuormituksen alla, esimerkiksi kiihdyttäessä, käyttää ajoneuvo sähkömoottoria ja polttomoottoria yhdessä. Akuston tyhjennyttyä kokonaan käytetään polttomoottoria akuston lataamiseen ajotilanteesta riippumatta, kunnes tarvittava minimivaraustaso saavutetaan. Täysin sähköisessä toiminnassa ajoneuvon liikuttamiseen käytetään ainoastaan sähkömoottoria ajotilanteesta riippumatta. Polttomoottoria käytetään ainoastaan akuston lataamiseen varaustason laskiessa tarpeeksi alas.

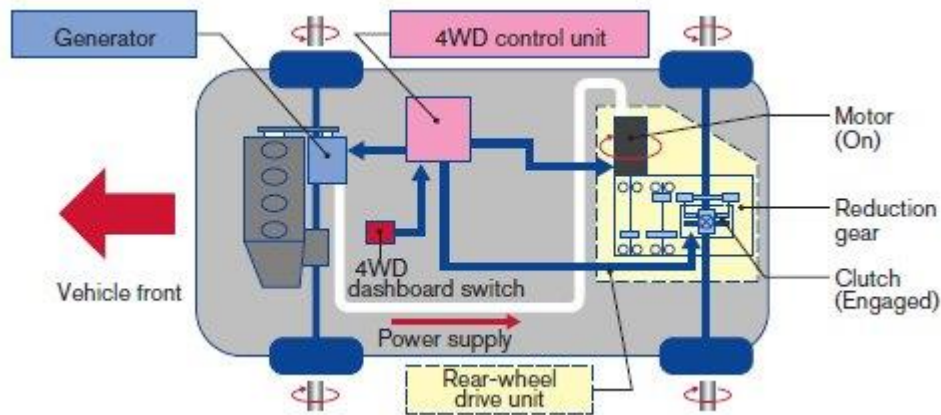
PHEV-ajoneuvojen joukkoon kuuluvat myös sähköautot, jotka käyttävät range extender -tekniikkaa (BEVx), jossa pieni polttomoottori tarpeen tullen tuottaa sähköä akustolle. Tästä on esitetty esimerkki kuvassa 8. Range extenderillä voidaan nimensä mukaan pidentää sähköajoneuvon toimintasädettä, kun akuston oma kapasiteetti ei riitä matkan

taittamiseen. Näiden ajoneuvojen polttomoottori ja polttoainesäiliö ovat yleensä hyvin pieniä ja voidaan lukea mukaan BEVx-kategoriaan vain, jos niiden polttomoottorin tuottama lisäkantama jää alle akuston ja sähkömoottorin tuoman kantaman.



Kuva 8. Range extender -tekniikka. Pieni polttomoottori ei tuota sähköä suoraan sähkömoottorille, vaan ainoastaan akustolle (BMW i3). [19]

Hybridiajoneuvojen joukkoon kuuluvat myös miedot hybridit ja mikrohybridit. Miedot hybridit ovat pääasiassa hyvin samanlaisia kuin normaalit bensiini- ja dieselajoneuvot, mutta saattavat esimerkiksi käyttää lisävoiman lähteenä polttomoottoria avustavaa pientä sähkömoottoria. Esimerkki miedosta hybridistä on Nissan Cuben e-4WD-versio, jossa normaalin etuvetoisen polttomoottorivoimansiirron lisäksi on toteutettu ohjaamosta pyynnöstä aktivoitava väliaikainen nelivetotila, jolloin taka-akselistoon asennettu sähkömoottori välittävää voimaa takapyörille. Nissanin e-4WD-tekniikka, josta on esitetty kaavio kuvassa 9, ei sisällä sähkömoottorille erillistä akustoa, vaan polttomoottori tuottaa erillisen generaattorin avulla sähkön taka-akseliston sähkömoottoreille. Mikrohybrideiksi voidaan laskea ajoneuvot, jotka ottavat talteen jarrutusenergiaa tai omaavat ajoneuvon pysähdyksissä olevan moottorin sammuttavan start-stop-toiminnon.



Kuva 9. Nissanin e-4WD-tekniikka, jossa polttomoottorin lisäksi taka-akselistolle on asennettu sähkömoottori. Etuakselistolle voimaa välittävä bensiinimoottori tuottaa generaattorin avulla sähköä taka-akseliston sähkömoottorille. [20]

Vaikka hybridiajoneuvot ovat usein vähempipäästöisiä kuin täysin polttomoottoreiden voimalla toimivat ajoneuvot, eivät kaikki hybridit lukeudu mukaan aiemmin mainitun käyttövoiman rajoituslain hyväksymiin vähäpäästöisiin ajoneuvoihin ilman polttomoottoritekniikan kehittymistä ratkaisevasti vähäpäästöisemmäksi. Suunnitellut käyttövoimarajoituslait kattavat toistaiseksi ainoastaan täysin sähkön voimalla liikkuvat, ajaessa päästöttömät, ajoneuvot ja hyvin vähäpäästöiset PHEV- ja BEVx-ajoneuvot valtiosta riippuen. Hybridiajoneuvot ovat kuitenkin toimineet autokantojen käyttövoimatasapainon muutoksen alkuna ja tuoneet sähkökäyttöiset ajoneuvot lähes jokaisen saataville teollisuusmaissa.

4.1.2 Sähköautot

Sähköautoiksi tässä työssä luetaan täysin sähkön voimalla liikkuvat autot (BEV) sekä range extendereillä varustetut ajoneuvot (BEVx). Ilmastonmuutoksen tuoman uhan ja liikenteen päästöjen vaikutukset siihen ovat johtaneet yhä useamman auton omistajan siirtymisen perinteisistä polttomoottorikäyttöisistä ajoneuvoista sähkökäyttöiseen ajoneuvoon. Sähköautot tuovat useimmalle mielikuvan modernista ja ympäristöystävällisestä kulkuneuvosta ja joidenkin valtioiden asettamat helpotukset sähköauton tuomiin kuluihin omistajalleen yhdessä nousevien öljyn hintojen kanssa ovat tehneet sähköautosta hyvin suosittu vaihtoehto etenkin kaupunkiympäristöissä.

Ensimmäiset BEV-ajoneuvot tulivat markkinoille jo 1800-luvun lopussa, jolloin niiden osuus autokannasta oli merkittävä nykytilanteeseen verrattuna. Vuonna 1900 Yhdysvalloissa tuotettiin yhteensä 4 192 ajoneuvoa, joista 28 % oli sähköautoja. Tuolloin sähköautojen suosioon vaikuttivat hiljaisempi ja tasaisempi käynti sekä hajultaan epämiellyttävien pakokaasujen puute polttomoottoriautoihin verrattuna. Lisäksi käytön helppous saman aikakauden polttomoottoriautojen alkeellisiin voimansiirto- ja mekaanisiin ratkaisuihin verrattuna kasvatti sähköautojen kysyntää. Polttomoottoriautojen kehitys ja parempi toimintasäde kuitenkin ohittivat sähköautojen tuomat edut 1930-lukuun mennessä, jolloin sähköautojen suosio oli laskenut reilusti vuosisadan alusta. [21]

Sähköautot poikkeavat hyvin paljon polttomoottoriautoista, vaikka ulkokuori näyttääkin usein hyvin samanlaiselta. Nykyinen sähkömoottoritekniologia tuo seuraavia etuja verrattuna nykyisiin polttomoottorikäyttöiseen ajoneuvoon [22]:

- **Energiatehokkuus.** Sähköauton akuston varastoimasta energiasta noin 59–62 % välittyy vetäville pyörille polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon muuntaessa vain noin 17–21 % polttoaineen energiasisällöstä ajoneuvon liike-energiaksi.
- **Tehokkuus ja huoltovapaus.** Sähkömoottori tuottaa maksimiväännön ja tehon moottorin koko kierrosalueella polttomoottorin tuottaessa ne vain tietyillä kierrosnopeuksilla. Sähköajoneuvot vaativat myös huomattavasti vähemmän huoltotoimenpiteitä kuin polttomoottorikäyttöiset autot.
- **Ympäristöystävällisyys.** Sähköautot eivät tuota päästöjä liikkeessään ja suurella sähköautokannalla liikenteen vaikutukset ilmanlaatuun etenkin ruuhkaisilla suurkaupunkialueilla jäisivät pienemmiksi. Sähköautot kuitenkin tuottavat päästöjä sähköntuotannon ja auton valmistuksen kautta, jolloin energian tuotantotapa voi vaikuttaa suuresti sähköauton hiilijalanjälkeen.

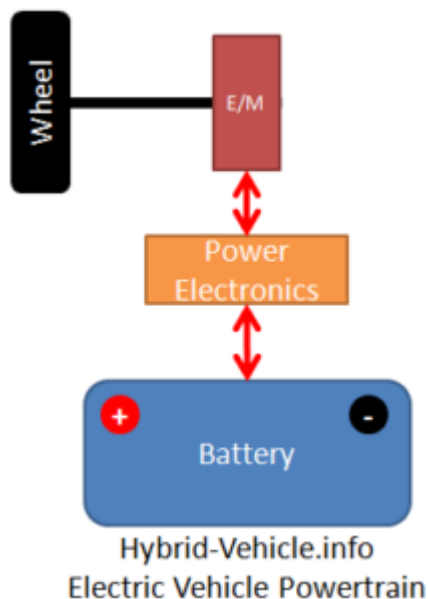
Sähköautoilla on myös rajoituksia ja heikkouksia, jotka ovat vaikuttaneet sähköautojen ominaisuuksiin ja suosioon:

- **Painavat akustot.** Mahdollisimman suuren kantaman saavuttamiseksi joudutaan sähköautoihin suunnittelemaan mahdollisimman iso akusto. Akustot voivat myös painaa jopa satoja kilogrammoja ja voivat näistä syistä aiheuttaa rakenteellisia haasteita ajoneuvojen suunnittelussa.
- **Kantama.** Vaikka akustot ovat suurikokoisia, niiden matalan energiatihedden johdosta polttoainetankin sisältämän polttoaineeseen verrattuna sähköautojen kantama täydellä akulla on huomattavasti lyhyempi kuin vastaavan kokoisten polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen.
- **Latausajat.** Sähköauton akuston lataaminen on huomattavasti hitaampaa kuin polttomoottorikäyttöisen auton tankkaaminen. Auton lataamista voi vaikeuttaa myös latauspaikkojen vähyyys. Nämä tekijät yhdessä heikon

kantaman kanssa ovat toistaiseksi rajoittaneet sähköautojen suosion lähinnä kaupunkialueille, jossa välimatkat ovat lyhyet ja latausmahdollisuudet ovat paremmat.

- **Akkujen kierrätys.** Tällä hetkellä uusien akustojen valmistaminen on halvempaa kuin vanhan käytetyn akuston kierrättäminen. Akkujen huolto ja käsittely vaativat myös erikoiskoulutuksen korkeajännitteen parissa työskentelemiseen ja akut voivat väärin hävitettynä olla vaaraksi ympäristölle.

Koska BEV-ajoneuvoista puuttuu kokonaan monimutkainen polttomoottorisysteemi, on sen voimansiirtoratkaisu paljon yksinkertaisempi usean toiminnon ollessa täysin ajoneuvon tietokoneiden ohjaamia. Mekaanisiin osiin lukeutuvat vielä esimerkiksi ohjaus, alusta ja jarrut, jotka kuitenkin saavat käyttövoimansa ajoneuvon sähköjärjestelmältä. Voimansiirtoratkaisun yksinkertaisuus on havainnollistettu kuvassa 10.



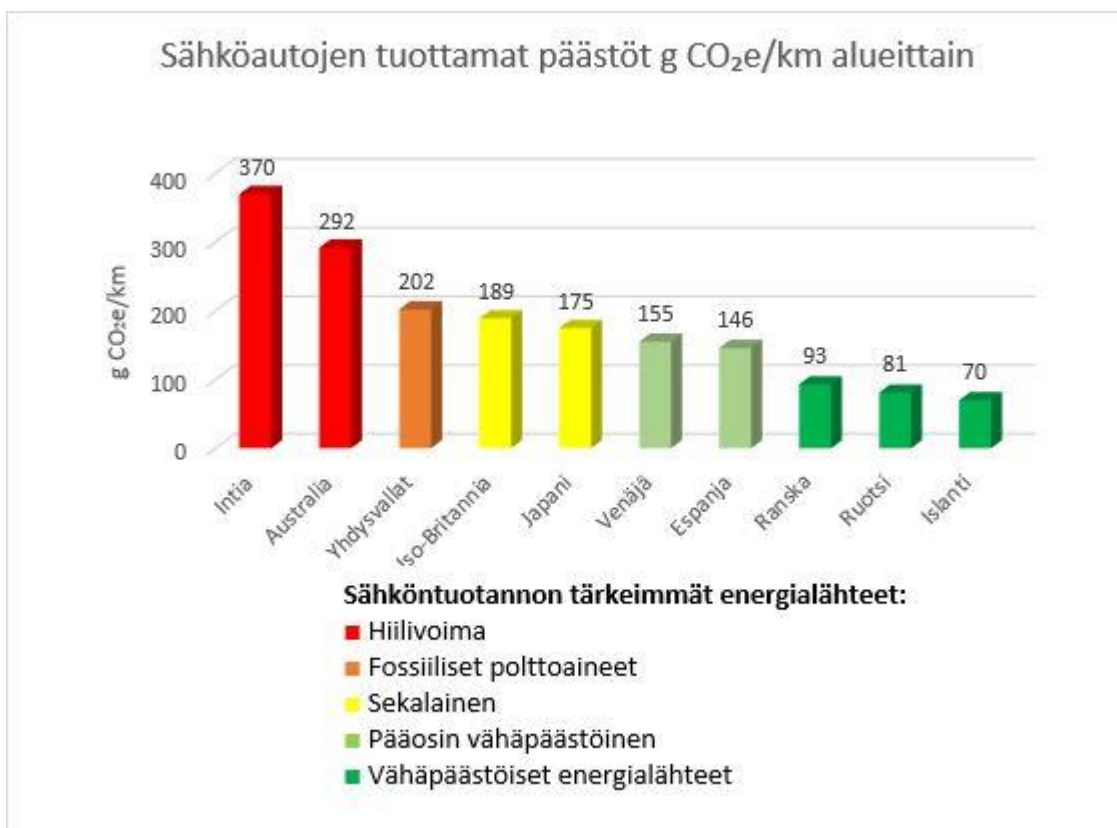
Kuva 10. BEV-ajoneuvon voimansiirto (E/M = sähkömoottori) [19].

BEV-ajoneuvojen mekaanisesti yksinkertainen ja lähes huoltovapaa voimansiirtosysteemi vähentää myös ajoneuvon kokonaishuoltotarvetta ajoneuvon elinkaaren aikana. Tämä puolestaan voi vaikuttaa huoltoyritysten toimintaan sähköautokannan osuuden suurentuessa kokonaisautokannasta, kun normaalit huollot rajoittuvat pääosin harvemmin huoltoa tarvitsevien kulutusosien, kuten jarrujen ja renkaiden, huoltoon. Toisaalta huoltotarpeen vähentyminen on eduksi sähköauton omistajalle huoltokustannusten pienemisen merkeissä.

4.2 Aluekohtaiset vaikutukset sähköautojen hiilijalanjälkeen

Sähköajoneuvoja usein markkinoidaan päästöttömänä vaihtoehtona bensiini- ja diesel-autoille, mutta todellisuudessa tämä ei pidä täysin paikkaansa. BEV-ajoneuvojen sähkömoottorit eivät ajoneuvon liikkumisen aikana tuota lainkaan päästöjä, mutta autojen lataamiseen ja moottorin pyörittämiseen käytetyn sähkön tuottaminen ja itse ajoneuvojen sekä niiden komponenttien valmistus tuottavat sähköajoneuvoille oman hiilijalanjäljen. Tämän hiilijalanjäljen suuruus voi vaihdella suurestikin riippuen sähkön ja ajoneuvon valmistukseen käytetyn energian tuotantotavasta. Siksi alueilla, joissa pyritään lainsäädännön kautta tuomaan lisää sähköautoja autokantaan, tulee ottaa myös huomioon sähkön tuotantotavat laskiessa lisääntyvän sähköautokannan osuuden kokonaisautokannasta vaikutuksia alueen tuottamiin CO₂-päästöihin.

Valtioissa, joissa hiilivoiman ja muiden korkeapäästöisten polttoaineiden osuus sähkön tuotannossa on suuri, on sähköautojen hiilijalanjälki huomattavasti suurempi kuin valtioissa, joissa käytetään pääsääntöisesti uusiutuvaa energiaa. Vuonna 2009 DEFRA:n keräämää dataa käyttämällä voidaan arvioida keskiverto sähköauton valmistuksessa syntyvien päästöjen määräksi n. 70 g CO₂e/km kun valmistuksessa syntyneet päästöt jaetaan ajoneuvon oletetun eliniän aikana ajettulle kilometrimäärälle. Kun lasketaan mukaan kilometriä kohden liikkumiseen käytetty arvioitu energiamäärä vastaavalle keskiverto sähköautolle, joka on noin 210 Wh/km [23] (Nissan Leaf 30 kWh battery), saadaan laskettua arviot auton tuottamista CO₂e-päästöistä kilometriä kohden eri alueiden sähkön tuotannon päästöjen perusteella. Keskiverto sähköautolle annetut arvot vastaavat Nissan Leafia. Tulokset päästömääristä on havainnollistettu kuvassa 11. [24, s. 5–6.]



Kuva 11. Sähköntuotantotavan ja ajoneuvon valmistuksen vaikutukset sähköauton tuottamiin päästöihin g CO₂e/km [24, s. 6].

Kuvasta 11 voimme havaita hiilivoiman käyttämisen sähköntuotannossa kasvattavan sähköauton käytöstä syntyviä päästöjä huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi Islannissa, jossa suurin osa sähköstä tuotetaan uusiutuvilla energianlähteillä. Koska Islannin energiantuotannon päästöt ovat hyvin alhaiset, ovat sähköauton tuottamat päästöt peräisin lähes ainoastaan ajoneuvon valmistusprosessista. Koska Intiassa sähköä tuotetaan pääasiassa hiilivoimalla, kasvavat sähköauton tuottamat päästöt samoihin lukemiin keskikulutteisten bensiiniajoneuvojen tasolle.

4.2.1 Vertailu bensiiniautojen tuottamiin päästöihin

Tuodaksemme selkeyttä edellä mainittuihin päästöarvoihin, voidaan sähköautoja verrata esimerkiksi keskivertoiseen bensiiniautoon. Koska bensiiniauton valmistusprosessi tuottaa vähemmän päästöjä vähemmän energiaa vaativan valmistusprosessin ansiota ja bensiiniauton oletettu elinikä kuljetuissa kilometreissä on toistaiseksi hiukan korkeampi kuin tämän päivän yleisimmillä sähköautoilla (ensimmäiset Nissan Leafit), ovat valmis-

tuksesta johtuvat CO₂e-päästöt pienemmät kilometriä kohden kuin sähköautolla. Kyseiseksi päästöarvoksi voimme arvioida n. 40 g CO₂e/km ottaen huomioon myös hybridi ajoneuvot (pois lukien PHEV-ajoneuvot). Bensiinin palamisessa vapautuu kasvihuonekaasuja 2,31 kg CO₂e/litra ja bensiinin tuottaminen raakaöljystä tuottaa päästöjä 0,46 kg CO₂e/litra [24, s. 11].

Näiden arvojen avulla voimme arvioida sähköautojen tuottamat CO₂e-päästö määrät useimmille tutummissa polttoainekulutus lukemana l / 100 km. Kuvassa 12 esitetyt kulutuslukemat sisältävät sähköauton valmistuksessa syntyneet päästöt liikkumiseen käytetyn sähkön lisäksi (n. 1,08 l / 100 km) hajautettuna auton oletetun eliniän ajalle, jonka voimme arvioida olevan noin 150 000 km bensiiniauton odotetun eliniän ollessa noin 200 000 km normaalin huolto-ohjelman ja käyttöolosuhteiden alla. [24, s. 16–17.]



Kuva 12. Sähköautojen tuottamat päästöt kuvattuna bensiiniauton keskimääräisenä polttoaineenkulutuksena litraa / 100 km [24, s. 12].

Kuvissa 11 ja 12 esitetty data on parhaimmillaan vain arvio syntyvistä päästöistä. Todellisuudessa käyttövoiman kulutukseen voi vaikuttaa suuresti myös kuljettajan ajotyyli, sääolosuhteet ja ajoneuvon mekaaninen kunto.

Alueiden energiantuotantotavat voivat vaihdella sähkön tarpeen ja vuorokauden ajan mukaan. Jos alueella käytetään sähkön tuotantoon tiettyyn vuorokauden aikaan esimerkiksi pääosin puhdasta energiaa esimerkiksi yöllä, kun sähkön tuotannon tarve on yleensä pienempi, voivat sähköauton lataamiseen tarvittun sähkön tuotannosta syntyvät päästöt olla huomattavasti pienemmät kuin päivällä, jolloin sähkön kysyntä on suurempi ja tuotantoon saatetaan käyttää prosentuaalisesti enemmän fossiilisia polttoaineita.

Monessa valtiossa käytetään nykyisin paljon uusiutuvaa energiaa, mutta sähkön kysynnän noustessa saatetaan kasvattaa fossiililla polttoaineilla käyvien voimalaitosten toimintaa uusiutuvan energian määrän jäädessä alle tarvittun sähkön määrän. Tällainen tapaus saattaisi korostua nykyisissä sähköverkoissa valtioissa, joissa sähköajoneuvojen osuus on suurempi ja niiden latausajankohta ajoittuisi tietylle vuorokaudenajalle. Tällainen aika voisi olla ihmisten samanaikainen saapuminen kotiin töistä ja auton lataaminen välittömästi ajon jälkeen. Tämä tuottaisi valtavia piikkejä sähkön kysynnässä ja valtiot, jotka pyrkivät kasvattamaan sähköautojen osuutta autokannassa, tulisi ottaa tämä seikka huomioon alueen sähköverkkoinfrastruktuurissa ja tarpeen tullen suunnitella muutoksia infrastruktuuriin kattaakseen kasvavan sähkön kysynnän vaatimukset. Muita keinoja jakaa sähkön kulutus tasaisemmin sähköverkolle olisi pyrkiä jaksottamaan tai kannustamaan ihmisiä lataamaan sähköautoja silloin, kun kokonaiskysyntä sähkölle olisi alhaisimmillaan.

4.2.2 Vertailu dieselautojen tuottamiin päästöihin

Vertailussa dieselajoneuvojen kanssa käytämme samoja arvioita ja oletuksia sähköauton hiilijalanjäljestä ja valmistuksesta, jotka ovat 70 g CO₂e/km päästöjä valmistuksesta ja 211 Wh/km sähkönkulutusta. Dieselin palaminen tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä 2,68 kg CO₂e/litra ja dieselin valmistus 0,56 kg CO₂e/litra. Dieselauton valmistuksen tuottamat päästöt jaettuna ajoneuvon oletetun eliniän aikana kuljetulle matkalle on arvioitu olevan 35 g CO₂e/km. Näitä arvoja käyttämällä saamme arvioitua samaa Nissan Leafiin verrattavaa sähköautoa vastaavat dieselautojen kulutukset kilometriä kohden,

jotka on havainnollistettu kuvassa 13. Huomioon tulee ottaa myös dieselautojen bensiiniautoja keskimäärin alhaisempi polttoaineenkulutus verrattessa arvoja toisiinsa. [24, s. 21]



Kuva 13. Sähköautojen tuottamat päästöt kuvattuna dieselautojen keskimääräisenä polttoaineenkulutuksena litraa / 100 km [24, s. 22].

Taloudellisimmat dieselajoneuvot kuluttavat jopa vähemmän kuin useimmat bensiinihybridiajoneuvot, mutta suoraan havaittavat ympäristöhaitat, kuten näkyvä ilman sameneminen tai ilmanlaadun heikkeneminen kovasti liikennöidyillä alueilla, ovat edelleen suuremmat kuin sähköautolla. Tästä syystä, vaikka polttomoottorikäyttöisellä autolla päästäisiin paikoittain alhaisempaan hiilijalanjälkeen kuin sähköautolla, ovat sähköauton käytön tuomat paikalliset ympäristö- ja terveysedut suuremmat etenkin suurkaupungeissa ja osasy ajoneuvojen käyttövoimaan koskevien rajoitusten syntyyn.

4.3 Akkuteknologia ja sen ympäristöjälki

Ajoneuvon valmistuksessa syntyvät päästöt harvemmin nousevat pinnalle päästökeskusteluissa pääaiheen yleensä ollessa ajoneuvojen pakokaasupäästöt ja niiden ympäristövaikutukset. Vertaillessa bensiini- ja dieselautojen päästöjä ja hiilijalanjälkeä sähköautoihin tulee myös ehdottomasti ottaa huomioon ajoneuvojen valmistuksessa syntyneet päästöt.

Valtioiden, jotka aikovat rajoittaa uutena myytävien ajoneuvojen käyttövoimanlähdeä, tulee ottaa laskelmiaan tehdessä huomioon myös ajoneuvojen komponenttien valmistusmaat, komponenttien valmistukseen kuluneen energian tuotantotapa sekä raaka-ainesten hankinta- ja tuotantotapojen ympäristövaikutukset.

4.3.1 Akkujen raaka-ainetuotanto

Sähköautojen valmistuksessa suurin päästöjä aiheuttava tekijä on ajoneuvon akuston valmistus. Sähköautojen akustojen valmistukseen tarvitaan raaka-aineita, joiden hankinta, käsittely ja kierrätys aiheuttavat nykyisellään paikoittain ympäristöongelmia. Esimerkkinä voimme käyttää akustoihin tarvittavien mineraalien, kuten kobolttin, grafiitin ja litiumin tuotantoon liittyvän kaivostoiminnan, joka on herättänyt niin ympäristö- kuin eettisiäkin kysymyksiä. Raaka-ainesten kysyntä tulee sähköautojen yleistymisen myötä kasvamaan, joten on tärkeää huomioida raaka-ainesten tuotannon ympäristövaikutukset, kun lasketaan sähköautojen valmistuksen tuottamaa hiilijalanjälkeä.

Useimmissa sähkö- ja hybridautoissa käytetään nykyään litiumioniakkuja, joista yleisimmät tyypit ovat LFP (litiumrautafosfaatti), NMC (litium nikkeli mangaani koboltti oksidi) ja LMO (litiummangaanioksidin). Yhden akustojen tärkeimmän valmistusmateriaalin, akkujen anodeissa käytettävän grafiitin, hankinnan aiheuttama kaivostoiminta on aiheuttanut ympäristöongelmia Kiinassa, jossa kaivostoiminnasta syntyneet pölyt ja mineraalin käsittelyssä käytetyt kemikaalit, kuten vetykloridihappo, ovat vahingoittaneet ja saastuttaneet kaivoksen lähiympäristöä ja vesistöjä. Nämä ympäristön saastumiset ovat vaurioittaneet juomavesiä ja maataloustoimintaa kaivosten lähellä ja herättäneet terveyshuolia paikallisten keskuudessa. [25] Kiina on tällä hetkellä maailman suurin grafiitin tuottaja, mutta kaivostoiminnan aiheuttamat ympäristöhaitat ovat johtaneet kaivostoiminnan saastuttavimman osan alas ajamiseen Kiinan hallituksen toimesta. Grafiittia kaivetaan

myös useassa länsimaassa ja kaivostoimintaa on alettu seuraamaan ja negatiivisia ympäristövaikutuksia minimoimaan. [26]

Toinen tärkeä akkujen valmistuksessa käytetty raaka-aine on koboltti, josta puolet tulee tämän työn kirjoitushetkellä Kongon tasavallasta. Kobolttia saadaan yleensä kuparin ja nikkelin kaivamisen ja käsittelyn yhteydessä ja Kongon lisäksi esimerkiksi Kiina, Kanada, Venäjä ja Australia ovat merkittäviä koboltin tuottajia. Kongon kaivostoiminnan eettisyys ja työolot ovat herättäneet kysymyksiä, sillä noin 20 % paikallisesta kaivostoiminnasta tapahtuu viranomaisten valvonnan ulkopuolella. Sähköautojen ja muiden litium-ioniakkuja käyttävien tuotteiden jatkuvasti kasvava valmistusmäärä on saanut useat valmistajat pyrkimään selvittämään ja hankkimaan koboltinsa valvotuista ja ihmisoikeuksia noudattavista lähteistä. [27; 28]

Kolmas ja tärkein raaka-aine, josta litiumioni akut saavat myös nimensä, on litium, jota käytetään sähköautojen akkujen lisäksi useimmissa nykypäivän mobiililaitteissa litiumakkujen hyvän energiatihedden takia. Litiumkaivostoiminta on kuitenkin nykyisellään haitallista ympäristölle litiumin käsittelyn yhteydessä käytettyjen myrkyllisten kemikaalien päästessä ympäristöön. Litiumia esiintyy suoloina kuivilla alueilla, jossa on laajoja suolatasankoja. Kaivostoiminnassa käytetään vettä litiumin saamiseen maaperästä ja yleensä alueilla, joissa litiumsuoloja kaivetaan, vesivarat voivat olla niukat johtaen paikallisten väestöjen vesivarantojen pienenemiseen ja mahdollisesti saastumiseen. Litiumkaivostoiminta aiheuttaa lisäksi haittoja itse maaperälle ja ilmanlaadulle. Litiumia esiintyy myös mineraalimuodossa pegmatiitiksi kutsutussa juonikivessä, jota esiintyy kallioperässä kaikkialla maailmassa.

Litiumin kysyntä on kasvanut nopeasti litiumioniakkujen yleistyttyä ja kysynnän odotetaan jatkuvan sähköautoteollisuuden myötä [29]. Maailman merkittävimpiin litiumsuolojen tuottajiin kuuluvat Bolivia, Chile ja Argentiina ja mineraalimuotoisen litiumin merkittävimpiä tuottajia ovat Kanada, Australia, Portugali ja Zimbabwe. Lisäksi Suomen alueelta on löydetty huomattavia litiummineraaliesiintymiä. [30]

4.3.2 Litiumioniakustojen kierrätys

Kasvava sähköautokanta, etenkin tulevaisuudessa bensiini- ja dieselautojen myyntiä rajoittavissa valtioissa, tuo esille ajoneuvojen sähköisen voimansiirron kierrätyshaasteet ajoneuvojen saavuttaessa elinkaarensa lopun. Vuonna 2011 noin neljännes maailman

litiumin käytöstä suuntautui akkuteknologiaan ja vuoteen 2020 mennessä on arvioitu akkuihin suuntautuvan osuuden kasvavan 40 %: iin [30].

Litium on täysin kierrätettävissä oleva raaka-aine, mutta kierrättämisen kustannukset nykyisellään ovat noin viisinkertaiset kaivostoiminnan kautta saadun vastaavaan määrään verrattuna [31]. Akkujen kierrätyskäsittelyn korkeiden kustannusten johdosta ajoneuvojen akkuja on käytetty muihin tarkoituksiin. Akkujen ikääntymisen yhteydessä useiden lataus- ja purkusyklien jälkeen niiden kapasiteetti laskee tehden niistä soveltumattomia ajoneuvokäyttöön auton kantaman laskiessa epäkäytännölliselle tasolle.

Ajoneuvojen akustojen vanhetessa useiden lataus- ja purkusyklien jälkeen niiden kapasiteetti laskee. Kapasiteetin laskiessa alle 80 %: iin alkuperäisestä, ajoneuvon kantama on usein laskenut myös reilusti alkuperäisestä ja akustoja usein pidetään silloin soveltumattomina ajoneuvokäyttöön. Akustoja voidaan ja on ryhdytty käyttämään muihin tarkoituksiin, kuten kotitalouksissa aurinkoenergian varastointiin, jolloin niiden pienentynyt kapasiteetti kokoon ja massaan nähden ei tuota yhtä lailla ongelmia kuin ajoneuvokäytössä. Käytettyjä akustoja on suunniteltu käytettävän myös aurinko- ja tuulivoimaloiden yhteydessä energian varasoimiseen. [32]

Litiumioniakkujen kierrätys on toistaiseksi alkuvaiheissa oleva teollisuuden osa, joka on kuitenkin jatkuvassa kasvussa litiumioniakkuteknologian päätyessä yhä useampaan kulutustuotteeseen. Litiumin kasvavan kysynnän ja ajoneuvoakuissa käytettyjen muiden harvinaisten raaka-aineiden, kuten koboltin, arvo myös kasvattaa akkujen kierrätystarvetta. Sähköautoteollisuus on vielä alkutekijöissään ja useimmat liikenteessä olevat sähköautot ovat uusia suhteessa bensini- ja dieselautokantoihin ja harvempi sähköauto on saavuttanut elinkaarensa pään. Tästä syystä useimmat valmistetut sähkö- ja hybridiajoneuvojen akustot ovat vielä aktiivisessa käytössä ja harvempi akku on jouduttu poistamaan ajoneuvokäytöstä. Tähänastisen kierrätystarpeen vähyys on rajoittanut kierrätystoiminnan kehittämisen tarvetta, mutta ensimmäisten kuluttajamarkkinoille myytyjen sähköautojen saavuttaessa elinkaarensa pään, voidaan odottaa käytöstä poistettujen akustojen määrän kasvavan nopeasti.

5 Autokannan sähköistymisen vaikutukset autoalalla

Uutena myytävien autojen käyttövoiman rajoitus yhdessä bensiini- ja dieselautojen omistajille suunnattujen lisäkustannusten kanssa tulee muuttamaan kokonaisautokantaa nopeasti maissa, jossa käyttövoimalait tulevat voimaan. Muuttuvan autokannan vaikutukset tulemme näkemään autoalalla esimerkiksi autotehtailla, jälkimarkkina- ja huoltotoiminnassa ja tankkausasemainfrastruktuurissa, joissa sähköautojen erilaiset tarpeet joudutaan ottamaan huomioon.

5.1 Ajoneuvojen valmistusteollisuus

BEV-ajoneuvot ovat ulkoisesti vielä hyvin saman näköisiä kuin bensiini- ja dieselautot, mutta BEV-ajoneuvojen tekniikka on hyvin erilainen rakenteeltaan. Esimerkkinä voimme käyttää Chevroletin valmistamaa Bolt-sähköautoa, jossa on vain 24 liikkuvaa osaa. Vertailuna voimme käyttää erittäin tunnettua Volkswagenin valmistamaa Golfia, jossa on lähes 150 liikkuvaa osaa. [33] Tämä johtuu sähköisen voimansiirron yksinkertaisesta mekaanisesta rakenteesta bensiini- ja dieselmootoreihin verrattuna. Sähköautot sisältävät polttomootoriautoja enemmän tietotekniikkaa ja sähköisiä komponentteja, joiden valmistus ja käsittely vaativat oman erityisosaamisen autotehtaiden työntekijöiltä. Lisäksi mekaanisesti yksinkertaisemman tekniikan valmistaminen ja prosessien jatkuva kasvava automatisointi vaativat yhä vähemmän työntekijöitä autotehtaissa, mikä voi johtaa kasvavaan työttömyyteen ja nykyisten työntekijöiden uudelleenkouluttamisen tarpeeseen.

Sähköautojen yleistyessä kasvavia autoteollisuuden aloja tulevat olemaan akku- ja sähkömoottoriteollisuus sekä autojen komponentteihin erikoistuva elektroniikkateollisuus ja näissä voimme odottaa kasvavaa osaavan työvoiman tarvetta. Autoteollisuuden muuttuessa voimme kuitenkin odottaa työpaikkojen määrän vähenemistä erityisesti maissa, joissa ajoneuvojen käyttövoimaa ryhdytään rajoittamaan. Uutena myytävien ajoneuvojen käyttövoiman rajoittaminen sähköautoihin vaikuttaisi myös vahvasti polttomootoriajoneuvojen valmistusmääriin ja mahdollisesti myös polttomootoriajoneuvojen parissa työskentelevien ihmisen työllisyystilanteeseen. Esimerkiksi Saksassa vuonna 2015 polttomootoriajoneuvojen ja niille ominaisten komponenttien valmistuksen parissa työskenteli 457 000 työntekijää. Kun lasketaan mukaan polttomootoriteollisuuden parissa epäsuorasti työskentelevät ihmiset, kuten ajoneuvojen valmistukseen sidotun metalliteollisuuden parissa työskentelevät ihmiset, kasvaa työntekijämäärän lukemaan 620 000.

Tämä kattaa 10 % Saksan koko teollisessa tuotannossa työskentelevistä ihmisistä, joiden työllisyyteen vähenevä bensiini- ja dieselautojen valmistus mahdollisesti tulee vaikuttamaan. [34] Kun laskemme mukaan muissakin maissa bensiini- ja dieselautoteollisuuden parissa työskentelevät ihmiset, luku kasvaa moninkertaiseksi.

5.2 Huoltamatoiminta ja jälkimarkkinat

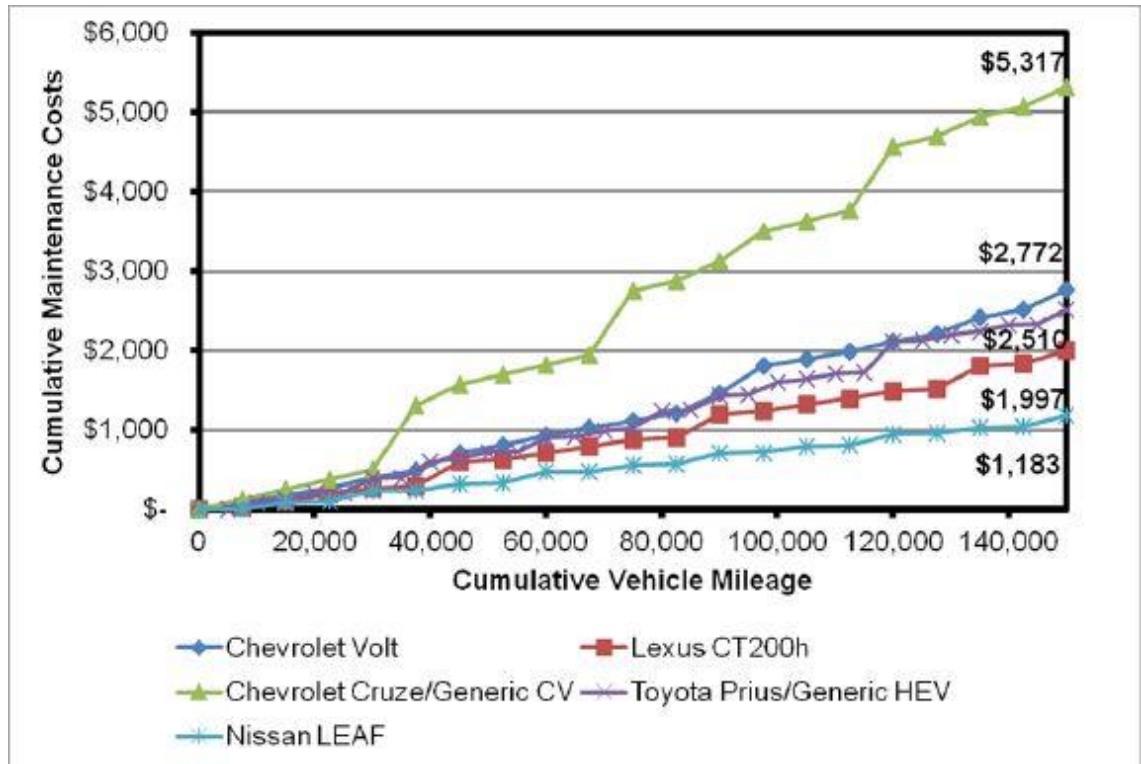
Sähköautojen perustekniikan ollessa hyvin erilainen bensiini- ja dieselmoottoritekniikkaan verrattuna muuttuu myös sähköajoneuvojen vaatimien huoltotoimenpiteiden luonne. Sähkömoottorit ovat lähes huoltovapaita verrattuna bensiini- ja dieselmoottoreihin johtuen sähkömoottorien sisältämien liikkuvien osien vähyydestä. Polttomoottoreissa voitelu normaalisti toteutetaan moottoriöljyllä, jota kierrätetään moottorin läpi. Moottorin sisäisten liikkuvien komponenttien voitelun lisäksi moottoriöljy ehkäisee moottorin sisäistä korroosiota ja kerää itseensä moottorin sylintereissä tapahtuvasta palotapahtumasta syntyviä myös muualle moottoriin päätyviä epäpuhtauksia. Ajan kuluessa moottoria käyttäessä öljyn koostumus kuitenkin heikkenee ja öljy täytyy vaihtaa uuteen.

Bensiini- ja dieselautot molemmat käyttävät samanlaisia moottoriöljyratkaisuja moottorin voitelussa. Bensiini- ja dieselautojen yleisyys ja niiden määräaikaisen öljynvaihtohuollon tarve yhdessä muiden määräaikaista huoltoa vaativien komponenttien kanssa on luonut pohjan laajalle autohuoltoalalle sekä moottorikomponenttien jälkimarkkinoille.

Bensiini- ja dieselautot jakavat sähköautojen kanssa vain muutamia huoltotoimenpiteitä, joista merkittävimmät ovat jarrujen huolto, ulkoisten kulutusosien (renkaat, pyyhkijänsulat) vaihto, ohjaamon raitisilmasuodattimen vaihto ja ilmastoinnin ajoittainen huolto. Sähköautot eivät tekniikkansa puolesta vaadi samanlaista voitelua kuin polttomoottorit, joten sähköautojen vuosihuolto-ohjelmaan kuuluvien toimenpiteiden määrä on huomattavasti pienempi kuin polttomoottoriautoilla. Huoltotoimenpiteiden pienentynyt tarve laskee myös omistajalle koituvia huoltokustannuksia, jotka Electric Power Research Institutun EPRI:n mukaan voivat jäädä vain viidennekseen bensiini- ja dieselmoottorisen ajoneuvon huoltokustannuksista. [35, s. B-1.]

Koska hybridautoissa on myös polttomoottori, ovat niiden huoltokustannukset korkeammat kuin BEV-ajoneuvoissa. Hybridien huoltokustannukset silti jäävät alle normaalien

polttomoottoriautojen hybridien polttomoottorin käyttöasteen jäävän alhaisemmaksi varsinkin ladattavien hybridien kohdalla. Lisäksi hybridiajoneuvoista usein löytyvä jarrutusenergian talteenottojärjestelmä vähentää jarrukomponentteihin kohdistuvaa kulumista vähentäen niihin kohdistuvaa huollon tarvetta. Kuvassa 14 on vertailtu tavallisen polttomoottoriajoneuvon ja muutaman hybridi- ja sähköajoneuvon kumulatiivisia huoltokustannuksia toisiinsa. Voimme havaita sähkökäyttöisten autojen huoltokustannusten jäävän selkeästi perinteisten polttomoottoriajoneuvojen huoltokustannusten alle.



Kuva 14. Kumulatiiviset huoltokustannukset valituille polttomoottori-, hybridi- ja sähköajoneuvoille. Chevrolet Cruzen arvot kuvaavat tavallisen polttomoottoriajoneuvon kustannuksia ja Nissan Leaf-sähköauton huoltokustannuksia. Pystyakselilla on kumulatiiviset huoltokustannukset ajoneuvoille ja vaaka-akselilla ajoneuvoilla kuljettu matka maileina. [35, s. B-1.]

Skenaariossa, jossa sähköautojen osuus autokannasta kasvaa ajoneuvojen kokonaismäärän pysyessä kutakuinkin samana, autokannan yleinen huoltotarve pienenee ja nykyisiin huoltopalveluihin kohdistuva kysyntä pienenee. Huoltamotoiminnassa tämä voi näkyä huoltohallien keskimääräisen koon pienenemisenä ja henkilöstön sekä tarjolla olevien palvelujen vähenemisenä. Lisäksi sähköautojen huoltaminen voi vaatia erikoistumista sähköautoille ominaiseen sähkötekniikkaan ja erillisiä työturvallisuuskoulutuksia korkeajännitejärjestelmien parissa työskentelemiseen. Lisäkoulutukset henkilöstölle voivat kasvattaa huoltamoyritysten henkilöstökoulutuksen kustannuksia.

Huoltamoilla vähentynyt huollon tarve näkyy myös huoltamotoiminnan tuottavuudessa. Huoltamot voivat joutua uudelleen mitoittamaan tilojensa kokoa sekä henkilöstömääriä ja mahdollisesti laajentamaan tuote- ja palveluvalikoimaansa autojen mekaanisen huollon ulkopuolelle tuottavuuden ylläpitämiseksi. Ajoneuvojen huoltotarpeen väheneminen ja huoltotöiden vaatima erikoistuminen voi tuoda mukanaan ilmiön, jossa esimerkiksi perinteisiin polttomootoriautoihin öljynvaihtopalveluja tarjoavien pienkorjaamojen määrä vähenee ja huoltopalvelut keskittyvät isompiin merkkikorjaamoihin. Tämä voi tuoda mukanaan eräänlaisen murrosvaiheen, jossa sähköautojen osuus autokannasta on kasvanut niin suureksi, että huoltamotoiminta on joutunut muuttamaan sähköpainotteisemmalle autokannalle sopivammaksi. [36, s. 23.] Huoltamoiden väheneminen voi koitua ongelmalliseksi vielä polttomootoriajoneuvoja omistaville ihmisille, joille huoltopalveluiden saatavuus heikkenee. Nämä ihmiset voivat kääntyä hankkimaan itselleen sähköauton polttomootoriauton tilalle laajempien ja halvempien huoltopalvelujen perässä, joka voi vauhdittaa autokantamuutosta. Polttomootoriajoneuvojen huoltojen kysyntä laskee edelleen polttomootoriautojen omistamisen ja huoltamisen jäädessä ennen pitkää mahdollisesti vain harrastuspohjaiseksi toiminnaksi.

Ajoneuvojen hoitoon ja osien myymiseen erikoistuneet yritykset voivat joutua muuttamaan tuotevalikoimiaan polttomoottorien yleisyyden laskiessa. Näiden yritysten valikoimaan kuuluu usein valikoima työkaluja ja komponentteja ajoneuvojen matalajännitejärjestelmien, kuten valojen ja lisälaitteiden, huoltoon, kemikaaleja ajoneuvon korin ja moottorin hoitoon sekä yleisiä varaosia moottorin komponenteista korin osiin. Monet polttomootoriajoneuvon omistavat ihmiset suorittavat lukuisia huoltotoimenpiteitä itse ja hankkivat tarvikkeensa näistä yrityksistä. Joidenkin BEV-ajoneuvojen järjestelmien parissa työskentelyn vaatiman erityiskoulutuksen takia ajoneuvojen parissa itsetyöskentely saattaa vähentyä, mikä voi näkyä alentuneena asiakasmääränä näissä yrityksissä. Nämä yritykset voivat joutua muuttamaan tuotevalikoimaansa tai tuomaan tarjolle uusia palveluja tuottavuuden ylläpitämiseksi.

Lisämyynnin korostuessa yritykset voivat tuoda esille uusia tuote- ja palvelupaketteja sähköautojen huoltojen yhteydessä. Koska huoltoihin kuluva aika ja asiakkaalle jäävät kustannukset pienenevät, yritykset voisivat esimerkiksi korostaa autojen hoidon tarvetta huoltojen yhteydessä tarjoten asiakkaille huollon ohessa esimerkiksi pesu- ja siivouspalveluja ja tarvikkeita auton itsehoitoon. Sähköjärjestelmien diagnostiikka ja kuntotarkastukset voivat myös tulla yleisemmäksi palvelutarjonnassa.

Polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen väheneminen vaikuttaa myös polttoaineen kysyntään. Nykyisen tankkausasemaverkoston tarve pienenee ja tankkausasemien määrä tulee vähenemään kannattavuuden laskiessa. Teiden varsilla olevien huoltoasemien palvelut tulevat todennäköisesti muutoin pysymään samankaltaisina keskittyen paljon autoilijoiden tarpeiden täyttämiseen. Tankkauspisteiden tilalle tarvitaan kasvavissa määrin sähköautojen pikalatauspisteitä.

Nykyteknologian puitteissa sähköautojen määrä tulee kasvamaan ensimmäiseksi tiheästi asutussa kaupunkialueissa, joissa kuljetut välimatkat ovat pienet ja tiheän latausverkon rakentaminen on helpompaa. Jos sähköautojen toimintasäteet eivät kasva vastamaan polttomoottoriajoneuvojen toimintasädetä, polttomoottoriajoneuvojen huoltoa tarjoavat palvelut saattavat keskittyä harvaan asutuille alueille, jossa pidempien välimatkojen kulkeminen polttomoottoriautolla tai hybridillä on käytännöllisempää niiden pidemmän toimintasäteen ansiosta.

6 Sähköautojen latausinfrastruktuuri

BEV- ja PHEV-ajoneuvokantojen kasvaessa kasvaa myös ajoneuvoille tarkoitettujen latauspisteiden tarve. Sähköverkosta ladattavien ajoneuvojen määrän kasvu tuo myös omat haasteensa sähköverkoille sekä energiantuotannolle. Suuri osa autokannasta on liikenteessä päivittäin ja liikkumiseen vaadittu energia joudutaan tuottamaan sähköverkon kautta kuluttajille. Ajoneuvojen käyttö usein ajoittuu aamulle ja iltapäivälle, silloin kun ihmiset käyttävät autoa työmatkoihin. Muita ajankohtia, jolloin autoja käytetään paljon ovat lomat, jolloin ihmiset käyttävät autoja matkustamiseen. Nämä yleiset ajoneuvon käytön keskittymät tietyille ajankohdille voi tuoda mukanaan ilmiön, jolloin sähköajoneuvojen lataaminen ajoittuu useimmalla samalle ajankohdalle. Nämä latauksesta syntyvät sähkönsäilytyspiikit tuovat lisähaasteen sähköverkkojen suunnittelulle ja suuren sähkömäärän samanaikaiselle tuottamiselle.

6.1 Sähköautojen lataussähköntarve

Nissan Leaf käyttää kapasiteetiltaan 24–30 kWh:n akustoa varustelutasosta riippuen ja Nissan lupaa Leafin maksimitoimintamatkaksi 250 km olosuhteiden ja ajotavan ollessa suotuisia [37]. Tesla tarjoaa suurimpana akkukapasiteettina 100 kWh:n akustoa, jolle

Teslan Model S:ään asennettuna Tesla lupaa 632 km:n toimintasäteen [38]. Sähköautojen yleistyessä voimme olettaa sähköautokannan keskimääräisen toimintasäteen asetuvan näiden arvojen väliin, jos akkuteknologia pysyy samankaltaisena.

Suuremman sähköautokannan vaikutuksien laskemiseksi sähkön tuottamisen tarpeeseen, otetaan esimerkiksi skenaario, jossa sähköautojen osuus Suomen nykyisen kokoisesta autokannasta olisi prosentuaalisesti suurempi kuin muita käyttövoimaa käyttävien autojen osuus. Sähköajoneuvojen yleistyessä voidaan olettaa niiden toimintasäteen ja akustojen kapasiteetin kasvavan sellaiseksi, että sähköauton käyttäminen Suomessa esiintyvien keskipitkien välimatkojen kulkemiseen olisi käytännöllistä. Akustojen tulevaisuudelle keskimääräiseksi kapasiteetiksi voimme arvioida 70 kWh, joka voisivat tarjota keski-kokoiselle henkilöautolle keskimäärin 400–500 km toimintasäteen. Trafian tilastopalvelun mukaan vuonna 2016 Suomessa oli rekisterissä noin 3 200 000 henkilöautoa [39]. Tätä skenaariota varten oletetaan ajoneuvokannan pysyvän samankokoisena, mutta ladatavien sähköautojen määrän olevan puolet koko autokannasta. Lisäoletuksena pidetään kaikkien rekisterissä olevien sähköautojen olevan aktiivisessa liikennekäytössä.

Skenaariossa käsitellään normaalin työpäivän aikana kuljetut työmatkat ja niiden vaatima energia. Ympäristöhallinnon vuonna 2015 julkaiseman tutkimuksen mukaan Suomalaisien keskimääräisen yhdensuuntaisen työmatkan pituus vuonna 2010 oli lähes 14 km ja 75 % näistä kuljettiin henkilöautolla [40]. Koska kuljettujen työmatkojen pituus on kasvanut tasaiseen tahtiin, voidaan olettaa työmatkan pituuden kasvaneen hieman vuoden 2010 arvoon nähden. Kun lasketaan yhteen työmatkat työpaikalle ja takaisin kotiin, voidaan olettaa päivisin kuljetuksi keskimääräiseksi edestakaiseksi työmatkaksi 30 km. Jos oletetaan sähköautoja olevan puolet nykyisestä autokannasta, eli 1 600 000 autoa ja että 75 % sähköautojen omistajista kulkee työmatkan autolla, saadaan työmatkoihin kuljetusta kokonaismatkasta päivässä 36 000 000 km.

Jos sähköauton keskikulutukseksi otetaan nykypäivän sähköautojen sekä maantie että kaupunkiajoa sisältävän ajon yhdistetty energiankulutus, saadaan kulutusarvoksi 18,2 kWh / 100 km [23]. Käyttämällä tätä kulutusarvoa, saadaan sähköautoilla työmatkoihin päivässä tarvittavan energian määräksi 6,552 GWh. Autoa kohden energiaa kuluu 5,46 kWh, johon ei ole laskettu mukaan työmatka-ajon lisäksi muuta ajoa. Jos sähköautoja ladataan esimerkiksi 10 kW laturilla kotiolosuhteissa ja lataus suoritetaan työpäivän jälkeen niin, että ainakin 50 % työmatkakäytössä olleista autoista, eli noin 600 000 autoa,

on latauksessa samaan aikaan, kasvaa hetkellisen sähkötehon tarve latausruuhka-aikaan 6 GW:iin. Tätä työtä kirjoittaessa Suomen suurin sähkön kulutushuippu, 15,2 GW, saavutettiin tammikuussa vuonna 2016, mihin nähden sähköautojen samanaikaisen lataamisen aiheuttama piikki sähkönkulutuksessa on merkittävä. Suomessa vuonna 2016 käytettiin sähköä yhteensä 85,1 TWh, josta 19 TWh tuotiin ulkomailta [41]. Suomi tuotti itse 66,1 TWh sähköä, joka on päivässä keskimäärin 181,1 GWh [42]. Työmatka-ajoon vaadittava energia kasvattaisi päivittäistä energiatuotannon tarvetta vain 3,6 %.

Sähköverkon hetkellinen maksimituotantokyky jouduttaisiin suunnittelemaan riittäväksi suuremmille hetkittäisille verkonlaajuisille sähkönkulutusarvoille. Lisähaasteena voi joillain alueilla olla kotitalouksien omien sähkökeskusten kyky käsitellä erityisesti pikalatureiden vaatimia suuria virtamääriä ja paikallisten sähköverkkojen kyky sietää useiden latauksessa olevien ajoneuvojen aiheuttama hetkellinen lisäkuormitus. Esimerkiksi omakotitaloissa, joissa lataaminen suoritetaan kytkemällä auton kotilatausta varten suunniteltu laturi tavalliseen pistorasiaan, on pääsulakkeen virransietokyky 3 x 25A. Talossa ei välttämättä voi esimerkiksi 43,5 A virtaa tarvitsevaa 10 kW:n laturia käyttäessä käyttää muita korkeita tehoja vaativia sähkölaitteita samanaikaisesti. Kompromissi tähän voi olla pienempitehoisen laturin käyttö tai suurempia virtamääriä kestävien pääsulakkeiden käyttö sähkökeskuksissa.

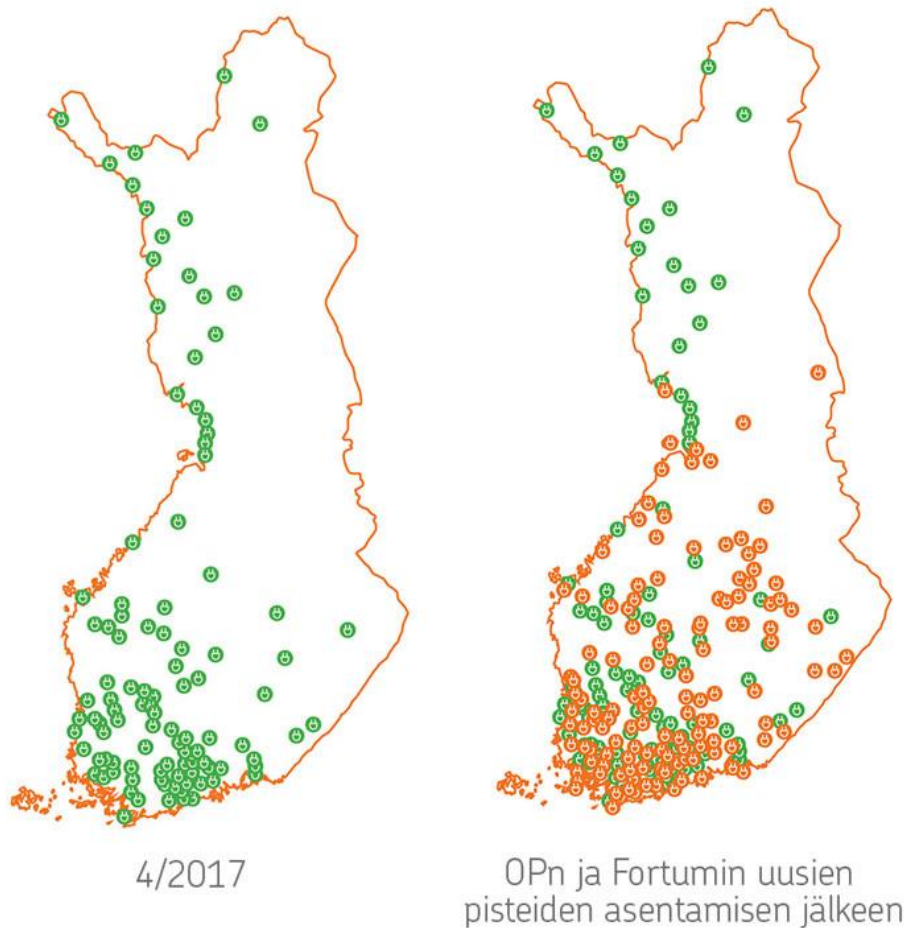
6.2 Latauspisteinfrastruktuuri

Kotiloissa lataamisen lisäksi tarvitaan kotitalouksien ulkopuolinen latausinfrastruktuuri nykyisten polttoaineita tarjoavien tankkausasemien lisäksi. Näissä latauspisteissä tarvitaan tehokkaita pikalatauspisteitä sähköautojen nopeaan lataamiseen tilanteissa, joissa normaali verkkovirtapistokkeesta saatava teho ei riitä. Lisäksi kaikissa kotitalouksissa ei toistaiseksi ole mahdollisuutta ajoneuvon lataamiseen, jolloin erillisiä latauspisteitä tarvitaan.

Suomessa oli vuoden 2016 loppuun mennessä 1857 huoltoasemaa, jotka tarjosivat tankattavaksi bensiiniä ja dieseliä [43]. Näistä asemista miehittämättömiä automaattiasemia oli 1065 kappaletta. Koska sähköautojen latauspisteet eivät vaadi suuria säiliöitä bensiinin ja dieselin varastoimista varten on latauspisteitä mahdollista rakentaa paikkoihin, mihin perinteiset huoltoasemat eivät mahdu. Näitä paikkoja ovat esimerkiksi kaupunkien ydinkeskustat, parkkihallit ja pysäköintialueet ja kadunvarsien pysäköintialueet.

Julkisessa käytössä olevia latauspisteitä Suomessa oli vuoden 2016 loppuun mennessä hieman yli 600 ja tavoitteena on saada Suomeen vähintään 2000 latauspistettä vuoteen 2020 mennessä [44]. Julkisessa käytössä oleviin latauspisteisiin ei lasketa kotitalouksien verkkovirtalatausta. Suurin osa latauspisteistä on kuitenkin keskittynyt rannikkoalueille, missä suurin osa Suomeen rekisteröidyistä sähköautoistakin sijaitsevat. Latausinfrastruktuuri kuitenkin laajenee vuosi vuodelta kattamaan myös sisämaan alueita, joskin tihein latauspisteverkosto todennäköisesti tulee pysymään rannikkoalueiden tiheillä asutusalueilla missä välimatkatkin ovat lyhyempiä. Kuvassa 15 on esitetty Fortumin ja OP:n nykyisten ja kaavailtujen latauspisteiden verkosto Suomessa.

Sähköautojen latausverkosto



Kuva 15. Fortumin sähköautojen latauspisteiden verkosto huhtikuussa 2017 ja OP:n ja Fortumin yhteistyössä kaavailtu verkon laajentaminen [45].

Suomessa latauspisteiden sähkön tuottavat useat eri energiayhtiöt, jotka ovat perustaneet yhdessä Liikennevirta Oy nimisen yrityksen tuottamaan latauspalveluita sähköautoille. Liikennevirta Oy vastaa latauspisteiden rakentamisesta ja ylläpitämisestä. [46]

Latauspisteiden ja sähköautojen lisääntymisen tuoma kuormitus jo olemassa olevaan sähköverkkoon on saanut osan valtioista pohtimaan eri ratkaisuja kasvavan kuormituksen käsittelemiseksi. Alueilla, joiden sähköverkko ei kestä kovia kuormituksia, voisi latauspisteille rakennettava erillinen itsenäinen sähköverkko toimia ratkaisuna mahdollisesti kalliin ja hankalan jo olemassa olevan verkon uudelleenrakentamisen sijaan.

Kerrostaloalueilla sähköverkon rakenteesta riippuen asukkaiden ei välttämättä tarvitsisi kerrostaloalueen parkkialueella autoa ladattaessa huomioida oman asunnon muiden sähkölaitteiden käyttöä samalla tavalla, kuin omakotitalojen asukkaat. Latauspisteet voisi rakentaa erillisenä asuinrakennuksen verkosta minimoimaan esimerkiksi töistä palanneiden asukkaiden ajoneuvojen yhtäaikaisen lataamisen aiheuttaman virtapiikin tuoman kuormituksen vaikutuksia asuinrakennuksen sähköverkkoon.

7 Yhteenveto

Autokannan sähköautojen osuus kasvaa vuosittain asenteiden muuttuessa ja päästölääkien tiukentuessa tehden sähköauton omistamisesta yhä houkuttelevampaa. Autokannan muuttuminen ei kuitenkaan tule ilman haasteita ja muutoksen vaikutuksia tullaan näkemään tulevaisuudessa liikenteessä näkyvän autokannan lisäksi useilla teollisuuden aloilla, energiantuotannossa, politiikassa ja autoalan yritystoiminnassa.

Pariisin ilmastositomuksen innoittamana useat valtiot ovat ryhtyneet kamppailemaan päästömäärien pienentämiseksi ja sähköautoiluun kannustaminen on noussut globaalisti trendiksi autonvalmistajien ja päättäjien kesken erityisesti liikenteen ollessa yksi merkittävimpiä kasvihuonekaasujen tuottajia. Tässä insinööriyössä tutkittiin useiden valtioiden asettamia kannustimia ja käyttökustannushelpotuksia sähköautojen omistajille ja kuljettajille. Niiden havaittiin antaneen sähköautoilulle merkittävän lähtösäyksen erityisesti Norjassa, mitä pidetään onnistuneena esimerkkinä ja tavoitteena muiden valtioiden kesken.

Tässä työssä keskityttiin lisäksi sähköautojen ympäristöjälkeen ja kerätyn datan perusteella sähköautoiluun kannustaessa tulee ehdottomasti huomioida sähköautojen valmistuksen ympäristöjälki ja valmistusmaan käyttämän energialähteen vaikutukset ajoneuvon koko eliniän aikaiseen hiilijalanjälkeen. Valmistus tulisi pyrkiä keskittämään valtioihin, jotka käyttävät pääosin uusiutuvaa tai vähäpäästöistä energiaa ja noudattavat tiettyntasoisia ympäristöstandardeja. Tiedon hakemiseen käytettiin useaa ilmaston tilaa ja päästöjä valvovien ja tutkivien tahojen, kuten EPAn ja EEA:n, tietokantoja ja julkaisuja.

Valmistuksen lisäksi työssä kerättiin tietoja autojen lataamiseen käytetyn energian tuotantotavoista ja miten ne voivat vaikuttaa auton hiilijalanjälkeen. Kerätyn tiedon perusteella ja päästöarvoja laskemalla ja vertailemalla havaittiin energian tuotantotavalla olevan merkittäviä vaikutuksia sähköauton hiilijalanjälkeen sen pahimmillaan ollessa samoissa lukemissa tavallisen bensiinikäyttöisen henkilöauton kanssa, jos latausenergian tuotantoon käytetään esimerkiksi hiilivoimaa. Tämän perusteella voidaan todeta, että haasteena tulee olemaan valmistuskustannusten ja valmistuksessa syntyvien päästöjen tasapainon löytäminen autojen lopullisen hinnan ja ympäristöjäljen saamiseksi pysymään järkevällä tasolla.

Työssä tutkittiin myös sähköautojen akkuteknologiaa ja sen ominaisuuksia nykyisellään ja havaittiin, että jos sähköautojen akkuteknologia ei koe mullistavaa kehitystä tulevaisuudessa, voi tässä työssä laskettujen kokonaispäästöarvojen ja sähköautojen rajallisen toimintasäteen perusteella sähköautojen potentiaali korvata bensiini- ja dieselautot jäädä vähäiseksi. Nykyisellään akkujen energiatiheys ei ole akustojen kokoon nähden mitenkään merkittävä bensiiniin ja dieseliin verrattuna, mikä rajoittaa ajoneuvojen käytösäteen merkittävästi pienemmäksi kuin bensiini- ja dieselautoilla. Lisäksi akustojen kulluttua loppuun niiden ympäristövaikutukset voivat koitua ongelmalliseksi, jos kierrätysteknologiaa ja akkujen kierrätysastetta ei kehitetä tarpeeksi korkealle tasolle. Akkuja on kuitenkin ryhdytty käyttämään energian varastointiin esimerkiksi kotitalous- ja yritys-käytössä, kun akkujen kapasiteetti laskee käytön myötä liian alas ollakseen käyttökelpoinen ajoneuvoissa.

Tässä työssä tutkittiin kasvihuonepäästöjen lisäksi muitakin liikenteen aiheuttamia haittoja ympäristöön ja voidaan todeta, että kaikista haasteista huolimatta sähköautojen yleistyminen etenkin suurkaupunkialueilla toisi merkittäviä parannuksia ilmanlaatuun ja melusaasteeseen. Tämä voi tulevaisuudessa parhaimmillaan näkyä kohoavana

yleisterveytenä ja kirkkaina taivaina esimerkiksi nykyisin hyvin saasteisen ja terveyshaitoista kärsivän Pekingin kaltaisissa suurkaupungeissa.

Työssä kiinnitettiin huomiota myös teollisuuteen ja autoalan yrityksiin, joissa autokantamuutos voi pahimmillaan näkyä vähenevinä työpaikkoina ja massiivisina työntekijöiden uudelleenkouluttamisina. Nämä tekijät voivat tuoda huomattaviakin lisäkustannuksia esimerkiksi tehtaille ja autonhuoltoyrityksille ja lisäksi näiden toimintatapoja voidaan joutua muuttamaan uudenlaisia kuluttajien tarpeita vastaamaan.

Tässä työssä perehdyttiin sekä polttomoottoritekniikoihin että sähkö- ja hybriditekniikoihin ja merkittävimpänä erona voidaan todeta olevan sähköisen voimansiirron erittäin pieni huollon tarve. Eri ajoneuvojen huolto-ohjelmia tutkimalla huomattiin sähköautojen huolto-ohjelman sisältävän huomattavasti vähemmän määräaikaishuolloissa läpi käytäviä kohteita verrattuna bensiini- ja dieselautojen huolto-ohjelmiin. Koska autoja ei tarvitse enää huoltaa samoissa määrin kuin ennen, pienenevät ajoneuvojen huoltokustannuksetkin tuoden säästöjä sähköautojen omistajille.

Toinen merkittävä ja huomioon otettava seikka on suuren sähköautokannan vaatiman lataussähkömäärä. Sähköautojen rajallisen toimintasäteen seurauksena autoja voidaan joutua lataamaan useastikin, mikä voi esimerkiksi ladattaessa työpäivän jälkeen näkyä merkittävänä sähkönkulutuspiikkinä sähköverkossa. Työssä kerättiin dataa Suomen sähköverkon nykyisestä tilasta ja tuotantokyvystä ja luotiin skenaario, jossa puolet nykyisestä autokannasta korvattiin sähköautoilla. Skenaariossa luotiin kuviteltu tilanne, jossa nykyistä keskimääräistä työmatkan pituutta käyttämällä laskettiin töiden jälkeen lataukseen laitettujen sähköajoneuvojen aiheuttaman kuormituksen suuruutta sähköverkossa. Havaittiin, että vaikka suuren sähköautomäärän samanaikainen lataaminen ei välttämättä kasvata sähkömäärän kokonaiskulutusta ratkaisevasti, ylittää kuormituspiikki tähänastiset sähkömäärän ennätyslukemat Suomen sähköverkossa. Lisäksi aluekohtaiset kuormitukset verkossa voivat kasvaa hyvinkin suuriksi, jos suuri määrä sähköautoja ladataan samanaikaisesti esimerkiksi kerrostalolähiöissä. Omakotitalojen sähkökeskusten rajallinen virransietokykykin voi tulla esteeksi joidenkin ihmisten kotiverkosta lataamiselle ilman muutoksia esimerkiksi pääsulakkeiden kokoon.

Yhtenä ratkaisuna kotona lataamisen tuomille haasteille on rakentaa kattava ja tiheä latauspisteinfrastruktuuri korvaamaan nykyisiä huoltoasemien tankkauspisteitä. Sijoitet-

tuna tarpeeksi lyhyiden välimatkojen päähän esimerkiksi pikalatauspisteet voivat järkevine latausaikoinen paikkailla nykyisiä rajallisia sähköautojen käyttösaiteita tehden autoista käytännöllisempiä pidemmälläkin matkoilla. Latausinfrastruktuurin rakentaminen ainakin Suomessa on jo hyvällä mallilla sen laajetessa hiljalleen myös haja-asutusalueillekin.

Kaiken kaikkiaan sähköautot voivat olla erittäin pätevä tapa vähentää kasvihuonepäästöjä, jos kaikista haasteista selvittää. Sähköautot ovat jo osoittautuneet merkittävästi taloudellisemmaksi ja ympäristöystävällisemmäksi vaihtoehdoksi alueilla, joissa sähköautot ovat yleisimpiä.

Lähteet

- 1 Liikennekäytössä olevat BEV-henkilöautot vuonna 2016. Verkkoaineisto. Trafi. <https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokannan_kayttovoimatilastot/sahkokayttoiset_autot> Luettu 4.10.2017.
- 2 Liikennekäytössä olevat ladattavat hybridi ajoneuvot vuonna 2016. Verkkoaineisto. Trafi. <https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokannan_kayttovoimatilastot/hybridikayttoiset_henkilöautot> Luettu 4.10.2017.
- 3 Liikennekäytössä olevien ajoneuvojen määrä Suomessa vuonna 2016. Verkkoaineisto. Trafi. <http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/030_kanta_tau_103.px/table/table-ViewLayout1/?rxid=548be7fe-0ae7-4a55-9b2b-f4d961a2839e> Luettu 04.10.2017.
- 4 Global EV Outlook 2017, Two million and counting. 2017. Verkkoaineisto. International Energy Agency. <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>> Luettu 06.11.2017.
- 5 Petroff, Alanna. 2017. These countries want to ditch gas and diesel cars. Verkkoaineisto. CNN Money. <<http://money.cnn.com/2017/07/26/autos/countries-that-are-banning-gas-cars-for-electric/index.html>> Luettu 15.11.2017.
- 6 Vaughan, Adam. 2017. All Volvo cars to be electric or hybrid from 2019. Verkkoaineisto. theguardian. <<https://www.theguardian.com/business/2017/jul/05/volvo-cars-electric-hybrid-2019>> Luettu 15.11.2017.
- 7 Electric cars and vehicles. Verkkoaineisto. Energy saving trust. <<http://www.energysavingtrust.org.uk/travel/electric-vehicles>> Luettu 05.10.2017.
- 8 Financial Benefits of Zero Emissions Vehicles. Verkkoaineisto. Tesla. <https://www.tesla.com/en_GB/support/incentives?redirect=no> Luettu 05.10.2017.
- 9 Norwegian EV Policy. Verkkoaineisto. Norsk Elbilforening. <<http://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/>> Luettu 6.10.2017.
- 10 Ayre, James 2015. 23% Of New Cars In Norway Now Electric Cars. Verkkoaineisto. Clean Technica. <<https://cleantechnica.com/2015/07/16/23-of-new-cars-in-norway-now-electric-cars/>> Luettu 6.10.2017.
- 11 2017 Leaf, Service and maintenance guide. 2017. Huolto-ohjekirja. Nissan. <<https://owners.nissanusa.com/content/techpub/ManualsAndGuides/LEAF/2017/2017-LEAF-service-maintenance-guide.pdf>> Luettu 06.11.2017.

- 12 Reducing CO2 emissions from passenger cars. Verkkoaineisto. Euroopan Komissio. <https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en#tab-0-0> Luettu 07.10.2017.
- 13 Global Greenhouse Gas Emissions Data. Verkkoaineisto. United States Environmental Protection Agency. <<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>> Luettu 07.10.2017.
- 14 Barth, Matthew & Boriboonsomsin, Kanok 2009. Traffic Congestion and Greenhouse Gases. Verkkoaineisto. Access Magazine. <<https://www.accessmagazine.org/fall-2009/traffic-congestion-greenhouse-gases/>> Luettu 07.10.2017.
- 15 Liityntäpysäköintimerkit. Verkkoaineisto. Helsingin Kaupunkitilaohje. <<http://kaupunkitilaohje.hel.fi/wp-content/uploads/2016/05/liityntapysakointi3.png>> Luettu 07.10.2017.
- 16 Dunn, Thom 2015. Beijing banned cars for 2 weeks and the sky turned perfectly blue. Guess what happened the next day? Verkkoaineisto. Upworthy. <<http://www.upworthy.com/beijing-banned-cars-for-2-weeks-and-the-sky-turned-perfectly-blue-guess-what-happened-the-next-day>> Luettu 26.10.2017.
- 17 Explaining road transport emissions – A non-technical guide. 2016. Verkkoaineisto. European Environment Agency. <<https://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions>> Luettu 08.10.2017.
- 18 Motor Vehicle Emission Controls: Fuel Types. Verkkoaineisto. Air Pollution. <<http://www.air-quality.org.uk/26.php>> Luettu 08.10.2017.
- 19 Hybrid Vehicle Information, Green Cars For A Green Future. Verkkoaineisto. Hybrid & Electric Vehicle Information. <<http://www.hybrid-vehicle.info/system/>> Luettu 09.10.2017.
- 20 Wan, Mark. 4-Wheel Drive. Nissan e-4WD. Verkkoaineisto. Autozine Technical School. <http://www.autozine.org/technical_school/traction/4WD_4.html> Luettu 10.10.2017.
- 21 Thompson, Cadie 2017. How the electric car became the future of transportation. Verkkoaineisto. Business Insider. <<http://www.businessinsider.com/electric-car-history-2017-5?r=US&IR=T&IR=T/#the-electric-car-burst-onto-the-scene-in-the-late-1800s-and-early-1900s-1>> Luettu 06.11.2017.
- 22 All-Electric Vehicles. Verkkoaineisto. U.S. Department of Energy. <<http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>> Luettu 20.10.2017.
- 23 Lima, Pedro 2016. Electric cars: range and efficiency comparison. Verkkoaineisto. PushEVs. Päivitetty 03.02.2017. <<http://pushevs.com/2016/11/23/electric-cars-range-efficiency-comparison/>> Luettu 29.10.2017.

- 24 Wilson, Lindsay 2013. Shades of Green. Verkkoaineisto. Shrink That Footprint. <<http://shrinkthatfootprint.com/wp-content/uploads/2013/02/Shades-of-Green-Full-Report.pdf>> Luettu 21.10.2017.
- 25 Hambleton, Coleman L. The environmental impacts of battery production and the efforts to mitigate them. Verkkoaineisto. Black & Veatch. <<https://www.bv.com/insights/expert-perspectives/environmental-impacts-battery-production-and-efforts-mitigate-them>> Luettu 22.10.2017.
- 26 Padhy, Siv 2017. 10 Top Graphite-producing Countries. Verkkoaineisto. Investing News. <<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/top-graphite-producing-countries-china-india-brazil-canada/>> Luettu 22.10.2017.
- 27 Padhy, Siv 2017. 10 Top Cobalt-mining Countries By Production. Verkkoaineisto. Investing News. <<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/top-cobalt-producing-countries-congo-china-canada-russia-australia/>> Luettu 24.10.2017.
- 28 Sabo-Walsh, Stefan 2017. The Hidden Risks of Batteries: Child Labor, Modern Slavery, and Weakened Land and Water Rights. Verkkoaineisto. Greentech Media. <<https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-battery-revolution-powering-social-and-environmental-risks#gs.qqOiXuw>> Luettu 24.10.2017.
- 29 Zacune, Joseph 2013. Lithium. Verkkoaineisto. GLOBAL 2000. <http://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13_factsheet-lithium-gb.pdf> Luettu 24.10.2017.
- 30 Mäkelä, Eeva 2011. Bolivia & Suomi litiumin suurvalloiksi. Verkkoaineisto. Tiede. <https://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/bolivia_suomi_litiumin_suurvalloiksi> Luettu 06.11.2017.
- 31 Kumar, Aswin 2011. The Lithium Battery Recycling Challenge. Verkkoaineisto. Waste Management World. <<https://waste-management-world.com/a/1-the-lithium-battery-recycling-challenge>> Luettu 27.10.2017.
- 32 Battery Recycling: How We'll Keep Electric Vehicle Batteries Out Of Landfills. 2015. Verkkoaineisto. Sustainablog. <<https://sustainablog.org/2015/07/battery-recycling-how-well-keep-electric-vehicle-batteries-out-of-landfills/>> Luettu 27.10.2017.
- 33 Clark, Pilita 2017. The electric car revolution will leave many behind. Verkkoaineisto. Financial Times. <<https://www.ft.com/content/31f191d4-72c0-11e7-93ff-99f383b09ff9>> Luettu 28.10.2017.
- 34 Falck, Oliver; Ebneth, Michael; Koenen, Johannes; Dieler, Julian; Wackerbauer, Johann 2017. Consequences of a potential ban on new cars and light trucks with combustion engines. Verkkoaineisto. CESifo GmbH. <<https://www.cesifo->

- group.de/ifoHome/research/Projects/Archive/Projects_INT/2017/proj-int-Automobilindustrie.html> Luettu 28.10.2017.
- 35 Davis M.; Alexander M.; Duvall M. 2013. Total Costs of Ownership Model for Current Plug-in Electric Vehicles. Verkkoaineisto. Electric Power Research Institute EPRI. <<https://www.epri.com/#/pages/product/000000003002001728/>> Luettu 28.10.2017.
- 36 Savela, Miika 2016. Autokannan sähköistymisen vaikutus jälkimarkkinoihin. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201604275231>> Luettu 28.10.2017.
- 37 Nissan Leaf, Toimintamatka ja lataaminen. Verkkoaineisto. Nissan. <https://www.nissan.fi/ajoneuvot/henkiloautot/leaf/toimintamatka.html?cid=psmCxXi4hKt_dc|U> Luettu 29.10.2017.
- 38 Tesla 100D Model S. Verkkoaineisto. Tesla. <https://www.tesla.com/fi_FI/new/5YJSA7E24HF217895> Luettu 29.10.2017.
- 39 Ajoneuvokanta maakunnittain 2016. Verkkoaineisto. Trafi, Tilastokeskus. Päivitetty 09.01.2017. <https://www.trafi.fi/file-bank/a/1484136516/05ce17b2d6efa43d816cf9a63b57c22c/23712-Ajoneuvokanta_-_rekisterissa_olevat_maakunnittain_31122016.xlsx> Luettu 29.10.2017.
- 40 Työmatkan keskipituus kasvanut 14 kilometriin. 2015. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus SYKE. <[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Yhdyskuntarakenne/Työmatkan_keskipituus_kasvanut_14_kilome\(28635\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Yhdyskuntarakenne/Työmatkan_keskipituus_kasvanut_14_kilome(28635))> Luettu 29.20.2017.
- 41 Leskelä, Jukka; Oesch, Pia; Wilhelms, Taina 2017. Energiavuosi 2016 SÄHKÖ: Sähkön käyttö kääntyi nousuun. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_sahko_sahkonkaytto_kaantyi_nousuun.html> Luettu 29.19.2017.
- 42 Sähköntuotanto. 2017. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto> Luettu 29.10.2017.
- 43 Huoltoasemien määrä. Verkkoaineisto. Öljy- & biopolttoaineala ry. <<http://www.oil.fi/fi/tilastot-4-huoltoasemat/41-huoltoasemien-maara>> Luettu 29.10.2017.
- 44 Arvinen, Mikko 2017. Sähköautojen latauspisteiden määrä kasvaa nopeasti. Verkkoaineisto. Sähköala.fi. <http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/uutiset/fi_FI/110417_latauspisteet/> Luettu 29.10.2017.
- 45 Fortum ja OP lisäävät kolmanneksella sähköautojen latauspisteitä Suomessa. Verkkoaineisto. Fortum. <<https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-ja-op->

lisaavat-kolmanneksella-sahkoautojen-latauspisteita-suomessa.aspx> Luettu
30.10.2017.

- 46 Tarina. Verkkoaineisto. Liikennevirta Oy. <<http://www.virta.global/fi-tarina>> Luettu
30.10.2017.