

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

# **SÄHKÖAUTOJEN VALMISTUKSEN KASVIHUONEKAA- SUPÄÄSTÖT**

## **ELECTRIC CAR MANUFACTURING GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, Tkt Ville Uusitalo  
Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Elisa Uusitalo  
Lappeenrannassa 26.4.2020  
Sami Hirvonen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Sami Hirvonen

### **Sähköautojen valmistuksen päästöt**

Kandidaatintyö

2020

31 sivua, 2 taulukkoa ja 1 kuva

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, Tkt Ville Uusitalo

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Elisa Uusitalo

Hakusanat: sähköautot, akut, akku, kasvihuonekaasupäästöt, hiilijalanjälki, päästöt, valmistus

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kerätä tietoa sähköautojen valmistuksen päästöistä ja verrata niitä polttomoottoriautojen valmistuksen päästöihin. Työssä keskitytään täyssähköhenkilöautojen tuotantoon. Työn pääpaino on täyssähköauton valmistuksen päästöt ja sen vaikutus koko auton elinkaaren ajan päästöihin. Merkittävä osa sähköauton valmistuksen päästöistä syntyy akun valmistuksesta ja materiaalien tuotannosta. Työssä tehdään laskenta, jossa vertaillaan kahta täyssähköautoa kahteen polttomoottoriautoon. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta toteutetulla vertailulla selvitetään, kuinka monta kilometriä sähköautolla täytyy ajaa ennen kuin se on hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta parempi vaihtoehto kuin polttomoottoriauto. Vertailun tulosten perusteella sähköautolla täytyy ajaa 10 000 – 81 000 kilometriä, jonka jälkeen sillä ajaminen on kasvihuonekaasujen näkökulmasta parempi vaihtoehto. Autojen päästöihin vaikuttavat eniten auton koko, akun koko ja käytöstä syntyvät päästöt. Sähköautojen valmistus on polttomoottoriautojen valmistusta energiaintensiivisempää ja useimmiten tuottaa enemmän päästöjä. Suurin vaikutus sähköauton elinkaarenpäästöihin on ajon aikana käytetyn sähkön tuotannon päästöt. Suomessa sähköntuotannon päästöt ovat melko alhaiset, joka tekee sähköautoilusta vähäpäästöisen vaihtoehdon.

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	5
2	AUTOJEN ELINKAAREN AIKAISET PÄÄSTÖT .....	7
2.1	Auton elinkaaren päästöt.....	8
2.2	Akku.....	9
2.3	Valmistus ja materiaalit.....	12
2.4	Akkujen kierrätys .....	14
2.5	Sähköautojen valmistuksen muut terveys- ja ympäristövaikutukset .....	14
3	SÄHKÖAUTON JA POLTTOMOOTTORIAUTON VERTAILU.....	16
3.1	Sähköautojen valmistuksen päästöt.....	16
3.2	Sähköauton käytön päästöt.....	16
3.3	Polttomoottoriauton valmistuksen ja käytön päästöt .....	18
3.4	Sähkö- ja polttomoottoriauton päästöjen vertailu .....	19
4	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	22
5	YHTEENVETO .....	23
6	LÄHTEET .....	25

## SYMBOLILUETTELO

### Lyhenteet

ACEA	Euroopan autonvalmistajien liitto
AHSS	korkealujuusteräs. eng. Advanced high-strength steels
CRM	kriittiset materiaalit
EV	electric vehicle
ICE	internal combustion engine
NCA-kemia	akkukemia LiNiCoAlO <sub>2</sub>
NCM-kemia	akkukemia LiNiMnCoO <sub>2</sub>
REE	harvinaiset maametallit

### Yksiköt

CO <sub>2</sub> -e	hiilidioksidiekvivalentti
Kg	kilogramma
km	kilometri
l	litra
MJ	Megajoule
kWh	kilowattitunti
t	tonni

### Alkuaineet ja yhdisteet

CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
-----------------	---------------

## 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on yksi suurimmista ihmiskunnan kohtaamista haasteista. Ihmisten toiminnan seurauksesta vapautuvat kasvihuonekaasupäästöt lisäävät kasvihuoneilmiötä lämmittämällä ilmastoa. Liikenteen osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 20 %, joista tieliikenne vastaa 90 % päästöistä, jos lentoliikennettä ei oteta huomioon. Tieliikenteen päästöistä hieman yli puolet syntyvät henkilöautoliikenteestä eli henkilöautoilun osuus koko Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 10 %. (Ilmasto-opas 2019) Liikenteen sähköistymisellä pyritään vähentämään liikenteen hiilidioksidipäästöjä ja hillitsemään ilmastonmuutosta. Suomen tavoitteena on 670 000 sähköautoa vuonna 2030 ja kaksi miljoonaa sähköautoa vuonna 2045. Tavoitteet ovat osa Suomen pyrkimystä hiilineutraaliksi vuoteen 2045 mennessä. Lisäksi esimerkiksi Kiina, Intia ja EU tavoittelevat sähköautoille 30 % osuutta myydyistä autoista vuodeksi 2030. (Särkijärvi et al. 2018, 12, 20.) Kun keskustellaan liikenteen päästövähennyksistä, usein väitetään, että sähköautojen valmistuksen korkeammat päästöt mitätöivät ajon aikana saavutetut päästövähennykset. Työn tavoitteena on selvittää, kuinka liikenteen sähköistyminen voidaan toteuttaa mahdollisimman ympäristöystävällisesti ottaen huomioon myös sähköautojen valmistuksen päästöt.

Sähköautolla ajaminen ei tuota päästöjä, vaan sähköautoilun päästöt syntyvät välillisesti sähkön tuottamisesta. Sähköautoilu on vähäpäästöistä, kun sähkö on tuotettu uusiutuvalla tai vähähiilisellä energialla. Uusiutuvia energianlähteitä ovat esimerkiksi tuuli- sekä vesivoima, ydinvoima on vähähiilinen energianlähde. Vaikka sähköautolla ajaminen voi olla päästööntä, sähköautojen valmistuksesta syntyy päästöjä.

Suurin ero sähkö- ja polttomoottoriautojen valmistuksessa on akun koko ja moottorityyppi, muuten autojen osat ovat hyvin samanlaisia. Sähköauton tärkein komponentti on akku, jonka sähköenergia ohjataan yhdelle tai useammalle sähkömoottorille. Akkujen valmistukseen käytettävien metallien louhinta ja jatkojalostus on energiaintensiivistä ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Akkujen valmistuksen ja ajamiseen käytetyn sähkön tuotantotavan päästöt ovat sähköautojen suurimpia ympäristövaikutuksia. (EAA 2016, 41–42.) Suomen tavoitteessa hiilineutraalista liikenteestä huomioidaan vain auton käytöstä syntyvät päästöt eikä valmistuksen päästöjä, jotka syntyvät toisessa maassa. (Särkijärvi et al. 2018, 22)

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kerätä tietoa sähköautojen elinkaaren päästöistä ja verrata niitä polttomoottoriautojen elinkaaren päästöihin. Vertailun autot ovat Nissan Leaf, Tesla Model 3, päästöiltään keskimääräinen uusi polttomoottoriauto ja päästöiltään keskimääräinen suomessa rekisteröity polttomoottoriauto. Nissan edustaa keskikokoista sähköautoa ja Tesla sähköautoa, jossa on suuren kapasiteetin akku. Työ on kirjallisuuskatsaus, joka sisältää laskennallisen vertailun autojen välillä kirjallisuudessa esitettyjen arvojen pohjalta. Lähteinä käytetään kirjallisuusläheteitä, raportteja, tutkimuksia ja artikkeleita. Aluksi työssä käydään läpi sähköautojen valmistus ja teknologia. Tämän jälkeen työssä esitellään vertailtavat autot, niiden päästöt ja rajaukset. Lopulta lasketaan, paljonko sähköautolla pitää ajaa ennen kuin sen valmistuksesta ja käytöstä syntyvät hiilidioksidipäästöt vastaavat määrällisesti polttomoottoriauton valmistuksen ja käytön päästöjä.

## 2 AUTOJEN ELINKAAREN AIKAISET PÄÄSTÖT

Sähköauto on auto, jonka voimanlähteenä on yksi tai useampi sähkömoottori. Yleensä sähkömoottori saa sähköenergiansa akkuihin varatusta energiasta. Markkinoilla on tällä hetkellä täyssähköautoja sekä hybridautoja, joissa on sähkömoottorin lisäksi polttomoottori. Tässä työssä keskitymme vain täyssähköautoihin, joissa on akku ja yksi tai useampi sähkömoottori. Työssä käytetään sähköautoista myös lyhennettä EV, joka tulee sanoista electric vehicle.

Henkilöautojen määrä kasvaa koko ajan ja vuonna 2018 maailmanlaajuisesti henkilöautoja valmistettiin 86 miljoonaa. Kasvavien tuotantomäärien ja energiaintensiivisen tuotannon takia autoteollisuus on merkittävä päästölähde. Greenpeacen julkaiseman raportti arvioi koko autoteollisuuden hiilijalanjäljen olevan 4.8 Gt-CO<sub>2</sub>-ekv, joka vastaa 9% maailman kasvihuonekaasupäästöistä. (Stephan et al. 2019, 12)

Suomessa liikennekäytössä oli vuonna 2019 yli 2,7 miljoonaa henkilöautoa (Autoalan tiedotuskeskus 2020a), joista täyssähköautoja oli 4 661 kappaletta (Autoalan tiedotuskeskus 2020b). Suomen tavoitteena on lisätä sähköautojen määrää teillä. Vuoteen 2030 mennessä tavoitteena on 670 000 sähköautoa ja vuoteen 2045 mennessä Suomessa olisi noin 2 miljoonaa sähköautoa. Luvut tarkoittavat todennäköisesti täyssähköautoja, koska suunnitelmissa on bensiini- ja dieselkäyttöisten henkilöautojen myyntikieltoa vuodesta 2035 alkaen ja fossiilisten liikennepolttoaineiden kieltoa vuodelle 2045. (Särkijärvi et al. 2018, 12, 87, 95)

Polttomoottoriautot ja sähköautot eroavat tekniikaltaan varsin vähän. Suurimmat tekniset erot ovat käytettävä energianlähde, polttomoottorin vaihtuminen sähkömoottoriin ja taajuusmuuntajaan sekä pakoputkiston puuttuminen. Suoraan vetäviin pyöriin kytkettyjen sähkömoottorien vuoksi voimansiirronosia ei tarvita. Sähköautojen valmistus ei merkittävästi eroa polttomoottoriauton valmistuksesta ja lähes jokaisella merkittävällä autovalmistajalla on yksi tai useampi sähköautomalli. Volkswagen Group on muuntanut perinteisten polttomoottoriautoja valmistavan tehtaan sähköautojen valmistukseen sopivaksi ja pyrkii suurimmaksi sähköautojen valmistajaksi. Yksi merkittävä ero sähköautojen valmistuksessa on akun val-

mistuksen automatisointi turvallisuussyistä. Autojen valmistus on jo valmiiksi pitkälle automatisoitu, mutta akkukennot täytyy kasata kokonaiseksi akuksi täysin robottien avulla. (Volkswagenag 2017)

## 2.1 Auton elinkaaren päästöt

Autojen elinkaaren päästöjä voidaan tarkastella elinkaarianalyysin avulla. Elinkaari analyysissä huomioidaan auton päästöt koko elinkaaren ajalta raaka-aineiden louhinnasta auton kierrätykseen. Yksi tapa vertailla polttomoottoriauton ja sähköauton päästöjä on jakaa koko elinkaaren päästöt ajetuille kilometreille yksikössä  $\text{gCO}_2/\text{km}$ . Suomessa bensiini polttomoottoriautolla ajetaan sen elinkaaren aikana 250 000 - 300 000 km. Euroopassa ajosuorite on 150 000 - 170 000 km. (Autoalan tiedotuskeskus c). Keskimäärin Suomessa henkilöautolla ajetaan vuodessa 13 793 kilometriä. Dieselautolla ajetaan keskimäärin 20 327 kilometriä vuodessa ja bensiiniautolla ajetaan selvästi vähemmän vain 11 205 kilometriä (Konttinen 2019). Sähköauton kokoelinkaaren ajosuoritteena pidetään 150 000 – 250 000 km (EEA 2018, 27). Elinkaaren pituutta rajoittaa pääasiassa akun kapasiteetin heikentyminen. Akun heikentymiseen vaikuttaa käyttöaika, lämpötila, lataustaso, lataussyklien määrä ja latausjännite (Argue Charlotte 2019). Tulevaisuudessa voidaan nähdä akun elinkaaren pituudessa suuria harppauksia. Vuonna 2019 Tesla esitteli uuden akku kennoston, jonka väitetään kestävän miljoona mailia eli 1 600 000 km menettäen vain 10 prosenttia alkuperäisestä kapasiteetista (ETN 2019). Auton elinkaaren pituutta voi pidentää vaihtamalla akku kokonaan uuteen tai vaihtamalla vioittuneet akkukennot uusiin.

Eri autojen elinkaaren päästöjen vertailulla saadaan selville autojen todelliset päästövaikutukset. Erityisesti sähköautoja vertaillen käytön ajan päästöihin vaikuttaa merkittävästi sähköntuotannon päästöt. Esimerkiksi EAA:n 2016 julkaisemassa raportissa kivihiehellä tuotetulla sähköllä kulkeva sähköauton elinkaaren päästöt ovat yli  $300 \text{ gCO}_2/\text{km}$ . Uusiutuvilla ja päästöttömillä energialähteillä kulkevan sähköauton elinkaaren päästöt ovat  $73 \text{ gCO}_2/\text{km}$ . Bensiinikäyttöiselle autolle elinkaaren päästöt ovat lähes  $246 \text{ gCO}_2/\text{km}$ , joista 200g syntyy pakokaasupäästöinä ja polttoaineen tuotannosta. Fossiilisen dieselauton elinkaaren päästöt ovat noin  $213 \text{ gCO}_2/\text{km}$ . Laskelmat on tehty keskikokoiselle autolle 220 000 km elinkaaren ajosuoritteella. (EAA 2016, 45) (TNO 2015, 13)



Volkswagen Group on julkaissut vuonna 2015 tehdyn laskelman ajoneuvonsa elinkaaren päästöistä. Laskelmassa on laskettu Volkswagen Groupin kaikkien brändien ajoneuvojen keskimääräinen päästö elinkaarelle ja lopputulos on 43,7 tonnia CO<sub>2</sub>-e yhtä ajoneuvoa kohden. Alla olevassa taulukossa on eritelty elinkaaren vaiheen päästöt. (Volkswagen Group 2019) Sähköautojen osuus Volkswagen Groupin autoista vuonna 2015 oli hyvin pieni, joten voidaan olettaa taulukon kuvaavan polttomoottoriauton elinkaarta. Taulukosta 1 nähdään, että perinteisen polttomoottoriauton päästöistä merkittävä osa syntyy käytön aikana pakokaasupäästöinä, materiaalin tuotannosta ja polttoaineen tuotannosta.

**Taulukko 1.** Volkswagen Groupin keskimääräisen ajoneuvon elinkaaren päästöt (Volkswagen Group 2019)

Vaihe	tCO <sub>2</sub> -e/ajoneuvo
Materiaalien tuotanto	5,7
Auton valmistus	0,8
Polttoaineen/Sähkön tuottaminen	5,5
Pakokaasu päästöt (eng. Tailpipe emissions)	29
Kierrätys	2,7
<b>Yhteensä</b>	<b>43.7</b>

## 2.2 Akku

Sähköauton energiavarastona toimii akku, johon ladataan sähköenergiaa. Akku on sähkökemiallinen komponentti, joka muuttaa sähköenergiaa kemialliseksi energiaksi ja purkautuessa takaisin sähköenergiaksi. Akku koostuu kahden elektronin, anodin ja katodin, muodostamasta sähköparista. Elektrodiin välissä on elektrolyytti, joka on nestemäistä tai geelimäistä ainetta. Akussa negatiivisen anodin ja positiivisen katodin hapettumis- ja pelkistysreaktiot ovat akun toiminnan perusta. Purkausvaiheessa anodi hapettuu ja luovuttaa elektroneja ulkoisen kuorman kautta. Samalla katodi pelkistyy vastaanottaessaan anodilta tulevia elektroneja. Nämä elektronit matkaavat anodilta virtapiirin kautta katodille aikaansaaden samalla sähkövirran. Akkua ladatessa reaktiot kulkevat vastakkaiseen suuntaan. (Motiva 2019a)

Akkukennot ovat akun pienimpiä komponentteja. Kennojen tarjoamaa jännitetasoa ja kapasiteettia kasvatetaan kytkemällä kennot sarjaan ja rinnan. Akkukennojen muodostamia kokonaisuuksia kutsutaan akkumoduuleiksi (MIT Electric Vehicle Team 2008). Akun koosta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä akun kapasiteettia eli energiamäärää, joka voidaan ladata akkuun. Kapasiteettia kuvataan yksiköllä kilowattitunti (kWh). Akkujen kapasiteetin kasvattaminen nostaa auton hintaa ja painoa (Berjoza, Jurgena 2017, 1). Siksi autovalmistajien täytyy arvioida kuinka suuri akku autoon kannattaa laittaa. Akun kapasiteetti vaikuttaa auton toimintamatkaan eli auton kulkemaan matkaan yhdellä latauksella. Toimintamatkaan vaikuttavat akun kapasiteetin lisäksi auton paino, ajo-olosuhteet ja ajotapa.

Akkutyypit jaotellaan yleensä niissä käytettävien elektronimateriaalien mukaan. Perinteiset akkutyypit eli lyijyakut, nikkelimetallihydridiakut ja nikkelikadmiumakut ovat väistyneet litiumioniakkujen tieltä sähköautossa. Nykyään yleisin akkutyyppejä sähköautoissa on litiumioniakku. Litiumioniakku käyttää NCM-kemialla eli akuissa on litiumin lisäksi nikkeliä, kobolttia, titanaattia ja mangaania. Sähköauto valmistaja Tesla käyttää akuissaan NCA-kemialla, jolloin niissä on mangaanin sijaan alumiinia. Anodimateriaalina akuissa käytetään pääosin grafiittia. Tesla käyttää akuissaan myös piitä anodimateriaalina, koska se kykenee sitomaan energiaa paljon paremmin kuin grafiitti. (Luukkanen 2018). Litiumioniakkujen elektrolyytinä käytetään pääasiassa litiumheksafluorofosfaattia (Emilsson, Dahllof. 2019. 19). Elektrolyytinä käytetään myös etyleenikarbonaattia. (Motiva 2019)

Yksi tapa laskea sähköauton akun valmistuksen päästöjä on kilogrammoja hiilidioksidi ekvivalenteja per kilowattitunti akkukapasiteettia eli  $\text{kgCO}_2\text{-e/kWh}$ . Vuosien 2011-2017 11 eri julkaisun laskelmien perusteella sähköauton akun valmistuksen päästöt vaihtelevat 56-494  $\text{kgCO}_2\text{-e/kWh}$ . (ICCT 2018. 2, 8, 11). Ruotsin ympäristönsuojelun tutkimuslaitoksen (IVL) vuonna 2019 julkaiseman raportin laskelmat arvioivat päästöjen olevan 61-105  $\text{kgCO}_2\text{-e/kWh}$  (Emilsson, Dahllof. 2019. 24). Eli on vaikeaa antaa yleispätevää kaavaa akun valmistuksen päästöjen laskentaan.

Litiumioniakkujen valmistamiseen kuluu paljon energiaa ja raaka-aineita. IVL:n 2019 julkaiseman raportin mukaan litiumioniakun valmistuksen energiasta 37 % kuluu NCM-jauheen valmistukseen. 35% kennon valmistuksen energiasta syntyy muiden materiaalien kuten grafiitin, kuparin ja alumiinin tuotannosta ja jalostuksesta. Raportissa kerättyjen laskelmien tuloksena yhden kWh akku kapasiteetin tuottamiseen käytettiin 1127 MJ energiaa ja sen ilmastolämmityspotentiaali on 72,9 kgCO<sub>2</sub>-e/kWh. Jalostuksen tarvitsema energia ei juuri-kaan poikkea käytettävästä akkukemiasta. (Emilsson, Dahllof. 2019. 17, 18, 20, 23) Akkukennojen tuotanto energiaintensiivisimmät vaiheet ovat elektrolyytin kuivaaminen ja steriilien olosuhteiden ylläpito tuotantolaitoksissa (EAA 2018, 24). Karkeasti arvioituna noin puolet akun päästöistä syntyy raaka-aineiden tuotannosta (ICCT 2018, 8).

Raaka-aineiden määrään ja laatuun vaikuttaa käytettävä akkukemia, joka vaikuttaa päästöjen määrään. IVL:n raportissa on tarkasteltu NCM111-materiaali eli siinä nikkeliä, mangaania ja kobolttia on 1:1:1-suhteessa. Uusissa akuissa akkukemian muutoksilla nikkelin osuutta on lisätty, ja koboltin ja mangaanin osuutta vastaavasti vähennetty. Esimerkiksi 50 kWh akkuun NMC111-kemialla kobolttia tarvitaan 19,5kg kun taas samankokoiseen akkuun NMC622-kemialla kobolttia tarvitaan 10,7kg. Käytettävän akkukemian valintaan vaikuttaa raaka-aineiden hinta ja saatavuus. Akkutekniikan kehittyessä koboltin määrää pyritään vähentämään. Koboltin käytön vähentämiseen vaikuttaa alttius hinnanmuutoksille ja epävarmuus saatavuudesta, sillä 2/3 maailmassa tuotetusta koboltista tulee Kongosta. Myös Suomessa tuotetaan kobolttia 2,5 kilotonnia vuonna 2015 ja Terrafamen uudessa akkukemikaalitehtaassa on mahdollisuus 7,4 kilotonnin kobolttisulfaatin vuosituotantoon. (Valio 2019. 11, 14, 16)

Suurin osa akkutehtaista sijaitsee Aasiassa. Suurimpia akkukennojen tuottaja maita ovat Kiina, Etelä-Korea ja Japani. Sähköautojen akkujen suurimmat valmistajat ovat LG Chem, CATL, BYD, Panasonic ja Tesla (Seekingalpha 2019). Akkujen valmistukseen käytetään paljon sähköä ja suurimpien tuotantomaiden sähkö tuotetaan pääosin fossiilisilla polttoaineilla (compareyourcountry). Akku- ja autovalmistajat kertovat pyrkivänsä jatkuvasti kehittämään tuotantoaan ympäristöystävällisemmäksi samalla kun tuotantomäärät kasvavat. Monet autovalmistajat tähtäävät tehtaidensa päästöjen pienentämiseen. Esimerkiksi Tesla ilmoitti Yhdysvalloissa sijaitsevan akkutehtaan Gigafactoryn käyttävän valmistuessaan 100%

uusiutuvaa energiaa (Fastcompany 2019). Audi ilmoitti Brysselin sähköautotehtaan olevan hiilineutraali. Myös Volvo ilmoitti Skövden tehtaan olevan hiilineutraali. (Thedrive 2018) Vaikka useat autovalmistajat ilmoittavat heidän autojen valmistustehtaiden olevan hiilineutraaleja, akkukennoja valmistavat tehtaot käyttävät paljon energiaa eikä niistä ole juurikaan saatavilla julkisia raportteja.

Sähköautossa akun valmistus tuottaa ison osan päästöistä ja on yksi painavimmista komponenteista. Sähköauton sähkömoottorin osuus ajoneuvon painosta on noin 15% kun taas perinteisessä polttomoottoriautossa sen osuus on 30% (Nealer et al. 2015, 16). Yleisimpiä sähkömoottorityyppejä ovat tasavirtamoottori ja vaihtovirtasähkömoottori. Sähkömoottorien valmistukseen tarvitaan harvinaisia maametalleja kuten neodyymiä, dysprosiumia ja samariumia (EAA 2016, 41). Kiina on ylivoimaisesti suurin harvinaisten maametallien tuottaja ja noin 50 % tunnetuista varannoista sijaitsee Kiinassa. Tavallisen polttomoottoriauton valmistukseen käytetään noin puoli kiloa harvinaisia maametalleja, kun taas sähköauton valmistukseen tarvitaan kymmenkertainen määrä. Harvinaisten maametallien kysyntä tulee kasvamaan sähköautojen yleistyessä. 25 vuodessa dysprosiumin kysyntä tulee kasvamaan 2 600 % ja neodyymin kysyntä kasvaa 700 %. (Chandler David. MIT. 2019)

### **2.3 Valmistus ja materiaalit**

Sähköautojen rungon valmistus ja komponenttien kasaaminen valmiiksi autoksi ei eroa merkittävästi polttomoottoriauton valmistuksesta. Vuonna 2011 julkaistun Yhdysvaltalaisraportissa laskettiin polttomoottori henkilöauton valmistuksen erivaiheiden energian kulutusta kilogrammalle auton painosta. Raportin mukaan energiaintensiivisimmät vaiheet auton kokoaamisessa ovat maalaus, lämmitys, tuotantotilojen ylläpito, hitsaus ja paineilman tuotanto. Materiaalien muokkaus, pääosin teräksen särmäys ja lastuava työstö, tuottivat raportin mukaan puolet auton valmistuksen päästöistä pois lukien materiaalien tuotannon päästöt. (Sullivan et al. 2010, 13, 14, 18) Euroopan autovalmistajien liiton (ACEA) vuonna 2018 julkaiseman tiedotteen mukaan henkilöautojen valmistusvaiheen koko tuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat pudonneet lähes 24% vuoden 2008 tasolta, vaikka tuotantomäärät ovat nousseet (AECA 2018, 59).

Auton rungon ja moottorin valmistuksen merkittävin materiaali on teräs. Terästeollisuus on suurin CO<sub>2</sub>-päästöjen tuottaja valmistavan teollisuuden eri muodoista ja vastaa arviolta noin 6 % maailman kaikista CO<sub>2</sub> päästöistä. Teräksen valmistus on hyvin energiantensiivistä ja valmistajat yrittävät jatkuvasti muuttaa prosesseja tehokkaammiksi ja vähäpäästöisimmiksi. Yksi suurimmista hankkeista on hyvin vähähiilisen teräksen valmistus (eng. Ultra-low CO<sub>2</sub> Steelmaking ULCOS). ULCOS projektin tarkoituksena on vähentää teräksen tuotannon päästöjä 50%, kahdesta tonnista CO<sub>2</sub> päästöjä per tonni terästä yhteen tonniin CO<sub>2</sub> per tonni terästä. (Cavaliere 2016. 373-374) Keskimäärin 900 kg terästä käytetään yhden ajoneuvon valmistukseen. Nykyään jopa 60% autoissa käytetystä teräksestä on korkealujuusterästä (AHSS), joka on kevyempää ja kestävämpää kuin tavallinen teräs. (Worldsteel.org) AHSS teräksellä on tavallisiin teräksiin verrattuna korkeampi vetolujuus sen koostumuksen ja vaativamman lämpökäsittelyn ansiosta (Mäläskä 2013. 16 - 20). AHSS on kevyempää kuin teräs ja siten aiheuttaa 3-4,5 tCO<sub>2</sub> vähennyksen auton elinkaaren aikana. Kevyiden erikoismetallien tuotanto yleensä energiantensiivisempää ja tuottaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä, jotka voivat nostaa ajoneuvon tuotannon päästöjä. Erikoismetallien kierrättäminen on vaikeampaa kuin perinteisen teräksen. (Worldsteel.org)

Alumiini korvaa hiljalleen terästä tehden ajoneuvoista kevyempiä. Esimerkiksi rungon materiaalina 1 kg alumiinia korvaa 1,66 – 1,87 kg terästä. Alumiinikonserni RUSAL julkaisi 2018 tutkimuksen, jonka mukaan polttomoottoriautolla, jonka runko- ja alustamateriaalina on pääosin käytetty alumiinia, on 12,6 % pienemmät koko elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt verrattuna teräsrakenteiseen autoon. Markkinoille syntyy myös metallivaihtoehtoja, joiden tuotannolla on pienempi hiilijalanjälki. Näistä esimerkkinä on vähähiilinen alumiini (eng. low CO<sub>2</sub> Al), jonka käyttö vähentää 17 % polttomoottoriauton elinkaaren päästöistä teräkseen verrattuna. Alumiinin vaihtaminen vähähiiliseen alumiiniin pienentää täyssähköauton elinkaarenpäästöjä 6,2%. Kierrätetyllä alumiinilla on noin 90 % pienempi hiilijalanjälki verrattuna uuden alumiinin tuottamiseen. Kierrätetyllä teräksellä on 80 % pienempi hiilijalanjälki primääriteräkseen verrattuna. Ajoneuvojen valmistuksessa kaikkiin osiin ei voida käyttää kierrätettyjä metalleja tarkkojen laatuvaatimusten takia. (RUSAL 2018, 2, 6, 9)

## 2.4 Akkujen kierrätys

Sähköautojen määrän lisääntyessä litiumioniakkujen kierrätys muuttuu yhä tärkeämmäksi. Tällä hetkellä sähköautojen akkujen kierrätykseen ei ole toimivaa samanlaista järjestelmää, kuten polttomoottorien lyijyakuilla on. Syitä tähän on kierrätettävien akkujen pieni määrä sekä akkupakettien monimutkaisuus ja erilaisuus. Yhdysvalloissa lyijyakuista jopa 99% päätyy kierrätykseen ja uskotaan että sähköautojen akuille syntyy samanlainen järjestelmä niiden yleistyessä. (ICCT 2018, 9) Akkuvalmistaja Northvoltin mukaan eurooppalainen litiumioniakkujen kierrätyskapasiteetti oli vuonna 2019 33 000 tonnia, mutta kierrätettävää akkumateriaalia olisi Euroopassa saatavilla 75 000 tonnia. Kiinan kierrätyskapasiteetti on noin 60 000 tonnia ja se aiotaan nostaa miljoonaan tonniin vuoteen 2030 mennessä. (Tekniikan maailma 2019) Litiumioniakusto voidaan kierrättää mekaanisesti, pyrolyysillä, pyrometallurgian ja hydrometallurgian avulla tai pelkästään hydrometallurgian avulla. Näistä mekaaninen kierrätys on kaikista energiatehokkainta, koska pyrolyysissä, pyro- ja hydrometallurgiassa kuluu enemmän energiaa ja kemikaaleja. Akkujen kierrätykseen käytetään energiaa ja kemikaaleja, joka nostaa auton elinkaaren kasvihuonekaasu päästöjä. Pyrometallurgisessa kierrätyksessä akusto sulatetaan uunissa, jossa suurimmat päästöt syntyvät muovin palamisesta. Toisaalta kierrättämällä saadut raaka-aineet vähentävät uusien raaka-aineiden kaivamisen tarvetta. EEA:n vuonna 2018 julkaistun raportin mukaan kierrätyksellä hankittujen materiaalien kasvihuonekaasupäästöt ovat 23-42 % pienemmät uusien materiaalien tuotantoon verrattuna. Kierrätettyjen katodimateriaalien kasvihuonekaasupäästöt ovat 60-70 % pienemmät uusien raaka-aineiden louhintaan verrattuna. IVL arvioi vuonna 2017 julkaisussa raportissa, että akun kierrätyksellä saavutettu kasvihuonekaasupäästöjen vähennys auton elinkaarelle on 15 kgCO<sub>2</sub>-e/kWh (Emilsson, Dahllof. 2019. 27). Sähköautojen akkujen kierrättäminen ja kierrätyksen tutkiminen on haastavaa, koska kierrätettäviä akkuja on tällä hetkellä vähän saatavilla. Tilanne muuttuu, kun ensimmäiset sähköautot pääsevät elinkaarensa päähän. (Emilsson, Dahllof. 2019, 30) (EAA 2018, 52, 54)

## 2.5 Sähköautojen valmistuksen muut terveys- ja ympäristövaikutukset

Sähköautojen valmistus aiheuttaa kasvihuonekaasujen lisäksi myrkyllisyysvaikutuksia (human toxicity impact) 2,2 - 3,3 kertaisesti polttomoottoriautoon verrattuna. Myrkyllisyysvaikutuksia aiheuttaa harvinaisten maametallien ja muiden metallien louhinta ja jalostus. 70-75% myrkyistä syntyy kuparin ja nikkelin louhinnasta syntyvän raskasmetalleja sisältävän

sivukiven hävittämisestä. Metallien louhinta aiheuttaa myös ilman saastumista pienhiukkasilla, typenoksideilla ja rikkidioksidilla, jotka syntyvät fossiilisten polttoaineiden poltosta. Myös auton ajamiseen käyttämän sähkön tuottaminen aiheuttaa ilman saastumista, jos sähkö on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla ja savukaasuille ei ole kunnollista puhdistusta. Alumiinin tuotannosta vapautuu vetyfluoridia ja vetykloridia, joilla on haitallinen vaikutus paikallisten ihmisten terveyteen. Harvinaisten maametallien (REE) ja kriittisten materiaalien (CRM) louhinta tapahtuu usein kehittyvissä maissa, joissa työ- ja ympäristölainsäädäntö eivät ole tiukkoja. Sähköautojen raaka-aineiden valmistus aiheuttaa myös vesistöjen rehevöitymistä ja ympäristön happamoitumista. Kaivosten käyttämät vedet sisältävät raskasmetalleja ja ne voivat saastuttaa paikallisia järviä ja jokia vaikuttaen asukkaiden juomaveteen. Tiettyjen harvinaisten maametallien louhinta on vaarallista työntekijöiden terveydelle. Neodyymin louhinnassa syntyy ihmisen terveydelle vaarallista pölyä ja dysprosiumin louhinnassa on räjähdysvaara. (EAA 2018, 16, 17)

### **3 SÄHKÖAUTON JA POLTTOMOOTTORIAUTON VERTAILU**

Maailmassa ylivoimaisesti myydyin tämänhetkinen täyssähköauto malli on Teslan Model 3. Seuraavaksi myydyimpiä olivat BAIC:n EC-malli ja Nissan Leaf (Kauppalehti 2019). Koska tässä työssä keskitymme suomen autokantaan, valitsemme vertailuun Suomen suosituimmat sähköautomallit Tesla Model 3 ja Nissan Leaf. Polttomoottoriautovaihtoehdoiksi valitaan uusi vähäpäästöinen auto ja vanhempi päästöiltään keskiverto auto. Molempia sähköautoja verrataan molempiin polttomoottoriautoihin.

#### **3.1 Sähköautojen valmistuksen päästöt**

Vertailussa käytämme sähköautovaihtoehtona 1 Nissan Leaf 40 kWh:n akulla varustettua täyssähköautoa. Kyseisen auton kulutus on 16,4 kWh/100km. Nissan Leaf painaa 1580 kg ja kuuluu C-segmentin kokoluokkaan (EV-database, Nissan Leaf). Vertailun toinen sähköautovaihtoehto 2 on Tesla Model 3. Model 3 on eri malleja eri kokoisilla akuilla 50-75 kWh. Valitsemme tähän vertailuun Model 3 Long Range -mallin 75 kWh akulla. Long Range mallin kulutus on 15,8 kWh/100km. Tesla Model 3 Long Range on nelivetoinen D-segmentin keskikokoinen sedanmalli ja se painaa 1847 kg. (EV-database, Tesla Model 3)

Kyseiset autovaihtoehdot eroavat painon, akun koon ja varustelun osalta, joten niiden valmistuksen päästöt eroavat myös. C-segmentin kokoluokan auton valmistuksen on laskettu tuottavan päästöjä hieman alle 9 500 kgCO<sub>2</sub>, joka oletetaan Nissan Leafin tuotannon päästöiksi. Tesla Model 3 varustettuna 75 kWh akulla on luksusmallinen sähköauto, jonka tuotannosta syntyy päästöjä 14 500 kgCO<sub>2</sub>. (Linda Ager-Wick Ellingsen et al. 2016. 3-4). Nissanin tuotannon päästöistä noin kolmannes syntyy akun tuotannosta. 75 kWh akun osuus luksussähköauton valmistuksen päästöistä on 45%. Vuonna 2018 julkaistussa tutkimus esittää akun tuotannon osuuden olevan 33-44% sähköauton valmistuksen päästöistä, joten voidaan olettaa esimerkkiautojen päästöjen olevan todenperäisiä (EAA 2018, 24).

#### **3.2 Sähköauton käytön päästöt**

Sähköauton käytöstä ei synny pakoputkipäästöjä. Käytön päästöt syntyvät sähkön tuottamisesta epäsuorasti. Käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat täysin sen mukaan missä päin sähköautoa lataa. Suomessa kaikki sähköntuotantolaitokset on liitetty samaan



valtakunnan sähköverkkoon, joten sähköauton akkuun ladatun sähkön alkuperää on mahdollista paikallistaa. Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin viiden vuoden liukuman keskiarvona oli 158 gCO<sub>2</sub>/kWh (Motiva 2019c). Sähköntuotannon päästöjen vuosittaisissa keskiarvoissa voi olla paljon vaihtelua vuosien välillä. Viime vuosina Suomessa tuotetun sähkön päästöt ovat pudonneet merkittävästi. Vuonna 2019 Suomessa tuotetun sähkön päästöt kilowattituntia kohden oli 84 gCO<sub>2</sub>/kWh (Energiateollisuus 2019, dia 23). Luvussa on huomioitu vain Suomessa tuotetun sähkön päästöt ja eikä ole selvää onko luvussa pelkästään polton suorat päästöt. Vuoden 2020 ensimmäisten kahden kuukauden Suomessa kulutetun sähkön päästöarvio on 88 gCO<sub>2</sub>/kWh (Fingrid 2020). Vuonna 2019 Suomessa kulutettiin sähköä yhteensä 86 TWh, josta 23% oli tuontisähköä. Suomen omasta sähköntuotannosta 47% on uusiutuvia ja 82% on hiilineutraaleja (Energiateollisuus 2019, dia 11, 13). Isoin osa tuontisähköstä tulee Ruotsin verkosta, jossa sähkö on tuotettu pääasiassa vesi- ja ydinvoimalla (Ympäristökeskus 2013). Tulevaisuudessa voidaan olettaa, että sähköntuotanto siirtyy hiljalleen päästöttömäksi, jolloin sähköautolla ajaminen olisi lähes päästötöntä. Sähköautoilun käytön päästöt vaihtelevat paljon sähköntuotantotavasta. Esimerkiksi pelkällä kivihiihellä tuotettu sähkö nostaa sähköautoilun päästöjä polttomoottoriautoja korkeammaksi (EAA 2016, 54). Tässä vertailussa valitaan sähköntuotannon päästöiksi 158 gCO<sub>2</sub>-e/kWh

Sähköautoilu on myös energiatehokasta sillä häviöt ovat pienemmät kuin polttomoottoriautoissa. Sähköautoilla on korkea energiankulutuksen hyötysuhde noin 50-70 prosenttia, kun polttomoottoriauton hyötysuhde on parhaimmillaan 25 prosenttia (Huttunen, Riku (toim.). 2017, 60). Sähköautoilulla voidaan siis vähentää liikenteen tarvitsemaa kokonaisenergiaa. Toisaalta akkujen energiatiheys on kaukana fossiilisten polttoaineiden energiatiheystä. Sähköautojen latauksessa pitää huomioida myös sähkönsiirron ja -jakeluverkon eli hankintajärjestelmän häviöt. Suomessa verkon häviöt ovat verrattain pienet noin 3 prosenttia (Honkapuro et al. 2015, 9). Myös latausasemassa syntyy häviöitä. Latauksen häviöt vaihtelevat eri lähteiden mukaan 10-20 prosentin välillä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisussa latauksen energiahäviöt huomioiva energian kulutus on 15 prosenttia korkeampi (Nylund. 2011). Laskennassa käytämme sähkön hankintajärjestelmän tehokkuuskertoimena 1,03 ja akun latauksen tehokkuuskertoimena 1,15.

### 3.3 Polttomoottoriauton valmistuksen ja käytön päästöt

Laskennassa käytämme 2 polttomoottoriautoa (ICE- Internal combustion engine). Auto 1 edustaa Suomessa liikennekäytössä olevan keskimääräistä henkilöautoa, jonka pakokaasu CO<sub>2</sub> päästöt olivat vuonna 2019 155,4 g/km. Auto 2 edustaa uutta ensirekisteröityä autoa. Ensirekisteröityjen henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt Suomessa olivat 116,9 g/km. Päästöissä ei huomioida mitä polttoainetta tai käyttövoimaa auto käyttää. (Liikennefakta 2019)

Autovaihtoehdoksi 1 valikoitui Nissan Qashqai, jonka päästöt ovat 155,4 gCO<sub>2</sub>/km. Nissan Qashqai on yksi Suomen myydyimpiä auto malleja ja sitä on valmistettu vuodesta 2006 lähtien. Auton yhdistetty kulutus on 7,5 l/100km ja polttoaineena käytetään bensiiniä. Auton omapaino on 1375 kg ja auto edustaa J-segmentin pienempien katumaasturien kokoluokkaa. (Autotalli.com 2020)

Autovaihtoehdoksi 2 valikoitui Volkswagen Golf, jonka päästöt ovat 113 gCO<sub>2</sub>/km. Volkswagen Golf on myös Suomen myydyimpiä autoja. Auton kulutus on 5 l/100km ja käyttää polttoaineena bensiiniä. Golf painaa 1229 kg ja edustaa C-segmentin kokoluokan autoa. (Volkswagen 2016)

Polttomoottorikäyttöisen henkilöauton valmistamisen aikaisten hiilidioksidivaikutusten on arvioitu olevan 6 000 - 7 000 kg hiilidioksidiekvivalentteina keskikokoiselle autolle (EAA 2016, 45). Koska autovaihtoehto 2 on keskikokoinen uusi auto, valitaan sen valmistuksen päästöiksi 6000 kg. Nissan Qashqai on painavampi J-segmentin katumaasturi, jollaisen valmistuksen päästöt ovat noin 8 000 kgCO<sub>2</sub>. (Linda Ager-Wick Ellingsen et al. 2016. 4)

Molemmat polttomoottori autoistamme käyttää bensiiniä polttoaineenaan. Bensiini on uusiutumaton fossiilinen polttoaine, joka jalostetaan raakaöljystä. Suomessa bensiiniin sekoitetaan bioperäistä etanolia enimmillään 10 tilavuusprosenttiin asti. Valtaosa Suomen bensiini autoista voi käyttää tällaista bensiiniä. (Motiva 2019b) Bensiinin tuotannon päästöt on arvioitu olevan 14 gCO<sub>2</sub>/MJ well-to-tank -laskennalla (Edwards, Larive, Beziat 2011, 88). Bensiinilitran energiasisältö on 9 kWh/l eli 32,4 MJ/l (Motiva 2019b). Tästä saadaan bensiini

litran tuotannon päästöiksi 453,6 gCO<sub>2</sub>/l. Etanolin elinkaaren päästöt on 80% alemmat fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna (Direktiivi 2018/2001). Näiden tietojen pohjalta voidaan laskea 10 prosenttia bioetanolia sisältävän bensiinin valmistuksen päästöiksi 417 gCO<sub>2</sub>/l.

### 3.4 Sähkö- ja polttomoottoriauton päästöjen vertailu

Laskelmien tarkoituksena on laskea, kuinka monta kilometriä täyssähköautolla täytyy ajaa, että sen elinkaaren päästöt ovat yhtä suuret kuin polttomoottoriauton. Laskennassa ei huomioida autojen kierrätyksen päästöjä. Laskennassa otetaan huomioon polttoaineen ja sähkön valmistuksen päästöt.

Molempien polttomoottoriautojen päästöt x kilometrin jälkeen lasketaan seuraavasti:

$$KP(x,a) = \text{AutoVP}(a) + PP(a)*x + PTP*KK(a)*(x/100) \quad (1)$$

missä,

$KP(x,a)$  = autovaihtoehdon a kasvihuonepäästöt hiilidioksidiekvivalenttitonnina x kilometrin jälkeen [kg CO<sub>2</sub>-ekv]

$\text{AutoVP}(a)$  = autovaihtoehdon a valmistuksen päästöt [kg CO<sub>2</sub>]

$PP(a)$  = autovaihtoehdon a pakokaasupäästöt kilometriä kohden [gCO<sub>2</sub>/km]

$PTP$  = polttoaineen tuotannon päästöt litralle [kg CO<sub>2</sub>-e/l]

$KK(a)$  = ajoneuvovaihtoehdon a kesikilometrit kilometriä kohden [l/100km]

x = ajettu kilometri määrä [km]

Molempien sähköautojen päästöt x kilometrin jälkeen on laskettu seuraavasti:

$$KP(x,a) = \text{AutoVP}(a) + SK(a)*(x/100)*STP*SHT*SLT \quad (2)$$

missä,

$KP(x,a)$  = autovaihtoehdon a kasvihuonepäästöt hiilidioksidiekvivalenttitonnina x kilometrin jälkeen [kg CO<sub>2</sub>-ekv.]

$\text{AutoVP}(a)$  = autovaihtoehdon a valmistuksen päästöt [kg CO<sub>2</sub>]

$SK(a)$  = sähköauton a sähkön kulutus kilometriä kohden [kWh/100km]

$STP$  = sähköntuotannon päästöt [gCO<sub>2</sub>-e/kWh]

$SHT$  = sähkön hankintajärjestelmän tehokkuuskerroin 1,03

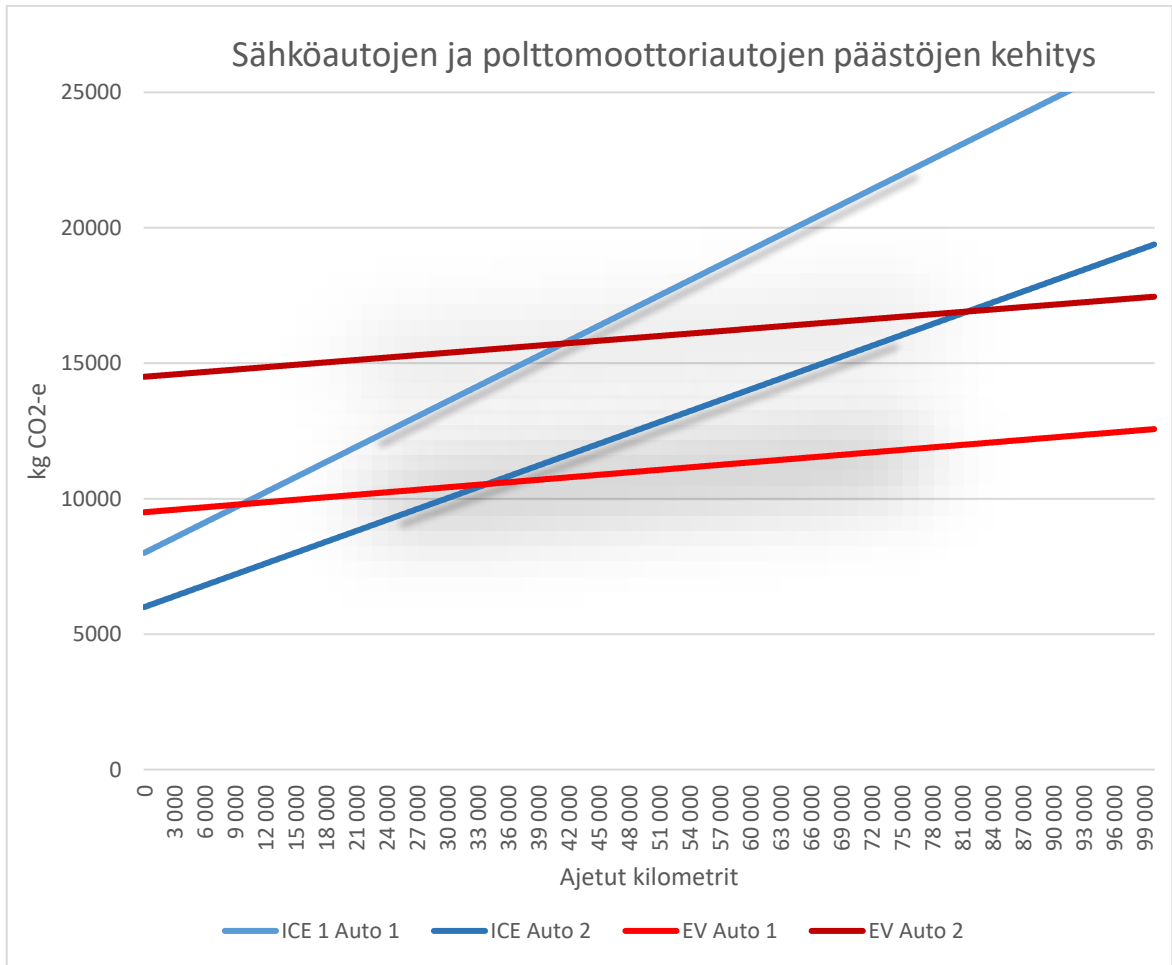
$SLT$  = sähkön latauksen tehokkuuskerroin 1,15

x = ajettu kilometri määrä [km]

**Taulukko 2.** Laskennassa käytetyt autokohtaiset arvot

Päästö	ICE Auto 1 Nissan Qashqai	ICE Auto 2 Volkswagen Golf	EV Auto 1 Nissan Leaf	EV Auto 2 Tesla Model 3
Valmistuksen päästöt [kgCO <sub>2</sub> ]	8 000	6000	9 500	14 500
Pakokaasupäästöt [gCO <sub>2</sub> /km]	155	113		
Polttoaineen kulutus [l/100km]	7,5	5		
Polttoaineen tuotannon päästöt [gCO <sub>2</sub> /l]	417	417		
sähkön kulutus [kWh/100km]			16,4	15,8
sähkön tuotannon päästöt [gCO <sub>2</sub> -e/kWh]			158	158

Laskennassa ei huomioida kierrätyksen ja huollon päästöjä, vaan keskitytään auton valmistuksen ja käyttövaiheen päästöihin. On myös huomioitava, että laskennassa käytetään bensinikäyttöisiä polttomoottoriautoja, joiden polttoaineen biokomponentin eli etanolin osuus on 10%. Käytettäessä dieselautoa hiilidioksidipäästöt voivat olla pienemmät ja biokomponentin osuus voi olla suurempi.



**Kuva 1.** Jokaisen auton CO<sub>2</sub>-e kg määrän kertyminen ajettujen kilometrien mukaan

EV Auto 1 eli Nissan Leaf ohittaa päästöissä 9 700 kilometrin kohdalla Nissan Qashqain (EV ICE Auto 1) ja 34 000 kilometrin kohdalla Volkswagen Golfiin (ICE Auto 2). EV Auto 2 eli Tesla Model 3 ohittaa Nissan Qashqain 41 400 kilometrin kohdalla ja Volkswagenin Golfiin 81 400 kilometrin kohdalla.

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskelmien vertailun pohjalta sähköautolla pitää ajaa 10 000- 81 000 kilometriä ennen kuin se on hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta parempi vaihtoehto kuin polttomoottoriauto. Suomessa keskimääräinen vuosittainen ajosuorite henkilöautolle on noin 13 800 kilometriä. Eli Vertailumme pohjalta sähköauto on polttomoottoriautoa ympäristöystävällisempi aikaisintaan yhden vuoden ajon jälkeen ja viimeistään 6 vuoden käytön jälkeen. Ajettuun määrään vaikuttaa auton valmistuksesta syntyvät päästöt ja käytöstä syntyvät päästöt.

Sähköautojen ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa merkittävästi millaisia autoja vertaillaan. Keskikokoinen täyssähköauto Nissan Leaf ohittaa päästöiltään suomalaisen keskiverto auton hyvin nopeasti vain 10 000 kilometrin jälkeen. Suurempi ja paremmin varusteltu Tesla Model 3 laajennetulla akulla ohittaa päästöiltään uuden keskikokoisen auton vasta 81 000 kilometrin ajon jälkeen. Voidaan siis todeta, että keskikokoinen sähköauto saavuttaa ympäristöystävällisyyden hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta polttomoottoriautoon nähden varsin nopeasti. Voidaan myös huomata, että suurella akulla varusteltu sähköauto saavuttaa voiton uuteen polttomoottoriautoon verrattuna pitemmällä aikavälillä. Teslalla täytyy ajaa laskelman perusteella 81 000 kilometriä, jotta se olisi parempi vaihtoehto. On kuitenkin hyvä huomioda, että Teslan elinkaaren pituudesta on vielä yli puolet jäljellä. Suuremmassa mittakaavassa liikenteen sähköistymisen päästövähennykset saadaan parhaiten käyttämällä pieniä ja keskikokoisia sähköautoja, joilla korvataan korkeapäästöisiä polttomoottoriautoja.

Tuloksessa aiheuttaa epävarmuutta autojen valmistuksen päästöjen todenmukaisuus. Valittujen sähköautomallien valmistuksen todellisia päästöjä ei ole saatavilla, vaan valmistuksen päästöissä huomioitiin auton kokoluokitus. Mallikohtaisten päästöjen käyttämisestä olisi vaikeuttanut valmistus tehtaan rajausta, sillä samaa automallia tuotetaan useissa eri maissa eri vuosina, joka voi merkittävästi vaikuttaa valmistetun automallin päästöihin. Sähkön tuotannon päästökertoimena käytettiin hieman vanhempaa ja suurempaa lukua. Sähköautojen käytöstä syntyvät päästöt olisivat olleet 44% pienemmät, jos päästökertoimena olisi käytetty 2020 alkuvuoden sähköntuotannon päästöarviota, joka oli 88 gCO<sub>2</sub>/kWh. Lisäksi polttomoottoriauto 2 eli Nissan Qashqai pakoputkipäästöiltään edusti suomalaista keskiverto autoa, mutta auton koko ei välttämättä edusta keskiverto suomalaista autoa.

## 5 YHTEENVETO

Tällä hetkellä sähköautot vastaavat vain hyvin pientä osaa autokannasta ja uudet sähköautot vastaavat pientä osaa ensirekisteröidyistä autoista. Suomella ja monella muulla valtiolla on tavoitteena kasvattaa merkittävästi sähköautojen määrää tulevina vuosikymmeninä pienentääkseen liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä ja hillitsemään ilmastonmuutosta. Tässä työssä saatiin selville että, sähköautoilun voimakas lisääntyminen tulee nostamaan sähköautojen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjä. Sähköauton valmistuksen päästöt eivät mitätöi niiden tuomia hiilidioksidipäästövähennyksiä polttomoottoriautoihin verrattuna, kunhan sähkön tuotannon päästöt eivät ole järin suuria kuten pelkällä kivihiilen polttamisella tuotettu sähkö. Suomen sähköntuotannon päästöt ovat pudonneet viime vuosina, ja pyrkimys hiilineutraaliin sähköntuotantoon tekee sähköautolla ajamisesta yhä ympäristöystävällisempää.

Auton valmistuksen kasvihuonekaasu päästöihin vaikuttaa auton koko, varustelu, raaka-aineet ja materiaalit sekä uusiutuvan energian osuus tuotannossa. Sähköauton valmistuksen suurimmat päästöt syntyvät litiumioniakun valmistuksesta ja siihen tarvittavien raaka-aineiden louhinnasta ja jalostuksesta. Karkeasti arvioituna akun valmistuksen päästöistä puolet syntyy akkukennojen valmistuksesta. Tärkeänä osana valmistusta on käytetyn energian määrä ja sen tuotannon päästöt. Suurin osa sähköautojen akkutehtaista sijaitsee Aasiassa, jossa fossiilisten polttoaineiden osuus energiantuotannosta on merkittävä. Autojen kokoaminen tuottaa vain vähän päästöjä ja moni autovalmistaja pyrkii tehtaidensa hiilineutraaliuteen. Täyssähköautojen akku vastaa noin 33 – 44 % valmistuksen päästöistä. Valmistuksen muita merkittäviä päästölähteitä ovat teräs osien valmistus. Autoteollisuudessa yleistyvien kevyempien ja kestävämpien erikoismetallien valmistus on energiantensiivisempää perinteisten raaka-aineiden, mutta niiden tuoma painon kevennys vähentää päästöjä auton käytön aikana.

Työssä esitetyn laskelman perusteella sähköauto on polttomoottoriautoa hiilidioksidi päästöjen näkökulmasta parempivaihtoehto 10 000 – 81 000 kilometrin ajon jälkeen. Sähköauton valmistuksen korkeammat päästöt hyvittyvät ajaessa melko nopeasti Suomen kaltaisessa maassa, jossa sähkön tuotanto on vähäpäästöistä. Vertailussa huomataan, että liikenteensähköistymisen tehokkaimmat päästövähennykset autojen elinkaaren aikana saadaan suosimalla pieniä ja keskikokoisia sähköautoja, joilla korvataan korkeapäästöiset polttomoottoriautot.

Vaikka henkilöautoliikenteen pakokaasu päästöt vastaavat Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin 10 prosenttia, maailmanlaajuisesti liikenteen sähköistymisellä on mahdollisuus vähentää liikenteen päästöjä. Autojen valmistukseen tarvittavien raaka-aineiden tuotanto tulee kasvamaan kysynnän kasvaessa, joka nostaa paineita kaivos- ja akkuteollisuuden päästöjen vähentämiselle. Yhdistettynä uusiutuvien ja vähähiilisten sähköntuotantotapojen kasvuun sekä akkumateriaalien kierrätykseen sähköautoilusta tulee tulevaisuudessa yhä ympäristöystävällisempää.



## 6 LÄHTEET

ACEA 2018. ”The Automobile Industry Pocket Guide 2018-2019”. [verkkodokumentti]. [viitattu 4.3.2019]. Saatavilla: [https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA\\_Pocket\\_Guide\\_2018-2019.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2018-2019.pdf)

Ager-Wick Ellingsen Linda, Singh Bhawna, Strømman Anders Hammer. 2016. “The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles”. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.2.2020] Saatavilla: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010/pdf>

Autoalan tiedotuskeskus 2020 a. ”Liikennekäytössä olevan autokannan kehitys”. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2020]. [päivitetty 21.1.2020]. Saatavilla: [http://www.aut.fi/tilastot/autokannan\\_kehitys/ajoneuvokannan\\_kehitys](http://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/ajoneuvokannan_kehitys)

Autoalan tiedotuskeskus 2020 b. ”Liikennekäytössä olevat sähköautot”. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2020]. [päivitetty 21.1.2020]. Saatavilla: [http://www.aut.fi/tilastot/autokannan\\_kehitys/sahkoautojen\\_maaran\\_kehitys](http://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys)

Autoalan tiedotuskeskus c. ”Auton elinkaaren aikaiset vaikutukset”. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2020]. Saatavilla: [http://www.aut.fi/ymparisto/auton\\_elinkaaren\\_aikaiset\\_paastot](http://www.aut.fi/ymparisto/auton_elinkaaren_aikaiset_paastot)

Autotalli.com 2020. ”NISSAN QASHQAI DIG-T 140 ACENTA 2WD 6M/T MY19 WLTP”. [verkkosivu]. [haettu 21.2.2019]. Saatavilla: <https://www.autotalli.com/uusi-auto/157773/nissan/qashqai/dig-t%20140%20acenta%202wd%206mt%20my19%20wltp>

Argue Charlotte 2019. ”What can 6,000 electric vehicles tell us about EV battery health?”. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2019]. Saatavilla: <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>

Berjoza Dainis, Jurgena Inara. 2017. ”Influence of batteries weight on electric automobile performance”. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.3.2020]. Saatavilla:

<http://tf.llu.lv/conference/proceedings2017/Papers/N316.pdf>

Cavaliere Pasquale 2016.”Ironmaking and Steelmaking Processes: Greenhouse Emissions, Control, and Reduction”. Springer International Publishing 2016. [e-kirja]. [viitattu 11.3.2020]

Chandler David. 9.4.2019. MIT News. ”Clean energy could lead to scarce materials”. [verkkodokumentti]. [viitattu 8.3.2020]. Saatavilla: <http://news.mit.edu/2012/rare-earth-alternative-energy-0409>

Compareyourcountry. ”Share of fossil fuels in electricity generation (%), Japan, Korea China”. [verkkosivu]. [viitattu 29.3.2020]. Saatavilla: <http://www.compareyour-country.org/climate-policies?cr=oced&lg=en&page=2>

DIREKTIIVI 2018/2001. ”uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä”. Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. Euroopan unionin virallinen lehti.

EAA. 2016. Electric vehicles in Europe. [verkkójulkaisu]. [haettu 3.12.2019]. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe>

EAA. 2018.”Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives”. European Environment Agency. [verkkójulkaisu]. [haettu 27.2.2020]. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle/download>

Edwards , Larive, Beziat 2011. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. ”Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Power trains in the European Context”. [verkkodokumentti]. [viitattu: 27.2.2020]. Saatavilla: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/708b39fd-4cc9-4456-9b63-6d1536240202/language-en>

Emilsson Erik, Dahllöf Lisbeth. 2019. ”Lithium-Ion Vehicle Battery Production”. IVL Swedish Environmental Research Institute. [verkkudokumentti]. [haettu 13.2.2020]. Saatavilla: <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf>

Energiatallisuus 2019. ”Sähkötalot”. [verkkosivu]. [viitattu 26.2.2019]. Saatavilla: <https://energia.fi/julkaisut/tilastot/sahkotilastot?fbclid=IwAR2fwUHZxt8ZqO8wTL5YE1YoFGFryfKcdHz-LWWfw-nIZ8PSEstMllpO77CU>

ETN 2019. ”Mullistava akku pitää kutinsa 1,6 miljoonaa kilometriä”. [verkkosivu]. [viitattu 28.2.2020]. Saatavilla: <https://etn.fi/index.php/about/13-news/9851-mullistava-akku-pitaa-kutinsa-1-6-miljoonaa-kilometria>

EV-database.org Nissan Leaf. [verkkosivu]. [haettu 26.2.2020]. Saatavilla: <https://ev-database.org/car/1106/Nissan-Leaf>

EV-database.org Tesla Model 3. [verkkosivu]. [Haettu 26.2.2020]. Saatavilla: <https://ev-database.org/car/1138/Tesla-Model-3-Long-Range-Dual-Motor>

Fastcompany. 2019. ”Inside Tesla’s 100% renewable design for the Gigafactory”. [verkkajulkaisu]. [haettu 11.2.2020]. Saatavilla: <https://www.fastcompany.com/90334858/inside-teslas-100-renewable-design-for-the-gigafactory>

Fingrid 2020. Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöarvio 1.1.2020-4.3.2020. [verkkosivu]. [viitattu 5.3.2020]. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Huttunen, Riku (toim.). 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. S. 119. ISSN 1797-3554.

Honkapuro Samuli, Partanen Jarmo, Haakana Juha, Annala Salla, Lassila Jukka. 2015. ”Selvitys sähkö- ja kaasuinfrastruktuurin energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksista”. Saatavilla: [https://energia.fi/files/1224/Selvitys\\_sahko-\\_ja\\_maakaasuinfrastruktuurin\\_energiatehokkuuden\\_parantamismahdollisuuksista\\_2015.pdf?fbclid=IwAR3p5\\_IURqT\\_lhpY15dQ2uym0JBxvzxYlRcwZf1XwxTlh-TimKI3B6S2Rt4](https://energia.fi/files/1224/Selvitys_sahko-_ja_maakaasuinfrastruktuurin_energiatehokkuuden_parantamismahdollisuuksista_2015.pdf?fbclid=IwAR3p5_IURqT_lhpY15dQ2uym0JBxvzxYlRcwZf1XwxTlh-TimKI3B6S2Rt4)

ICCT. 2018. ” Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions”. [verkkojulkaisu]. [haettu 11.2.2020]. Saatavilla: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG\\_ICCT-Briefing\\_09022018\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf)

Ilmasto-opas. ” Liikenne on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja”. [WWW-sivu]. [päivitetty 12.6.2019]. [viitattu 24.3.2020]. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/cd3c06f0-ddc2-4984-840f-c35a98daf01e/liikkuminen-ja-yhdyskuntarakenne.html>

Kauppalehti. 2019. ” Maailman myydyin sähköauto selvillä – puolet suositumpi kuin kakkonen”. [verkkojulkaisu]. [haettu 12.2.2019]. Saatavilla: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/maailman-myydyin-sahkoauto-selvilla-puolet-suositumpi-kuin-kakkonen/5ac9b071-3a59-47f0-bd76-e3e2f679667a>

Konttinen Juha-Pekka. 2019. ” Tieliikenteen ajokilometreissä edelleen hienoista kasvua”. [verkkojulkaisu]. [viitattu 7.3.2020]. [julkaistu 22.3.2019]. Saatavilla: <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/tieliikenteen-ajokilometreissa-edelleen-hienoista-kasvua/?listing=simple>

Liikennefakta 2019. 21.02.2020. ”Hiilidioksidipäästöt”. [verkkosivu]. [haettu 21.02.2020] Saatavilla: <https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot>

Luukkanen, J. 2018. Jokamies. Akkukemiaa. [verkkojulkaisu]. [haettu 13.3.2019]. Saatavilla: <https://www.jokamies.fi/sahkoauton-tekniikkaa-osa-1-akkukemiaa/>

MIT Electric Vehicle Team 2008. A Guide to Understanding Battery Specifications. [verkkodokumentti]. [viitattu 8.2.2015] [http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)

Motiva Oy 2019a. Ajoneuvotekniikka – Akut. [verkkosivu]. [viitattu 23.1.2020] [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut)

Motiva 2019b. Bensiini [verkkosivu]. [viitattu 27.2.2020]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/energialahteet/bensiini](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/bensiini)

Motiva 2019c. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. [verkkosivu]. [viitattu 5.3.2019]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-laskentaohje\\_energiankuluksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankuluksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet)

Mäläskä Jani. 2013. ”Lujien teräslaatuojen vaikutus ajoneuvojen hiilijalanjälkeen”. [verkkodokumentti]. [viitattu 18.3.2020]. Saatavilla: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/54925/Malaska\\_Jani.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/54925/Malaska_Jani.pdf?sequence=1)

Nylund Nils-Olof. 2011. ”Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikannäkökulmasta”. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.2.2020]. Saatavilla: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78133/Julkaisuja\\_12-011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78133/Julkaisuja_12-011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

RUSAL. 2018. ”The impact of low co<sub>2</sub> footprint aluminium on life cycle emissions”. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.3.2019]. Saatavilla: <https://allow.rusal.com/upload/Impact%20of%20Low%20CO2%20Aluminium%20on%20Automotive%20Life%20Cycle%20Emissions.pdf>

Seekingalpha 2019. Matt Bohlsen. ”A Look At The Top 5 Lithium-Ion Battery Manufacturers In 2019”. [verkkajulkaisu]. [haettu 11.2.2019] Saatavilla: <https://seekingalpha.com/article/4289626-look-top-5-lithium-ion-battery-manufacturers-in-2019>

Stephan Benjamin, Lee Insung, Kim Jiseok . 2019.”Crashing the climate how the car industry is driving the climate crisis”. [verkkodokumentti]. Greenpeace. [viitattu 16.1.2019] Saatavissa: [https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/gp\\_cleanairnow\\_carindustryreport\\_full\\_v5\\_0919\\_72ppi\\_0.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/gp_cleanairnow_carindustryreport_full_v5_0919_72ppi_0.pdf)

Sullivan J.L, A. Burnham, M. Wang. 2010. “Energy-Consumption and Carbon-Emission Analysis of Vehicle and Component Manufacturing”. [verkkodokumentti]. Center for transportation research energy systems division, Argonne national laboratory. [viitattu 28.2.2020]. Saatavilla: [https://greet.es.anl.gov/files/vehicle\\_and\\_components\\_manufacturing](https://greet.es.anl.gov/files/vehicle_and_components_manufacturing)

Särkijärvi Johanna, Saara Jääskeläinen, Katja Lohko-Soner. 2018. ”Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti”. [verkkodokumentti]. Liikenne- ja viestintäministeriö. [viitattu 28.11.2019]. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161210/LVM\\_13\\_18\\_Toimenpideohjelma%20hiilettomaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161210/LVM_13_18_Toimenpideohjelma%20hiilettomaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Tekniikan maailma 2019. ”Tesla-johdajien perustama ruotsalainen sähköautojen akkuvalmistaja Northvolt alkaa kierrättää akkuja omaksi raaka-aineekseen”. [verkkosivu]. [Viitattu 29.3.2020]. Saatavilla: <https://tekniikanmaailma.fi/ruotsalainen-sahkoautojen-akkuvalmistaja-northvolt-alkaa-kierrattaa-akkuja-omaksi-raaka-aineekseen/>

The Drive 2018. Stephen edelstein. ”Audi Will Build e-tron Electric Car at 'Carbon Neutral' Factory”. [verkkosivu]. [viitattu 15.2.2019]. Saatavilla: <https://www.thedrive.com/tech/19628/audi-will-build-e-tron-electric-car-at-carbon-neutral-factory>

Valio Johanna. ” Akkuekosysteemi – nykytilaselvitys”. Pirkanmaan liitto. [verkkodokumentti]. [viitattu 13.2.2020] Saatavilla: <https://www.pirkanmaa.fi/wp-content/uploads/Tulevaisuuden-akkuekosysteemi-nykytilaselvitys-2.0-10.06.2019.pdf>

TNO 2015. ” Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen”. [verkkodokumentti]. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavissa: <https://publications.tno.nl/publication/34616575/gS20vf/TNO-2015-R10386.pdf>

Suomen ympäristökeskus. 2013. Päivitetty 15.8.2019. Suomen sähkönhankinnan päästöt elinkaarilaskelmissa. [Ympäristö.fi www-sivulta]. [Viitattu 29.2.2020]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fiFI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu/Sahkonhankinnan\\_paastot](http://www.ymparisto.fi/fiFI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu/Sahkonhankinnan_paastot)

Volkswagen 2019. Senger Christian, Pfitzner Ralf, Liebert Michael. “Di. Insights sustainable Emobility”. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.2.2019]. Saatavilla: [https://www.volkswagenag.com/presence/news/2019/02/01\\_ID\\_INSIGHTS\\_Sustainable\\_E-Mobility\\_Keynotes.pdf](https://www.volkswagenag.com/presence/news/2019/02/01_ID_INSIGHTS_Sustainable_E-Mobility_Keynotes.pdf)

Volkswagen 2016. THE GOLF PRODUCT GUIDE. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.2.2019]. Saatavilla: [https://www.volkswagen.ie/content/dam/vw-ngw/vw\\_pkw/importers/ie/downloads/product-guides/Golf\\_161208.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original/Golf\\_161208.pdf](https://www.volkswagen.ie/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/ie/downloads/product-guides/Golf_161208.pdf/_jcr_content/renditions/original/Golf_161208.pdf)

Volkswagenag. 2017. ”E-Factory”. [verkkosivu]. [viitattu 29.3.2020]. Saatavilla: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2017/06/e-factory.html#>

Worldsteel.org. ”STEEL IN AUTOMOTIVE”. [www-sivu]. [viitattu 11.3.2019]. Saatavilla: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/steel-markets/automotive.html>