

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN  
VÄHENTÄMISMAHDOLLISUUDET SUOMESSA  
SÄHKÖAUTOILUA LISÄÄMÄLLÄ**

**Greenhouse gas emission reduction potential in Finland by  
promoting electric cars**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Ville Uusitalo

Lappeenrannassa 21.1.2018

Samuli Konttinen

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Samuli Konttinen

## **Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet sähköautoilua lisäämällä**

Kandidaatintyö

2018

36 sivua, 5 taulukkoa ja 4 kuvaa

Tarkastaja: Professori Risto Soukka  
Ohjaaja: Tutkijatohtori Ville Uusitalo

Hakusanat: akut, hybridautot, kansallinen energia- ja ilmastostrategia, kasvihuonekaasupäästöt, perusskenaario, politiikkaskenaario, sähköautot, sähköntuotanto

Keywords: car batteries, hybrid cars, electric cars, greenhouse gas emissions, National Energy and Climate Strategy, baseline, additional measures, electricity generation

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, kuinka paljon tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä kyettäisiin vähentämään Suomessa sähköautoilua lisäämällä. Päästöjen tarkastelussa keskitytään sähköautojen valmistuksen päästöihin sekä sähköautoilun tarvitseman sähköenergian tuotannon päästöihin. Työssä tutustutaan myös sähköautoteknologiaan ja infrastruktuuriin sekä niiden kehitykseen. Tarkastelun pohjana käytetään kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisia skenaarioita päästöjen vähenemiselle vuoteen 2030 mennessä, sekä tavoitteita sähköautojen määrän kasvulle.

Työssä todetaan, että henkilöautoliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää skenaariosta riippuen noin 4-8 %, parhaimmillaan päästöt vähenivät 480 000 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalentteina. Työssä saatujen tulosten perusteella sähköautoilun lisäämisen seurauksena on selkeä päästövähennys johtuen suurelta osin sähköntuotannon pienemmistä päästöistä verrattuna polttomoottorien päästötasoihin, mutta pelkästään sähköautoilua lisäämällä ei tämän työn tuloksien perusteella saavuteta liikennesektorin päästövähennystavoitteita Suomessa.

## SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO .....	4
1 JOHDANTO .....	5
2 SÄHKÖAUTOTEKNOLOGIAN KEHITYS .....	7
2.1 Teknologia ja kehitys .....	7
2.2 Infrastrukturi .....	10
3 SÄHKÖAUTOILUN PÄÄSTÖJEN MUODOSTUMINEN .....	13
3.1 Valmistus & materiaalit .....	13
3.2 Käyttövaiheen päästöt .....	14
4 SUOMEN HENKILÖAUTOKANNAN NYKYTILANNE JA KEHITYS .....	18
5 ILMASTOSKENAARIOT SÄHKÖAUTOILUN NÄKÖKULMASTA .....	20
5.1 Skenaarioiden tulokset .....	21
5.2 Tulosten analysointi .....	25
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
7 YHTEENVETO .....	30
LÄHTEET .....	32

**LYHENNELUETTELO**

AC	Vaihtovirta
CO <sub>2</sub> -ekv	Hiilidioksidiekvivalentti
DC	Tasavirta
EU	Euroopan unioni
SYKE	Suomen ympäristökeskus
SVT	Suomen virallinen tilasto
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
WAM	With Additional Measures
WEM	With Existing Measures

## 1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on saada selville, onko sähköautoilua lisäämällä mahdollista pienentää autoilun aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä Suomessa ja kuinka paljon kyseisiä päästöjä voitaisiin pienentää. Lisäksi tähän liittyen tarkastellaan sähköautoteknologian ja sähköautoilun tulevaisuudennäkymiä.

Kasvihuonekaasut ovat maapalloa lämmittävää kasvihuoneilmiötä ruokkivia yhdisteitä ja siten osaltaan vastuussa ilmastonmuutoksesta. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi kasvihuonekaasupäästöjen määrää pyritään vähentämään maailmanlaajuisesti Euroopan unionia ja Suomea myöten. Ihmiskunnan aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöistä tärkeimmät ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O). Niiden erilaisten ominaisuuksien vuoksi näille päästöille käytetään erilaisia ilmastolämmityspotentiaaleja, joiden avulla on saatua vertailukelpoinen yksikkö hiilidioksidiekvivalentti. (Turunen 2013).

Sähköautojen tekniikka ja hinta ovat kehittyneet viime vuosina sellaiseen vaiheeseen, että niiden hankinta ja käyttö on mahdollistunut myös tavallisille kansalaisille. Osittain tämän kehityksen takana on niin valtiollisten toimijoiden kuin myös yksityistenkin ihmisten pyrkimys saada aikaan maantieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen määrän huomattava pieneneminen. Sähköautoilun yleistyminen ja leviäminen yhä suurempien ihmisjoukkojen käyttöön on nähty yhtenä tärkeimmistä tavoista, yhdessä biopolttoaineiden kanssa, puuttua liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin. Suomen nykyinen sähköautokanta onkin syntynyt käytännössä muutaman viime vuoden aikana (VTT 2017a). Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi sähköautoilulla voitaisiin vähentää hiukkaspäästöjä ja siten parantaa taajamien ilmanlaatua sekä pienentää liikenteen meluhaittoja. Liikenteen päästöihin puuttuminen on erityisen tärkeää, sillä ne kattavat esimerkiksi Suomessa merkittävän osan, jopa 40 %, päästökaupan ulkopuolisista päästöistä (TEM 2016, 19).

Sähköautoilun lisääntymisellä voitaisiin tavoitella erityisesti kevyen liikenteen ja henkilöautoliikenteen päästöjen vähentämistä, sillä ainakin Pohjoismaiden energiajärjestelmät kattavan NETP 2016 -tutkimuksen mukaan jopa täysin

päästöttömässä energiajärjestelmässä raskaan ja toimintasäteeltään pitkän matkan liikenteen olisi turvaututtava pääosin muihin polttoaineisiin (TEM 2016, 24). Tästä syystä tässä työssä huomioidaan vain henkilöautoliikenteeseen liittyvää päästövähennyspotentiaalia jättäen tarkastelun ulkopuolelle raskas liikenne ja julkisen tieliikenteen eri muodot kuten linja-autot.

Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) laatimassa kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa kaavillaan sähköautoilun voimakasta lisäämistä nykyisestä tasosta yhtenä keinona pienentää tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä muiden tieliikenteestä aiheutuvien päästöjen ohella. Kuitenkaan kyseisessä strategiassa ei kyetä kertomaan kuinka paljon tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt vähenisivät, jos siinä esitetyt sähköautoilutavoitteet saavutettaisiin.

Tässä työssä käydään läpi sähköautoilusta aiheutuvien päästöjen muodostumista keskittyen auton elinkaaren vaiheista valmistukseen ja käyttövaiheeseen. Eli mahdollisia päästövähennyksiä pohdittaessa tarkastelun ulkopuolelle jätetään ne päästömäärät, jotka voisivat aiheutua sähköautoilun vaatiman infrastruktuurin rakentamisesta ja rakentamisesta johtuvien maankäytön muutoksista. Myös sähköautojen elinkaaren loppu eli käytöstä poistaminen ja romuttaminen on rajauksen ulkopuolella. Tarkastelussa on oleellisesti mukana myös sähköautojen osuuden ennakoituja muutoksia Suomen koko henkilöautokannasta ja niiden myötä seuraavia muutoksia kasvihuonekaasupäästöihin tieliikennesektorilla. Tarkastelussa käytetään apuna pääosin työ- ja elinkeinoministeriön laatimaa kansallista energia- ja ilmastostrategiaa ja sen eri päästövähennyskenaarioita sekä pyritään saamaan selville mikä on sähköautoilun tilanne vuonna 2030.

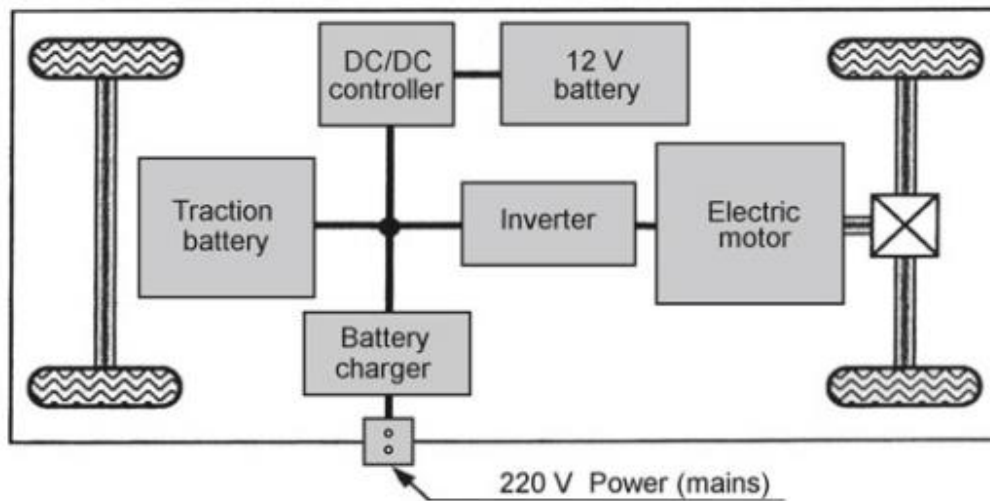
## 2 SÄHKÖAUTOTEKNOLOGIAN KEHITYS

Sähköautot nimensä mukaisesti kulkevat sähköenergian voimalla. Sähköntuotantolaitoksissa tuotettu sähkö varastoidaan sähköautojen akkuihin, joista auton sähkömoottori saa toimintaansa tarvitsemansa energian. Polttomoottoreiden puuttumisen vuoksi sähköautot ovat lähes äänettämiä ja ainoa merkittävä äänenlähde ovatkin tienpintaa vasten pyörivät renkaat. Täyssähköautojen, joissa voimanlähteenä on vain sähkömoottori, lisäksi sähköautoihin luetaan myös ladattavat hybridautot.

### 2.1 Teknologia ja kehitys

Sähköautot ilmestyivät heti ensimmäisten autojen joukossa 1800-luvun puolivälissä, sähköllä kulkevia autojen pienoismalleja rakennettiin Unkarissa jo vuonna 1828 sekä Yhdysvalloissa ja Alankomaissa vuonna 1834. Ensimmäinen varsinainen sähköllä kulkevan ajoneuvon rakensi skotlantilainen kemisti Robert Davidson vuonna 1837, sen voimanlähteenä oli galvaaninen kenno. Tämä ajoneuvo ei ollut kuitenkaan vielä lähelläkään käytännöllistä. Ladattavan lyijyakun keksiminen 1850-luvulla teki mahdolliseksi käytännöllisten sähköautojen rakentamisen ja sähköautot olivat autoilun kärkeä 1910-luvulle asti. Polttomoottoreiden kehittyessä sähkömoottorit jäivät niistä kuitenkin jälkeen, eivätkö sähköautot enää pärjänneet kilpailussa polttomoottoreilla varustettuja autoja vastaan, sillä akkutekniikka ei ollut kehittynyt vielä tarpeeksi. Polttomoottoreiden tarjoamat pidemmät toimintasäteet ja huippunopeudet johtivat sähköautoilun hiipumiseen ja tuotannon loppumiseen 1920-luvulle tultaessa. Tämän jälkeen kehitys oli verrattain hidasta, mutta 1960- ja -70-luvuilla sähköautojen akut alkoivat vaihtumaan lyijyakuista nikkelikadmium- ja litiumakkuihin. (Travelsmart 2003.)

Nykyaikaisen sähköauton tärkeimmät komponentit ovat sähkömoottori, akusto, moottoriohjain ja laturi. Sähkömoottori muuttaa akuista saamansa sähköenergian liike-energiaksi, mikä mahdollistaa auton liikkumisen. Yksinkertaistetun täyssähköauton rakenne käy ilmi kuvasta 1. Sähkömoottori voi olla joko vaihto- tai tasavirtaa käyttävä. Vaihtovirtamoottori (AC) mahdollistaa pienemmän kulutuksen kuin tasavirtamoottori (DC) sillä sen hyötysuhde voi olla 95 %, kun DC-moottori jää hyötysuhteeltaan hieman

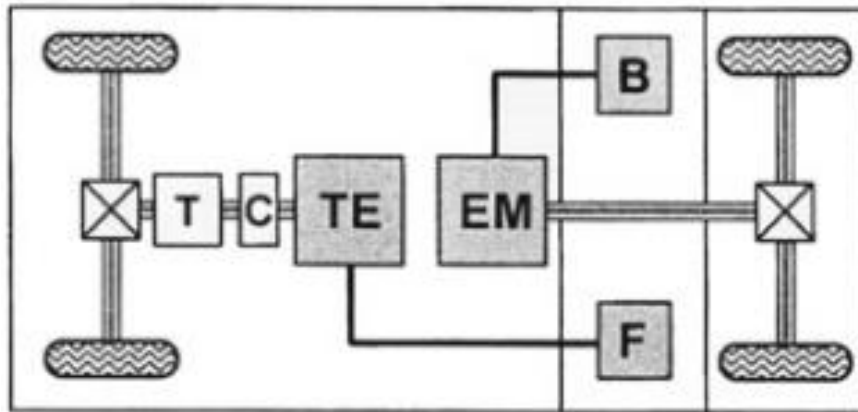


**Kuva 1.** Yksinkertaisen sähköauton rakenne. (Genta et al. 2014, 487)

pienemmäksi asettuen välille 85 % - 95 %. AC-moottorilla voidaan yleensä toteuttaa jarrutusenergian talteenotto ilman lisäkomponentteja, lisäksi peruuttaminen on mahdollista. DC-moottorilla sekä jarrutusenergian talteenoton, että auton peruuttamisen mahdollistamiseksi tarvitaan ylimääräinen kontaktori. Moottoriohjain ohjaa akuista tulevaa sähkövirtaa ja säättää sähkövirran jännitteen kulloinkin haluttua kierroslukua vastaavaksi. Moottoriohjain pystyy saamiensa signaalien avulla lähettämään oikean määrän virtaa sähkömoottorille esimerkiksi kaasupoljinta painettaessa. Moottoriohjaimia on erilaisia AC- ja DC-moottoreille, vaihtovirran ominaisuuksien vuoksi, sitä käyttävien moottorien moottoriohjain on rakenteeltaan ja toiminnaltaan monimutkaisempi, sillä sen täytyy muuttaa myös taajuutta. (New Jersey Institute of Technology 2017.)

Kiinnostus sähköautoja kohtaan alkoi kasvaa uudestaan vuosituhaten vaihteessa hybridautojen myötä. Hybridautoissa on yleensä polttomoottorin rinnalla sähkömoottori tai vaihtoehtoisesti polttokenno. Hybridautoilla pyritään päästöjen ja polttoaineenkulutuksen pienentämiseen, tavallisesti akkujen lataus tapahtuu muuttamalla tavallisesti hukkaan menevä jarrutusenergia sähköksi, jota sähkömoottori voi sitten käyttää esimerkiksi avustamaan kiihdytyksessä. Plug-in hybrideissä eli lataushybrideissä on lisäksi mahdollisuus ladata sähkömoottorin akku kytkemällä auto latauspistokkeeseen täyssähköautojen tapaan. Tällainen ladattava hybridi luetaan sähköautojen joukkoon. Hybridauton rakenne ja oleelliset komponentit selviävät kuvasta 2.





**Kuva 2.** Poltto- ja sähkömoottorilla varustetun hybridauton rakenne. (Genta et al. 2014, 495)

Akkuteknologia on ollut sähköautojen kehityksen jarruna, sillä ne määrittelevät auton toimintasäteen sekä sen, kuinka kauan akkuja täytyy ladata ennen käyttöä, nämä ovat käytännöllisyyden kannalta tärkeimmät vertailuarvot. Lisäksi akkujen suuren tarpeen vuoksi akkujen on täytynyt olla suuria ja siten hyvin painavia, mikä on heikentänyt myös toimintasädetä. Sähköautot ovatkin huomattavasti polttomoottorilla varustettuja autoja painavimpia. Sähköautovalmistaja Tesla on asettanut omalle Tesla Model III -sähköautolleen painotavoitteeksi noin 1540 kg, joka on BMW 3 -sarjan autojen paino. Tämän hetken malli Tesla Model S on massaltaan kuitenkin peräti 2090 kg, josta pelkät akut muodostavat yli 720 kg. (DeMorro 2017.)

Viime vuosina akkujen kehitys on edennyt kovaa vauhtia ja on kehitetty uusia akkutyyppejä, joista voi tulla nyt yleisimpien litiumioniakkujen korvaajia. Kehitys on johtanut myös akkujen hintojen voimakkaaseen laskuun, hinnat ovat pudonneet vuoden 2010 hintatasoon verrattuna 40 % (Salokoski 2017, 17). Nykyaikaisilla litiumioniakuilla on päästy energiatiheyteen 100 – 250 Wh/kg ja niitä kyetään lataamaan uudelleen parhaimmillaan jopa 1500 kertaa. Litiumioniakkujen suhteellisen matala energiatiheys selittää sen, miksi sähköautojen akustot ovat niin massiivisia, sillä verrattuna bensiinin energiatiheyteen, joka on noin 13 kWh/kg, huomataan, että samalla massalla bensiini sisältää 50 – 130 kertaa enemmän energiaa. Saman toimintasäteen saamiseksi siis akkuja täytyy sijoittaa autoon hyvin paljon. Litiumioniakuissa tapahtuu kuitenkin koko ajan kehitystyötä ja ero bensiiniin kuroutuu pikkuhiljaa kiinni. Uusina akkumalleina on ilmestynyt solid-state-litiumakkuja, litium-ilma-akkuja ja litiumrikkiakkuja. Näiden

uusien akkumallien avulla on päästy suurempiin energiatiheuksiin, esimerkiksi litium-ilmakemialla teoreettiseen 13 kWh/kg, joka siis vastaa jo melko hyvin bensiiniä. Uusien akkujen ongelmana on ilmennyt lyhyitä elinikkeitä, sillä ne ovat kestäneet akkutyypistä riippuen vain 40 – 100 uudelleenlatausta. (Buchmann 2016).

## 2.2 Infrastrukturi

Toimiakseen sähköautojärjestelmä tarvitsee laajan ja kattavan latausverkoston, tässä työssä ei kuitenkaan huomioida tämän infrastruktuurin rakentamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Kattavuuden takaamiseksi järjestelmään täytyy kuulua niin julkisia kuin yksityisiäkin latauspisteitä, jotta auton lataaminen voidaan suorittaa sekä kotiolosuhteissa yöaikaan että, tarvittaessa tienpäällä kesken pitkän ajomatkan. Yksityiset latauspisteet ovat sellaisia jotka sijaitsevat yksityisalueella ja niitä voi käyttää vain latauspisteen omistaja, tai omistajan määrittelemät henkilöt, jos kyseessä on taloyhtiö. Puolijulkiset latauspisteet sijaitsevat yksityisellä alueella, mutta niitä pääsevät käyttämään kaikki halukkaat, tällaisia latauspisteitä olisivat käytännössä huoltoasemilla sijaitsevat latausasemat ja muut vastaavat kaupalliset toimijat, kuten yksityisiin pysäköintihalleihin asennettavat latauspisteet. Julkiset latauspisteet sijaitsevat julkisilla paikoilla kuten taajamien kadunvarsilla tai valtiollisten ja kunnallisten kiinteistöjen alueella, ja niiden käyttöön on kaikilla kansalaisilla vapaa pääsy. (Motiva 2015,6.)

Sähköajoneuvojen lataustavat voidaan jakaa neljään eri tapaukseen sen mukaan, minkälainen ladattava ajoneuvo on ja kuinka nopeasti lataus on mahdollista suorittaa. Ensimmäinen lataustapa soveltuu ainoastaan kevyille sähköajoneuvoille kuten sähkömopoille ja -moottoripyörille. Siinä lataus on mahdollista suorittaa tavallisella kotitalouspistorasiassa, jossa on 230 V jännite. Toinen lataustapa on niin sanottu hidaslataus tai kotilataus. Hidaslataus on sähköautoille soveltuva lataustapa, mutta sitä käyttämällä 25 kWh akun lataaminen vie noin 11 – 18 tuntia lataustehon ollessa 1300 W – 2300 W (Motiva 2015, 8).

Myös tällä lataustavalla voidaan käyttää tavallista kotitalouspistorasiaa, mutta vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös voimapistorasiaa, jolloin lataus tapahtuu kolmivaihevirralla. Pitkän latausajan vuoksi hidaslataus jää tilapäiseksi

latausvaihtoehdoksi. Sähköautojen säännölliseen lataukseen soveltuu kolmas lataustapa eli ns. peruslataus tai normaalilataus. Siinä edellä mainittu latausaika jää noin seitsemään tuntiin, minkä ansiosta sen käytännöllisyys on huomattavasti parempi. Latausajan lyheneminen johtuu suuremmasta lataustehosta, joka voi vaihdella välillä 3,6 kW – 20 kW. Peruslatauksen tunnuslukujen vuoksi ei tätä lataustapaa voida kytkeä suoraan olemassa oleviin sähköjärjestelmiin vaan kytkemisen mahdollistamiseksi täytyy asentaa sähköautoille erikseen suunniteltuja pistorasioita. Neljäs ja viimeinen lataustapa on pikalataus eli tehollataus. Siinä käytetään suurta lataustehoa, joka vaihtelee 22 kW:sta peräti 50 kW:iin. Suuren lataustehon ansiosta latausaika pienenee yhä pienemmäksi ja on 20 – 50 minuuttia. Suhteellisen lyhyen latausajan ansiosta tämä lataustapa tekee sähköautojen liikennekäytöstä järkevää. Pikalatauksessa sähköauto kytketään erilliseen laturiin, joka on varta vasten valmistettu tätä käyttöä varten. (Motiva 2015, 9.)

Edellä kerrotuista lataustavoista kolme viimeistä ovat sähköautoja ajatellen kaikkein keskeisimmät. Hidaslataus soveltuu käytännössä vain yksityisiin latauspisteisiin, kuten omakotitalojen tai taloyhtiöiden alueelle ja käyttöön tarkoitetuiksi. Peruslataus taas soveltuu yksityisten kohteiden lisäksi myös julkisiin ja puolijulkisiin latauspisteisiin. Pikalataus olisi paras lataustapa otettavaksi käyttöön julkisille ja puolijulkisille latauspisteille. Pikalataus on myös sähköautojen vastine bensa- ja dieselautojen polttoainepumpuille. Bensa-auton tankkaamisen viemään pariin minuuttiin verrattuna latausaseman käyttö vaatii vähintään kymmenkertaisen ajan.

Laajan sähköautoinfrastruktuurin mahdollistamiseksi täytyy rakentaa myös niin sanottua älykästä sähköverkkoa eli järjestelmää, joka automaation avulla optimoi sähkönjakelua ja -tuotantoa, ja huomioi sähköautoille tärkeän kysynnän jouston. (ABB 206, 3.) Älykkään sähköverkon avulla suuren sähköautokannan latausjärjestelmät ovat paremmin toteutettavissa ilman, että muu sähköverkko kärsii. Älykkyydellä sähköverkko pystyy tarvittaessa käyttämään latausasemiin kytkettyjä sähköautoja häiriöreservinä tapauksessa, jossa sähköntuotannossa tapahtuu muutaman sekunnin kestävä taajuuden alenema. Tällöin sähköautojen akuista syötettäisiin verkkoon virtaa häiriön tasaamiseksi ilman, että akut kuitenkaan tyhjentyisivät kokonaan.

Tekesin selvityksen mukaan sähköautoilun vaatiman energiantuotanto- ja jakelujärjestelmien rakentaminen ei vaadi, jo olemassa olevan infrastruktuurin ansiosta, juurikaan suuria rakentamisprojekteja tai pääomia, rakentamistarve kohdistuu pikemminkin latauspistokkeiden ja -asemien luomiseen. Rakentamistarpeen vähyys korostuu varsinkin, jos tilannetta vertaa vetyautojen vaatimiin jakeluverkostoihin, jotka täytyisi rakentaa tyhjästä. (Salokoski 2017, 26.) Nykyiset autojen käyttämät lämmitystolppien sähköverkostot kuitenkin asettavat rajoitteita latausverkostolle, sillä kuorman lisääntyminen mahdollistaisi sähköautojen latauksen jossain tapauksissa vain noin joka neljänestä pistorasiasta (Nylund 2011, 182). Kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa kaavaillaan, että tarvittavat latausverkoston rakentamisen toimenpiteet tapahtuvat pääosin markkinaehtoisesti, mutta ainakin autoalan sidosryhmät toivovat liikenne- ja viestintäministeriölle antamassaan lausunnossa julkista tukea latausverkoston rakennusprojekteihin. (Huttunen (toim.) 2017, 58) (Kallio ja Rissa 2017, 7.)

### 3 SÄHKÖAUTOILUN PÄÄSTÖJEN MUODOSTUMINEN

Sähköautoilun kasvihuonekaasupäästöt voidaan jakaa kahteen merkittävään osaan: auton ja sen komponenttien valmistamisesta aiheutuvat päästöt sekä käytönvaiheen päästöt. Tarkastelun ulkopuolelle on siis jätetty aiemmin mainitut infrastruktuurin rakentamisen päästöt sekä sähköautojen käyttövaiheen jälkeisen elinkaaren loppuosan mahdolliset päästöt.

#### 3.1 Valmistus & materiaalit

Vuonna 2016 Azmin ja Tokain Malesiassa suorittaman eri autotyyppien valmistuksen ympäristövaikutuksia selvittävän tutkimuksen mukaan sähköautojen tuotanto aiheuttaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin polttomoottorilla varusteltujen autojen tuotanto. Tutkimuksessa tuotantoa tarkasteltiin ”cradle-to-gate” periaatteella eli huomioitiin kaikki päästölähteet aina materiaalien hankinnasta kaivosteollisuudessa valmiin auton toimittamiseen markkinoille. Täyssähköauton valmistuksen päästöiksi muodostui 5 791 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia autoa kohti, mikä oli 39 % suurempi kuin polttomoottoriautojen valmistuksesta aiheutuneet päästöt, jotka olivat 4 166 kg CO<sub>2</sub>-ekv autoa kohti. Suuremmat päästöt johtuivat pääosin akkujen valmistuksen päästöistä. Tutkimuksen mukaan tosin sähköautojen valmistuksen päästöt tulevat tekniikan kehittyessä pienenemään suhteessa enemmän kuin polttomoottoriautojen. Ladattavia hybridi-autoja oli tutkimuksessa kahta erilaista mallia, joista toisessa oli nikkeli-magnesium-hydridiakku ja toisessa litiumioniakku (nikkeli-magnesium-kobalttioksidi). Ensimmäisen mallin mukaisella lataushybridiautolla päästöt olivat 4 814 kg CO<sub>2</sub>-ekv ja toisella mallilla 4 596 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Hybridien päästöt olivat siis 16 % ja 10 % suuremmat kuin polttomoottoriautoilla. Erot hybridien välillä johtuivat pääosin erilaisten akkutekniikoiden aiheuttamista eroista energiatiheydessä. (Azmi & Tokai 2016, 137-142).

Romaren ja Dahllöfin Ruotsissa tekemän akkujen valmistusta käsittelevän tutkimuksen mukaan sähköautojen akuista aiheutuu 150-200 kgCO<sub>2</sub>-ekv:n suuruiset päästöt kilowattituntia kohden. Päästöistä puolet aiheutuu raaka-aineiden tuotannosta ja puolet

itse akun valmistuksesta. (Dahllöf & Romare 2017, 28.) Sähköautojen valmistuksen päästöt muodostuvat tämän tutkimuksen mukaan jonkin verran suuremmiksi kuin Azmin ja Tokain tutkimuksessa, mutta suuruusluokaltaan ne ovat kuitenkin samaa sarjaa. Tässä työssä laskennassa kuitenkin käytetään Azmin ja Tokain tutkimuksen mukaisia lukuja, sillä heidän raportissaan oli mukana myös muita autotyyppejä, mikä mahdollista paremman vertailun tekemisen.

Täyssähkö- ja hybridi-autojen valmistuksen muihin ympäristövaikutuksiin kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi kuuluvat myrkkujen lisääntyminen (human toxicity potential), ympäristön happamoituminen ja vesistöjen rehevöityminen. Myrkyllisten aineiden lisääntyminen ympäristössä aiheuttaa karsinogeenisiä vaikutuksia ja sen mittarina käytetään bentseeni-ekvivalenteja. Täyssähköautot pärjäsivät aiemmin mainituista autovaihtoehdoista heikoimmin tällä osa-alueella, sillä niiden tuotannosta seurasi 1,27 kg bentseeni-ekvivalentin päästöt, mikä oli yli neljä kertaa enemmän kuin polttomoottoriautoilla. Ympäristön happamoitumisen osalta täyssähköauto oli turvallisin vaihtoehto sen happamoitumispotentialin jäädessä 5,7 kgSO<sub>2</sub>-ekvivalenttiin, joka oli vain noin puolet polttomoottoriautojen lukemista, ja yli neljä kertaa vähemmän kuin nikkeli-magnesium-hydridiakuisten hybridien lukema. Myös rehevöitymisen osalta täyssähköauto oli paras vaihtoehto, sillä rehevöitymispotentialiaali jäi 0,106 kg fosfaatti-ekvivalenttiin joka sekin oli noin puolet polttomoottoriauton tasosta, myös tälläkin kertaa molemmat hybridit olivat suurimmat päästöjen aiheuttajat vertailussa. (Azmi & Tokai 2016, 138-139.) Nämä muut päästöt ovat kuitenkin suuruuksiltaan hyvin pieniä verrattuna kasvihuonekaasupäästöihin ja vaikutuksiltaanakin siten paljon vähäisempiä.

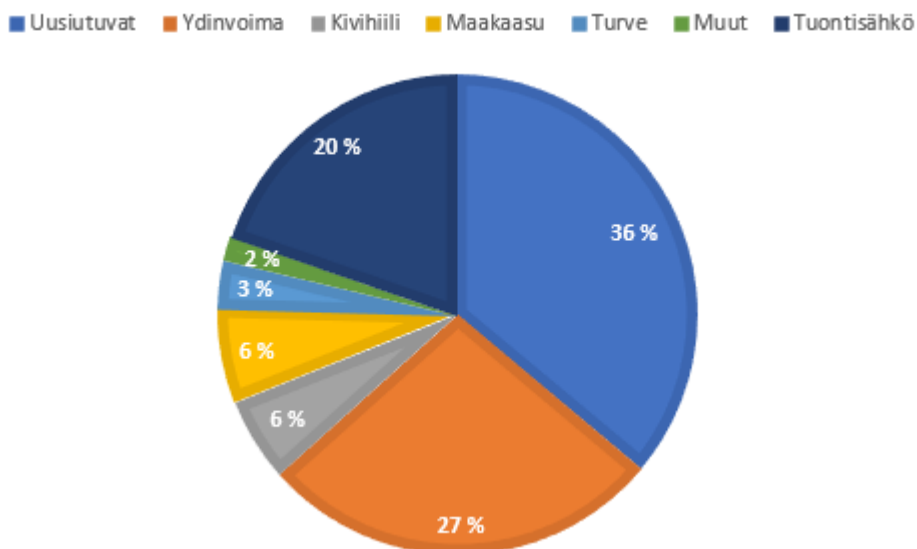
Vaikutuksia ihmisten terveyteen mitattiin DALY-arvolla (Disability Adjusted Life-Year), joka kuvastaa menetettyjä elinvuosia alhaisemman toimintakyvyn vuoksi. Jälleen tutkimuskohteilla oli sama järjestys täyssähköauton ollessa terveellisin vaihtoehto ja polttomoottoriauton ollessa toiseksi paras (Azmi & Tokai 2016, 140-141).

### **3.2 Käyttövaiheen päästöt**

Sähköautoilun käytönvaiheen kasvihuonekaasupäästöt liittyvät yksinomaan sähköntuotantoon ja siten vaihtelee täysin sen mukaan missä päin maailmaa sähköautoa

käyttää. Jos latausasemalle tuleva sähkö on tuotettu tuulipuistossa, on sähköautoilu käytönsalalta päästötöntä, mutta jos sähkö tulee kivihiltä polttovalta sähkövoimalaitokselta, on sähköautoilu helposti suurempipäästöisempää kuin bensiiniautolla ajaminen, sillä esimerkiksi verrattuna bensiiniin kivihiltä polttamalla saman energiamäärän saavuttamiseksi syntyy pahimmillaan jopa 50 % enemmän kasvihuonekaasupäästöjä (U.S. energy information administration 2017). Koska kaikenlaiset tuotantolaitokset ydinvoimaloista tuulipuistoihin ja kombivoimalaitoksiin on liitetty samaan valtakunnalliseen sähköverkkoon, on sähköauton akkuun päätyneet sähkövirta mahdoton paikallistaa vain yhteen alkuperään, joten täytyy tarkastella kunkin alueen, tässä työssä Suomen, koko sähköntuotannon päästökertoimia.

Vuonna 2015 Suomessa kulutettiin sähköä 82,5 TWh, josta kotimaista tuotantoa oli 66,2 TWh ja tuontisähköä 16,3 TWh. Sähköä tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä, ydinvoimalla, lauhdevoimalla sekä sähkön- ja lämmön yhteistuotannolla. Uusiutuvia energialähteitä olivat tuuli- ja aurinkovoima, vesivoima sekä pääosin puupohjaiset biopolttoaineet (TEM 2016, 4). Sähkönhankinta vuonna 2015 on esitetty kuvassa 3 energialähteittäin. Tuontisähköstä isoin osa tulee Ruotsista, jossa vesivoiman osuus sähköntuotannosta on yli 40 % ja ydinvoiman osuus tuotannosta on suurin piirtein sama kuin vesivoimalla (Suomen ympäristökeskus 2013).



**Kuva 3.** Suomessa kulutettu sähkö 2015, kotimainen tuotanto energialähteittäin (Suomen virallinen tilasto 2016).

Nykyisen kehityksen mukaan ydinvoimalla sekä tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön osuuden oletetaan kasvavan, kun uudet ydinvoimayksiköt Olkiluoto 3 ja Hanhikivi 1 valmistuvat (TEM 2017, 28-29). Nordic energy technology perspectives 2016 (NETP 2016) -tarkastelun mukaan tuuli- ja aurinkosähkön yhteenlaskettu osuus Suomen sähköntuotannosta arvioidaan kasvavan yli 25 % vuoteen 2050 mennessä, tällöin uusiutuvien osuus nousisi ja olisi lopulta noin 60 % (TEM 2016, 5-6). Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuuden kasvattamiseksi pyritään mm. uusiutuvan sähkön tuotantotuella, josta säädettiin laki 2010. Tuen piirissä on tuulivoimaloita sekä biokaasua ja metsähaketta polttoaineenaan käyttäviä voimaloita. Vuoteen 2020 mennessä tuulisähkön tuotanto kasvaa tuen piirissä noin 5 TWh:iin ja sen jälkeen jatkamalla tuotantotukea vuoteen 2024 voitaisiin nostaa tuulisähkön määrää vielä 2 TWh. Ylipäätään energian ja sähkön tuotannossa pyritään hiilineutraaliuteen, minkä johdosta myös sähköautoilun käytönvaiheen päästöt tulevat laskemaan nykytilanteeseen nähden. (TEM 2017, 33) (Huttunen (toim.) 2017, 88).

Suomessa sähkönhankinnan päästökerroin oli vuosien 2013-2015 keskiarvona 184 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh, luvussa on huomioitu myös tuontisähkön kasvihuonekaasupäästöt ja vähennetty viestisähkön päästöt (Suomen ympäristökeskus, 2013). Sähkön kulutus vuosittain oli Suomessa samalla ajanjaksolla keskimäärin 83,3 TWh, jolloin sähkönhankinnan kasvihuonekaasupäästöiksi tulee 15,3 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina.

Päästökaupan piiriin kuuluvan energiantuotannon päästöt olivat vuonna 2016 22,9 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina. Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat vähentyneet vuoden 1990 tasosta 18 % (Suomen virallinen tilasto 2017b). Päästökauppasektorilla päästövähennystavoite on kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti vuoteen 2030 mennessä 43 %, tällöin vuoden 2016 tasosta vähentämistarvetta on vielä noin 30 %. Jos sähkönhankinnan päästöt vähenevät samalla suhdeluvulla kuin koko energiantuotannon niin silloin vuonna 2030 sähkönhankinnan ominaispäästö pienenesi vuoden 2015 lukemista tasolle 129 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh.

Sähköautoissa energiankulutuksen hyötysuhde on mallista riippuen jopa 50 – 70 %, kun taas bensa- ja dieselautoissa hyötysuhde jää peräti niinkin alhaiseksi kuin 20 -25 %.



Huomattavasti paremman hyötysuhteen vuoksi sähköautot tarvitset vähemmän primäärienergiaa kuin bensiini- ja dieselautot, tällä tavoin sähköautoilu tarjoaa mahdollisuuden vähentää liikennejärjestelmien vaatimaa kokonaisenergiaa. (Huttunen (toim.) 2017, 60.)

Sähköautojen määrän voimakas kasvaminen ei aiheuttaisi Suomessa juurikaan tarvetta sähköntuotantokapasiteetin lisärakentamiselle, sillä sähköautojen kuluttama sähköenergian määrä jäisi siltikin vain pariin prosenttiin sähkönkulutuksesta (Nylund 2011, 9). Latausajankohdalla on kuitenkin vaikutusta sähköntuotantotarpeen kannalta: esimerkiksi Ruotsissa miljoonan sähköauton määrä aiheuttaisi 2 – 3 % lisätarpeen sähköntuotannolle, mutta jos  $\frac{3}{4}$  latauksesta tapahtuu yöaikaan, lisätarve onkin enää 1 % (Nylund 2011, 85). Myöhään illalla tai yöllä tapahtuva lataus aiheuttaisi myös vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä, sillä sähköntuotanto olisi silloin alhaisemmillaan. Tällöin tasaista peruskuormaa ajavat laitokset, kuten ydinvoimalat vastaisivat suuremmasta osasta sähköntuotantoa kuin päivällä, sillä huippuvoimaa ajavat laitokset eivät ole yöaikaan toiminnassa. Monesti nämä kulutushuippujen aikaan toiminnassa olevat huippuvoimalaitokset käyttävät polttoaineenaan öljyä tai jotain muuta fossiilista polttoainetta siten myös sähköntuotannon ominaispäästöt kasvavat niiden ollessa toiminnassa. Kysyntäpiikkien aikaan ajettavan huippusähköntuotannon päästökerroin voi olla jopa 600 - 800 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh, eli 3-4 kertaa enemmän päästöjä aiheuttavaa kuin keskimääräisen sähköntuotannon päästöt. Yöaikaan lataamiseen rohkaisee myös yönsähköntuotannon matalampi hinta. (Hippinen ja Suomi 2012, 7-8.)

## **4 SUOMEN HENKILÖAUTOKANNAN NYKYTILANNE JA KEHITYS**

VTT:n LIPASTO-tietokannan ALIISA autokantamallin mukaan vuonna 2016 Suomessa oli liikennekäytössä 2 631 767 henkilöautoa, joista 99 % käytti polttoaineenaan bensiiniä tai dieseliä, ja niiden liikennesuorite oli yhteensä 41 231 miljoonaa kilometriä. Tällöin Suomalaisella henkilöautolla ajettiin vuodessa keskimäärin noin 15 700 km. LIPASTO:n yksikköpäästötietokannan mukaan Suomen henkilöautoliikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt olivat 152 gCO<sub>2</sub>-ekvivalenttia ajettua kilometriä kohden, kun kuluttavamman taajama-ajon huomioitiin muodostavan 27 % ajosta. Tarkastelussa käsiteltiin vuoden 2016 keskimääräistä autokantaa. Näitä lukuja yhdistämällä saadaan henkilöautoliikenteen aiheuttamiksi kasvihuonekaasupäästöiksi 6,3 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. jolloin autokohtainen päästö olisi 2380 kgCO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa (VTT 2017a-b). Henkilöautot siis aiheuttavat yli puolet tieliikenteen päästöistä, jotka ovat LIPASTO-tietokantaan kuuluvan tieliikennettä kuvaavan LIISA-laskentajärjestelmän mukaan 11,6 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. (VTT 2016a).

LIPASTO-tietokannan mukaiset liikenteen päästöt eroavat tilastokeskuksen vastaavasti tiedoista, tämä voi johtua siitä, että LIPASTOssa on huomioitu kattavasti erilaiset päästökertoimet eri valmistusvuosien päästöstandardeille ja autojen iän aiheuttamiin päästömäärien muutoksiin (VTT 2017c, 1-3).

Suomen henkilöautokanta on vanhaa, keski-iän ollessa peräti 11,8 vuotta. Keski-ikä on noussut vuoden 2008 jälkeen 1,7 vuotta ja nyt ollaan tilanteessa, jossa Suomen autokanta on Euroopan unionin muihin jäsenvaltioihin verrattuna yksi vanhimmista (Suomen virallinen tilasto 2017a). Autokannan uusimisella voitaisiin vähentää merkittävästi autoilun päästöjä, sillä havaittiin, että vuonna 2015 järjestetyn romutuspalkkiokokeilun seurauksena rekisteröidyt uudet henkilöautot olivat päästötasoiltaan peräti 40 % vähempipäästöisempiä kuin kokeilussa poistuneet autot (Kallio ja Rissa 2017, 5). Autokannan uusimista vauhdittaviksi keinoiksi on esitetty autoveron alentamista ja romutuspalkkiokokeilun jatkamista kampanjaluonteisesti.

Suomen nykyinen sähköautokanta on suuruudeltaan noin 1600 kappaletta. Sähköautojen määrän ennustetaan kasvavan 120 000 autoon vuoteen 2030 mennessä nykyisen kehityksen mukaan (TEM 2016, 21). Valtioneuvosto on kuitenkin asettanut tavoitteeksi, että kyseisenä vuonna Suomessa olisi liikenteessä 250 000 sähköautoa (Huttunen (toim.) 2017, 59). Erot näiden kahden luvun välillä johtuvat siitä, että ennustettu 120 000 sähköautoa tulisi tapahtumaan kansallisen energia- ja ilmastostrategian baseline-kehityksen mukaan, jossa huomioidaan vain sellaiset toimet, joista on jo saavutettu poliittinen päätös. Eli valtioneuvoston 250 000 sähköauton tavoite vaatii vielä lisää poliittisia sitoumuksia, jotta siihen päästäisiin. Kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta kerrotaan tarkemmin luvussa 5. 120 000 sähköauton vastaisi noin neljää prosenttia vuoden 2030 ennustetusta henkilöautokannasta, vastaavasti 250 000 sähköautoa vastaisi noin 8,5 % autokannasta. Nykykehityksellä sähköautojen osuus kasvaa melko hitaasti, sillä vielä vuonna 2050 sähköautojen osuus olisi 17 %, bensiini- ja dieselautojen osuuden ollessa vielä hieman yli 80 %. Loppumarginaalin muodostaisivat kaasu- ja vetyautot. (TEM 2016, 20-21.)

Sähköautojen lisääntymistä uskotaan vauhdittavan niiden ennustettu hintakehitys, joka mahdollistaisi sähköauton hankkimisen monille ihmisille. Hintakehityksestä on monia arvioita, jotka poikkeavat toisistaan hyvinkin paljon, sillä Bloomberg New Energy finance arvioi, että sähköautot olisivat polttomoottoriautoihin verrattuna halvempia jo vuonna 2022, mutta Ronald Berger taas arvioi tämän tapahtuvan vasta 2030. Toisaalta VTT:n arvion mukaan sähköautot olisivat vuonna 2030 vielä peräti 50 % kalliimpia. (TEM 2017, 90-91).

EU-maista Alankomaissa ja Ruotsissa sähköautojen osuus uusina myydyistä autoista on suurimmillaan ollen 6 % ja 4 %. Näissä maissa sähköautojen hankintaa tuetaan valtion taholta. Ruotsissa täyssähköauton hankintaan saa noin 4000 € tuen ja Alankomaissa työsuhdeautoille sovelletaan hyvin matalaa verotusarvoa. (TEM 2017, 91). Suomessakin on alettua tukea sähköautojen hankintaa ja vuoden 2018 alusta lukien uuden täyssähköauton hankintaan voi saada tukea 2000 €, tuki on voimassa vuoteen 2021 (Trafi 2018).

## **5 ILMASTOSKENAARIOT SÄHKÖAUTOILUN NÄKÖKULMASTA**

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2016 laatiman kansallisen energia- ja ilmastostrategian tieliikennettä kuvaava osuus on laadittu Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n LIPASTO-laskentajärjestelmään kuuluvan LIISA-päästömallin avulla. Mallin avulla on kehitetty niin sanotun perusskenaarion baselinekehitys tieliikenteen päästöjen kehitykselle vuoteen 2050 asti. Baselinekehityksessä huomioidaan vain ne toimenpiteet, joista on jo saatu aikaiseksi poliittinen päätös mallia tehdessä (TEM 2016, 20). Toinen energia- ja ilmastostrategiassa tarkasteltu skenaarion on niin sanottu politiikkaskenario, jossa arvioidaan mahdollisia uusia poliittisia toimenpiteitä päästöjen pienentämiseksi ja niiden aikaansaamia vaikutuksia.

Kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan kuuluvan perusskenaarion eli WEM-skenaarion (With Existing Measures) mukaan vuonna 2030 sähköautoja olisi Suomessa liikenteessä 120 000 kappaletta mikä vastaisi noin 4 % osuutta koko maan silloisesta henkilöautokannasta. Saman skenaarion mukaan sähköautoja olisi vuonna 2050 liikenteessä 593 000 kappaletta, mikä vastaisi reilua 17 % silloisesta autokannasta. Tällaisen sähköautojen määrän kehityksen seurauksena sähköautokanta vaatisi vuonna 2030 vuositasolla 350 GWh sähköenergiaa, ja vastaavasti vuonna 2050 1 330 GWh, tarkastelussa on siis oletettu sähköautojen energiatehokkuuden kasvavan melko merkittävästi kyseisellä tarkasteluvälillä. (TEM 2016, 21).

Perusskenaariossa odotetaan, että vuoteen 2030 mennessä saavutetaan 43 % päästöjen vähennystavoitteet vuoden 1990 tasosta, joten perusskenaarion tarkastelussa käytettäväksi päästökertoimeksi sähköntuotannolle on nyt asetettu kappaleessa 3.2 mainitun mukainen ominaispäästökerroin eli 129 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh.

Kansallisen energia- ja ilmastostrategian politiikka- eli WAM-skenaarion (With Additional Measures) mukaan energiateollisuuden kasvihuonekaasupäästöt vähenisivät vuoden 2014 tasosta 35,6 % vuoteen 2030 mennessä. Tällöin sähkönhankinnan ominaispäästökseksi tulisi noin 119 kgCO<sub>2</sub>-ekv (TEM 2017, 162).

Politiikkaskenaario poikkeaa perusskenaariosta siltä osin, että siinä oletetaan tapahtuvan lisätoimia päästöjen hillitsemiseksi, kun perusskenaariossa huomioitiin vain jo päätetyt ilmastotoimet. Näitä lisätoimia olisivat kansalliset ja EU-tasoiset toimet joilla tuettaisiin mm. biopolttoaineiden käyttöä ja tuulisähkön rakentamista sekä käytettäisiin joustomekanismeja, ja näillä tavoin muutetaan energian tuotanto- ja kulutusrakennetta (Huttunen (toim.) 2017, 91). Päästökaupan vaikutukset on huomioitu molemmissa skenaarioissa.

## **5.1 Skenaarioiden tulokset**

Taulukossa 1 esitetään kasvihuonekaasupäästöjen muutos vuositasolla yksikössä kg CO<sub>2</sub>-ekv. tilanteessa, jossa perusskenaarion ennusteet toteutuvat. Taulukoiden alussa on ensin koottu sähköautojen valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Niiden jälkeen ovat vastaavat luvut polttomoottoriautoille tilanteessa, jossa sähköautojen sijaan polttomoottoriautojen määrä kasvaisi samalla tavalla. Lopussa on autotyyppien kokonaispäästöjen erotus, jotta saadaan selville se, kuinka paljon sähköautoilua lisäämällä voitaisiin vaikuttaa päästöjen määrään. Eli Suomessa olisi liikenteessä 120 000 sähköautoa ja niiden vaatiman sähköenergian määrä olisi 350 GWh. Sähköautojen valmistuksen lisäksi taulukossa esitetään myös polttomoottorilla varustettujen autojen valmistuksesta aiheutuvat päästöt, jotta saamme selville kuinka paljon sähköautojen valmistus tuottaa päästöjä verrattuna polttomoottoriautoihin. Käytännössä siis oletetaan, että uusia autoja valmistetaan joka tapauksessa 120 000 kappaletta ja ne ovat joko sähköautoja tai polttomoottoriautoja. Jotta vuoteen 2030 mennessä liikenteessä olisi 120 000 sähköautoa, pitäisi vuotuinen lisäys vuoden 2016 noin 1600 sähköauton määrään olla siitä seuraavan 14 vuoden aikana keskimäärin 8500 uutta sähköautoa vuosittain (TEM 2016, 21). Taulukossa siis esitetään myös se tilanne, jossa sähköautojen tilalla olisi liikenteessä 120 000 polttomoottorilla varustettua autoa.

Sähkönhankinnan päästöissä käytetään aiemmin mainittuja energiastrategian mukaisia vuoden 2030 päästökertoimia.

**Taulukko 1.** Perusstrategian mukainen tilanne vuonna 2030.

<b>Päästölähde</b>	<b>Määrä</b>	<b>Ominaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>Kokonaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>
Sähköautojen valmistus	8 500 uutta autoa vuosittain	5 791 kg / auto	49 139 t
Sähköautojen vaatima sähkönhankinta	350 GWh vuosittain	129 000 kg / GWh	45 150 t
Sähköautojen päästöt yhteensä			<b>94 289 t</b>
Polttomoottoriautojen valmistus	8 500 uutta autoa vuosittain	4 166 kg / auto	35 411 t
Polttomoottoriautojen liikennepäästöt	Liikenteessä 120 000 polttomoottoriautoa	2 380 kg/auto	285 600 t
Polttomoottoriautojen päästöt yhteensä			<b>321 011 t</b>
Päästöjen erotus			<b>226 722 t</b>

Taulukossa 2 on suoritettu vastaavanlainen laskenta käyttäen pohjana valtioneuvoston tavoitetta, jonka mukaan vuonna 2030 liikenteessä olisi 250 000 sähköautoa (Huttunen (toim.) 2017, 59). Tällöin vuotuinen lisäys sähköautokantaan olisi vuoden 2016 tasosta keskimäärin noin 17 700 uutta sähköautoa vuosittain ja sähköautojen kuluttama sähköenergian määrä olisi 730 GWh.

**Taulukko 2.** Valtioneuvoston sähköautojen tavoitetaso vuonna 2030 perusskenaarion mukaisesti.

<b>Päästölähde</b>	<b>Määrä</b>	<b>Ominaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>Kokonaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>
Sähköautojen valmistus	17 700 uutta autoa vuosittain	5 791 kg / auto	102 500 t
Sähköautojen vaatima sähkönhankinta	730 GWh	129 000 kg / GWh	94 170 t
Sähköautojen päästöt yhteensä			<b>196 670 t</b>
Polttomoottoriautojen valmistus	17 700 uutta autoa vuosittain	4 166 kg / auto	73 738 t
Polttomoottoriautojen liikennepäästöt	Liikenteessä 250 000 polttomoottoriautoa	2 380 kg/auto	595 000 t
Polttomoottoriautojen päästöt yhteensä			<b>668 738 t</b>
Päästöjen erotus			<b>472 068 t</b>

Vertailun vuoksi taulukossa 3 esitetään taulukon 1 mukaisen perusstrategian tilanne sellaisessa tilanteessa, jossa energiantuotannon ja sähkönhankinnan ominaispäästöjen vähennykset eivät toteutuisi vaan jäisivät vuoden 2015 tasolle.

**Taulukko 3.** Perusstrategian mukainen tilanne vuonna 2030 vuoden 2015 ominaispäästötasolla.

<b>Päästölähde</b>	<b>Määrä</b>	<b>Ominaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>Kokonaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>
Sähköautojen valmistus	8 500 uutta autoa vuosittain	5 791 kg / auto	49 139 t
Sähköautojen vaatima sähkönhankinta	350 GWh vuosittain	184 000 kg / GWh	64 400 t
Sähköautojen päästöt yhteensä			<b>113 539 t</b>

Polttomoottoriautojen valmistus	8 500 uutta autoa vuosittain	4 166 kg / auto	35 411 t
Polttomoottoriautojen liikennepäästöt	Liikenteessä 120 000 polttomoottoriautoa	2 380 kg/auto	285 600 t
Polttomoottoriautojen päästöt yhteensä			<b>321 011 t</b>
Päästöjen erotus			<b>207 472 t</b>

Politiikkaskenaarion mukaiset kasvihuonekaasujen vähentämismahdollisuudet on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Taulukossa 4 sähköautokannaksi on asetettu baselikehityksen mukainen 120 000.

**Taulukko 4.** Politiikkastrategian mukainen tilanne vuonna 2030.

<b>Päästölähde</b>	<b>Määrä</b>	<b>Ominaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>Kokonaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>
Sähköautojen valmistus	8 500 uutta autoa vuosittain	5 791 kg / auto	49 139 t
Sähköautojen vaatima sähkönhankinta	350 GWh vuosittain	119 000 kg / GWh	41 650 t
Sähköautojen päästöt yhteensä			<b>90 789 t</b>
Polttomoottoriautojen valmistus	8 500 uutta autoa vuosittain	4 166 kg / auto	35 411 t
Polttomoottoriautojen liikennepäästöt	Liikenteessä 120 000 polttomoottoriautoa	2 380 kg/auto	285 600 t
Polttomoottoriautojen päästöt yhteensä			<b>321 011 t</b>
Päästöjen erotus			<b>230 222 t</b>



Taulukossa 5 on suoritettu edellisen mukainen tarkastelu, mutta nyt sähköautokannan kokona käytetään valtioneuvoston tavoitetta eli 250 000 sähköautoa. Tämä sähköautokanta on sikäli osuvampi vertailuluku, sillä politiikkaskenaariossahan oletetaan tapahtuvan lisää poliittisia toimenpiteitä, joita aiemmin mainitusti muutenkin tarvitaan, jotta saavutetaan valtioneuvoston tavoittelema sähköautokannan taso.

**Taulukko 5.** Valtioneuvoston sähköautojen tavoitetaso vuonna 2030 politiikkaskenaarion mukaisesti.

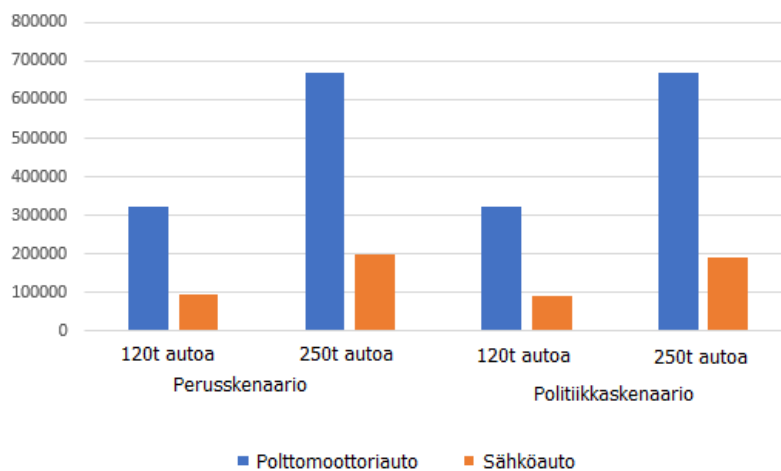
<b>Päästölähde</b>	<b>Määrä</b>	<b>Ominaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>Kokonaispäästö CO<sub>2</sub>-ekv.</b>
Sähköautojen valmistus	17 700 uutta autoa vuosittain	5 791 kg / auto	102 500 t
Sähköautojen vaatima sähkönhankinta	730 GWh	119 000 kg / GWh	86 870 t
Sähköautojen päästöt yhteensä			<b>189 370 t</b>
Polttomoottoriautojen valmistus	17 700 uutta autoa vuosittain	4 166 kg / auto	73 738 t
Polttomoottoriautojen liikennepäästöt	Liikenteessä 250 000 polttomoottoriautoa	2 380 kg/auto	595 000 t
Polttomoottoriautojen päästöt yhteensä			<b>668 738 t</b>
Päästöjen erotus			<b>479 368 t</b>

## 5.2 Tulosten analysointi

Eri skenaarioista riippuen sähköautoilua lisäämällä voitaisiin vähentää tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä noin 226 000 – 480 000 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalentin verran, mikä vastaa vuoden 2015 henkilöautoliikenteen päästötasoon verrattuna noin 3,6 – 7,6 % vähennystä, päästömäärät on koottu kuvaan 4. Jos autojen valmistuksesta seuraavat päästöt jätettäisiin huomioimatta eli huomioitaisiin vain liikennekäytöstä aiheutuvat päästöt, niin parhaimmillaan saataisiin 508 000 tonnin CO<sub>2</sub>-ekvivalentin vähennys

(taulukko 5), mikä vastaisi 8 % vähennystä henkilöautoliikenteen päästöihin. Tieliikenteen kokonaispäästöihin verrattuna vähennys olisi 4,1 %.

Suurimmat päästövähennykset vuoteen 2030 mennessä saataisiin ilmastollisia lisätoimia sisältävän politiikkaskenaarion mukaan samalla, kun päästäisiin valtioneuvoston tavoitteeksi asettaman 250 000 sähköauton autokantaan, tämän tilanteen mukaiset tulokset näkyvät taulukossa 5. Taulukoihin kootuista luvuista näemme, että sähköautokannan 2,083-kertaistuessa 120 tuhannesta 250 tuhanteen valmistuksesta tulevat päästölisäykset verrattuna polttomoottoriautoihin lisääntyvät 2,095-kertaisiksi



**Kuva 4.** Polttomoottori- ja sähköautojen päästömäärät tonneina CO<sub>2</sub>-ekv.

mutta liikennekäytön päästöjen aleneman suhdeluku on pienempi sen jäädessä 2,083-kertaiseksi. Tällöin kokonaispäästöjen alenemakin jää suhdelukua pienemmäksi eli 2,082-kertaiseksi. Joten sähköautokannan kasvattaminen ei vähennä kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista täysin lineaarisesti, mutta erot siihen jäävät pieniksi.

Taulukoista 1, 3 ja 4 näemme selkeästi sähkönhankinnan päästöjen vaikutuksen sähköautoilun päästöihin. Sähkönhankinnan ominaispäästön pudotessa 30 % (Taulukot 3 ja 1) sähköautoilulla saatava päästövähennys kasvaa 9 %, ja ominaispäästöjen pudotessa 35,6 % (taulukot 3 ja 4) saatava päästövähennys kasvaa noin 11 %.

Päästöjen vähentämisen tarkastelu polttomoottoriautoihin verrattuna on kuitenkin epätarkka, sillä tarkastelussa ei ole huomioitu bensiniin sekoitettavan bioetanolin määrän

lisäystä, biodieselin tai muiden biopolttoaineiden yleistymistä, mitkä pudottaisivat polttomoottoriautojen kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi aiemmin mainittu autokannan uusiminen voisi tuoda pidemmällä aikavälillä huomattavat vähennyksen autojen päästökertoimiin. Mutta pitää kuitenkin muistaa että, esimerkiksi bensiinin etanolipitoisuuden lisääminen 10 %:iin tilavuudesta vastaisi vain 7,7 % energiasisällöstä, mikä johtaa siihen, että samaan kilometrimäärään tarvitaan suurempi määrä polttoainetta, eli päästöt eivät siltikään vähenisi samalla suhteella kuin millä etanolia lisätään polttoaineeseen (TEM 2017, 93). Sen sijaan taulukoissa on käytetty vuoden 2016 tilannetta asioiden yksinkertaistamiseksi. Joten päästövähennyksiksi saatuihin lukuihin ei tule luottaa täysin sellaisinaan vaan ne antavat arvion siitä minkä suuntaisia henkilöautoliikenteen päästöjen muutokset voisivat olla ja kuinka paljon eri skenaarioiden välillä olisi eroja sähköautoilun kohdalla.

Toisaalta päästövähennyspotentiaalia lisäisi se, jos sähköautoilla korvautuisi pääosin taajamaliikenteessä olevia autoja. Taajamaliikenne on maantieliikenteeseen verrattuna enemmän päästöjä kilometrejä kohti aiheuttavaa. Nyt tarkastelussa käytettiin polttomoottoriautoille päästökerrointa, joka perustuu Suomalaiseen keskiverto autoon, jonka liikennesuoritteesta 27 % tapahtui taajama-ajona. Jos olisi oletettu taajama-ajon osuudeksi vaikkapa 50 % niin kilometrikohtainen päästö kerroin nousisi 152 grammasta 168 grammaan CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. Tämä muutos johtaisi huomattavasti suurempaan kasvihuonekaasujen vähennyspotentiaaliin sähköautoilua lisäämällä.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Sähköautoilun lisäämisen parhaimmillaan tuoma 480 000 tonnin CO<sub>2</sub>-ekvivalentin vähennys vastaa koko taakanjakosektorin eli päästökaupan ulkopuolisen sektorin aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä 1,5 %, kun lukua verrataan vuoden 2016 päästömäärään eli 31,3 miljoonaa tonniin CO<sub>2</sub>-ekv. Kokonaispäästöihin verrattuna taas vähennys olisi vain 0,8 % vuoden 2016 päästötason ollessa 58,8 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. Taakanjakosektorin päästöjen vähentämistavoite vuoteen 2030 mennessä on 39 % vuoden 2005 tasosta (Huttunen (toim.) 2017, 31). Vuoteen 2016 mennessä päästökaupan ulkopuoliset päästöt olivat pudonneet jo 4 900 000 tonnia CO<sub>2</sub>-ekv., mikä vastaa 14 % vähennystä vuoden 2005 tasosta, joten vähennystarvetta on vielä 9 200 000 tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. vuosina 2016-2030 eli 29 % vuoden 2016 tasosta. (Suomen virallinen tilasto 2017b.)

Pelkästään sähköautoilua lisäämällä voitaisiin siis toteuttaa 5,2 % osuus kyseisestä vähennystarpeesta. Sillä kotimaan liikenne (pl. lentoliikenne) vastaa noin kolmasosaa taakanjakosektorin päästöistä ja tieliikenne vastaavasti aiheuttaa leijonanosan liikenteen päästöistä, niin täytyy tulla siihen lopputulokseen, että pelkällä tavoitellulla sähköautoilun lisäämisellä ei päästövähennystavoitteisiin päästä. (Suomen virallinen tilasto 2017b) (VTT 2016b.)

Jos verrataan kasvihuonekaasupäästöjen 4,1 % vähennystä tieliikenteessä jonkin Suomea suuremman maan, kuten Saksan tieliikenteen 117 miljoonan tonnin CO<sub>2</sub>-ekv. päästötasoihin, kasvihuonekaasupäästöjä saataisiin vähennettyä 4,8 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv., mikä on suuruudeltaan miltei yhtä suuri kuin Suomen koko henkilöautoliikenteen päästöt (Appunn 2017). Vastaavasti Euroopan unionin tasolla tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat 764 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. (European environment agency 2017). Tällöin, jos koko EU:n tieliikenteen päästöt pienenisivät samat 4,1 % olisi vähennys peräti 31,3 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv., joka olisi Suomen 58,8 miljoonan tonnin CO<sub>2</sub>-ekv. kokonaispäästöihin verrattuna yli puolet. Suomessa toteutuva 480 000 tonnin CO<sub>2</sub>-ekv. päästövähennys taas vastaisi määrältään jossain pienemmässä EU-maassa, kuten esimerkiksi Latviassa, paikalliseen päästötasoon verrattuna 4,1 % vähennystä kokonaiskasvihuonekaasupäästöihin (Eurostat 2017).

Tarkastelemalla sähköautojen valmistuksen päästöjä voidaan päätellä, että jos Suomen sähköautokanta on pääosin ulkomailla valmistettua, niin melko iso osa päästöistä ulkoistetaan valmistusmaahan ja juurikin ne osat päästöistä, jotka ovat sähköautoilulla suuremmat kuin polttomoottoriautoilla. Toisaalta vaikka valmistusmaan kasvihuonekaasupäästöt kasvaisivat, niin samalla muut ympäristövaikutukset kuten ympäristön happamoituminen ja vesistöjen rehevöityminen vähenisi alueella, jos sähköautotuotanto korvaa polttomoottoriautojen valmistusta. Tosin nämä positiiviset vaikutukset koskevat vain täyssähköautoja, sillä hybridautojen todettiin lisäävän näitä muita ympäristövaikutuksia enemmän kuin kaksi muuta vaihtoehtoa.

Käsittelemättä jätetyistä elinkaaren lopun päästöistä voidaan todeta ainakin se, että sähköautojen voimakkaasta kasvusta johtuva ajoneuvoakkujen lisääntyminen ei välttämättä aiheuttaisi Suomessa mahdotonta kuormaa ympäristölle, sillä ainakin vuonna 2016 ajoneuvoakkujen kierrätysaste oli lähes 80 %, mikä on reilusti korkeampi kuin kaikkien akkujen ja paristojen keskimääräinen kierrätysaste, joka oli 46 %. (Pirkanmaan ELY-keskus 2017).

## 7 YHTEENVETO

Sähköautoilun voimakkaalle lisääntymiselle tulevina vuosina on luotu edellytykset, mutta vielä ei olla sellaisessa tilanteessa, jossa sähköautojen määrän tavoitetaso saavutettaisiin nykyisillä toimenpiteillä. Sitä vastoin perusskenaarion mukainen sähköautokannan kasvu on vielä kaukana valtioneuvoston asettamasta 250 tuhannen sähköauton tavoitteesta. Lisätoimenpiteitä siis tarvitaan siihen, että tässä työssä suoritetun tarkastelun tuloksena päädyttyihin päästövähennysmahdollisuuksiin edes päästäisiin.

Sähköautoilua lisäämällä siis kyettäisiin vähentämään tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2030 mennessä kohtuullisesti. Tässä työssä selville saatu karkea kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspotentiaali tarkastelluilla valtioneuvoston sähköautoilutavoitteilla ei yksin vielä riitä ratkaisemaan Suomen päästövähennystavoitteita päästökaupan ulkopuolisella taakanjakosektorilla. Tieliikenne muodostaa merkittävän osan kyseisestä sektorista ja tästä syystä tieliikenteeseen kohdistuu suuret paineet, jotta päästövähennystavoitteet saavutettaisiin.

Sähköautojen valmistuksesta aiheutuvat päästöt olivat merkittävästi korkeammat kuin polttomoottorilla varustettujen autojen, mutta käytönvaiheen pienemmät päästöt taas olivat suuruusluokaltaan niin ratkaisevat, että valmistuksen päästöt jäivät niiden varjoon. Sähköntuotannon vihertymisellä on siis hyvin suuri vaikutus siihen minkälaisiin lukemiin päästöjen vähentämismahdollisuudet lopulta asettuvat.

Sähköautoilun kasvulla voitaisiin hillitä myös muitakin ympäristöriskejä kuin kasvihuoneilmiötä, sillä ympäristöä pilaavaa ja ihmisten terveyteen negatiivisesti vaikuttavia ympäristöuhkia aiheuttavia päästöjä kyettiin pienentämään korvaamalla nykyistä autotuotantoa sähköautotuotannolla. Ylipäätään sähköautoilun päästöt keskittyvät pienemmille alueille kuin polttomoottoriautojen. Tämä johtuu siitä, että molemmilla autotyypeillä autotehtaat ja materiaalien hankinta ovat keskittyneitä ja sijaintipaikkaan sidottuja toimintoja, mutta pakokaasupäästöt aiheutuvat siellä missä autoilla ajetaan, usein ihmisten keskuudessa. Sähköautojen kohdalla taas myös käytönvaiheen päästöt ovat keskittyneitä, nimittäin nehan ovat sähköntuotantolaitoksien

sijaintipaikoihin sidottuja. Lisäksi sähköautoilu vähentäisi merkittävästi taajamien melusaastetta.

Kaiken kaikkiaan sähköautoilulla siis voitaisiin vähentää Suomen olosuhteissa kasvihuonekaasupäästöjä ja vaikka tästä seuraavat Suomen mahdolliset päästövähennykset eivät ehkä olekaan maailmanlaajuisessa tarkastelussa suuruusluokaltaan erityisen merkittäviä, niin samanlaisella suhteellisella päästöjen vähennyksellä globaalisti voisi olla melko suurikin merkitys taistelussa ilmastonmuutosta vastaan. Varsinkin, jos samalla sähköautoilua tukevat toimet, joista tärkeimpänä itse sähkön tuotanto, saadaan ilmaston kannalta kestävämmäksi muiden toimenpiteiden kuten yksityisautoilun vähentämisen ohella.

## LÄHTEET

ABB. 2016. Älykäs sähköverkko on energian internet - Kohti uusiutuvaa tuotantoa, luotettavaa jakelua ja energiatehokasta käyttöä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.11.2017]. Saatavissa:

[https://library.e.abb.com/public/08e1c4dbe70dc30cc1257dd500293bd5/Smart%20Grids\\_2015.pdf?filename=Smart%20Grids\\_2015.pdf](https://library.e.abb.com/public/08e1c4dbe70dc30cc1257dd500293bd5/Smart%20Grids_2015.pdf?filename=Smart%20Grids_2015.pdf)

Appunn Kerstine. 2017. Päivitetty 1.2.2017. Germany's greenhouse gas emissions and climate targets. [Cleanenergywire.org www-sivulta]. [Viitattu 2.12.2017]. Saatavissa: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets>

Azmi ja Tokai. 2016. Environmental Risk Trade-off for New Generation Vehicle Production: Malaysia Case. Journal of Sustainable Development. Vol. 9:6. S. 132-145. ISSN 1913-9063.

Buchmann, Isidor. 2016. Päivitetty 29.8.2017. Future batteries. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.11.2017]. Saatavissa:

[http://batteryuniversity.com/learn/article/experimental\\_rechargeable\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/experimental_rechargeable_batteries)

Dahllöf ja Romare. 2017. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries - A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles. IVL Swedish Environmental Research Institute. Report number C 243. ISBN 978-91-88319-60-9.

DeMorro Christopher. 2017. Lighter Batteries May Prove The Tipping Point For Electric Vehicles. [Cleantechnica.com www-sivulta]. [Viitattu 25.11.2017]. Saatavilla: <https://cleantechnica.com/2015/03/17/lighter-batteries-may-prove-tipping-point-electric-vehicles/>

European environment agency (EEA). 2017. Päivitetty 23.10.2017. Greenhouse gas emissions from transport. [EEA:n www-sivulta]. [Viitattu 2.12.2017]. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10>



Eurostat. 2017. Päivitetty 1.6.2017. Greenhouse gas emission statistics. [Eurostatin [www-sivulta](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics)]. [Viitattu 2.12.2017]. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics)

Genta et al. 2014. The Motor Car - Past, Present and Future. 1<sup>st</sup> ed. New York, USA: Springer. 662 s. ISBN 978-94-007-8551-9.

Hippinen ja Suomi. 2012. Yhteenvetojen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub> -päästökertoimet. [Motivan [www-sivulta](https://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf)]. [Viitattu 3.12.2017]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskentaohje\\_Yhteenvedot.pdf](https://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf)

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

Kallio ja Rissa. 2017. Liikenteen päästöjen vähentämiskeinot - Autoalan Keskusliitto ry:n ja Autotuojat ry:n lausunto parlamentaarille liikenneverkon rahoitusta arvioivalle työryhmälle. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 29.11.2017]. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/lvm-site62-mahti-portlet/download?did=233281>

Motiva, 2015. Kiinteistöjen latauspaikat -esiselvitys. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.11.2017]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/10869/Kiinteistojen\\_latauspaikat\\_-\\_esiselvitys.pdf](https://www.motiva.fi/files/10869/Kiinteistojen_latauspaikat_-_esiselvitys.pdf)

New Jersey Institute of Technology. 2017. 6 Important Components of Electric Cars. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.11.2017]. Saatavissa: <https://graduatedegrees.online.njit.edu/resources/msee/msee-articles/6-important-components-of-electric-cars/>

Nylund, Nils-Olof. 2011. Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 12/2011. S. 233. ISSN 1795-4045.

Pirkanmaan ELY-keskus. 2017. Päivitetty 7.7.2017. Paristo- ja akkutilastot. [Ympäristö.fi [www-sivulta](https://www.ymparisto.fi)]. [Viitattu 4.12.2017]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/fi->

[FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Jatetilastot/Tuottajavastuun\\_tilastot/Akku\\_ja\\_paristotilastot](#)

Salokoski, Pia. 2017. Tulevaisuuden energia 2030...2050. Tekesin katsaus. 332/2017. S. 37. ISSN 1797-7339.

Suomen ympäristökeskus. 2013. Päivitetty 9.10.2017. Suomen sähkönhankinnan päästöt elinkaarilaskelmissa. [Ympäristö.fi www-sivulta]. [Viitattu 21.11.2017].

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi->

[FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu/Sahkonhankinnan\\_paastot](#)

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2016. Päivitetty 2.11.2016. Sähkön ja lämmön tuotanto [Verkojulkaisu]. ISSN=1798-5072. 2015. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 3.12.2017]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/salatuo/2015/salatuo\\_2015\\_2016-11-02\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2015/salatuo_2015_2016-11-02_tie_001_fi.html)

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2017a. Moottoriajoneuvokanta. [Verkojulkaisu]. ISSN=1798-856X. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 30.11.2017]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/mkan/index.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2017b. Kasvihuonekaasut. [Verkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 30.11.2017]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/khki/index.html>

Trafi. 2018. Sähköauton hankintatuki. [Trafin www-sivulta]. [Viitattu 18.1.2018]. Saatavissa: [https://www.trafi.fi/oleedellakavija/tayssahkoauto/sahkoauton\\_hankintatuki](https://www.trafi.fi/oleedellakavija/tayssahkoauto/sahkoauton_hankintatuki)

Travelsmart. 2003. Development of the motor car and bicycle. [Travelsamrt.gov.au www-sivulta]. [Viitattu 24.11.2017]. Saatavissa: <http://www.travelsmart.gov.au/teachers/teachers6.html>

Turunen, Merja. 2013. Päivitetty 25.9.2017. Ilmastonmuutoksen hillitseminen. Ympäristöministeriö. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen)

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2016. 100-prosenttisesti uusiutuviin energialähteisiin perustuva energiajärjestelmä - Kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan liittyvä tarkastelu. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.11.2017]. Saatavissa: <http://tem.fi/documents/1410877/3570111/100+prosenttia+uusiutuvaa+tarkastelu.pdf/8e4ee341-77c5-4447-b6ce-1f2686a3daec>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Taustaraportti kansalliselle energia- ja ilmastostrategialle vuoteen 2030. [Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivulta]. [Viitattu 26.11.2017]. Saatavissa: [http://tem.fi/documents/1410877/3570111/Energia-+ja+ilmastostrategian+TAUSTARAPORTTI\\_1.2.+2017.pdf/d745fe78-02ad-49ab-8fb7-7251107981f7](http://tem.fi/documents/1410877/3570111/Energia-+ja+ilmastostrategian+TAUSTARAPORTTI_1.2.+2017.pdf/d745fe78-02ad-49ab-8fb7-7251107981f7)

U.S. energy information administration (EIA). 2017. Päivitetty 8.6.2017. How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned? [EIA:n www-sivulta]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=73&t=11>

van Vliet et al. 2011. Energy use, cost and CO<sub>2</sub> emissions of electric cars. Journal of Power Sources. Vol. 196:4. S. 2298-2310. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S037877531001726X>

VTT. 2016a. Päivitetty 16.6.2017. Suomen tieliikenteen päästöt vuonna 2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/perustulokset.htm>

VTT. 2016b. Päivitetty 16.6.2017. Suomen kotimaanliikenteen päästöt ja energiankäyttö vuonna 2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/kaikki/kaikki2016.htm>

VTT. 2017a. Päivitetty 16.6.2017. ALIISA autokantamallin tuloksia vuonna 2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: [http://lipasto.vtt.fi/aliisa/aliisa\\_tulokset.htm](http://lipasto.vtt.fi/aliisa/aliisa_tulokset.htm)

VTT. 2017b. Päivitetty 6.7.2017. Henkilöautot keskimäärin Suomessa vuonna 2016.

[Verkojulkaisu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa:

<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hakeskimaarin.htm>

VTT. 2017c. Päivitetty 6.7.2017. LIISA-päästölaskentamallin kuvaus.

[Verkkodokumentti]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa:

[http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa\\_menetelma.pdf](http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa_menetelma.pdf)