

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Toukokuu 2020

Brigitta Lehtiö

SÄHKÖISTETYT AJONEUVOT JA NIIDEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Toukokuu 2020 | 34 sivua

Brigitta Lehtiö

SÄHKÖISTETYT AJONEUVOT JA NIIDEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää sähköauton ja ladattavan hybridiajoneuvon todellinen CO₂-päästöhyöty. Työssä otetaan huomioon koko ajoneuvon elinkaari aina valmistuksesta kierrätykseen saakka. Sähköautoa vertaillaan perinteiseen polttomoottoriajoneuvoon ja molempien ajoneuvojen päästötekijät otetaan huomioon.

Alkuun selvennetään lyhyesti olemassa olevia sähköistettyjä ajoneuvoja sekä niiden eroja. Lisäksi otetaan huomioon ladattavien hybridien nykyinen päästöjen mittaustapa sekä sen todellisuus. Työssä tutustutaan myös sähköistettyjen ajoneuvojen akkuun, akun käyttöikänsä sekä latausvaatimuksiin. Lataushybridiesimerkissä on käytetty Turun ammattikorkeakoulun ajoneuvo- ja kuljetustekniikan opettajan Markku Ikosen vuosien varrelta keräämää tietoa hänen ladattavasta hybridiajoneuvostaan.

Sähköistettyjen ajoneuvojen todellinen päästöhyöty on hyvin kiistelty asia ja niiden todellista ympäristöystävällisyyttä edelleen tutkitaan sekä seurataan. Uusia kehitysideoita luodaan jatkuvasti, jotta ajoneuvoista saataisiin sekä ympäristö- että kuluttajaystävällisiä (muun muassa ajomatkojen suhteen). Markkinat näyttäisivät kaikesta kyseenalaistamisesta huolimatta edelleen vihreää valoa sähköistetyille ajoneuvoille.

ASIASANAT:

Päästömääritys, Hybridi, Sähköauto, WLTP

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

May 2020 | 34 pages

Brigitta Lehtiö

ELECTRIFIED VEHICLES AND THEIR ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS

The purpose of this thesis is to find out the real emission benefit of electric vehicle and a rechargeable hybrid vehicle. The whole life cycle of the vehicle from manufacturing to recycling is taken into account in the work. Both emission factors of electric and petrol vehicles are compared.

The introduction will provide a brief explanation of electrified vehicles and their variations. After which, the emission measurement method and how realistic it is to measure rechargeable hybrid vehicles will be discussed. Finally, it provides insight into the lifespan of electrified vehicle battery and its charging requirements. The example uses data of Markku Ikonen's (lecturer of automotive and engineering at Turku University of Applied Sciences) own hybrid vehicle which he has collected over the years.

The actual emission performance of electrified vehicles is a controversial issue. As such, its true extent of environmental friendliness is still being studied and monitored. New development ideas arise constantly to achieve vehicles that are both environmentally and consumer-friendly. Nevertheless, the market is still showing the green light for electrified vehicles.

KEYWORDS:

Emission Specification, Hybrid, Electric Vehicle, WLTP

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 SÄHKÖISTETYT AJONEUVOT	8
3 LADATTAVIEN HYBRIDIEN KULUTUS- JA CO₂- PÄÄSTÖMÄÄRITYS	12
3.1 WLTP-päästömittaus	12
3.2 Päästö- ja kulutusmääriksiin vaikuttavat tekijät	14
4 SÄHKÖISTETYN AJONEUVON AKUSTO	17
4.1 Sähköistetyn ajoneuvon lataus	17
4.2 Akkujen elinikä	18
5 SÄHKÖISTETTYJEN AJONEUVOJEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS?	23
5.1 Ajoneuvon valmistus	23
5.2 Sähkön ja polttoaineen tuottaminen	24
5.3 Auton käyttövaihe	26
5.4 Auton kierrätys	27
5.5 Sähköauto vs polttomoottoriauto	27
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34

KUVAT

Kuva 1. Täyssähköauto (BEV)	8
Kuva 2. Perinteinen hybridi (HEV)	9
Kuva 3. Ladattava hybridiauto (PHEV)	10
Kuva 4. Eri käyttövoiman ajoneuvoja	11
Kuva 5. WLTP-päästömittauksen muutokset	12
Kuva 6. WLTP-päästömittauksen muutokset NEDC:hen verrattuna	13
Kuva 7. Sähköntuotantotapojen osuudet eri maissa	25
Kuva 8. Sähköajoneuvon ja polttomoottoriajoneuvon CO ₂ -päästöjen kehitys	28

KUVIOT

Kuvio 1. Kulutuslaskentakaavan hyötykerroin (UF) sähköajomatkan funktiona	15
Kuvio 2. Lataushybridin painotettu kulutus- ja CO ₂ -arvo sähköajomatkan funktiona polttomoottorin kulutuksella 6,0 l/100 km	16
Kuvio 3. Akulla ajettavissa olevan km-määrän kehitys, kulutus 16,0–16,4 kWh/100 km	20
Kuvio 4. Akulla ajettavissa olevan km-määrän kehitys, kulutus 17,0–17,4 kWh/100 km	21
Kuvio 5. Akulla ajettavissa olevan km-määrän kehitys, kulutus 18,5–18,9 kWh/100 km	22

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

BEV	Battery Electric Vehicle; täyssähköajoneuvo.
CO ₂	Hiilidioksidi, polttoaineen hiilen täydellisen palamisen lopputuote, tärkein kasvihuonekaasu.
CV	Conventional Vehicle; polttomootoriajoneuvo.
ELV-lainsäädäntö	End of Life Vehicles; lainsäädäntö, joka säätelee autojen kierrätystä.
FCV	Fuel Cell Vehicle; polttokennoajoneuvo.
HEV	Hybrid Electric Vehicle; Hybridiajoneuvo, jota ei ladata ulkopuolelta.
NEDC	New European Driving Cycle; WLTP-päästötestin edeltäjä.
NiMH	Nikkelimetallihydridiakku, perinteisissä hybrideissä yleisin akkutyyppe.
PHEV	Plug in Hybrid Electric Vehicle, ladattava hybridiajoneuvo.
RDE	Real Driving Emissions; mittaustapa, jossa mitataan ainoastaan typen oksideja. Suoritetaan todellisessa liikenteessä.
Toimintamatka	Matka, jonka voi ajaa täyteen ladatulla sähköautolla ennen uutta latauskertaa. Todellinen ajomatka riippuu ajo-olosuhteista.
Type 2 -pistoke	Eurooppalaisissa ladattavissa autoissa käytetty vaihtovirtalatauksen pistoke.
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure; nykyinen päästömittausten menetelmä. NEDC:tä totuudenmukaisempi mittaust.

1 JOHDANTO

Sähköistetyt ajoneuvot yleistyvät vuosi vuodelta ja uusia ratkaisuja niiden toimintaan kehitetään jatkuvasti. Globaali ilmastonmuutos on kääntänyt ihmisten katseet tieliikenteessä syntyviin CO₂-päästöihin ja siten myös keinoihin niiden ratkaisemiseksi. Markkinoille onkin yhä enenevässä määrin tullut mitä erilaisimpia sähköistettyjä ajoneuvoja, joiden avulla pyritään ratkaisemaan bensiini- ja dieselmoottorien käytöstä aiheutuvia päästöhaittoja.

Ajoneuvojen päästöistä puhuttaessa huomio ei ole kuitenkaan ainoastaan käytön aikaisissa päästöissä, vaan tärkeä tarkkailukohde on käytetyn energian sekä auton koko elinkaari. Energian elinkaari sisältää käytön lisäksi sen tuotannon ympäristövaikutukset. Ajoneuvon elinkaari kattaa kaikki vaiheet aina auton valmistuksesta sen romuttamiseen asti. Ajoneuvon valmistusprosessi on erityisesti päästöjen kannalta tärkeä kohde. Sähköautoista puhuttaessa ovat valmistuksessa syntyvät päästöt huomattavasti korkeammat kuin keskiverto bensiini- tai dieselajoneuvolla. Nämä joudutaan ottamaan huomioon arvioitaessa sähköistettyjen ajoneuvojen todellista päästöhyötyä.

Tässä insinööriyössä tarkastellaan sähköistettyjen ajoneuvojen valikoimasta täyssähköautoa, ladattavaa hybridiä sekä perinteistä hybridiä. Työssä avataan lyhyesti mikä on täyssähköauto, perinteinen hybridi ja ladattava hybridi sekä mihin niiden toiminta perustuu. Tämän lisäksi tarkastellaan lähemmin ladattavien hybridien kulutusta ja CO₂-päästöjä sekä sitä miten ne määritellään virallisesti. Käsiteltäväksi ja huomioon otetaan myös se, miksi todelliset lukemat eroavat virallisista lukemista ja mihin eroavaisuudet perustuvat.

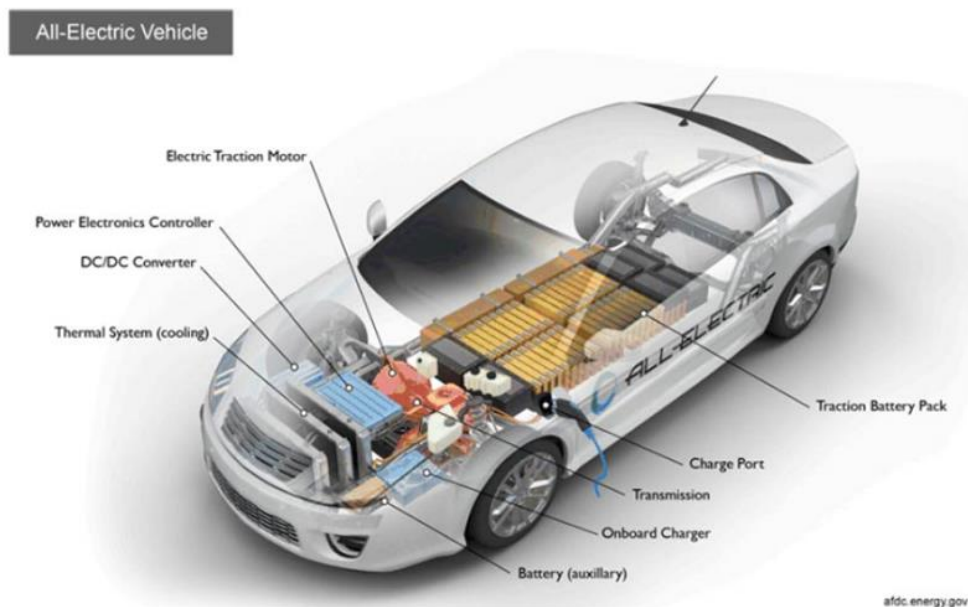
Insinööriyössä käsitellään ladattavan hybridin akun energianvarastointikyvyn muutosta vuosien saatossa. Työ sisältää myös osion, joka käsittelee sähköistettyjen ajoneuvojen akkua. Tässä osiossa tulee ilmi sähköistettyjen ajoneuvojen akun latausvaatimukset sekä käyttöikään vaikuttavat tekijät.

Sähköauton todellinen ympäristöystävällisyys todetaan päästömäärityksen avulla, jossa päästölukemiin lasketaan mukaan kaikki tuotetut päästöt ajoneuvon valmistuksesta aina kierrätykseen asti.

2 SÄHKÖISTETYT AJONEUVOT

Tämän päivän sähköistetyillä ajoneuvoilla on monenlaisia ammattikielen nimityksiä. On hybridejä (HEV), ladattavia hybridejä (PHEV), täyssähkö- (BEV) ja polttokennoautoja (FCV). Eri toimintatavoistaan huolimatta kaikki nämä ajoneuvot ovat sähköistettyjä ajoneuvoja. Ne siis liikkuvat joko osittain tai kokonaan sähkömoottorilla. (Drivingelectric 2018.)

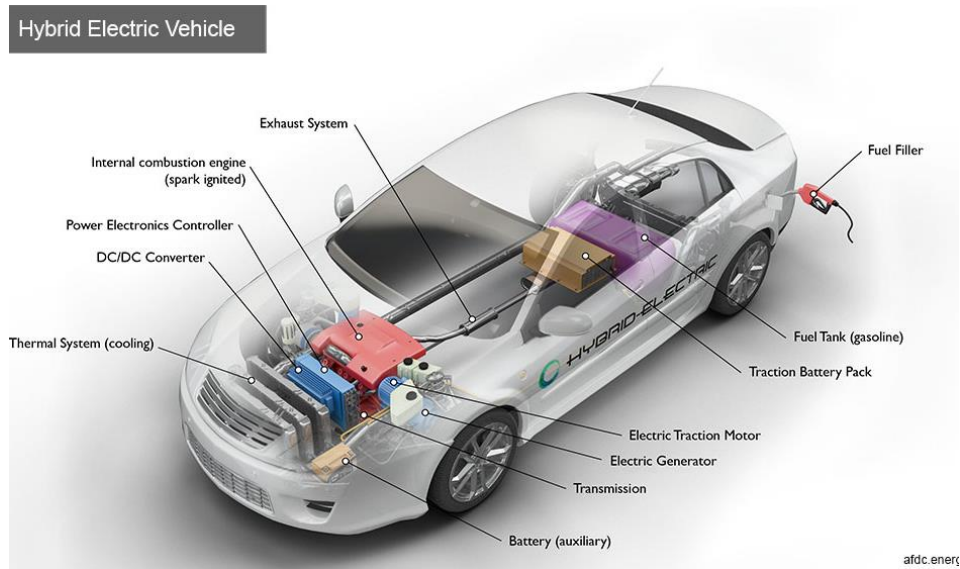
Täyssähköauton (kuva 1) voimansiirto perustuu nimensä mukaisesti sähkömoottoriin ja akustoon. Täyssähköautossa ei siis ole polttomoottoria vaan ajoneuvo saa käyttöönsä pelkästään sähköä. Täyssähköautoa on ladattava ulkoisesti. (Afdc.energy 2019.)



Kuva 1. Täyssähköauto (BEV) (Afdc.energy 2019).

Täyssähköauto kulkee sähköön voimalla, joten kuvasta voidaan havaita polttomoottorin sekä polttoainetankin puuttuminen. Auton keskiosassa sijaitsevat akkukennot eli Traction Battery Pack. Ne on merkitty kuvaan oranssilla ja ne jatkuvat aina auton takapyörien kohdalta melkein etupyöriin saakka. Perinteisen polttomoottorin tilalla on Electric Traction Motor eli sähkömoottori. Sähköautosta löytyy myös paikka latauspistokkeelle (Charge Port).

Perinteinen hybridi (kuva 2) sen sijaan sisältää niin sähkömoottorin kuin polttomoottorinkin. Tätä hybridityyppiä ei tarvitse eikä voi ladata erikseen. Akut latautuvatkin yleensä polttomoottorin ollessa käytössä sekä ajoneuvoa jarrutettaessa. (Afdc.energy 2019.)



Kuva 2. Perinteinen hybridi (HEV) (Afdc.energy 2019).

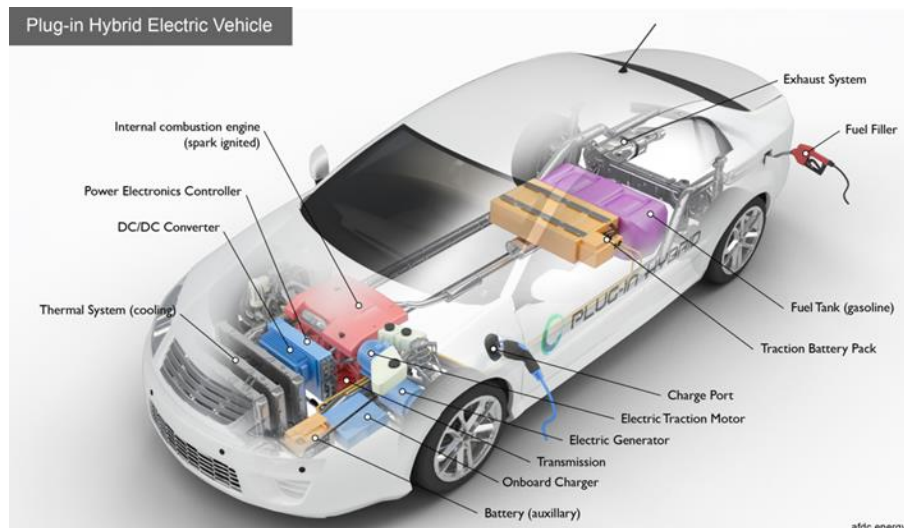
Perinteisessä hybridissä on niin polttomoottori (Internal Combustion Engine) kuin sähkömoottori (Electric Traction Motor). Kuvasta voidaan havaita, että auton takaosassa on sähköauton tavoin akusto (Traction Battery Pack), mutta sähköautoon verrattuna tämä on kooltaan hyvin paljon pienempi. Toisin kuin sähköautolla, perinteisestä hybridistä löytyy myös polttoainetankki (Fuel Tank). Perinteistä hybridiä ei voi ladata sähköllä ajoneuvon ulkopuolelta, joten ajoneuvosta ei löydy latauspistokkeen paikkaa.

Perinteisistä hybrideistä on olemassa niin sanottuja kevyitä sekä täysyhybridejä. Täysyhybridejä voidaan kutsua myös itselataaviksi hybrideiksi. Täysyhybridillä on mahdollista ajaa lyhyitä matkoja pelkän sähkömoottorin voimalla, mutta silloin puhutaan vain muutamien kilometrien matkoista. Itselatautuvat hybridit ovat yleensä parhaimmillaan kaupunkiajossa. (Autotalli 2019.)

Hybrideistä on olemassa myös kevyempi versio, jota kutsutaankin kevythybridiksi. Kevythybridit ovat autoja, joilla on tyypillisesti pieni ajoakku sekä sähkömoottori, joka avustaa polttomoottoria liikkeellelähdyksissä. Kevythybridi ei kuitenkaan koskaan kulje pelkän sähkömoottorin voimin. Kevythybrideissä voimalinjan sähköistäminen kuitenkin mahdol-

listaa sen, että polttomoottori voidaan sammuttaa esimerkiksi liikennevaloihin hidastettaessa nopeuden ollessa jopa 30 km/h. Samalla voidaan osa auton liike-energiasta ottaa sähkönä talteen auton jarrutettaessa. (Autotalli 2019.)

Ladattavassa hybridissä (PHEV) on perinteisen hybridin tapaan niin sähkömoottori kuin polttomoottorikin. Nimensä mukaisesti tätä hybridiä voidaan ladata. Ladattavan hybridin lataus tapahtuu kuitenkin ulkoisesti niin kuin täyssähköautolla. Ladattavan hybridin sähkömoottorilla voidaan ajaa niin kauan kuin akkua riittää, jonka jälkeen polttomoottori hoitaa matkan loppuosuuden (aina seuraavan lataukseen saakka). Ladattava hybridi (kuva 3) on yleensä varustettu keskikokoisella litiumakulla, joka on liitetty sähkömoottoriin. (Drivingelectric 2018.)



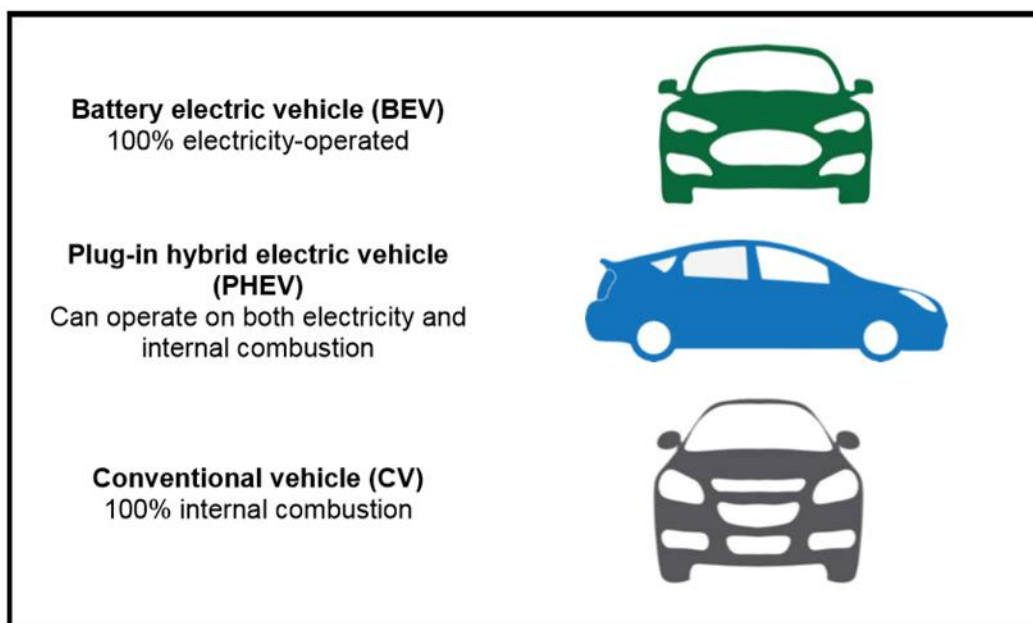
Kuva 3. Ladattava hybridiauto (PHEV) (Afdc.energy 2019).

Ladattavassa hybridissä on polttomoottori (Internal Combustion Engine) ja sähkömoottori (Electric Traction Motor) kuten perinteisessä hybridissä. Ero perinteiseen hybridiin voidaan nähdä akuston (Traction Battery Pack) suuremmassa koossa sekä siinä, että ajoneuvoa on mahdollista ladata ulkoisesti. Sähköauton tavoin ladattavassa hybridissä on paikka latauspistokkeelle, joka on tähän kuvaan merkattu ”charge point”. Kuvan tapauksessa polttomoottorina toimii bensiinikone.

Ladattavia hybridejäkin on kolme eri tyyppiä: sarjahybridi, rinnakkaishybridi sekä näiden yhdistelmä. Sarjahybridissä käyttövoima saadaan sähkömoottorilta, ja polttomoottorin tehtävä on ainoastaan pyörittää generaattoria sähkön tuottamiseksi. Polttomoottori ei siis ole mekaanisessa yhteydessä vetopyöriin. Kyseessä on ikään kuin sähköauto, jonka

toimintamatkaa voidaan pidentää polttomoottorin avulla ja tällaista ajoneuvoa kutsutaan myös range extender -autoksi. (Vihreäkaista 2015.)

Rinnakkaishybridi puolestaan käyttää sekä sähkömoottoria että polttomoottoria käyttövoiman lähteenä. Hieman autosta riippuen moottoreista toinen tai molemmat liikuttavat yhtä aikaa autoa. Hyvä esimerkki tyypillisestä rinnakkaishybridistä on nelivetorakenne, jossa etuakselille välitettävä voima saadaan polttomoottorista ja taka-akselille välitettävä voima puolestaan sähkömoottorista. (Vihreäkaista 2015.) Kuvassa 4 on nähtävissä kolme erilaista käyttövoimaa käyttävää ajoneuvoa.



Kuva 4. Eri käyttövoiman ajoneuvoja (Afdc.energy 2019).

Kuvassa ylin ajoneuvo edustaa täyssähköautoa (BEV), keskimäinen ladattavaa hybridiä (PHEV) ja alin ajoneuvo on polttomoottorilla varustettua perinteistä ajoneuvoa (CV). Kuten kuvasta nähdään, BEV on 100 % sähkötoiminen kun taas PHEV:n tapauksessa molemmat voimanlähteet, niin sähkö kuin polttoaine, ovat käytössä. CV:ssä eli perinteisessä polttomoottorissa, joka voi olla bensiini tai dieselkäyttöinen, ajoneuvo käyttää voimanlähteenään 100 % polttoainetta.

3 LADATTAVIEN HYBRIDIEN KULUTUS- JA CO₂-PÄÄSTÖMÄÄRITYS

3.1 WLTP-päästömittaus

Aiemmin käytössä olleen NEDC-testin (New European Driving Cycle) korvannut WLTP-päästömittaus (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) kuvaa edeltäjäänsä totuudenmukaisemmin ajo-olosuhteita sekä ajoneuvon käyttöä. Siinä missä NEDC-testin arvot on määritelty teoreettisen ajotavan mukaan, niin WLTP pohjautuu eri puolelta maailmaa kerättyyn todelliseen aineistoon. WLTP-mittauksen kulutus- ja hiilidioksidipäästöjen onkin havaittu olevan keskimäärin 20–30 % korkeammat NEDC-arvoihin verrattuna. CO₂-päästö on suoraan kulutuksesta riippuvainen, joten siihen ei voida vaikuttaa pakokaasun puhdistuksella. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.)

WLTP on jaettu neljään sykliin, joissa käytetään neljää eri keskinopeutta: hidas, keskinopea, nopea sekä erittäin nopea. Nopeudet kuvastavat hyvin kaupunki-, maaseutu- ja moottoritienopeuksia. Jokaisessa osassa on myös erilaisia ajovaiheita kuten pysähdyksiä, kiihdytyksiä ja jarrutuksia. (Traficom 2019.) Kuvassa 5 on nähtävissä ne WLTP-päästömittauksen tekijät, jotka tekevät siitä todennäköisemmän verrattuna NEDC-testiin.

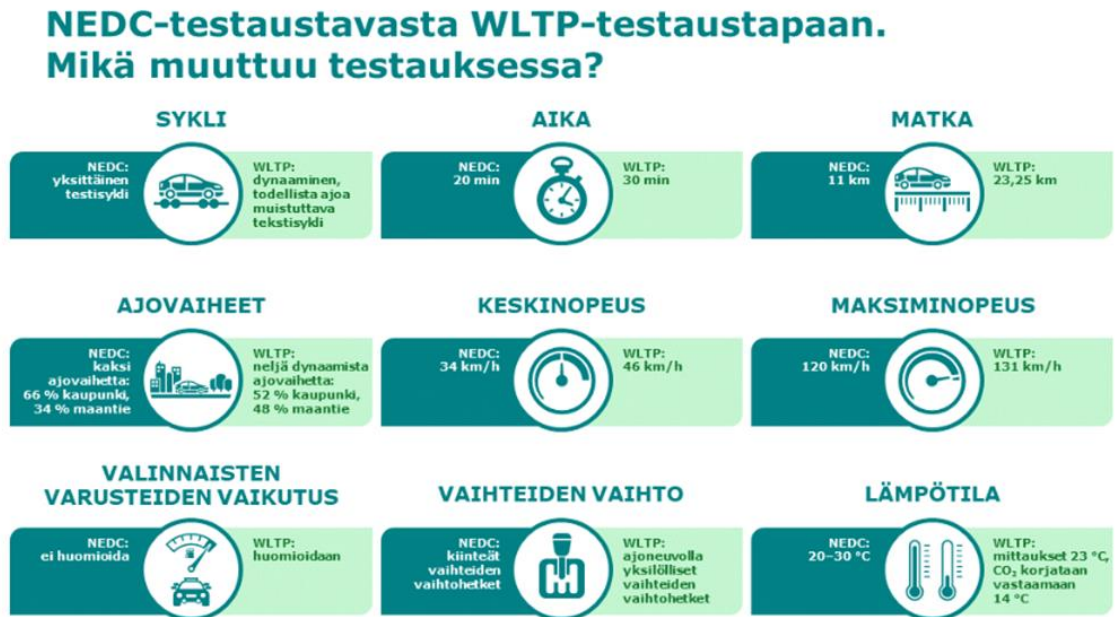
WLTP – todennäköisemmät testiolosuhteet



Uusi WLTP-päästömittaus tuottaa tarkemmat laskelmat kulutuksesta ja päästöistä. Testitulokset vastaavat paremmin todellisia kulutus- ja päästötietoja.

Kuva 5. WLTP-päästömittauksen muutokset (Traficom 2019).

Laboratoriotestin ensisijainen tarkoitus on antaa kuluttajille mahdollisuus luotettavaan CO₂-päästöjen ja polttoainetaloudellisuuden vertailuun eri automalleilla. Euroopan Unionin lainsäädäntö on asettanut standardeja sekä määritelmiä, joita tulee noudattaa ajoneuvon varustelussa aina testaukseen ja testaustulosten käsittelyyn saakka. Tällä tavalla mahdollistetaan yhtenäinen sääntö autonvalmistajien ja toimijoiden kesken. (Traficom 2019.) Kuva 6 osoittaa WLTP-testin erot edeltäjänsä NEDC:hen verrattuna.



Kuva 6. WLTP-päästömittauksen muutokset NEDC:hen verrattuna (Traficom 2019).

WLTP-arvot eivät kuitenkaan muuta auton polttoainetaloudellisuutta, vaikka automallin kilometrikohtaiset hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat kuin vanhalla mittauksella. Syynä hiilidioksidipäästöjen lisääntymiselle WLTP-testissä verrattuna NEDC-testiin on sen pitkäkestoisuus ja perusteellisuus. Tulokset ovat siis todenmukaisempia ja uuden testausmenetelmän mittaama CO₂-arvo vastaa paremmin todellisuutta. (Traficom 2019.)

WLTP-mittausjärjestelmän täydennykseksi otettiin syyskuussa 2017 lisäksi käyttöön RDE- (Real Driving Emissions) mittaus. RDE koskee ainoastaan typen oksidien mittausta. RDE pyrkii antamaan mahdollisimman totuudenmukaisen kuvan typenoksidipäästöistä. RDE-mittaus suoritetaan liikenteessä, käytännön olosuhteissa. EU onkin ensimmäisiä alueita maailmassa, joka otti käyttöön päästöjen tarkastelun todellisissa liikenneolosuhteissa. Poikkeuksena laboratoriotesteihin, RDE:tä ei voi toistaa useaan otteeseen, sillä mittaustulos olisi erilainen joka kerta. Niinpä RDE-testin tulos on joko hyväksytty tai hylätty. Testin raja-arvot ovat samat kuin Euro 6 -raja-arvot laboratoriomittauk-

sisä, mutta niihin on sovellettu korjauskertoimia. RDE-testi ei kuitenkaan vaikuta ajoneuvojen verotukseen, koska se ei virallisesti mittaa hiilidioksidia vaan typen oksideja ja pienhiukkasia. (Autoalan tiedotuskeskus 2019).

3.2 Päästö- ja kulutusmääriin vaikuttavat tekijät

Ladattavan hybridin sähköinen ajomatka vaikuttaa voimakkaasti sen polttoainekulutukseen ja CO₂-päästöarvoihin. Monesti virallisesta raportoinnista saadut arvot ovat melko optimistisia ja antavat hieman todellisuutta paremmat arvot. Todellisiin arvoihin vaikuttavia tekijöitä ovatkin ajoetäisyys, kuluttajien ajokäyttäytyminen, ympäristön lämpötila, ajoneuvon latauskäyttäytyminen sekä ajoneuvotyyppi. (Nieminen 2018.)

Lataamalla hybridi täysmääräisesti ja päivittäin saadaan autosta sen parhaat ominaisuudet esille. Oikein ladattuna ajamisesta tulee taloudellisempaa, se on ympäristöystävällisempää, sen ominaisuudet ovat käytössä täysmääräisinä (kiihtyvyys, hiljaisuus) sekä erilliset huoltoasemakäynnit vähenevät (kun auton lataa kotona). Ladattava hybridi mahdollistaakin täysin päästöttömän ajon kaupunkiajossa, sillä hybridin toimintamatka sähköllä on noin 20–80 km, tietysti automallista riippuen. Latauskäyttäytymisellä on suuri vaikutus, sillä (periaatteessa) ladattavassa hybridissä on mahdollista käyttää ainoastaan polttomoottoria ja tällöin eivät hybridiajoneuvonkaan päästöarvot vastaa annettuja arvoja, jotka perustuvat ahkeraan lataamiseen. (Vihreä käistä 2015.)

Suomessa säällä, erityisesti pakkasella, on iso vaikutus energiankulutukseen, sillä jo kymmenen asteen pakkasessa sähköauton energiankulutus lisääntyy n. 50 prosenttia. Suurin syy tähän on sisätilojen lämmitys (Nieminen 2018).

Lataushybridin virallinen WLTP-kulutusmäärittäminen olettaa, että autolla ajetaan enemmän kuin puolet kilometreistä sähköllä. Näin saattaa toisinaan ollakin, mutta ei aina. Sähkö- ja polttomoottorilla ajettavien kilometrien suhde riippuu käyttäjän latausaktiivisuudesta sekä akun mahdollistaman ajokilometrimäärän ylittävien matkojen määrästä, johon akun koko tietysti vaikuttaa. (ICCT 2017.)

Lainsäädäntöön valittu menettely saa kulutuslukemat näyttämään hämmästyttävän pieniltä, koska ne ovat yleensä alle 2 l/100 km. Vastaava CO₂-päästöarvo on alle 50 g/km. Koska sähkönkulutusta ei virallisissa kulutusarvoissa noteerata, sähköntuotannosta aiheutuva CO₂-päästö, joka voi vaihdella monikymmenkertaisesti sähköntuotantotavan mukaan, jää huomiotta. (ICCT 2017.)

Kulutusmääritys tehdään kaksivaiheisesti siten, että testi ajetaan akku täynnä sekä akku tyhjänä. Edellisessä tapauksessa kulutukseksi tulee nolla ja jälkimmäisessä polttomoottorin normaali kulutus ilman ladatun sähköän apua. Näiden perusteella lasketaan painotettu kulutus, josta laskentakaavan ansiosta tulee sitä pienempi, mitä suurempi on hybridiakku. Kaava siis olettaa, että sähköajon osuus kasvaa akun suurentuessa, mikä on loogista, mutta olettaa kaikkiaan sähköajon osuuden optimistisen suureksi. (ICCT 2017.)

Virallisen painotetun WLTP-kulutuksen laskentakaava on seuraava (ICCT 2017):

$$C = UF \cdot C_1 + (1 - UF) \cdot C_2$$

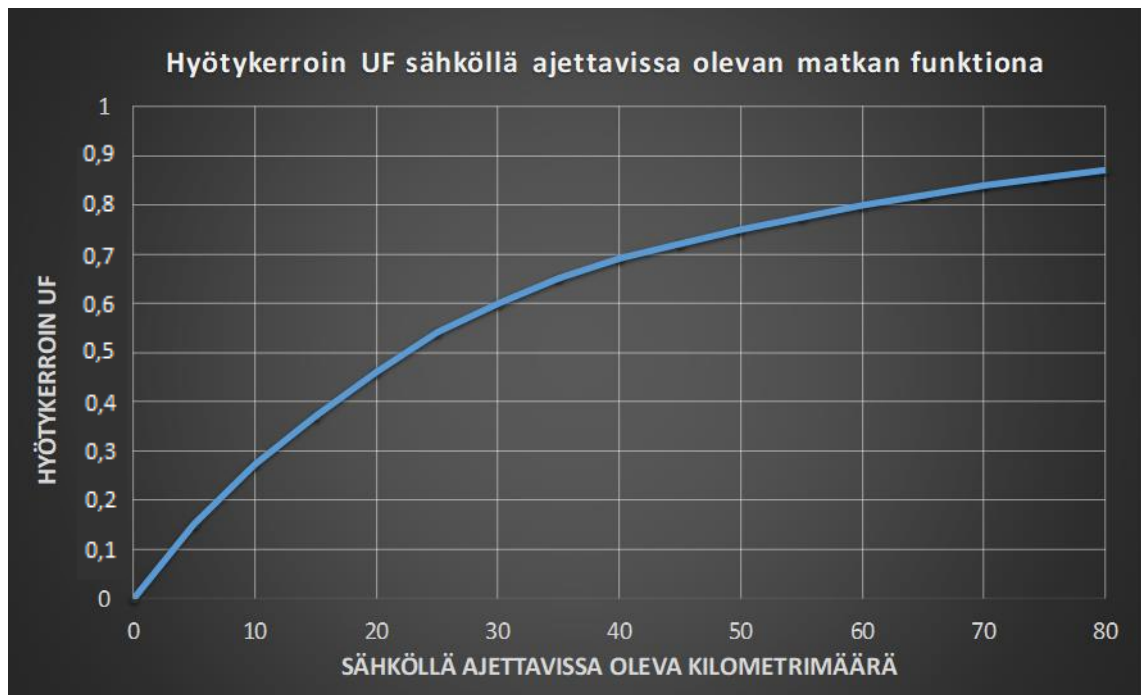
jossa C = painotettu kulutus [l/100 km]

C_1 = kulutus [l/100 km], kun testin alussa akku on täysi

C_2 = kulutus [l/100 km], kun testin alussa akku on tyhjä

UF = "utilty factor" eli hyötykerroin (sitä suurempi mitä suurempi on akku)

Hyötykerroimen (UF) riippuvuus sähköllä ajettavissa olevasta matkasta on esitetty alla kuviossa 1.



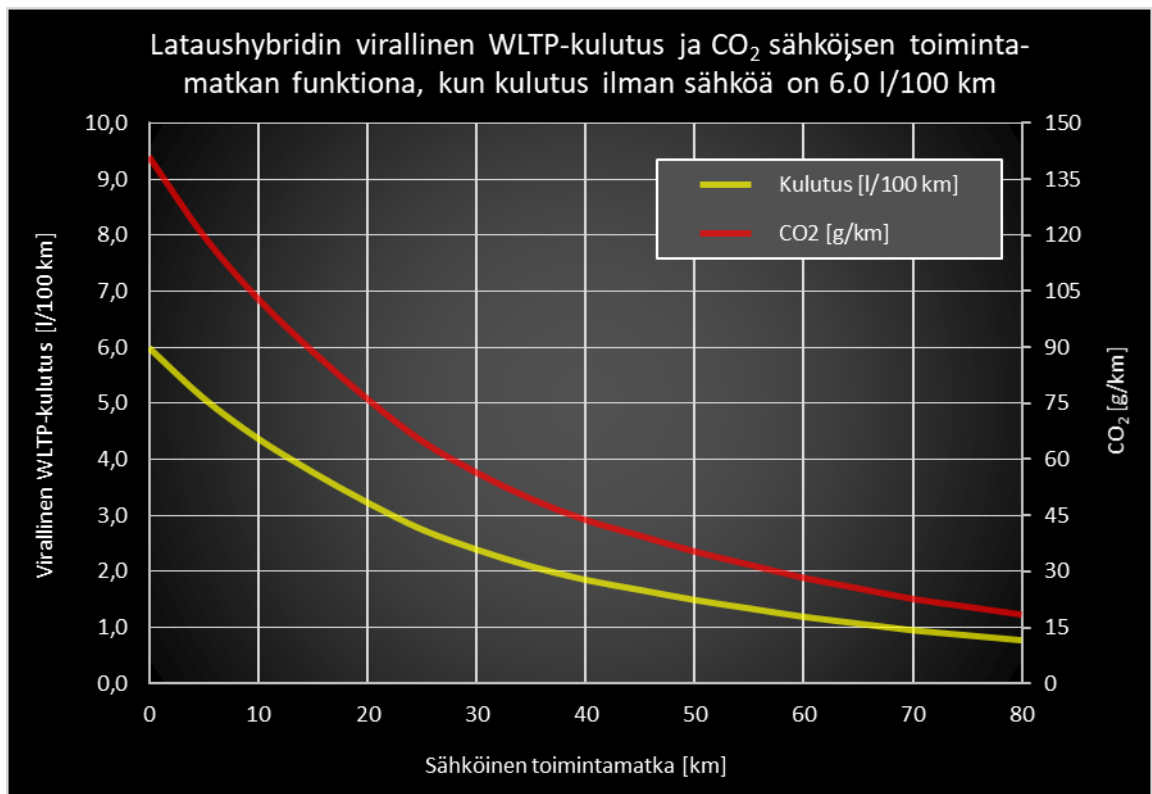
Kuvio 1. Kulutuslaskentakaavan hyötykerroin (UF) sähköajomatkan funktiona (Mukailen: ICCT 2017).

Kuvion 1 käyrästä huomataan, että jos sähköllä ajettavissa oleva ajomatka on nolla, myös kerroin $UF = 0$. Tällöin edellä esitetyllä laskentakaavalla kulutuslukemaksi tulee C_2 eli pelkän polttomoottorin kulutus, joka voisi olla esim. 6,0 l/100 km

Jos sähköllä ajettavissa oleva matka on 22,5 km, UF-kertoimen arvo on kuvion 1 mukaisesti 0,50. Tästä seuraa, että tämänkokoisella akulla laskentakaava antaa painotetuksi kulutukseksi puolet polttomoottorin kulutuksesta eli 3,0 l/100 km.

Jos sähköllä ajettavissa oleva matka on yli 22,5 km, kuvion 1 mukaan UF-kertoimen arvo kasvaa suuremmaksi kuin 0,50. Tällöin painotetuksi kulutukseksi tulee alle puolet polttomoottorin kulutuksesta ja tulos on sitä pienempi mitä pitempi on sähköllä ajettavissa oleva matka. Kuvion 1 suurimmalla sähköajomatalla (80 km) UF-kertoimen arvo on 0,87, jolla laskien painotetuksi kulutukseksi tulee 0,8 l/100 km polttomoottorin kulutuksella 6,0 l/100 km.

Painotetun kulutuslukeman riippuvuus sähköllä ajettavissa olevasta matkasta sekä vastaava CO_2 -päästö on esitetty kuviossa 2 polttomoottorin kulutuksella 6,0 l/100 km.



Kuvio 2. Lataushybridin painotettu kulutus- ja CO_2 -arvo sähköajomatkan funktiona polttomoottorin kulutuksella 6,0 l/100 km.

4 SÄHKÖISTETYN AJONEUVON AKUSTO

Nykyaikaisissa täyssähköautoissa ja ladattavissa hybridautoissa käytetään litiumpohjaisia ajoakkuja. Litiumakun energiasisällön suhde massaan on korkein, mikä tekee siitä markkinoiden parhaan puhuttaessa akkutekniikasta. Litiumakkukemioita on useita erilaisia, minkä lisäksi eri kennovalmistajilla on myös omat hienovirityksensä litiumakuille. Perinteisissä (ei-ladattavissa) hybridautoissa yleisin akkutyypä on nikkelimetallihydridi-akku (NiMH). Tämän energiatiheys on huonompi, mutta hinta paljon halvempi. Perinteisessä hybridissä akun yleinen koko on noin 1 kWh kun taas ladattavassa se on noin 10 kWh. Täyssähköautoissa akun koko on 20–100 kWh:n luokkaa. (Korhonen ym. 2019.)

4.1 Sähköistetyn ajoneuvon lataus

Sähköistettyjä ajoneuvoja, niin täyssähköautoja kuin ladattavia hybridejäkin, ladataan pääsääntöisesti kotoa käsin. Lataus on kuitenkin mahdollista tarpeen mukaan myös julkisilla paikoilla. Sähköistettyjen ajoneuvojen latausjakson pituuteen vaikuttavat akuston kapasiteetti ja varaustaso, akuston lämpötila sekä käytettävissä oleva latausteho. Sähköistettyillä ajoneuvoilla esiintyy tämän lisäksi eroja kyvyssä vastaanottaa latausta. Latausvaihteluun vaikuttaa muun muassa se, onko ajoneuvo ladattavissa vaihtosähköllä ja/tai tasasähköllä. (Korhonen ym. 2019.)

Suurin osa ladattavista hybrideistä on ladattavissa vain vaihtosähköllä ja yleensä korkeintaan 1-vaiheisena enintään 3,7 kW (1 x 16 A) teholla. On olemassa kuitenkin ladattavia hybridejä joita voidaan ladata jopa 11 kW (3 x 16 A) vaihtosähkötehoilla, ja tasasähköllä vielä tätäkin tehokkaammin. Täyssähköautojen vaihtosähkölataukset ovat useimmiten ulkomaisten sähköjärjestelmien ohjaamia ja siten 1-vaiheisia latauksia. Vaihtosähkölataustehot yltyvät 1-vaiheisena yleensä 7,4 kW (1 x 32 A) tehoon. Lisäoptioiden kautta jotkut sähköautot kuitenkin kykenevät jopa 22 kW (3 x 32 A) vaihtosähkölataukseen. (Korhonen ym. 2019.)

Akuston kyky vastaanottaa latausta vaihtelee lämpötilan ja varauksen mukaan. Akuston ollessa kylmä se ei pysty ottamaan suurta tehoa vastaan, joten osa energiasta käytetään myös akuston lämmittämiseen latauksen nopeuttamiseksi. Toisaalta, jos akusto on liian kuuma, joudutaan lataustehoa rajoittamaan ja akustoa mahdollisesti jäädyttämään.

Akuston varauksen ollessa noin 80 % alkaa lataus joka tapauksessa hidastua merkittävästi loppua kohden. (Korhonen ym. 2019.)

4.2 Akkujen elinikä

Litiumakun varauskyky heikkenee ajan ja lataus-purkusykyjen kertymisen myötä (STEK 2018). Sähköautojen akun käyttöikä suunnitellaan yleensä kestäväksi noin 250 000 km ja vuosissa noin 10–15 vuotta. Erilaisten tekijöiden kuitenkin tiedetään vaikuttavan akun käyttöikänsä, joten akun käyttöikä voi olla 10–15 vuoden tavoitetta pienempi tai suurempi. (Korhonen ym. 2019.)

Nissan Leafille (24 kWh:n akku) suoritetun tutkimuksen perusteella akun elinikään vaikuttaa eniten lämpötila, ei niinkään ajatut kilometrit. Leafille suoritettu tutkimus tehtiin USA:ssa ja siinä kriteerinä oli akun kapasiteetin laskeminen kolmanneksella alkuperäisestä. Floridassa tämä kriteeri saavutettiin jo viiden vuoden iässä kun taas kylmässä Alaskassa akku kesti 13 vuotta. Suomen oloja vastaavassa tilassa akun eliniän voitiin arvioida olevan 8–9 vuotta. On hyvä ottaa huomioon, että tutkimuksen tulokset koskevat ainoastaan 24 kWh Nissan Leafin akkua, joten se ei ole suoraan sovellettavissa muihin merkkeihin tai malleihin, jotka käyttävät erityyppisiä akkuja. (Tyyliniekka 2019.)

Akun latauskäyttäytyminen vaikuttaa myös suuresti akun käyttöikänsä. Litiumioniakkua ei tulisi ladata aivan täyteen ellei siihen ole pakollista tarvetta, sillä akku rasittuu korkeasta jännitteestä. Optimitilanteessa lataaminen lopetetaan jo laltaustehon vähentämisvaiheen alkaessa. Tämä vaikuttaa kuitenkin ajomatkan huomattavaan lyhentymiseen, mikä johtaa auton omistajan kompromissiin ajomatkan ja akun eliniän kanssa. Yleensä lataamista kuitenkin jatketaan reilusti yli tämän pisteen, mutta kennojen jännitettä ei nosteta niin suureksi kuin mahdollista. (Tyyliniekka 2019.)

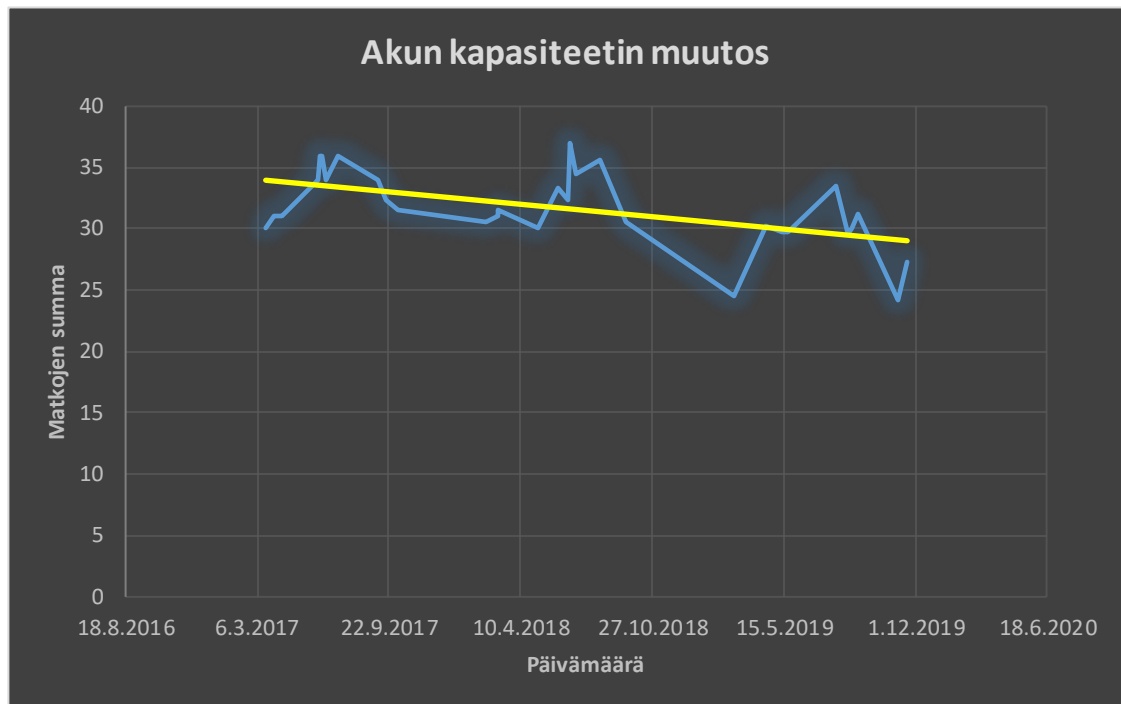
Vastaavasti akun päästäminen täysin tyhjäksi on huonoksi akun käyttöiälle. Tästä syystä sähköauton elektroniikka varmistaa, ettei akku koskaan tyhjene kokonaan, vaan lopettaa sen purkamisen jännitteen laskiessa riittävän alas. Pahimmillaan täysi tyhjentyminen johtaisi akun tuhoutumiseen ja siten käyttökelvottomuuteen. Mitä tulee sähköauton lataukseen akun kannalta, hitaasti tapahtuva lataus on paras vaihtoehto akulle. Pikalatausten tiedetään rasittavan akkua jonkin verran, mutta vaikutusta on siitä huolimatta vaikea arvioida. Hidas lataaminen on siten parasta akulle ja kotona yön yli suoritettu lataaminen on lisäksi helpompaa. (Tyyliniekka 2019.)

Käytännössä ohjauselektronikka on tehty sellaiseksi, että se ei koskaan anna ladata sähköauton akkua aivan täyteen. Samoin auto ei anna ajaa akkua tyhjäksi vaan keskeyttää matkan ennen kuin akku laskee vaurioittavalle tasolle. Tästä syystä auton kuljettaja voi hoitaa auton latauksen ja ajot miettimättä sen suuremmin, sillä vahingossa käyttäjä ei saa akkua rikki. (Tyyliniekka 2019.)

Esimerkki lataushybridin akuston kunnosta

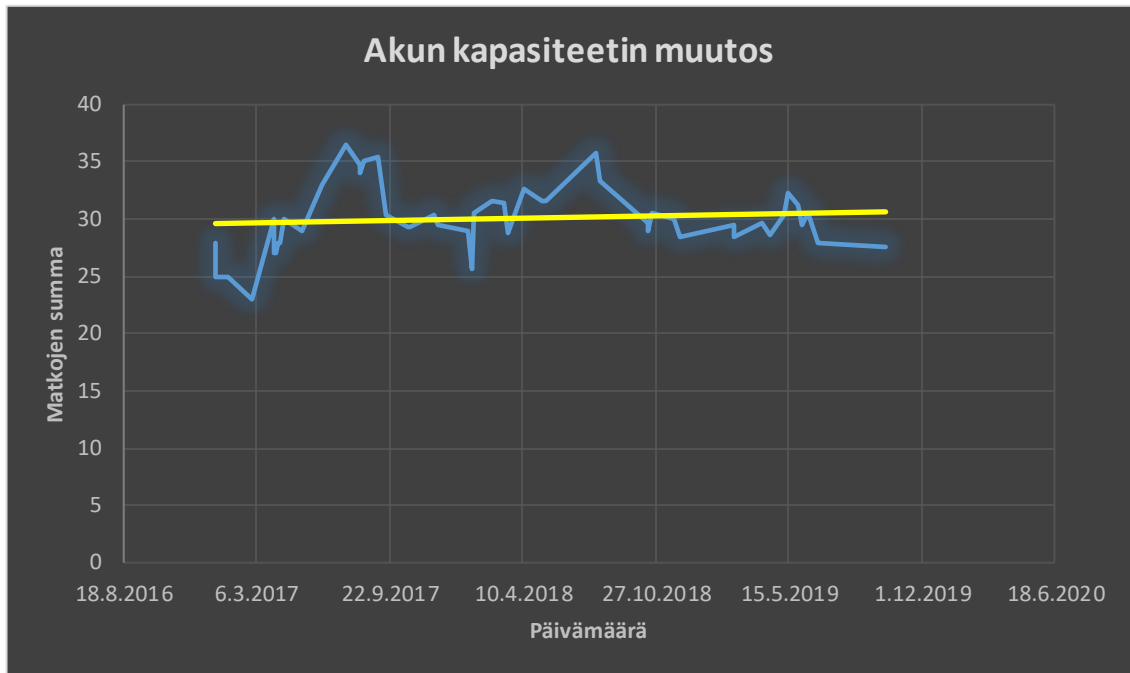
Seuraavissa kuvaajissa on nähtävissä ladattavan hybridiauton akun lataushistoriaa. Kuviot ja tiedot perustuvat ajoneuvo- ja kuljetustekniikan opettajan Markku Ikosen omaan vuosien varrella kerättyyn dataan. Ajoneuvona näissä tuloksissa toimii BMW 330e hybridi, jonka akun käytettävissä olevaksi energiaksi valmistaja ilmoittaa 5,7 kWh. Kuvaajia laadittiin yhteensä kymmenen kappaletta. Tähän osioon on valittu kuvaajista esimerkeiksi kolme tapausta.

Kukin kuvioista 3, 4 ja 5 on piirretty yksittäisillä latausväleillä ajettujen kilometrien ja ajotietokoneen arvioiman jäljellä olevan sähköisen kilometrimäärän summana. Summa edustaa siis kilometrimäärää, joka olisi ollut mahdollista ajaa, jos akku olisi ajettu joka latausvälillä tyhjäksi. Jotta eri latausväleiltä poimitut kilometrimäärät olisivat vertailukelpoisia keskenään, kuhunkin kuvioon on poimittu vain latausvälit, joiden kulutuslukeumat ovat lähellä toisiaan, ajotietokoneen mukaan 0,5 kWh/100 km:n vaihteluvälin sisällä. Kuvioiden vaaka-akselilla on kalenteriaika, joka kattaa noin 3 vuoden ja 40 000 ajokilometrin jakson.



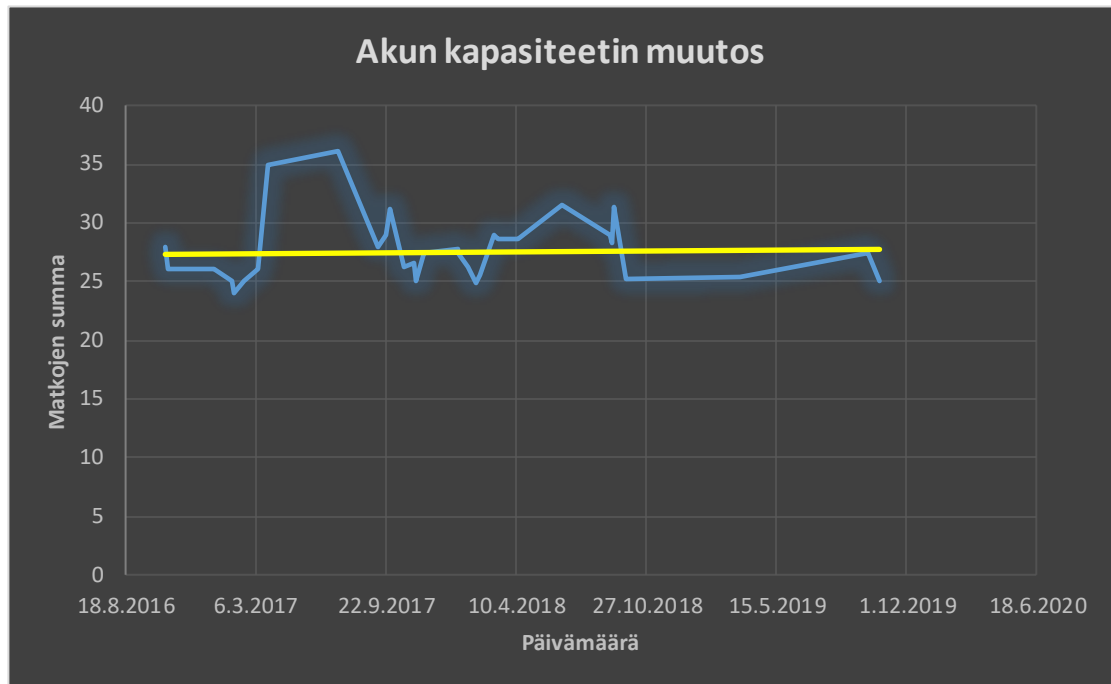
Kuvio 3. Akulla ajettavissa olevan km-määrän kehitys, kulutus 16,0–16,4 kWh/100 km.

Kuvion 3 esittämässä tapauksessa on nähtävissä hyvin trendiviivan lasku, joka osoittaa lievää hiipumista akuston energianvarastointikyvyssä. Tässä tapauksessa yhdellä latauksella päästävä matka on ollut vuoden 2017 alkupuolella (auto puoli vuotta vanha) lähemmäs 35 km, kun taas kuvaajan loppupuolella joulukuussa 2019 se on ollut enää 28 km:n paikkeilla.



Kuvio 4. Akulla ajettavissa olevan km-määrän kehitys, kulutus 17,0–17,4 kWh/100 km.

Kuvio 4 esittää suuremmilla kulutuksilla toteutuneita latausvälejä kuin kuvio 3. Tapaus on hyvin mielenkiintoinen, sillä toisin kuin voisi odottaa, trendiviivassa ei ole laskua havaittavissa. Alkuvuonna 2017 latausvälikohtainen ajomatka on ollut hieman alle 30 km, kun taas tarkastelujakson lopussa havaitaan trendikäyrän nousseen hieman. Käyrän nousu on kuitenkin hyvin pientä.



Kuvio 5. Akulla ajettavissa olevan km-määrän kehitys, kulutus 18,5–18,9 kWh/100 km.

Kuvio 5 esittää suuremmilla kulutuksilla toteutuneita latausvälejä kuin kuvio 4. Tässä tapauksessa trendiviivan kulku ja suunta vaikuttaisi olevan hyvin tasaista. Erittäin pientä nousua näyttäisi tässäkin kuvaajassa tapahtuvan, mutta käytännössä kuvaajan trendiviiva on vaakasuora.

Tarkastellut kolme tapausta yhdessä osoittavat, ettei akussa ajan mukana tapahtuva muutos olekaan yksiselitteisen helposti havaittavissa.

5 SÄHKÖISTETTYJEN AJONEUVOJEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS?

Sähköistetyistä ajoneuvoista ja niiden päästövaikutuksista puhuttaessa on tärkeää huomioida, ei vain ajoneuvosta itsestä aiheutuvat päästöt, vaan koko ajoneuvon elinkaari aina valmistuksesta saakka. Samoin sähkön tuotantotapa on otettava tarkastelussa huomioon.

Sähköistettyihin ajoneuvoihin onkin asetettu suuria toiveita hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Sähköistetyin ajoneuvon ajon aikaiset päästöt ovat lähestulkoon olemattomat (täyssähköautolla ei ole ajon aikaisia päästöjä), mutta kuitenkin muun muassa sähköauton akun valmistaminen tuottaa merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Sähköautojen valmistuksen päästölukemat ovat siis huomattavasti korkeammat kuin bensa- tai dieselauton valmistuksessa.

5.1 Ajoneuvon valmistus

Akkujen valmistuksesta puhuttaessa voidaan sanoa, että hiilidioksidipäästöistä noin puolet syntyy akkujen raaka-aineiden valmistuksesta ja puolet valmistusprosessissa akku-tehtaalla. Myös akkujen koolla on merkitys päästöihin, sillä mitä suurempi akku on kyseessä, sen suuremmat ovat valmistuksen aikaiset hiilidioksidipäästöt. Akun kasvaessa myös auton toimintamatka kasvaa. (Moottori 2017.)

Suomessa keskivertoauton valmistuksen osuus koko sen elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä on 10–15 %. Esimerkiksi polttomoottorikäyttöisen henkilöauton hiilidioksidivaikutus on n. 6000–7000 kg hiilidioksidiekvivalenttia valmistuksen aikana. Kilometriä kohti laskien valmistuksen hiilidioksidivaikutus on 15–40 g/km riippuen siitä, paljonko auton koko elinkaaren aikana ajetaan. Sähkökäyttöisellä autolla tämä lukema on korkeampi ja puhutaankin n. 30–60 g/km hiilidioksidipäästöistä. Sähkökäyttöisten autojen ajovoima-akkujen materiaalisältö vaikuttaa suuresti sähköautojen korkeisiin hiilidioksidipäästölukemiin. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.)

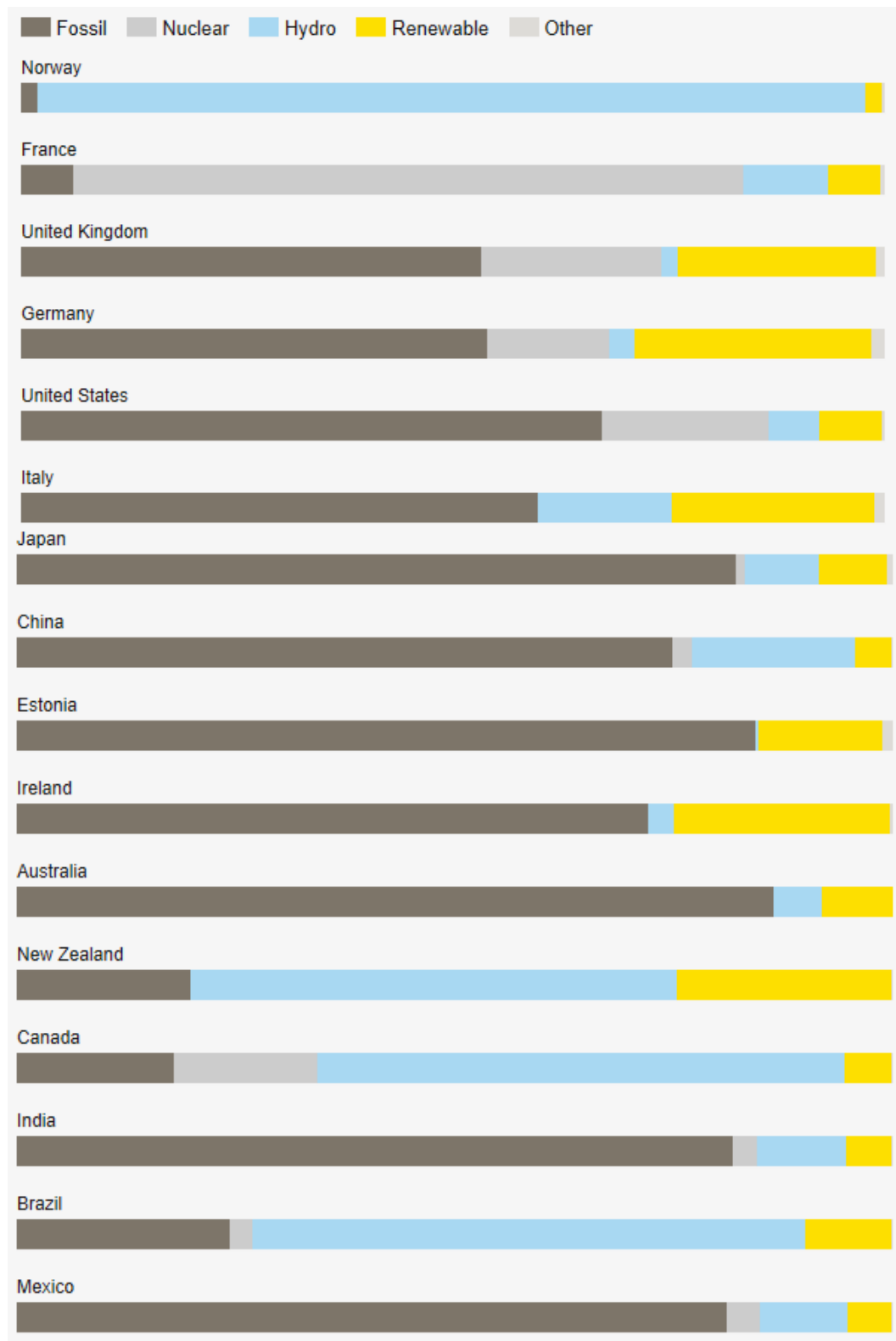
5.2 Sähkön ja polttoaineen tuottaminen

Sähkö, jota tuotetaan sähköistetyn ajoneuvon lataamista varten, tuottaa sekin päästöjä. Sähköistetyillä ajoneuvoilla päästöjen osuus riippuukin hyvin pitkälti sähkön tuotantotavasta. Esimerkiksi uusiutuvalla energialla tuotettu sähkö on päästöiltään pieni. Fossiilisista lähteistä tuotettu sähkö puolestaan on korkea päästölukemiltaan. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.)

Norja on kuitenkin hyvä esimerkki päästöttömyydessä, sillä Norjassa lähestulkoon kaikkien sähköistettyjen ajoneuvojen lataussähkö on tuotettu vesivoimalla. Vesivoimalla tuotetun sähkön hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti alhaisemmat kuin fossiilisia primäärienergiälähteitä käytettäessä, mikä tekee siitä ilmastoystävällisen energiamuodon. (Theguardian 2019.)

Ranskassa sähköenergia saadaan pääasiallisesti ydinvoimasta. Saksassa ja UK:ssa käytetään sekoitetusti uusiutuvia sekä fossiililähteitä. Intiassa, Virossa ja Australiassa fossiililla tuotetun sähkön osuus on korkea. Toisin sanoen, vaikka Intia onkin nostanut maassa sähköistettyjen ajoneuvojen määrää, päästölukemat CO₂:n osalta ovat edelleen korkeat, sillä sähköistettyjä ajoneuvoja varten tuotettu sähkö on peräisin fossiilisen energian polttamisesta. (Theguardian 2019.)

Kuvassa 7 on esitetty eri sähköntuotantomuotojen jakauma useissa eri maissa. Fossiilisesta sähköstä riippuvaisimpia ovat kuvassa esitetyistä maista muun muassa Australia, Viro, Japani, Intia, Meksiko ja Kiina.



Kuva 7. Sähköntuotantotapojen osuudet eri maissa (Theguardian 2019).

Suomen sähköntuotannon keskimääräisillä päästöillä on arvioitu sähköauton hiilidioksidipäästöjen olevan 26–35 g/km (Autoalan tiedotuskeskus 2019).

Polttoaineiden elinkaaritutkimuksessa öljynjalostuksen, polttoaineen jalostuksen ja koko kuljetus- ja jakeluprosessin on bensiinillä arvioitu tuottavan hiilidioksidia noin 50 g/kWh ja dieselillä noin 58 g/kWh. Suomessa polttoaineen tuotannon ja valmistuksen osuus on tällöin 10–15 % koko elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.)

Kun bensiinin tuottamisen CO₂-arvo arvo 50 g/kWh kerrotaan bensiinin energiasisällöllä 9 kWh/l, saadaan tulokseksi 450 g/litra. Koska bensiinin polttamisvaiheesta syntyy CO₂:ta 2350 g/l, voidaan laskea, että tuotannon osuus bensiinin koko elinkaaren CO₂-päästöistä on noin 16 %, koska $450 \text{ g} / (450 + 2350) \text{ g} = 0.16$. (Sähköpostitiedonanto 16.4.2020, autotekniikan lehtori Markku Ikonen.)

5.3 Auton käyttövaihe

Pääasiallisesti polttoainetta käytävällä ajoneuvolla on käyttövaiheessa päästövaikutuksia. Täysin sähköinen ajoneuvo ei kuitenkaan tuota ollenkaan lähipäästöjä. Lataushybridin sijaan, molemmat moottorit ja voimanlähteet hyödyntäen, tuottaa jossain määrin lähipäästöjä, riippuen ajomatkoista sekä kuljettajan latauskäyttäytymisestä.

Euroopassa keskiaverto ajosuorite elinkaaren lopussa olevilla autoilla on 150 000–170 000 km. Suomessa ajosuorite on selvästi enemmän kuin Euroopan kilometrilukemat keskimäärin. Bensiiniajoneuvolla ajetaan koko elinkaaren aikana 250 000–300 000 km, ja dieselillä noin kolmanneksen enemmän. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.)

Ohessa muutamia auton käyttövaiheen aikaisia kulutuksia ja päästöjä (Autoalan tiedotuskeskus 2019):

Vuonna 2015 ensirekisteröity auto, hiilidioksidipäästöt keskimäärin 124 g/km.

Keskivertoauto (ikä 11,7 vuotta), hiilidioksidipäästöt keskimäärin 178 g/km.

Vanha auto (ikä 22 vuotta), hiilidioksidipäästöt keskimäärin 194 g/km

5.4 Auton kierrätys

Tärkeä osa-alue on kierrätys, kun otetaan huomioon auton hiilidioksidipäästöt sen koko elinkaarelta. Kierrätyksen kehittäminen onkin ollut jo pitkään yksi merkittävimmistä kehityskohteista autoteollisuudessa, ja autojen kierrätystä säätelevä ELV-lainsäädäntö (End of Life Vehicles) on ollut vähentämässä auton elinkaaren aikaisia päästöjä. Lainsäädäntö on taannut muun muassa sen, että romuajoneuvoista saataisiin lähes kaikki materiaali talteen, jotta suurin osa siitä voitaisiin kierrättää tai käyttää uudelleen. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.) Fortumin nettisivujen perusteella 80 % litiumioniakun materiaalista on nykyään kierrätettävää, mikä puolestaan helpottaa materiaalin saatavuutta ja vähentää luonnon kuormitusta (Fortum 2019).

EU:ssa kierrättämistä on säännelty direktiiveillä, jotka koskevat romuajoneuvoja sekä uusien ajoneuvojen materiaalien kierrätyskelpoisuutta. Yleensä noin 70 prosenttia romuautoista saatavasta materiaalista on metallia, pääosin terästä. Tämän lisäksi erilaiset värimetallit, tekstiilit, kumit ja muovi ovat romuautosta saatavia kierrätyskohteita. (Autoalan tiedotuskeskus 2019.)

5.5 Sähköauto vs polttomoottoriauto

Ruotsalaisen IVL Svenska miljöinstitutet -tutkimuslaitoksen suorittama tutkimus muun muassa osoitti, että Tesla S -mallia vastaavan akkupaketin valmistus tuotti hiilidioksidipäästöjä yhtä paljon kuin 10 000 kilometrin ajo polttomoottoriautolla. Lisäksi tutkimuslaitos vertasi kahden eri kokoluokan sähköauton: Nissan Leafin ja Tesla S:n akkujen valmistuksen päästöjä. Nissan Leafin akun kapasiteetti on 30 kWh kun taas Teslan on 100 kWh. Leafin osalta akun valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat 5,3 tonnia kun Teslan puolestaan ovat 17,5 tonnia. (Moottori 2017.)

IVL:n tutkijan Mats-Ola Larssonin mukaan Nissan Leafin akkujen valmistuksen hiilidioksidipäästöt vastaavat polttomoottoriauton keskimäärin 2,7 vuoden ja 33 000 kilometrin ajon päästöjä. Tesla S -mallia vastaavien akkujen valmistuksen hiilidioksidipäästö vastaa polttomoottoriauton keskimäärin 8,2 vuoden ja 100 000 kilometrin ajon päästöjä.

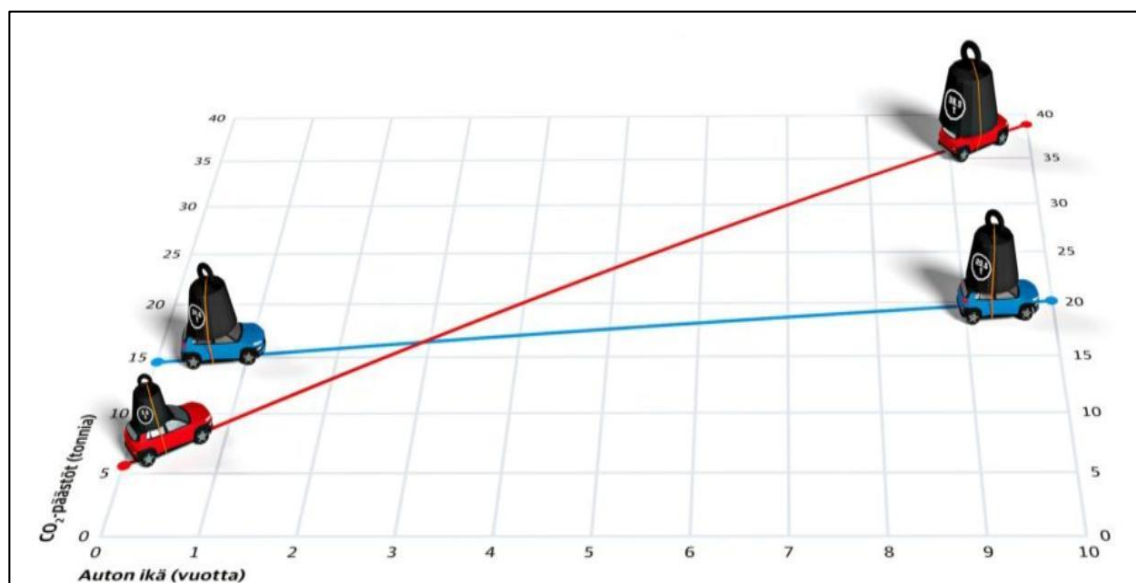
Kun vertaillaan eri käyttövoimia hyödyntävien autojen elinkaaripäästöjä, tulee valita mahdollisimman monessa mielessä samankaltaiset autot. Suomen markkinoilla tällaisen vertailun mahdollistaa Hyundai Kona, josta on olemassa etuvetoinen bensiinimalli Kona

1,6 T-GDI ja sähköversio Kona Electric. Molemmille on tiedossa myös WLTP-kulutus ja päästöt. Bensiini-Konan CO₂ arvo on 164 g/km, ja 64 kilowattitunnin akulla sähkö-Konan energiankulutus on 15,4 kWh/100 km.

Jo autokaupasta lähtiessään Konan versioiden CO₂-jalanjäljessä on jo huomattava ero. Bensiiniversion CO₂-jalanjälki on 5,6 tonnia ja sähkökäyttöisen 14,6 tonnia. Tilanne ei sinänsä ole huolestuttava, sillä bensiinikäyttöinen Kona saavuttaa ajoneuvojen välisen eron, ja kolmen vuoden jälkeen autot ovat tasoissa 16,6 hiilidioksiditonnessa. (Nieminen 2018.)

Hiilidioksidipäästöjen tonnilukuja voi olla joskus vaikea hahmottaa, mutta asian suhteellistamiseksi hyvänä esimerkkinä on edestakainen Tukholma–New York lento, joka tuottaa vajaat 0,6 tonnia hiilidioksidipäästöjä henkilöä kohden. (Moottori 2017.)

Kuvassa 8 havainnollistetaan sähköajoneuvon sekä polttomoottoriajoneuvon CO₂-päästöjen kehitystä ja muutosta. Kuvassa on otettu huomioon myös molempien ajoneuvojen valmistuksesta aiheutuneet päästöt.



Kuva 8. Sähköajoneuvon ja polttomoottoriajoneuvon CO₂-päästöjen kehitys (Nieminen 2018).

Kuvassa 8 punainen auto edustaa polttoaineella kulkevaa ajoneuvoa ja sininen sähköajoneuvoa. Tehtaalta tullessaan sähköajoneuvon hiilidioksidipäästöt ovat korkeammat (mikä johtuu pitkälti akuston valmistuksesta), kun taas polttoainetta käyttävän ajoneuvon ovat alhaisemmat. Vuosien kertyessä sähköä käyttävä ajoneuvo kuitenkin saavuttaa

polttoainetta käyttävän ajoneuvon päästöissä, sillä sähköajoneuvon CO₂-päästöt ovat Suomen sähköntuotantorakenteella selvästi pienemmät kuin polttomoottoriajoneuvolla.

Kolmen vuoden kohdalla on havaittavissa kuvaajien risteäminen, mikä tarkoittaa sitä, että noin kolmen vuoden kuluttua sähköajoneuvo on saavuttanut polttoajoneuvon päästöissä. Sähköllä kulkevan ajoneuvon päästötaso tästä eteenpäin nousee hyvin hitaasti kun taas polttoainetta käyttävän ajoneuvon päästölukemat jatkavat nousua paljon jyrkemmin. Kymmenen käyttövuoden jälkeen polttomoottoriauton CO₂-saldo on tässä tarkastelussa kaksinkertainen sähköautoon nähden.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ei ole siis helppoa tai suoraa vastausta, kun vertaillaan sähköistettyä ajoneuvoa ja polttomootoriajoneuvoa toisiinsa päästökysymyksissä. Ajoneuvojen sähköistäminen on kyllä mahdollistanut vähäpäästöisemmän ajokokemuksen kuin mitä polttomootoriajoneuvoilla voitaisiin saavuttaa. Tilanne ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen, kun puhutaan ajoneuvojen päästöttömyydestä.

On totta, että sähköistetyn ajoneuvon käytönaikaiset päästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin polttomootoriajoneuvolla, mutta se yksinään ei kuitenkaan riitä todentamaan, että sähköistetyt ajoneuvot olisivat ympäristöystävällisempiä. Syynä tähän on se, että sähköauton valmistuksen tuottamat hiilidioksidipäästöt ovat huomattavan paljon korkeammat kuin polttomootoriajoneuvolla.

Tehtaalta tullessaan sähköauton hiilidioksidivaikutus on suuri. Syynä sähköauton korkeisiin päästölukemiin sen tullessa tehtaalta on akkujen valmistus. Mikäli sähköautolle halutaan saavuttaa pitkä toimintamatka, se tarkoittaa vielä tänäkin päivänä sitä, että akuston tulee olla hyvin suuri. Toisin sanoen mitä suurempi ajoakku sähköautolle tehdään, sen suuremmat ovat myös akun valmistuksen hiilidioksidipäästöt. Nämä ovat sen verran mittavat, että tästä syystä sähköajoneuvojen todellinen päästöhyöty joudutaan kyseenalaistamaan.

Toisaalta tutkimukset ovat osoittaneet, kuten kuvassa 8 esitetty Tekniikan Maailman tutkimus, että sähköauto saavuttaisi polttomootoriajoneuvon CO₂-päästöissä kolmen vuoden kuluttua. Toisin sanoen, kun molemmilla ajoneuvoilla on ajettu kolme vuotta, sähköauto on jo samoissa päästölukemissa polttomootoriauton kanssa, vaikka lähtötilanteessa sähköauton päästölukemat ovat olleet korkeammat (johtuen valmistuksessa syntyneistä päästöistä). Syynä tilanteen tasaantumiselle on se, että sähköauto ei tuota ajon aikaisia CO₂-päästöjä ja ainakin Suomessa sähköntuotannon päästöt ovat melko pienet.

Mitä pidemmälle ajokilometrien ja vuosien kanssa mennään, tilanne lopulta kääntyy niin, että polttomootorin hiilidioksidivaikutus on jälleen korkeampi kuin sähköautolla, juuri ajon aikaisista päästöistä johtuen. Hybridien kohdalla tilanteen tasaantuminen polttomootoriajoneuvon kanssa hiilidioksidipäästöissä voi kuitenkin olla hitaampaa, sillä hybridit tuottavat jossain määrin myös ajon aikaisia päästöjä. Toisaalta hybridien sähköinen

moottori sekä akusto on täyssähköautoihin verrattuna huomattavasti pienempi, mikä tarkoittaa sitä, että valmistuksen aikaiset päästöt ovat myös täyssähköautoon verrattuna pienemmät.

Sähköautoihin verrattuna ladattavat ja perinteiset hybridiajoneuvot tuottavat tietysti jossain määrin CO₂-päästöjä tieliikenteessä. Ladattavan hybridin CO₂-päästöihin voidaan kuitenkin vaikuttaa kuluttajien ajo- sekä latauskäyttäytymisellä. Mitä ahkerammin autoa ladataan, sitä vähemmän ajon aikana syntyy päästöjä, sillä sähkömoottori vaihtuu polttomoottorin puolelle ainoastaan sähkönsä loppuessa. Kaupunkiajossa hybridi kuin hybridi käyttää paljon sähkömoottoria, joten lähipäästöjen määrä kaupunkiajossa tiedetään vähäiseksi. Varsinkin lataushybridit ovat kaupunkiajoissa paljon päästöttömämpi vaihtoehto kuin polttomoottoriajoneuvot.

Bensiinin ja dieselin korvaaminen sähköllä on siis mahdollistanut päästöttömän ajon sähköautolla, vaikka valmistuksen aikaiset päästölukemat ovatkin sähköautolla korkeammat. Tilanne ei kuitenkaan ole ihan niin yksinkertainen kun otetaan huomioon se, millä tavalla (sähköautoa kuljettava) sähkö on tuotettu. Mikäli sähköauton käyttämä energia on tuotettu hiiltä polttamalla, on sähköauton CO₂-päästöhyöty kadotettu. Tällaisessa tapauksessa voidaan miettiä, onko tilanne päästöjen kannalta jopa huonompi kuin taloudellisimmilla polttomoottoriajoneuvoilla.

Sähköauton päästöttömyystilanne on kuitenkin totta silloin kun otetaan huomioon uusiutuva energia. Norja on tästä hyvä esimerkki, sillä Norjassa lähestulkoon kaikki sähkö on tuotettu vesivoimalla. Vesivoimalla tuotetulla sähköllä hiilijalanjälki on hyvin alhainen, mikä tekee siitä hyvän voimanlähteen. Päästökysymysten ympärillä voidaan huomata, että ajoneuvojen todellista päästöttömyyttä on toisinaan vaikea määrittää pelkkien testien avulla, ainakaan kovin tarkasti. Varmoja voidaan kuitenkin olla siitä, että oikein käytettynä sähköistettyjen ajoneuvojen päästöttömyysedut tavoitetaan.

Sähköistettyjen ajoneuvojen voidaan siis melko suurella varmuudella todeta takaavan päästöttömämmän ajon kuin polttomoottoriajoneuvon. Sähköistettyjen ajoneuvojen päästöttömyyskysymykset ovat kuitenkin edelleen polttavia puheenaiheita ja uusia, parempia ratkaisuja pyritään koko ajan kehittämään. Suunta on kuitenkin hyvä, ja positiivista kaikesta epäselvyydestä huolimatta on se, että ympäristömme hyvinvointiin halutaan puuttua!

Sähköautojen päästöihin liittyvät kysymykset eivät kuitenkaan ole ainoa kysymysmerkki, kun sähköistetyistä ajoneuvoista puhutaan, vaan ajoneuvon käyttöön liittyvät erinäiset

tekijät. Sähköautojen käytön yhtenä hankaluutena vaikuttaisi edelleen olevan latauspisteiden vähäisyys. Toki sähköautojen lisääntyminen näkyy Suomessakin monissa paikoin siten, että sähköautoja varten olevien latauspaikkojen määrä lisääntyy koko ajan. Erillisiä latauspisteitä rakennetaan niin ulkoparkkeihin kuin kauppakeskuksiin.

Nykyisten sähköautojen toimintamatkat eivät vielä ole kovinkaan suuria, jonka takia latauspaikkojen saatavuus on erityisen tärkeää. Ladattavien hybridien tilanteessa latauspisteiden vähäisyys ei ole niin suuri ongelma, sillä matkaa voidaan sähköä loppuessa jatkaa polttomootorilla. Mikäli ajon aikaisia päästöjä halutaan vähentää, on tällöin myös ladattavan hybridin latausmahdollisuudet tärkeä huomioida.

Kaupungin sisällä tapahtuvaan ajoon riittää yleensä kotoa käsin suoritettu lataus. Pitkät ajoetäisyydet kuitenkin ovat niitä, jotka aiheuttavat useimmiten hankaluuksia kun puhutaan sähköautoista. Automallista riippumatta sähköauton sähköiset kilometrit eivät vielä ole kovinkaan suuret, sillä tallainen ominaisuus tarkoittaisi suurta akustoa. Suuri akusto puolestaan vie tilaa ja näin ollen vaatii suuren kokoluokan ajoneuvoja. Näistä tekijöistä johtuen ladattava hybridi vaikuttaisi olevan Suomen olosuhteissa toimiva ja hieman parempi vaihtoehto kuin täyssähköauto, toistaiseksi.

7 YHTEENVETO

Nopeasti etenevä ilmastonmuutos on herättänyt autonvalmistajien ja kuluttajien huomion liikennepäästöihin ja niiden ratkaisemiseen. Sähköistettyjen ajoneuvojen kehittämisellä on pyritty vastaamaan ilmastonmuutosongelmaan, sillä polttomoottorikäyttöiset ajoneuvot ovat suuri CO₂ -päästöjen aiheuttaja.

Tässä opinnäytetyössä on selvitetty sähköistettyjen ajoneuvojen ympäristöystävällisyyttä ja erityisesti ladattavien hybridien kulutusta ja CO₂-päästöjä. Sähköistettyjen ajoneuvojen valikoimasta on tarkasteltu täyssähköautoa, ladattavaa hybridiä sekä perinteistä hybridiä. Työssä avataan lyhyesti, millaisia nämä ajoneuvot ovat sekä mihin niiden toiminta perustuu. Lisäksi työssä on osio, jossa tutustutaan myös sähköauton sekä hybridien akun käyttöikään. Tämän osion lopussa on esimerkki, jossa perehdytään ladattavan hybridin akun lataushistoriaan.

Tietoja on kerätty pääsääntöisesti nettilähteitä käyttämällä. Tiedon haussa on ollut niin englannin- kuin suomenkielisiä lähteitä. Työssä on käytetty nettilähteiden lisäksi kirjaa, joka on perehtynyt sähköautoihin ja latausjärjestelmiin.

Ajoneuvojen sähköistämällä on pyritty pääsemään eroon ajon aikaisista päästöistä. Ajoneuvojen sähköistäminen konkreettisesti tarkoittaa sitä, että ajoneuvossa on moottori, joka polttoaineen sijaan käyttää sähköä voimanlähteenään. Tämä periaate pätee kuitenkin vain täyssähköautoihin, sillä hybridautoissa (niin ladattavissa kuin perinteisissäkin) on sähkömoottorin rinnalla myös polttomoottori.

Ajoneuvojen sähköistäminen päästöjen vähentämiseksi ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista kuin sen voisi toivoa olevan. Sähköajoneuvon valmistuksessa syntyvät päästöluokemat ovat moninkertaiset verrattuna polttomoottoriauton valmistukseen. Tämän lisäksi tapa, jolla sähkö tuotetaan, on hyvin ratkaisevassa asemassa päästöjen osalta, vaikka sähköntuotannon aiheuttamat päästöt ovatkin niin sanotusti epäsuoria. Oikein käytettynä sähköistettyjen ajoneuvojen päästöhyödyt ovat kuitenkin auton elinkaaren mittaan mahdollisia saavutuksia.

LÄHTEET

- Afdc.energy 2019. Alternative fuels data center. Viitattu 12.05.2019. <https://afdc.energy.gov/>
- Autoalan tiedotuskeskus 2019. Auton elinkaaren aikaiset vaikutukset. Viitattu 10.09.2019. http://www.aut.fi/ymparisto/auton_elinkaaren_aikaiset_paastot
- Autotalli 2019. Harkitsetko hybridiautoa? Ota nämä kaikki asiat huomioon. Viitattu 02.11.2019. <https://www.autotalli.com/artikkeli/harkitsetko-hybridiautoa-ota-nama-kaikki-asiat-huomioon>
- Drivingelectric 2018. What is a plug-in hybrid, or PHEV? Viitattu 02.09.2019. <https://www.drivingelectric.com/your-questions-answered/106/what-plug-hybrid-or-phev>
- Fortum 2019. Lithium-ion Battery Recycling Solution. Viitattu 01.01.2020. <https://www.fortum.com/products-and-services/fortum-battery-solutions/recycling/lithium-ion-battery-recycling-solution>
- ICCT 2017. Too low to be true? How to measure fuel consumption and CO₂ emissions of plug-in hybrid vehicles, today and in the future. Viitattu 03.09.2019. https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-PHEV_ICCT-Briefing-Paper_280717_vF.pdf
- Korhonen, E.; Linja-aho, V.; Mäkinen, J. & Orreberg, M. 2019. Sähköautot ja latausjärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Moottori 2017. Viitattu 07.09.2019. Sähköauton toimintamatkan kasvatus lisää merkittävästi akkujen valmistuksen päästöjä. <https://moottori.fi/liikenne/jutut/sahkoauton-toimintamatkan-kasvatus-lisaa-merkittavasti-akkujen-valmistuksen-paastoja/>
- Motiva 2019. WLTP-päästömittaus. Viitattu 05.09.2019. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/nain-liikut-viisaasti/valitse-auto-viisaasti/henkilöautojen-paastomaaraykset/wltp-paastomittaus>
- Nieminen, J. 2018. Sähköauton CO₂-kuorma syntyy valmistuksessa. Tekniikan Maailma 23/2018. Helsinki: Otavamedia.
- STEK 2018. Sähköauton akun käyttöikä. Viitattu 02.02.2020. <https://stek.fi/question/sahkoauton-akun-kayttoika/>
- Theguardian 2019. How is electricity generated where I live? Viitattu 15.11.2019 <https://www.theguardian.com/football/ng-interactive/2017/dec/25/how-green-are-electric-cars>
- Traficom 2019. WLTP-päästömittaus. Viitattu 05.09.2019. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/wltp-paastomittaus>
- Tyyliniekka 2019. Sähköauton tekniikka osa 3. Viitattu 02.02.2020. <https://tyyliniekka.fi/sahkoauton-tekniikka-osa-3-akun-elinika/>
- Vihreäkaista 2015. Ladattava hybridiauto. Viitattu 02.09.2019. <https://vihreäkaista.fi/fi-fi/article/sahko/ladattava-hybridi/406/>