

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Liikenteen energiankulutuksen kehitysennusteet Euroopassa

Työn tarkastaja: Tero Tynjälä

Työn ohjaaja: Hannu Karjunen

Lappeenranta 05.11.2018

Pasi Halonen

TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Pasi Halonen

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Hannu Karjunen

Liikenteen energiankulutuksen kehitysennusteet Euroopassa

Numeroituja sivuja 37, kuvia 7 ja taulukoita 5.

Hakusanat: liikenne, energiankulutus

Tämän työn tavoitteena on tutkia liikenteen nykytilaa ja tulevaisuudennäkymiä Euroopassa. Työ on rajattu koskemaan ainoastaan henkilörengasliikennettä, eli työssä ei oteta kantaa rahtiliikenteeseen eikä ilma-, raide- tai meriliikenteeseen. Työ suoritetaan kirjallisuuskatsauksena. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on hallinnut ihmisten ja tavaroiden liikkumista jo vuosisadan. Ilmaston lämpeneminen ja fossiilisten polttoaineiden riittävyyden epävarmuus on saanut ajoneuvovalmistajat kehittämään uusia käyttövoimia perinteisten rinnalle. Teknologiat ajoneuvojen liikuttamiseen ovat polttomoottori ja sähkömoottori. Polttomoottorissa voidaan käyttää polttoaineena bensiiniä, dieseliä, kaasua sekä niitä korvaavia biopolttoaineita. Sähkömoottoria ei voida pyörittää kuin sähköllä, mutta sähköä voidaan tuottaa lukuisin eri keinoin. Sähkömoottorin tarvitsema sähkö tulee pääasiassa joko voimalaitokselta tai polttokennolta, jolloin kyseessä on vetyauto. Kilpailu fossiilisten polttoaineiden ja sähkön välillä on kiristynyt, mutta tulevaisuudessa sähkö tulee monipuolisuutensa ansiosta todennäköisesti syrjäyttämään perinteiset polttomoottoriautot. Sähköautojen teknologia on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, joten se ei vielä kykene itsenäisesti kilpailemaan polttomoottoriautojen kanssa. Siksi valtioiden tuet sähköistä liikkumista varten ovat välttämättömiä. EU:n ja sen jäsenvaltioiden itsensä asettamat tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja sähköautoilun lisäämiseksi pakottavat valtiot lisäämään tukeaan sähköautoilua kohtaan. Tästä syystä sähköinen liikenne tulee kasvattamaan osuuttaan yhä nopeammin, mutta kasvun loppua on vaikea ennustaa.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä

Sisällysluettelo

Symboli- ja lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	5
2 Taloudelliset ja poliittiset taustat	6
3 Liikenteen käyttövoimat	9
3.1 Fossiiliset polttoaineet	9
3.2 Kaasu	10
3.3 Biopolttoaineet	11
3.4 Sähkö	13
3.5 Muut käyttövoimat	15
3.5.1 Polttokenno/Vety	16
3.5.2 Hybridit	16
4 Liikenteen nykytilanne	18
4.1 Ajoneuvojen valmistus	18
4.2 Ajoneuvojen käyttövoimajakauma	18
4.3 Ajoneuvojen käyttö	20
4.4 Henkilöajoneuvoille myönnetyt ja suunnitellut tukimuodot	21
5 Energiankulutuksen tulevaisuudennäkymät	23
5.1 Muutos yksityisautoilussa	23
5.2 Case-tarkastelu	27
5.2.1 Sähköautot Norjassa	27
5.2.2 Sähköautoilu Saksassa	30
5.2.3 Norjan ja Saksan vertailu	33
6 Yhteenveto	37
Lähdeluettelo	39

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

WTT well-to-tank

TTW tank-to-wheel

WTW well-to-wheel

1 JOHDANTO

Liikenne koskettaa meistä jokaista. Kuvittele esimerkiksi, miten hoitaisit harrastukset, kauppareissut tai työmatkat ilman autoa. Mihin pääsisit lomalla, jos et voisi käyttää autoa, junaa, lentokonetta tai laivaa? Yhteiskunta palaisi ajassa taaksepäin satoja vuosia ilman tehokkaita kulkuneuvoja. Liikenne on ollut yksi yhteiskuntamme tukipylväistä, kun olemme luoneet maailman, jollaisena me sen tunnemme. Kehityksemme on ollut välillä nopeaa ja välillä lähes olematonta. Eteemme on tullut haasteita, jotka olemme saaneet ratkaistuksi. Nyt meitä odottaa jälleen uusi ongelma: kuinka saada fossiilisiin polttoaineisiin pohjautuva liikenne vähäpäästöisemmäksi? Miten saamme muokattua vanhentuneista liikennemuodoistamme nykypäivään soveltuvia?

Koko maailma yhteiskuntineen tulee siis muuttumaan vähäpäästöisempään suuntaan ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Eniten muutos tulee vaikuttamaan energia-alaan, joka on perustunut jo pitkään fossiilisten polttoaineiden kuluttamiselle. Tieliikenne tulee muuttumaan osana energiasektoria ja uusia käyttövoimia alkaa nousta perinteisten polttomoottorien rinnalle.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia ja arvioida henkilötielikenteen energiankulutuksen nykytilaa ja skenaarioita tulevaisuudesta. Työ rajataan kattamaan ihmisten liikkumisesta aiheutuva rengasliikenne. Lisäksi työssä tehdään pienimuotoinen case-tarkastelu liikenteen tulevaisuudesta. Työ tehdään kirjallisuuskatsauksena, jota tuetaan case-tarkastelun avulla. Työn tarkoituksena on antaa lukijalle kattavat taustatiedot liikenteen nykytilasta sekä mahdollisimman luotettava ennuste sen tulevaisuudesta.

2 TALOUDELLISET JA POLIITTISET TAUSTAT

Vuonna 2016 työllisyys Euroopan unionissa oli 71.1 %, joka on mittaushistorian korkein. Kuljetusteollisuus työllistää Euroopassa ajoneuvotuotannon mukaan lukien 15 miljoonaa ihmistä, mikä vastaa noin seitsemää prosenttia Euroopan unionin työllisyydestä (Eurostat, 2018c). Liikenteellä ja ajoneuvojen valmistuksella on siis merkittävä työllistävä vaikutus Euroopassa sen lisäksi, että uusien ja käytettyjen ajoneuvojen vienti EU:n ulkopuolelle kattaa noin kymmenesosan kokonaisviennin arvosta. Vuonna 2016 tämä vastasi 192:ta miljardia euroa. Liikenne on siis todellakin yksi nyky-yhteiskunnan peruspilareista, mutta se luo myös valtavia haasteita lainsäädännön ja teknologian kehittyessä. (Eurostat, 2018a)

Nykyinen tieliikenne on suunniteltu ja toteutettu fossiilisista polttoaineista riippuvaiseksi. Fossiilisten polttoaineiden kulutuksessa suurin ongelma heti päästöjen jälkeen on niiden uusiutumattomuus. Uusiutumattomuus johtuu siitä, että fossiiliset polttoaineet vaativat syntyäkseen satoja miljoonia vuosia (GTK, 2018). Fossiilisten polttoainevarojen uusiutuminen on siis todella paljon hitaampaa, kuin niiden kulutus. Liikenteen käyttämän öljyn riittävydestä spekuloidaan jatkuvasti. Yleensä riittävyttä tutkitaan vertaamalla päivittäistä öljynkulutusta ja tunnettuja öljyvaroja keskenään. Eri lähteiden mukaan öljyä arvioidaan riittävän 51-56 vuotta eteenpäin (BP, 2016). Uusien öljyvarojen löytyminen, uusien öljynporaustekniikoiden kehittyminen ja öljyn kulutuksen ennustaminen on kuitenkin erittäin vaikeaa. (CIA, 2018)

Tärkein ja ajankohtaisin fossiilisia polttoaineita koskettava ongelma on, että niitä poltettaessa syntyy useita ympäristölle haitallisia yhdisteitä, kuten hiilidioksidia, metaania, typenoksideja ja rikkioksideja. Kaikki edellä mainituista kaasuisista ovat kasvihuonekaasuja, jotka aiheuttavat kasvihuoneilmiötä ja sitä kautta ilmaston lämpenemistä. Ilmaston lämpeneminen voi puolestaan aiheuttaa vakavia muutoksia planeettamme ekosysteemissä. Tähän uhkaan on vastattu solmimalla Pariisin ilmastopöytäkirja, jonka lähes kaikki maailman maat ovat allekirjoittaneet (Euroopan komissio, 2018a). Ilmastoa lämmittävän vaikutuksen lisäksi typenoksidit ja pienhiukkaset heikentävät paikallista ilmanlaatua. Ilmanlaadun heikkeneminen vaatii

kuitenkin useiden ajoneuvojen jatkuvaa käyttöä pienellä alueella, jonka vuoksi ilmanlaadulliset ongelmat ovatkin lähinnä suurien kaupunkien ongelma.

Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopöytäkirjan osapuolikokouksessa Pariisissa 2015 sovittiin uudesta ilmastopöytäkirjasta. Sopimuksen on tarkoitus täydentää vuonna 1992 sovittua puitesopimusta. Uuden sopimuksen tavoitteena on sitouttaa kaikki sopimuksen osapuolet pitämään ilmaston lämpeneminen alle 1,5 asteessa esiteolliseen aikaan verrattuna. Ilmaston lämpeneminen estetään vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjen- ja lisäämällä hiilinielujen määrää. Sopimuksessa myös määritellään pitkän aikavälin tavoitteita vähähiilisen ja ilmastokestävän kehityksen rahoittamiseksi ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Sopimuksen noudattamista seurataan viiden vuoden välein tapahtuvilla kokonaistarkasteluilla alkaen vuodesta 2023, jolloin on ensimmäinen tarkastelu. Sopimuksessa ei anneta tavoitemääriä hiilidioksidipäästöjen vähentämiselle, vaan sitoutetaan osapuolet valmistelemaan, tiedottamaan, ylläpitämään ja saavuttamaan asettamansa päästötavoitteet. (Ympäristöministeriö, 2016)

EU on asettanut itselleen tavoitteita vuosiin 2020 ja 2030 mennessä koskien ilmastoa ja energiantuotantoa. Vuoteen 2020 mennessä pitäisi:

- vähentää energiankulutusta 20%
- tuottaa 20% energiasta uusiutuvilla energianlähteillä
- vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20% verrattuna 1990-luvun tasoon

Kirjallisuudessa vuoden 2020 tavoitteisiin voidaan viitata numerosarjalla 20-20-20.

Vuoteen 2030 mennessä pitäisi puolestaan:

- parantaa energiatehokkuutta 27% nykytasoon nähden
- tuottaa 27% energiasta uusiutuvilla energianmuodoilla
- tuottaa 40% vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 1990 verrattuna.

(TEM, 2018b)

EU on määritellyt kaikille jäsenvaltioilleen omat päästötavoitteet. Päästövähennystavoitteet on jaettu päästökaupan alaisiin ja taakanjaon sektoreihin. Päästökaupan piiriin kuuluvat raskaan teollisuuden ja sähkön- sekä lämmöntuotannon yritykset. Päästökaupan toiminta perustuu ostettaviin päästölupiin. Jos yrityksen tarvitsee käyttää saastuttavia polttoaineita tai muuten aiheuttaa päästöjä ilmakehään sen on ostettava lupa päästöilleen. Jos lupaa ei ole, niin yritys joutuu maksamaan sanktioita. Päästölupia on tietty määrä EU:n alueella ja niitä aletaan vähentää vuosittain, kunnes lupia ei enää ole. Päästökauppa aiheuttaa siis taloudellisia paineita päästöintensiivisille teollisuudenaloille. Päästökauppaa valvoo EU. Taakanjaon piiriin kuuluvat käytännössä kaikki päästökaupan ulkopuoliset teollisuudenalat, kuten liikenne, maatalous ja asuminen. Taakanjakoa valvoo kunkin jäsenmaan hallitus, joka on myös vastuussa päästövähennysten saavuttamisesta. (Euroopan komissio, 2018b)

3 LIIKENTEEN KÄYTTÖVOIMAT

Nykyinen rengasliikenne on pääosin kehitetty öljyn ja siitä saatavien johdannaisten ympärille. Huoli öljyn riittävydestä, öljyvarojen sijoittumisesta maapallolla ja sen käytöstä aiheutuvista haitallisista ilmansaasteista on aiheuttanut sen, että öljyn rinnalle on kehittynyt muita vaihtoehtoisia käyttövoimia.

3.1 Fossiiliset polttoaineet

Fossiiliseksi polttoaineiksi luokitellaan polttoaineiksi soveltuvat fossiilistuneet yhdisteet. Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia eli niitä ei synny lisää. Fossiilisista polttoaineista liikenteessä käytetään öljyä ja sen jalosteita sekä maakaasua.

Fossiilisia polttoaineita syntyy, kun hiiltä sisältävää orgaanista materiaalia, kuten kasvien ja eläinten jäänteitä hautautuu maahan hapettomiin oloihin. Jäänteet kulkeutuvat vähitellen syvemmälle maahan ja lopulta, kun aines ovat tarpeeksi syvällä niin suuren paineen ja kuumuuden vaikutuksesta orgaaninen aines alkaa lämpöhajota vähitellen öljyksi. Jos hajoamisen annetaan jatkua, niin öljy muuttuu lopulta kivihiileksi. Öljyn syntymiseen kuluva aika riippuu ympäristön tilasta, kuten lämpötilasta. Nuorin tunnettu öljy on 10 miljoonaa vuotta vanhaa, mutta yleensä öljyn syntymiseen kuluu 300–500 miljoonaa vuotta. Öljyä saadaan pääasiassa pumppaamalla sitä maan alta. (GTK, 2018)

Öljystä saadaan jakotislaamalla useita johdannaistuotteita, kuten bensiiniä, kerosiinia ja dieseliä. Jakotislauksessa raakaöljyä kuumennetaan, jolloin siinä olevat erilaiset jakeet erottuvat toisistaan niiden kiehumispisteiden perusteella. Rengasliikenteessä öljytuotteista kulutetaan dieseliä, bensiiniä ja työkoneissa sekä rekoissa kevyttä polttoöljyä. Lentokoneissa käytetään kerosiinia. (Öljy- ja biopolttoaineala, 2018a)

Maailman suurimmat öljyntuottajat vuonna 2017 olivat Yhdysvallat, Saudi Arabia ja Venäjä. Euroopan suurin öljyntuottaja on Norja. Vuonna 2017 Euroopassa käytetyn öljyn alkuperä esitetään oheisessa taulukossa.

Taulukko 1. Eurooppaan tuotavan öljyn osuudet alueittain.

Entisistä Neuvostoliiton maista	38,76 %
Lähi-idästä	21,01 %
Sisäistä tuotantoa	16,54 %
Afrikasta	17,93 %
Amerikasta	5,76 %

Suurimmat yksittäiset EU:hun öljyä tuovat maat olivat puolestaan Venäjä 27,62%, Norja 11,41%, Irak 7,95% ja Saudi Arabia 6,46%. (Euroopan komissio, 2018c)

Polttoaineiden käyttäminen liikenteessä perustuu sovellettuun lämpövoimakoneen malliin. Otto- tai dieselprosessissa polttoaineen kemiallista energiaa muutetaan mekaaniseksi liike-energiaksi. Polttomoottorien perusajatus on, että moottorin sylinteriin syötetään polttoainetta ja ilmaa, jotka puristetaan kokoon ja sytytetään. Räjähdyksmäisesti palaessaan polttoaineen kemiallinen energia vapautuu lämpönä työntäen samalla sylinteriä pois päin tehden siihen työtä. Mäntä on liitetty akseliin, joka jatkuvien männän puristus ja työliikkeiden avulla pyöriessään siirtää mekaanisen energian lopulta vaihdelaatikon kautta pyörille. (Heywood, 1988)

Öljystä on tullut valtava poliittinen tekijä. Öljyteollisuus työllistää miljoonia ihmisiä ympäri maailmaa ja öljybisneksessä liikkuu miljardeja euroja päivittäin. Kaikki tämä johtuu öljyn monipuolisuudesta ja sen jalosteiden paljoudesta. Lisäksi sitä on ollut saatavilla jo kauan, joten useita teknologioita ja keksintöjä on ehditty kehittää sen ympärille. Tästä syystä ihmiskunta on kehittynyt riippuvaiseksi öljystä ja sen jatkojalosteista, mikä ei mielestäni ole kovin hyvä asia.

3.2 Kaasu

Kaasuauton toimintaperiaate on täysin samanlainen kuin bensiiniautoissa, polttoaineena käytetään vain kaasua. Perinteisen bensiinillä toimivan auton saa nykyään halutessaan muutettua Bi-fuel -ajoneuvoksi, jolloin sen energianlähteenä voidaan käyttää alkuperäisen bensiinin rinnalla myös maa- tai biokaasua. Bi-fuel tekniikka tarkoittaa sitä,

että moottoriin syötetään joko bensiiniä tai kaasua. Dieselillä toimivan auton saa toimimaan myös kaasulla dual-fuel tekniikalla. Dual-fuel tarkoittaa sitä, että moottoriin pitää syöttää sekä dieseliä, että kaasua moottorin toimimiseksi. Molempien polttoaineiden samanaikainen käyttö perustuu siihen, että dieselautossa ei ole sytytystulppaa, joten kaasua sytytetään pienellä määrällä dieseliä, joka syttyy pelkällä puristuksella. Kaasun käyttöä varten autossa pitää olla kokonaan erillinen polttoainejärjestelmä kaasua varten. (Motiva, 2017a)

Maakaasua saadaan usein öljylähteiden sivutuotteena ja se on myös muodostunut eloperäisestä aineksesta, kuten eläinten ja kasvien jäänteistä samalla tavalla kuin öljy. (EIA, 2017)

Eurooppa oli maakaasun suhteen vuonna 2015 noin 70 prosenttisesti omavarainen. Suurimmat maakaasun tuottajat vuonna 2016 olivat Norja, Venäjä ja Ukraina. Kolmen suurimman tuottajan osuus kokonaistuotannosta oli 62,3 %. Euroopan ulkopuolelta tullut maakaasu oli pääosin peräisin Qatarista, Algeriasta ja Marokosta. (Eurostat, 2017)

Maakaasun käyttäminen ajoneuvojen polttoaineena on aloitettu 1930-luvulla. Kaasuautojen kehitys, myynti ja kysyntä on ollut vaihtelevaa ja usein öljyn hinnasta riippuvaista. Nykyään kaasuautot ovat taas nostamassa suosiotaan kiristyvien päästömääräysten ja biokaasuteknologian kehittymisen myötä.

Kaasun käyttäminen polttoaineena on kannattavaa matalampien polttoainekustannusten ja hiilidioksidipäästöjen vuoksi. Suurin ongelma kaasuautojen käytössä on niiden tankkausasemien määrä, joka on mitätön verrattuna bensiini- ja dieselasemien määrään. Tankkausasemien määrän takia kaasuauton kaasutankin tyhjennyttyä kuljettaja voi helposti jäädä ajamaan pelkällä bensiinillä tai dieselillä, jolloin kaasuauton hyödyt nollaantuvat.

3.3 Biopolttoaineet

Biopolttoaineiksi luokitellaan eloperäisestä aineesta eli biomassasta valmistetut polttoaineet. Biopolttoaineita voidaan valmistaa kaikesta eloperäisestä materiaalista

kuten puusta, sokeriruo'osta, maissista tai öljypalmun siemenistä saatavasta palmuöljystä. Biopolttonesteistä biodieseliä voidaan valmistaa esteröimällä, kylmä- tai lämpöpuristamalla ja kaasutuksen tai Fischer Tropsch -synteesin avulla. Etanolia saadaan käymisen, tislauksen tai hydrolyysin avulla. (Mäkinen et al. 2006)

Koska biopolttoaineet ovat kemiallisesti lähellä vastaavia fossiilisia polttoaineita, niin ne voidaan sekoittaa keskenään. Samasta syystä auton moottoritekniikkaan ei tarvitse tehdä minkäänlaisia muutoksia.

Biopolttoaineet jaotellaan usein kahteen sukupolveen niiden valmistukseen käytettyjen raaka-aineiden perusteella. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineeksi luokitellaan biopolttoaineet, joiden raaka-aineena on käytetty ravinnoksi soveltuvia kasveja tai niiden osia. Toisen sukupolven biopolttoaineet valmistetaan muiden teollisuudenalojen, kuten leipomojen tai puuteollisuuden jätevirroista. (Motiva, 2017b)

Euroopan komissio on säätänyt RES-direktiivin, jossa määritellään jokaiselle jäsenvaltiolle omat tavoitteet biopolttoaineiden lisäämiseksi. Lisäksi direktiivissä määritellään kriteerit, jotka täyttämällä biopolttoainetta voidaan pitää kestävästi tuotettuna. Jos polttoaine ei täytä RES-direktiivissä määriteltyjä kriteerejä sen valmistuksen suhteen ei polttoainetta voi ottaa huomioon direktiivissä määritettyihin kansallisiin tavoitteisiin. Tällöin polttoainevalmistaja ei saa EU:n myöntämää tukea biopolttoaineiden valmistamiseen. RES-direktiiviin ollaan tekemässä lisäyksiä ja muutoksia vuoden 2018 aikana. Muutokset kulkevat nimellä RED II, eikä sen lopullinen sisältö ole vielä valmis. (TEM, 2018a)

Biopolttoaineet ovat hiilidioksidineutraaleja polttoaineita, sillä niiden polttamisessa vapautuu yhtä paljon hiilidioksidia kuin niiden muodostumisessa on sitä sitoutunut. Tästä syystä biopolttoaineita pidetään parempana vaihtoehtona kuin fossiilisia polttoaineita. Hiilidioksidineutraaliuden ansiosta EU on päätenyt asettamaan tavoitteita ja tukia biopolttoaineiden valmistamiselle. Biopolttoaineiden käyttö ei kuitenkaan ole aivan mutkatonta. Jos metsiä hakataan biopolttoaineen raaka-aineeksi paremmin soveltuvien kasvien tieltä, niin kyseiseltä pellolta saaduista kasveista valmistettua

biopolttoainetta ei enää voida pitää hiilidioksidineutraalina. Lisäksi peltojen käyttäminen biopolttoaineen raaka-aineen kasvattamiseen ruoan tuotannon sijaan voi aiheuttaa suuria ongelmia viljelysmaiden rajallisuuden vuoksi.

EU on asettanut biopolttoaineita koskevaksi tavoitteekseen, että liikenteen polttoaineiden energiasisällöstä vähintään 10% pitää olla peräisin uusiutuvista energianlähteistä vuoteen 2020 mennessä. (Öljy- ja biopolttoaineala, 2018b)

Euroopassa tuotettiin 3,9 miljoonaa tonnia biopolttoaineita (bioetanolia ja biodieseliä) vuonna 2005. Tuotanto vastaa alle yhtä prosenttia Euroopan bensiinin ja dieselin kulutuksesta. Suurimmat biopolttoaineiden tuottajat olivat taulukon 2 mukaan

Taulukko 2. Euroopan suurimmat biopolttoaineiden tuottajat. Statista, 2018)

Valtio	Määrä	Yksikkö
Saksa	3293	Tuhatta öljykvivalenttitonnia
Ranska	2224	Tuhatta öljykvivalenttitonnia
Alankomaat	1658	Tuhatta öljykvivalenttitonnia
Espanja	1541	Tuhatta öljykvivalenttitonnia

Biodieselin tuonti Eurooppaan on häviävän pientä, sillä Eurooppa on toistaiseksi maailman suurin biodieselin tuottaja. Biodieseliä ei myöskään juuri myydä EU:n ulkopuolelle sillä tuotettu biodiesel myös kulutetaan Euroopan sisällä. Bioetanolin tuontia Eurooppaan on mahdotonta arvioida, sillä ei tiedetä, kuinka suuri osa tuodusta etanolista kulutetaan polttoainesektorilla. (Euroopan komissio, 2005)

3.4 Sähkö

Sähkö on yksinkertaistettuna elektronien liikettä. Kaikki sähkömoottorit toimivat tavalla tai toisella sähkömagnetismin avulla. Sähkömoottoreihin kuuluu paikallaan pysyvä staattori ja pyörivä roottori. Staattorissa kulkevaa sähkövirtaa muutetaan niin, että sähkövirran luoma magneettikenttä alkaa pyöriä. Staattorissa pyörivä magneettikenttä alkaa sähkömagnetismin vaikutuksesta pyörittää roottoria, jossa voidaan käyttää kestopagneettia tai sähkövirran synnyttämää magneettikenttää. Kun roottori kytketään

ajoneuvon renkasiin, niin saadaan ajoneuvo liikkumaan sähkön voimalla. Sähkömoottorit jaetaan usein kahteen ryhmään: vaihtovirta- ja tasavirtamoottoreihin sen perusteella toimiiko käytettävä sähkömoottori vaihto- vai tasavirralla.

Erilaisia ajoneuvoihin soveltuvia sähkömoottoreita on olemassa useita ja ne valitaankin ominaisuuksiensa perusteella erilaisten ajoneuvojen voimanlähteeksi. (Adams, 2018)

Sähköä on käytetty ajoneuvojen energianlähteenä jo yli 100 vuotta. Erilaisia sähkömoottoreita alettiin kehittää 1800-luvun alkupuoliskolla, mutta kaupallisesti kannattava sähkömoottori kehitettiin vasta 1870-luvulla. Teknisiltä ominaisuuksiltaan kannattavan sähkömoottorin kehittämistä alkaen niille on keksitty valtava määrä erilaisia käyttökohteita mukaan lukien autojen moottoreina. (Matulka, 2014)

Ensimmäiset sähköautot kehitettiin jo 1800-luvun alussa ja sata vuotta myöhemmin 1900-luvun alussa sähköautot olivat todella suosittuja kaupunkiliikenteessä. Polttomoottoriauton kehittyminen kuitenkin käytännössä pysäytti sähköautojen myynnin ja kehittämisen 90 vuodeksi, kunnes niitä alettiin jälleen kehittää 1990-luvulla. (Matulka, 2014)

Suurin ongelma sähkössä ajoneuvojen käyttövoimana on sen varastoinnin heikkous. Sähkö varastoidaan sähköautoissa ajoakkuun, josta se kulutetaan auton tarpeisiin. Toisin kuin polttonesteiden tankeilla sähköauton akun lataaminen ja purkaminen heikentää akun toimintaa. Ajoakun lataaminen on myös todella hidasta polttoaineiden tankkaamiseen nähden. Nykyisillä ajoakuilla voidaan päästä maksimissaan noin 500 kilometriä, kun taas polttomoottoriautoilla voidaan päästä yli kaksi kertaa pidemmälle.

Sähköajoneuvon ajoakun varaus kuluu pääasiassa voimansiirtoon eli käytännössä sähkömoottorin roottorin ja staattorin magnetoimiseen ja ohjaamiseen (Tesla, 2008). Myös ajoneuvon aerodynamiikka on merkittävä tekijä ajoakun tyhjenemisessä kovemmissa nopeuksissa.

Sähköautojen parhaat puolet ovat niiden äänettömyys ja saasteettomuus ajon aikana. Toisaalta päästöjen vaikutus riippuu vahvasti siitä, miten auton kuluttama sähkö on tuotettu. Ympäristön kannalta voisi olla jopa parempi käyttää polttomoottoriautoa kuin sähköautoa, jonka sähkö on tuotettu paljon saastuttavalla hiilivoimalla.

Euroopassa tuotetun nettosähköenergian tuotantomuodot vuonna 2015 on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Euroopan sähköntuotanto vuonna 2016.

Polttoaineet	48,7 %
Ydinvoima	25,7 %
Vesivoima	12,1 %
Tuulivoima	9,7 %
Aurinkovoima	3,5 %
Muut energianlähteet	0,4 %

Taulukosta 3 nähdään, että suurin osa sähköstä tuotetaan erilaisia polttoaineita polttamalla. Toiseksi eniten sähköä saadaan ydinvoimalla ja kolmanneksi eniten vesivoimalla. Suurin saastuttaja energiasektorilla on fossiiliset polttoaineet, jotka muodostavat myös suurimman osuuden sähköenergiantuotannosta. Muut taulukossa olevat energianlähteet ovat kuitenkin suhteellisen ympäristöystävällisiä polttoaineisiin nähden. Pitää kuitenkin ottaa huomioon, että polttoaineissa ei olla eritelty kuinka suuri osuus niistä on biopohjaisia ja kuinka suuri osuus fossiilisia. (Eurostat, 2018b)

3.5 Muut käyttövoimat

Autojen käyttövoimia on olemassa useita, joista osa on esitelty aikaisemmissa kappaleissa. Seuraavat kaksi kappaletta käsittelevät tässä työssä tarkemman tarkastelun ulkopuolelle rajatut käyttövoimat.

3.5.1 Polttokenno/Vety

Vetyautolla ja polttokennoautolla tarkoitetaan yleensä samaa asiaa, sillä autoissa käytettävät polttokennot käyttävät polttoaineenaan vetyä. Todellisuudessa vetyauto on lähellä sähköautoa, sillä vetyauto kulkee sähkömoottoreilla, joiden tarvitsema sähköenergia on peräisin polttokennolta. Polttokenno siis muuttaa vetyä ja happea sähköksi ja vedeksi. Tuotettu sähkö varastoidaan auton akustoon. (Trafi, 2018)

Polttokennon teoria on kehitetty 1800-luvun alkupuoliskolla. Ensimmäinen käytännöllinen polttokenno ja polttokennon voimalla toiminut ajoneuvo rakennettiin 1950-luvulla. (Ortiz-Rivera et al. 2007)

Polttokennon toiminta perustuu siihen, että vetyatomeista irrotetaan elektroneja kemiallisen reaktion avulla. Reaktioon osallistuvat atomiytimet johdetaan polttokennon anodilta katodille, jossa vety-ytimet, vapaat elektronit ja happiatomit reagoivat muodostaen vettä. Elektronit muodostavat tasavirran liikkeessaan anodilta katodille. Tästä tasavirrasta saadaan työtä talteen, joka varastoidaan ajoakkuihin ja käytetään sähkömoottoreissa ajoneuvon voimanlähteenä.

Vetyautoja ei oteta tarkemmin huomioon työssä, koska vetyautojen osuus on käytännössä olematon ajoneuvokannassa.

3.5.2 Hybridit

Hybridiautot ovat autoja, jotka käyttävät voimanlähteenään sekä sähkö että polttomoottoria. On olemassa kaksi erilaista hybriditekniikkaa, jotka toimivat vähän eri tavoilla.

Ensimmäisenä on rinnakkaishybriditekniikka. Rinnakkaishybridissä polttomoottori ja sähkömoottori on kytketty nimensä mukaisesti rinnakkain ja ajaja voi itse valita ajaako hän pelkällä sähkömoottorilla, pelkällä polttomoottorilla vai molemmilla samanaikaisesti. Jos moottoreita käytetään samanaikaisesti, niin moottorit paikkaavat toinen toisensa heikkoja kohtia, jolloin molemmat moottorit toimivat vain hyvin

hyötysuhteen alueella parantaen auton energiatehokkuutta. Rinnakkaishybridit ovat suosituimpia hybridautoja.

Toisena on sarjahybridauto. Myös sarjahybridautossa moottorit ovat nimensä mukaisesti sarjassa. Erona rinnakkaishybridiin sarjahybridissä ajoneuvoa liikuttaa vain sähkömoottori(t). Polttomoottoria käytetään vain auton ajoakuston lataamiseen.

On olemassa myös plug-in hybridejä, joiden ajoakusto voidaan ladata ulkoisesta lähteestä, kuten täyssähköautojen latauspaikkojen latauspisteistä. Plug-in hybridit voivat olla rinnakkais- tai sarjahybridejä, sillä plug-in tarkoittaa vain ajoakun lataustapaa. Hybridautojen luokittelu voikin olla kaksivaiheinen, jolloin ajoneuvot luokitellaan ensin hybridijärjestelmän ja sen jälkeen akuston lataustavan mukaan.

Hybridejä ei puolestaan oteta huomioon myöhemmin työssä, koska ne sijoittuvat polttomoottori- ja sähköauton välimaastoon.

4 LIIKENTEEN NYKYTILANNE

Tässä kappaleessa perehdytään ajoneuvokannan tilaan Euroopassa ja maailmalla. Kappaleessa pyritään antamaan mahdollisimman kattava kuva liikenteen nykytilasta ajoneuvojen valmistuksesta ja käyttövoimajakaumasta ajoneuvojen käyttöön.

4.1 Ajoneuvojen valmistus

Alueellisesti autonvalmistus on keskittynyt kolmelle alueelle. Pohjois-Amerikkaan, Eurooppaan ja Aasiaan. Alueiden valmistusosuudet ja määrät on esitetty taulukossa 4

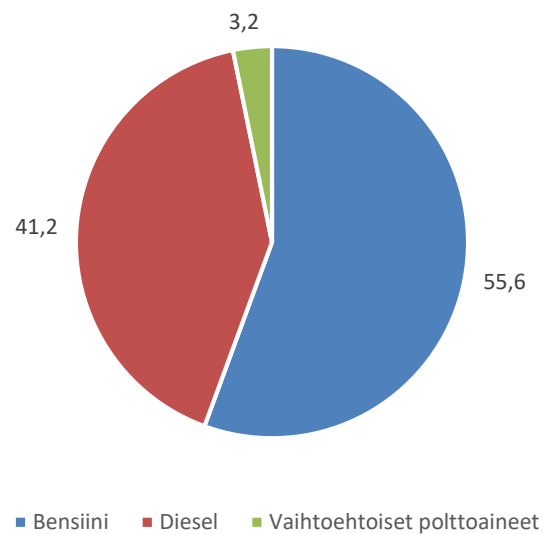
Taulukko 4. Maailman autotuotanto alueittain.

Alue	Valmistetut autot [kpl]	Osuus maailman tuotannosta [%]
Aasia	42653000	53
Eurooppa	19610000	24
Pohjois-Amerikka	13184000	16
Etelä-Amerikka	2632000	3
Lähi-itä ja Afrikka	2143000	3

Yksittäisistä valtioista maailman suurin autojen valmistaja on Kiina, jossa tuotetaan 29% kaikista maailman autoista. Toiseksi suurin valmistaja on Japani, joka vastaa 10% maailman autotuotannosta. Kolmantena on USA, jonka osuus on myös noin 10%. Kaikki kappaleessa olevat tiedot ovat vuodelta 2017. (ACEA, 2018a)

4.2 Ajoneuvojen käyttövoimajakauma

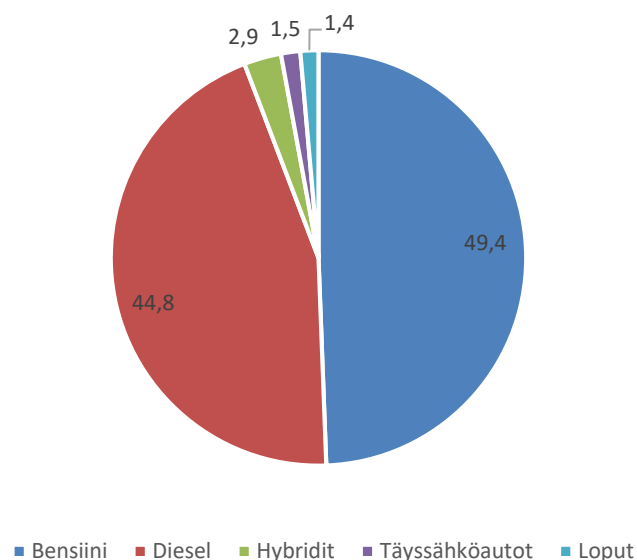
Vuonna 2015 henkilöautojen ja pikkubussien osuudet Euroopassa polttoainetyypeittäin on esitettyinä kuvassa 1.



Kuva 1. Matkustaja-autojen prosentiosuudet polttoainetyypeittäin EU:ssa vuonna 2015.

Bensiini ja diesel kattavat karkeasti jaettuna noin puolet ajoneuvojen käyttövoimista. Hybridien ja täyssähköautojen osuudet ovat kuitenkin olleet kasvussa viimeiset kymmenen vuotta. (ACEA, 2018b)

Uusien autojen rekisteröinnit ovat esitettynä kuvassa 2.



Kuva 2. Uusien autojen rekisteröinnit prosentiosuuksina EU:n alueella vuonna 2017.

Kuvien 1 ja 2 perusteella voidaan päätellä, että bensiiniautojen osuus on pienenemässä ja dieselautojen kasvamassa. Toisaalta dieselautojen suosio on ollut laskussa Volkswagenin jäätyä kiinni dieselautojensa päästömittausten manipuloinnista vuoden 2015 lopulla. Päästöskandaalin jälkeen on käyty keskustelua dieselmootoreiden tulevaisuudesta ja niiden osuus uusista autoista onkin ollut laskussa jo vuodesta 2011 vuoteen 2017.

Vaihtoehtoistoisten polttoaineiden osuus on ollut nousussa vuodesta 2005 lähtien. Silti niiden osuus autokannasta on vielä häviävän pientä.

Autojen keski-ikä Euroopassa vuonna 2015 oli hieman alle 11 vuotta. Autokannan ikä on ollut kasvussa jo yli kymmenen vuotta koko Euroopassa. (ACEA, 2018c)

4.3 Ajoneuvojen käyttö

Henkilöautotiheys kertoo moottoriajoneuvojen määrän tutkittavan alueen asukasluukuun nähden. Euroopassa henkilöautotiheys oli 505 autoa tuhatta henkeä kohden vuonna 2016. Toisin sanoen, joka toisella eurooppalaisella on oma auto. Samalla autolla voi kuitenkin olla useampia käyttäjiä. Henkilöautotiheydet vaihtelevat vahvasti eri valtioiden välillä. Eniten ajoneuvoja asukkaita kohden oli Luxemburgissa (662 tuhatta ihmistä kohden) ja vähiten Romaniassa (261 tuhatta asukasta kohden). (Eurostat, 2018d)

Euroopassa autoja käytetään keskimäärin yhdestä kahteen tuntia päivässä. Tämä tarkoittaa sitä, että autot ovat parkkeerattuina 22–23 tuntia päivässä, joka vastaa noin 92–96 prosenttia ajasta. Parkkeeraus voidaan jakaa kahteen osaan: aktiiviseen ja ei-aktiiviseen parkkeeraukseen. Aktiivinen parkkeeraaminen tapahtuu ensimmäisen ja viimeisen matkan välillä. Ei-aktiivista parkkeerausta on aika ennen ensimmäistä matkaa ja viimeisen matkan jälkeen. Esimerkiksi töissä tai ruokakaupassa käydessä parkkeeraus on aktiivista ja yön yli tapahtuva parkkeeraus kotona on ei-aktiivista parkkeeraamista. Aktiivista parkkeeraamista tapahtuu keskimäärin kuusi tuntia päivässä ja ei-aktiivista 16 tuntia päivässä. Prosentteina vastaavat luvut olisivat 25% ja 67%. (Pasaoglu et al. 2012)

Keskimääräisen eurooppalaisen auton vuodessa kulkema matka on vähentynyt vuosien 2000 ja 2015 välillä tuhannella kilometrillä. Vuonna 2015 eurooppalaisella autolla ajettiin keskimäärin 12000 kilometriä vuodessa. Auton kyydissä voi kuitenkin matkustaa useampi henkilö samanaikaisesti, joten ihmisten tai tavaroiden liikkuvuudesta edelliset luvut eivät anna kovinkaan paljon tietoa. (Odyssee-Mure, 2018)

Autojen täyttöaste puolestaan kertoo, kuinka monta ihmistä keskimäärin kulki samalla autolla. Autojen täyttöaste on ollut laskussa vuodesta 1980 lähtien ja vuonna 2004 autossa kulki keskimäärin 1,6 matkustajaa. Syynä autojen täyttöasteen laskulle voidaan pitää esimerkiksi muutoksia yhteiskunnassa tai lisääntyneessä auton omistuksessa. Bussien täyttöaste sen sijaan on melko korkea, noin 70%. Busseissa oli tavallisesti lähes kaksi kolmasosaa penkeistä varattuina. (EEA, 2012)

4.4 Henkilöajoneuvoille myönnetyt ja suunnitellut tukimuodot

Kuten aiemmin tässä työssä todettiin, niin Pariisin ilmastopöytäkirjassa sitoutettiin lähes kaikki maailman valtiot vähentämään hiilidioksidipäästöjään. Päästövähennykset vaikuttavat myös liikenteeseen, mutta fossiilisia polttoaineita käyttävän tekniikan toimivuus ja fossiilisten polttoaineiden tämänhetkinen riittävyys eivät kannusta ajoneuvovalmistajia kehittämään uusia vähäpäästöisempiä liikennemuotoja. Myöskään tavalliset ihmiset eivät vielä osta sähköautoja, koska ne ovat vielä kehityksessä jäljessä polttomoottoriautoja. Useat valtiot ovatkin päättäneet tukea vähäpäästöisempiä ajoneuvoja monin eri tavoin.

Sähköautojen ja vähäpäästöisten ajoneuvojen tukimuodot EU:ssa vuonna 2018:

- Vähennykset päästöverossa
- Vähennykset omistusverossa
- Vähennykset yritysajoneuvoverossa
- Vähennykset arvonlisäverossa
- Vähennykset rekisteröintiverossa
- Hankkimiskannusteita

- Vähennykset tietulleissa/veroissa
- Tuet vakuutusmaksuissa
- Vanhojen autojen romutuspalkkiot

Euroopan komissio ei ole laatinut säädöksiä koskien autokannan verotusta eli jokainen jäsenmaa määrittää itse ajoneuvoille myönnettävät tuet. Suosituin tapa vähäpäästöisten ajoneuvojen tukemiselle ovat vähennykset erilaisissa veroissa. (ACEA, 2018d)

Euroopan komissio antoi suuntaviivoja vaihtoehtopolttoaineilla toimivien ajoneuvojen tankkaus- ja latausinfrastruktuurille 2014/94/EU direktiivissään. Direktiivissä sanotaan muun muassa, että kaupunkeihin ja niiden lähistöille tulee rakentaa vuoden 2020 loppuun mennessä tarpeeksi kattava sähköautojen latausverkosto. Latausverkoston rakentamisessa tulee ottaa huomioon ennusteet sähköautojen määrästä kyseiseen hetkeen nähden. Lataus- ja tankkausinfrastruktuureille ei määritelty kuin karkeat kehykset ja lopullinen toteutus on jätetty jäsenvaltioiden vastuulle. (2014/94/EU)

5 ENERGIANKULUTUKSEN TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Kuten työssä aiemmin on mainittu energiamarkkinat ovat tällä hetkellä kiihtyvässä murroksessa. Ajoneuvotekniikan muuttuminen heijastaa tätä muutosta omalta osaltaan vähenevänä fossiilisten polttoaineiden tarpeena. Tätä muutosta pyritään avaamaan tässä kappaleessa tarkemmin ja luomaan syvemmän katsauksen tulevaisuuden mahdollisuuksista ja haasteista.

5.1 Muutos yksityisautoilussa

EU on määrittänyt 20-20-20 -tavoitteessaan, että energiankulutusta, uusiutuvan energian osuutta ja kasvihuonekaasupäästöjä on muutettava merkittävästi vuoteen 2020 mennessä. Muutos saadaan helpoimmin aikaan energiasektoria muuttamalla. Liikenne lasketaan usein osaksi energiasektoria ja tästä syystä liikennesektori on kiihtyvässä muutostilassa, jonka vaikutukset alkavat vasta näkyä, mutta joka tulee muuttamaan koko liikennekulttuuria uudenaikaiseksi. Muutoksen aiheuttava voima on taistelu ilmansaasteita vastaan ja päämäärä on muuttaa nyky-yhteiskunta vähäpäästöisemmäksi. (Euroopan komissio, 2018d)

Liikenteessä vähäpäästöisyys tarkoittaa tiukkenevia päästörajoja, jotka pakottavat autonvalmistajat parantamaan nykyisiä moottoreita yhä vähäpäästöisempään suuntaan. Käytännössä tämä tarkoittaa moottoreiden polttoainekulutuksen pienentämistä. Polttoainekulutuksen pienentämiseksi autojen moottoreiden iskutilavuudet pienenevät, moottoreita ahdetaan yhä enemmän ja polttomoottoreiden avuksi asennetaan sähkömoottoreita eli hybridivoimalinjoja. Lisäksi autonvalmistajat kehittävät johonkin toiseen energianlähteeseen perustuvia autoja, esimerkiksi täyssähköautoja tai vetyautoja. Täyssähköautot ovat sinällään päästöttömiä, koska ne eivät tuota pakoputkipäästöjä, mutta joiden päästökuorma siirtyy loppukulutuksesta energiantuotannolle, eli voimalaitoksille. Tämä kasvattaa painetta lisätä voimalaitosten määrää ja korvata vanhat voimalaitokset uusilla, päästömääräykset täyttävillä voimaloilla.

Liikenne tulee siis muuttumaan polttoaineriippuvaisesta sähköriippuvaiseksi. Ajoneuvojen energiankulutus muuttuu merkittävästi, sillä polttoaineiden kemiallinen energia korvataan sähköenergialla. Ongelmana polttomoottoriauton ja sähköauton energiankulutuksen vertailussa on, että toinen kuluttaa kemiallista energiaa ja toinen sähköenergiaa. Tätä ongelmaa varten on kehitetty erilaisia analyysejä, joiden avulla voidaan vertailla polttomoottoriautojen ja sähköautojen energiatehokkuutta ja kasvihuonekaasupäästöjä. Kolme analyysiä eri käyttövoimien vertailemiseksi ovat:

- Well-to-tank (WTT)
- Tank-to-wheels (TTW)
- Well-to-wheel (WTW)

Well-to-tank -analyysin avulla lasketaan energiatehokkuus ja kasvihuonekaasupäästöt energianlähteestä (well) eri jalostusasteiden kautta valmiiksi liikennepolttoaineeksi ja kulkuneuvon tankkiin (tank) tai akkuun eri vaiheiden väliset kuljetukset mukaan luettuina. Well-to-tank ei kuitenkaan ota kantaa mitä polttoaineelle tai sähkölle tapahtuu ajoneuvon sisällä. (Euroopan komissio, 2016)

Tank-to-wheels -analyysi puolestaan tarkastelee vain mitä polttoaineelle tai sähköenergialle tapahtuu auton sisällä. Toisin sanoen TTW -analyysissä tarkastellaan ajoneuvon sisäistä energiatehokkuutta eli hyötysuhdetta, jolla autoon varattu energia saadaan vaikuttamaan sen renkaissa. (Euroopan komissio, 2016)

Well-to-wheel -analyysi puolestaan yhdistää kaksi edellistä analyysiä ja tarkastelee näin ollen koko ketjua energianlähteestä loppukulutukseen. WTW -analyysi ei kuitenkaan ota kantaa siihen, miten energianlähteen jalostukseen tehdyt laitokset tai ajoneuvot on rakennettu tai minkälainen ympäristökuorma niiden purkamisesta lopulta koituu. (Euroopan komissio, 2016)

Alla olevassa taulukossa on esitetty eri analyysien viitteellisiä tuloksia.

Taulukko 5. Eri analyysien tulokset eri käyttövoimille (Helmers et al. 2012)

Käyttövoima	WTT [%]	TTW [%]	WTW [%]
Bensiini	79-86	16-23	13-20
Diesel	76-84	23-28	18-24
Hybridi	79-86	30-37	24-32
BEV	15-85	73-90	11-77

Taulukossa lyhenne BEV tarkoittaa täyssähköautoa. Taulukosta 5 voidaan huomata, että bensiinin ja dieselin tuotanto ja jalostus pystytään tekemään hyvällä hyötysuhteella. Sähköntuotannossa kuitenkin joudutaan tekemään lisävaihe, jossa yhdestä, yleensä kemiallisesta tai kineettisestä, energianmuodosta muunnetaan sähköä. Kaikki lisävaiheet energianmuunnoksissa heikentävät luonnollisesti muunnoksen hyötysuhdetta. Täyssähköauton hyötysuhdeanalyysien todella laajat vaihteluvälit johtuvat siitä, että sähköä voidaan tuottaa lukuisin eri keinoin. Huonolla hyötysuhteella toimivat lauhdelaitokset hukkaavat suurimman osan energiasta, mutta optimoidut uusiutuvan energian tuotantolaitokset voivat päästä todella korkeisiin hyötysuhteisiin. Sama pätee myös sähköautoihin, huonosti optimoidut ja vanhentunutta teknologiaa käyttävät sähköautot hukkaavat osan energiasta, mutta uudet ja optimoidut autot ovat hyvin energiatehokkaita.

TTW -analyysin tuloksista nähdään, että ajoneuvon sisällä polttoaine saadaan muunnettua melko heikolla hyötysuhteella mekaaniseksi energiaksi. Akkuihin ladattu sähköenergia taas saadaan muunnettua korkealla hyötysuhteella ajoneuvon liike-energiaksi. Hybridiautot asettuvat tekniikaltaan polttomoottori- ja sähköauton väliin, joten se asettuu sinne myös energiatehokkuutensa suhteen.

Sähköautojen sisäinen- ja kokonaishyötysuhde ovat huomattavasti parempia kuin polttomoottoriautoilla, koska sähkömoottorin fysikaalinen ja mekaaninen hyötysuhde on helposti saatavissa todella korkeaksi. Lisäksi sähköä tuottavissa suurissa voimalaitoksissa voidaan saavuttaa huomattavasti suurempi hyötysuhde kuin auton moottorissa. Jos siis polttomoottoriajoneuvojen kuluttama polttoaine käytettäisiin voimalaitoksissa sähköntuotantoon, polttoaineesta saataisiin enemmän energiaa hyötykäyttöön.

Jos tarkastellaan ainoastaan energian loppukulutusta (TTW) ajoneuvoja liikuttavana voimana, niin sähköautojen energiankulutus on aina huomattavasti pienempi kuin perinteisten autojen energiankulutus. Jos tarkastellaan myös sähköautoissa käytettävän sähköenergian tuotantoa (WTW) ero polttomoottori- ja sähköauton energiankulutuksissa pienenee jonkin verran. Ero täyssähköauton ja polttomoottoriauton hyötysuhteiden välillä WTW analyysissä on silti merkittävä. Perinteiset polttoaineet voidaan käyttää lähes sellaisenaan polttomoottorissa, mutta sähkö on tuotettava jotenkin. Sähköntuotannosta ja -siirrosta aiheutuu häviöitä, jotka heikentävät sähköön käyttämisen hyötysuhdetta. Sähköntuotannon häviöiden tuottama ylijäämälämpö voidaan kuitenkin käyttää hyväksi suurissa voimalaitoksissa esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon tai muiden tuotantolaitosten prosessihöyrynä. Ajoneuvoissa hukkalämpöä ei ainakaan vielä pystytä käyttämään hyväksi muuten kuin ohjaamon lämmittämiseen. Autojen digitalisoituessa niiden ohjauslaitteet, kuten ohjaustehostimet ja ajotietokoneet tarvitsevat yhä enenevässä määrin sähköä, joka tuotetaan perinteisissä autoissa polttomoottorin pyörittämällä generaattorilla. Tämä ei ole tehokasta, sillä polttomoottorin hyötysuhde on keho. Sähköautojen lisälaitteiden tarvitsema energia otetaan suoraan ajoakusta. Ajoakun energia taas on lähtöisin voimalaitokselta, jossa sähkö on tuotettu hyvällä hyötysuhteella. Tästä syystä voidaan todeta, että sähköauton loppuenergiankulutus on kaikin puolin, niin moottorin kuin hallinta- ja viihdelaitteiden osalta, energiatehokkaampaa ja ympäristöystävällisempää kuin polttomoottoriautoissa. Sähköauton ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa kuitenkin hyvin vahvasti se, millä primäärienergialla auton kuluttama sähkö tuotetaan.

Ajoneuvokannan sähköistymiseen vaikuttaa monet muutkin tekijät kuin tekniikan vähäpäästöisyys. Varsinkin nyt, kun sähköautoissa käytetty tekniikka on melko varhaisessa vaiheessa ja sen vuoksi kallista, valtion erilaiset tukimuodot parantavat hybridi- ja sähköautojen kilpailukykyä. Sähköautojen tukemisesta voi seurata lumivyöryefekti, jota kutsutaan suuruuden ekonomiaksi. Suuruuden ekonomiassa tuotettavan esineen tuotannon kasvaessa myös tuotetun kappaleen yksikkökustannukset laskevat, mikä luo itseään ruokkivan efektin. Myynnin kasvaessa tuottoja voi ohjata myös

tuotekehitykseen, joka osaltaan ruokkii positiivista kierrettä. Toinen tärkeä tekijä sähköautoilun tulevaisuudelle on latausasemien määrä. EU on määrittänyt lainsäädännössään jo pohjan kattavan latausinfrastruktuurin rakentamiseksi, loput ovat jäsenvaltioiden ja ajoneuvovalmistajien vastuulla. Myös latausasemien määrä tulee luultavasti kasvamaan eksponentiaalisesti sähköautojen määrän kasvaessa. Toisaalta latausasemien määrä on kuin muna ja kana kysymys, kumpi tuli ensin? Ilman julkisia latausasemia sähköautojen lataaminen on huomattavasti hankalampaa, mutta ilman sähköautoja latausasemilla ei tee mitään. Latausasemien ja sähköautojen määrä tuleekin todennäköisesti kulkemaan tiukasti käsi kädessä.

5.2 Case-tarkastelu

Case-tarkastelun kohteeksi valittiin rekisteröityjen sähköautojen määrän kasvu Norjassa verrattuna Saksan vastaaviin lukemiin. Tässä kappaleessa esitellään Saksan ja Norjan sähköautojen määrän kasvu lukuina sekä siihen vaikuttaneet syyt. Lisäksi tehdään pienimuotoinen vertailu näiden kahden valtion välillä.

5.2.1 Sähköautot Norjassa

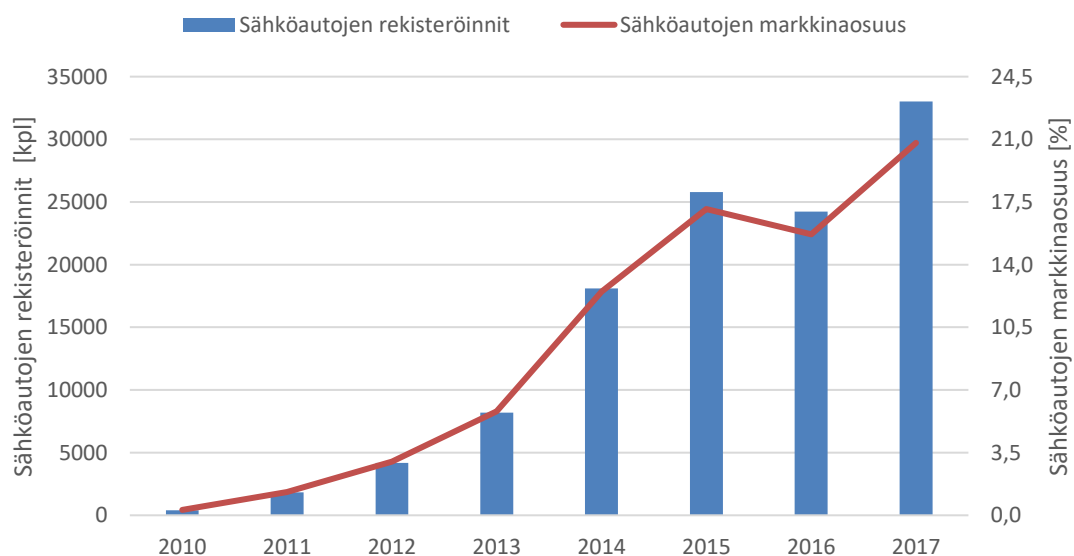
Norjan sähköautobuumi, joka on ollut nopeinta maailmassa, alkoi 2010-luvulla. Sähköautojen tukeminen Norjassa alkoi jo vuonna 1990. Siitä lähtien sähköautojen tukia on lisätty useaan kertaan valtiotasolla, viimeksi vuonna 2015. Sähköautoille myönnetyt tuet Norjassa: (Figenbaum et al. 2013)

- 1996 ei rekisteröintiveroa
- 1997 ei tienkäyttömaksua
- 1999 ilmainen parkkeeraus kunnallisilla parkkipaikoilla
- 2000 pienennetty yritysautovero
- 2001 ei arvonlisäveroa
- 2004 pienennetty ajoneuvovero
- 2005 bussikaistojen käyttöoikeus

- 2009 veroalennukset rannikon lauttamaksuissa
- 2015 ei arvonlisäveroa leasing autoille

Lisäksi eri alueiden viranomaiset voivat sopia lisätuista itsenäisesti. Sähköautojen määrän kasvu on kuitenkin ollut hidasta ennen vuotta 2010. Hitaan kasvun syynä voi olla, että tuet eivät vielä silloin olleet riittävällä tasolla ja että annettujen tukien vaikutus tulee näkyviin vasta muutamia vuosia tuen antamisen jälkeen. Toinen syy sähköautojen läpimurtoon vuosina 2010–2015 on luultavasti julkisten latausasemien määrä, jota Norjan valtio vahvisti vuonna 2011 rakentamalla uusia pikalatausasemia. (Figenbaum et al. 2013)

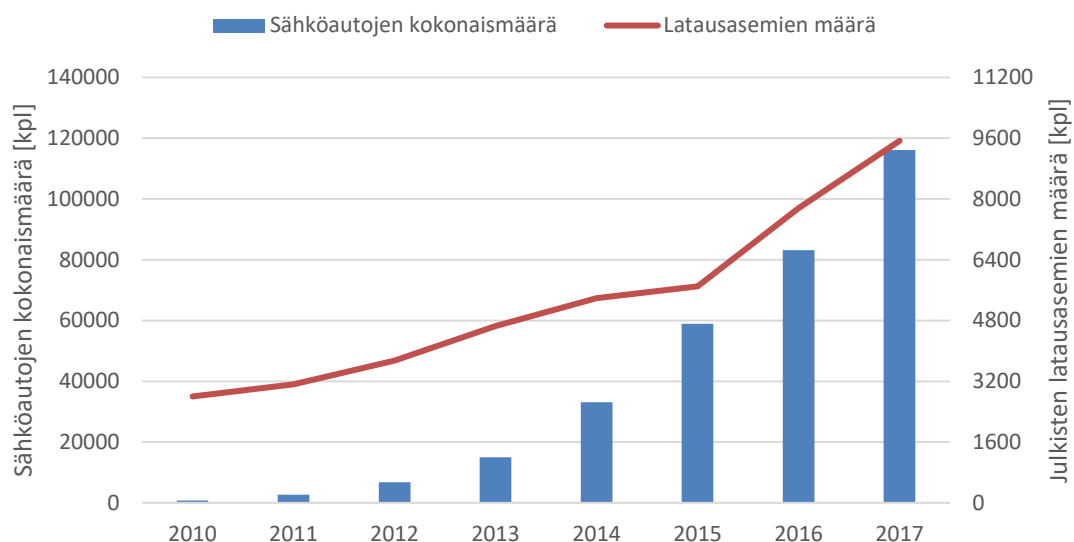
Kuvassa 3 on täyssähköautojen markkinaosuuden ja rekisteröintimäärien kehittyminen Norjassa 2010–luvulla.



Kuva 3. Sähköautojen markkinaosuus ja rekisteröintimäärät Norjassa vuosittain

Yksi tärkeimpiä sähköauton hankintaan vaikuttavia seikkoja on julkisten latausasemien määrä ja niiden sijoittuminen valtion ja kaupunkien alueella. Norjassa julkisten latauspaikkojen määrä on ollut tasaisessa kasvussa vuodesta 2010 alkaen. Myös suurteholatausasemien määrä on ollut kasvussa.

Kuvassa 4 on esitetty sähköautojen ja niiden latausasemien kokonaismäärän kehittyminen Norjassa 2010–luvulla.



Kuva 4. Sähköautojen kokonaismäärän ja julkisten latauspaikkojen määrän kasvu Norjassa vuosittain (IEA, 2018)

Kuvasta nähdään, että latausasemien määrä on ollut melko suuri sähköautojen määrään nähden. Tästä voidaan päätellä, että Norja pyrkii aktiivisesti lisäämään sähköautojen kannattavuutta tarjoamalla kaikille avoimia latauspaikkoja. Ilman valtion aktiivista toimintaa liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseksi sähköautojen määrä Norjassa olisi luultavasti lähellä 20 000 kappaletta. Tukien ansiosta sähköautojen määrä on ollutkin pitkään kasvussa. Vuoden 2018 tilastotietoja ei saada ennen vuoden loppua, mutta sähköautojen rekisteröintimäärät eivät näytä vielä toistaiseksi vähenemisen merkkejä. Sähköautojen osuus Norjassa vuoden 2018 alussa oli 4,3%.

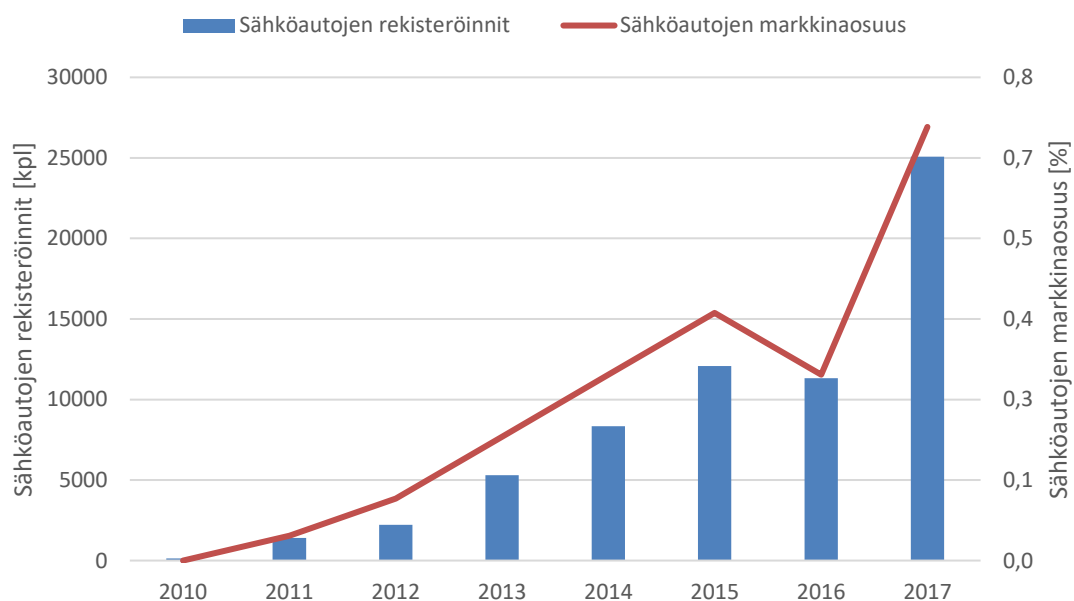
Vuonna 2017 Norjan autokannasta Norjan tapauksessa nähdään, kuinka paljon valtion ajamalla politiikalla voidaan vaikuttaa valtion ajoneuvokantaan.

5.2.2 Sähköautoilu Saksassa

Toisin kuin Norjassa, Saksassa sähköautojen osuus on vielä todella vähäinen, vain 0,13% koko autokannasta. Saksassa sähköautoilun tuet ovat huomattavasti vähäisemmät kuin Norjassa eikä sähköautoilu ole siksi vielä niin houkutteleva vaihtoehto kuluttajille, että niiden määrä lähtisi nopeaan kasvuun.

Saksa on kuitenkin asettanut itselleen tavoitteita sähköisen liikenteen kehittämisestä, asetetut tavoitteet vaikuttavat kuitenkin hyvin optimistisilta nykyiseen kehitykseen nähden. Saksan omista tavoitteista vuoteen 2020 mennessä liikenteessä olisi vähintään miljoona ja vuoteen 2030 mennessä vähintään kuusi miljoonaa sähköajoneuvoa. (Die Bundesregierung, 2011)

Kuvassa 6 on esitetty sähköautojen markkinaosuudet ja rekisteröintimäärät.



Kuva 5. Sähköautojen markkinaosuus ja rekisteröintimäärät Saksassa

Sähköautojen markkinaosuus on pysynyt hyvin matalana, joten Saksan hallitus on laatinut suunnitelman tavoitteidensa toteuttamiseksi ja on alkanut myös toteuttaa sitä.

Uudessa, vuonna 2016 voimaan tulleessa paketissaan sähköisen liikenteen kehittämiseksi Saksan valtio:

- tukee uusien sähköautojen ostamista yhdessä ajoneuvoteollisuuden kanssa. Uuden, enintään 60 000€ sähköauton ostaja saa 4 000€ ostotuen, josta puolet tulee valtiolta ja puolet ajoneuvovalmistajilta. Plug-in hybrideille tuen osuus on 3 000€. Ostotuen enimmäismäärä on valtion osalta rajattu 600 miljoonaan euroon.
- ei enää laske sähköauton lataamista työpaikalla verotettavaksi etuudeksi.

Lisäksi valtio tukee latausinfrastruktuurin rakentamista myöntämällä 200 miljoonaa euroa pikalatausasemien rakentamiseksi ja 100 miljoonaa euroa tavallisten latausasemien rakentamiseksi. Latausasemien määrää on tarkoitus tukien avulla nostaa vähintään 15 000 kappaleella. Tavoitteena oli myös saavuttaa 20% sähköistysaste valtion omistamissa ajoneuvoissa, mutta se saavutettiin toukokuussa 2016. Sähköistyksen lisäämiseksi on silti myönnetty 100 miljoonaa euroa. (BMVI, 2018b)

Aikaisemmin Saksan valtio on:

- myöntänyt 2,2 miljardia euroa sähköisen liikenteen tutkimukseen ja kehitykseen.
- ensimmäisenä ottanut käyttöön EU direktiivin 2014/94/EU, jossa määritellään vaatimukset vaihtoehtoisten käyttövoimien latausinfrastruktuurin rakentamiseksi.
- laatinut oikeusperustan smart grid teknologian käyttöönottamiseksi ja vapauttaneet kilpailun latausasemien rakentamisesta. Tämä voi tarkoittaa sähköautojen lataamisen halpenemista.
- helpottanut yritysten omistamien sähköautojen yksityiskäyttöä. Yrityksen omistaman ajoneuvon yksityiskäyttö on laskettu rahalliseksi etuudeksi, jota on verotettu. Nyt sähköauton akun hinnan saa vähentää verotettavasta hyödystä.
- poistanut uusien sähköautojen ajoneuvoveron viideksi ensimmäiseksi vuodeksi. Uuden, vielä käyttöönottamattoman suunnitelman mukaan ajoneuvoveron viiden

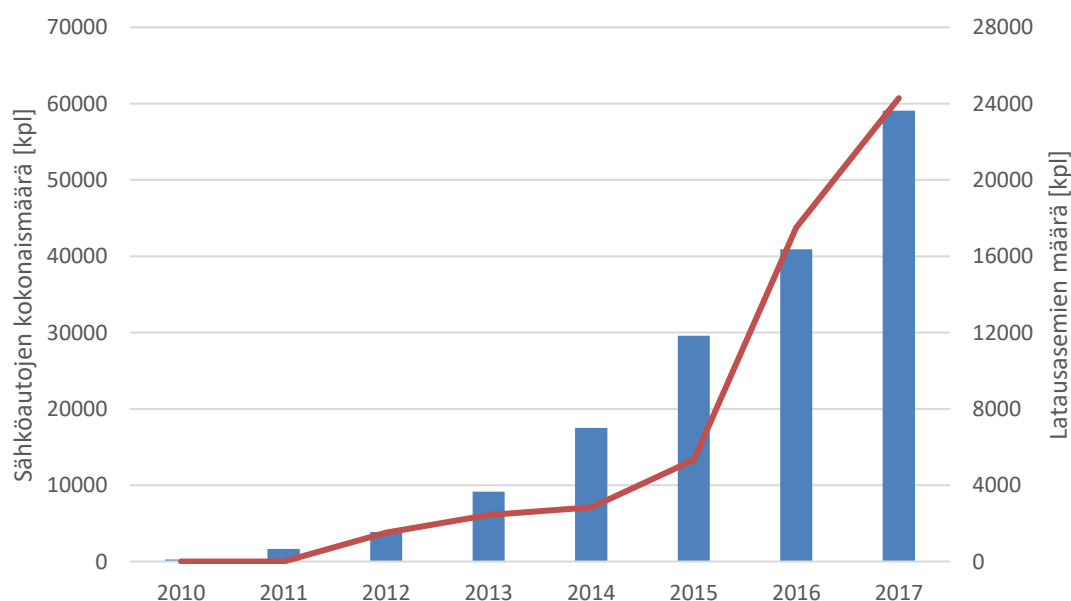
vuoden poikkeus nostettaisiin kymmeneen vuoteen ja tukea saisivat kaikki sähköajoneuvot.

- antanut kunnille mahdollisuuden tukea sähköistä liikennettä esimerkiksi myöntämällä ilmaisen parkkeeraamisen, bussikaistojen käyttämisen ja ajokieltojen poistamisen sähköautoille.

(BMVI, 2018b)

Vuodesta 2009 vuoteen 2018 Saksan valtio on investoinut jo noin 5 miljardia euroa sähköisen liikenteen lisäämiseksi. (BMVI, 2018a)

Myönnettyistä tuista huolimatta sähköautojen ja niiden julkisten latauspaikkojen määrä on minimaalinen asetettuihin tavoitteisiin nähden. Sähköautojen ja julkisten latauspaikkojen määrä on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Sähköautojen ja julkisten latauspaikkojen määrä Saksassa vuosittain (IEA, 2018).

Huomionarvoista kuvassa kuusi on, kuinka Saksa yli kolminkertaisti sähköautojen latauspaikkojen määrän vuonna 2015 osana sähköisen liikenteen tukipakettiaan. Myös Saksan sähköautojen määrä on lähtenyt tasaiseen kasvuun valtion tukitoimien myötä.

5.2.3 Norjan ja Saksan vertailu

Kuten aiemmin työssä on jo mainittu, Norjassa sähköautojen määrä suhteessa koko autokantaan on suurin koko maailmassa. Norjan sähköautojen määrän syynä on Norjan valtion tukitoimet sähköautoilua kohtaan, jotka myös ovat suurimmat maailmassa. Norjassa on poliittisesti päätetty ohjata valtiota vihreämpään suuntaan tukemalla sähköautojen hankintaa. Tämä sopii hyvin yhteen Norjan energiasektorin kanssa, sillä Norjan sähköstä tuotetaan yli 95% vesivoimalla. Näin ollen Norja voi olla ensimmäinen valtio maailmassa, jonka energia tuotetaan kokonaan uusiutuvalla energialla. Jos sähköautojen määrän kasvu jatkuu samanlaisena niin karkeasti arvioiden puolet Norjan autokannasta on sähköistetty vuoteen 2022 mennessä.

Saksassa tilanne on toinen. Vaikka saksassakin on alettu sähköistämään joukkoliikennettä ja tukemaan sähköautojen hankintaa, niin sähköautojen määrä on pysynyt hyvin matalana. Yksi syy sähköautojen vähyteen Saksassa on suorien tukien vähyys. Koska sähköautojen hinnat ovat pysyneet korkeina niin halpa sähkön hintakaan ei tee sähköautoilusta samanhintaista kuin perinteisillä polttomoottoriautoilla. Tästä johtuen sähköautojen määrän voidaan sanoa johtuvan suoraan käyttö- ja hankintatuista.

Norjassa tuet kohdistetaan suoraan ajoneuvojen hankinta- ja käyttökustannuksiin. Valtion suora puuttuminen sähköautoilun kustannuksiin kannustaa parhaiten yksityishenkilöitä hankkimaan sähköauton. Toisaalta kyseinen lähestymistapa vaatii valtiolta paljon varallisuutta, ellei valtio ole valmis leikkaamaan muiden alojen budjeteista tai ottamaan lainaa kehityksen tukemiseksi.

Saksassa sähköisen liikenteen tukeminen on hyvin erilaista kuin Norjassa. Saksassa tukimuodot ovat enemmänkin yritysälähtöisiä, kuin käyttäjälähtöisiä. Saksassa tuetaan monia muita sähköautoiluun liittyviä asioita paitsi hankintaa ja käyttöä, joiden tuet ovat

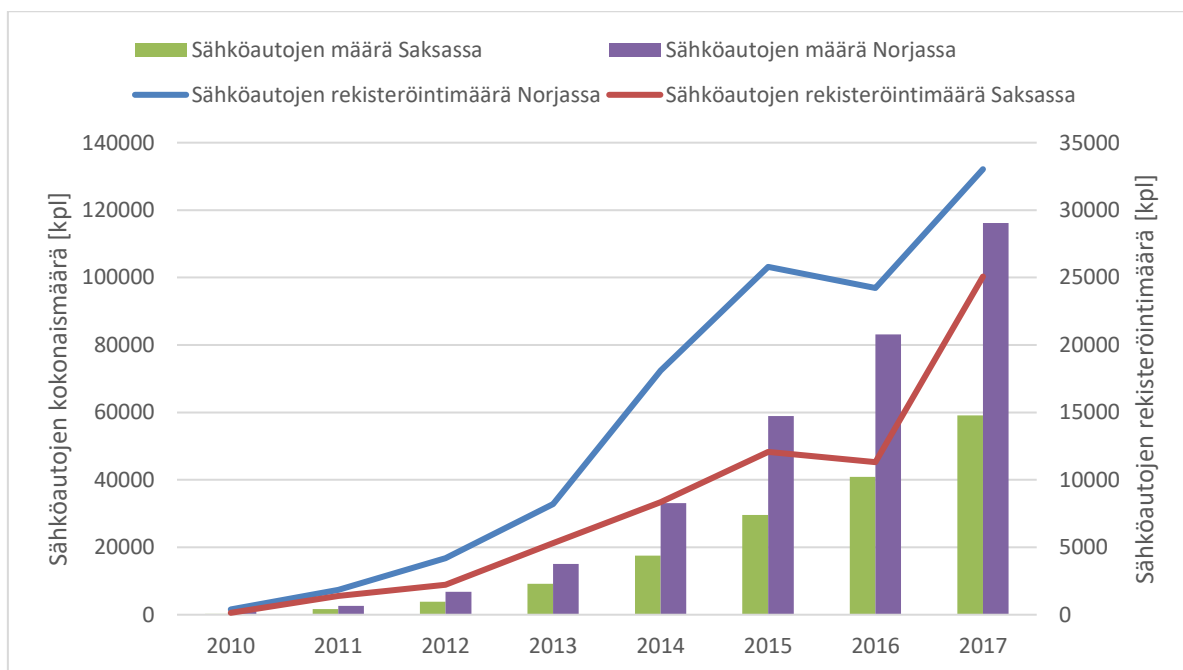
pienet muihin tukiin verrattuna. Saksan strategiassa pyritään pienentämään sähköautoilun kustannuksia siihen liittyvän liiketoiminnan helpottamisella ja vapauttamisella.

Saksa on Euroopan suurimpia autoteollisuusmaita, josta on myös peräisin monta automerkkiä. Siksi ei olekaan ihme, että ajoneuvovalmistajille myönnetään tukea sähköisten ajoneuvojen kehittämiseksi. Ajoneuvovalmistajia auttamalla voidaan toisaalta lisätä autojen vientiä EU:n ulkopuolelle ja lisätä näin Euroopan sisäistä varallisuutta ja Saksan valtion verotuloja.

Norjan tukimuodot ovat suoraviivaisia, joten tukien vaikutuksen voi huomata melko nopeasti niiden myöntämisen jälkeen. Saksan tuet ovat monimutkaisempia ja ne kohdistuvat taloudelliseen kilpailuun, joten tukien vaikutus voi tulla näkyviin monien vuosien viiveellä. Mielestäni kumpaakaan lähestymismuotoa ei voida tuomita toista huonommaksi. Saksan tapauksessa sähköautojen yleistyminen kuitenkin viivästyy niin paljon, että Saksassa ei tulla pääsemään miljoonan sähköauton tavoitteeseen vuonna

2020. Uskon kuitenkin, että kuuden miljoonan sähköauton tavoitteeseen voidaan päästä, jos mitään yllättävää ja kehitystä hidastavaa ei pääse tapahtumaan ennen sitä.

Kuvassa seitsemän on Norjan ja Saksan vertailu täyssähköautojen lukumäärän suhteen.



Kuva 7. Norjan ja Saksan vertailu sähköautojen markkinaosuuksien ja kokonaismäärän suhteen 2010-luvulla.

Kuvasta seitsemän on tärkeää huomata, että vaikka Norja on paljon pienempi valtio ja ajoneuvomäärältään noin kuusi prosenttia Saksan ajoneuvokannasta niin silti sähköautoja myydään siellä paljon enemmän kuin Saksassa. Toisaalta sähköautojen myynnin vähyys yhdessä tukitoimien kanssa antaa viitteitä siitä, että Saksassa tulee tapahtumaan suuria muutoksia lähitulevaisuudessa sähköisen liikkumisen saralla.

Taustatutkimusten perusteella sähköautojen ja niiden latauspaikkojen määrä tulee jatkamaan tasaista kasvuaan ympäri Eurooppaa Norja mukaan luettuna myös tulevina vuosina. Norja tulee ilmeisesti olemaan myös ensimmäinen valtio, jossa liikenne sähköistyy täysin. Norjan tavoite onkin myydä pelkästään täyssähköautoja vuodesta 2025 eteenpäin. Jos tavoitteeseen päästään, niin Norjan autokanta tulee todennäköisesti olemaan täysin sähköinen hieman vuoden 2030 jälkeen. Mitään suurta muutosta

sähköautojen myynissä ei luultavasti tule tapahtumaan ainakaan Norjassa. Saksassa puolestaan sähköautojen määrä tulee kasvamaan paljon valtion tukien realisoituessa sähköauton käyttö- ja hankintakustannuksiin. Tavoitteiden valossa muutoksen tulisi olla suurinta mitä sähköautomarkkinoilla on koskaan nähty, mutta toisaalta Saksalla on ollut vaikeuksia päästä kunnianhimoisiin tavoitteisiinsa. Nähtäväksi jää kuinka nopeaa kasvu tulee lopulta olemaan.

Tämän case-tarkastelun tavoitteena oli antaa lihaa luiden ympärille eli sitoa aikaisemmat työssä kerrotut havainnot, luvut ja arviot käytäntöön ja ympäröivään maailmaan. Tehdyn case-tarkastelun avulla voitiin verrata kahden valtion toimintaa ja politiikkaa sähköistä liikkumista kohtaan. Edistyneempien valtioiden, kuten tässä tapauksessa Norjan, kehityskulkua voidaan jonkin verran heijastaa kehityksessä hieman taaempaan tuleviin maihin, kuten tässä tapauksessa Saksaan, ja näin spekuloida tulevaisuutta. Pitää kuitenkin muistaa, että tämänkin työn tarkastelussa olleilla valtioilla oli merkittävästi erilainen lähestymistapa sähköisen liikenteen lisäämiseksi. Pitää myös pohtia eroja valtioiden välillä, koska liian erilaisten valtioiden vertaaminen voi olla vaikeaa ja jopa mahdotonta. Tämän työn case-tarkastelu oli helppo toteuttaa, koska molemmat valtiot kuuluvat samaan talousalueeseen ja ovat maantieteellisesti lähekkäin, niissä on suhteellisen samanlainen ilmasto sekä molemmat valtiot ovat poliittisesti ja taloudellisesti vakaita.

6 YHTEENVETO

Pariisissa solmittiin vuoden 2015 lopussa ilmastopimus kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja ilmaston lämpenemisen ehkäisemiseksi. Pariisin ilmastopimuksen pohjalta Euroopan Unioni jakoi jokaiselle jäsenmaalleen tavoitteita päästöjensä vähentämiseksi. Yhtenä suurimmista päästölähteistä energiantuotanto ja sen osana liikenne joutuu muuttumaan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Tavoite olisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20% vuoden 1990 tasoon nähden.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia lähteitä käyttäen liikenteen nykytilaa ja tulevaisuutta. Työ rajattiin koskemaan eurooppalaista henkilörengasliikennettä työn pitämiseksi sopivan mittaisena. Työssä esiteltiin liikenteessä tällä hetkellä käytettävä teknologia sekä ne teknologiat, jotka todennäköisesti tulevaisuudessa tulevat nousemaan merkittävään rooliin. Työn lähtökohtana oli olettamus, että liikenne tulee sähköistymään. Alkuoletuksen pohjalta työssä pyrittiinkin selvittämään, millaisia muutoksia liikenteessä on tähän asti tapahtunut, mitä muutos vaatii tapahtuakseen ja miten nopeaa muutos voi parhaimmillaan olla.

Työn tuloksena saatiin selville, että liikenteen sähköistyminen tulee kiihtymään lähivuosina. Valtioiden itselleen asettamat toinen toistaan optimistisemmat tavoitteet liikenteen päästöjen vähentämiseksi pakottavat valtiot tukemaan sähköisen liikenteen kehittymistä. Sähköisen liikkumisen tekniikan kehittyessä sen kustannuksen laskevat ja tekevät sähköisestä liikkumisesta entistä kannattavampaa. Sähköisen liikenteen suurimpia kompastuskiviä on sähköautojen toimintamatkan lyhyys, mikä johtaa kasvaneeseen latauspaikkojen tarpeeseen. Myös latausinfrastruktuurin kehittyminen vaatii valtavia tukitoimia valtioilta. Ilman tukitoimia sähköisen liikenteen tulevaisuus näyttäisi synkältä.

Työssä tehdyn case-tarkastelun avulla pyrittiin antamaan käytännönläheisempi kuva liikenteen tulevaisuudesta kuin pelkkien tavoitteiden ja teknologioiden esittelemisellä. Tarkastelussa osoitettiin, että valtiot ovat valmiita tukemaan sähköistä liikennettä saavuttaakseen päästövähennystavoitteensa ja että sähköautojen määrä on riippuvainen

tukien määrästä ja latausverkon kattavuudesta. Tarkastelussa myös huomattiin, että valtioiden toimet sähköisen liikenteen tukien osalta voivat erota paljon toisistaan, vaikka lopputulos olisikin samanlainen.

Sähköinen liikenne on samalla nykyisyyttä ja tulevaisuutta. Vaikka kasvihuonekaasupäästöjen määrä saataisiin kuriin liikennemuotoja muuttamatta, niin nykyisten liikennemuotojen on silti muututtava, sillä ne pohjautuvat fossiilisille polttoaineille, jotka loppuvat aikanaan. Liikenteen sähköistyminen kiihtyy Euroopassa.

Työssä tarkasteltiin sähköautojen määrän kasvua aikaisempien vuosien tietojen perusteella. Seuraavaksi tutkimuskohteeksi voisi valita esimerkiksi latauspisteiden maantieteellisen sijainnin ja levittyneisyyden valtioiden alueella suhteessa pinnanmuotoihin, valtateihin ja asutukseen. Toisessa tutkimuksessa voitaisiin myös käsitellä muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden kasvua Euroopassa tai maailmalla. Kolmas tutkimuskohde voisi olla sähköautoilun ympäristövaikutuksien arvioiminen sähköntuotannon näkökulmasta.

LÄHDELUETTELO

- Adams, E. 2018. The secret of electric cars and their motors: It's not all about the battery, folks. [verkkouutinen]. [viitattu 28.4.2018]. Saatavissa: www.thedrive.com/tech/17505/the-secrets-of-electric-cars-and-their-motors-its-not-all-about-the-battery-folks
- BP, 2016. British petroleum. BP statistical review of world energy, s.6-11. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.4.2018]. Saatavissa: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>
- CIA, 2018. Central Intelligence Agency. [CIA:n www-sivut]. [viitattu 10.4.2018]. Saatavissa: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>
- Die Bundesregierung, 2011. Regierungsprogramm elektromobilität. s.10.
- Euroopan komissio, 2005. Biofuels in the european union: an agricultural perspective, s.9-12 [verkkodokumentti]. [viitattu 2.6.2018]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/agriculture/publi/fact/biofuel/2007_en.pdf
- Euroopan komissio, 2016. Well-to-wheel analyses. [Euroopan komission www-sivut]. [viitattu 2.7.2018]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>
- Euroopan komissio, 2018a. Causes of climate change. [Euroopan komission www-sivut]. [viitattu 11.4.2018]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_en
- Euroopan komissio, 2018b. Emissions cap and allowances [Euroopan komission www-sivut]. [viitattu 12.4.2018]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap_en
- Euroopan komissio, 2018c. EU crude oil imports and supply cost. [Euroopan komission www-sivut]. [viitattu 20.4.2018] Saatavissa: <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/eu-crude-oil-imports>

Euroopan komissio, 2018d. 2020 climate & energy package [Euroopan komission
www-sivut]. [viitattu 22.9.2018] Saatavissa:
ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en

ACEA, 2018a. European automobile manufacturers association. Passenger cars world.
[ACEA:n www-sivut]. [viitattu 11.6.2018]. Saatavissa:
<https://www.acea.be/statistics/tag/category/passenger-cars-world>

ACEA, 2018b. European automobile manufacturers association. Passenger car fleet by
fuel type. [ACEA:n www-sivut]. [viitattu 11.6.2018]. Saatavissa:
<https://www.acea.be/statistics/tag/category/passenger-car-fleet-by-fuel-type>

ACEA, 2018c. European automobile manufacturers association. Average vehicle age.
[ACEA:n www-sivut]. [viitattu 11.6.2018]. Saatavissa:
<https://www.acea.be/statistics/tag/category/averagy-vehicle-age>

ACEA, 2018d. European automobile manufacturers association. Overwiev on tax
incentives for electric vehicles in the EU [verkkodokumentti]. [viitattu 2.7.2018].
Saatavissa:
https://www.acea.be/uploads/publications/EV_incentives_overview_2018_v2.pdf

EEA, 2012. European environment agency. Evolution of occupancy rates in passenger
transport. [EEA:n www-sivut]. [viitattu 29.6.2018]. Saatavissa:
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/evolution-of-occupancy-rates-in>

Eurostat, 2017. Natural gas consumption statistics. [Eurostatin www-sivut]. [viitattu
21.5.2018]. Saatavissa: [ec.europa.eu/eurostat/statistics-
explained/index.php/Natural_gas_consumption_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_consumption_statistics)

Eurostat, 2018a. International trade in motor vehicles [verkkojulkaisu]. [viitattu
7.4.2018]. Saatavissa: [ec.europa.eu/eurostat/statistics-
explained/index.php/International_trade_in_motor_vehicles](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/International_trade_in_motor_vehicles)

Eurostat, 2018b. Electricity production, consumption and market overview [verkkodokumentti]. [viitattu 7.6.2018] Saatavissa: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview

Eurostat, 2018c. Employment statistics. [eurostatin www-sivut]. [viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Employment_statistics

Eurostat, 2018d. Passenger cars in the EU. [Eurostatin www-sivut]. [viitattu 15.6.2018]. Saatavissa: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_cars_in_the_EU

2014/94/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 22.10.2014 vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. EUVL N:o 280, 27.9.2013.

BMVI, 2018a. Federal ministry of transport and digital infrastructure. The future of mobility is electric. [BMVI:n www-sivut]. [viitattu 10.7.2018]. Saatavissa: <https://www.bmvi.de/EN/Topics/Mobility/Electric-Mobility/Electric-Mobility-In-A-Nutshell/electric-mobility-in-a-nutshell.html>

BMVI, 2018b. Federal ministry of transport and digital infrastructure. Regulatory environment and incentives for using electric vehicles and developing a charging infrastructure. [BMVI:n www-sivut]. [viitattu 24.9.2018]. Saatavissa: <https://www.bmvi.de/Redaktion/EN/Artikel/Industry/regulatory-environment-and-incentives-for-using-electric-vehicles.html>

Figenbaum E. Kolbenstvedt M. 2013. Electromobility in Norway – experiences and opportunities with electric vehicles s.24-29

GTK, 2018. Geologian tutkimuskeskus. Öljy, kaasu ja kivihiihi. [Geologian tutkimuskeskuksen www-sivut]. [viitattu 8.4.2018]. Saatavissa: www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/oljy/

Helmers E, Marx P, 2012. Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts. *Environmental sciences europe*, 24:14.

Heywood J, 1988. Internal combustion engine fundamentals.

Matulka, R, 2014. The history of the electric car.

IEA, 2018. International energy agency. Global EV outlook 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 28.9.2018]. Saatavissa: www.iea.org/gevo2018/

Motiva, 2017a. Kaasuauto [Motivan www-sivut]. [viitattu 21.4.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyypit/kaasuauto

Motiva, 2017b. Nestemäiset biopolttoaineet. [Motivan www-sivut]. [viitattu 10.5.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_biopolttoaineet

Odyssee-Mure, 2018. Change in distance travelled by car. [Odyssee-muren www-sivut]. [viitattu 22.6.2018]. Saatavissa: www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html

Ortiz-Rivera E, Reyes-Hernandez A, Febo R, 2007. Understanding the history of fuel cells.

Pasaoglu, G, Fiorello D, Martino A, Scarcella G, Alemanno A, Zubaryeva A, Thiel C, 2012. Driving and parking patterns of European car drivers – a mobility survey.

Statista, 2018. Biofuels production in selected countries in Europe in 2017. [Statista:n www-sivut]. [viitattu 2.6.2018]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/332510/biofuels-production-in-selected-countries-in-europe/>

Tesla, 2008. Roadster efficiency and range. [Teslan www-sivut]. [viitattu 4.6.2018]. Saatavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/blog/roadster-efficiency-and-range?redirect=no

Trafi, 2018. Vetyauto. [Trafin www-sivut]. [viitattu 9.6.2018]. Saatavissa:
<https://www.trafi.fi/oleedellakavija/vetyauto>

TEM, 2018a. Työ- ja elinkeinoministeriö. RED II ja bioenergian kestävyyskriteerit [verkkajulkaisu]. [viitattu 25.5.2018]. Saatavissa:
https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Janka_UE+ajankohtaispäivä230118/94a45868-8dfe-4493-a846-2e8081e572dc

TEM, 2018b. Työ- ja elinkeinoministeriö. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, s.20.

EIA, 2017. U.S. energy information administration. Natural gas explained [U.S. energy information administration:n www-sivut]. [viitattu 22.4.2018]. Saatavissa:
https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural_gas_home

Mäkinen T, Soimakallio S, Paappanen T, Pahkala K, Mikkola H, 2006. VTT tiedotteita 2357. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit, s.78.

Ympäristöministeriö, 2016. Pariisin sopimus [verkkajulkaisu]. [viitattu 15.4.2018]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/pariisi2015

Öljy- ja biopolttoaineala Ry, 2018a. Öljynjalostus. [Öljy- ja biopolttoaineala Ry:n www-sivut]. [viitattu 19.4.2018] Saatavissa: www.oil.fi/fi/oljytuotteet/oljynjalostus

Öljy- ja biopolttoaineala Ry, 2018b. Biopolttoaineet liikenteessä. [Öljy- ja biopolttoaineala Ry:n www-sivut]. [viitattu 28.5.2018]. Saatavissa: www.oil.fi/fi/ymparisto-biopolttoaineet/biopolttoaineet-liikenteessa