

LUT-yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

STEPE-ANALYYSI SÄHKÖMOOTTORIPYÖRIEN JA -SKOOTTEREIDEN
YLEISTYMISEEN VAIKUTTAVISTA NÄKÖKULMISTA

STEPE ANALYSIS OF THE PERSPECTIVES RELATED TO THE SPREAD OF
ELECTRIC MOTORCYCLES AND SCOOTERS

Päivitetty 1.12.2019

Lappeenrannassa 1.12.2019

Heikki Pohjolainen

Tarkastaja TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja TkT Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

LUT-yliopisto

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

Heikki Pohjolainen

STEPE-ANALYYSI SÄHKÖMOOTTORIPYÖRIEN JA -SKOOTTEREIDEN YLEISTYMISEEN VAIKUTTAVISTA NÄKÖKULMISTA

Kandidaatintyö

2019

48 sivua ja 4 kuvaa

Tarkastaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: PESTE, STEPE, STEEP, EV, sähkömoottoripyörä, sähköskootteri, sähkömopo, sähköajoneuvo

Tämän kandidaatintyön työn tavoitteena on tutkia sähkömoottoripyörien ja -skoottereiden yleistymiseen vaikuttavia tekijöitä yhteiskunnallisesta, teknisestä, taloudellisesta, poliittisesta ja ympäritöllisestä näkökulmasta. Tämä tehdään käyttäen hyväksi STEPE-analyysia, joka koostetaan edellä mainituista viidestä osa-alueesta tehtyjen tutkimusten pohjalta.

Analyysissa selvisi, että tavalliset ihmiset ovat pääsääntöisesti myötsämielisiä sähköajoneuvoja kohtaan, joskin heillä on tiettyjä huolia ja ennakkokäsityksiä niistä. Suurimmat tekniset haasteet liittyvät akkuun, jonka pitäisi olla toisaalta kevyt mutta myös korkea energiatiheydeltään. Lisäksi ajoneuvon massa tulisi pitää mahdollisimman matalana ja voimansiirto hyötysuhteeltaan parhaana mahdollisena, jotta energiahäviöt olisivat mahdollisimman pienet. Taloudellisesta näkökulmasta sähköajoneuvot ovat edullisia käyttää mutta kalliita hankkia. Valmitajille sähköajoneuvot aiheuttavat lähinnä teknisiä haasteita, ongelmia akkujen raaka-aineiden hankinnassa sekä pohdittavaa sähköajoneuvojen ympärille rakentuvien palveluiden mietinnässä. Kansainvälisesti ympäristöystävällisempiin liikkumismuotoihin on halua siirtyä ja tätä tuetaan eri maissa vaihtelevasti, avokätisesti tai varautuneesti. Ympäristön kannalta akkujen

raaka-aineiden tuottaminen aiheuttaa haasteita mutta koko elinkaarta ajatellen eri elinkaaren vaiheissa ja erityisesti käytön aikana käytetty sähkö oli merkittävin päästöjen lähde.

Kaikkiaan kaikki viisi analyysin osa-aluetta tukivat sähkömoottoripyörien ja -skoottereiden yleistymistä. Lisäksi niillä on sähköautoihin verrattuna tiettyjä etuja, kuten pienempi koko ja korkeampi energiatehokkuus matalemmän massan ansiosta.

ABSTRACT

LUT University

LUT School of Energy Systems

LUT Mechanical Engineering

Heikki Pohjolainen

STEPE ANALYSIS OF THE PERSPECTIVES RELATED TO THE SPREAD OF ELECTRIC MOTORCYCLES AND SCOOTERS

Bachelor's thesis

2019

48 pages and 4 pictures

Examiner: DSc (Tech) Kimmo Kerkkänen

Supervisor: DSc (Tech) Kimmo Kerkkänen

Keywords: PESTE, STEPE, STEEP, EV, electric motorcycle, electric scooter, electric moped, electric vehicle

The goal of this bachelor's thesis is to study the phenomena affecting the spread of electric motorcycles and scooters from the perspectives of society, technology, economy, politics and environment. This is accomplished by doing a STEPE analysis, which is compiled based on previous research done on the aforementioned five categories.

In the analysis it was found out that regular people have a mostly positive view on electric vehicles, but they also have some concerns and preconceptions about them. The biggest technical challenges were related to the battery, which has to be light but also have a high energy density. In addition, the vehicles mass should be as low as possible and the drivetrain as efficient as possible to minimize the energy losses. From an economical perspective, operating an electric vehicle is affordable but the initial cost is high. For manufacturers electric vehicles mostly cause technical challenges, problems related to the acquisition of the battery's raw materials and brain work concerning the services built around electric vehicles. Internationally there is desire to move towards more environmentally friendly modes of transport and on a national level this is supported to a varying degree, either liberally or restrainedly. From an environmental perspective the production of the batteries' raw materials poses some challenges but during the

whole life cycle and especially during the usage phase the consumed electricity and how it's produced has the greatest impact on the environment.

All of the five segments of the analysis support the spread of electric motorcycles and scooters. In addition, they have some key advantages compared to electric cars, such as smaller physical size and better efficiency due to lower mass.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	7
1.1	Tavoitteet	8
1.2	Tutkimusmenetelmät	8
1.3	Rajaukset	9
2	Taustoitusta	10
2.1	Olemassa olevat ratkaisut	10
2.2	Aiemmat tutkimukset	11
3	STEPE-analyysin kriteerien kuvaus sähkömoottoripyörille	13
3.1	Yhteiskunnallinen näkökulma	13
3.2	Tekninen näkökulma	15
3.3	Taloudellinen näkökulma	25
3.4	Poliittinen näkökulma	26
3.5	Ympäristöllinen näkökulma	27
4	Pohdintaa	30
4.1	Alaan tulevaisuus	32
5	Yhteenveto	34
	Lähdeluettelo	36

1 JOHDANTO

Huoli ilmastonmuutoksesta ja luonnon tilasta syvenee vuosi vuodelta. Liikenteen päästöt ovat eräs merkittävimmistä saasteista. IPCC:n raportin mukaan vuonna 2010 kaikesta kulutetusta energiasta 28 % kului liikenteeseen, josta 40 % kaupunkiliikenteeseen (Edenhofer et al. 2014, s. 605). Euroopan komission mukaan liikenne tuottaa noin viidenneksen Euroopan hiilidioksidipäästöistä ja lähes neljänneksen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä, joista vuonna 2014 yli 70 % oli peräisin tieliikenteestä (Euroopan komissio 2016). Erityisesti kehittyneissä maissa polttomoottoreista pyritään luopumaan mahdollisimman nopeasti ja sähköajoneuvoilla vaikuttaa olevan lupaava tulevaisuus. Esimerkiksi EU on asettanut tavoitteekseen vähentää liikenteen päästöjä 20 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2008 tasoon ja 60 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon (Euroopan komissio 2014). Tässä kandidaatintyössä arvioidaan sähkömoottoripyöriä osana ratkaisua tämän hetken ympäristötavoitteisiin.

Ympäristöllisten etujen lisäksi sähkömoottoripyörät ja –skootterit voivat muuttaa suurkaupunkien liikenteen jouhevutta ja olla tulevaisuudessa nykyisiä vaihtoehtoja edullisempi tapa liikkua.

Kuvassa 1 on Harley-Davidson Livewire -sähkömoottoripyörä.



Kuva 1. Harley-Davidson Livewire -sähkömoottoripyörä (Harley-Davidson, Inc. 2019a).

1.1 Tavoitteet

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia, mitä haasteita ja etuja liittyy sähkömoottoripyörien ja -skoottereiden yleistymiseen yhteiskunnallisesta, teknisestä, taloudellisesta, poliittisesta ja ympäristöllisestä näkökulmasta.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusta varten hyödynnetään pääasiassa kvalitatiivisia tietoja arviointikohteiden hankalan numeerisen arvioinnin takia. Teknisissä asioissa esiintyy myös kvantitatiivista tietoa. Tutkimuksen rakenne on STEPE-analyysi, joka on toimintaympäristön arviointiin käytettävä työkalu. Lähdemateriaalia etsitään julkisista lähteistä, kuten kirjastoista ja internetistä, sekä Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT:n käytössä olevista sähköisistä aineistoista. (Mind Tools Ltd 2016; Lu 2017)

1.3 Rajaukset

Tämä kandidaatintyö ei tarjoa valmiita ratkaisuja tai suunnitelmia sähkömoottoripyörän suunnitteluun tai valmistukseen. Se ei korvaa lakeja, direktiivejä, standardeja tai muita säädöksiä, vaan ne lukija joutuu tarkistamaan muualta. Tätä työtä ei saa myöskään käyttää turvallisuusohjeena. Tekniikkaan liittymättömiä ilmiöitä tarkastellaan ensisijaisesti suomalaisesta ja länsimaisesta näkökulmasta.

2 TAUSTOITUS

Ihmisillä on taipumus keskittyä arvioinnissa ulkoisiin arvoihin. Arvioinnin tekoon tarvitaan siis jotain, johon verrata tai joku, joka voi antaa näkökulman. (Zimmerman & Bradley 2019) Tässä mielessä perinteinen SWOT-analyysi ei anna suoria vastauksia sopivista arviointikohteista tai sovi sellaisenaan arvioimaan sähkömoottoripyöriä erityisen hyvin. Sen sijaan STEPE-analyysi antaa selkeät arviointialueet, joiden mukaan arviointia voi tehdä ja vertailun kohteena toimivat perinteiset polttomoottoria käyttävät moottoripyörät ja mopot. Oletamme myös ajoneuvojen tarpeellisuuden ja hyödyllisyyden itsessään olevan itsestäänselvyksiä. STEP tulee sanoista social, technical, economic ja political, eli sosiaalinen tai yhteiskunnallinen, tekninen, taloudellinen ja poliittinen näkökulma. STEPE on tämän laajennus, jossa toinen E on ecological, eli ekologinen tai ympäristöystävällinen näkökulma. Toinen laajennus on STEPEL, jossa L on legal, eli laillinen näkökulma. Lisäksi toinen E on joskus voinut olla myös educational, eli opetuksellinen näkökulma ja joskus kirjaimet esiintyvät myös eri järjestyksessä. (Richardson 2017)

STEPE ja sen muunnelmät antaa siis ikään kuin vastauksen SWOT-analyysin uhkiin ja mahdollisuuksiin. Muita analyysityökaluja ovat esimerkiksi SOAR, eli strengths, opportunities, aspirations ja results (Lu 2019), sekä VRIO, eli value, rarity, imitability ja organization (Jurevicius 2013). Molempien ongelmat ovat tämän tutkimuksen näkökulmasta samankaltaiset kuin SWOT-analyysin, eli ne keskittyvät tarkastelemaan paljon suppeampia kohteita kuin nyt halutaan. Asiaa voisi miettiä esimerkiksi niin, että jokaista STEPE-analyysin osa-aluetta voisi tarkastella jollain kolmesta muusta mainitusta analyysimenetelmästä, eli pureutua syvällisemmin suppeampaan aiheeseen.

2.1 Olemassa olevat ratkaisut

Kirjoitushetkellä sähkömoottoripyöriä valmistavat esimerkiksi Zero Motorcycles, Lightning Motorcycles, Energica Motor Company (Energica Motor Company S.p.A. 2019) sekä perinteisemmistä valmistajista Harley-Davidson Motor Company (Harley-Davidson, Inc. 2019a). Näiden valmistajien moottoripyörien kantama yhdistetyssä ajossa heidän itsensä

ilmoittamien lukujen perusteella vaihtelee Zero FX:n 43 kilometristä 20 kWh akulla varustetun Lightning LS-218:n 290 kilometriin. Nämä moottoripyörät edustavat myös hintahaarukan ääripäitä. Halvimman Zeron hinta on \$8995 ja kalleimman Lightningin \$46888, jotka ovat valmistajien suosittelemia myyntihintoja. (Zero Motorcycles, Inc. 2019; Lightning Motors Corp. 2019)

Vespalla, Hondalla (Honda Motor Co., Ltd. 2019), Yamahalla (Toll 2019) ja Suzukilla (Chaliawala 2019) on sähköskoottereita joko tuotannossa tai suunnitteilla. Esimerkiksi Vespa maksaa kirjoitushetkellä 6990€ Nettimotoon koneliikkeen jättämässä ilmoituksessa ja sen toimintamatka on jopa 100 km, eli hinta ei juuri ole halvempi verrattuna halvimpiin sähkömoottoripyöriin mutta toimintamatka on huomattavan hyvä. (Piaggio & C. SpA 2019; NettiX Oy 2019)

2.2 Aiemmat tutkimukset

Konferenssijulkaisussaan *Environmental Evaluation and Effectiveness of Electric-assist Bicycle for a Local Transportation* Maruyama et al. (2012) tekevät PESTEL-analyysin sähköavusteisista polkupyöristä. Siinä tuodaan esille Kioton pöytäkirja ilmaston lämpenemistä hillitsevien toimien ajajana. Talouden näkökulmasta mainitaan liikenne suurena energiankuluttajana, ruuhkat tuottavuutta heikentävänä tekijänä sekä liikenneonnettomuuksien taloudelliset vaikutukset. Onnettomuudet yhdistetään myös sosiaaliseen näkökulmaan, kuten myös liikenneinfrastruktuurin valtaama ala suurkaupungeissa ja rakennetuissa ympäristöissä, mikä vaikuttaa ihmisten asumiseen ja elämiseen. Teknisestä näkökulmasta eri liikkumismuotojen yhdistely nähtiin puutteellisena. Ympäristön näkökulmasta liikenteen todettiin jälleen olevan suuri energiankuluttaja, ilmanlaadun ja siten terveyden heikentäjä erityisesti kaupungeissa ja liikenneinfrastruktuurin kerrottiin myös pirstaloivan luonnonvaraisia alueita, mikä on uhka luonnon monimuotoisuudelle. Myös EU:n lainsäädäntöä käsiteltiin. (Maruyama et al. 2012, s. 308–316)

Opinnäytetyöhönsä *The Mobility Revolution in the Automobile Industry – Electric Cars and Battery Management* Chodakowska (2018) on sisällyttänyt PESTLE-analyysin sähköautoteollisuudesta. Siinä mainitaan EU:n asettamien päästötavoitteiden vaikuttavan

autoteollisuuden päätöksiin ympäristöystävällisempien autojen puolesta ja yhdistetään autoteollisuus suuren kokonsa takia myös kansantalouksiin. Taloudella jatkaen sähköautojen yleistymisen myötä öljyn tarpeen mainitaan laskevan. Hyvän hyötysuhteen ja kuluttajien näkökulmasta sähkön helpon saatavuuden sekä alhaisen hinnan takia sähköautojen käyttökustannusten kerrotaan olevan polttomoottoriautoja matalimmat. Sosiaalisesta näkökulmasta ihmisten todetaan olevan entistä ympäristötietoisempia ja tämän kerrotaan vaikuttavan myös autovalmistajien päätöksiin. Teknologisen osaamisen kerrotaan vaikuttavan myös taloudelliseen menestykseen. Loppukäyttäjän näkökulmasta taas sähköautot ovat mukavan hiljaisia ja suorituskyvyltään hyviä. Laki vaikuttaa sähköautojen myyntiin päästömääräysten, turvallisuusvaatimusten sekä verotuksen vuoksi. Lopuksi ympäristöllisiksi eduiksi luetellaan pakokaasuttomuus ja myönteinen vaikutus hengitysilmaan, energiatehokkuus ja mahdollisuus ympäristöystävälliseen sähköntuotantoon. (Chodakowska 2018, s. 29–30)

Molemmissa tapauksissa STEPE-analyysi antaa hyvän lähtökohdan toimintaympäristön arvioinnille ja toimii ajattelun tukena.

3 STEPE-ANALYYSIN KRITERIEN KUVAUS SÄHKÖMOOTTORIPYÖRILLE

3.1 Yhteiskunnallinen näkökulma

Pohjoismaissa pidetyissä enimmäkseen sähköautoihin keskittyvissä ryhmäkeskusteluissa nousi esille kahdeksan keskeistä sähköajoneuvoihin liittyvää mielikuvaa, jotka olivat ympäristöystävällisyys, äänimaailma, suorituskyky, kustannukset, toimintamatka sekä lataus, julkinen asema, innovaatiot ja asema muiden liikkumisvaihtoehtojen joukossa. (Kester, et al. 2019, s. 280)

Ympäristövaikutusten osalta pakokaasuttomuus todettiin kiistattomaksi eduksi mutta huolta kannettiin valmistuksen vaikutuksista ympäristöön sekä sähköajoneuvojen elinkaaresta. Pakokaasuttomuus koettiin miellyttäväksi myös terveyden ja käyttäjäkokemuksen kannalta. Lisäksi todettiin, että sähköajoneuvojen ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa myös se, miten sähkö tuotetaan. (Kester, et al. 2019, s. 281–282)

Äänettömyys miellettiin sekä miellyttäväksi että mahdolliseksi vaaratekijäksi jalankulkijoille. Vastaavasti tuli ilmi, että osa ihmisistä pitää polttomoottorin murinaa osana ajoneuvon olemusta ja tärkeänä käyttäjäkokemuksen kannalta. (Kester, et al. 2019, s. 282–283)

Sähköajoneuvojen suorituskyky ja ajettavuus mainittiin eduiksi mutta huollettavuudesta ja luotettavuudesta esiintyi huolia, vaikkakin sähköajoneuvojen suhteen kokeneemmat eivät olleet huolissaan luotettavuudesta. (Kester, et al. 2019, s. 283)

Kustannusten suhteen mielipiteet olivat jakautuneita, pitkälti riippuen valtion tukitoimista. Esimerkiksi suomalaiset eivät uskoneet sähköajoneuvojen olevan polttomoottoriajoneuvoja edullisempia, koska matalien käyttökustannusten vastapainona on korkea hankintahinta. Toisessa ääripäässä norjalaiset pitivät sähköajoneuvoja ilmiselvänä valintana. (Kester, et al. 2019, s. 283–284)

Sähköautojen toimintamatkojen lyhyys ja latauspaikkojen vähyys herättivät huolta keskustelijoissa mutta omien toimintatapojen muuttaminen ja latausaikojen lyhentäminen koettiin ongelmia lievittäviksi. Huolien todellisuudesta oli myös eriäviä näkemyksiä. (Kester, et al. 2019, s. 284–285)

Sähköajoneuvoja pidettiin sosiaalisesti hyväksyttävinä ja jopa muodikkaina mutta sähköajoneuvon omistaminen voitiin keskustelijoiden mielestä tulkita myös elitismiksi. (Kester, et al. 2019, s. 285–287)

Yleisesti ottaen sähköajoneuvoihin suhtauduttiin innostuneesti ja niiden aseman odotettiin vakiintuvan ja muuttuvan arkiseksi, kunhan tietoisuus niistä leviää. Sähköajoneuvoihin liittyvät innovaatiot, jotka eivät suoraan liity liikkumiseen, kuten akkujen käyttö osana sähköverkkoa, eivät olleet keskustelijoille erityisen tuttuja mutta niihin suhtauduttiin varovaisen myönteisesti. Niiden hyötyyn kuluttajille tosin suhtauduttiin epäilevästi. (Kester, et al. 2019, s. 287–288)

Keskustelijat näkivät sähköautot edelleen ongelmana mietittäessä liikennettä kokonaisuutena. Erityisesti kaupungeissa autoja pidettiin tilankäytöllisesti huonona ratkaisuna mutta syrjäseutujen asukkaiden tarve autoille tunnustettiin. Yksityisautojen toivottiin kuitenkin olevan mieluummin toissijainen kuin ensisijainen liikkumismuoto, mikäli vaihtoehtoja on tarjolla. (Kester, et al. 2019, s. 288)

Malesiassa tehdyssä kyselyssä vastaajien mielikuvat ja asenteet olivat samansuuntaisia. Kaksi selvästi yleisintä vastausta kysyttäessä suurinta huolta sähköajoneuvoihin liittyen olivat toimintamatka (36%) ja hinta (24%). Lisäksi vastaajista 54% oli myönteisiä ympäristöystävällisemmän ajoneuvon ostamiselle ja 80,4% oli vaihtelevissa määrin samaa mieltä sähköajoneuvojen ympäristöystävällisyydestä. (Rahman, Afroz & Alam 2015, s. 149–167)

Liikkuminen palveluna (Mobility as a Service, MaaS) on yksi tapa sulauttaa esimerkiksi skoottereita osaksi julkista liikennettä ja poistaa yksityisomistukseen liittyvä korkea alkuinvestointi. Jo tavallisten skoottereiden katsotaan parantavan kaupunkiympäristön

ilmanlaatua, ahtautta ja liikenteen jouhevuuutta, joten sähköskoottereiden pitäisi parantaa tilannetta entisestään, koska niitä voi ladata useammassa paikassa kuin perinteisiä skoottereita voi tankata, eivätkä ne tuota pakokaasuja tai melusaastetta. (Aguilera-García, Gomez & Sobrino 2019, a. 102424)

Suomen motoristit ry:n kyselyn mukaan korkea hinta ja toimintamatkan lyhyys olivat merkittävimmät esteet sähkömoottoripyörän ostolle. Niiden kuitenkin arvioitiin soveltuvan kaupunkiajoon ja työmatkoille. Lisäksi enintään 20 % oli kiinnostuneita liikkumisesta palveluna. (Suome Motoristit ry 2019)

3.2 Tekninen näkökulma

Teknistä toteutusta arvioitaessa on otettava huomioon erilaisten teknisten ratkaisuiden käyttökelpoisuuden ja ominaisuuksien lisäksi käytännöllisyys ja käyttäjäkokemus. Lisäksi on oleellista tunnistaa sähkömoottoripyörien tekniset edut ja haitat verrattuna perinteisiin moottoripyöriin. Koska minkä tahansa siviiliajoneuvon pääasiallinen käyttötarkoitus on kuljettaa ihmisiä ja tavaroita paikasta toiseen, suunnittelun tulisi tapahtua sen näkökulmasta. Ensisijainen vaatimus on, että päämäärä saavutetaan, joten toimintamatkan tulee olla tarpeeksi pitkä. Päämäärään tulee päästä myös kohtuullisessa ajassa, joten matkustusnopeuden tulee olla tarpeeksi korkea. Ei pidä kuitenkaan juuttua ajatukseen, että nämä vaatimukset täytetään vain tarpeeksi suurella akulla ja tarpeeksi korkealla huippunopeudella. Ellei ajoneuvoa käytetä aina kaavamaisesti saman matkan ajamiseen, jonka jälkeen on mahdollisuus ladata akku täyteen, on varauduttava myös kesken matkan lataamiseen. Jos lataus on käyttäjän mielestä hyväksyttävän nopeaa, akun kapasiteetin ei tarvitse olla yhtä suuri ja kesken matkan lataaminen voi olla tavallinen osa matkantekoa. Asiaa voi lähestyä esimerkiksi siten, että olisiko matkan aikana muutenkin hyvä pitää tauko tai kuinka paljon lataus pidentää matka-aikaa suhteellisesti.

3.2.1 Sähkötekniikka

Perinteisesti ajoneuvojen sähköjärjestelmät ovat olleet 12- tai 24-voltttisia ja uutena tulokkaana ovat 48-voltttiset järjestelmät. Nämä ovat kuitenkin olleet muita toimintoja kuin ajoneuvon liikuttamista varten, eli esimerkiksi valoille tai polttomoottorin käynnistysmoottorille. Joulen lain mukaan tasavirralla ja hetkellisesti vaihtovirralla teho (P) on jännitteen (U) ja virran (I) tulo:

$$P = UI \quad (1)$$

Täten halutulla teholla korkeampi jännite tarkoittaa matalampaa virtaa. Vastuksen (R) aiheuttama tehonhäviö on:

$$P = RI^2 \quad (2)$$

Käytännössä tehoa muuttuu hukkalämmöksi. (ZVEI 2014, s. 10–12; Silvonen 2018, s. 40–41)

Toisaalta suomalainen Toroidion käyttää sähköautokonseptissaan valtavirrasta poikkeavaa 48-voltttista järjestelmää. Tätä perustellaan turvallisuudella ja pienemmällä akkujen sisäisellä vastuksella. Akkua valmistettaessa kennojen kytkeminen sarjaan kasvattaa akun jännitettä mutta myös sen sisäistä vastusta, mikä tulee ottaa huomioon koko piirin vastusta tarkasteltaessa. Lisäksi myös johtimet ja muut komponentit vaikuttavat kokonaisvastukseen, joten häviöiden minimointi ei ole pelkästään jännitteen nostamista. (Ruffo, G. H. 2019; Cadex Electronics Inc. 2019a; Johnson 2019)

Tasavirtamoottorin pyörimisnopeutta säädetään muuttamalla jännitettä. Yksinkertaisimmillaan moottorin sisällä on kolme Hall-anturia 120 asteen kulmassa toisiinsa nähden seuraamassa roottorin pyörimistä. Anturien lähettämän signaalin perusteella ohjainyksikkö määrittää roottorin nopeuden vertaamalla saapuvien signaalien tiheyttä asetettuun arvoon sekä päättää roottorin asennon sen kestomagneettien napojen perusteella. Näiden tietojen perusteella ohjainyksikkö kytkee staattorikäimejä päälle tai pois sekä määrittää niissä kulkevan virran suunnan, mikä määrittää magneettikentän suunnan, eli kansankielellä staattorikäimin

napaisuuden. Moottorille asetetun kuorman kasvaessa ohjainyksikkö nostaa staattorijännitettä, mikä saa staattorivirran nousemaan ja siten käämiin indusoituvan magneettikentän voimistumaan. Vastaavasti jos kuorma pysyy vakiona ja jännitettä nostetaan, roottorin pyörimisnopeus kasvaa. (Shirahata, K. 2019, s. 1–9)

Kolmivaiheisen vaihtovirtamoottorin nopeutta säädetään muuttamalla vaihtovirran taajuutta, mikä tapahtuu taajuusmuuttajalla. Moottoripyörän tapauksessa virtalähteenä toimii akku, joka antaa ulos tasavirtaa, joten taajuusmuuttaja koostuu vain vaihtosuuntaajasta ja sen ohjaimesta. Vaihtosuuntaaja koostuu kuudesta kytkimestä, joita kytkemällä päälle ja pois ohjaimen määrittämällä taajuudella tasavirta saadaan muutettua halutun taajuiseksi vaihtovirraksi. (Shirahata, K. 2019, s. 1–9; ABB Industry Oy 2001a, s. 12)

Vaihtovirtaisen epätahtikoneen, eli induktiokoneen tai oikosulkumoottorin, etuja ovat yksinkertaisesta rakenteesta johtuva edullinen hinta, kestävyys sekä mahdollisuus käyttää sitä generaattorina, joka mahdollistaa niin sanotun jarrutusenergian talteenoton. Sen staattori koostuu navoista, jotka ovat yleensä pareittain ja jaettu tasan kolmen vaiheen välillä. Virran vuorottelu saa magneettikentän pyörimään. Muuttuva magneettikenttä taas indusoi roottoriin virran, joka synnyttää sille oman magneettikentän. Roottorin magneettikenttä alkaa seurata staattorin magneettikenttää tietyllä jättämällä, eli staattorin magneettikenttä pyörii nopeammin kuin roottorin magneettikenttä. Moottorin jarruttaessa tilanne on päinvastainen ja jättämä siten negatiivinen. Tällöin moottori toimii generaattorina ja muuttaa mekaanista energiaa sähköksi. Tahtikone toimii muuten samoin kuin epätahtikone mutta siinä staattorin ja roottorin magneettikentät pyörivät samalla nopeudella. Staattori ei magnetoi roottorin käämitystä vaan magnetointivirta syötetään sille erikseen. Pyörimisnopeudessa ei siis ole jättämää, koska roottori ei tarvitse muuttuvaa magneettikenttää toimiakseen. Sen sijaan kun moottorille asetetaan kuorma, roottorin magneettikenttä jää joitain asteita jälkeen seuraamastaan staattorin magneettikentästä. Kuorman kasvaessa magneettikenttien välinen kulma kasvaa, kunnes 90-asteen kulmassa moottorin vääntö on suurimmillaan. Toimintaperiaatteensa ansiosta tahtikoneen staattori ei lämpene yhtä paljon kuin epätahtikoneen. (Hietalahti 2013, s. 137; ABB Industry Oy 2001b, s. 6–14; ABB Ltd 2019, s. 32–56; Oriental Motor U.S.A. Corp. 2019a; Shirahata, K. 2019, s. 1–9; Slemon & Hosch 2006)

Tasavirtamoottoreita on olemassa hiiliharjallisina sekä hiiliharjattomina. Koska hiiliharjat kuluvat käytössä, hiiliharjaton moottori kestää pidempään ja on sen takia harjallista parempi valinta. Hiiliharjattomat tasavirtamoottorit käyttävät kestopagneetteja roottorin magneettikentän luomiseen, mikä antaa niille paremman hyötysuhteen verrattuna vaihtovirtamoottoreihin, jotka joutuvat käyttämään osan ottamastaan energiasta roottorin magnetointiin. Muutoin ne muistuttavat vaihtovirtaisia tahtikoneita ja nimestään huolimatta tarvitsevat vaihtovirtaa toimiakseen. Ne ovat myös vaihtovirtakoneita kalliimpia. (Hietalahti 2013, s. 137; ABB Industry Oy 2001b, s. 6–14; ABB Ltd 2019, s. 32–56; Oriental Motor U.S.A. Corp. 2019a; Shirahata, K. 2019, s. 1–9; Slemon & Hosch 2006)

Akun energiatiheys on yksi tärkeimmistä valintaperusteista, koska se vaikuttaa lopullisen akun massaan. Suuremman massan liikuttaminen vaatii moottorilta enemmän työtä, joka lyhentää ajoneuvon toimintasädetä.

Lyijypohjaiset akut eivät käytännössä sovellu sähkömoottoripyöriin niiden matalan energiatheyden takia, joka on tavallisesti 30...50 Wh/kg. Toinen merkittävä ongelma on se, että lyijyakut eivät kestä hyvin tyhjäksi käyttöä ja ne tulisi säilyttää täyteen ladattuina. Ajoneuvon käynnistysmoottorin akku voi vähimmillään kestää vain tusinan verran tyhjäksi käyttöä. Käyttötarkoituksen mukaan kestävyys voi kuitenkin parantua huomattavasti. Esimerkiksi sähkötrukit voivat käyttää lyijyakua, jotka voivat kestää satoja tyhjäksi käyttöä. Käyttöikä voi entisestään parantaa mitoittamalla akku siten, tavanomaisessa käytössä akun varauksesta käytetään vain pieni osa. Yleensä lyijyakkuja käytetään vain hitaissa ja raskaissa sähköajoneuvoissa, joissa akun massa ei ole ongelma tai on jopa hyödyksi. Perinteinen lyijyakku ei myöskään kestä hyvin värinää ja se täytyy asentaa aina pystyyn. AGM- (Absorbed Glass Mat) ja geeliakut ratkaisevat nämä ongelmat, ovat huoltovapaampia, kestävät paremmin ääriämpötiloja ja kestävät pidempään mutta maksavat enemmän, eivät ratkaise heikkoa energiatheyttä sekä tuovat uusia haittoja, kuten geeliakkujen korkeampi sisäinen vastus. Lyijyakkujen selkeitä vahvuuksia taas ovat erittäin hyvä kierrätettävyys, matala itsepurkautuminen sekä edullinen hinta. (TAB d. d. 2018, s. 1–12; Cadex Electronics Inc. 2019b; Cadex Electronics Inc. 2017a; Cadex Electronics Inc. 2017b; Cadex Electronics Inc. 2019c; Cadex Electronics Inc. 2019f)

Nikkelipohjaisista akuista merkittävimmät ovat NiCd (nikkeli-kadmium), NiMH (nikkelimetallihybridi), NiFe (nikkeli-rauta) sekä NiZn (nikkeli-sinkki). Yhdenkään ei voida sanoa olevan toista selvästi parempi. NiMH- ja NiZn-akuilla on selvästi korkein, jopa kaksinkertainen, energiatiheys verrattuna NiCd- ja NiFe-akkuihin ja niiden käyttöikä on myös huomattavasti lyhyempi. NiCd- ja NiMH-akut kärsivät muisti-ilmiöstä, joka tarkoittaa kapasiteetin pienenemistä, jos akkua ladataan toistuvasti tyhjentämättä sitä ensin. NiMH ei tosin kärsi tästä yhtä paljon ja molemmat voidaan elvyttää. Kaikki nikkelipohjaiset akut kärsivät lisäksi korkeasta itsepurkautumisesta. NiMH-akkujen osalta tätä voidaan merkittävästi vähentää pienellä energiatheyden menetyksellä. NiCd-akkuja lukuun ottamatta nikkelipohjaiset akut ovat suhteellisen ympäristöystävällisiä. (Cadex Electronics Inc. 2019d; Cadex Electronics Inc. 2016)

Litiumioniakkujen energiatiheys on selvästi korkein, minkä puolesta ne ovat erittäin hyvä vaihtoehto sähköajoneuvoihin. Puhtaat litiumakut eivät ole turvallisia litiumanodiin muodostuvien dendriittien takia, jotka ennen pitkää aiheuttavat oikosulun ja akun syttymisen tuleen. Tästä syystä kehitettiin litiumioniakku, jonka anodi ei ole metallia vaan esimerkiksi grafiittia. Litiumioniakkujen energiatiheys ei ole aivan yhtä hyvä kuin litiumakkujen mutta toisaalta akun syttyminen tuleen on yleensä suurempi haitta. Sekä nikkeli- että litiumpohjaiset akut toimivat huonosti kylmässä mutta litiumpohjaiset akut eivät siedä lataamista pakkasella. (Cadex Electronics Inc. 2018; Cadex Electronics Inc. 2019e; Cadex Electronics Inc. 2017c; Cadex Electronics Inc. 2014; Silvonen 2018, s. 43–43)

Sähköajoneuvojen yleistyessä on täytynyt myös kehittää ja standardoida latausinfrastruktuuria. Sähkötekniikan standardoinnista vastaa maailmanlaajuisesti IEC, Euroopassa CENELEC ja Suomessa SESKO. Latauksen turvallisuuden ja yhteensopivuuden varmistamiseksi on noudatettava kansallisia ja kansainvälisiä standardeja. (Vesa, 2019, s. 2)

Standardissa SFS-EN 61851-1 sähköajoneuvoille on määritelty neljä lataustapaa:

1. LEV-lataus on nimensä mukaisesti tarkoitettu kevyille sähköajoneuvoille. Siinä latauskaapeli kytketään tavalliseen kotipistorasiaan.
2. Hidas lataus toimii samoin kuin lataustapa 1 mutta latauskaapelissa on laitteet latauksen ohjaukseen, virran rajoitukseen ja vikavirtasuojaus. Lisäksi lataus voi tapahtua voimapistoriasta.
3. Peruslatauksessa käytetään erityistä latausasemaa, jossa on erityinen latauspistorasia.
4. Teholatauksessa käytetään myöskin erityistä latausasemaa mutta latauskaapeli on siinä pysyvästi kiinni. Lisäksi kaikista muista lataustavoista poiketen tehollatauksessa käytetään tasavirtaa vaihtovirran sijasta. (Vesa, 2019, s. 8–9)

Standardeissa SFS-EN 62196-2 ja SFS-EN 62196-3 latauspistokkeiksi on määritelty neljä päätyyppiä. Tyypit 1 ja 2 ovat yhdysvaltalaisien tai japanilaisten sekä eurooppalaisten autojen peruslatausta varten, kun taas CHAdeMO ja CCS ovat vastaavien valmistajamaiden tehollatauspistokkeita. Kuvassa 2 on esitettyinä latauspistokkeet. (Vesa, 2019, s. 16)

Lataustapa 3 (peruslataus) – SFS-EN 62196-2



Type 1



Type 2
max. 3 x 63 A, 480 V AC

Lataustapa 4 (teholataus) – SFS-EN 62196-3



CHAdeMO



Eurooppalaiset ratkaisut
julkisissa latauspisteissä
(AFI-direktiivi
2014/94/EU ja Laki
478/2017)

CCS 2 (Combo 2)
200 A, 1000 V DC

Kuva 2. Erilaiset latauspistokkeet (Vesa, 2019, s. 16).

3.2.2 Mekaniikka

Sähkömoottoripyörien mekaanisen suunnittelun tulee keskittyä energiahäviöiden minimoimiseen. Tähän voidaan vaikuttaa voimansiirron hyötysuhteen parantamisella sekä massan vähentämisellä.

Victory Empulse TT käytti kuusiportaista vaihteistoa, mikä on harvinaista sähkömoottoripyörälle. Vaihteistolla pyrittiin luomaan tuttu ajotuntuma perinteisiin moottoripyöriin totuneille ja säätämään jarrutusenergian talteenottoa. Väilyssuhdetta muuttamalla saatiin luotua moottorijarrutuksen tuntuma. (Montano 2016)

Ketjuveto on yleisin voimansiirtotapa. Se on halpa, kevyt ja sen hyötysuhde on ylivoimaisesti paras, 96 %...99 %. Sen suurin heikkous on runsas huollon ja voitelun tarve. Hihnaveto ei tarvitse huoltoa ja on lähes äänetön mutta sen hyötysuhde on vain 85 %...91 %. Se on myös ketjuvetoa kalliimpi. Kardaani veto on ylivoimaisesti kallein, massaltaan suurin ja tilaa vievin ratkaisu. Niiden hyötysuhde on vain 75 %...80 % ja tarvitsevat jo lähtökohtaisesti paljon vääntöä toimiakseen. (TVS Motor Company 2019)

Suomalainen sähkömoottoripyörä RMK E2 tuo esiin sähkömoottorien mahdollistamia uusia mahdollisuuksia. Siinä sähkömoottori on takavanteen sisällä eikä voiman välitykseen käytetä perinteistä ketjua, hihnaa tai kardaaniakselia. (RMK Vehicle Corporation Oy 2019)

Suurempi massa tarkoittaa suurempaa energiantarvetta ajoneuvon liikutteluun, joten sen vähentäminen on oleellista energiatehokkuuden kasvattamiseksi. Toimintamatka saadaan pidemmäksi ja vaatimukset moottorille väljenevät.

Moottoripyörien rungot voidaan karkeasti jakaa kahteen perusratkaisuun. Kehtorunkoisissa moottoripyörissä moottorin ali kulkee kantavia rakenteita, yleensä putkia, jotka muodostavat moottoria kannattelevan kehdon. Kehdottomissa rungoissa moottorin ali ei kulje putkia eikä palkkeja vaan moottori ikään kuin roikkuu ”selkärangasta”. Toinen jaottelu on päärunkoisiin ja päärungottomiin. Päärungottomassa rakenteessa itse moottori on kantava rakenne. Mopoissa sekä skoottereissa käytetään usein keskusrunkoa, joka on myös kehdoton mutta se koostuu yhdestä pääosasta, yleensä suurihalkaisijaisesta putkesta tai muotoon painetusta ja hitsatusta pellistä. (Coombs & Mauno 2002, s. 9.2 – 9.5)

Kuvissa 3 ja 4 on esitettyä kehdollinen ja kehdoton runko.



Kuva 3. Yamaha SCR950 hyödyntää kaksoikehtorunkoa (Yamaha Motor Europe N.V. 2019a).



Kuva 4. Yamaha MT-09 hyödyntää kehdotonta runkoa (Yamaha Motor Europe N.V. 2019b). Perinteisesti rungot on valmistettu teräksestä mutta nykyään myös alumiini on yleinen materiaali ja vaihtoehtona on myös harvinaisempia materiaaleja, kuten magnesium, titaani ja erilaiset komposiitit. (Coombs & Mauno 2002, s. 9.3)

3.2.3 Sähkökonversio

Vaihtoehtona valmiille sähkömoottoripyörälle on muuntaa polttomoottorikäyttöinen moottoripyörä sähköiseksi. Tämä voi olla kannattavaa esimerkiksi silloin, kun klassikkopyörän elinkaarta halutaan pidentää tai sähkökonversio tulee uutta sähkömoottoripyörää halvemmaksi.

Toisaalta alusta asti sähköajoneuvoksi suunnitellulla moottoripyörällä on huomattavia etuja verrattuna sellaiseksi konvertoituun ajoneuvoon. Konversiota tehdessä osat joudutaan valitsemaan tai suunnittelemaan valmiin aihion mukaan kun taas puhtaalta pöydältä lähdettäessä kaikki saadaan helpommin sovitettua yhteen. Esimerkiksi akun sijoittaminen rungon sisälle voi olla massan jakautumisen kannalta haasteellista.

Päärungottoman rungon kanssa tulisi tehdä uudet lujuuslaskelmat rungon kestävydestä, koska osa kantavasta rakenteesta olisi vaihdettu. Jos valinnanvaraa on, rungon olisi suotavaa olla

massaltaan mahdollisimman pieni, koska kaiken lisämassan liikuttaminen kuluttaa enemmän energiaa. Alkuperäisen moottorin massalla ei ole juurikaan väliä, koska se poistetaan. Mitä sen tilalle laitetaan voi kuitenkin vaikuttaa pyörän ajettavuuteen.

Kuten johdannossa on mainittu, sähkömopot ovat huomattavasti sähkömoottoripyöriä suositumpia. Ajoneuvon käytännöllisyyden ja osien sijoittelun kannalta skootterit ovat loistava vaihtoehto sähkökonversion tekemiseen. Pieni massa, matala huippunopeus ja tavallisesti lyhyet ajomatkat taajamissa eivät vaadi moottorilta ja akustolta yhtä paljon tehoa ja tilavuutta kuin raskaan moottoripyörän liikuttaminen maanteillä pitkiä matkoja. Akustoa voi esimerkiksi sijoittaa etukatteen sisälle, lattian alle ja tarvittaessa monista skoottereista penkin alta löytyvän tavaratilan voi myös uhrata uusille osille. Sähkömoottorin sijoittaminen takavanteen sisälle on skootterien muotoilun ja skootterilta vaadittavan suorituskyvyn puolesta varteenotettavampi vaihtoehto.

Jos polttomoottori on ollut kantava rakenne, uuden moottorin asennus vaikeutuu huomattavasti, koska sen kiinnityksessä on otettava huomioon rungon lujuus. Kehtorunkoisessa moottoripyörässä riittää, ettei vanhan moottorin massaa ylitetä ja että massakeskipiste pysyy samana. Erilaiset voimansiirrot vaikuttavat oleellisesti siihen, miten uudet osat voidaan sijoitella moottoripyörän rungon sisälle.

Moottorin teho ja vääntö tulee valita siten, etteivät ne ylitä vanhan moottorin arvoja, jotta voimansiirron kestävyys voidaan varmistaa ja moottoripyörällä on turvallista ajaa. Esimerkiksi jarrujen teho voi jäädä riittämättömäksi liian tehokkaan moottorin takia tai voimansiirto kulua nopeammin ja hajota enneaikaisesti.

Sähkömoottorien teho- ja vääntöominaisuudet ovat hyvin erilaiset polttomoottoriin verrattuna. Polttomoottoriin tottuneen ajajan turvallisuuden parantamiseksi voidaan harkita sähkömoottorin vasteen muuttamista enemmän polttomoottorin kaltaiseksi.

Moottoripyörän vanhan sähköjärjestelmän yhteensovittaminen uusien sähköosien kanssa voi olla työlästä, joten valojen ynnä muiden hallintalaitteiden uusimista kannattaa harkita. Joskus

se voi olla jopa välttämätöntä. Lisäksi esimerkiksi uudenaikaiset LED-ajovalot parantavat näkyvyyttä pimeällä ja kuluttavat vähemmän virtaa.

Muutoksia tehdessä on noudatettava lainsäädäntöä, turvallisuusmääräyksiä ja ajoneuvo on tarvittaessa muutokatsastettava.

3.3 Taloudellinen näkökulma

Ollakseen taloudellisesti ”järkevä”, sähkömoottoripyörän tulee olla voitollinen valmistajalleen sekä olla kilpailijoitaan edullisempi käyttäjälle. Edullisuus tarkoittaa käyttäjälle alkuinvestoinnin, käyttö- sekä huoltokulujen ja tuotteen pitkäikäisyyden summaa. Mitä vähemmän tuote siis maksaa ostettaessa ja käytettäessä sekä mitä pidempään se pysyy toimintakuntoisena, sitä edullisempi se on. Valmistajan näkökulmasta tuotteelle täytyy olla tarpeeksi monta ostajaa, jotta tuotteen yksikköhinta on tarpeeksi matala ollakseen edullinen kuitenkin kattaen tuotekehityksen, henkilöstön, valmistuksen sekä myynnin ja jakelun kulut. (Bragg 2018; Chen 2019)

Jaetun tekniikan osalta sähköajoneuvon huolto ei juurikaan eroa polttomottoriajoneuvon huollosta mutta esimerkiksi jarrut kuluvat sähköajoneuvossa hitaammin. Sähköajoneuvo ei myöskään tarvitse esimerkiksi moottorin nesteiden vaihtoa. Tästä syystä huoltoliiketoiminnalla ja varaosamyynnillä ei ole yhtä suurta rahallista arvoa sähköajoneuvojen yhteydessä. (Plugit Finland Oy 2019)

Kuluttajalle itse ajoneuvon hankintahinnan lisäksi kuluja ovat verot, käyttövoima, huolto ja vakuutukset. Vakuutusten osalta eroja ei ole perinteisiin moottoripyöriin, koska vakuutuksen suuruus ei perustu käyttövoimaan vaan vakuutusyhtiön arvioimaan riskiin. Autovero sähkömoottoripyörille on Suomessa 9,8 % (Verohallinto 2019). Sähkömoottoria ei tarvitse samaan tapaan huoltaa kuin polttomoottoria, joten sähköajoneuvon huolto on nopeampaa ja halvempaa (Ahtiainen 2018). Kirjoitushetkellä Fortum tarjosi sähköä omakotitaloon toistaiseksi voimassa olevalla sopimuksella ja puolen vuoden hinnoittelulla 6,3 snt/kWh (Fortum Oyj 2019). Hinta ei sisällä perusmaksuja tai muita sähköliittymään liittyviä maksuja, koska voidaan olettaa kotitalouden tarvitsevan sähköä joka tapauksessa. Euroopan komission keräämien tilastojen

mukaan Euro-Super 95 maksoi Suomessa keskimäärin 1,529 €/l. Vertaillaan Harley-Davidsonin Livewiren ja Iron 1200:n käyttövoimakustannuksia. Molemmat ovat massaltaan vertailukelpoisia Livewiren ollessa 249 kg ja Iron 1200 248 kg ilman polttoainetta ja 256 kg ajokuntoisena. Livewiren toimintamatkaksi ilmoitetaan 153 km ja akun kapasiteetiksi 15,5 kWh, joten kulutus sadalla kilometrillä on:

$$\frac{15,5 \text{ kWh}}{153 \text{ km}} \cdot 100 \approx 10,1 \text{ kWh}/100 \text{ km} \quad (3)$$

Iron 1200:n kulutukseksi sadalla kilometrillä ilmoitetaan 5,2 l/100 km. Kuluiksi tulee siten Livewirellä noin 64 senttiä ja Iron 1200:lla noin 7,95 €. Iron 1200 voi olla siis jopa noin 12,5 kertaa kalliimpi ajaa kuin Livewire. (Harley-Davidson, Inc. 2019a; Harley-Davidson, Inc. 2019b)

Vuonna 2018 EU:n alueella rekisteröitiin 1004063 moottoripyörää ja 273645 mopoa. Moottoripyöristä 7478 ja mopoista 39701 oli sähköisiä, vastaten 0,74 % ja 14,5 % osuuksia kaikista rekisteröidyistä moottoripyöristä ja mopoista. Kasvua edelliseen vuoteen sähkömoottoripyörissä oli 81,5 % ja sähkömopoissa 46,9 %. Sähkömopojen osuus on siis sekä suhteellisesti että absoluuttisesti sähkömoottoripyöriä suurempi. Vaikka sähkömopojen ja erityisesti -moottoripyörien markkinaosuudet ovat toistaiseksi pieniä, molempien kasvu on huomattavan suurta. (ACEM 2019)

Kappaleessa 3.1 käsiteltyjen ryhmäkeskustelujen pohjalta on pääteltävissä, että taloudellisten etujen lisäksi yrityksille avautuu mahdollisuuksia kiillottaa julkikuvaansa osallistumalla toimiin ilmaston hyväksi.

3.4 Poliittinen näkökulma

Useat kansainväliset sopimukset, kuten Pariisin ilmastopöytäkirja ja Kioton pöytäkirja, sitovat tai pyrkivät edesauttamaan maita vähentämään päästöjä. Lisäksi useat maat ovat ilmoittaneet aikeistaan luopua fossiilisia polttoainesta ja joissain maissa asiasta keskustellaan. Valmistajilla

on siis paineita kehittää, valmistaa ja myydä muita kuin fossiilisia polttoaineita käyttäviä ajoneuvoja lähivuosina. (UNFCCC 2019a; UNFCCC 2019b; Burch & Gilchrist 2018, s. 1–4)

Norja tunnetaan sähköautojen mallimaana. Se on päättänyt kieltää uusien polttomoottoriautojen myynnin vuonna 2025 ja jo vuoden 2019 noin 60 % uusista autoista on sähköisiä. 90-luvun alusta lähtien sähköautojen hankintaa ja käyttöä on pyritty helpottamaan poliittisin päätöksin. Sähköautosta ei tarvitse maksaa 25 % arvonlisäveroa ja tienkäyttö-, lossi- ja pysäköintimaksut ovat enintään 50 % täydestä hinnasta. Latauspaikkoja on 10000, 1500 ajoneuvoa voi olla yhtä aikaa tehollatauksessa ja kaikkien pääteiden varsilla on latauspaikkoja 50 km välein. (Norsk elbilforening 2019; Nikel 2019)

Kirjoitushetkellä myös Suomessa on sähköautojen hankintaa tukevia toimia romutuspalkkioiden ja sähköautojen hankintatuen muodossa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017). Toisaalta sähkömoottoripyöriin nämä tukitoimet eivät yllä. Kirjallisessa kysymyksessä KK 103/2019 vp kokoomuksen kansanedustaja Timo Heinonen tuo esille ajatuksen sähkömoottoripyörien autoveron laskemisesta 9,8 prosentista 2,7 prosenttiin, eli samalle tasolle sähköautojen kanssa sekä romutuspalkkioiden laajentamista koskemaan myös moottoripyöriä. Toimenpiteillä tähdättäisiin liikenteen päästöjen vähennykseen. (Heinonen 2019, s. 1–2) Vastauksessaan valtiovarainministeri, keskustan kansanedustaja Mika Lintilä perustelee nykyisenkaltaista verotusta valtiontaloudellisilla syillä sekä ohjaustarpeilla. Vastauksessa ei ole käsitelty sähkömoottoripyörien ympäristövaikutuksia. (Lintilä 2019, s. 1–2)

3.5 Ympäristöllinen näkökulma

Ympäristön kannalta sähkömoottorien selkein etu verrattuna polttomoottoreihin on, etteivät ne tuota suoria päästöjä. Polttomoottorin pakokaasut sisältävät hiilidioksidia, hiilimonoksidia (häkää), sekalaisia hiilivetypäästöjä, hiukkaspäästöjä, rikkidioksidia, typen oksideja sekä lukuisia muita päästöjä. Sähkömoottorit eivät myöskään tuota yhtä paljon melusaastetta, ne tarvitsevat voiteluaineita huomattavasti vähemmän eikä polttoaineen jakelua aiheuta liikenteen päästöjä samalla tavalla kuin säiliöautot ja -alukset. Niiden hyötysuhde on lisäksi korkeampi, joten energiaa menee hukkaan vähemmän. (Motiva Oy 2019)

Sähkömoottorit tarjoavat myös muita etuja. Sähkö on polttoaineisiin verrattuna halpaa ja sen jakeluverkko on huoltoasemia huomattavasti kattavampi. Lisäksi sähköajoneuvojen valmistajat voivat luoda itselleen myönteistä julkikuvaa ympäristöystävällisemmällä ajoneuvoillaan.

Euroopan ympäristökeskuksen tekemä tutkimus käsittelee sähköajoneuvojen ympäristövaikutuksia raaka-ainetuotannon, valmistuksen, käytön ja loppukäsittelyn näkökulmasta. (European Environment Agency 2018, s. 6)

Perinteisiin ajoneuvoihin verrattuna sähköajoneuvot tarvitsevat enemmän kuparia, nikkeliä, kriittisiä raaka-aineita sekä harvinaisia maametalleja. Näiden tuottaminen on hyvin energiaintensiivistä ja vaatii lisäksi paljon vettä ja muita aineita. Esimerkiksi litiumioniakkujen osalta raaka-aineiden tuottamisen arvioidaan aiheuttavan noin viidenneksen akun valmistuksen kasvihuonekaasupäästöistä. Raaka-ainetuotannolla on myös riskinä saastuttaa vesistöjä ja maaperää. Ajoneuvojen keventämisen ennakoitaan aiheuttavan tulevaisuudessa lisäpäästöjä, kun tarve kevyille materiaaleille, kuten alumiinille, titaanille, magnesiumille ja hiilikuidulle kasvaa. (European Environment Agency 2018, s. 14–21)

Akun takia myös itse ajoneuvon valmistuksen arvioidaan tuottavan 1,3...2 kertaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna samankokoiseen polttomoottoriajoneuvoon. (European Environment Agency 2018, s. 22–29)

Käytössä sähköajoneuvot eivät tuota suoria päästöjä ja melusaasteen määrä on vähäisempi erityisesti hitaammilla nopeuksilla. Renkaiden kuluminen aiheuttaa samalla tavalla hiukkaspäästöjä kuin muissakin ajoneuvoissa. Käytöstä aiheutuvia päästöjä vähentää entisestään sähköajoneuvojen käytännön hyötysuhde, joka on ylivoimainen 70%...90% verrattuna polttomoottoriajoneuvojen 10%...15% hyötysuhteeseen, sekä mahdollisuus käyttää ympäristöystävällisesti tuotettua sähköä. Kokonaisuudessaan hiilidioksidipäästöjen arvioitiin olevan keskimäärin 47%...58% matalammat kilometriltä verrattaessa keskikokoista sähköhenkilöautoa vastaan polttomoottoriautoon. (European Environment Agency 2018, s. 30–45)

Käytön jälkeen päästöjä ei juurikaan enää synny mutta kiertotalouden näkökulmasta avautuu mahdollisuuksia loiventaa sähköajoneuvojen ympäristövaikutuksia. (European Environment Agency 2018, s. 46–56)

Koko elinkaaren aikana sähköajoneuvojen arvioidaan tuottavan 17...30 % vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna diesel- ja bensiinikäyttöisiin ajoneuvoihin, kun käytösähkönä on keskimääräinen sekoitus erilaisilla keinoilla tuotettua sähköä Eurooppalaisessa viitekehyksessä. Ympäristövaikutusten pienentämiseksi tulisi panostaa materiaalien kierrätykseen, pienempiin ajoneuvoihin, oikean kokoisiin akkuihin, vaihtoehtoisin materiaaleihin ja ympäristöystävälliseen sähköntuotantoon. Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on merkittävin keino tehdä sähköajoneuvoista ympäristöystävällisempiä, koska se vaikuttaa koko ajoneuvon elinkaaren raaka-ainetuotannosta kierrätykseen asti. Koko elinkaaren aikana päästöt voisivat olla lähes 90 % pienemmät verrattuna vastaavaan polttomoottoriajoneuvoon, jos koko elinkaaren aikana käytetty sähkö olisi tuotettu tuulivoimalla. Toinen merkittävä osa-alue ympäristövaikutusten vähentämiseksi on akun suunnittelu. Suurempi akku vaatii enemmän raaka-aineita ja energiaa valmistukseen sekä lisää ajoneuvon massaa, mikä entisestään lisää energiankulutusta. Kuluttajien odotukset ja mielikuvat riittävän suuresta akusta voivat paisuttaa niiden kokoa. Pienempi akku ja tarpeeksi nopea lataus vähentäisivät akkujen ympäristövaikutuksia ja tarvetta suuremmille akuille. Lisäksi akkujen standardointi helpottaisi merkittävästi niiden uusiokäyttöä ja kierrätystä. Lisäksi pienempien ja kevyempien ajoneuvojen suosiminen vähentäisi energiankulutusta, koska turhan massan liikuttelu vähenisi. (European Environment Agency 2018, s. 57–61)

4 POHDINTAA

Haastattelujen ja kyselyiden perusteella kuluttajilla on myönteinen mielipide sähköajoneuvoista sekä ympäristöllisestä näkökulmasta että käyttäjäkokemuksen näkökulmasta. Toisaalta vertailu polttomoottoriajoneuvoihin voi johtaa kielteisiin ennakoasenteisiin koskien esimerkiksi toimintamatkaa ja korkeampi hankintahinta on todellinen huoli. Tulevaisuudessa on oleellista lisätä ihmisten tietoisuutta ja haastaa heidät pohtimaan todellisia tarpeitaan ajomatkojen suhteen, koska kuluttajien mielipiteet ohjaavat myös valmistajien päätöksiä tuotteidensa suhteen. Lisäksi sähkömoottoripyörät ja -scooterit ovat kaupunkiympäristössä etulyöntiasemassa, koska ne vievät vähemmän tilaa eikä niiltä odoteta yhtä pitkiä toimintamatoja kuin sähköautoilta.

Korkeampi jännite mahdollistaa pienemmän tehohäviön mutta huomioon on otettava myös turvallisuus ja akun sisäinen vastus. Teknisestä näkökulmasta vaihtovirtamoottori eikä tasavirtamoottori ole selkeästi toistaan parempi. Sen sijaan ympäristöllisestä näkökulmasta valinta kallistuu pois päin kestopagnetoiduista moottoreista ja kohti vaihtovirtamoottoreita. Mikään akkuteknologia ei myöskään ole täydellinen mutta sähköajoneuvojen suorituskyvyn ja loppukäyttäjien odotusten perusteella litiumpohjaiset akut ovat nikkelpohjaisia akkuja monessa suhteessa parempia. Niiden korkea energiatiheys tarkoittaa kevyempiä akkuja ja pidempiä toimintamatoja, mitkä parantavat energiatehokkuutta ja ovat käyttäjien näkökulmasta hyödyllisiä ominaisuuksia.

Erilaisista voimansiirtoratkaisuista ketjuveto sopii erittäin hyvin sähkömoottoripyöriin hyvän hyötysuhteensa, matalan massansa ja halvan hintansa ansiosta. Nämä ominaisuudet paikkaavat sähkömoottoripyöriin liittyviä haasteita, kuten korkeaa lähtöhintaa ja pyrkimystä mahdollisimman energiatehokkaaksi. Vaihtoehtoisesti jos voiteluaineiden käyttöä halutaan välttää ympäristösyistä, hihnaveto on myös erittäin käyttökelpoinen ratkaisu. Massan optimoinnin kannalta ehdottomasti tehokkain ratkaisu on käyttää moottoripyörissä

päärungotonta runkoa ja moottoria kantavana rakenteena, jolla vähennetään eri rakenneosien päällekkäisiä tehtäviä. Lisäksi teräksen sijasta kannattaa käyttää esimerkiksi alumiinia.

Käytännössä harrastelijoiden tehdessä sähkökonversiota aihion valinta rajoittuu päärungollisiin runkoihin, jotta moottoripyörän mekaaninen kestävyys pystytään varmistamaan. Harrastelijat joutuvat käyttämään myös hyllytavarana löytyviä osia. Suuret yritykset taas pystyvät valmistamaan räätälöityjä osia ja hyötyvät sarjatuotannosta.

Koska kysyntää sähköajoneuvoille on, kuluttajien suhtautuminen niihin on pääasiassa myönteinen tai jopa innostunut ja käyttökustannukset ovat matalat, yritysten haasteet liittyvät lähinnä teknisiin haasteisiin, ajoneuvojen ympärille luotuihin palveluihin sekä raaka-aineiden hankintaan ja kierrätykseen. Korkea hinta, hidas lataus, totuttua lyhyemmät toimintamatkat sekä latausinfrastruktuurin puute hidastavat sähköajoneuvojen käyttöönottoa (Deloitte LLP 2019, s. 7–9). Akut taas vaativat harvinaisia raaka-aineita, joiden hankinta voi olla sekä epäeettistä että ympäristölle haitallista ja elinkaaren lopussa akku tulisi pystyä kierrättämään. (Calma 2019)

Maailmanlaajuinen poliittinen tahtotila on edistää ympäristöystävällisempien liikkumismuotojen yleistymistä. Toistaiseksi tämä on näkynyt hyvin vaihtelevasti eri maiden sisäpolitiikassa. Vertailtaessa esimerkiksi Norjaa ja Suomea, norjalaisten tukitoimensa sähköajoneuvoille ovat erittäin kattavat, kun taas suomalaiset ovat olleet maltillisempia, eivätkä kaikki tukitoimet koske kaikkia erilaisia ajoneuvoja.

Ympäristöllisestä näkökulmasta sähkömoottoripyöriä- ja skoottereita puoltaisi erityisesti tarve pienemmille ja kevyemmille ajoneuvoille. Vähemmän liikuteltavaa massaa tarkoittaa pienempää energiankulutusta ja tarvetta suurelle akulle. Lisäksi kuluttajien odotukset ajoneuvon toimintamatkasta voisivat olla esimerkiksi sähköskootterien kohdalla huomattavasti pienemmät, koska niiden luontainen käyttöympäristö on kaupunki ja käyttötarkoitus lyhyiden matkojen, kuten työmatkan taittaminen.

4.1 Alan tulevaisuus

Sähköajoneuvojen suurimmat ongelmat liittyvät tällä hetkellä akkuihin, kuten edellisissä kappaleissa on tuotu esille. Kuluttajat haluaisivat pidempiä toimintamatkoja, mikä vaatisi akulta suurempaa energiatiheyttä. Lisäksi akkujen raaka-aineet ovat harvinaisia eikä niiden tuottaminen ole kaikista ympäristöystävällisin vaihtoehto. Näitä ongelmia voidaan pyrkiä ratkaisemaan kehittämällä akkuja tai esimerkiksi hyödyntämällä vetypolttokennoja.

4.1.1 Vetypolttokennot

Vaihtoehtona täyssähköajoneuvoille ovat vetypolttokennoa käyttävät ajoneuvot. Vetypolttokenno käyttää polttoaineenaan vetyä ja happea tuottaakseen sähköä. Sivutuotteena syntyy myös lämpöä ja vettä. Vetypolttokennojen suurimmat edut verrattuna akkuihin ovat nopea tankkaus sekä tarve harvemmille harvinaisille raaka-aineille. Tavallisesti katalyyttinä käytetään platinaa mutta sen käytöstä luopumiseksi tehdään tutkimusta. Suurimmat haitat vetypolttokennoissa liittyvät itse vetyyn. Sitä ei käytännössä esiinny luonnossa vaan se täytyy tuottaa erikseen erottamalla vedestä, joka kuluttaa sähköä ja on hyötysuhteeltaan parhaimmillaan 80 %. Jakelua varten tarvittaisiin tankkausasemia ja putkistoja kun taas sähkön jakeluverkosto on jo kattava ja ulottuu myös koteihin. Vedyn tiheys on lisäksi matala, mikä tekee sen varastoinnista vaikeaa. Lisäksi vetypolttokennojen hyötysuhde on parhaimmillaan ilman lämmön hyödyntämistä 60 %, mikä yhdistettynä vedyntuotannon hyötysuhteeseen tarkoittaa, että yli puolet käytetystä energiasta menee hukkaan. Tuuli- tai aurinkosähköllä tuotettuna vetypolttokenno voisi mahdollistaa täyssähköajoneuvoja pienemmät kasvihuonekaasupäästöt mutta enemmillä hukkaenergialla. Ainakin Honda, Suzuki ja Yamaha ovat tehneet vetykäyttöisiä skoottereita tai niiden konsepteja, joten uskoa vetypolttokennojen tulevaisuuteen on. (Purvis 2017; Hydrogen Europe aisbl 2019; Hydrogenics Corporation 2019) United States Department of Energy 2019

4.1.2 Tulevaisuuden akut

Sähköajoneuvojen yleistyessä valmistajilla on entistä enemmän paineita luoda tehokkaampia, energiatiheämpiä ja ympäristöystävällisempiä akkuja. Näitä ongelmia ratkotaan nykyisiä akkutyyppejä kehittämällä sekä tutkimalla vaihtoehtoisten akkujen mahdollisuuksia. Esimerkiksi litium-rikkiakut vaikuttavat lupaavilta energiatiheiden kasvattamiseksi ja kiinteitä

elektolyyttejä käyttävät akut taas latausnopeuden kasvattamiseksi. Vaihtoehtoisista materiaaleista litiumille ja koboltille alumiini on yksi merkittävimmistä. Se mahdollistaisi halvempien, ympäristöystävällisempien ja helpommin kierrätettävien akkujen valmistuksen. (Cadex Electronics Inc. 2019g; Hänninen 2014; Langridge & Edwards 2019; Nieminen 2017; Grossman 2019; Gorey 2019)

5 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia sähkömoottoripyörien ja -skoottereiden yleistymiseen liittyviä haasteita yhteiskunnallisesta, teknisestä, taloudellisesta, poliittisesta sekä ympäristöllisestä näkökulmasta. Tätä varten tehtiin STEPE-analyysi, jonka kaikkien viiden osaluheen todettiin tukevan sähkömoottoripyörien ja -skoottereiden hyödyllisyyttä, joskin haasteitakin tuli esille.

Verrattuna autoihin, sähkömoottoripyörillä ja erityisesti sähköskoottereilla todettiin olevan monia etuja. Ahtaissa suurkaupungeissa ne vievät vähemmän tilaa ja ovat energiatehokkaampia, koska liikuteltavana on vähemmän turhaa massaa.

Tekniikan osalta suurimmat haasteet liittyivät akkuun. Sen pitäisi olla kevyt mutta myös energiatiheydeltään korkea, jotta toimintamatka saataisiin mahdollisimman pitkäksi. Ylipäättään massan vähentäminen ja hyötysuhteen kasvattaminen ovat keskeisiä kehityskohteita sähköajoneuvoille. Tähän pyritään esimerkiksi kevyempien materiaalien avulla. Lisäksi ketjuvedon käyttäminen pitää hyötysuhteen mahdollisimman korkealla.

Kansainvälinen ja paikoin myös kansallinen poliittisen tahtotilan todettiin tukevan ympäristöystävällisempiin liikkumismuotoihin siirtymistä. Ilmaston ja ympäristöön liittyvien seikkojen ohella julkinen mielipide vaikuttaa myönteisellä tavalla tulevaisuuden poliittisiin päätöksiin koskien sähköajoneuvoihin liittyviä isoja linjanvetoja. Toisaalta poliitikot voivat nähdä sähköajoneuvojen kasvavan suosion myös verotulojen lähteenä, mikä voi osaltaan heikentää sähköajoneuvojen asemaa ja hidastaa siirtymistä kohti ympäristöystävällisempiä liikkumismuotoja. Julkista keskustelua on käytävä taloudellisten etujen ja ympäristöllisten etujen tasapainosta.

Talousasioita tarkasteltaessa todettiin sähköajoneuvojen olevan hankintahinnaltaan perinteisiä ajoneuvoja kalliimpia mutta merkittävästi halvempia käyttökustannuksiltaan, eli huollon ja

käyttövoiman osalta. Sähkömoottoripyörien ensirekisteröinneissä oli vuonna 2018 maltillista kasvua kun taas sähköskoottereiden suosio on räjähtänyt.

Pakokaasuttomuuden ja huomattavasti paremman hyötysuhteen todettiin tekevän sähköajoneuvoista polttomoottoriajoneuvoja ympäristöystävällisempiä. Parantamisen varaa on toki aina ja tulevaisuudessa erityistä huomiota tulisi kiinnittää sähköntuotannon ympäristövaikutuksiin, koska se vaikuttaa myös sähköajoneuvojen koko elinkaareen, valmistuksessa käytettävien materiaalien kierrätykseen erityisesti akkujen osalta sekä käyttäjien tarpeiden täyttämiseen tehokkaammin. Jälkimmäisellä tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi akun koko on mitoitettu vastaamaan todellista tarvetta ja pienempi akku voidaan hyväksyä, jos lataus on nopeampaa.

LÄHDELUETTELO

ABB Industry Oy 2001a. Tekninen opas nro 4 – Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Helsinki: ABB Automation Group Ltd. 44 s.

ABB Industry Oy 2001b. Tekninen opas nro 1 – Suora momentinsäätö. Helsinki: ABB Automation Group Ltd. 32 s.

ABB Ltd 2019. Low Voltage Motors. Neljäs painos. Zürich, Sveitsi: ABB Ltd. 112 s.

ACEM 2019. Registrations of motorcycles in the European Union increased by 9.9% in 2018 [verkkodokumentti]. Julkaistu 12.2.2019. [Viitattu 1.12.2019] Saatavissa: <https://www.acem.eu/registrations-of-motorcycles-in-the-european-union-increased-by-9-9-in-2018>

Aguilera-García, Á., Gomez, J. & Sobrino, N. 2019. Exploring the adoption of moped scooter-sharing systems in Spanish urban areas. Teoksessa: Zhao P. Cities. Volume 96. Amsterdam, Alankomaat. Elsevier Ltd. 2020. Artikkelin (A.) 102424.

Ahtiainen, L. 2018. Vuosi sähköllä: sähköauton huolto on nopeaa ja yllättävän halpaa [verkkodokumentti]. Julkaistu 3.5.2018. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/vuosi-sahkolla-sahkoauton-huolto-on-nopeaa-ja-yllattavan-halpaa/>

Bragg, S. 2018. Cost Structure [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.12.2018. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.accountingtools.com/articles/what-is-cost-structure.html>

Burch, I. & Gilchrist, J. 2018. Survey of Global Activity to Phase Out Internal Combustion Engine Vehicles [verkkodokumentti]. Santa Rosa, Kalifornia, Yhdysvallat: julkaistu helmikuu 2018, päivitetty lokakuu 2018. The Climate Center. 14 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://theclimatecenter.org/wp-content/uploads/2018/10/Survey-on-Global-Activities-to-Phase-Out-ICE-Vehicles-FINAL-Oct-3-2018.pdf>

Cadex Electronics Inc. 2014. Is Li-ion the Solution for the Electric Vehicle? [verkkodokumentti]. Päivitetty 8.1.2014. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_li_ion_the_solution_for_the_electric_vehicle

Cadex Electronics Inc. 2016. BU-215: Summary Table of Nickel-based Batteries [verkkodokumentti]. Päivitetty 14.12.2016. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_215_summary_table_of_nickel_based_batteries

Cadex Electronics Inc. 2017a. BU-201a: Absorbent Glass Mat (AGM) [verkkodokumentti]. Päivitetty 11.10.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm

Cadex Electronics Inc. 2017b. BU-201b: Gel Lead Acid Battery [verkkodokumentti]. Päivitetty 11.10.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_201b_gel_lead_acid_battery

Cadex Electronics Inc. 2017c. BU-410: Charging at High and Low Temperatures [verkkodokumentti]. Päivitetty 15.9.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_at_high_and_low_temperatures

Cadex Electronics Inc. 2018. BU-204: How do Lithium Batteries Work? [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.6.2018. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries

Cadex Electronics Inc. 2019a. BU-802a: How does Rising Internal Resistance affect Performance? [verkkodokumentti]. Päivitetty 10.7.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/rising_internal_resistance

Cadex Electronics Inc. 2019b. BU-201: How does the Lead Acid Battery Work? [verkkodokumentti]. Päivitetty 30.5.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries

Cadex Electronics Inc. 2019c. BU-214: Summary Table of Lead-based Batteries [verkkodokumentti]. Päivitetty 19.7.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_214_summary_table_of_lead_based_batteries

Cadex Electronics Inc. 2019d. BU-203: Nickel-based Batteries [verkkodokumentti]. Päivitetty 27.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries

Cadex Electronics Inc. 2019e. BU-216: Summary Table of Lithium-based Batteries [verkkodokumentti]. Päivitetty 10.7.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_216_summary_table_of_lithium_based_batteries

Cadex Electronics Inc. 2019f. BU-705: How to Recycle Batteries [verkkodokumentti]. Päivitetty 13.9.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/recycling_batteries

Cadex Electronics Inc. 2019g. BU-212: Future Batteries [verkkodokumentti]. Päivitetty 14.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/experimental_rechargeable_batteries

Calma, J. 2019. The electric vehicle industry needs to figure out its battery problem [verkkodokumentti]. Julkaistu 6.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.theverge.com/2019/11/6/20951807/electric-vehicles-battery-recycling>

Chaliawala, N. 2019. Suzuki Motor may soon start testing its electric scooter in India [verkkodokumentti]. Julkaistu 8.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://economictimes.indiatimes.com/industry/auto/auto-news/suzuki-motor-may-soon-start-testing-its-electric-scooter-in-india/articleshow/71973477.cms?from=mdr>

Chen, J. 2019. Profitability Index [verkkodokumentti]. Päivitetty 18.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.investopedia.com/terms/p/profitability.asp>

Chodakowska, A. 2018. The Mobility Revolution in the Automobile Industry – Electric Cars and Battery Management [verkkodokumentti]. Kuopio: kesäkuu 2018 [viitattu 1.12.2019]. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu, Industrial Management. 47 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/150259/Thesis_Aneta_Chodakowska.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Coombs, M. & Mauno, E. 2002. Moottoripyörän tekniikka: Rakenne, tekniikka, toiminta : moottoripyörät, skootterit, mopot. Helsinki: Alfamer. 239 s.

Deloitte LLP 2019. New market. New entrants. New challenges. Battery Electric Vehicles. [verkkodokumentti]. Lontoo, Yhdistynyt kuningaskunta: tammikuu 2019. [Viitattu 1.12.2019].

Deloitte LLP. 24 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>

Edenhofer, et al. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. S. 605.

Energica Motor Company S.p.A. 2019. ENERGICA EVA RIBELLE [Energica Motor Company S.p.A.:n www-sivulta]. Päivitetty 5.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.energicamotor.com/energica-eva-electric-streetfighter/>

Euroopan komissio 2016. A European Strategy for Low-Emission Mobility [verkkodokumentti]. Julkaistu 20.7.2016. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52016DC0501>

Euroopan komissio 2014. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030 [verkkodokumentti]. Julkaistu 22.1.2014. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0015>

European Environment Agency 2018. Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives [verkkodokumentti]. Luxemburg, Luxemburg: marraskuu 2018. [Viitattu 1.12.2019]. Publications Office of the European Union. 80 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle/electric-vehicles-from-life-cycle/viewfile#pdfjs.action=download>

Fortum Oyj 2019. Sähkösopimukset ja hinnat [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/sahkosopimukset>

Gorey, C. 2019. Eco-friendly battery closer to reality after aluminium breakthrough [verkkodokumentti]. Julkaistu 30.9.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.siliconrepublic.com/machines/eco-friendly-battery-aluminium-breakthrough>

Grossman, D. 2019. Could Aluminum Power Future Batteries? [verkkodokumentti]. Julkaistu 3.10.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.popularmechanics.com/science/energy/a29355459/future-aluminum-batteries/>

Harley-Davidson, Inc. 2019a. Livewire [Harley-Davidson, Inc.:n www-sivuilta]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.harley-davidson.com/fi/fi/motorcycles/livewire.html>

Harley-Davidson, Inc. 2019b. 2020 IRON 1200 [Harley-Davidson, Inc.:n www-sivuilta]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.harley-davidson.com/fi/fi/motorcycles/iron-1200.html>

Heinonen, T. 2019. Kirjallinen kysymys KK 103 2019 vp [verkkodokumentti]. Helsinki: syyskuu 2019. [Viitattu 1.12.2019]. Eduskunta. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Kysymys/Documents/KK_103+2019.pdf

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk-Kustannus Oy, Tammertekniikka. 302 s.

Honda Motor Co., Ltd. 2019. PCX Electric [Honda Motor Co., Ltd.:n www-sivuilta]. Päivitetty 23.8.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.honda.co.jp/PCXELECTRIC/>

Hydrogen Europe aisbl 2019. Fuel cells [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://hydrogeneurope.eu/fuel-cells>

Hydrogenics Corporation 2019. Fuel Cells [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.hydrogenics.com/technology-resources/hydrogen-technology/fuel-cells/>

Hänninen, V. 2014. Monimuotoiset akut [verkkodokumentti]. Julkaistu 18.11.2014. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.nanobitteja.fi/katsausartikkelit/32>

Johnson, E. 2019. Introduction to Electric Vehicle Battery Systems [verkkodokumentti]. Julkaistu 31.7.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-electric-vehicle-battery-systems/>

Jurevicius O. 2013. VRIO Framework [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.10.2013. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://strategicmanagementinsight.com/tools/vrio.html>

Kester, J., Zarazua de Rubens, G., Sovacool, B. K. & Noel, L. 2019. Public perceptions of electric vehicles and vehicle-to-grid (V2G): Insights from a Nordic focus group study. Teoksessa: Noland, R. B. & Cao, J. X. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 74. Amsterdam, Alankomaat. Elsevier Ltd. 2019. S. 277–293.

Langridge, M. & Edwards, L. 2019. Future batteries, coming soon: Charge in seconds, last months and power over the air [verkkodokumentti]. Julkaistu 15.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.pocket-lint.com/gadgets/news/130380-future-batteries-coming-soon-charge-in-seconds-last-months-and-power-over-the-air>

Lightning Motors Corp. 2019. The Lightning LS-218 [Lightning Motors Corp.:n www-sivuilta]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://lightningmotorcycle.com/>

Liikenne- ja viestintäministeriö 2017. Romutuspalkkio ja sähköautojen hankintatuki sekä muuntotuet voimaan 1.1.2018 [verkkodokumentti]. Julkaistu 19.12.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.lvm.fi/-/romutuspalkkio-ja-sahkoautojen-hankintatuki-seka-muuntotuet-voimaan-1.1.2018-960167>

Lintilä, M. 2019. Vastaus kirjalliseen kysymykseen KKV 103/2019 vp [verkkodokumentti]. Helsinki: syyskuu 2019. [Viitattu 1.12.2019]. Eduskunta. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Kysymys/Documents/KKV_103+2019.pdf

Lu, J. 2017. PESTLE Analysis [verkkodokumentti]. Julkaistu 28.2.2016, päivitetty 13.8.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.groupmap.com/map-templates/pestle-analysis/>

Lu, J. 2019. SOAR Analysis [verkkodokumentti]. Julkaistu 29.8.2015, päivitetty 18.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.groupmap.com/map-templates/soar-analysis/>

Maruyama, N., et al. 2012. Environmental Evaluation and Effectiveness of Electricassist Bicycle for a Local Transportation. Proceedings of the 10th Annual International Energy Conversion Engineering Conference, IECEC 2012. Atlanta, Georgia, Yhdysvallat. 29.7.–1.8.2012. S. 308–316.

Mind Tools Ltd 2016. PEST Analysis [verkkodokumentti]. Julkaistu 2016. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_09.htm

Montano, T. 2016. Victory Empulse TT Review [verkkodokumentti]. Julkaistu 8.2.2016. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: <https://www.cycleworld.com/sport-rider/mainstream-electric/>

Motiva Oy 2019. Autojen pakokaasupäästöt [verkkodokumentti]. Päivitetty 31.7.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/perustietoa_liikenteesta/autojen_pakokaasupaastot

NettiX Oy 2019. Vespa Elettrica [verkkodokumentti]. Päivitetty 7.3.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.nettimoto.com/vespa/elettrica/2376277>

Nieminen, J. 2017. TM-analyysi: Sähköautojen akut tuovat julkisuuteen uusia hämmäntäviä termejä – tässä pikaopas niiden tulkintaan [verkkodokumentti]. Julkaistu 29.12.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://tekniikanmaailma.fi/tm-analyysi-sahkoautojen-akut-tuovat-julkisuuteen-uusia-hammentavia-termeja-tassa-pikaopas-niiden-tulkintaan/>

Nikel, D. 2019. Electric Cars: Why Little Norway Leads The World In EV Usage [verkkodokumentti]. Julkaistu 18.6.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.forbes.com/sites/davidnikel/2019/06/18/electric-cars-why-little-norway-leads-the-world-in-ev-usage/#3ebdf69513e3>

Norsk elbilforening 2019. Norwegian EV policy [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/>

Oriental Motor U.S.A. Corp. 2019a. Brushless DC Motor vs. AC Motor vs. Brushed Motor? [verkkodokumentti]. Päivitetty 15.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.orientalmotor.com/company/index.html>

Piaggio & C. SpA 2019. Vespa Elettrica [Piaggio & C. SpA:n www-sivuilta]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://elettrica.vespa.com/en/>

Plugit Finland Oy 2019. Sähköauton huollon tarve [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://vihreakaista.fi/fi-fi/article/sahko/sahkoauton-huolto/212/>

Purvis, B. 2017. Hydrogen fuel cells: is it the future for motorbikes? [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.11.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

https://www.bennetts.co.uk/bikesocial/news-and-views/features/bikes/hydrogen_powered_bikes_future_fuel

Rahman, A., Afroz, R. & Alam, Z. 2015. Development of electric vehicle: Public perception and attitude, the Malaysian approach. Teoksessa: Hilletoft, P. World Review of Intermodal Transportation Research. Vol. 5 No. 2. Geneve, Sveitsi. Inderscience Enterprises Ltd. S. 149–167.

Richardson, J. V., Jr. 2017. A Brief Intellectual History of the STEPE Model or Framework [verkkodokumentti]. Päivitetty 9.5.2017. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://pages.gseis.ucla.edu/faculty/richardson/STEPE.htm>

RMK Vehicle Corporation Oy 2019. RMK E2 [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://rmkvehicles.com/>

Ruffo, G. H. 2019. Toroidion Is Alive And Kicking: Promises To Cause a Revolution [verkkodokumentti]. Julkaistu 6.8.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://insideevs.com/news/363535/toroidion-1070-promises-48v-revolution/>

Shirahata, K. 2019. Speed Control Methods of Various Types of Speed Control Motors [verkkodokumentti]. Torrance, Kalifornia, Yhdysvallat: päivitetty marraskuu 2019. [Viitattu 1.12.2019]. Oriental Motor U.S.A. Corp. 9 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

<https://www.orientalmotor.com/brushless-dc-motors-gear-motors/technology/pdf/speed-control-methods-speed-control-motors.pdf>

Silvonen, K. 2018a. Elektroniikka ja sähkötekniikka. Helsinki: Otatieto. 504 s.

Slemon, G. R. & Hosch, W. L. 2006. Electric motor [verkkodokumentti]. Julkaistu 12.8.1998, päivitetty 8.12.2006. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:
<https://www.britannica.com/technology/electric-motor>

Suome Motoristit ry 2019. Moottoripyöräilyn verotus, päästöt, sähkökäyttöiset 2-pyöräiset ja palvelumallit Suomessa [verkkodokumentti]. Julkaistu 2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:
<https://www.smoto.fi/wp-content/uploads/2019/02/SMOTO-MP-verotus-2018.pdf>

TAB d. d. 2018. TAB Trukkiakut [verkkodokumentti]. Rovaniemi: heinäkuu 2018. [Viitattu 1.12.2019]. Suomen Akut Oy. 12 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
<https://ajankohtaista.suomenakut.fi/t/71850462.pdf>

Toll, M. 2019. Yamaha announces new electric motorcycles, scooters and more in huge EV push [verkkodokumentti]. Julkaistu 10.10.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:
<https://www.electrek.co/2019/10/10/yamaha-announces-new-electric-motorcycles-scooters-e-bikes/>

TVS Motor Company 2019. Chain Vs Belt Vs Shaft Drive: Motorcycle Final Drive Systems Explained with Their Characteristics [verkkodokumentti]. Julkaistu 4.2.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:
<https://www.tvsmotor.com/blog/chain-vs-belt-vs-shaft-drive-motorcycle-final-drive-systems-explained-with-their-characteristics/>

UNFCCC 2019a. What is the Kyoto Protocol? [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:
https://unfccc.int/kyoto_protocol

UNFCCC 2019b. What is the Paris Agreement? [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>

United States Department of Energy 2019. Fuel Cells [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.12.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>

Verohallinto 2019. Ajoneuvojen veroprosentit [verkkodokumentti]. Päivitetty 1.3.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/auto/autoverotus/autoveron_maara/ajoneuvojen-veroprosentit/

Vesa, J. 2019. Sähköautojen latausjärjestelmiä koskeva standardointi [verkkodokumentti]. Helsinki: maaliskuu 2019. [Viitattu 1.12.2019]. SESKO ry. 34 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

https://tukes.fi/documents/5470659/6372821/2019-03-12_Sahkoautojen_latausjarjestelmien_standardointitilanne_tukes_Juha_Vesa.pdf/

Yamaha Motor Europe N.V. 2019a. Yamaha SCR950 [verkkodokumentti]. Julkaistu 2017, päivitetty 25.9.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.yamaha-motor.eu/fi/fi/products/motorcycles/sport-heritage/scr950/>

Yamaha Motor Europe N.V. 2019b. Yamaha MT-09 [verkkodokumentti]. Päivitetty 3.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.yamaha-motor.eu/fi/fi/products/motorcycles/hyper-naked/mt-09-2020/>

Zero Motorcycles, Inc. 2019. Zero FX [Zero Motorcycles, Inc.:n www-sivuilta]. Päivitetty 22.11.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.zeromotorcycles.com/zero-fx/>

Zimmerman, M. J. & Bradley, B 2019. Intrinsic vs. Extrinsic Value [verkkodokumentti]. Julkaistu 2002, päivitetty 25.2.2019. [Viitattu 1.12.2019]. Saatavissa:

<https://plato.stanford.edu/entries/value-intrinsic-extrinsic/>

ZVEI 2014. Voltage Classes for Electric Mobility [verkkodokumentti]. Frankfurt am Main, Saksa: tammikuu 2014. [Viitattu 1.12.2019]. ZVEI - German Electrical and Electronic Manufacturers' Association, Centre of Excellence Electric Mobility. 44 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2014/april/Voltage_Classes_for_Electric_Mobility/Voltage_Classes_for_Electric_Mobility.pdf