

Olavi Latukka

# SÄHKÖISEN VOIMANLÄHTEEN VAIKUTUKSET AJONEUVOISSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kesäkuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Olavi Latukka: Sähköisen voimanlähteen tuomat hyödyt ajoneuvossa  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikka  
Kesäkuu 2023

---

Ajoneuvojen polttomoottoreista sähkömoottoreihin siirtyminen on suuri muutos, joka vaikuttaa yhteiskunnassa jokaiseen. Se vaikuttaa koko yhteiskunnasta aina kuluttajasta infrastruktuuriin sekä ajoneuvojen parissa työskenteleviin. Tässä työssä tutkitaan, millaisia etuja ja haittoja sähkömoottorilla toimivalla ajoneuvolla on.

Työn tavoite on selvittää, voidaanko suunnitella turvallisempia, monipuolisempia tai käyttäjäystävällisempiä ajoneuvoja. Työ on kirjallisuuskatsaus, jossa esitellään erilaisia moottorityyppejä, joiden ominaisuuksia vertaillaan keskenään. Näiden ominaisuuksien perusteella tuodaan esille mahdollisia tapoja parantaa ajoneuvoja suunnitteluvaiheessa, kun käytössä onkin sähkömoottori polttomoottorin sijaan. Näiden parannusmahdollisuuksien tueksi esitellään tekniikan sovelluksia, jotka ovat jo olemassa ja millaisen muutoksen ne tuovat ajoneuvoihin, niiden suunnitteluun, käyttöön ja huoltoon. Lisäksi esitellään kehitteillä olevaa tekniikkaa ja teknologiaa.

Kirjallisuuslähteiden pohjalta osoitetaan, kuinka sähkömoottoreilla valmistetut ajoneuvot voisivat olla turvallisempia, monipuolisempia, käyttäjäystävällisempiä ja huoltovapaampia, kuin polttomoottoria hyödyntävät ajoneuvot. Työssä selviää, että suurin hyöty syntyy sähköisten ajoneuvoilla tasaisesti jakautuvasta ja muuttumattomasta painosta, käyttöliittymän kautta personoitavasta käyttäjäkokemuksesta ja voimansiirrossa tarvittavien kuluvien osien pienestä määrästä. Myös useamman moottorin käyttämisen tuoma hyöty osoittautuu suureksi, koska sillä voidaan parantaa turvallisuutta, käytettävyyttä, suorituskykyä ja aerodynamiikkaa. Työssä syntyy myös päätelmä, jonka mukaan tulevaisuudessa ajoneuvoista voidaan suunnitella yhä enemmän toisistaan poikkeavia, jonka ansiosta voidaan vastata erilaisten kuluttajien tarpeisiin paremmin.

Avainsanat: Sähkömoottori, Ajoneuvo, Suunnittelu, Käytettävyys, Turvallisuus, Huollettavuus

# SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	1
2. MOOTTORIVAIHTOEHDOT .....	3
2.1 Moottorivalinnan vaikutus .....	5
2.2 Moottorin sijainnin vaikutus .....	7
2.3 Energian lähde .....	9
2.3.1 Lataaminen ja tankkaaminen .....	10
2.3.2 Tulevaisuus .....	11
3. KÄYTTÄJÄKOKEMUS .....	12
4. HUOLTO .....	15
5. MAHDOLLISIA RATKAISUJA .....	17
6. YHTEENVETO .....	19
LÄHTEET .....	20

# 1. JOHDANTO

Ilmastonmuutosta on pyritty hidastamaan monin keinoin. Näistä yksi on sähköajoneuvojen osuuden kasvattaminen päivittäisessä liikenteessä. Niiden yleistymisen oletetaan olevan nopeaa tulevina vuosina.

Ilmastonmuutos on saanut sähköajoneuvot yleistymään nopeasti. Vuonna 2018 sähköajoneuvot olivat maailmassa jo 5,1 miljoonaa. Sähköisten ajoneuvojen määrä kasvoi vuoteen 2017 verrattuna kahdella miljoonalla, mikä kuvastaa hyvin sähköajoneuvot yleistymisen nopeutta. [1] Vuonna 2019 Alternative Fuels Data Centerin (AFDC) mukaan täyssähköautoja oli saatavilla melkein 50 erilaista mallia. [11]

Sähköajoneuvoissa kuluttajia houkuttaa parempi suorituskyky, joka muodostuu polttomootoreihin verrattuna olemattomasta viiveestä, vaihteettomasta moottorista, hyvästä hyötysuhteesta ja nopeasta kiihtyvyydestä.

Monet valtiot ja Euroopan unioni ovat myös asettaneet tavoitteekseen vähentää liikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Sähköajoneuvot on myönnetty verohelpotuksia ja hankintatukia, jotta niitä saataisiin nopeammin liikenteeseen. [1] Suomessa Liikenne- ja viestintäministeriö linjauksella on, että siirrytään käyttämään sähköautojen. Ministeriön ennusteena on, että vuonna 2020 Suomessa olisi noin 35.000 sähköautoa, joka olisi 1,5 % koko autokannasta. Vuoteen 2030 mennessä Vastaava luku olisi 900000:een, joka on 25 %:iin koko autokannasta. Vuoden 2030 jälkeen sähköauton tulisi korvata polttomootoriautot kokonaan. [15]

Suurin tekninen panostus on kohdistettu ajoneuvojen akuston ja latauksen suunnitteluun. Markkinoilla on hyvin vähän ajoneuvoja, joissa on otettu huomioon ne muutokset, joita perinteisiin ajoneuvoihin voidaan tehdä, kun polttomootorin rajoitteet poistuvat. Näillä muutoksilla voidaan pyrkiä tekemään ajoneuvoista turvallisempia, monipuolisempia tai käyttäjäystävällisempiä. Muutokset voivat olla fyysisiä tai käyttöliittymässä.

Sähköisten ajoneuvojen käyttöönottoa on myös hidastanut riittämätön latausinfrastruktuuri, joka kuitenkin on koko ajan kasvussa [2]

Tässä työssä esitellään erilaisia sähköisten ajoneuvojen mahdollisuuksia, joita on tarjolla verrattuna polttomoottoriin. Esitellään ajoneuvoihin ja moottoripyöriin mahdollisia tekniikan sovelluksia, jotka ovat jo käsillä, ja niiden lisäksi tavoitteena on myös vilkaista tulevaisuudennäkymiin. Verrataan sähkömoottorin antamia hyötyjä sekä mahdollisia rajoitteita ja pohditaan, millaisia vaikutuksia niillä voi olla ajoneuvojen käyttäjien näkökulmasta. Työssä käydään myös läpi millaiseen käyttöön sähköiset ajoneuvot soveltuvat ja millainen tulevaisuuden näkymä niiden käytölle tulee olemaan.

## 2. MOOTTORIVAIHTOEHDOT

Moottorin tehtävä on muuttaa energiaa mekaaniseksi voimaksi ja liikkeeksi.

Erilaiset moottorit voivat käyttää energialähteenä bensiiniä, dieseliä, kaasua, etanolia, polttokennoja tai sähköä.

Näistä eniten liikennekäytössä on bensiini ja diesel toimisia.

**Bensiinijoneuvo** moottorit ovat ottomoottoreita. Suurin osa ajoneuvoista käyttää Suomessa bensiiniä. Bensiinille on laadittu laatudirektiivi, jonka mukaan bensiinissä voi olla korkeintaan 10 % etanolia. Usein bensiinijoneuvot toimivat perusmallina, johon muita ajoneuvoja verrataan. Vahvuuksina bensiinijoneuvoilla on laaja mallivalikoima, toimintamatkan pituus ja tankkausverkosto laajuus. Bensiinijoneuvo on mahdollista muuntaa kaasujoneuvo. Bensiinimoottorit ovat vuosien aikana kehittyneet huomattavasti taloudellisemmiksi ja puhtaammin toimiviksi kuin vanhemmat mallit. [11]

**Dieselajoneuvo** suosion kasvu Euroopassa perustuu pienempään kulutukseen ja parantuneeseen suorituskykyyn, joiden ansiosta toimintamatka on myös hieman bensiinijoneuvo pidempi. Dieselajoneuvo hiilidioksidipäästöt ovat pienempiä kuin bensiinijoneuvoissa, mutta ovat myös kalliimpia valmistaa. Kalliimpi valmistushinta johtuu osittain dieselajoneuvojen hiukkasten ja typen oksidien poistaminen hankaluudesta. Kaikki uudet dieselmoottorit turboahdetaan, jotta saadaan kulutusta alas ja moottorin tehoa ylös. Dieselajoneuvosta saadaan ekologisempia, jos käytetään uusiutuvaa dieseliä. Kun käytetään EURO6-luokan dieselmoottoria ja uusiutuvaa dieseliä, niin voidaan kilpailla sähköajoneuvon kanssa kokonaispäästökuormassa. [11]

**Kaasujoneuvo** on kaksoispolttojärjestelmä, jossa polttoaineena toimii bio- tai maakaasu ja vaihtoehtoisesti tarpeen mukaan bensiini. Kaasujoneuvon ympäristöjalanjälki on verrattain pieni, erityisesti kun polttoaineena käytetään biokaasua. Tankattaessa kaasu on yleensä paineistettuna. Kaasujoneuvon valmistaminen on kalliimpaa kuin bensiinijoneuvon, joten sen hankkiminen on kal-

liimpaa myös kuluttajalle. Kuitenkin käyttökustannukset ovat alhaisemmat. Ominaisuuksiltaan kaasujoneuvo on hyvin lähellä bensiiniajoneuvoa. [11]

**Etanoliajoneuvo** (tunnetaan myös nimillä flexifuel tai multifuel) toiminta on sama, kuin bensiiniautoilla, mutta korkeaseosetanolia tai bensiiniä. Tämä onnistuu moottorinohjausjärjestelmän kyvyllä tunnistaa polttoaineessa käytetyn sekoitus-suhteen. Kuluttaja voi itse valita sopivimman polttoaineen bensiinin ja korkeaseosetanolin välillä, ja tyypillisesti ratkaisevat tekijät ovat hinta ja saatavuus. Haasteena valmistajilla on ollut optimoida moottori, joka pystyy toimimaan hyvin erilaisilla seoksilla. Tekniset haasteet saattavat olla esteenä etanoliajoneuvojen yleistymiselle. [12]

**Polttokennoajoneuvo** voidaan ajatella erilaisena sähköajoneuvona, koska niille energia tuotetaan sähkökemiallisella reaktiolla. Polttokennon toiminta perustuu kaasumaisen tai nesteytetyn vedyn vapauttamiseen kaasumaisena polttokennoon. Kennossa vety ja happi reagoi vapauttaen elektroneja, josta saadaan sähköä. Polttoaineena käytettävää vetyä voidaan valmistaa 14 erilaisesta raaka-aineesta. Vedyn säilytys tapahtuu ajoneuvon alustassa. Polttokennoajoneuvon yleistyminen on mahdollista, mutta se edellyttäisi uutta ajoneuvokantaa ja uudistettua jakeluverkostoa. Muutamia vetykäyttöisiä polttokennoajoneuvoja myydään jo eripuolilla Eurooppaa, Japania ja Yhdysvaltoja. Polttokennoajoneuvoille voidaan valmistaa polttoaine uusiutuvalla energialla ja CO<sub>2</sub>- neutraalisti. Hiljaisuus, paikallispäästöttömyys ja nopea tankkaus ovat polttokennoajoneuvojen suurin etu. Vaikeutena polttokennoissa on vedyn varastointi, korkea valmistuskustannus sekä suuri energian kulutus. Ainoina sivutuotteina syntyy lämpöä ja puhdasta vesihöyryä. [11] Vesihöyry voidaan johtaa pois kennosta ja syntyvä lämpö, jota hyödyntämällä voidaan parantaa polttokennon hyötysuhdetta.[13]

**Hybridiajoneuvossa** pyritään yhdistämään perinteisen poltto- ja uuden sähkömoottorin hyödyllisimmät puolet. Hybridiajoneuvossa sähkömoottorin tarkoitus on avustaa polttomoottoria ja pienentämään kulutusta sekä päästöjä. Sähkömoottorin etuna on suurempi vääntö matalilla kierroksilla. Tästä syystä sähkömoottorit toimivat hyvin erityisesti liikkeellelähdössä, josta on erityisesti raskaille ajoneuvoyhdistelmille.

## 2.1 Moottorivalinnan vaikutus

	AC-moottorit			DC-moottorit	
	SCIM	SPM	IPM	PM	WF
<b>Koko</b>	3	3	3	1	1
<b>Hinta</b>	3	2	3	1	1
<b>Hyötysuhde</b>	2	3	3	1	1
<b>Jäähdytys</b>	1	3	3	1	1
<b>Huollettavuus</b>	3	3	3	1	1
<b>Luotettavuus</b>	3	1	2	1	2
<b>Ajoneuvokäyttö</b>	3	1	3	1	1

Taulukko 1. Vertailu eri sähkömoottorityypeistä ajoneuvojen voimansiirrossa. SCIM = squirrel cage induction motor, SPM = Surface Permanent Magnet Motor, IPM = Interior Permanent Magnet, PM = Permanent Magnet, WF = Wound Field (mukaillen [14]).

Taulukosta 1. on eri sähkömoottorityypit pisteytetty yhdestä kolmeen pisteeseen. Kolme pistettä on paras ja yksi huonoin. Taulukosta nähdään, että AC-moottorit ovat soveltuvampia ajoneuvojen voimansiirron komponenteiksi. Erityisen hyvin ajoneuvokäyttöön soveltuu IPM-moottori. [14] Tässä vertailussa keskitytään AC- moottoreihin, johtuen niiden paremmasta käytettävyydestä.

Perinteisesti täyssähköajoneuvossa moottori on ollut sijoitettuna voimansiirtolinjaan ennen tasauspyörästä. Näin saadaan yhdeltä sähkömoottorilta välitettyä voima molemmille saman akselin vetäville pyörille. Moottori on mahdollista myös integroida akselin sisään. Sähkömoottori on huomattavan paljon pienempi, kuin perinteiset polttomoottorit.

Jokaiselle vetävälle pyörälle on mahdollista olla oma erillinen sähkömoottori. Tällöin tasauspyörästä voidaan luopua. Sähkömoottori sijoitetaan tässä tapauksessa vetävän pyörän läheisyyteen, josta voima välitetään akselilla vetä-



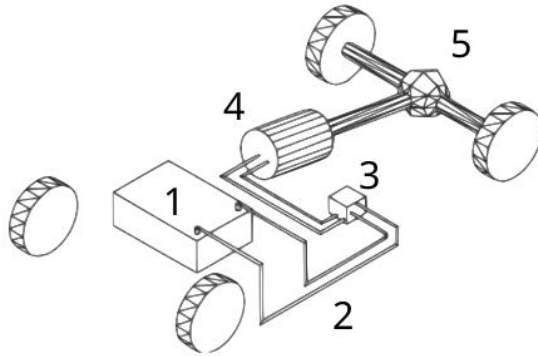
välle pyörälle. Jotta vältettäisiin liian suuri vääntömomentti moottorilla, käytetään alennusvaihdetta. Toinen vaihtoehto on käyttää napamoottoria, joka voidaan sijoittaa joko vetävän pyörän ulkopuolelle tai vanteen sisäpuolelle.

Polttomoottori on suuri ja painava verrattuna sähkömoottoriin. Sähkömoottorin käyttö mahdollistaa enemmän käyttötilaa samankokoisessa ajoneuvossa tai vaihtoehtoisesti pienemmän ajoneuvon. Moottorin vaihdosta vapautuvaa tilaa voidaan hyödyntää myös ajoneuvon ulkonäön muokkaamiseen esimerkiksi aerodynaamisesti tai mukavuudeltaan parempaan suuntaan.

Kaikki moottorit tarvitsevat energian lähteen, joka polttomoottorille on polttoainesäiliössä oleva polttoaine ja sähkömoottorille sähköllä ladattu akku. Polttoainesäiliön suurin haittapuoli on vaihteleva paino, joka riippuu polttoaineen määrästä. Painon vaihtelu vaikuttaa paljon kulutukseen ja ajoneuvon hallintaan. Sähköajoneuvojen akkujen huonoin puoli on nykyinen akkuteknologia, jonka takia ajomatka on lyhyempi ja syttymisvaara on olemassa. Akku myös painaa hyvin paljon, mikä voi olla ongelmana, mutta myös ratkaisu joihinkin ongelmiin.

Moottorityypit vaikuttavat myös huoltoihin ja niiden hintoihin. Sähkömoottorissa on huomattavan paljon vähemmän kuluvia osia, joten vikaantumisia tulee vähemmän. Polttomoottoreissa on moottoriöljyä, moottorin ilmasuodattimet sekä öljy- ja polttoainesuodattimet, jotka pitää ajoittain vaihtaa. Sähkömoottoreissa ei ole edellisten lisäksi myöskään vaihteistoa, joten sen huolloille ole tarvetta. Sähkömoottorilla sekä polttomoottorilla toimivien ajoneuvojen moottorit jäähdytetään, jotteivat ne kuumene liikaa. Sähkömoottorilla varustetuissa ajoneuvoissa kuitenkin tulee ottaa huomioon akun lämpötila, kuumeneeko se liikaa tai vaikuttaako kylmä negatiivisesti varaukseen. [5]

Sähkömoottorin oikea valinta on myös tärkeää, koska sillä 25 % tai pienemmällä kuormalla hyötysuhde laskee jyrkästi. [3]

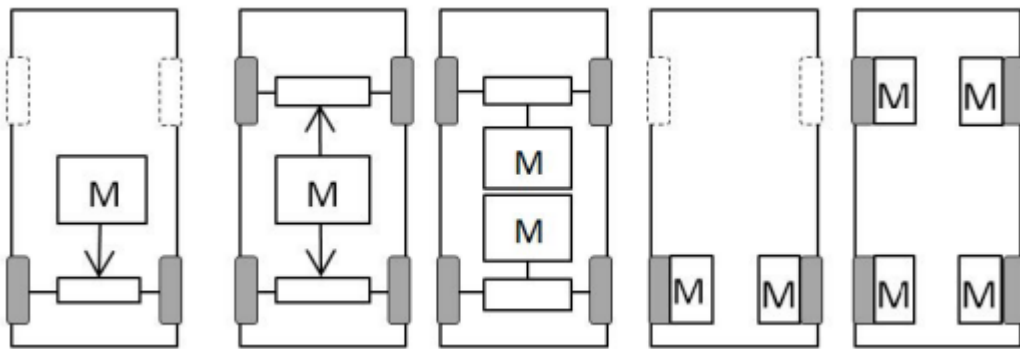


Kuva 1 mukailten [6]. Kuvassa 1 on akku, 2 virtapiuhat, 3 ohjausjärjestelmä, 4 sähkömoottori, joka toimii kerää virtaa jarruttaessa, 5 voimansiirto

Kuvassa 1 esitellään perinteisen sähköajoneuvon osat ja sijoitukset.

## 2.2 Moottorin sijainnin vaikutus

Polttomoottorisessa ajoneuvossa on olemassa kolme erilaista tapaa sijoittaa moottori: etu-, keski- ja takamoottori. Näiden vaikutus on suurin painojakaumalle, joka muuttuu olennaisesti moottorin paikkaa vaihtaessa. Moottoripyörässä moottori on perinteisesti keskellä.



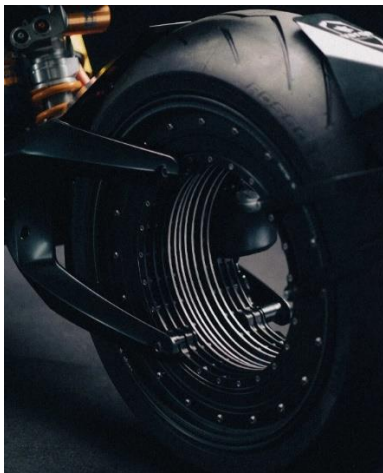
Kuva 2: Erilaisia tapoja käyttää moottoreita ajoneuvoissa

Sähkömoottorilla on enemmän vaihtoehtoja. Markkinoilla on vannemoottorilla toimivia moottoripyöriä, joissa nimensä mukaisesti moottori on kokonaisuudessaan integroitu vanteeseen, kuvissa 3 ja 4 näkyy kaksi erilaista ratkaisua vannemoottoriksi. Kuva 3 vannemoottori on moottoripyörän renkaaseen ja kuvan 4 moottori on autoon. Tämän teknologian etuna on se, ettei rungosta tarvitse varata tilaa moottorille, vaan sitä jää esimerkiksi tavarankäytökseen tai akulle.

Myös kuluvien osien määrä vähenee, kun ei tarvita rattaita tai ketjuja välittämään voimaa moottorilta renkaalle.

Vannemoottorissa on kuitenkin otettava huomioon normaalia suurempi jouseton massa, joka vaikuttaa ajotuntumaan. Käyttömukavuuteen vaikuttaa myös poikkeuksellisen suuri vääntö verrattuna tehoon. Tämä suuri vääntö johtuu pienemmästä häviöstä voimavälityksessä, jossa moottorilta kaikki voima siirtyy suoraan renkaaseen ja tiehen. Teoriassa tällaisia moottoreita voisi asentaa kaksi moottoripyörään ja saavuttaa todella suorituskykyisen kulkupelin.[8] [10]

Tämän lisäksi on kehitetty ajoneuvoja, joissa on useampi moottori kuvan 2 mukaisesti. Kuvassa on malli, jossa jokaiselle renkaalle oma moottori. Tällaisessa ratkaisussa moottorit voivat koostua mekaanisesti rinnakkaisista alimoottoreista. Jolloin moottorit tarvitsevat pienemmän virran ja jännitteen. Tämä pienentää ajoneuvon energiankulutusta, josta on hyötyä, kun mietitään sähköauton toimintasädetä ja tarvittavaa akun kokoa, joka vaikuttaa painoon ja sitä kautta laajasti kaikkeen. Moottoreiden tyyppinä on käytetty ulkoroottorimoottoreita, joka mahdollistaa korkean vääntömomentin. [9]



Kuva 3 [9]: Yksi versio moottoripyörien vanteeseen integroidusta moottorista.



Kuva 4. Protean Pd18-moottorin rakenne lähteestä [10]

Mahdollisuus sijoittaa moottoreita useammalla eri tavalla luo mahdollisuuden kehittää ajoneuvoja erilaisiksi ulkoisesti, suorituskyvyltään ja käytettävyydeltään. Ulkoisella muutoksella voidaan saavuttaa parempaa aerodynamiikkaa, jolla taas parannetaan käytösädetä. Ulkoisilla muutoksilla voidaan myös tehdä autosta kuluttajaystävällisempi muuttaen kokoa. Suorituskykyä voidaan optimoida juuri tietyille ajoneuvoille sopivaksi, kun muutetaan moottorien määrää ja tyyppiä. Ajoneuvoista voidaan myös suunnitella hyvin tarkasti tiettyyn tarkoitukseen soveltuvia, kun voimanlähde ja -siirto tarvitsee vähemmän tilaa. Useampi moottori voi tuoda myös toimintavarmuutta, jos ajoneuvon rakentaa niin, että voi valita mitä moottoreita käyttää. Sillä silloin on mahdollista liikuttaa ajoneuvo turvallisesti säilöön tai korjaukseen, vaikka yksi moottoreista menisi epäkuuntoon.

### 2.3 Energian lähde

Yleisin sähköajoneuvojen akkutyyppe on litiumakku ja työssä käsitteellä akku viitataan litiumakkuun. Polttoainetankin tyhjentymässä auton kokonaismassa vähenee, joten tehopainosuhte paranee. Sähköakun paino on vakio ja sen takia sitä voidaan käyttää ajoneuvon painonjakaantumisen hallitsemiseen. Kun ajoneuvon kokonaismassa vähenee, niin myös sen liikuttaminen onnistuu pienemmällä

energialla. Massan muutos on kuitenkin suhteellisen pieni, kun muutos on kymmeniä kiloja ja ajoneuvon paino sadoista kiloista tuhansiin kiloihin. [4]

Akun paino taas on tyypillisesti suhteessa suurempi, sillä se painaa jo satoja kiloja. Akku tekee ajoneuvosta raskaamman, joka vaikuttaa negatiivisesti moneen asiaan. Isompi massa vaatii enemmän energiaa liikuttamiseen, joka tarkoittaa lyhyempää toimintasädettä. Sen lisäksi ajoneuvon ajomukavuuden ylläpitämiseksi pitää jousitusta ja iskunvaimennusta kehittää. Myös jarrut sekä renkaat joutuvat suuremmalle rasitukselle; molemmat kuluvat nopeammin, mutta jarrujen pitää myös olla tehokkaammat pysäyttääkseen suurempi massa.

Akun sijoittelua ja muotoilua ei rajoita mikään, jonka ansiosta suunnittelussa akuista voi olla hyötyä. Niitä voi käyttää painopisteen hallitsemiseen, jolla voidaan parantaa turvallisuutta. Kun painopiste laitetaan matalalle ja mahdollisimman tasaiseksi vaakatasossa, saadaan autosta hyvin vakaa. Näin sijoitettu akku ei myöskään vie tilaa käyttäjältä, jolloin ajoneuvossa on enemmän käytettävää tilaa.

### **2.3.1 Lataaminen ja tankkaaminen**

Sähköauton akustoa on yleisesti kritisoitu pitkästä latausajasta verrattuna polttoainesäiliön täyttämiseen. Polttoainesäiliön täyttäminen tyhjästä täyteen vie vain muutamia minutteja. Akun lataamisen kesto riippuu lataustavasta ja se voi kestää viidestätoista minuutista yli kymmeneen tuntiin. Lataukseen menevä aika vaikuttaa suoraan käyttökokemukseen. Jos ei ole pääsyä pikalaturille ja haluaa matkustaa pitempää matkaa, niin voi joutua pitämään pitkän tauon ajon aikana. Myös pitkä latausaika voi aiheuttaa jonoa latausasemille, jos latureita ei ole tarpeeksi. Tälle vastapainona on kuitenkin mahdollisuus ladata kotona, jollaista mahdollisuutta ei tankkauksessa ole.

Polttoaineen tankkaaminen on lähes sama jokaiselle ajoneuville, ainoastaan säiliön tilavuus vaihtelee. Akun lataaminen voidaan suunnitella ajoneuvon tarpeen mukaan. Ajoneuvo, jolla ajetaan päivittäin säännöllinen lyhyt matka, voidaan suunnitella hitaammalla latauksella ja pienemmällä akulla, kuin sellainen,

joka on tarkoitettu pitkille matkoille. Akun koko ja latauksen nopeus vaikuttaa ajoneuvon hintaan ja käyttökokemukseen, joten niiden optimointi on olennaista.

### 2.3.2 Tulevaisuus

Sähköautojen akkuihin syntyy koko ajan uusia innovaatiota. Erilaiset akut ovat olennaisia, sillä tällä hetkellä yleisin litiumakku ei ole ongelmaton. Litiumakut ovat eniten käytettyjä niiden korkean energiatihetyensä, matalan omapainonsa ja nopean latausteknologian takia. Litiumakun vaurioituessa ne saattavat syttyä tuleen ja olla hyvin vaikeita sammuttaa. Myös niiden valmistamista on kritisoitu, sillä niiden valmistamiseen tarvitaan litiumia, nikkeliä ja kobolttia, joiden louhimista pidetään ympäristölle haitallisena. On alettu kehittämään akkuteknologioita, joilla saataisiin pidempi käyttöikä tai jotka olisivat ympäristöystävällisempiä, turvallisempia ja halvempia.

Natriumakku olisi ympäristöystävällisempi, sillä se sisältäisi natriumin lisäksi vain biopohjaisia materiaaleja. Eli akkujen materiaalien hankkiminen ja hävittäminen olisi vihreämpää. On myös useampi kennoisia akustoja, joissa ensimmäinen puoli on valmistettu litium-rautafosfaatista, joka kattaa 99 prosenttia kilometreistä. Toinen puoli koostuisi magnesiumkennoista ja se kattaa loput kilometrit. Magnesiumkennot ovat hyvin energiatihkeitä ja auttavat pidentämään kennojen elinkaarta. Tällaisesta akusta on jo testituloksia, joissa on päästy 1200 kilometriä yhdellä latauksella. Akku ei myöskään sisällä niin paljon litiumia, nikkeliä tai kobolttia, joten olisi myös mahdollisesti ympäristöystävällisempi valmistaa. [17]

### 3. KÄYTTÄJÄKOKEMUS

Yksi tärkeimmistä asioista ajoneuvo hankinnoissa on käyttökokemus. Käyttökokemukseen vaikuttaa moni asia aina ajoneuvon ulkonäöstä ajotuntuman kautta lisävarusteisiin. Suomalainen sanonta ”kauneus on katsojan silmässä” pätee myös ajoneuvoissa, jonka takia käyttäjäkokemuksia on yhtä paljon, kuin käyttäjiä.

Sähköautot voivat käyttää samoja järjestelmiä, kuin perinteisissä polttomoottorillisissa autoissa, matkustusmukavuuden parantamiseksi, kuten ilmanvaihtojärjestelmiä ja radioita. [7]

Ulkonäön muokkaaminen kaikkia miellyttäväksi on siis käytännössä mahdotonta. Sähköajoneuvojen etuna kuitenkin on mahdollisuus tehdä hyvin erilaisia ajoneuvoja ja täten tarjota laaja valikoima. Tämä johtuu edellä mainituista mahdollisuuksista suunnitella voimantuotto ja akusto usealla eri tavalla.

Auton sisälle tuleva meteli aiheutuu usein enimmäkseen renkaan ja tien välistä syntyvästä melusta. Toisena tekijänä siinä on moottorista tuleva ääni. Sähköajoneuvojen melutaso on lähtökohtaisesti pienempi, sillä sähkömoottorit ovat huomattavasti hiljaisempia, kuin polttomoottorit. Rengasmeteli on molemmissa sama ja siihen vaikuttaa enemmän rengasvalinta ja tien pinta. Moottoripyörissä moottorin tuoma ääni voi olla ajokokemusta parantava asia, jolloin sähkömoottorin äänettömyys ja vaihteettomuus voi olla negatiivinen asia käyttäjälle.

Lisävarusteilla tarkoitetaan varusteita, jotka eivät ole pakollisia ajoneuvon toiminnalle. Lisävarusteet ovat nykyautoissa hyvin yleisiä ja kattavia. Ilmastointi ja erilaiset lämmitysominaisuudet ovat monessa maassa lähes välttämättömyys ajomukavuuden kannalta. Näiden käyttö polttomoottorisessa autossa lisää hieman kuormitusta sähköjärjestelmissä ja voi nostaa hieman polttoaineenkulutusta. Polttoaineenkulutuksen kasvu on sitä suurempaa, mitä enemmän lämpötilaa pyrkii muuttamaan. Sähköajoneuvoissa vaikutus on hieman suurempi, sillä lämmön tuottoon joudutaan käyttämään sähköä akusta, joka vaikuttaa suoraan käyttösaateeseen. Äänentoisto on toinen asia, joka voi viedä energiaa enemmän,

mutta sekin on hyvin pientä, jos äänenvoimakkuus on normaalilla tasolla. Lisävarusteet tarvitsevat energiaa ja molemmilla moottorityypeillä se vaikuttaa negatiivisesti, vaikkakin marginaalisesti.

Ajoneuvon personoinnilla tarkoitetaan käyttäjän mahdollisuutta vaikuttaa ajoneuvon muokattavuutta ajajan mukaan. Tämä toteutetaan monesti muutaman muistipaikan kautta, joihin saa tallennettua käyttäjän tietoja. Tällaisia tallennettavia tietoja voi olla asetukset, jotka koskevat kuljettajatukea, ilmastointia, istuinta, ulkostaustapeilejä sekä sisä- ja ulkovaloja. Fyysisten asetuksien lisäksi, myös navigointi-, media- ja äänijärjestelmää sekä kytkettyjä laitteita koskevat tiedot voidaan tallentaa. Muistissa säilytettävien valintojen lisäksi on sellaisia, jotka palautuvat vakioksi ajon päätyttyä. Kuski voi valita ajaako ekologisilla, normaaleilla vai tehokkaammilla asetuksilla, joka vaikuttaa suoraan auton suorituskykyyn ja käyttösäteeseen/kulutukseen. Nykyisissä ajoneuvoissa personoinnissa ei ole suurta eroa polttomoottorisen ja sähkömoottorisen välillä. Tähän olisi kuitenkin mahdollista saada etua sähköajoneuvoille, sillä kaikki toimii sähköllä ja siten on helpommin ohjattavissa.

Keliolosuhteiden vaikutus heijastuu monissa maissa käyttäjäkokemukseen paljon. Talvella kysymyksessä on lumessa ja liukkailla pinnoilla pärjääminen, kesällä taas myrskyisemmät kelit ja niistä selviäminen. Näissä sähköajoneuvon etuna on sen suurempi massa ja mahdollisuus jakaa paino tasaisemmin. Raskaampi ajoneuvo ei nouse niin helposti veden tai sohjon päälle ja aiheuta vaaratilannetta. Raskaampi ajoneuvo toisaalta on myös vaikeampi pysäyttää, jos se lähtee kuljettajan hallinnasta. Kevyempi ajoneuvo ei ole yhtä vakaa, kuin raskaampi. Kylmillä keleillä myös esilämmitys ajoneuvossa voi olla tärkeää. Polttomoottoreilla tämä toteutetaan moottorilämmittimillä ja sisätilan lämmittimillä. Ne voivat olla polttoainekäyttöisiä tai sähkökäyttöisiä, jolloin auton tulee olla kytkettynä sähköverkkoon. Sähköajoneuvoilla tämä lämmitys on vieläkin tärkeämpi, sillä se vaikuttaa voimakkaasti ajoneuvon käyttömatkaan. Lämmitys tapahtuu aina sähköä avulla ja sen takia auto pitäisi olla kytkettynä sähköverkkoon. Sähköajoneuvossa moottori ei kuitenkaan tarvitse lämmitystä, vaan akku.

[16]



Matkustamisessa sähköisen ajoneuvon etuna on suurempi massa, jolloin sillä on mukavampi vetää perässään kuormaa. Toisaalta vastaan tulee sitten rajallinen toimintasäde, joka voi heikentää kokemuksen laatua.

## 4. HUOLTO

Sähköajoneuvoissa on vähemmän kuluvia osia, jonka ansiosta ne myös vikaantuvat harvemmin. Vähäisten osien takia vika voi myös olla helpompi paikantaa. Toisaalta sähköajoneuvojen akusto on yleensä hyvin kallis ja ajoneuvot muutenkin hankalia korjata käyttäjän toimesta. Huoltamolle vienti ja kalliimmat osat voivat tehdä huollosta kallista.

Ajoneuvon massan ollessa suurempi tarvitaan tehokkaampi jousitus, iskunvaimennus ja jarrut. Vaatimusten noustessa myös osien hinnat nousevat. Jarrujen kulumisesta ei ole vielä selvää dataa. Sähköautoille ominaista on nopea kiihtyvyys ja suuri massa, joiden yhdistelmä epätaloudellisesti käytettynä voi olla todella kuormittavaa jarruille. Kuitenkin sähköajoneuvoissa moottoria voidaan käyttää generaattorina, jolloin moottorijarrutuksella saadaan sähköä ladattua akkuihin. Jarrut eivät kulu tällaisessa regeneroivassa jarrutuksessa, joka tehdään moottorilla. Kun jarrutukseen ei käytä jarruja voi jarrujen tarkistaminen olla hyvin tärkeää. Jarrujen käyttämättömyys voi johtaa siihen, ettei jarrujen toimimattomuutta huomaa. Tämä voi tuoda lisäkustannuksia huoltoihin, kun jarrut pitää tarkistaa ja mahdollisesti herkistää. [18]

Sähköajoneuvoissa kriittisen tärkeää tarkistaa jäähdytysjärjestelmän nestemäärä sekä järjestelmän vauriot. Kaikissa ajoneuvoissa moottori on kriittisin komponentti vaurioitumaan, jos jäähdytys pettää. Sähköisissä ajoneuvoissa kuitenkin moottorin lisäksi akun lämpötilaa säädetään nestejäähdytyksellä.[5]

Raskaamman massan ja suuren vääntömomentin summa kuluttaa myös renkaita enemmän, kuin kevyemmässä polttomoottorisessa ajoneuvossa.

[18] Iltalehden artikkelissa asiantuntijat kertovat, että sähköautojen huoltoväli on pidempi, kuin polttomoottorisen, sillä niissä ei ole öljyjä, jotka tulisi vaihtaa vuosittain riippumatta ajomatkasta. Loppujen lopuksi sähköauton huoltaminen on halvempaa, kuin polttomoottorisen.

Polttomoottoreille tehdään katsastuksessa päästömittauksia, mittauksia ei tehdä sähköajoneuvoille, jonka takia niille katsastus on edullisempaa.[5]

## 5. MAHDOLLISIA RATKAISUJA

Erilaisia ajoneuvoja ja niiden ominaisuuksia on kehitelty pitkään ja runsaasti. Sähköajoneuvoille näistä voi olla suuri hyöty, kun kyseessä on suurimpien ongelmien kohtaaminen. Kun katsotaan puhtaasti ominaisuuksia ja ideoiden laatua, voidaan laatia paperilla äärimmäisen suorituskykyisiä ajoneuvoja.

Renkaita on kehitetty paljon äänen ja vierintävastuksen pienentämiseksi, mutta samaan aikaan pitäväksi ja kestäväksi. Kuitenkin uusimmat innovaatiot pyrkivät hyödyntämään renkaan muodon muuttumisen ja tuottamaan sen avulla sähköä, jolla voitaisiin pidentää käyttöikää. [19]

Sähköä pyritään keräämään monin tavoin, kuten edellä mainitut renkaat ja moottorin käyttäminen generaattorina. Tämän lisäksi on pyritty kehittämään tapoja ladata langattomasti. Kuluttajan kannalta hyötynä tulisi vaivattomuus; kun kotiin hankkisi tällaisen ei enää ole tarvetta viritellä piuhoja tai sotkea käsiään. Jos teknologia kehittyisi tarpeeksi pitkälle, että latausta voisi tehdä ajon aikana, se vähentäisi tyhjän akun pakottamia pysähdyskertoja. [20]

Akuissa voi myös käyttää suprajohotteita ja lämmönhallintajärjestelmää. Näiden avulla Greater Bay aikoo ladata uuden akkunsa kuudessa minuutissa täyteen. Täytenä akun piittäisi pystyä tarjoamaan 1000 kilometrin ajosäde. Akku on litiumioni akku, joka lämpenee -20 celsiuksesta +25 celsiukseen viidessä minuutissa. [21]

Usean moottorin tekniikalla voidaan saavuttaa säädettävä ajomatka ja tehokkuus. Kun neljästä moottorista kaikki ovat käytössä, niin ajosäde on pienempi, mutta moottoreiden antama vääntö ja teho on suurempi. Jos ajaa taas kahdella moottorilla, niin ajosäde on pidempi ja vääntö sekä teho pienempiä. Neljää moottoria voi käyttää tehokkaasti keräämään energiaa moottorijarrutuksesta, mutta sen voimakkuutta voi myös säätää. Myös ikuinen autoalanharrastajien keskustelu parhaasta vetotavasta poistuisi, kun yhdellä autolla voisi olla valittavissa kaikki.

Vannemoottorien yleistyminen tarjoaisi yksinkertaisemman auton rakenteen, jonka pitäisi pienentää auton kokonaismassaa. Voimansiirrossa syntyvät häviöt pienentyisivät, kun mekaaniset voimalinjakomponentit vähenisivät. Tämä parantaisi ajoneuvojen hyötysuhdetta. Vanteisiin integroitavilla moottoreilla olisi mahdollista yksittäisten renkaiden hallitseminen, jonka avulla kääntymisestä voidaan tehdä tehokkaampaa. Ulkokaarteeseen jääville renkailla syötettäisiin enemmän tehoa kuin sisäkaarteiden puoleisille pyörille. Tästä voisi olla myös hyötyä kaarteissa hidastamiseen ja auton hallintaan. Erikseen ohjattaville moottoreilla auton kääntösäde pieneneisi ja ahtaissa tiloissa ajaminen tai parkkeeraaminen helpottuisi. [10]

Turvallisuutta sivutaan akuston ja vannemoottoreiden ohessa, mutta myös auton hallittavuutta voitaisiin parantaa. Jos autolla ajaessa kaarteeseen vauhti kasvaa liian suureksi, keskihakuvoima kasvaa ja se voi ylittää kitkavoiman, joka muodostuu renkaan ja tien väliin. Tällöin auton ja tien välissä oleva pito heikentyy tai häviää. Pidon eturenkailta on kyseessä aliohjautuminen. Tällöin auto ei tottele ohjausta, vaan puskee yhteen suuntaan renkaiden liukuessa. Takarenkaisiin kohdistuva sama ilmiö on yliohjautumista. Yliohjautumisen suurin riski on auton pyörähtäminen. Turvallisuussyistä autojen jousitukset toteutetaan siten, että riskitilanteessa auto alkaa aliohjaamaan ennen yliohjaamista. Tällä on negatiivinen vaikutus auton ja renkaiden suorituskykyyn pidon näkökulmasta. Vannemoottoreilla voidaan tuottaa aliohjausilmiön, jolloin auton jousitus voisi olla optimaalisempi auton pidon kannalta. Joka parantaisi turvallisuutta äärimmäisissä olosuhteissa. [10]

## 6. YHTEENVETO

Markkinoilla on useita erilaisia sähköajoneuvoja, kuitenkin niiden suurin ero polttomoottoriajoneuvoihin on suorituskyvyssä ja toimintasäteessä. Ajoneuvojen rakenteeseen kohdistuvat suuremmat muutokset ovat vielä harvinaisia. Muutoksia on kuitenkin nähty kuten sähköautot, joiden painopiste on säädetty akuilla alemmas tai joissa on käytetty jokaiselle renkaalle omaa moottoria. Moottori-  
pyörissä suurin nähty muutos on vannemoottorissa.

Sähköajoneuvojen muutoksien hitaasti esiin tulemiseen voi olla useita syitä. Suurin kehitys on keskittynyt toimintasäteeseen, jotta sähköajoneuvot pystyisivät kilpailemaan polttomoottoriajoneuvojen kanssa. Toimintasäteen kasvattaminen ohjaa tutkimuksia keskittymään akkuihin ja niiden lataukseen, joka hidastaa kaiken muun uuden kehittämistä. Myös kuluttajatottumukset muuttuvat hitaasti ja liian suuri muutos liian nopeasti ei välttämättä myy. Uusien ominaisuuksien kehittämisessä tulee myös pohtia kuinka paljon lisäarvoa ne tuovat ajoneuville. Uudet varusteet ja ominaisuudet nostavat tuotteen hintaa ja jos muutos ei kuluttajan silmissä ole uuden hinnan arvoinen, ei tuote myöskään myy.

## LÄHTEET

- [1] IEA, Global EV Outlook 2019. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): [www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/](http://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/)
- [2] Euroopan tilintarkastustuomioistuin, Sähköajoneuvojen latausinfrastruktuuri: latausasemien määrä lisääntynyt, mutta epätasainen käyttöönotto hankaloittaa matkustamista eri puolilla EU:ta 2021. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/electrical-recharging-5-2021/fi/>.
- [3] Motiva, Energiatehokkaat moottorikäytöt, 2009. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): [https://www.motiva.fi/files/7807/Energiatehokas\\_moottorijarjestelma\\_KO\\_ULUTUSAINEISTO.pdf](https://www.motiva.fi/files/7807/Energiatehokas_moottorijarjestelma_KO_ULUTUSAINEISTO.pdf)
- [4] Avtotachki, Auton polttoainesäiliö: laite, 2022. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <https://avtotachki.com/fi/konstruktivne-osobennosti-toplivnogobaka-avtomobilya/>
- [5] Motiva, Sähköauton huolto ja katsastus, 2022. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/sahkoautoillen - arjen alykas sahkoautoilu/sahkoauton huolto ja katsastus.](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alukas_sahkoautoilu/sahkoauton_huolto_ja_katsastus)
- [6] J. Larminie, J. Lowry, Electric vehicle technology explained, 2012. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <http://www.iqytechnicalcollege.com/BAE%20685Electric%20Vehicle%20Technology.pdf>
- [7] [7] J. Lång, Sähköauton tekniikka-moottorit ja sähköjärjestelmät, kandidaatintyö Tampereen yliopisto 2021. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/134783/L%c3%a5ngJoonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [8] Verge Motorcycles Oy kotisivut, Verge Motorcycles Oy. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <https://www.vergemotorcycles.com/>
- [9] J. Tervola, Salaisuus 1 341 hevosvoiman takana - näin toimivat suomalaisen superauto Toroidionin sähkömoottorit, Tekniikka & Talous 2016. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/salaisuus-1-341-hevosvoiman-takana-naintoimivat-suomalaisen-superauto-toroidionin-sahkomoottorit/bd9ad617-bc0b34c1-9111-7e8217aa7971>

- [10] O. Immonen, Renkaiisiin integroitavat moottorit sähköautoissa, kandidaatintyö Tampereen yliopisto 2021. Saatavissa (viitattu: 13.2.2023): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/136162/ImmonenOskari.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [11] M. Santala, Sähköautojen ja eri käyttövoimaisten ajoneuvojen kannattavuuden vertailu, diplomityö Tampereen yliopisto 2019. Saatavissa (viitattu:20.2.2023): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116883/SantalaMiika.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [12] Motiva, FlexFuel- eli etanoli-bensiiniauto, 2023. Saatavissa (viitattu:20.2.2023): [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_au\\_to\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/flexfuel\\_eli\\_etanoli-bensiiniauto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_au_to_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/flexfuel_eli_etanoli-bensiiniauto)
- [13] Motiva, Polttokennoautot, 2023. Saatavissa (viitattu:20.2.2023): [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_au\\_to\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/polttokennoautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_au_to_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/polttokennoautot)
- [14] J. Barg, Sähkömoottorin käyttö raskaan kaluston voimanlähteenä, kandidaatintyö Oulun yliopisto 2020. Saatavissa (viitattu: 20.2.2023): <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202010163034.pdf>
- [15] V. Brax, Sähköauton myyjän opas, Centria ammattikorkeakoulu 2013. Saatavissa (viitattu 1.3.2023): <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71181/978-952-6602-56-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] Motiva, Sähköauton tekniikka ja akku, 2022. Saatavissa (viitattu:20.2.2023): [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/sahkoautoillen\\_-\\_arjen\\_alukas\\_sahkoautoilu/sahkoauton\\_tekniikka\\_ja\\_aku](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alukas_sahkoautoilu/sahkoauton_tekniikka_ja_aku)
- [17] J. Salonen, BMW:n ”salainen ase” on uusi pitkän matkan ihmeakku, Tekniikka & Talous2022. Saatavissa (viitattu 15.3): <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/bmwn-salainen-ase-on-uusi-pitkan-matkan-ihmeakku/d4f3d0e2-a183-4d88-bc67-ad689c5dce00>
- [18] T. Lempinen, Näin sähköauton huoltaminen eroaa bensa- ja dieselautoista – ”Aika näyttää, nousevatko rengaskulut merkittävästi”, Ilta-Sanomat 2020. Saatavissa (viitattu 5.4): <https://www.is.fi/autot/art-2000007614764.html>
- [19] J. Turtianen, Ihmerengas tuottaa sähköä autoon, Kauppalehti 2015. Saatavissa (viitattu 10.4): <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/ihmerengas-tuottaa-sahkoa-autoon/82cde48b-434a-346c-a798-42515ebd0db0>
- [20] J. Peltonen, Sähköauton langaton lataus, Insinöörityö Metropolia Ammattikorkeakoulu 2022. Saatavissa (viitattu 5.6.2023):



[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/746615/Peltonen\\_Jani.pdf?sequ](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/746615/Peltonen_Jani.pdf?sequ)

- [21] P. Numminen, Ajomatka 1 000 km, latausaika 6 minuuttia, toimii myös pakkasella – Kiinalaisfirma julkisti mullistavan akun sähköautoihin, yrityksen arvo noussut yli miljardin dollariin, Tekniikka & talous 2023. Saatavissa (viitattu 10.6.2023): <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/ajomatka-1000-km-latausaika-6-minuuttia-toimii-myos-pakkasella-kiinalaisfirma-julkisti-mullistavan-akun-sahkoautoihin-yrityksen-arvo-noussut-yli-miljardin-dollariin/eeee9591-6d6f-4f92-90dd-c084b221a4a3>