

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2019

Miska Teponoja

# MOPOSKOOTTERIN SÄHKÖKONVERSIO

– polttomoottorista sähkökäyttöiseksi

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Insinööri, Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Joulukuu 2019 | 44 sivua, 6 liitesivua

Miska Teponoja

# MOPOSKOOTTERIN SÄHKÖKONVERSIO

- polttomoottorista sähkökäyttöiseksi

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää L1e-ajoneuvon sähkömuunnokseen vaadittavat toimenpiteet ja rakentaa sähkömoposkootteri niiden pohjalta. Tavoitteena on rakentaa sähkömoposkootteri, jolla voidaan ajaa muutaman kymmenen kilometrin mittainen matka. Lisäksi selvitetään, voiko sähkömoposkootterin rakentaa halvemmalla, verrattuna kaupallisesti saatavilla oleviin.

Sähkömoposkootteri rakennettiin ostetuista ja itse valmistetuista osista. Moposkootterista poistettiin kaikki polttomoottoriin liittyvä osat ja ne korvattiin sähkökomponenteilla. Myös moposkootterin takahaarukka jouduttiin rakentamaan uudestaan uudelle moottorille sopivaksi. Akuston pidikkeet tulostettiin 3D-tulostimella PETG-muovista. Akusto rakennettiin itse.

Ostetut osat hankittiin ulkomaisista verkkokaupoista. Hankittavia osia olivat sähkömoottori, ohjainlaite, mittaristo ja akustonhallintajärjestelmä. Akuston kennot saatiin lahjoituksena Turun Ekotorilta. Kaikkien hankintojen kokonaishinta oli noin 1540 € mukaan lukien moposkootteri ja oheistarvikkeet.

Tulokseksi saatiin 40 km toimintasäteellä oleva ajoneuvo, joka on halvempi kuin kaupalliset versiot. Käyttökustannukset ovat huomattavasti polttomoottorikäyttöistä edullisemmat. Sähkömoposkootterin polttoainekulut ovat noin 3 % bensiinikäyttöisen moposkootterin vastaavista kuluista. Moposkootterin ajo-ominaisuudet pysyivät ennallaan ja huollon tarve vähentyi verrattuna polttomoottorikäyttöiseen.

ASIASANAT:

Sähkömoottori, sähköajoneuvo, päästöttömyys, litium-ion-akku, rakenteen muuttaminen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation engineering

December 2019 | 44 pages, 6 pages in appendices

Miska Teponoja

# ELECTRIC CONVERSION OF A SCOOTER

- from Combustion Engine to Electric

The aim of this thesis was to determine the requirements of L1e vehicle electric conversion and to build electric scooter based on them. The objective was to build an electric scooter that can be used to travel a few tens of kilometers. In addition, the thesis discusses whether an electric scooter can be built at a lower cost compared with a bought one.

The scooter was built from purchased and self-manufactured parts. All parts related to the combustion engine were removed and replaced with electrical components. The rear fork of the scooter had to be rebuilt to fit the new motor. The battery holders were printed from PETG plastic with 3D printer. The battery was also self-built.

Purchased parts were bought from foreign online stores. The parts to be purchased were the electric motor, control unit, speedometer and the battery management system. The battery cells were donated by Turun Ekotori. The total cost of all purchases was approximately 1540 € including the scooter and accessories.

The result was a scooter with range of 40 km. Self-built scooter is cheaper than the commercial versions. Operating costs are significantly lower compared to combustion engine model. The fuel costs of the electric scooter are about 3% of a gasoline powered scooter's cost. The performance of the scooter remained unchanged and the need for maintenance was reduced.

## KEYWORDS:

Electric motor, electric vehicle, emissions, lithium ion battery, modification

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 SÄHKÖAJONEUVOT JA LATAUSVERKOSTO SUOMESSA</b>	<b>8</b>
2.1 Sähköajoneuvot Suomessa	8
2.2 Latauspaikat Suomessa	10
<b>3 LAINSÄÄDÄNTÖ JA VAATIMUKSET</b>	<b>12</b>
<b>4 AKKU- JA SÄHKÖMOOTTORITEKNIikka</b>	<b>14</b>
4.1 Litiumakut	14
4.2 Akkujen turvallisuus	16
4.3 Sähkömoottori	17
<b>5 SÄHKÖKONVERSION TOTEUTTAMINEN</b>	<b>19</b>
5.1 Hankinnat	19
5.1.1 Moottori	19
5.1.2 Ohjainlaite	20
5.1.3 BMS	20
5.1.4 Akku	21
5.1.5 Laturi	26
5.1.6 Mittaristo	26
5.2 Rakenteelliset muutokset	28
5.2.1 Takahaarukka	28
5.2.2 Penkin laatikko	29
5.2.3 Sähköt 12 V & 48 V	30
5.3 Työskentely sähkökomponenttien kanssa	33
<b>6 POHDINTAA</b>	<b>34</b>
6.1 Massa	34
6.2 Teho	34
6.3 Huoltaminen ja korjaaminen	35
6.4 Polttoaineen kulutus ja kustannukset	36
6.5 Käytettävyys ja vertailu polttoainekäyttöiseen malliin	38
6.6 Vertailu kaupalliseen sähköversioon	39

<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>42</b>
---------------------	-----------

<b>LÄHTEET</b>	<b>43</b>
----------------	-----------

## **LIITTEET**

Liite 1. Huollon tarve	
Liite 2. L-luokan ajoneuvojen osaluettelo	
Liite 3. Kytkentäkaavio	
Liite 4. Moottorin ja ohjainlaitteen kytkentä	

## **KAAVAT**

Kaava 1. Sarjaan kytkettyjen kennojen määrä	22
Kaava 2. Rinnan kytkettyjen kennojen määrä	22
Kaava 3. Akun energiamäärä	22
Kaava 4. Latausjännite	26

## **KUVAT**

Kuva 1. Kennon rakenne (Perälä 2019, 110.)	15
Kuva 2. BLDC-moottorin toiminta (AVDweb 2018.)	17
Kuva 3. BMS-kytkentä (Deligreen 2019.)	20
Kuva 4. Kennopidikkeiden 3D-mallit	23
Kuva 5. Kennopidikkeet	23
Kuva 6. Akkutelineet	24
Kuva 7. Koottu akku, jossa kaksi ensimmäistä riviä juotettu	24
Kuva 8. Valmis akku, jonka päälle on asennettu BMS.	25
Kuva 9. Mittariston kytkentä (Lemire-Elmore 2013, 7)	27
Kuva 10. Mittaristo	27
Kuva 11. Mittariston karmin 3D-malli	28
Kuva 12. Moposkooterin runko, jossa uusi takahaarukka ja moottori asennettuna	29
Kuva 13. Uusi kuidutettu penkin laatikko asennettuna	30
Kuva 14. Valmis sähkömoottorilla varustettu moposkooteri	31
Kuva 15. Penkin alle asennettu tekniikka. Akun ohjainlaite ja päävirtakytkin.	32
Kuva 16. Sähkömoottori	32
Kuva 17. Kaupallinen skootteri (Bike & Boat World a 2019) ja omavalmiste	39

## TAULUKOT

Taulukko 1. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 31.12.2018 (Traficom 2018.)	8
Taulukko 2. Julkisten latauspaikkojen määrän kehitys Suomessa (Karsimus 2019.)	10
Taulukko 3. Akkuvertailua (Perälä 2019, 108.)	16
Taulukko 4. Massa ennen ja jälkeen muutoksen	34
Taulukko 5. Ajokustannusten vertailu	36
Taulukko 6. Komponenttien hinnat sisältäen mahdolliset tullimaksut	37
Taulukko 7. Vertailu Niu U Pro (Bike & Boat World a 2019) ja omavalmiste Peugeot Speedfight	40

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää L1e-ajoneuvon sähkökonversiolle olemassa olevat vaatimukset ja niiden pohjalta rakentaa sellainen. Muutettavaksi ajoneuvoksi valittiin Peugeot-merkin moposkootteri. Muutostyö tehtiin käyttämällä ulkomailta tilattuja komponentteja sekä itse valmistettuja osia.

Sähköautot ja muut sähköiset kulkuvälineet yleistyvät nopeasti myös Suomessa (Kiinteistöliitto 2019). Kun verrataan sähköajoneuvoja polttomoottorikäyttöisiin, ne ovat tehokkaampia, hiljaisempia ja lisäksi niiden käyttökustannukset ovat pienempiä. Sähköajoneuvot ovat keino pienentää hiilidioksidipäästöjä etenkin, kun ne ladataan uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä. (Euroopan ympäristökeskus 2019.)

Aihe valittiin, koska sähköajoneuvojen hankintahinta on edelleen korkea ja haluttiin selvittää, voiko sellaisen rakentaa itse pienemmillä kustannuksilla. Opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa skootteri, jolla pystytään ajamaan muutaman kymmenen kilometrin mittainen työmatka ja dokumentoida, miten muutos tehtiin.

Skootterista poistettiin kaikki polttomoottoriin liittyvät järjestelmät, kuten moottori, polttoainetankki, variaattori ja sytytysjärjestelmä. Tilalle hankittiin sähkömoottori, akusto ja tarvittavat ohjainlaitteet. Kustannussyistä akusto päätettiin rakentaa itse. Kennot itsevalmistettuun akkuun lahjoitti Turun Ekotori.

Ekotori on kierrätyskeskus, jota ylläpitää voittoa tavoittelematon Kestävän Kehityksen Yhdistys ry. Lisäksi se tarjoaa työpaikkoja pitkäaikaistyöttömille. (Turun Ekotori 2019.)

Opinnäytetyössä käsitellään aluksi sähköajoneuvojen yleisyys Suomessa. Teoriaosuudessa esitellään muutokseen liittyvä lainsäädäntö ja sähköajoneuvojen tärkeimmät komponentit, eli sähkömoottori ja akku. Moposkootterin rakennusosuudessa käydään läpi tarvittavat muutokset sekä miten työ käytännössä toteutetaan. Valmista sähkömoposkootteria verrataan alkuperäiseen polttoainekäyttöiseen esimerkiksi ajo-ominaisuuksien ja käyttökustannusten osalta. Liitteeksi tulevat L-luokan ajoneuvojen muutosprosentti- taulukko, huolto-ohjelma ja sähkömoposkootterin sähkökaavio.

## 2 SÄHKÖAJONEUVOT JA LATAUSVERKOSTO SUOMESSA

### 2.1 Sähköajoneuvot Suomessa

Sähkön käyttö ajoneuvojen energianlähteenä kasvattaa suosiotaan päivä päivältä. Kehittyvä akku- ja moottoritekniikka edesauttavat osaltaan muutosta pois fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Sähköajoneuvoja on tänä päivänä saatavilla lähes kaikissa ajoneuvoluokissa mopoista kuorma-autoihin.

Taulukko 1. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 31.12.2018 (Traficom 2018.)

	Yhteensä			Bensiini			Diesel		
	2018	2017	Muutos (%)	2018	2017	Muutos (%)	2018	2017	Muutos (%)
Henkilöautot	2 696 334	2 668 930	1,0	1 920 510	1 922 859	-0,1	750 603	731 893	2,6
Pakettiautot	325 656	319 460	1,9	10 167	10 593	-4,0	314 654	308 256	2,1
Moottoripyörät	153 647	157 476	-2,4	153 592	157 425	-2,4	11	10	10,0
Mopot	125 381	134 807	-7,0	124 161	133 956	-7,3	2	2	0,0
Kevyt nelipyörä (L6e)	7 976	9 061	-12,0	818	982	-16,7	7 093	8 003	-11,4

	Sähkö			Sähköhybridi			Muut		
	2018	2017	Muutos (%)	2018	2017	Muutos (%)	2018	2017	Muutos (%)
Henkilöautot	2404	1449	65,9	13095	5719	129,0	9722	7010	38,7
Pakettiautot	256	210	21,9	29	14	107,1	550	387	42,1
Moottoripyörät	37	33	12,1	0	0	0,0	7	8	-12,5
Mopot	1211	839	44,3	0	0	0,0	7	10	-30,0
Kevyt nelipyörä (L6e)	65	76	-14,5	0	0	0,0	0	0	0,0

Kuten Traficomien taulukosta voidaan todeta, henkilö- ja pakettiautojen kokoluokassa ajoneuvojen määrä on viime vuonna kasvanut. Bensiinin käyttö polttoaineena on kuitenkin laskenut ja dieselin käyttö hieman noussut. Bensiinikäyttöisten ajoneuvojen vähentymisen selittyy osiltaan sillä, että suurin osa sähköhybrideistä käyttää toisena voimanlähteenä bensiiniä ja lisää hybridien määrää. Moottoripyörien, mopojen ja kevyiden nelipyörien lukumäärä on puolestaan viime vuonna laskenut. Huomioitavaa on kuitenkin se, että lähes kaikissa ajoneuvoluokissa sähkö- ja sähköhybridiajoneuvojen määrä on noussut prosentuaalisesti huomattavasti. Ainoastaan sähköllä kulkevien kevyiden nelipyörien määrä on laskenut, mutta niiden lukumäärä on kokonaisuus huomioiden hyvin marginaalinen. Henkilö- ja pakettiautoissa myös muilla vaihtoehtoisilla polttoaineilla kulkevien ajoneuvojen määrä on kasvanut huomattavasti.



Sähköajoneuvojen tunnetuimpia hyötyjä ovat halvat käyttökustannukset, vähäinen melu ja päästöttömyys. Käyttökustannuksiin vaikuttaa se, että sähkön hinta on suhteessa polttoaineen hintaan edullisempaa, kun ajatellaan kilometrille syntyvää kustannusta. Meluhaitan kannalta sähkömoottori on polttoainekäyttöiseen verrattuna lähes äänetön. Sähköajoneuvosta syntyy lähinnä vain renkaiden vierimisestä lähtevää ääntä. Päästöttömyys ja ekologisuus puolestaan riippuu siitä, millä sähkö on tuotettu. Esimerkiksi aurinkovoimalla tuotettu sähkö on käytännössä päästötöntä, mutta kivihiehellä tuotettu energia puolestaan on haitaksi ympäristölle. (Euroopan ympäristökeskus 2019.) Pienhiukkaspäästöjen kannalta täysin päästötöntä liikkumistapaa ei kuitenkaan ole olemassa, sillä pienhiukkasia syntyy esimerkiksi ajoneuvojen jarruista, renkaista ja ajamisesta johtuvasta tien kulumisesta (Ziemann 2017).

Sähköajoneuvojen hankintaa rajoittavat edelleen niiden pitkä latausaika, suuri hankintahinta ja rajallinen toimintasäde. Vaikka sähköajoneuvojen pikalatauspisteet ovat yleistyneet, on sähköajoneuvon lataaminen huomattavasti polttomoottoriajoneuvon tankkaamista hitaampaa. Hankintahinnaltaan sähköajoneuvot ovat polttomoottorikäyttöisiä kalliimpia, eikä ns. halpamerkkejä ole toistaiseksi juurikaan saatavilla. Esimerkiksi uuden Tesla Model 3 toimintasäteeksi on luvattu 530 km, mikä riittää helposti useimpien ihmisten tarpeisiin (Tesla 2019). Toimintasäde voi kuitenkin tulla rajoittavaksi tekijäksi esimerkiksi lomamatkalle lähdettäessä. Rajallinen toimintasäde yhdistettynä hitaaseen tankkaukseen lienevät keskeisimpiä pohdittavia asioita sähköajoneuvojen hankinnassa.

Sähkömopojen määrä on viime vuosina kasvanut, mutta kokonaisuudessaan niiden määrä kaikista mopoista on vain prosentin luokkaa (Traficom 2018). Markkinoilla on tarjolla tällä hetkellä vain muutamia vaihtoehtoja ja hintaluokka uusille sähkömopoille Suomessa on 1900-2990 €. Uusien mopojen toimintasäde akustosta ja mallista riippuen on n. 50-100 km (Nettimoto 2019). Vähäinen valinnanvara sähkömopoissa herättääkin mielenkiinnon siitä, voisiko sähköllä toimivan ajoneuvon rakentaa itse. Vaihtoehtoina itsenäisesti rakennettulle ajoneuvolle on muutoskatsastaa jo olemassa oleva ajoneuvo toiselle voimalllähteelle tai rakentaa kokonaan uusi ajoneuvo. Näistä vaihtoehtoista vanhan ajoneuvon muokkaaminen on todennäköisesti edullisempi ja helpompi vaihtoehto.

## 2.2 Latauspaikat Suomessa

Sähköajoneuvojen yleistymisen aiheuttaa haasteita latausverkoston riittävyydelle. Latauspaikkoja rakennetaan nopealla tahdilla ja niitä löytyy nykyisin suurimmalta osalta esimerkiksi isojen kauppojen ja kauppakeskusten parkkipaikoilta.

Taulukko 2. Julkisten latauspaikkojen määrän kehitys Suomessa (Karsimus 2019.)

Latauspaikat maakunnittain						
Maakunta	Q1 2018	Q2 2018	Q3 2018	Q4 2018	Q1 2019	Q2 2019
Uusimaa	169	194	211	226	246	266
Varsinais-Suomi	45	54	57	63	68	71
Pirkanmaa	34	42	42	54	55	58
Lappi	36	36	39	45	48	51
Pohjois-Pohjanmaa	34	38	39	42	43	44
Satakunta	30	33	33	37	39	40
Pohjois-Savo	24	30	32	35	35	36
Etelä-Pohjanmaa	25	29	28	31	34	34
Päijät-Häme	20	22	25	26	27	29
Keski-Suomi	19	21	23	24	25	29
Etelä-Savo	17	20	20	24	24	26
Kanta-Häme	16	18	19	20	20	21
Kymenlaakso	10	14	14	15	18	19
Keski-Pohjanmaa	6	7	7	11	11	18
Etelä-Karjala	12	13	14	16	16	17
Pohjanmaa	8	11	9	14	15	17
Kainuu	7	8	8	14	14	16
Pohjois-Karjala	4	6	6	13	13	14
Ahvenanmaa	7	12	12	12	12	12
	<b>523</b>	<b>608</b>	<b>638</b>	<b>722</b>	<b>763</b>	<b>818</b>
Kannan kasvu vuodessa	89 %	86 %	65 %	50 %	46 %	35 %

Latauspaikkojen määrä on kasvanut jatkuvasti, vaikka kasvutahti on viime vuosina hiukan hidastunut. Latauspaikoista 179 kpl on ns. pikalatauspaikkoja.

Pikalatauspaikalla tarkoitetaan suuritehoista lataustapaa, jolla auton akut voidaan ladata 80 prosenttisesti noin puolessa tunnissa. Pikalatauspaikalla laturi ja latauskaapeli sijaitsevat latauspisteessä. Peruslatauksella tarkoitetaan pienitehoista latausta, jolla auton akku saadaan ladattua 1-6 h ajassa, auton akuston koosta riippuen. Peruslatauspaikalla on kiinteästi asennettu laturi, josta akku voidaan ladata omalla tai latauslaitteen kaapelilla. (Plugit 2019.)

Latauspaikalla tarkoitetaan tässä tapauksessa sijaintipaikkaa, yhdessä latauspaikassa voi olla useampia latauspisteitä. Suomessa oli 2019 Q2:n jälkeen 2408 kpl latauspistettä.

Noin 48 % koko Suomen julkisista latauspaikoista on sijoitettu Uusimaan, Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan alueelle (Taulukko 2). Jakeluinfradirektiivin mukaan sähköajoneuvojen pikalatauspaikkojen suhde täyssähköajoneuvojen määrään tulisi olla 1:100 ja peruslatauspisteiden määrä suhteessa sähköajoneuvojen määrään 1:10. Julkiset latauspisteet on suunniteltu lähinnä sähköautojen lataamista varten, joten suhdeluvun vertailussa ei oteta huomioon muita ajoneuvoluokkia. Vuoden 2018 lopussa pikalatauspaikkojen määrän 138 kpl suhde täyssähköautojen määrään 2404 kpl oli 1:17, mikä ylittää suosituksen 1:100 reilusti. Julkisten peruslatauspisteiden määrän 2050 kpl suhde sähköautojen määrään 15 499 kpl (sisältäen ladattavat hybridit) oli 2018 vuoden lopussa 1:8, mikä alitti myöskin asetetun suosituksen 1:10. Latausverkoston investointituella pyritään nostamaan sähköajoneuvojen suosiota ja vuosina 2017-2019 latauspisteiden investointeja tuetaan valtakunnallisesti yhteensä 4,8 miljoonalla eurolla. Investointituilla pyritään osaltaan saavuttamaan kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteita. (Karsimus 2019.)

### 3 LAINSÄÄDÄNTÖ JA VAATIMUKSET

Voimanlähteen vaihtaminen ja rakennemuutokset vaativat ajoneuvolta muutokatsastuksen. L-luokan ajoneuvojen korjaamisesta ja rakenteen muuttamisesta löytyy tietoa Traficomien säädöksestä 1078/2009. Traficomien säädökset eivät kuitenkaan sisällä varsinaisia ohjeita muutokatsastukselle, vaan ainoastaan vaatimuksia. Tarkemmat tiedot muutokatsastukseen liittyen antaa katsastuskonttori. Tässä kappaleessa käsitellään L1e-luokan ajoneuvon muutokatsastukseen liittyviä vaatimuksia.

Muutokatsastuksessa tarkistettavia asioita:

- Käyttöjännitteen ylittäessä 30 V vaihtojännitettä tai 60 V tasajännitettä, voimaan astuu E-säännön 100 mukaiset sähköajoneuvojen vaatimukset. Tällöin akuston tulee olla tehdastekoinen.
- Selvitys moottorin tehosta. Suurin jatkuva nimellisteho ei saa ylittää 4 kW.
- Hyväksytyn asiantuntijan testiraportti uudesta huippunopeudesta.
- Elektromagneettisen yhteensopivuuden (EMC) osalta selvitys, että kaikki sähkökomponentit täyttävät vaatimukset. EMC-vaatimuksen voi osoittaa valmistajan, hyväksytyn asiantuntijan tai tutkimuslaitoksen laatimalla testiraportilla.
- Hyväksytyn asiantuntijan lausunto sähköturvallisuudesta, jos edellä mainitut jännitteet ylittyvät.

(K1 Katsastus 2019.)

L-luokan ajoneuvon runkoon saa tehdä muutoksia, mutta säädökset ovat tämän suhteen tarkat. Alumiinirunkoihin ei saa tehdä muutoksia kantaviin rakenteisiin, muutoin kuin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Teräsrakenteisia runkoja saa puolestaan muokata ja hitsata sillä ehdolla, että rungon alkuperäinen lujuus ei heikkene. Runkoa hitsatessa on huomioitava hitsaustapa ja lisäaineen sopivuus perusmateriaalille. Muutokatsastuksessa on esitettävä selvitys kriittisten liitosten osalta siitä, minkä ohjeen tai normin mukaan hitsaus on suoritettu. L-luokan ajoneuvojen takahaarukkaa koskevat samat määräykset kuin rungon muutoksia. (Traficom 1078/2009.)

EMC (Electromagnetic Compatibility) -yhteensopivuus tarkoittaa sitä, että kaksi tai useampia sähkölaitteita voi toimia yhdessä tai lähellä toisiaan ilman, että laitteet häiriintyvät toistensa toiminnasta. EMC-määräyksellä pyritään varmistamaan se, että esimerkiksi

ajoneuvon moottorinohjain ei häiriinny ajoneuvon muiden komponenttien tai vierellä ajavan ajoneuvon toiminnasta. EMC-määräyksen avulla pyritään välttämään vika- ja vaaratilanteita. EMC-häiriöllä tarkoitetaan kaikkia sähkömagneettisia ilmiöitä, jotka ovat ei-toivottuja ja joista ei ole laitteen toiminnan kannalta hyötyä. Häiriöt leviävät useimmiten laitteesta toiseen johtimia pitkin tai säteilemällä. (Tukes 2019.)

Muutettaessa L-luokan ajoneuvo polttomoottorikäyttöisestä sähkökäyttöiseksi, tulee koko ajoneuvosta tai sen osista esittää katsastuksessa selvitys sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta. EMC-vaatimuksia sovelletaan kuitenkin ainoastaan L-luokan ajoneuvoihin, jotka on tyyppihyväksytty 17.6.1999 tai sen jälkeen, sekä kaikkiin L-luokan ajoneuvoihin, jotka on käyttöön otettu 17.6.2003 tai sen jälkeen. (Traficom 1078/2009.)

Ajoneuvon rakenteen muutoksia ajatellen tärkeä huomioitava asia on ajoneuvon muutosprosentti. Muutosprosentti ei saa ylittää 50 %:a, sillä muuten ajoneuvo käsitetään uudeksi ajoneuvoksi ja näin ollen vaatii tyyppihyväksynnän. Huomioitavaa on myös se, onko ajoneuvolla historiaa esimerkiksi kolaritilanteista, jolloin muutosprosentteja voi olla jo valmiiksi pohjalla. (Traficom 1090/2002.) Muutoksia koskevat prosentit on esitetty liitteessä 2 Traficom L-luokan ajoneuvojen taulukossa.

Ajoneuvon kokonaismassa on esitetty rekisteriotteessa, eikä sitä voi muuttaa pienemmäksi eikä suuremmaksi muulla kuin valmistajan todistuksen perusteella. L1e-luokan ajoneuvon (mopon) kokonaismassa mitataan akuston kanssa. Kokonaismassaa ei saa missään tilanteessa ylittää. Ajoneuvon omamassan lisäksi on jokaista matkustajaa varten varattava 75 kg kantavuutta. Ajoneuvon massan kasvaessa muutoksen yhteydessä, voidaan tarpeen mukaan karsia istumapaikkojen määrää, jotta kokonaismassa ei ylitä. (Traficom 1078/2009.)

Ajoneuvon maksimitehosta vaaditaan selvitys. Teholla tarkoitetaan E-säännön 85 mukaisesti vahvistettua 30 minuutin enimmäistehoa sähkömoottorin ulostuloakselissa. Tähän sisältyy sähkömoottorin valmistajan ilmoittamia muuttujia. Sähkömoottorin valmistajan ilmoittama E85 mukainen 30 minuutin teho on riittävä. Mikäli moottorin valmistajalla ei ole toimittavaa riittävää dokumenttia moottorin maksimitehosta, täytyy moottori testauttaa ennen muutoskatsastusta. Ajoneuvon nopeuteen vaaditaan hyväksytynt asiantuntijan lausunto uudesta huippunopeudesta. (K1 Katsastus 2019.)

## 4 AKKU- JA SÄHKÖMOOTTORITEKNIikka

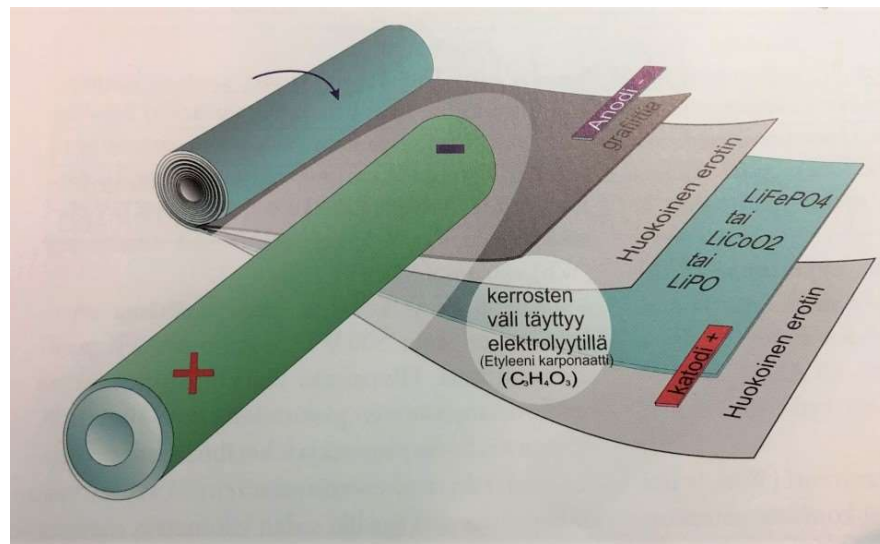
### 4.1 Litiumakut

Litium-akkuja on ollut lukuisissa eri muodoissa jo 1970-luvulta. Akkujen kehitys 80- ja 90-luvuilta asti on johtanut siihen, että nykyisin on olemassa tehokkaita ja kestäviä akkuja. Akkujen kehitys jatkuu edelleen ja isoimpina kehityskohteina ovat nopea ladattavuus ja pidempi käyttöaika. Kehitteillä olevat akkukemiat ovat mahdollistamassa muun muassa akun, joka voidaan ladata täyteen sekunneissa. Kyseiset akkutyypit ovat kuitenkin edelleen vasta kokeiluasteella, eikä sellaisia tulla näkemään laajassa käytössä vielä vähään aikaan. Tekniikan kehittyessä on huomioitava se, että vaikka jotain pystyttäisiin valmistamaan, on eri asia tuottaa niitä sarjatuotannolla ja kohtuullisella hinnalla. Akkujen kohdalla uusien tyyppien tuontia markkinoille hidastavat myös tiukat käyttöturvallisuutta koskevat säädökset. (Toll 2017, 4.)

Litium-akkuja käytetään tänä päivänä laajasti eri muodoissa ja eri käyttötarkoituksiin. Litium-akun suuri energiatiheys ja kevyt paino kasvattavat niiden suosiota. Litium-akkuja löytyy sähkötyökaluista ja kannettavista tietokoneista Nasan avaruuspukuihin ja kaikesta siltä väliltä. Litium-akut ovatkin suosittuja myös sähköisten ajoneuvojen energianlähteenä. (Toll 2017, 4-5.)

Litium-akkuja on saatavilla useissa eri muodoissa ja eri kokoisina. Yksi käytetyimmistä kennoista on tyyppinumeroltaan 18650. 18650-kenno on muodoltaan lieriömäinen. Kennon numero 18650 kertoo yksittäisen kennon fyysiset mitat. Kenno on halkaisijaltaan 18mm ja pituudeltaan 65mm. Kyseinen kennotyyppi on litium-ion -akku, joka on yksi yleisimmin käytetyistä kennoista esimerkiksi kannettavissa tietokoneissa, akkukäyttöisissä työkaluissa, sähköpolkupyörissä ja ajoneuvoissa. (Toll 2017, 4.) Muun muassa autovalmistaja Tesla käytti kyseistä kennoa akuissaan vuosimallien 2009-2018 autoissa. Tesla on nykytuotannossaan siirtynyt käyttämään kooltaan suurempaa ja tehokkaampaa 21700-kennotyyppiä. (Luukkanen 2018.) 18650-kennon nimellisjännite on 3,6-3,7 V ja sen käyttöjännite on yleisimmin 3,0-4,2 V. Kennojen alin käyttöjännite vaihtelee 2,5-3,0 V välillä, akkuvalmistajasta riippuen. 18650-kennon kapasiteetti on yleisimmin 1000-3500 mAh:n välillä. Kennojen virranantokyky on ”merkkikennoilla” yleisesti 2-35 A välillä. (Toll 2017, 12-13.)

Li-ion on yleisnimi litium-akuille. Akuissa litium-metalli toimii sähköisesti varautuneena aineena. Akun tyypistä riippuen litium (Li) on sitoutuneena mangaaniin (Mn), kobolttiin (Co), nikkeliin (Ni), rautaan (Fe), alumiiniin (Al) tai titaaniin (Ti). Kyseiset metallit esiintyvät akuissa happiyhdisteinä eli oksidimuodossa ( $O_2$ ,  $O_4$ ,  $O_{12}$ ), poikkeuksena rauta, jonka kemiallinen sidos on fosfaattimuodossa ( $PO_4$ ). (Perälä 2019, 108.) Akuissa on neljä pääkomponenttia, jotka ovat anodi, katodi, elektrolyytti ja huokoinen erotin. Katodi vaihtelee akkutyypistä riippuen, mutta on aina litiumia sisältävä sekoitus. Anodi on lähes aina grafiittia. Elektrolyytti on yleensä jokin orgaaninen yhdiste, joka sisältää litium-suoloja litiumionien siirtämiseksi. Huokoinen erotin sallii litiumionien kulkea itsensä läpi samalla kun se erottaa anodin ja katodin kennon sisällä. (Toll 2017, 5-6.)



Kuva 1. Kennon rakenne (Perälä 2019, 110.)

Kennoa purkaessa litium-ionit kulkevat anodista katodiin elektrolyytin kautta. Tämä purkaa elektroneja anodin puolelta ja antaa virtaa käytettäville laitteille. Kennoa ladattaessa prosessi toistuu päinvastaisena ja litium-ionit kulkeutuvat takaisin katodista anodiin.

Taulukko 3. Akkuvertailua (Perälä 2019, 108.)

	Li-ion	Lyijyakku	Ni-Cd	Ni-Mh
Latauskertoja	1000	200-500	500	500
Jännite	3,7	2	1,2	1,2
Ominaisenergia Wh/kg	100	30	60	70
Ominaisenergia Wh/l	240	100	155	190

Taulukossa on vertailtu saman kokoluokan akkuja. Taulukosta nähdään, että Li-ion -akut ovat sekä kestävyydeltään että energiamäärältään huomattavasti muita perinteisiä akkutyyppisiä parempia. Lyijyakku on tunnettu akkutyyppi autojen käynnistysakkuina. Lyijyakut ovat halpoja ja käyttövarmoja, mutta niiden raskas rakenne rajoittaa käyttökohteita. (Perälä 2019, 107.) Nikkelikadmium-akuilla (Ni-Cd) on kohtalainen elinikä, mutta akun kemian johdosta sen sisältö on myrkyllistä ja sillä on tapana purkautua itsestään. Nikkelimetallihydridi-akku (Ni-Mh) on ominaisenergialtaan kohtalaisen hyvä, mutta se on kallis ja itsepurkautuminen on suurehkoa. (Liutu 2009, 16-22.)

#### 4.2 Akkujen turvallisuus

Sähköajoneuvoja pidetään nykyään yleisesti turvallisina, mutta akustoon liittyvä korkea jännite lisää haastetta esimerkiksi kolari- ja vikatilanteissa. Sähköautot eivät syty helposti tuleen, mutta toisaalta akkujen räjähdysriskit materiaalit herättävät kysymyksiä niiden sammuttamiseen liittyvissä tilanteissa. Palava litium-akku käyttäytyy palotilanteissa eri tavalla kuin esimerkiksi bensiini ja tästä syystä akun sammuttamiseen suositellaan käyttämään ainoastaan vettä, sillä vesi jäähdyttää palavaa akkua. Esimerkiksi sammutukseen käytettävistä vaahdoista ei ole niin suurta hyötyä akkujen sammuttamisessa kuin polttoaineen sammuttamisessa. On muistettava, että litium-akku on vauriotilanteessa täysin turvallinen vasta, kun se on täysin tyhjä. Vaurioitunut litium-akku saattaa syttyä itsestään tuleen vielä viikkoja vaurioitumisen jälkeen. Bensiinin ja litium-akkujen suurin ero paloturvallisuudessa tulee esille siinä, että litium-akku ei tarvitse syttyäkseen kipinää. Litium-akku sisältää suuren määrän energiaa, joka muuttuu lämmöksi ja kipinöiksi oikosulutilanteissa. Akut sisältävät myös liuottimia ja oksidoituneita metalleja, jotka ruokkivat paloa ja tuottavat tulelle happea. (Niemi 2018.)

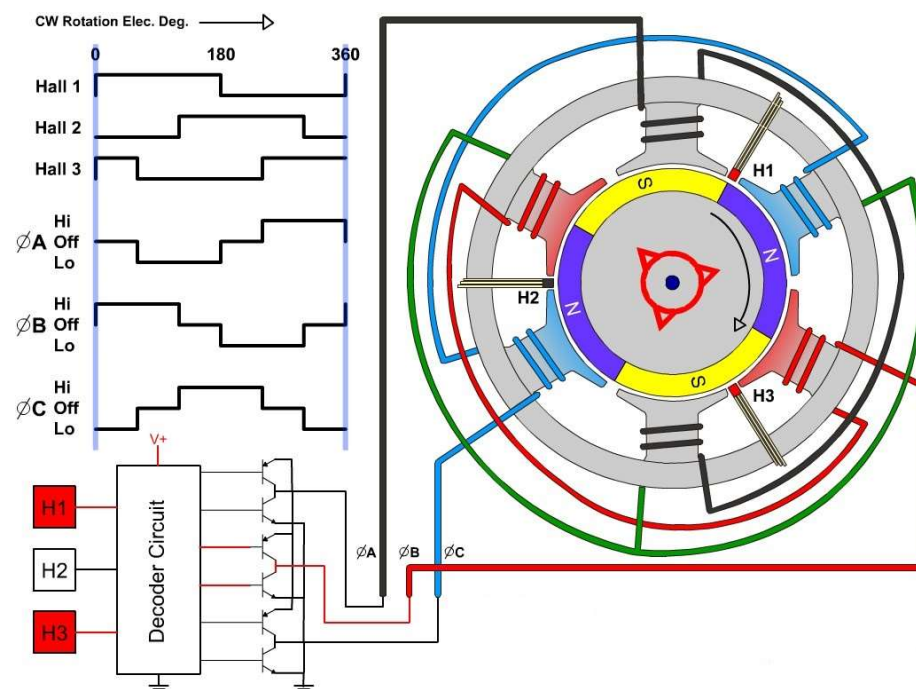
Kolaritilanteissa sähköajoneuvoista tekevät vaarallisen mahdolliset oikosulut. Oikosulutilanteissa on mahdollista, että akun jännite on johtuneena auton runkoon, jolloin rungon koskettaminen voi antaa vaarallisen sähköiskun. Tasajännitteellä toimivien laitteiden



vaarana on lisäksi valokaari-ilmiö. Valokaari on erityisesti korjaustilanteessa vaaraa aiheuttava tekijä ja siksi sähköajoneuvot onkin yleensä varustettu mekaanisilla jännitteenerottimilla, joilla auto voidaan tehdä jännitteettömäksi ja täten turvallisesti korjata. Jännitteenerottimen irrottaminen ei yksinään riitä, vaan ajoneuvo täytyy todeta tämän jälkeen jännitteettömäksi mittaamalla. Jännitteettömäksi tekeminen vaaditaan etenkin silloin, kun tehtävä työ koskee ajoneuvon sähköjärjestelmää. Jännitteettömäksi tekeminen ja sen toteaminen vaatii mekaanikolta erityisosaamista. Tästä syystä sähköajoneuvoja korjaavat vain niihin erikoistuneet mekaanikot. Autosähkötöitä tekevällä henkilöllä on oltava Autoalan sähköturvallisuuskoulutus SFS 6002 ja lisäksi riittävä koulutus korjattavaan merkkiin ja malliin. (Binios 2015, 15-20.)

#### 4.3 Sähkömoottori

Ajoneuvokäytössä olevat hiiliharjattomat sähkömoottorit eroavat perinteisistä sähkömoottoreista. Hiiliharjattomien tasavirtamoottoreiden, eli BLDC (Brushless direct current) -moottoreiden rakenne koostuu perinteisen roottorin ja staattorin lisäksi asentoa mittavista Hall-antureista. BLDC-moottori on tasavirtamoottori ja virta syötetään moottorin käämeille kolmessa vaiheessa.



Kuva 2. BLDC-moottorin toiminta (AVDweb 2018.)

Kuvassa 2 on esitetty BLDC-moottorin rakenne ja toiminta. Kyseisessä moottorissa on kolme Hall-anturia  $120^\circ$  välein ja käämejä 6 kappaletta  $60^\circ$  välein. Moottorin roottori on kestmagnetoitu  $90^\circ$  välein etelä- ja pohjoisnavoilla. (AVDweb 2018.) Suurin ero verrattuna perinteiseen tasavirtamoottoriin on se, että BLDC-moottorissa virta syötetään moottoriin sen paikallaan olevaan staattoriin. Perinteisessä tasavirtamoottorissa virta syötetään hiiliharjojen välityksellä moottorin pyörivään osaan, eli roottoriin. BLDC-moottorissa virta syötetään kolmessa eri vaiheessa. Moottorin Hall-anturit tunnistavat moottorin asennon ja antavat tiedon ohjainlaitteelle. Moottorin ohjauselektronikka vaihtaa syöttövirran oikeisiin käämeihin moottorin asennosta riippuen. Hyvin toteutetussa moottorin ohjauksessa käämien  $\emptyset A$ ,  $\emptyset B$  ja  $\emptyset C$  virta seuraa siniaallon muotoa ja tällöin moottorin pyörintä sekä vääntö on tasaista. (Hietalahti 2011, 47-55.)

## 5 SÄHKÖKONVERSION TOTEUTTAMINEN

Rungoksi valikoitui Peugeot Speedfight vuosimallia 1999. Kyseessä on 3,8 kW 2-tahti-moottorilla toimiva moposkootteri. Rungoksi valittiin tämän ikäinen skootteri, jotta pystyttiin välttämään EMC-säännön vaatimukset. Kyseinen moposkootteri soveltui projektiin erinomaisesti, sillä siitä oli moottori vioittunut, joten sähkömuunnoksella saataisiin skootteri jälleen ajokuntoiseksi.

### 5.1 Hankinnat

Tarvittavat komponentit ostettiin pääasiassa Kiinasta ja Yhdysvalloista. Euroopassa oli hyvin vähän tarjontaa ja hinnat olivat huomattavasti korkeampia kuin maissa, joista komponentit lopulta tilattiin.

#### 5.1.1 Moottori

Komponentteja valittaessa on hyvä aloittaa moottorista, sillä muut sähkökomponentit valitaan kyseiselle moottorille sopivaksi. Moottoria valittaessa on huomioitava moottorin teho, fyysinen koko ja vaadittava jännitetaso. Moottoriksi valikoitui QS-Motorin valmistama 48 V tasavirtaa käyttävä napamoottori. Napamoottori on sähkömoottori, jossa itse sähkömoottori on integroitu ajoneuvon vanteen sisälle, eli vanne ja moottori ovat yhtä kokonaisuutta. Napamoottorin suurin hyöty on sen hyvä kokonaishyötysuhde, sillä se ei vaadi muita voimansiirron komponentteja kuten variaattoria, vaihteistoa tai ratasvälitystä.

Valittu moottori on hiiliharjaton kestopagneettimoottori, jonka nimellisteho on 1500 W ja hetkellinen maksimiteho 2000 W. Moottorin nimellinen käyttövirta on 39 A ja hetkellinen maksimivirta 55 A. Moottori ei vaadi erillistä jäähdytystä, vaan ilmavirta huolehtii moottorin tarvittavasta jäähdytyksestä. Kyseinen moottori on varustettu kolmella asentoa mittaavalla Hall-anturilla. Moottoria on saatavilla erikokoisilla vanteilla ja tässä tapauksessa valittiin skootterin alkuperäistä vannekokoa vastaava 12" napamoottori.

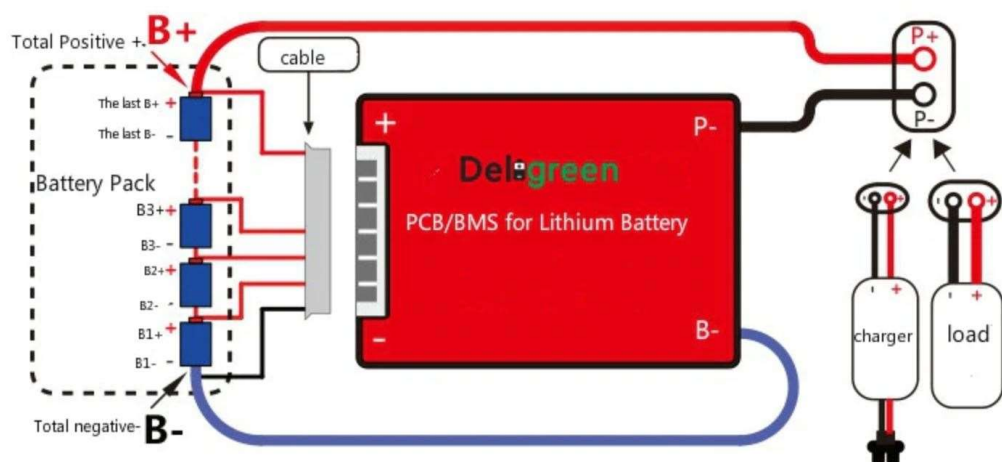
### 5.1.2 Ohjainlaite

Moottorin valinnan jälkeen voitiin valita sopiva ohjainlaite. Ohjainlaitteen tehtävänä on säätää moottorille syötettävää virtaa kuljettajan toiveen mukaan. BLDC-moottorille tarkoitettu ohjainlaite säätelee lisäksi virran oikeille käämeille moottorin asennosta riippuen. Tarjonnan laajuus ajoneuvokäyttöön tarkoitetuista ohjainlaitteista yllätti positiivisesti. Ohjainlaitteiden välillä on kuitenkin erittäin paljon eroja. Ohjainlaitteetkin luokiteltiin eri jännite- ja virtaluokkien mukaan. Tarjolla on lisäksi paljon vaihtovirralla toimivia ohjainlaitteita. Isona valintakriteerinä pidettiin ohjainlaitteen säätömahdollisuuksia ja sitä, että ohjainlaite mahdollistaa moottorijarruenergian talteenoton. Ohjainlaitteeksi valikoitui Golden Motorin valmistama VEC200 48 V -siniaalto-ohjain. Ohjainlaitteelle valittiin sopiva sähköinen kaasukahva.

### 5.1.3 BMS

BMS (Battery Management System) eli akuston hallintajärjestelmä on litium-ion -akulle välttämätön laite. BMS:llä on kaksi päätehtävää, jotka ovat kennojen ali- ja ylijännitteen valvonta. (Toll 2017, 47.) Muiden sähkökomponenttien tapaan on BMS mitoittettava tarvittavan jännitteen, virran ja kennotyypin mukaan. BMS:ksi valikoitui Deligreenin valmistama laite, jonka jatkuva virranantokyky on 120 A. (Deligreen 2019.) Laite on tässä tapauksessa reilusti ylimitoitettu, mutta siitä ei ole mitään haittaa.

**Deligreen**



Kuva 3. BMS-kytkentä (Deligreen 2019.)

BMS kytketään akustoon siten, että se kykenee mittaamaan jokaisen sarjassa olevan kennorivin jännitteen erikseen. BMS kytketään lisäksi akuston miinusjohtimen väliin, joten akuston lataus ja purku suoritetaan BMS:n kautta. BMS:n tarkoitus on siis valvoa, ettei yksittäisen kennorivin jännite nouse yli 4,2 V tai laske alle 3,0 V. Mikäli jompikumpi rajatila ylittyy, katkaisee BMS virran kyseiseltä kennoriviltä. Lataustilanteessa ylijännite-suoja siis katkaisee virran, kun kenno on täyteen ladattu ja purkutilanteessa BMS katkaisee virran akustosta. BMS:ssä on lisäksi tasausominaisuus, eli se kykenee tasaamaan sarjassa olevien kennojen jännitteitä, mikäli jossakin kennossa on muita pienempi tai suurempi jännite. Kyseinen ominaisuus toimii ns. passiivisella menetelmällä, joten se on suhteellisen heikkotehoinen, koska BMS:n tasausvirta on vain 35 mA. (Deligreen 2019.)

#### 5.1.4 Akku

Akku päädyttiin rakentamaan 18650-kennotyyppin akuista, sillä niiden yleisyys mahdollisti käytettyjen kennojen käytön.

Akkukennot kerättiin Ekotorilta saaduista käytetyistä kannettavien tietokoneiden akuista. Jokainen käytettävä kenno testattiin yksitellen, jotta voitiin varmistua kennojen kunnosta ja turvallisuudesta. Kannettavien tietokoneiden akuissa on 18650-kennoja 3-12 kappaletta, useimmiten 2-4 kennoa sarjaan ja 1-3 kennoa rinnan kytkettynä. Käytettyjä kennoja käytettäessä on ennen kennon lataamista hyvä tarkistaa kennon jännite yleismittarilla.

Useat valmistajat eivät suosittele kennojen käyttämistä, jos kennon jännite on päässyt alle alijännitetason. Alijännite saattaa vaurioittaa kennoa, eikä sitä ole tämän jälkeen enää turvallista käyttää. Alijännitteinen kenno alkaa hapettaa kennon sisältämiä metalleja ja johtaa pahimmillaan oikosulkuun. Hapettuminen on hidasta, mutta käytettyjen kennojen kohdalla ei voitu olla varmoja siitä, kuinka kauan kennot ovat olleet alijännitteisiä. (Toll 2017, 12.)

Jännitemittauksen jälkeen kennot ladattiin yksitellen täyteen 4,2 V ja jätettiin käyttämättä kahdeksi viikoksi. Kahden viikon jälkeen kennojen jännite mitattiin uudestaan, jotta voitiin varmistua, ettei kenno purkautu itsestään. Tässä tapauksessa sallittiin 0,1 V jännitteen purkautuminen. Kennot, jotka eivät olleet purkautuneet itsestään, testattiin kahden viikon odotusjakson jälkeen yksittäin kapasiteettia mittaavalla akkulaturilla 3 A virralla. Testauksen tuloksena saatu kapasiteetti kirjattiin ylös kennon kylkeen myöhempää käyttöä varten.

Seuraava vaihe oli kennoston rakentaminen. Ensimmäisenä määriteltiin tarvittava kennomäärä sarjaan kytkettyinä. Moottorin nimellisjännite on 48 V ja kennojen nimellisjännite 3,7 V, joten tarvittava kennomäärä saadaan laskettua seuraavasti:

$$\frac{48 V}{3,7 V} = 12,97 \approx 13 \text{ kennoa}$$

Kaava 1. Sarjaan kytkettyjen kennojen määrä

Akuston käyttöjännite on 39,0-54,6 V. Seuraavaksi määriteltiin rinnankytkettävä määrä. Kennot oli testattu 3 A virralla, joten sitä arvoa voitiin pitää turvallisena rajana. Moottorin ottama jatkuva käyttövirta on 39 A ja kennojen antama virta 3 A, joten tarvittava kennomäärä on:

$$\frac{39 A}{3 A} = 13 \text{ kennoa}$$

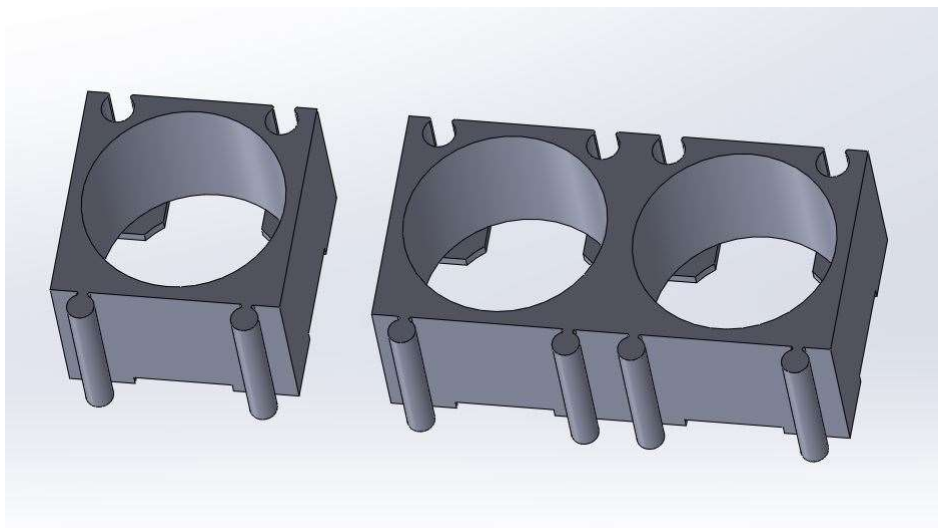
Kaava 2. Rinnan kytkettyjen kennojen määrä

Akustoa rakennettaessa on yleistä käyttää merkintää, kuinka monta kennoa on kytketty sarjaan ja kuinka monta rinnan, esimerkiksi 6s2p. Merkintä s tarkoittaa sarjaan kytkettyjen kennojen määrää (series) ja p tarkoittaa rinnan kytkettyjen kennojen määrää (parallel). (Toll 2017, 37-38.) Tässä projektissa rakennettavan akun konfiguraatio on siis 13s13p. Yhteensä kennoja tarvittiin siis 169 kpl. Kennojen keskimääräinen kapasiteetti on 1890 mAh kennoa kohden, joten akuston kapasiteetiksi saatiin noin 24570 mAh eli 24,57 Ah. Kertomalla akuston ampeerituntimäärä akuston nimellisjännitteellä, saadaan akun energiamäärä:

$$24,57 Ah \times 48 V = 1179,36 Wh$$

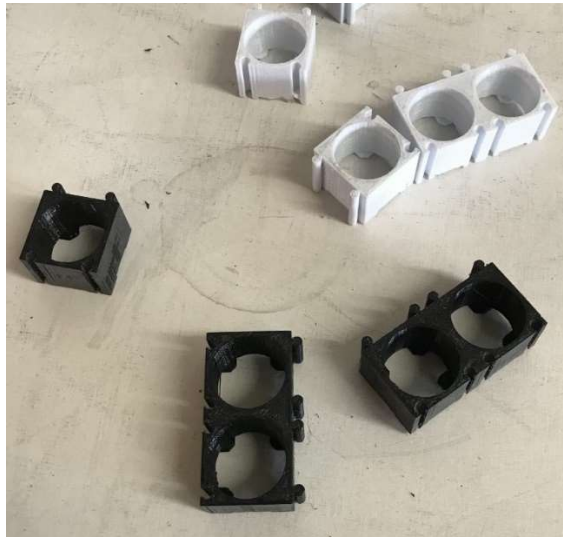
Kaava 3. Akun energiamäärä

Kun tarvittava kennojen määrä oli selvitetty, voitiin alkaa suunnittelemaan akustolle telinettä. Yksi tapa kiinnittää akut toisiinsa on esimerkiksi kuumaliimaus. Kennot kuitenkin lämpenevät käytössä jopa 60 °C, joten jatkuva kontakti kennojen välillä saattaisi kuumentaa kennostoa liikaa (Toll 2017, 42). Tässä tapauksessa päädyttiinkin mallintamaan kennoille pidikkeet, jolloin kennojen väliin saatiin pieni ilmarako.



Kuva 4. Kennopidikkeiden 3D-mallit

Kennojen pidike suunniteltiin Solidworks -3D-mallinnusohjelmalla. Pidike suunniteltiin siten, että yksittäisiä telineitä on mahdollista yhdistää palapelin tavoin, eikä muita kiinnitysmateriaaleja kuten liimaa tarvittaisi. Kennopidikkeet tulostettiin 3D-tulostimella PETG-muovista.



Kuva 5. Kennopidikkeet

PETG (Glykolimodifioitu polyetyleenitereftalaatti) on kulutuksen ja lämmön kestävää kovamuovia (3D Prima 2019). Kennojen pidikkeitä tulostettiin yksi- ja kaksiosaisia, jotta niitä voitiin koota lomittain. Tämä paransi kokonaisuuden jäykkyyttä.



Kuva 6. Akkutelineet

Pidikkeitä tulostettiin kahta eri väriä ja ne koottiin siten, että rinnan kytkettävät kennot ovat saman värisessä rivissä. Tämä yksinkertaisesti siitä syystä, että värikoodaus helpottaa sarjaan- ja rinnankytkettävien kennojen erottamisen toisistaan ja tekee näin kennojen yhdistämisestä turvallisempaa.

Valmiiseen telineeseen voitiin lataa kennoja, eikä erillisiä kiinnitysmateriaaleja tarvittu. Akustoon kiinnitettiin pidikemuovi molemmin puolin kennoja.



Kuva 7. Koottu akku, jossa kaksi ensimmäistä riviä juotettu



Kennot liitettiin toisiinsa sulakelangan ja nikkelinauhan avulla. Nikkeli on akustoissa yleisesti käytetty materiaali hyvän virranjohtokykynsä ja kohtuullisen hintansa ansiosta (Toll 2017, 51-54). Rinnan asetetut kennot liitettiin sulakelangan välityksellä nikkelinauhaan ja nikkelinauhasta taas sarjan seuraaviin kennoihin. Rakenne on erittäin turvallinen käyttää, sillä jokainen yksittäinen kenno on suojattu sulakkeella, eikä yksittäisen kennon haajoaminen lamautta koko akuston toimintaa.

Kerrostaloasumisen kannalta olennaista oli, että akusta rakennettiin helposti irrotettava. Irrotettavaa akkua on helppo ladata kotona tai työpaikalla sisätiloissa. Akuston kokonaisuusmassaksi tuli 10,4 kg. Kun akut oli saatu juotettua, vuorattiin akku ohuella vaahtomuovilevyllä ja tämän jälkeen päällystettiin akkujen rakentamiseen tarkoitetulla PVC kutistemuovilla. Näin ollen akustosta tuli hyvinkin tiivis paketti, jolla on hyvät ja huonot puolensa. Akusto on sijoitettu skootterin penkin alle, joten se osaltaan suojaa akkua erilaisilta sääoloilta, lisäksi muovipäällyste parantaa suojaa. Huonona puolena on se, että tiivis paketti pitää akkujen käytöstä syntyvän lämmön akkupaketin sisällä. Akun käytön turvallisuuden takia akuston sisälle asennettiin lämpötila-anturi, jotta lämpötilaa voidaan seurata mittaristosta käytön aikana.



Kuva 8. Valmis akku, jonka päälle on asennettu BMS.

### 5.1.5 Laturi

Akun tapaan laturin oli oltava pienikokoinen ja helposti mukana kulkeva. Laturi on valittava akuston rakenteen ja akkutyypin mukaan. Sarjaan kytkettyjen kennojen latausjännite saadaan laskemalla:

$$13 \times 4,2 V = 54,6V$$

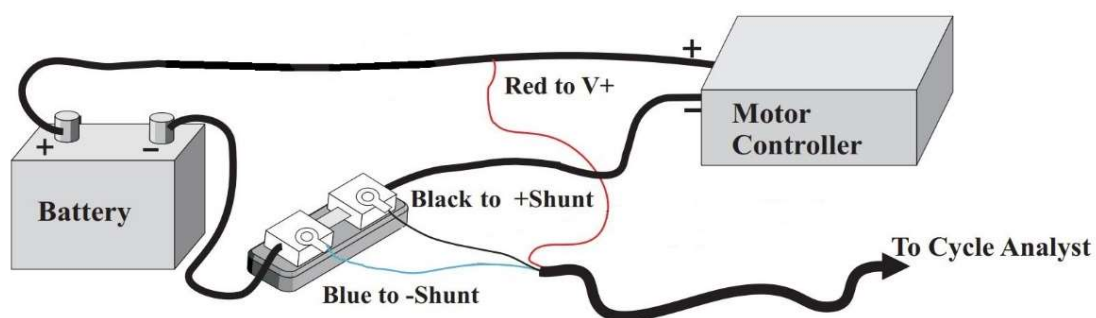
#### Kaava 4. Latausjännite

Li-ion-akulle tärkeä ominaisuus laturissa on ylijännitesuoja, eli laturi katkaisee jännitteen syötön, kun akku on täysi. Laturiksi valikoitui WATE:n valmistama latausvirraltaan 5 A laturi. Laturiin ja akkuun liitettiin ns. trukki liittimet, joita ei saa kytkettyä toisiinsa väärin päin. Laturi on fyysiseltä kooltaan kannettavan tietokoneen laturin kokoinen, joten se kulkee helposti mukana.

### 5.1.6 Mittaristo

Mopon mittaristo oli myöskin uusittava. Alkuperäisen mittariston tilalle vaihdettiin tehokkaihin sähköpyöriin ja pienitehoisiin mopoihin tarkoitettu Cycle analyst CA-HC V2.4 (syklianalysointilaite) -mittaristo. Uuden mittariston avulla voidaan seurata tärkeitä parametreja kuten akun jännitettä, akusta otettavaa virtaa, moottorin ottamaa tehoa, kulutettua energiaa ja nopeutta. Mittariston kytkentä on erittäin yksinkertainen. Mittaristosta tulee yksi johto 48 V järjestelmän plus-johtimeen ja kaksi johtoa miinus-johtimeen. Virrankulutusta mittaristo mittaa 48 V järjestelmän miinus-johtimen väliin asennetusta mittaus- eli shunttivastuksesta.

Shunttivastus on resistanssiarvoltaan hyvin pieni vastus, joka kytketään sarjaan virrankuluttajan kanssa. Mittausvastuksen läpi kulkeva virta synnyttää pienen jännitehäviön, joka on mittaristoon rakennetulla jännitemittarilla mitattavissa. Jokaista jännitearvoa vastaan tietty virta, joka saadaan laskettua Ohmin lain avulla. (Kunnari 2018, 17.)



Kuva 9. Mittariston kytkentä (Lemire-Elmore 2013, 7)

Mopon nopeuden mittaristo lukee vanteeseen kiinnitetyn magneetin avulla. Ajetun matkan ja kulutetun virran määrän avulla mittaristo pystyy laskemaan keskikulutuksen.



Kuva 10. Mittaristo

Mittariston yläpuolelle asennettiin erillinen mittari, jossa näkyy jännitteen lisäksi lämpötila. Lämpömittari näyttää akun lämpötilan. Mittariston alle asennettiin vilkun ja kaukova-  
lon merkkivalot.



Kuva 11. Mittariston karmin 3D-malli

Uuden mittariston kehys mallinnettiin Solidworksillä ja tulostettiin kennopidikkeiden tapaan 3D-tulostimella PETG-muovista.

## 5.2 Rakenteelliset muutokset

Rakenteellisia muutoksia vaadittiin, jotta uudet komponentit saatiin sovitettua moposkootteriin. Uusi moottori ja akusto vaativat muutoksia moposkootterin takahaarukkaan ja tavaratilaan.

### 5.2.1 Takahaarukka

Moposkootterin alkuperäinen moottori, variaattori ja polttoaineen syöttöjärjestelmä on rakennettu yhdeksi tiiviiksi kokonaisuudeksi. Kyseisessä moposkootterissa takapyörä on kiinnitetty variaattoriin vain yhdeltä puolelta vannetta. Vanha rakenne ei soveltunut uuden moottorin kiinnitykseen millään tapaa, sillä uusi moottori vaati kiinnityksen molemmilta puolilta vannetta. Tästä syystä päädyttiin poistamaan koko moottori-variaattorikonaisuus. Tällä tapaa saatiin karsittua runsaasti ylimääräistä massaa pois moposkootterista, sillä kaikki moottorin, variaattorin ja polttoainejärjestelmän osat jäivät joka tapauksessa tarpeettomiksi.

Uutta moottoria varten hitsattiin S355-teräksestä uusi takahaarukka. Takahaarukan rakenne on varsin yksinkertainen, mutta sen rakentamisessa oli otettava huomioon monia asioita. Takahaarukkaan piti tehdä kiinnityspaikka heilahtelunvaimentimelle, jarrusatulalle ja itse moottorille. Moposkooterin akseliväli pysyi alkuperäisenä. Lisäksi L-luokan ajoneuvoja koskevat määräykset vaativat selvityksen siitä, minkä ohjeen tai standardin mukaan rakennus on tehty, joten käytettyjen materiaalien ja menetelmien dokumentointi on tärkeää.

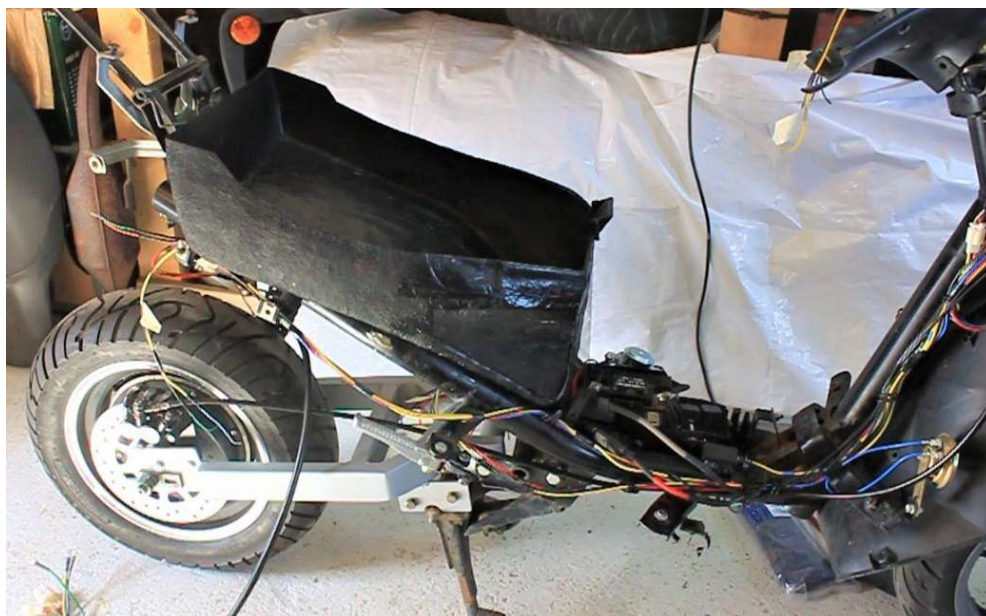


Kuva 12. Moposkooterin runko, jossa uusi takahaarukka ja moottori asennettuna

### 5.2.2 Penkin laatikko

Skoottereissa on yleisesti penkin alla pieni tavaratila ja niin tässäkin tapauksessa. Penkin alla sijaitsee lisäksi polttoaine- ja öljysäiliö. Poistamalla ylimääräiset säiliöt penkin alta, vapautui sieltä runsaasti tilaa sähkökomponenttien asennusta varten. Ongelmaksi kuitenkin koitui se, että tankkien poistosta vapautunut tila oli epäedullisen mallinen, eikä sinne saisi asennettua kaikkia tarvittavia komponentteja. Moposkooterin alkuperäinen tavaratila oli sekin hyvin pieni ja hankalan muotoinen. Ratkaisuksi päädyttiin kuiduttamaan lasikuidusta uusi tavaratila penkin alle. Tällä tavoin saatiin hyödynnettyä mahdollisimman hyvin penkin alla oleva tila ja kaikki sähkökomponentit saatiin sijoitettua suojaan.

sateelta. Kaikki komponentit saatiin sijoitettua myös lähekkäin, jolloin virtajohtojen pituus ja niissä tapahtuva tehohäviö saatiin minimoitua.



Kuva 13. Uusi kuidutettu penkin laatikko asennettuna

### 5.2.3 Sähköt 12 V & 48 V

Polttomoottorin poiston yhteydessä suurin osa sähköjohdoista jäi tarpeettomaksi, sillä mopo ei vaadi enää toimiakseen esimerkiksi sytytysjärjestelmän eikä polttoainejärjestelmän osia. Moposkootterin virtoja ohjasi virtalukon kautta jonkinlainen ohjainlaite, joka vaati toimiakseen polttomoottorin käyntisignaalin. Helpoimmaksi toteutustavaksi koettiin poistaa kaikki moposkootterin alkuperäisen sähköjärjestelmän osat ja rakentaa tilalle uusi johtosarja.

Moposkootterin sähkömoottori toimii 48 V jännitteellä, mutta muut käyttösähköt, kuten valot, tarvitsevat toimiakseen 12 V jännitteen. Moposkootterissa on luonnollisesti pieni 12 V akku, mutta koska polttomoottorin mukana poistettiin alkuperäinen latausjärjestelmä, täytyy 12 V akku ladata muulla tavalla. Akkujen väliin kytkettiin DC-DC-muunnin, jonka avulla 12 V akkua voidaan ladata 48 V akusta. 12 V akkua ei haluttu poistaa moposta kokonaan, sillä sen avulla on helppo ohjata päävirtaa päälle ja pois. Moposkootteri ei sähkömoottorinsa ansiosta vaadi juurikaan muuta 12 V sähköä kuin valojen ja äänimerkinantolaitteen kytkennän. Kyse oli siis suhteellisen yksinkertaisesta johtosarjasta, vaikkakin työ oli kohtuullisen iso. Päävirtaa ja valoja on helppo ohjata releillä ja vilkkujen

toiminta päädyttiin toteuttamaan perinteisellä mekaanisella vilkkureleellä. 12 V järjestelmä kytkettiin virtalukkoon ja sen kautta pystytään ohjaamaan myös 48 V järjestelmää. Kytkenät on esitetty liitteessä 3 ja 4.

Jarruenergian talteenotto päätettiin kytkeä erilliseen kytkimeen, jotta mahdollistetaan maksimaalinen energian talteenotto. Virtapiiriin kytkettiin vielä mekaaninen virtakytkin, jotta virrat saadaan vikatilanteessa kytkettyä pois päältä. Kytkin toimii kuitenkin huonosti hätäkytkimenä, sillä se sijoitettiin penkin alle. Lisäksi ääritilanteessa on mahdollista, että kytkimen koskettimet hitsautuisivat kiinni. Virtajohdot mitoitetaan maksimivirran mukaan ja johtimien virrankesto selviää johdon toimittajan tiedoista. Järjestelmä on suojattu sulakkeilla (48 V, DC-DC, 12 V).



Kuva 14. Valmis sähkömoottorilla varustettu moposkootteri



Kuva 15. Penkin alle asennettu tekniikka. Akun ohjainlaite ja päävirtakytkin.



Kuva 16. Sähkömoottori

Skootterin ulkonäkö ei juurikaan muuttunut. Ainoa asia mistä uuden voimanlähteen voi päällepäin tunnistaa on sähkömoottori ja puuttuva pakoputki.



### 5.3 Työskentely sähkökomponenttien kanssa

Sähkökomponenttien kanssa työskennellessä on hyvä tarkistaa kytkennät useaan kertaan ennen virtojen kytkemistä. Mahdollisuuksien mukaan on myös hyvä käyttää jännitetyöhön tarkoitettuja työkaluja. Jännitetyössä käytettävissä työkaluissa metalliset osat ovat tavanomaista paremmin eristettyjä. Lisäksi suojakäsineiden ja -lasien käyttö on erittäin suositeltavaa. Akkua rakennettaessa on hyvä peittää akun kaikki muut pinnat, paitsi ne mitä kerrallaan pystytään käsittelemään. Esimerkiksi akun napojen suojaus on varma tapa suojata akku. Akun napojen peittäminen tekee työskentelystä huomattavasti turvallisempaa. Akun alla on lisäksi hyvä käyttää sähköä johtamatonta alustaa, esimerkiksi kumimattoa, sillä esimerkiksi liikainen tai metallipurua sisältävä pöytä saattaa johtaa sähköä ja saada aikaan oikosulun jännitteisissä osissa. Oikein rakennettuna litium-akku on kuitenkin hyvä ja tehokas energiavarasto, joka kestää pitkään.

Akun käyttöön liittyy vain vähän riskitekijöitä. Akkua irrottaessa ja kiinnittäessä moposkootteriin on hyvä tarkistaa ennen liittämistä, että liittimet ja johdot ovat ehjiä, eikä esimerkiksi johdon kuori ole vaurioitunut missään vaiheessa. Ennen akun irrottamista on hyvä kytkeä virrat pois sekä virtalukosta että päävirtakytkimestä. Näin varmistetaan, että akusta ei kulje enää virtaa eteenpäin ja akku on turvallista kytkeä irti. Akkuun ei saa myöskään kohdistaa kovia iskuja, sillä vaurioitunut kenno on aina paloturvallisuusriski. Akkuja on lisäksi hyvä säilyttää mahdollisuuksien mukaan huoneenlämpöisessä tilassa, mikäli ajoneuvossa ei ole erillistä jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmää akulle. Akkua ei sovi altistaa koville lämpötiloille ja lämpötilaa on myös syytä valvoa lataus- ja purkutilanteissa.

## 6 POHDINTAA

### 6.1 Massa

Moposkootterin massa pysyi muutoksen myötä lähes alkuperäisenä, eikä painopistekään muuttunut.

Taulukko 4. Massa ennen ja jälkeen muutoksen

	Ennen	Jälkeen
Etuakseli kg	37,4	37,4
Taka-akseli kg	53,4	54,6
<b>Yhteensä</b>	90,8	92

Tehdyt muutokset eivät siis vaikuttaneet moposkootterin ajettavuuteen massojen suhteen. Alkuperäinen ajoneuvon massa on mitattu ilman nesteitä, joten täydellä polttoaine- ja öljytankilla massa ylittäisi muutamalla kilolla sähköversion massan. Vanhan moottorivariaattoriyhdistelmän mukana poistui paljon massaa, mutta uusi moottori 16 kg ja akusto 10,4 kg kompensoivat sen. Painopisteen ja ajettavuuden kannalta olisi akusto ollut paras sijoittaa mahdollisimman lähelle maata, mutta tässä tapauksessa sille ei ollut tilaa muualla kuin penkin alla. Akku sijaitsee tankin kohdalla, joten painopiste korkeussuunnassa on hyvin lähellä alkuperäistä. Sähkömoposkootterin massajakauma ja massakeskipiste pysyvät koko käytön aikana samana. Polttomoottorimoposkootterissa painopisteen paikkaan ja kokonaisuuteen vaikuttaa polttoaineen ja öljyn määrä. Polttoainekäyttöisen moposkootterin ajettavuus on erilainen täydellä ja tyhjällä tankilla. Polttoaineen määrän muutosta ei siviiliikenteessä todennäköisesti huomaa, mutta massan muutos on huomionarvoinen asia esimerkiksi kilpikäyttöön tarkoitettussa ajoneuvoissa.

### 6.2 Teho

Moposkootterin nimellisteho pieneni huomattavasti, sillä vanha polttomoottori oli tehollaan 3,8 kW ja uusi sähkömoottori vain 1,5 kW. Moposkootterilla ei päästy ennen muutosta ajamaan, sillä se ostettiin moottorivikaisena. Tehoeroa, kiihtyvyyttä ja nopeutta ei pystytä tästä syystä täysin vertailemaan, mutta arviot voidaan perustaa aiempaan kokemukseen L1e-luokan ajoneuvoista.

Uuden sähkömoottorin teho on täysin riittävä kyseiseen tarkoitukseen ja se riittää liikuttamaan painavaakin kuljettajaa isossakin ylämäessä. Moposkootteri on rekisteröity yhdelle henkilölle, joten yhtä ihmistä isompaa kuormaa sillä ei ole tarkoituskaan liikuttaa. Sähkömoposkootteri kiihtyy kohtalaisen hyvin ja maksiminopeus on 45 km/h, joten se vastaa täysin ajoneuvoluokkansa vaatimuksia. Moposkootteri kulkee samalla tavalla kuin polttoainekäyttöinenkin, vaikka sen teho on huomattavasti pienempi. Sähkömoottorin vääntö on hyvä ja napamoottorin hyötysuhde on korkea. Tämä kompensoi osaltaan tehoeroa. Bensiinimoottorin käyttämässä variaattorissa menee paljon energiaa hukkaan, sillä siinä on monia liikkuvia osia sekä luistava variaattorin hihna. Sähkömoottorilla saavutetaan sama suorituskyky huomattavasti pienemmällä teholla.

### 6.3 Huoltaminen ja korjaaminen

Muutosten myötä moposkootterin huollon tarve vähenee huomattavasti, sillä sähkömoottori ja sen ohjainlaitteet ovat täysin huoltovapaita. Alkuperäisessä 2-tahtimoottorissa ei ollut tuorevoitelun ansiosta vaihdettavia öljyjä, mutta polttoaine- ja sytytysjärjestelmä vaatii säännöllistä huoltoa ja osien vaihtoa. Liitteessä 1 on esitetty huolto-ohjelman mukaiset toimenpiteet. Sähkömoposkootterin huoltaminen on huomattavasti helpompaa ja edullisempaa, sillä polttomoottorikäyttöisen moposkootterin huoltotoimenpiteistä suurin osa koskee nimenomaan moottoria ja polttoainejärjestelmää. Sähkömoottorilla toimivassa ajoneuvossa vaihdettavien osien ja nesteiden määrä on minimoitu ja se tekee huoltamisesta hyvin edullista.

Sähkömoottorin ja ohjainlaitteen huonona puolena on se, että vikatilanteessa ne eivät ole korjattavissa. Sähkömoottoriin ainoat vaihdettavissa olevat osat ovat laakerit. Ohjainlaite puolestaan sisältää ainoastaan sähkökomponentteja, joten vikojen diagnosointi ja korjaaminen vaatii erikoisosaamista. Oletuksena kuitenkin on se, että oikein asennettuna ja käytettynä komponentit kestävät mopon käyttöiän. Akuston arvioitu kesto on 1000 lataussykliä, joten voidaan olettaa, että se joudutaan osittain uusimaan ajoneuvon käyttöaikana, sillä kennot olivat käytettyjä. Omavalmisteakun hyviä puolia on se, että akku on tarvittaessa purettavissa ja yksittäinen huono kenno voidaan vaihtaa. Yksittäisen kennon vaihtaminen on kuitenkin erittäin työläs operaatio, sillä juotoksia joudutaan purkamaan useita.

Projektissa käytettyjen komponenttien saatavuudesta jatkossa ei ole täyttä varmuutta. Voidaan kuitenkin olettaa, että sähköajoneuvojen yleistyessä, esimerkiksi moottorien ja ohjainlaitteiden hinnat laskevat, kun kilpailua saadaan markkinoille enemmän.

#### 6.4 Polttoaineen kulutus ja kustannukset

Sähkömoposkootterin hyöty tulee parhaiten esiin polttoainekustannuksissa. Seuraavassa taulukossa on esitetty vertailua energian hinnalle bensiinin 98E ja sähkön välille.

Taulukko 5. Ajokustannusten vertailu

Bensa- ja sähköskootterin ajokustannusten vertailu		
Bensaskootteri		Sähköskootteri
3,70 l	Kulutus/100km	2,90 kWh
1,58 €/l*	Polttoaineen hinta	0,05 €/kWh**
5,83 €	Polttoaineen hinta €/100km	0,16 €
4000 km	Ajomäärä vuodessa	4000 km
233,25 €	Polttoaineen hinta vuodessa	6,30 €

\*Bensiinin hinta 1,576 €/l polttoaineen keskihinta 3.11.2019 Turun seudulla (Polttoaine.net 2019).

\*\*Sähkön hinta 5,43 snt/kWh 7 vuorokauden keskihinta pörssisähköstä 3.11.2019 (Nordpool 2019).

Vuotuinen ajomäärä on arvio siitä, että 19 km työmatka ajettaisiin viiden kuukauden ajan moposkootterilla, lisäksi muuta satunnaista ajoa. Kuten taulukosta 5 nähdään, on sähkömoposkootterin ajokustannukset erittäin edulliset. Verrattaessa polttoaineen hintaa sähkön hintaan, on sähkön hinta energianlähteenä vain murto-osan bensiinin hinnasta.

Sähkömuunnoksen tekeminen on ensikertalaiselle vaativa ja aikaa vievä työ. Työtä vaikeuttaa se, että Traficomien määräykset ovat hyvin tulkinnanvaraisia, eivätkä ne sisällä varsinaisia ohjeita esimerkiksi muutoksastuksen vaatimuksiin. Traficom ei myöskään anna kysyttäessä ohjeita, vaan ohjaa asiakkaan katsastuskonttorin puoleen. Tämän kaltaisen harvinaisen muutoksastuksen osalta on harvalla katsastusmiehellä kokemusta, joten vaatimuksista ei saa myöskään katsastuskonttorilta välttämättä heti suoraa vastausta. Tästä syystä tiedonsaanti myös katsastuskonttorilta oli varsin heikkoa. Kaiken kaikkiaan aikaa projektin valmiiksi saamiseen meni noin 250 tuntia, tiedonhaku mukaan lukien.

Kyseisen skootterin hinnaksi tuli noin 1550 €, ilman viranomaiskuluja. Summaa olisi ollut varaa pienentää vielä 200-300 €, sillä osan komponenteista olisi voinut hankkia edullisemminkin. Mahdollisia säästökohteita ovat esimerkiksi halvempi ohjainlaite, jota ei pysty itse ohjelmoimaan ja jossa ei ole regenerointiominaisuutta, pienempitehoinen moottori ja mittaristo, jossa on vähemmän toimintoja. Koska skootteri jäi omaan käyttöön, päätettiin olla säästämättä edellä mainittujen komponenttien kohdalla. Huomattava säästö syntyi myös käytettyjen akkujen käytöllä, sillä uuden akuston hinta olisi ollut 300-500 €. Seuraavassa taulukossa on esitetty pääkomponenttien hinnat.

Taulukko 6. Komponenttien hinnat sisältäen mahdolliset tullimaksut

Komponentit	Hinnat €
Mittaristo	120,00
DC-DC muunnin	43,72
Moottori	414,88
Bms	69,07
Ohjausyksikkö	365,17
Mopo	100,00
Muut	423,68
<b>Yhteensä</b>	<b>1536,52</b>

Moottori ja ohjainlaite muodostavat suurimman osan loppusummasta (Taulukko 6). Mopo saatiin edullisesti, sillä se ostettiin moottorivikaisena. Pääkomponenttien lisäksi rahaa kului muun muassa sähkötarvikkeisiin (johtimet, liittimet, nikkelinauhat), teräsosiin, maaliin, lasikuitutarvikkeisiin ja kaasukahvaan.

Muunnosten tekeminen liiketoimintana ei ole välttämättä kannattavaa tämän hintaluokan ajoneuvoihin, sillä uusien sähköskoottereiden hinta on alkaen 1900 €. Projekti on kuitenkin tekijälleen erittäin antoisa, joten aiheesta kiinnostunut voi saada itselleen rakennettua sähkömoposkootterin uutta edullisemmin. Ajoneuvon muunnoksen tekemiseen käytettiin paljon työtunteja. Käytetty aika todennäköisesti puolittuisi, mikäli rakennettaisiin toinen samanlainen skootteri, sillä tiedonhaku ja suunnittelu vei runsaasti aikaa.

Liiketoimintana kannattavaa skoottereiden muunnoksista voisi tehdä se, että muunnokseen tarvittavia komponentteja ostettaisiin suuria eriä, jolloin yksittäisen komponentin hintaa saataisiin halvemmaksi. Lisäksi valmistettavia osia kuten johtosarjaa ja takahaarukkaa voitaisiin tehdä sarjatuotantona, mikä lyhentäisi yhden komponentin valmistusaikaa huomattavasti. Valmis konsepti toimii kuitenkin vain kyseiseen malliin. Liiketoiminta-

mielessä asia vaatisi perehtymistä markkinoihin ja selvitystä siitä, ovatko ihmiset ylipääntään valmiita maksamaan lähes uuden skootterin hintaa käytettyyn runkoon valmistetusta skootterista.

## 6.5 Käytettävyys ja vertailu polttoainekäyttöiseen malliin

Sähkömoposkootterin testiajoilla mitattu kulutus on keskimäärin 29 Wh/km, eli 2,9 kWh/100km. 1179 Wh akulla tämä tarkoittaa noin 40 km toimintasädettä. Tämä riittää hyvin esimerkiksi päivittäiseen työ- ja koulumatka-ajoon. Testilenkeillä ajettiin sama reitti edestakaisin, jolloin ylä- ja alamäkien vaikutus kulutukseen saatiin minimoitua. Toimintasäde on kuitenkin jokseenkin lyhyt, eikä skootteri sovellu pidempien matkojen taittamiseen. Skootterin jäädessä omaan käyttöön, toimintasäde ei kuitenkaan koidu ongelmaksi, sillä alkuperäinen tavoite oli rakentaa moposkootteri, jolla voi ajaa päivittäisen työmatkan 19 km yhdellä latauksella. Tähän matkaan akku riittää juuri ja juuri, mutta halutessaan voi akkua ladata myös työpaikalla työpäivän aikana. Toimintasädettä pystyttäisiin kasvattamaan rakentamalla toinen mukana kulkeva akku, joka voitaisiin sijoittaa esimerkiksi takalaaatikkoon. Toinen mahdollisuus olisi rakentaa kokonaan uusi akusto käyttämättömistä kennoista, jolloin voitaisiin samalla kennomäärällä saavuttaa arviolta 60 km toimintasäde.

Akusto lämpeni testiajoilla maksimissaan 40 °C:een. Koeajot suoritettiin pääasiassa syyskeleillä, jolloin ulkolämpötila oli 5-15 °C. Akustosta rakennettiin erittäin tiivis paketti ja lämpenemisestä voi lämpimämmällä ilmalla tulla ongelma.

Akun lataaminen 5 A latausvirraltaan olevalla laturilla kestää tyhjästä täydeksi noin viisi tuntia. Latausaikaa pystyttäisiin lyhentämään tehokkaammalla laturilla, mutta latausaika on riittävä lataamiseen esimerkiksi työpäivän aikana tai yöllä. Pienempi latausvirta pidentää lisäksi kennojen käyttöikää ja aiheuttaa vähemmän lämpörasitusta. Kennot kestävät pääsääntöisesti noin 1,5 A latausvirran kennoa kohti, joten rakennettua akkua voitaisiin ladata huoletta myös esimerkiksi 15-20 A laturilla. Tällöin latausaika lyhenisi 1-2 tuntiin. Tehokkaat laturit ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia, joten tässä kohtaa tyydyttiin pienempitehoiseen laturiin.

Verrattuna alkuperäiseen polttoainekäyttöiseen moposkootteriin, on sähkömoposkootterissa kulutuksen lisäksi muitakin hyötyjä. Kaksitahtimoottorista lähtee voimakas haju,

joka johtuu pääasiassa polttoaineen mukana palavasta öljystä. Hajun lisäksi kaksitahtikoneista lähtee kovaääninen melu. Sähkömoottorilla liikkuvasta moposkootterista kuuluu ainoastaan rengasmelu ja sähkömoottorista kuuluva hiljainen vihellyksenomainen kiemeä ääni. Sähköskootterilla voi huoletta ajaa asuinalueella ilman, että melu tai haju häiritsee muita ihmisiä.

Polttoainekäyttöisen skootterin hyvinä puolina on kuitenkin nopea tankkaus, sekä pidempi toimintamatka. Tankkaus ja toimintasäde ovat edelleen sähköajoneuvojen suurimmat kehityskohteet, mutta sähköajoneuvot ovat tänä päivänä jo täysin käyttökelpoisia. Polttoainekäyttöisessä moposkootterissa on lisäksi suurempi tavaratila, sillä sähköskootterin penkkilaatikko on täynnä elektroniikkaa. Kyseisen moposkootterin tavaratila oli kuitenkin alun perinkin suhteellisen pieni, eikä sinne mahtunut esimerkiksi kypärää.

#### 6.6 Vertailu kaupalliseen sähköversioon

Sähkökonversion onnistumista ja ominaisuuksia on helppo arvioida vertaamalla sitä kaupalliseen sähkömoposkootteriin. Vertailun kohteena käytetään hintaluokan halvimmaasta päästä olevaa moposkootteria.



Kuva 17. Kaupallinen skootteri (Bike & Boat World a 2019) ja omavalmiste

Taulukko 7. Vertailu Niu U Pro (Bike & Boat World a 2019) ja omavalmiste Peugeot Speedfight

	<b>Niu U Pro</b>	<b>Peugeot Speedfight</b>
Hinta	1 990,00 €	1 536,52 €
Jatkuva teho	800W	1500W
Maksimiteho	1500W	2000W (rajoitettu 1500W)
Huippunopeus	44 km/h	45km/h
Akku	48V 21Ah	48V 24,67Ah
Toimintasäde	30-40km	40km
Latausaika 100%	7h	5h

Taulukossa 7 on vertailtu edullisimmasta päästä olevaa Niu U Pro-moposkootteria ja omavalmisteena rakennettua Peugeot Speedfightiä. Niu U Pro on alimpaa hintaluokkaa edustava sähkömoposkootteri. Kuten taulukosta nähdään, vastaa omavalmisteskootteri monelta osalta kaupallista versiota ja on osittain jopa parempi. Itse rakennetusta sähkömoposkootterista tuli huomattavasti halvempi, mutta toisaalta siihen käytettiin runsaasti aikaa. Moottori on molemmissa moposkoottereissa napamoottori, joten molemmissa on hyvä hyötysuhde. Omavalmisteskootteriin valittiin huomattavasti tehokkaampi moottori, mutta teho on rajoitettavissa. Kaupallisessa versiossa on hieman pienemmän kapasiteetin akku, mutta pienemmän tehon johdosta toimintasäde on suurin piirtein sama. Molemmissa moposkoottereissa on irrotettava akku, mutta Peugeottiin valittiin hieman tehokkaampi laturi.

Kaupallisiin kalliimpiin sähkömoposkootteriin verrattuna toimintasäde on hieman huonompi, sillä moposkoottereiden toimintasäde voi olla jopa 100 km, (Bike & Boat World b 2019). 100 km toimintasäde olisi mahdollista toteuttaa uudella akustolla.

Omavalmisteskootterin hyviä puolia sen sijaan on sen säädettävyyt. Itse ohjelmoitavan ohjainlaitteen arvoja voi muuttaa halutessaan vaikka jokaiselle ajokerralle, sillä operaatio on hoidettavissa kannettavalla tietokoneella parissa minuutissa. Säädettäviä arvoja ovat esimerkiksi kaasukahvan toiminta, teho, kiihtyvyys, energiantalteenotto, vakionopeuden säädin, peruutusvaihte ja nopeus. Kaasukahvan toimintaan on useita vaihtoehtoja, mutta pääasiassa ohjainlaitteella pystyy säätämään, onko kaasukahvan liike suhteessa haluttuun tehoon lineaarinen vai eksponentiaalinen. Kaasukahvan liikkeen pituutta pystyy myös halutessaan säätämään, esimerkiksi siten, että halutaanko maksimiteho kääntämällä kahvaa 30° vai 60°.



Maksimiteho on rajoitettavissa halutun maksimivirtamäärän avulla. Maksimivirta on olennainen arvo akuston keston kannalta, mutta sillä voidaan myös alentaa mopon tehoja toimintasäteen maksimoimiseksi. Myös minimivirta on säädettävissä ja se vaikuttaa olennaisesti ajoneuvon lähtökihtyvyyteen. Minimivirta voidaan säätää esimerkiksi kaupunkiajoon sopivaksi. Pieni minimivirta mahdollistaa hitaan ajonopeuden ilman nykimistä.

Yksi ohjainlaitteen hienoimmista ominaisuuksista on energian talteenotto eli regenerointi. Regeneroinnilla voidaan ottaa virtaa takaisin akkuun, hyödyntäen moottorijarrutusta. Regeneroinnin toiminta on muiden ominaisuuksien tapaan täysin itse ohjelmoitavissa. Regeneroinnin säädettäviä arvoja ovat latausjännite ja latausvirta. Latausjännite säädetään akuston maksimijännitettä vastaavaksi ja latausvirta maksimissaan akuston maksimilatausvirtaa vastaavaksi. Virran suuruus vaikuttaa suoraan moottorijarrun tehokkuuteen, joten arvon säätäminen maksimiin ei välttämättä ole paras vaihtoehto, sillä jarrutus on tällöin erittäin kova. Regeneroinnille asennettiin moposkootteriin oma käyttökytkimensä, jotta regenerointia voidaan käyttää ilman varsinaisia jarruja. Tällä tavoin maksimoitiin jarruenergian talteenoton hyöty.

Ohjainlaitteessa on myös valmius peruutusvaihteelle sekä vakionopeudensäädölle. Molemmat olisivat toteutettavissa liittämällä ohjainlaitteeseen ohjauskytkimet molempia ominaisuuksia varten. Nämä todettiin tässä projektissa kuitenkin tarpeettomiksi, mutta niitä on tulevaisuudessa mahdollisuus halutessaan hyödyntää. Moottorin pyörintänopeus on yhtä lailla säädettävissä ja sitä madaltamalla voitaisiin maksimoida hyötysuhde sopivalle pyörintänopeudelle. Maksimipyörintänopeus asetettiin vastaamaan moottorin maksimipyörintänopeutta.

Itse rakennetusta sähkömoposkootterista saa siis tehtyä omaan tarpeeseen ja mieltymykseen sopivan, toisin kuin kaupallisesta versiosta.

## 7 YHTEENVETO

Kokonaisuudessaan projekti on onnistunut, sillä se täyttää projektin alussa ajatellut tavoitteet. Tavoitteina oli rakentaa moposkootteri, jolla on mahdollista ajaa 19 km matka edestakaisin yhdellä latauksella. Toisena päätavoitteena oli rakentaa moposkootteri halvemmalla kuin mitä kaupallinen versio olisi maksanut. Tavoiteltu toimintasäde täyttyi juuri ja juuri, mutta kustannukset jäivät huomattavasti alle halvimman kaupallisen skootterin.

Akuston kapasiteetti jäi hieman alhaiseksi, mikä oli toisaalta odotettavissa käytettyjen akkukennojen takia. Toimintasäde olisi samalla määrällä uusia akkukennoja hieman parempi, mutta kallis toteuttaa. Toimintasädettä voitaisiin parantaa myös rakentamalla toinen samankokoinen akku ja sijoittaa se esimerkiksi takalaatikkoon. Tällä tavalla ajoneuvon toimintasäde saataisiin helposti tuplattua.

Rakennukseen käytettiin runsaasti aikaa ja mahdollisuuksien mukaan osia valmistettiin paljon itse. Moposkootterin alkuperäinen moottori ja polttoainejärjestelmä korvattiin sähkömoottorilla ja akustolla. Tarvittavia osia valmistettiin 3D-tulostamalla, kuiduttamalla ja hitsaamalla.

Sähkömoposkootterin ajo-ominaisuudet ovat hyvät ja ajokustannukset pienet. Muunnoksen ansiosta myös huollon tarve väheni. Sähkömoposkootterilla ajaminen on lähes ilmaista ja sillä on mahdollista vaikuttaa fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen.

Ominaisuuksiltaan omavalmisteinen sähkömoposkootteri vastaa kaikin puolin markkinoilla olevia halvimpia sähkömoposkoottereita ja on osin ominaisuuksiltaan jopa parempi. Erona kaupallisiin sähkömoposkoottereihin on parempi säädettävyys.

## LÄHTEET

- 3D Prima. PETG Filament Description. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.3dprima.com/filaments/petg-1-75mm/primaselect-petg-1-75mm-2-3-kg-solid-black/a-21775/>
- Ajoneuvolaki 1090/2002. Annettu Helsingissä 11.12.2002  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20021090>
- AVDweb. 2018. Permanent magnet DC electric motor tuning. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.avdweb.nl/solar-bike/hub-motor/permanent-magnet-dc-hub-motor-tuning#h2-electric-motor-theory>
- Bike & Boat World a. Niu U Pro tuotetiedot. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.bikeworld.fi/sahkomoottoripyorat/niu-sahkoskootterit/niu-u-pro>
- Bike & Boat World b. Niu M+ Sport tuotetiedot. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.bikeworld.fi/sahkomoottoripyorat/niu-sahkoskootterit/niu-m-sport>
- Binios, A. 2015. Pätevyysvaatimukset sähköajoneuvojen korjaukselle ja huollolle EU-maissa. Opinnäytetyö. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.11.2019  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90392/Binios\\_Alexandros.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90392/Binios_Alexandros.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Deligreen. Tuoteinfo. Viitattu 5.11.2019  
<http://www.deligreenpower.com/deligreen-products/119-en.html#ad-image-2>
- Euroopan ympäristökeskus. 2019. Sähköajoneuvot: fiksu valinta ympäristön puolesta. Viitattu 7.11.2019  
<https://www.eea.europa.eu/fi/articles/sahkoajoneuvot-fiksu-valinta-ympariston-puolesta>
- Golden Motor. Sine Wave Controllers wiring harness diagram. Viitattu 7.11.2019  
<https://www.goldenmotor.com/controllers/VEC%20Controller%20Wiring%20Diagram.jpg>
- Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-Kustannus Oy
- K1 Katsastus Ylöjärvi. 2019. Sähköpostikeskustelu 24.5.-28.5.2019
- Karsimus, H. Teknologia teollisuus ry. 2019. Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2018. Viitattu 5.11.2019  
[https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/file\\_attachments/sahkoinen\\_liikenne\\_tilannekatsaus\\_2018\\_q4\\_20190214\\_jaettava.pdf](https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/file_attachments/sahkoinen_liikenne_tilannekatsaus_2018_q4_20190214_jaettava.pdf)
- Kiinteistöliitto Pirkanmaa. 2019. Sähköpyörien lataaminen taloyhtiössä. Viitattu 7.11.2019  
<https://pirkanmaa.kiinteistoliitto.fi/uutiset/nayta/?id=7244>
- Kunnari, J. 2018. Muuntamon monitorointilaitteiston mittauselektronikka. Opinnäytetyö. Tietotekniikan koulutusohjelma. Vaasa: Vaasan Ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.11.2019  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144100/Jussi\\_Kunnari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144100/Jussi_Kunnari.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lemire-Elmore, J. 2013. The Cycle Analyst V2.3 User Maual. Viitattu 5.11.2019  
[https://www.ebikes.ca/documents/CycleAnalyst\\_V23Web.pdf](https://www.ebikes.ca/documents/CycleAnalyst_V23Web.pdf)

- Liutu, M. 2009. NiCd- ja NiMH-akkujen testaus. Opinnäytetyö. Elektroniikan koulutusohjelma. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/6501/lt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Luukkanen, J. 2018. Sähköauton tekniikkaa osa 1: Akkukemiaa. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.jokamies.fi/sahkoauton-tekniikkaa-osa-1-akkukemiaa/>
- Markkinoilla olevat sähköskootterit. Viitattu 5.11.2019  
[https://www.nettimoto.com/skootteri/myydaan?show\\_search=1&eng\\_type=4&mileageTo=1000&veh\\_reg=Y](https://www.nettimoto.com/skootteri/myydaan?show_search=1&eng_type=4&mileageTo=1000&veh_reg=Y)
- Mather, P. 2008. Peugeot Scooters Service and Repair Manual. Sparkford: Haynes Publishing
- Niemi, V. 2018. Sähköautojen tulipaloja ei voi sammuttaa samalla tavalla kuin bensa-autoja – Tämä on palokunnille uusi haaste. Viitattu 5.11.2019  
<https://tekniikanmaailma.fi/sahkoautojen-tulipaloja-ei-voi-sammuttaa-samalla-tavalla-kuin-bensa-autoja-tama-on-palokunnille-uusi-haaste/>
- Nordpool. Sähkön pörssihinta. Viitattu 3.11.2019  
<http://sahko.tk/>
- Perälä, O. 2019. Sähköavusteiset polkupyörät. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy
- Plugit. Sähköauton lataustavat. Viitattu 11.11.2019  
<https://plugit.fi/fi-fi/article/etusivu/sahkoauton-lataustavat/137/>
- Polttoaine.net. Polttoaineen hinnat Turun seudulla. Viitattu 3.11.2019  
[https://www.polttoaine.net/index.php?t=Turun\\_seutu](https://www.polttoaine.net/index.php?t=Turun_seutu)
- Tesla Model 3 toimintasäde. Viitattu 5.11.2019  
[https://www.tesla.com/fi\\_fi/model3](https://www.tesla.com/fi_fi/model3)
- Toll, M. 2017. DIY Lithium Batteries: How to Build Your Own Battery Packs
- Traficom 1078/2009. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus L-luokan ajoneuvon korjaamisesta ja rakenteen muuttamisesta 1078/2009. Annettu Helsingissä 15.12.2009. Saatavilla  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20091078>
- Traficom. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot ajoneuvoluokittain ja käyttövoimittain 31.12.2018. Viitattu 5.11.2019  
<https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot>
- Traficom. Moottoripyörien ja kolmipyörien prosenttitaulukko. Viitattu 7.11.2019  
<https://asiointi.trafi.fi/omatrafi-formservlet-web/lomake/C116>
- Tukes. Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC. Viitattu 5.11.2019  
<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc>
- Ziemann, M. 2017. Analyysi: Renkaat ja jarrut suurempi hiukkaspäästöongelma kuin pakokaasu. Viitattu 7.11.2019  
<https://yle.fi/uutiset/3-9470466>

## Huollon tarve (Mather 2008, 19)

	Bensiinikäyttöinen		Sähkökäyttöinen	
	5000 km välein	10 000km välein	5000 km välein	10 000km välein
Ilmansuodattimen vaihto	x			
Akun tarkistus	x		x	
Jarrunesteen tarkistus*	x		x	
Jarruletkujen tarkistus	x		x	
Jarruvipujen voitelu	x		x	
Jarrupalojen tarkistus	x		x	
Kaasuttimen puhdistus		x		
Kytinkellon tarkistus		x		
Jäähdytysjärjestelmän tarkistus**	x			
Sylinterikannen karstanpoisto		x		
Variaattorihihnan tarkistus	x			
Variaattorihihnan vaihto		x		
Tuorevoitelujärjestelmän tarkistus	x			
Öljynsuodattimen vaihto		x		
Polttoainejärjestelmän tarkistus	x			
Valojen ja töötin tarkistus	x		x	
Tyhjäkäynnin tarkistus ja säätö	x			
Poljinkäynnistyksen tarkistus		x		
Pulttien ja muttereiden kiristys	x		x	
Öljypumpun vaijerin tarkistus ja säätö	x			
Seisontatuen tarkistus ja voitelu	x		x	
Sytytystulpan kärkivälin tarkistus ja säätö	x			
Sytytystulpan vaihto		x		
Kaasuvaierin tarkistus ja säätö	x			
Peräöljyn määrän tarkistus		x		
Variaattorilautasten ja -rullien tarkistus	x			
Renkaiden tarkistus	x		x	
*Jarruneste vaihdettava 2 vuoden välein				
**Jäähdytinneste vaihdettava 2 vuoden välein				

## L-luokan ajoneuvojen osaluettelo (Traficom 2019)

Osaluettelo  
Moottoripyörä

Rekisteritunnus		Valmistenumero	
<b>Kunnostamisessa on käytetty osia seuraavista ajoneuvoista</b> Merkki, malli, valmistenumero, rekisteritunnus			
<b>Asiakas täyttää</b>		<b>Katsastaja täyttää</b>	
Osanimike	Mistä peräisin	Kanta-ajoneuvon osuus	Vaihdettujen osien osuus
<b>1. Moottori apulaitteinen</b> Moottori 1. kampikammio ja -koneisto 2. sylinteri ja männät 3. sylinterikannet			
- ensiöveto			
- vaihteisto			
<b>2. Runko</b> - apurunko			
<b>3. Takahaarukka, -akselisto ja -jousitus</b>			
- takahaarukka – tai akselisto			
- jouset ja iskunvaimentimet			
<b>4. Etuhaarukka</b> 1. T-kappaleet 2. teleskoopin sisäputket 3. teleskoopin ulkoputket			
<b>5. Pyörät</b>			
a) Moottoripyörät (L <sub>3e</sub> ja L <sub>4e</sub> ) 1. pyörän napa, etu 2. pyörän napa, taka 3. vannekehä, etu 4. vannekehä, taka			
a) Kolmipyörät (L <sub>3p</sub> ) 1. pyörän napa, etu 2. pyörän navat, taka 3. vannekehä, etu 4. vannekehät, taka			
<b>6. Polttoainesäiliö</b>			
<b>7. Istuin</b>			
<b>8. Pakoputkisto</b> 1. alkukäyrät 2. äänenvaimentimet			
<b>9. Ajovalot</b> 1. etuvalo 2. takavalot			
<b>Selvityksen oikeaksi vahvistaa</b> <input type="checkbox"/> ajoneuvon omistaja <input type="checkbox"/> ajoneuvon haltija Omistajan tai haltijan allekirjoitus, nimenselvennys ja osoite		<b>Yhteensä</b>	
Muutoskatsastuksen hakijan allekirjoitus, nimenselvennys ja osoite		Katsastustoimipaikan ja katsastajan nimi	
		Paikka ja pvm	

L 110 - 1/2019

Liikenne- ja viestintävirasto, PL 320, 00059 TRAFICOM • Y-tunnus 2924753-3 • www.traficom.fi

**Moottoripyörien ja kolmipyörien (L<sub>3e</sub>, L<sub>4e</sub> ja L<sub>5e</sub>-luokka) prosenttitaulukot**

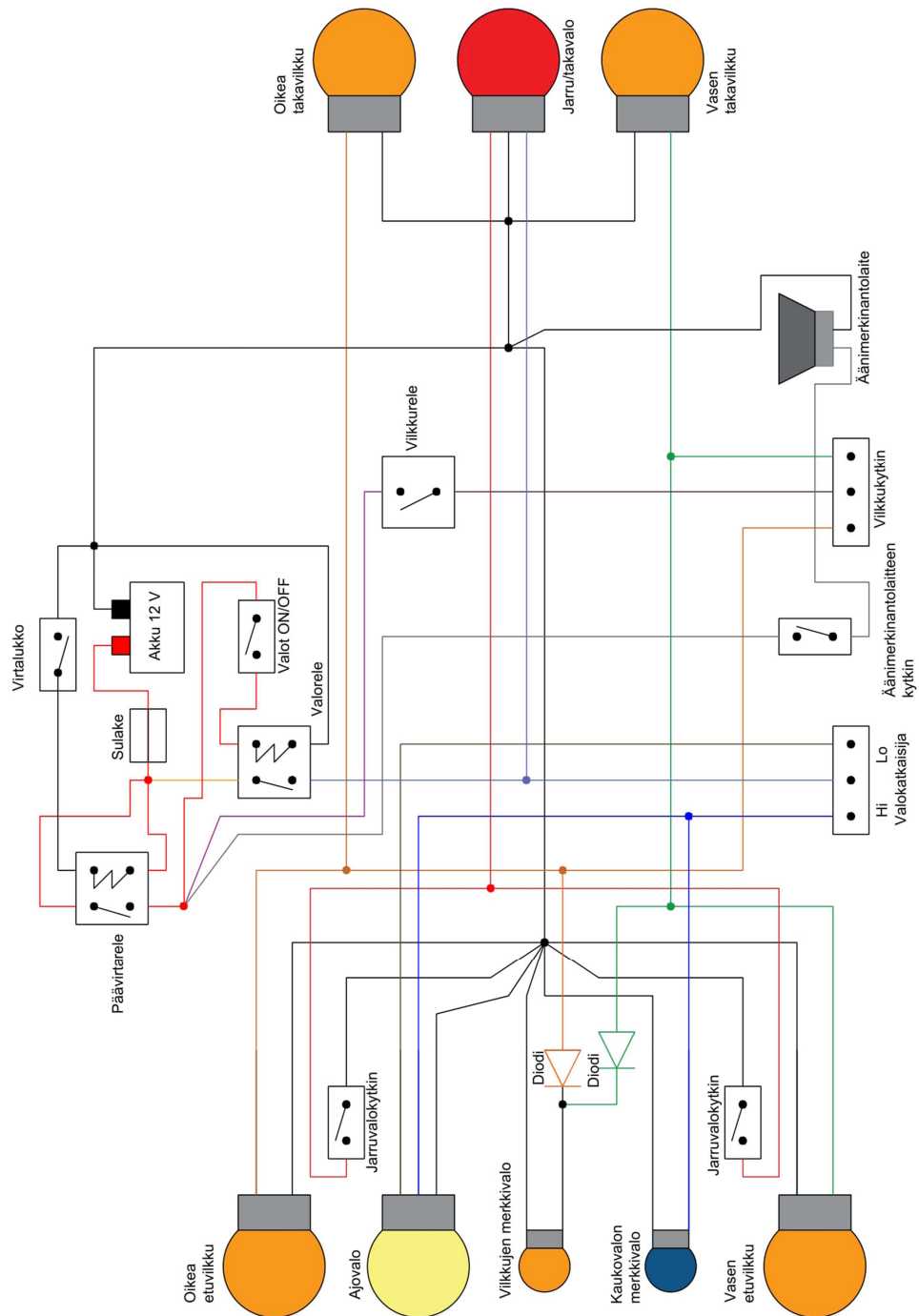
<b>1. Moottori apulaitteineen</b>	<b>28 %</b>	<b>5. Pyörät<sup>3</sup></b>	
- moottori	14 %	<b>a) Moottoripyörät (L<sub>3e</sub> ja L<sub>4e</sub>)</b>	<b>16 %</b>
- kampikammio ja -koneisto	8 %	- pyörän napa, etu	4 %
- sylinterit ja männät	3 %	- pyörän napa, taka	4 %
- sylinterinkannet	3 %	- vannekehä, etu	4 %
- ensiö veto	4 %	- vannekehä, taka	4 %
- vaihteisto	10 %	<b>b) Kolmipyörät (L<sub>5e</sub>)</b>	<b>16 %</b>
<b>2. Runko<sup>1</sup></b>	<b>28 %</b>	- pyörän napa, etu	4 %
- apurungon osuus	2 %	- pyörän navat, taka	2 % /kpl
<b>3. Takahaarukka, -akselisto ja -jousitus</b>	<b>8 %</b>	- vannekehä, etu	4 %
- takahaarukka tai -akselisto <sup>2</sup>	4 %	- vannekehät, taka	2 % /kpl
- jouset ja iskunvaimentimet	4 %	<b>6. Polttoainesäiliö</b>	<b>4 %</b>
<b>4. Etuhaarukka</b>	<b>8 %</b>	<b>7. Istuin</b>	<b>4 %</b>
- T-kappaleet	3 %	<b>8. Pakoputkisto</b>	<b>2 %</b>
- teleskoopin sisäputket	2 %	- alkukäyrät	1 %
- teleskoopin ulkoputket	3 %	- äänenvaimentimet	1 %
		<b>9. Ajovalot</b>	<b>2 %</b>
		- etuvalo	1 %
		- takavalot	1 %
		<b>Kohdat 1.-9. yhteensä</b>	<b>100 %</b>

<sup>1</sup> Jousittamattomalla taka-akselilla varustetun moottoripyörän rungon ja takahaarukan osuus on yhteensä 36 %. Jos jousitettu runko muutetaan jousittamattomaksi, kanta-ajoneuvon osuus pienenee 8 %.

<sup>2</sup> Kaksipyöräisissä (L<sub>3e</sub>-luokka) ja sivuvaunumoottoripyörissä (L<sub>4e</sub>-luokka) takahaarukka, kolmipyörässä (L<sub>5e</sub>-luokka) taka-akselisto.

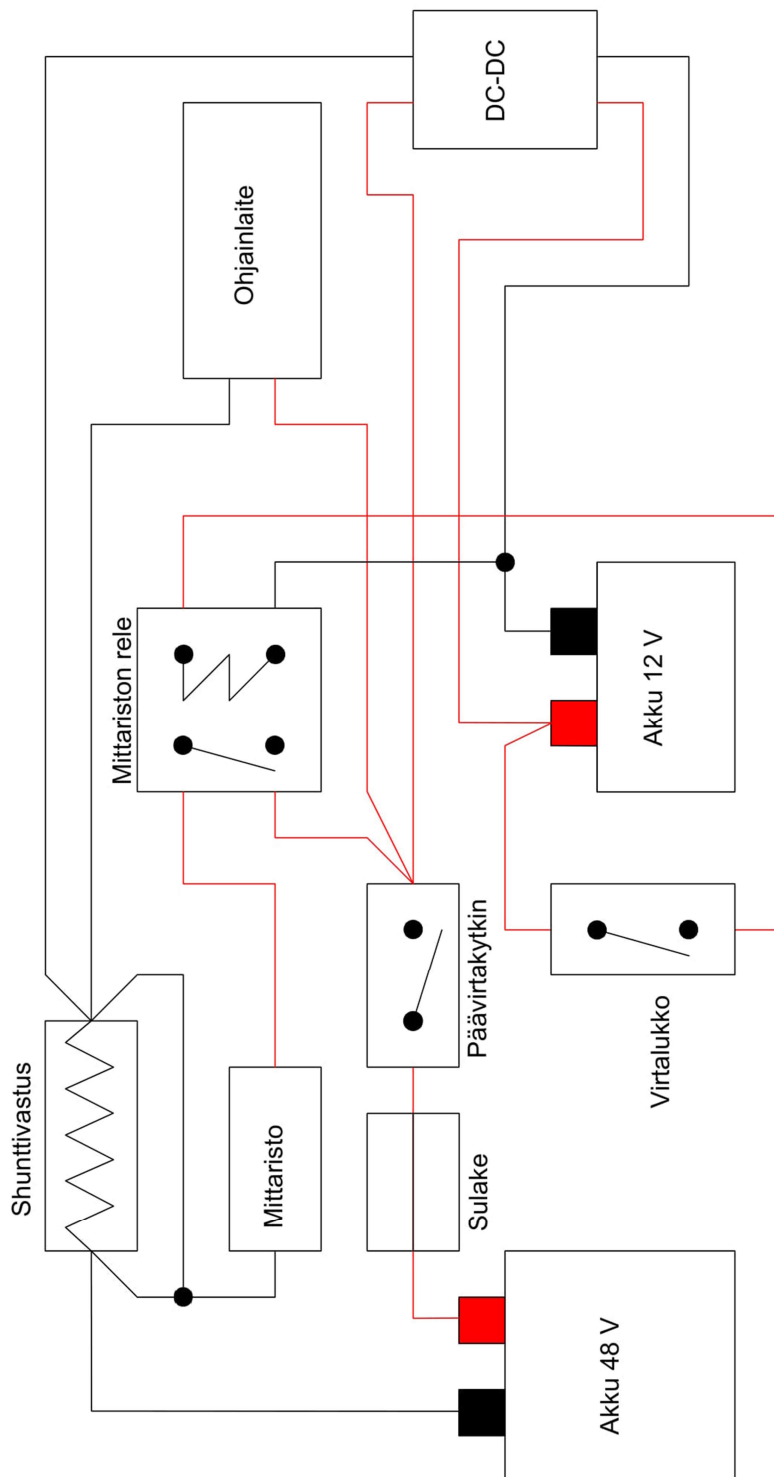
<sup>3</sup> Lukuun ottamatta jarruja.

# Kytentäkaavio



Valojen ja äänimerkinantolaitteen kytentä.





48 V järjestelmän kytkentä.

# Moottorin ja ohjainlaitteen kytkentä (Golden Motor 2019)

