

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2019

Kauri Könnö

# SÄHKÖKÄYTTÖINEN MÄKIRULLALAUTA



Kauri Könnö

## SÄHKÖKÄYTTÖINEN MÄKIRULLALAUTA

Opinnäytetyön aiheena on tutustua jalankulkua korvaavan ajoneuvon sähköistämiseen oma-valmisteen näkökulmasta. Tässä työssä toteutetussa mäkirullalaudassa on käytössä samaa teknologiaa pienoiskoossa, kuin mitä amerikkalaisen autovalmistaja Teslan autojen akustossa käytetään. Opinnäytetyössä käydään läpi mitä eri osia mäkirullalautaan on hankittu, ja mistä ne ovat saatavilla. Lisäksi esitellään, mitä muita komponentteja lautaan olisi voinut valita.

Sähkökäyttöinen mäkirullalauta voisi uudenaikaisena liikkuemuotona vähentää ilmastolle aiheutuvia rasituksia sähköistämällä osan ihmisen usein polttomoottorikäyttöisillä ajoneuvoilla käytämästä liikkumisesta. Mäkirullalauta on yleensä tarkoitettu kaupunkiajoon, jossa sen suhteellisen lyhyt toimintasäde ei koidu ongelmaksi. Kaikki elektroniikka on sijoitettu laudan alapuolelle, jolloin sen kanssa ei voi mennä maastoon, mutta tasaisella alustalla ajettaessa se on omimmillaan. Sen saa otettua mukaan esimerkiksi linja-autoon tai junaan, jonka jälkeen sillä voi kulkea loppumatkan asemalta määränpäähän.

### ASIASANAT:

Mäkirullalauta, sähkökäyttöinen, Li-Ion -akku

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

June 2019 | 27 pages, 1 page in appendices

Kauri Könnö

## ELECTRIC LONGBOARD

The objective of this thesis was to build an electric vehicle that could replace a student's journey to school and back. The longboard was chosen for the base of the build, to which the battery was connected and its balancing unit and motor with its control device. The battery was built to model American made Tesla's battery system in miniature. The thesis examines the different parts purchased for the board as well as the basic information needed to drive an electric board. Other options were compared as well.

The electric longboard being a new form of transportation could reduce the strain on the climate change by electrifying a part of the transportation for which a person normally would use his internal combustion engine car. Longboard is meant for urban driving where its relatively short range does not become a problem. All electronics is mount underneath the deck so the board is not suitable for off-road use but when one drives on tarmac only it does not pose a problem. The longboard can be taken on a bus or train, after which one can travel the last few kilometers with it from the station to the destination.

### KEYWORDS:

Longboarding, electrifying, Li-Ion battery

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 JALANKULKUA KORVAAVAT AJONEUVOT</b>	<b>7</b>
2.1 Liikkuminen Turun kaupungissa	7
2.2 Lainsäädäntö ja määräykset	7
2.3 Sähkökäyttöisiä jalankulkua korvaavia ajoneuvotyypppejä	8
2.4 Mäkirullalauta	10
2.4.1 Yleistä	10
2.4.2 Sähkökäyttöiset mäkirullalaudat	10
<b>3 SÄHKÖKÄYTTÖINEN MÄKIRULLALAUTA OMAVALMISTEENA</b>	<b>12</b>
3.1 Runko	12
3.2 Akusto	14
3.3 Ohjainyksikkö eli ESC	17
3.4 Moottori	18
3.5 Muut komponentit	20
3.5.1 Akun varauksen osoitin	20
3.5.2 Virtapainike	20
3.5.3 Latauslaite	21
3.5.4 Tarvikkeet	21
3.6 Kustannukset	22
<b>4 POHDINTA</b>	<b>23</b>
<b>5 LOPUKSI</b>	<b>26</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>27</b>

## LIITTEET

Liite 1. Omavalmisteisen sähkömäkirullalaudan sähkökaavio.

## KAAVAT

Kaava 1. Sähköjärjestelmän akuston kokonaisjännite	14
Kaava 2. Maksimitehon laskukaava	14
Kaava 3. Moottorin suurin kierrosluku	18
Kaava 4. Moottorin teho suurimmalla kierrosluvulla.	19
Kaava 5. Laudan laskennallinen huippunopeus.	19

## KUVAT

Kuva 1. Traficom luokittelua (Traficom 2019).	8
Kuva 2. Sähköpolkupyörä (Pixabay 2019).	9
Kuva 3. Sähköpotkulauta (Scooter Hut 2019).	9
Kuva 4. Torqueboards Caliber II -trukit. (Torqueboards 2019).	10
Kuva 5. Boosted Boards :n malli "Boosted Stealth" (Boosted Boards 2019).	11
Kuva 6. Evolve:n malli "Bamboo GTX All-Terrain" (Evolve Skateboards 2019).	11
Kuva 7. Trukkien kiinnitys, Torqueboards Caliber II.	12
Kuva 8. Pyörän laakerointi (Stoked 2015).	13
Kuva 9. Torqueboards:n dekki, trukit, pyörät ja sähkömoottori.	13
Kuva 10. Akut telineissään ja tasapainotusjohtimet.	15
Kuva 11. Akuston suojakotelo.	16
Kuva 12. Torqueboards 6355 -moottori.	18
Kuva 13. Akun varauksen osoitin (Amazon 2019).	20
Kuva 14. Virtapainike.	21
Kuva 15. Sähkömäkirullalauta valmiina.	23

# 1 JOHDANTO

Tyypillisen suomalaisen kaupunkialueen koosta ja rakenteesta johtuen kaupungissa liikkuja käyttää hyvin usein jonkinlaista liikkumisen apuvälinettä, koska etenkin välimatkat kaupungin lähiöistä keskusta-alueelle ovat suhteellisen pitkiä. Näitä matkoja suurin osa ihmisistä kulkee omalla autolla tai linja-autolla. Usein autolla liikkumisen heikkoutena on kaupungin keskusta-alueen parkkipaikkojen puute. Linja-autoliikenteessä taas huonona puolena on linja-aikataulujen sovittaminen liikkumisen rytmiin sekä se, että linja-autolla vain harvoin pääsee suoraan määränpään lähelle.

Opinnäytetyössä suunnitellaan ja rakennetaan eräänlainen pienoismalli autojen sähköjärjestelmästä. Työn avulla pääseekin tutustumaan myös sähköajoneuvojen tekniikkaan käytännön tasolla. Opinnäytetyön toisena motiivina on rakentaa ekologian kannalta hyvä, jalankulkua avustava päästötön kulkuneuvo. Etenkin suurkaupunkien ympäristössä on huomattavasti ilmansaasteita joinakin vuodenaikoina ja opinnäytetyössä rakennettava sähkökäyttöinen mäkirullalauta esitteleekin yhden konseptin lähes kokonaan päästöttömästä liikkumismuodosta. Opinnäytetyössä pyritään myös siis herättämään ajatuksia muissa ihmisissä, jotta he miettivätkin omia liikkumistapojaan.

Opinnäytetyössä käydään läpi, minkälaisia jalankulkua korvaavia sähköajoneuvoja on mahdollista rakentaa, mitä komponentteja mäkirullalaudan rakentamiseen tarvittiin ja mistä ne on hankittu. Lisäksi selvitetään, miksi juuri nämä komponentit on valittu tai mitä muita vaihtoehtoja niiden tilalle voisi valita.

## 2 JALANKULKUA KORVAAVAT AJONEUVOT

### 2.1 Liikkuminen Turun kaupungissa

Turun kaupungin ympäristöä on jo kauan haitannut henkilöliikenteeseen käytettävät ajoneuvot. Tätä on yritetty korjata esimerkiksi lisäämällä keskustaan enemmän pyöriteitä, mutta valtaosa ihmisistä kuitenkin valitsee mieluummin auton liikkuaakseen Turussa. Keskusta-alueelle on jouduttu jatkuvasti lisäämään autopaikkoja, näistä tuoreimpana esimerkkinä on juuri rakenteilla oleva toriparkki. Kaupungin ratkaisut autojen käytön vähentämiseen ovat olleet julkisen liikenteen parantaminen sekä pyöriteiden lisääminen. Linja-autolinjoja on lisätty ja vuorojen määrää kasvatettu. Turun kaupungissa toimii tällä hetkellä vasta vain yksi linja, joka on täysin sähköistetty, kun kaikki muut linjat toimivat dieselkäyttöisillä ajoneuvoilla. Kaupunkiin on myös viime vuosina tulleet kaupunkipyörät, jotka ovat toki jo askel päästöttömämpään liikkumiseen suuntaan. Ongelmana näissä pyörissä on se, että ne pitää ottaa ja jättää juuri niille tarkoitetuille paikoille ja nämä paikat eivät aina ole liikkujan lähtöpisteen tai määränpään lähetyvillä.

Mielestäni sähköistetty mäkirullalauta ja siihen rinnastettavat muut sähköiset kulkuvälineet ovat tulevaisuuden liikkumismuotoja, jolloin meidän ei tarvitse käyttää autoja muuhun kuin pitkän matkan kulkemiseen harvaan asutuille alueille. Valtaosan matkoista voisi kulkea julkisella liikennevälineellä kantaen lautta mukana, jonka jälkeen sillä voi kulkea loppumatkan. Omana tarpeenani oli, että voin helpottaa kulkemista muun muassa koulun ja kodin välillä. Lautaa voi säilyttää koulun kaapissa, jossa se on suojassa mahdolliselta ilkivallalta tai anastamiselta. Autoilijoille riittäisi näin enemmän autojen pysäköintipaikkoja, eritoten niille, jotka joutuvat tulemaan kouluun kauempaa.

### 2.2 Lainsäädäntö ja määräykset

Lainsäädännössä jalankulkua korvaavilla sähköajoneuvoilla tarkoitetaan sähkökäyttöisiä yksi- tai useampipyöräisiä henkilökuljettimia. Näihin lasketaan myös sähköpotkulaudat sekä muut vastaavat kevyet sähkömoottorilla varustetut ajoneuvot. Ne rinnastetaan jalankulkijoihin ja niitä koskee samat lait kuin jalankulkijoita. Niiden suurin sähköteho saa olla enintään 1 kW ja maksiminopeus 15 km/h. Näillä ajoneuvoilla saa liikkua jalkakäytävillä, eikä niille ole asetettu teknisiä vaatimuksia valojen tai heijastimien osalta.

ta. Jos ajoneuvolla halutaan kulkea kovempaa, silloin sen tulkitaan olevan kevyt sähköajoneuvo. Näitä kuitenkin koskee vaatimus, että niissä on oltava äänimerkinantolaitte, etuvalo sekä heijastin. Etuvalona voi käyttää esimerkiksi otsalamppua. Näillä muokkauksilla laite saa kulkea 25 km/h:n nopeutta, mutta maksimisähköteho on silti pidettävä alle 1 kW. Tällöin ajoneuvoa saa ajaa vain pyöräteillä ja niitä koskee polkupyöriä koskevat liikennesäännöt. Jos ajoneuvolla ajetaan vain kävelyvauhtia, saa sillä kuitenkin ajaa jalkakäytävällä. Ajoneuvossa saa olla istuin vain, jos se on liikuntarajoitteisen kuljettajan käytössä. (Traficom 2019.)

Suomen lain mukaan kaikki yli 50 V vaihtojännitteellä ja sen yli toimivat sähköiset ajoneuvot lasketaan korkeajänniteajoneuvoiksi. Koska moottori toimii vaihtosähköllä, on tämä otettava huomioon, vaikka akusto toimiikin tasasähköllä. Jotta ajoneuvossa käytettävää jännitettä voitaisiin nostaa, tarvittaisiin laudan valmistajalta riittävästi kokemusta sähköajoneuvoista. Tällöin voi anoa todistusta riittävästä ammattitaidosta, joka oikeuttaa työskentelyyn korkeajänniteajoneuvojen parissa. (Nurmi, Tapani 2015.)



Kuva 1. Traficom luokittelua (Traficom 2019).

### 2.3 Sähkökäyttöisiä jalankulkua korvaavia ajoneuvotyypppejä

Sähkökäyttöisiä jalankulkua avustavia laitteita on valmiina saatavilla sähköpolkupyörinä, sähkörullalautoina ja sähköpotkulautoina.



Sähköpolkupyörät ovat näistä kolmesta yleisin vaihtoehto (Kuva 2). Kalliit osat, jotka joutuisivat olemaan ulkona jatkuvasti, ovat alttiina anastamiselle. Pyörän saa lukittua helposti esimerkiksi lyhtypylvääseen ja akuston sekä ohjainlaitteen saisi pyörään kiinni, kunhan kotelon saa lukittua kiinni pyörään. Pyörää ei kuitenkaan voi ottaa mukaan linja-autoon tai junaan ilman lisämaksua. Lisäksi sen kotelon tiiviys on suunniteltava ja rakennettava erittäin huolellisesti torjumaan sateen ja roiskeveden tekniikalle aiheuttamia mahdollisia vaurioita.



Kuva 2. Sähköpolkupyörä (Pixabay 2019).

Valmiit kaupallisesti saatavilla olevat sähköpotkulaudat ovat muualla maailmalla jo leistyneet (Kuva 3). Sähköpotkulaudan valmistajat voivat suunnitella kokonaan uuden rungon potkulaudalle ja kätkeä sähkölaitteet sen sisään. Tavallisesti nämä osat ovat sähköpotkulaudoissa suojattu muovisilla koteloidilla.



Kuva 3. Sähköpotkulauta (Scooter Hut 2019).

## 2.4 Mäkirullalauta

### 2.4.1 Yleistä

Mäkirullalauta (eng. longboard) on rullalaudan näköinen kulkuneuvo. Se on kaikilta mitoiltaan perinteisempää rullalautaa isompi ja on pidemmän akselivälinsä ansiosta vakaampi ajettava suuremmissa nopeuksissa. 42 tuumaa on yleinen pitkän laudan pituus, sillä sitä pidemmät laudat alkavat olla hankalasti ohjattavia niiden pituuden vuoksi. Pisimmät saatavilla olevat laudat ovat 48:n tuuman pituisia. Kuten rullalautakin, longboardit koostuu laudan puisesta runko-osuudesta eli dekistä (eng. deck) sekä pyöräntuennasta eli trukeista (eng. truck), joihin pyörät laakeroidaan.

Lautoja saa eri joustoluokilla, jolloin dekissä olevien vanerikerrosten lukumäärä sekä materiaali vaihtelevat. Tällä voidaan laudan ajettavuutta sovittaa eri käyttötarkoituksiin. Dekki on tehty perinteisesti puusta, mutta vaihtoehtoisesti kalliimmissa laudoissa on käytetty lasikuidun ja puun sekoitusta. Kimmoisuus pysyy samankaltaisena kuin mitä pelkästään puusta valmistetuissa laudoissa olisi, mutta siitä saadaan huomattavasti kestävämpi. Trukit ovat usein valmistettu muotoon valetusta alumiinista ja niitä saa eri korkeuksina sekä leveyksinä. Tällä varmistetaan mahdollisimman monen eri pyöräkoon sopivuus lautaan. Normaalit longboardin renkaat ovat halkaisijaltaan noin 70-80 mm. Maastoon tarkoitetut renkaat ovat kooltaan huomattavasti isompia.



Kuva 4. Torqueboards Caliber II -trukit. (Torqueboards 2019).

### 2.4.2 Sähkökäyttöiset mäkirullalaudat

Sähkökäyttöisten mäkirullalautojen valmistajia ei tällä hetkellä ole kovinkaan monta, joten valinnanvaraa ei ole paljon. Tällä hetkellä yhden pisimmistä toimintasäteen omaavista kaupallisesti saatavilla olevista sähkölaudoista on Boosted Boards :n Boos-

ted Stealth. Sen tehomäärä on 2,1 kW ja toimintasäde 22,5 km. Laudan teho tulee ongelmaksi Suomessa, käyttäjä ei pysty säätämään käytettävää sähkötehoa ja lauta onkin liian tehokas Suomen tieliikenteeseen. ”Boosted Stealth” -laudan hinta on Euroopan suurimmassa sähköautojen myyntisivustolla 1700 € ja Suomeen tuotuna kokonaishintaan on lisättävä rahtikulut, jotka ovat 25 €. Laudan kokonaishinnaksi muodostuu siis 1725 €. (Boosted Boards 2019.)



Kuva 5. Boosted Boards :n malli ”Boosted Stealth” (Boosted Boards 2019).

Kaupallisesti saatavilla olevista vaihtoehtoista suurimmilla toimintasäteillä varustetut laudat valmistaa Evolve, jonka kaikissa laudoissa on vähintään 30 km toimintasäde. Näistä esimerkkinä on Bamboo GTX All-Terrain, jonka huippunopeus on 36 km/h. Tämä sähkölauda maksaa Suomeen tuotuna 2005 € Laudan huipputehoksi on ilmoitettu 3 kW, jota ei valitettavasti pysty säätämään. (Evolve Skateboards 2019.)



Kuva 6. Evolve:n malli ”Bamboo GTX All-Terrain” (Evolve Skateboards 2019).

### 3 SÄHKÖKÄYTTÖINEN MÄKIRULLALAUTA OMAVALMISTEENA

#### 3.1 Runko

Sähköistämistyön rungoksi tuli valituksi Junkyard:n valmistama mäkirullalautamalli, jonka muoto ja koko olivat sopivia tekniikan rakentamislustaksi. Laudan tulee olla riittävän suuri, jotta komponentteja ei joudu sijoittelemaan päällekkäin, vaan kaikki osat voi asentaa laudan dekkiä vasten. Laudan valinnassa tulee myös ottaa huomioon se, että mitä pidempi lauta on, sitä enemmän se tulee joustamaan akselien välistä, ellei sitä tue jollakin sopivalla rakenteella.

Opinnäytetyöhön valitun laudan dekki on valmistettu kahdeksasta vanerinpalasesta, jotka on liimattu yhteen. Mitä paksumpi lauta valitaan, sitä vähemmän se tulee joustamaan. Elektroniikan sijoittaminen kuitenkin helpottuu, koska lauta on jäykkä. Laudasta voi tulla kuitenkin myös liian jäykkä, sen kääntäminen vaikeutuu, jos runko ei anna yhtään periksi. Työhön valittu lauta joustaa lautailijan painon alla, mutta dekki tuetaan suojilla, jotka vähentävät joustoa hieman. Lauta on niin sanottu drop-through dekki, jossa trukkien yläosa pultataan laudan yläpuolelta ja loput trukin osista sen alapuolelle (Kuva 5). Tämä tuo laudan painopisteen alemmaksi, jolloin sen kanssa on helpompi tasapainotella. Tämä tietenkin pienentää maavaraa entisestään, joten lautaa ei voi käyttää kovin hankalissa maasto-olosuhteissa.



Kuva 7. Trukkien kiinnitys, Torqueboards Caliber II.

Laudassa käytettävät trukit ovat Torqueboards:n Caliber II trukit, jotka ovat leveimmät saatavilla olevat mallit. Niiden avulla lautaan saadaan enemmän pitoa ja se helpottaa laudan kanssa tasapainottelua. Torqueboards on muokannut Caliber II trukkeja paremmin sähkökäyttöön sopiviksi. Niitä on korotettu 1 mm sekä levennetty, jotta trukkiin olisi mahdollista asentaa jopa kaksikin sähkömoottoria. Tämä on kuitenkin mahdollista vain saatavissa olevalla leveimmällä versiolla. Trukkien säätämistä varten mukana on 8 mm:n korotuspala, jota olisi voinut käyttää cruiser-mallisessa dekissä. Korotuspalalla saadaan tarvittaessa lisää maavaraa laudan alle. Laakereina laudassa on käytössä 508rs-laakerit. Nämä ovat myös tilattu Torqueboardsilta, mutta niitä käytetään monissa eri pyörissä. Pyörän laakerointi on toteutettu kahdella trukin akselille asennetulla laakerilla (Kuva 6).



Kuva 8. Pyörän laakerointi (Stoked 2015).

Laudassa on käytössä Torqueboards:n ulkohalkaisijaltaan 90 mm pyörät, jolla saatiin takaisin maavaraa, joka menetettiin dekin valinnalla.



Kuva 9. Torqueboards:n dekki, trukit, pyörät ja sähkömoottori.

### 3.2 Akusto

Akusto koostuu 24 kpl Li-Ion -akkusoluja, jotka on sarjoitettu seuraavasti: 12-sarjassa x 2-rinnan, eli konfiguraatio on 12S2P (12 in Series, 2 in Parallel). Akut ovat 18650-akkuja, jotka toimivat nimellisellä 3,7 V jännitteellä. Lautaan päädyttiin asentamaan LG:n valmistamat HG2-akut niiden tehon sekä huokean hinnan vuoksi. Tällä järjestelyllä akuston kokonaisjännite on 44,4V eli se jää määräysten mukaisen korkeajännitteen 50 V alapuolelle (Kaava 1).

$$12 * 3,7 V = 44,4 V$$

Kaava 1. Sähköjärjestelmän akuston kokonaisjännite

Edellä mainitulla akkukytkenällä akuston sähkötehoksi muodostuu 1776 W (Kaava 2). Lauta ylittää siis määräysten mukaisen 1 kW:n tehoylärajan, joten lauta voi tällä akkurakenteella käyttää vain suljetulla alueella.

$$P = U * I = 44,4 V * (2 * 20 A) = 1776 W$$

Kaava 2. Maksimitehon laskukaava

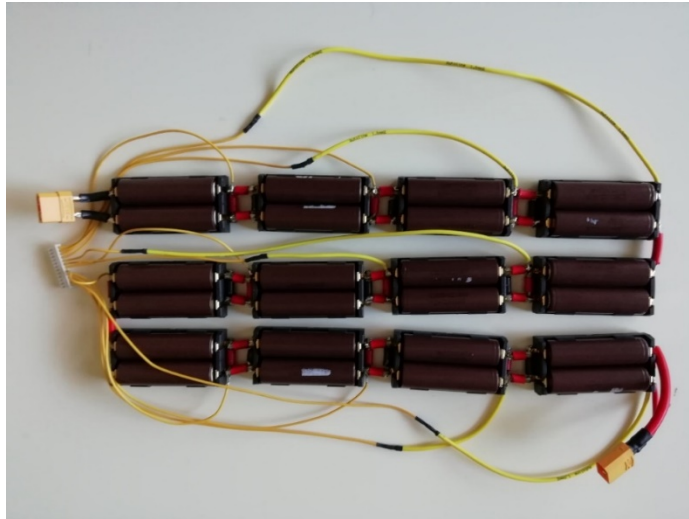
Alun perin oli tarkoitus käyttää Samsung 25R -akkuja, koska samanlaisia on autovalmistaja Teslan akustoissa. LG:n akut ovat kapasiteetiltaan Samsungin akkuja isompia ja hintaerokin oli LG:n akkujen eduksi, joten LG:n akuilla laudan akusto toteutettiin.

Akusto on rakennettu lautaan siten, että ne ovat omassa asennustilassaan. Akusto sisältää suuren määrän energiaa, joten mahdollisen ylikuumentumisen ja sen seurauksena aiheutuvan tulipalon ei pitäisi päästä vaikuttamaan muihin komponentteihin. Laudan akusto eroaa Teslan akkujärjestelmästä siten, että se on rakennettu modulaariseksi ja on ilmajäähdytteinen, kun taas Teslan akusto on nestejäähdytteinen.

Tärkein asia akkukennoja valittaessa on niiden maksimipurkausnopeus ja niiden kapasiteetti. HG 2:n maksimipurkunopeus on 20 A ja kapasiteetti on 3 Ah. Eri akkutyyppejä vertailtaessa on lisäksi huomattava, että akkuja on saatavilla niin sanotusti suojattuina ja suojaamattomina tyyppeinä. Suojatun akun sisälle on rakennettu suojapiiri, joka estää akun yllilataamisen sekä sen liiallisen purkamisen. Jos tavoitteena on saavuttaa

mahdollisimman suuri akun purkausnopeus, on valittava suojaamaton akkutyyppi, sillä suojaus rajoittaa akusta saatavaa virrankulkua.

Akkujen saatavuus on tällä hetkellä erittäin hyvä. Suomessa on useita yrityksiä, jotka kilpailevat ulkomaisten kilpailijoiden kanssa hinnoillaan. Akut kannattaa tilata luotettavalta akkumyyjältä, sillä markkinoilla on myös paljon jäljennösakkuja, joita ei ole valmistettu yhtä kestäviksi kuin niiden aidot ja alkuperäiset versiot.



Kuva 10. Akut telineissään ja tasapainutusjohtimet.

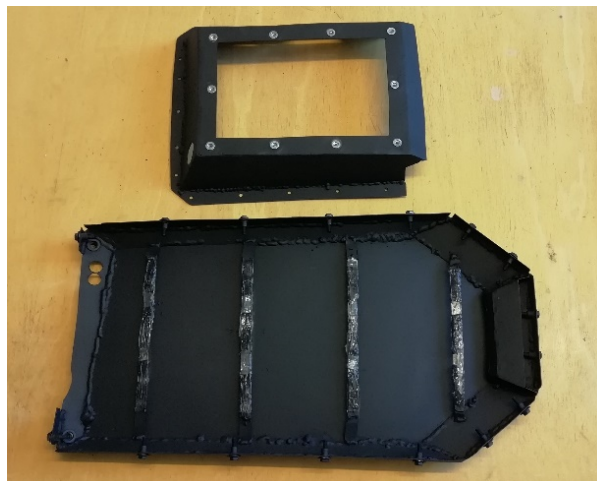
Ikääntyessään akut vanhenevat ja heikkenevät eri tahtiin. Akut kootaan laudassa akkutelineisiin, jolloin niistä voi vaihtaa vain kuluneet pois ja käyttää edelleen hyväkuntoisia yksilöitä. Akut ovat myös telineissään sen takia, että akkuihin suoraan juottaminen on erittäin vaarallista, silloin niihin kohdistuu pistemäistä lämpökuormaa vain toiseen päähän kerrallaan. Tämä heikentää akun kestoa ja saattaa jopa sytyttää akun tuleen. Akkuja kootaan tehtaissa pintapistehitsikoneella, joka on erikseen tarkoitettu tarvittavan sähköliitoksen hitsaamiseen. Hitsaustapahtuma on niin nopea, että se ei ehdi aiheuttamaan haitallista lämpökuormaa akkuun. Akkutelineitä valittaessa on tarkastettava, miten hyvin ne kestävät lämpöä ja kuinka suurta virtaa ne kestävät. Saatavilla on myös telineitä, joihin on merkitty korkea virrankesto. Merkintöihin tulee suhtautua kuitenkin varauksella, koska ne eivät välttämättä aina pidä paikkaansa. Osa akkutelineistä on jo tehtaalla johdotettu niin, että ne ovat joko sarjassa tai rinnan.

Sulakkeena laudassa on autoissakin käytetty niin kutsuttu Maxi-ATO-sulake, jonka nimellinen virrankesto on 40 A. Sulake on sijoitettu plusnapaan 400 mm päähän akustosta. Sulakerasia on tällä tavalla saatu tuotua akkutilan ulkopuolelle. Latausporttina



toimii 5,5 mm x 2,1 mm geneerinen pyöreä latausplugi, joita käytetään usein kannettavien tietokoneiden latausliitintyyppinä. Kyseisen latausportin mukana tuli roiskevedenpitävä korkki, minkä vuoksi se oli lautaan hyvä valinta.

Akuston ja säädinelektroniikan suojakotelo on ovat tehty teräspellistä, jotta se kestäisi mahdollisimman hyvin iskuja. Kotelon ja dekin välinen liitos on tiivistetty autoteollisuudessa käytetyllä klingeriitti-tiivisteellä, jotta koteloiniti olisi säänkestävä. Kotelon etuosassa on akuston jäähdyttämiseksi tuuletusta varten aukot, joilla akkukennojen liiallinen lämpeneminen estetään. Niissä on käytetty ilmanvaihtokoneissa käytettäviä pöly- sekä kosteussuojia, joka suojaa akustoa suurimmalta liialta sekä kosteudelta. Ilman sisääntuloon on myös porattu vedenpoistoreiät ilmakehään kertyvän mahdollisen veden poistamiseksi vuoksi. Koteloinnilla akusto on erotettu kokonaan muusta elektroniikasta. Tulipalon sattuessa kotelossa oleva väliseinä estää lämmön pääsyn muihin komponentteihin ja palossa tuhoutuu vain akusto.



Kuva 11. Akuston suojakotelo.

Akuston ja elektroniikan suojakotelo myös jäykistää lautta. Laudoissa käytetään yleensä muovista suojakotelo, mutta se ei ole raskaammassa käytössä riittävän kestävä rakenne. Muovikotelon mahdollisen vaurion korjaaminen on huomattavasti hankalampi korjata. Näiden lisäksi se ei jäykistäisi lautta tarpeeksi. Muovi tulisi sulamaan mahdollisen palon aikana.



### 3.3 Ohjainyksikkö eli ESC

Tehonsäätöön laudassa käytetään ohjain- eli ESC-yksikköä (eng. Electronic Speed Control). Sähkömoottorin tehonsäätimestä käytetään yleisesti termiä nopeudensäädin.

Laudassa oleva nopeudensäädin on tarkoitettu harjattoman moottorin ohjaamiseen. Harjatonta moottoria ohjataan viemällä staattorin keloille useita virtaimpulsseja, jolloin se magnetisoituu. Tällä saadaan aikaiseksi vastavoima, joka aiheuttaa pyörimisliikkeen roottorissa. Virtaa ohjataan jokaiseen käämiin vuorotellen, jolloin roottorin magneettikentän ohitettua virta ohjataan siitä seuraavaan käämiin. Virran ohjauksen taajuutta muuttamalla saadaan säädettyä moottorin pyörintänopeutta.

Laudassa on käytössä VESC (Vedder Electronic Speed Control), joka on avoimen lähdekoodin nopeudensäädin. Siitä on siis saatavilla kaikki tekniset tiedot ohjelmistokoodia myöten. Tämän ESC:n on kehittänyt Benjamin Vedder. Sille on myös olemassa aktiivinen internet-yhteisö, josta saa apua mahdollisissa eteen tulevilla ongelmissa. VESC kestää 8-60 V jännitteen sekä hetkellistä virtaa 240 A ja pitkäkestoista virtaa 50 A (VESC 2019). Laite pystyy myös regeneroimaan energiaa jarrutustilanteen aikana ja siirtämään sitä takaisin akustolle. Tätä teknologiaa käytetään myös hybridiajoneuvoissa jarruttamiseen kevyissä jarrutuksissa, kunnes poljinta painetaan tarpeeksi, jolloin varsinaiset jarrut aktivoituvat. Laudassa tämä voimakkaampi jarrutus toteutetaan laskemalla jalka maahan.

VESC-nopeudensäädin on ohjelmoitava sopimaan muuhun sähköjärjestelmään ennen käyttöönottoa. Ohjelmalla täytyy ensin saada yhteys itse VESC:iin. Jotta lautta pääsisi ohjelmoimaan, on tarkistettava, mikä ohjelmistoversio VESC:ssä on. VESC-hallintaohjelmistossa on aputyökaluja, jotta kaikkia parametreja ei tarvitse itse asettaa. Ohjain testaa moottorin pyörittämällä sitä muutaman kierroksen ja testi suositellaan tehtäväksi ilman kuormaa. Lautailija säätää laudan nopeutta kädessä pidettävällä kauko-ohjaimella. Kauko-ohjain toimii langattomasti kanta-aaltotaajuudella 2,4Ghz. Säätiimen antama ohjaus nopeudensäätimelle on ohjelmoitavissa sopimaan kaikkiin akku/moottori-yhdistelmiin. (VESC 2019.)

### 3.4 Moottori

Lautaan valittu sähkömoottori on Torqueboards:n tyyppi 6355, joka on 190 Kv moottori. Kv-merkintä kertoo moottorin kierrosnopeuden käytettävällä suurimmalla nimellisjännitteellä. Vaikka kV-merkintä yleisesti merkitsee kerrannaisyksikköä 'kilo' ja sähkötekniikan suuretta 'voltti', tässä moottorimerkinnässä merkitys on toinen.

Laskennallinen suurin moottorin kierrosluku käytettävällä nimellisjännitteellä on laskettu kaavalla 3.

$$rpm_{max} = kV * V = 190kV * 44.4V = 8436 \text{ rpm}$$

Kaava 3. Moottorin suurin kierrosluku

Mitä korkeampi Kv- arvo moottorissa on, sitä nopeammin se kykenee pyörimään. Toisaalta mitä matalampi Kv-luku kertoo moottorin olevan vääntävämpi. Kv-arvosta voi päätellä myös moottorin käämityksistä seuraavaa: jos luku on pieni, sisältää moottori ohuempaa kuparijohdinta useampia kierroksia, jos luku on suuri, on paksumpaa johdinta käytetty vähemmällä kierrosmäärällä.

Moottorin tunnusluku 6355 kertoo sen ulkomitat. Moottorin runko on halkaisijaltaan 63 mm ja pituudeltaan 55 mm. Tähän ei siis lasketa akselin pituutta mukaan. Moottorin koko vaikuttaa myös olennaisesti sen tuottamaan voimaan, ja Kv-luku muuttuukin moottorin fyysisen koon myötä.



Kuva 12. Torqueboards 6355 -moottori.

Moottorissa on kiinni 16-hampainen pinjoniratas. Rattaasta menee hammashihnavälitteisesti voima takapyörälle, jonka akselilla on 36-hampainen ratas. Vetävä pyörä asen-

netaan lautaan lautailijan dominoivan jalan puolelle taka-akselille. Tavoitteena on, että vetävä pyörä olisi mahdollisimman lähellä kuljettajan painopistettä. Lisäksi tällä tavoitteellaan parasta mahdollista pitoa. Laudan vetävälle pyörälle saatava vääntömomentti suurimmalla moottorin kierrosnopeudella on 2,01 Nm (Kaava 4).

$$M = \frac{P}{2 * \pi * n} = \frac{1776 \text{ W}}{2 * \pi * \frac{8436 \text{ rpm}}{60 \text{ s}}} = 2,01 \text{ Nm}$$

Kaava 4. Moottorin teho suurimmalla kierrosluvulla.

Kaavassa 3 lasketulla suurimmalla kierrosluvulla, hihnapyörien välityssuhteella ja valitulla pyöräkoolla, laudan laskennallinen huippunopeus on 63 km/h (Kaava 5).

$$V_{max} = \frac{\frac{8436 \text{ rpm}}{60}}{\frac{36}{16}} * 0,045 \text{ m} * 2 * \pi = \frac{140,6 \frac{1}{s}}{2,25} * 0,283 \text{ m} = 17,68 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 63 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Kaava 5. Laudan laskennallinen huippunopeus.

Käytettävä hammashihna HTD265-5M on sähkölaudoissa yleisesti käytetty tyyppi. Hammashihnan merkintä HTD kertoo hihnan hammasprofiilin, numero 265 hihnan pituuden 265 mm ja 5M hammasjaon eli 5 mm. Hihnaa on saatavissa useammalla eri leveydellä. (VbeltOutlet 2019.)

Toinen vaihtoehto laudan sähkömoottoriksi olisi ollut napamoottori. Napamoottoria käytettäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että välityssuhde pyörään on 1:1, joten Kv-luku täytyy olla huomattavasti pienempi, jotta moottori jaksaa vääntää. Napamoottori on rakennettu kokonaan pyörän sisään, jolloin moottori ja pyörä muodostavat yhden, tavallaan kiinteän osakokonaisuuden. Kun rengas kuluu loppuun, on hankittava täsmälleen rakenteeseen sopiva rengas tilalle.

Harjattoman moottorilla ja hihnavedolla toteutettuna voidaan valita vapaasti tarjolla olevia pyöriä. Pyörän kokoa voi tällöin myös muuttaa haluttuun suuntaan, eikä pyörävalinnalle ole rajoitteita. Napamoottorin etuna toisaalta on se, että sitä ei tarvitse huoltaa niin usein kuin hihnävälitteistä. Ainoa kuluva osa on renkaan kulutuspinna. Napamoottorit ovat myös huomattavasti hiljaisempia kuin hihnävälitteiset moottorit. Napamoottoreiden vääntö on hihnävälitteistä pienempi, koska sillä ei ole välityssuhteen etua. Yleensä

napamoottorirakenteella toteutettuna moottoreita onkin kaksi, mikä osaltaan kasvattaa projektin hintaa.

Tässä työssä toteutetun sähkömäkirullalaudan sähkökaavio on esitetty liitteessä 1.

### 3.5 Muut komponentit

#### 3.5.1 Akun varauksen osoitin

Akun varauksen osoitin (eng. battery capacity indicator) on malliltaan LY6W, jonka valmistaja on Baiway. Kyseinen akunvarauksen osoitin on saatavissa useammastakin eri nettikaupasta. Varauksen osoitin tukee 8-63 V Li-Ion-akkuja sekä 12-48 V lyijyakkuja. Varauksen osoittimen takapuolella on yksi näppäin ja sitä pohjaan painaessa laitteen käynnistyessä käyttäjä pystyy valitsemaan konfiguraation oikeaksi. Laitteelle on esiasetettu akun maksimi- ja minimijännite, ja se monitoroi jännitteen laskua sekä osoittaa sen prosenttilukuna näytöllä. (Baiway 2019.)



Kuva 13. Akun varauksen osoitin (Amazon 2019).

#### 3.5.2 Virtapainike

Virtapainike on Luna Cycle:n virtapainike, joita löytyy monelta muultakin valmistajalta. Luna Cycle:n on tarkoitettu sähköpolkupyöriin, mutta samaa osaa myydään myös sähkömäkirullalautoihin. Painike kestää 60 V jännitteen sekä 120 A virran. Se sisältää myös taustavalolla olevan on/off -kytkimen. Virtapainike on roiskeveden kestävä, mikä on saavutettu laittamalla kutistesukka sen ympärille. Kytkimen kosteuden sietokykyä voi parantaa laittamalla liitosten päälle esimerkiksi niin kutsuttua nestemäistä sähköteippiä. Virtapainikkeeseen toteutettiin kytkennällinen muutos, jotta akun varauksen osoitin toimii vain silloin, kun lauta on päällä. (Luna Cycle 2019.)



Kuva 14. Virtapainike.

### 3.5.3 Latauslaite

Sähköverkkoon kytkettävä latauslaite muuntaa 230 VAC jännitteen laudan akuston latausjännitteelle 48 VDC. Latauslaite on malliltaan YU4802 ja se tuottaa 2 A virran. Laturi on tilattu eBay-myyjältä, eikä siitä ole tarkempia teknisiä tietoja olemassa. Laudan suojakoteloita tai akkupakettia ei tarvitse lataamisen ja muun normaalin käytön aikana millään tavalla avata.

### 3.5.4 Tarvikkeet

Opinnäytetyössä aikaisemmin mainittujen komponenttien lisäksi laudan rakentamiseen tarvittiin erinäinen määrä pientarvikkeita. Näitä käytettiin joko komponenttien muokkaamiseen tai laudan muuhun rakentamiseen:

Pientarvikkeita olivat muun muassa:

- 5 kpl XT90-liittimiä
- 2 kpl male to male XT90-liittimiä
- 6 mm<sup>2</sup>-johdin punainen
- 6 mm<sup>2</sup>-johdin musta
- 1 mm<sup>2</sup>-johdin keltainen
- 2,5 mm<sup>2</sup>-johdin sininen
- 2,5 mm<sup>2</sup>-johdin punainen
- 8 kpl M5x1-pultteja
- 8 kpl M5-lukkomuttereita

- 8 kpl 508rs-laakereita
- 4 kpl laakerin välilevyjä kirkas
- 4 kpl laakerin välilevyjä musta
- 8 kpl laakerin välilevyjä
- 0,8 mm teräspeltiä
- klingeriiitti-tiivistettä

### 3.6 Kustannukset

Laudan runko ja trukit moottorikiinnikkeineen, valitusta ratkaisusta riippuen, kustantavat yhteensä luokkaa 200 €. Akkukennot puolestaan saa hankituksi noin 120 €:lla, akun hallintalaitteisto on hinnaltaan luokkaa 60 €. Nopeudensäädin ja kauko-ohjain on yhteensä 140 €. Lisäksi tässä työssä käytetty moottori oli hinnaltaan 80€. Kokonaiskustannukseen tietysti vaikuttaa osien ostopaikka siinä mielessä, että ulkomailta hankittuna lähetysten rahtikulut saattavat muodostua merkittäväksikin kulueräksi. Samoin pien-  
tarvikkeisiin ja rakennusmateriaaleihin voi helposti mennä rahaa lähes 100 €. Jos omalle työlle ei lasketa tuntihintaa, omavalmisteisen laudan hinnaksi muodostuu noin 700 €, mikä jää selvästi edullisemmaksi kaupallisiin valmiisiin lautoihin verrattuna.

Työtunteja laudan valmistamiseen ajokuntoiseksi kului luokkaa 240 tuntia. Tästä suuri osa on luonnollisesti uuteen tekniikkaan perehtymistä ja muuta tiedonhankintaa.

## 4 POHDINTA

Lautaa rakennettaessa on huomioitava, että suuri osa sähköautojen komponenteista valmistetaan USA:ssa. Tämä tuo komponenttien arviointiin ja eri suureiden laskemiseen sen hankaluuden, että komponenttien teknisissä tiedoissa käytetään lähes poikkeuksetta yhdysvaltalaisia mittayksiköjä.

Osien toimitusajat voivat olla huomattavan pitkiä, joten jopa takuuajat saattavat umpeutua ennen kuin kokonaisuutta päästään edes testaamaan.



Kuva 15. Sähkömäkirullalauta valmiina.

Useimmissa valmiissa laudoissa on muovista valmistetut akuston ja säädinelektronikan suojakotelot. Muovisen suojakoteloiden teollinen valmistus on huomattavasti helpompaa ja halvempaa kuin teräspellistä valmistaen. Teräspellin muokkaaminen ja muotoilu on toisaalta omavalmisteen kannalta kuitenkin muovia selvästi helpompi materiaali.

Tässä projektissa valmistetulla sähkömäkirullalaudalla ajaminen on omien kokemusteni perusteella helpompaa kuin ilman sähkömoottoria olevalla laudalla. Laudalla ei tarvitse itse ottaa vauhtia muuta kuin lähtötilanteessa ja moottoriveto helpottaa tasapainottelua, koska molemmat jalat voivat olla koko ajan laudan päällä. Vauhdinotto liikkeelle lähdössä ei ole välttämättä tarpeellista, mutta silloin laudan moottori ei nykäise niin terävästi. Laudan jarruteho on niin voimakas, että jarrua ei ole vielä tarvinnut missään tilanteessa painaa pohjaan. Laudan nopeudensäätimeen on asetettu 40 A:n maksimivirta,

mutta kaukosäätimeen olen valinnut asetuksen, jolla maksimi ”kaasu” on 70% todellisesta maksimikaasusta.

Laudan kääntösäde on tarpeeksi pieni kapeallakin ajotiellä ajamiseen. Jos on tarpeen tehdä täyskäännös, laudalla ei ihan mahdu kääntymään esimerkiksi jalkakäytävällä, vaan se on käännettävä käsin. Jos ei ole tottunut lautailija, ainakin oman kokemuksen mukaan jalkojen pienet lihakset tulevat pidempään ajaessa varsin kipeiksi.

Päivitän tulevaisuudessa laudan nopeudensäätimen sellaiseen yksikköön, joka kestää enemmän virtaa ja pystyy ohjaamaan kahta eri moottoria samanaikaisesti. Lisäksi moottoreihin tulee Hall-anturit, jotta ESC:n on helpompi ohjata niitä, sekä valvoa moottoreiden pyörintänopeutta. Tämä mahdollistaa moottoreiden ohjaamisen siten, että kahta moottoria käytettäessä molemmat moottorin pyörivät täsmälleen samalla nopeudella. Lautaan tulee tulevaisuudessa kaksi moottoria sekä vielä isompi akusto. Isommassa akustossa on kolmas akku kahden aiemman rinnalla (konfiguraatio 12S3P), jolloin toimintasädetä saadaan entisestään korotettua. Moottoreiden määrää kasvatan sen vuoksi, että haluan oppia lisää sähkötekniikasta ja haastaa itseäni enemmän sähkötietämyksellä. Laudan ajonopeus hidastuu myös jyrkimmissä nousuissa hieman ja tämäkin ilmiö olisi mielenkiintoista saada korjatuksi.

Dekki kannattaisi valita perinteiseksi ’kruiserityyliseksi’, sillä drop-trough -dekissä on valitettavan vähän maavaraa. Sen kanssa ajellessa on varottava suurimpien kivien joutumista moottoriin. Koska Suomen teitä hiekoitetaan talvisin, saattaa kiviä olla vielä kesäisinkin ajoteillä jäljellä jonkin verran. Taka-akseli suositellaan asentamaan asentoon, jolloin moottori on sijoitettu dekin yläpuolelle. Tällä tavoin se ei ole enää laudan alin kohta, eikä näin ollen vahingoitu niin helposti. Se myös pienentäisi moottoriin kohdistuvaa kosteusrasitusta, asennustavan muuttamisen myötä moottori ei olisi niin arka voimakkaallekaan roiskevedelle.

Ajon aikana lautaan kohdistuu pyörien välityksellä ajoalustan aiheuttamaa tärinää, joten laudan osien kiinnityksistä on huolehdittava. Käytännössä ruuvien kiinni pysyminen on hyvä varmistaa joko kierrelukitteella tai käyttämällä kierrelukolla varustettuja mutteita.

Säädöksissä määrätty 25 km/h huippunopeus on riittävä kaikkiin tarkoituksiin. Kovempi nopeus vaikeuttaa ajamista liikaa verrattuna sen hyötyihin. Se myös nopeuttaa akun tyhjenemistä liiaksi.



Aloittelijalle lauta voi tuntua aluksi vaikealta hallita. Jos esimerkiksi tasapainon pitäminen tuntuu laudalla vaikealta, voi kokeilla helpommin hallittavaa sähköpotkulautaa. Sen tankoon voi nojata ajon aikana, mikä parantaa tasapainoilua kiihdytettäessä.

## 5 LOPUKSI

Työn tarkoituksen oli rakentaa sähkökäyttöinen henkilökuljetin, jonka toimintasäde olisi kaupallisia malleja suurempi. Lauta onnistuttiin rakentamaan ja sillä päästiin suorittamaan onnistuneesti ajoja. Akuston rakenteeseen on helppo toteuttaa niin sanottu 'down-sizing' eli pienentää sähkötehoreservi määräysten sallimaan rajaan 1 kW.

Sähkömäkirullalauta on osoittautunut lyhyiden koeajojaksojen perusteella varsin toimivaksi liikkumisvälineeksi. Se on helppo ottaa mukaan myös linja-automatkoille ja se on helposti suojattavissa esimerkiksi anastamista vastaan.

Laudasta tuli tehdä huoltovapaa, jolloin sen akustoa ei tarvitse irrottaa joka kerta kun sitä ladataan. Työtä tehdessä opin, että sähköautojen akkutekniikka ja akuston tasapainottaminen on suhteellisen yksinkertaista. Akuston jäähdyttämiseen on hyvä kiinnittää huomiota vastaavia suuren energiamäärän sisältäviä akustoja rakenneltaessa. Laudan tekniikka ei sähköteknisesti ole kovin monimutkainen ja siten se onkin ollut hyvä tapa tutustua akkutekniikkaan ja moottorin säätöelektroniikkaan.

## LÄHTEET

Amazon 2019. Baiway-jälleenmyyjän tiedot. Viitattu 20.6.2019

<https://www.amazon.com/Universal-Voltage-Type-Indicator-3-15cells-Lithium-Ion/dp/B078GPQRQP>.

Baiway 2019. Akun varauksen osoittimen kotisivut. Viitattu 4.5.2019

[http://baiway.waimaotong.com/product/LY6W-battery-tester-battery-load-tester-digital-battery-tester\\_m926894m.html](http://baiway.waimaotong.com/product/LY6W-battery-tester-battery-load-tester-digital-battery-tester_m926894m.html).

Boosted Boards 2019. Sähkömäkirullalaudan kotisivut. Viitattu 5.5.2019

<https://boostedboards.com/>.

Evolve Skateboards 2019. Evolve Bamboo GTX:n kotisivut. Viitattu 19.6.2019

<https://www.evoveskateboards.com/products/bamboo-gtx-series-all-terrain?variant=39346882445>.

Junkyard 2019. Mäkirullalaudan kotisivut. Viitattu 20.6.2019

<https://www.junkyard.fi/longboard-one-line-1>.

Luna Cycle 2019. Virtakatkaisijan valmistajan kotisivut. Viitattu 20.4.2019

<https://lunacycle.com/remote-on-off-solid-state-switch>.

Nurmi, Tapani 2015. SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus, kolmas painos. Viitattu 7.2.2019

[https://www.sfs.fi/files/7751/SFS\\_6002\\_Tapani\\_Nurmi\\_SESKO\\_060515.pdf](https://www.sfs.fi/files/7751/SFS_6002_Tapani_Nurmi_SESKO_060515.pdf).

Pixabay 2019. Vapaa kuvien kopiointisivusto. Viitattu 16.6.2019

<https://pixabay.com/photos/mountain-bike-mtb-electric-bike-1531262/>.

Scooter Hut 2019. Sähköpotkulautojen myyntisivusto. Viitattu 16.6.2019

<https://scooterhut.com.au/xiaomi-m365-electric-scooter-2019-model>.

Stoked 2015. Why Bearing Spacers Really Matter. Viitattu 23.5.2019

<https://stokedrideshop.com/blogs/bearings/why-bearing-spacers-really-matter>.

TrafiCom 2019. Sähköiset liikkumisvälineet: Jalankulkua avustavat tai korvaavat sähköiset liikkumisvälineet. Viitattu 5.2.2019

<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/sahkoiset-liikkumisvalineet>.

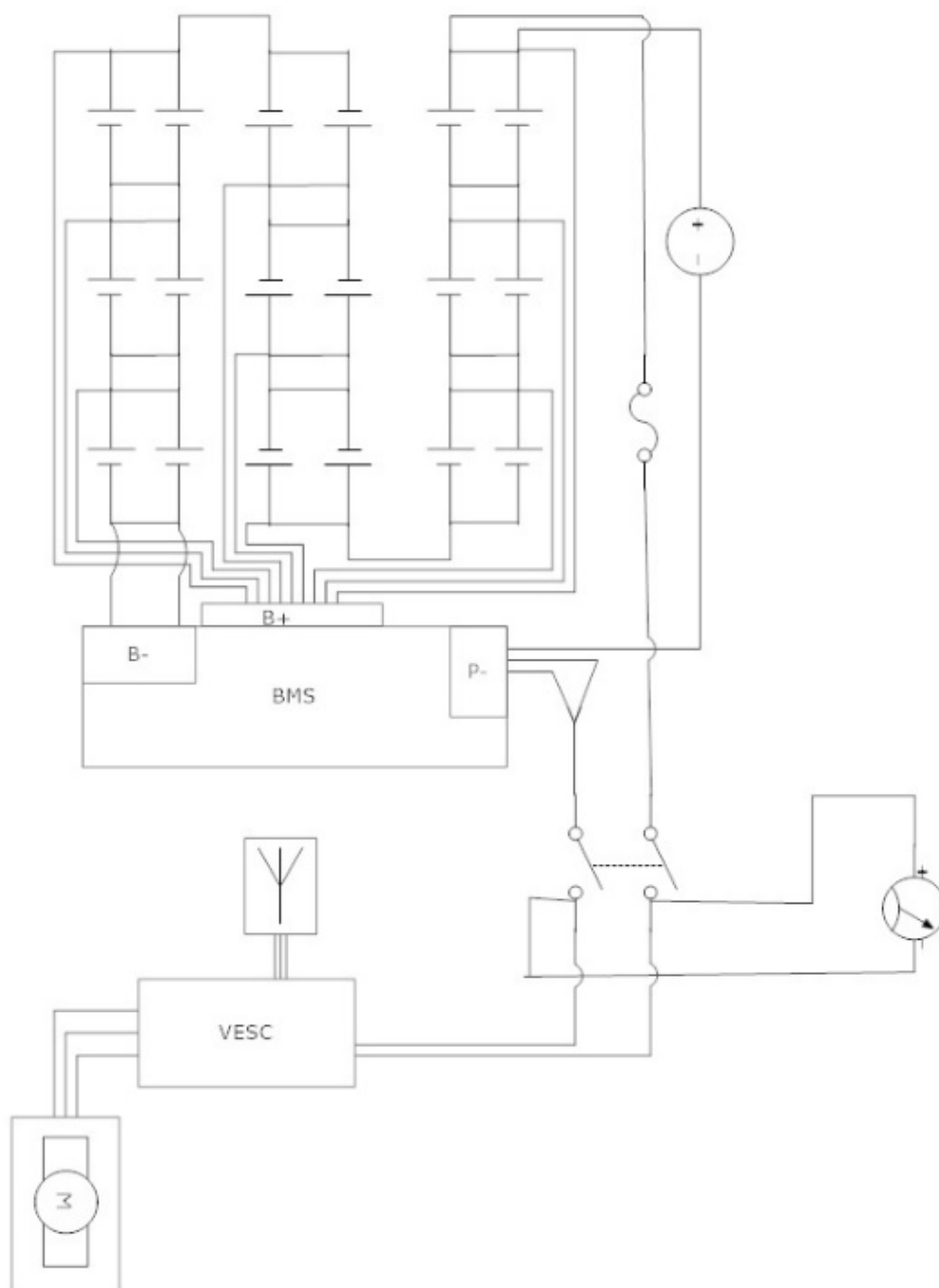
VbeltOutlet 2019. Hammashihnan kotisivut. Viitattu 20.6.2019

<https://vbeltoutlet.com/htd-265-5m-timing-belt-53-teeth.html>.

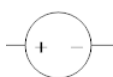
VESC 2019. Nopeudensäätimen valmistajan kotisivut. Viitattu 20.4.2019

<http://vedder.se/2015/01/vesc-open-source-esc/>.

# Omavalmisteisen sähkömäkirullalaudan sähkökaavio



Latausportti



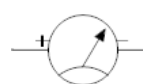
Akkukkenno



Sulake



Varauksen osoitin



Virtakytkin

