

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2019

Ville Heikkilä

# KEVYIDEN SÄHKÖAJONEUVOJEN SOVELTUVUUS YMPÄRIVUOTISEEN LIIKENNEKÄYTTÖÖN

Ville Heikkilä

# KEVYIDEN SÄHKÖAJONEUVOJEN SOVELTUVUUS YMPÄRIVUOTISEEN LIIKENNEKÄYTTÖÖN

Opinnäytetyössä selvitettiin kevyiden sähköajoneuvojen vastaavuutta lainsäädännön kanssa, niiden soveltuvuutta ympärivuotiseen käyttöön sekä mahdollisia kaupunki-infrastruktuurin tuomia haasteita niille. Testattavana oli 6 kevyttä sähköajoneuvoa ja 2 sähköavusteista polkupyörää. Opinnäytetyö tehtiin EU-rahoitteisen CIVITAS ECCENTRIC -hankkeen toimeksiannosta. Turun kaupunki on yksi hankkeessa mukana olevista eurooppalaisista kaupungeista.

Kevyen sähköajoneuvon sähkömoottori saa olla enimmäisteholtaan 1 kW, ja sen suurin sallittu nopeus on 25 km/h. Sähköavusteisen polkupyörän moottorin enimmäisteho on 250 W ja sähköavustus saa toimia vain poljettaessa. Sähköavustuksen on lakattava, kun saavutetaan nopeus 25 km/h. Kevyillä sähköajoneuvoilla noudatetaan polkupyöräilijöiden liikennesääntöjä.

Ajoneuvoista mitattiin nopeustutkalla nopeudet. Nopeustutkalla saatuja tuloksia verrattiin ajoneuvojen omien mittareiden lukemiin ja lain asettamiin rajoituksiin. Toisena teknisenä ominaisuutena ajoneuvoista testattiin akkujen varauksien kestävyttä talvisissa olosuhteissa. Akkujen kapasiteetti heikkenee, kun lämpötila laskee. Näin ollen akkujen varaus purkautuu talvella nopeammin kuin kesällä. Akkuja testattiin -3 °C lämpötilassa. Valmistajat ovat ilmoittaneet akkujen toimintamatkan. Sen perusteella akkujen varauksien kestävyttä testattiin ajamalla.

Nopeuksien suhteen testattavat ajoneuvot vastasivat nykyistä lainsäädäntöä. Yhden kevyen sähköajoneuvon huippunopeus oli 26 km/h, muiden oli 25 km/h tai vähemmän. Sähköavusteisten polkupyörien avustus toimi vain poljettaessa ja avustus lakkasi, kun nopeus oli 25 km/h. Akkutesteistä saaduilla tuloksilla ei voida varmuudella vastata tavoitteeseen soveltuvuudesta ympärivuotiseen käyttöön, koska ajoneuvoja testattiin vain pienessä pakkasessa. Osalla ajoneuvoista oli haasteita akun varauksen kanssa jo näissä lämpötiloissa, suuremmilla pakkasilla olisi luultavasti haasteita ollut enemmän. Yhden ajoneuvon akun varaus oli purkautunut, kun oli ajettu noin 8 km. Toisessa ajoneuvossa akun varauksesta oli purkautunut vain noin puolet, ja sillä ajettiin yli 20 km. Infrastruktuurin kannalta suurimmat haasteet olivat lumi ja paikoitellen pyöriteiden kapeus.

## ASIASANAT:

kevyet sähköajoneuvot, sähköpolkupyörät, sähköiset liikkumisvälineet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Engineering

2019 | 37 pages, 2 in appendices

Ville Heikkilä

# SUITABILITY OF LIGHT ELECTRIC VEHICLES FOR YEAR-ROUND TRAFFIC USE

The purpose of the thesis was to find out the equivalence of the light electric vehicles with legislation requirements, their suitability for year-round use and the challenges posed by the infrastructure for the vehicles. Two electric assisted bicycles and six light electric vehicles were tested. The assignment for the thesis was given by EU-funded project CIVITAS ECCENTRIC. The city of Turku is one of five European cities participating to the project.

The electric motor of a light electric vehicle can have a maximum power of 1 kW and its maximum speed can be 25 km/h. The motor of an electric assisted bicycle can have a maximum power of 250 W. The electric assistance should only work when pedaling and it must stop working at 25 km/h. The same rules apply to both light electric vehicle users and bicyclers.

The speeds of the vehicles were measured with a speed radar. The results from the radar were compared with the results of the vehicles' speed meters and the legal restrictions. The other technical property that was measured was the charge resistance of the vehicles' batteries in the winter time. The capacity of the batteries decreases when the weather gets colder. Therefore, the batteries' discharge faster in the winter than in the summer. The batteries were measured at -3°C. The manufacturers of the vehicles have reported the batteries' action radiuses and therefore batteries charge resistances were measured by driving.

The speeds of the vehicles were in line with legislation. The result of one light electric vehicle was over 25 km/h, it was 26 km/h. The assistance for electric bicycles worked only when pedaling and it stopped working when the speed was 25 km/h. The results from the battery tests cannot conclusively give an answer to the question about the suitability for year-round use as batteries were measured only in light frost. Some vehicles had problems in these degrees, and in more severe frost, there would probably have been more problems with the batteries. The battery of one vehicle had discharged after 8 km driving and the battery of another vehicle had discharged about 50 % after 20 km of driving. The biggest challenges for the infrastructure were snow and occasionally narrow bicycle routes.

## KEYWORDS:

light electric vehicles, electric bicycles, electric mobility equipment

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 TESTAUKSEN TAUSTA</b>	<b>9</b>
2.1 Lainsäädäntö	9
2.2 Testattavat ajoneuvot	10
2.2.1 Sähköavusteinen polkupyörä	10
2.2.2 Sähköavusteinen kuormapolkupyörä	11
2.2.3 goMoto 2.4+	12
2.2.4 Leijona 1400	13
2.2.5 Poljinkäyttöinen sähköskootteri	14
2.2.6 Sähköskootteri	15
2.2.7 Sähköpotkulauta Xiaomi	16
2.2.8 Sähköpotkulauta Ribber	17
2.3 Akkuteknologia yleisesti	18
<b>3 AJONEUVOJEN TESTAAMINEN</b>	<b>20</b>
3.1 Nopeuksien testaaminen	20
3.1.1 Sähköavusteinen polkupyörä	21
3.1.2 Sähköavusteinen kuormapolkupyörä	22
3.1.3 goMoto 2.4+	22
3.1.4 Leijona 1400	23
3.1.5 Poljinkäyttöinen sähköskootteri	24
3.1.6 Sähköskootteri	24
3.1.7 Sähköpotkulauta Xiaomi	25
3.1.8 Sähköpotkulauta Ribber	26
3.2 Akkujen varauksien kestävyys pakkasessa	26
3.3 Infrastruktuurin haasteita	29
3.4 Muita huomioita testien yhteydessä	33
<b>4 YHTEENVETO</b>	<b>34</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## LIITTEET

Liite 1. Tieliikennelain 729/2018 liite 7.4.

Liite 2. Akkutestien ajoreitit.

## KUVAT

Kuva 1. Sähköavusteinen polkupyörä. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)	11
Kuva 2. Sähköavusteinen kuormapolkupyörä. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)	12
Kuva 3. goMoto 2.4+. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)	13
Kuva 4. Leijona 1400. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)	14
Kuva 5. Poljinkäyttöinen sähköskootteri. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)	15
Kuva 6. Sähköskootteri. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)	16
Kuva 7. Sähköpotkulauta Xiaomi. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)	17
Kuva 8. Sähköpotkulauta Ribber. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)	18
Kuva 9. Turun talvipyöräilyn testireitti. Ajoneuvojen nopeuksia testattiin mustan nuolen alueella. (Kuva: Turun kaupunki)	20
Kuva 10. Kapea pyörätie. (Kuva: Turun AMK)	29
Kuva 11. Työmaan kaventama pyörätie. (Kuva: Turun AMK)	30
Kuva 12. Kaskenkadun pyöräkaista. (Kuva: Turun AMK)	31
Kuva 13. Humalistonkadun pyöräkaista. (Kuva: Turun AMK)	32
Kuva 14. goMoto 2.4+ jumissa lumivallissa. (Kuva: Turun AMK)	32

## TAULUKOT

Taulukko 1. Sähköavusteisen polkupyörän nopeustestin tulokset.	21
Taulukko 2. Sähköavusteisen kuormapolkupyörän nopeustestin tulokset.	22
Taulukko 3. goMoto 2.4+:n nopeustestin tulokset.	23
Taulukko 4. Leijona 1400:n nopeustestin tulokset.	23
Taulukko 5. Poljinkäyttöisen sähköskootterin nopeustestin tulokset.	24
Taulukko 6. Sähköskootterin nopeustestin tulokset.	25
Taulukko 7. Xiaomin sähköpotkulaudan nopeustestin tulokset.	25
Taulukko 8. Ribberin sähköpotkulaudan nopeustestin tulokset.	26
Taulukko 9. Ajoneuvojen akkujen varauksien kestävyys -3 °C:ssa.	27

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Akun kapasiteetti	Akun suuruuden mitta, joka ilmoittaa kuinka paljon sähköenergiaa akkuun voidaan varastoida. Yksikkönä käytetään ampeerituntia, Ah. (Koivisto & Mikkolainen 2004, 164.)
Elektrolyytti	Aine, joka sisältää liikkumiskykyisiä ioneja. Elektrolyytti voi olla esimerkiksi suolan tai hapon vesiliuos. (Antila ym. 2008,182). Ionien sähkövarauksien vuoksi elektrolyytit ovat sähkönjohtokykyisiä (Antila ym. 2008, 65).
Elektronit	Atomin osia, jotka ovat kuorilla atomin ytimen ympärillä.
Euroopan talousalue	Euroopan talousalueeseen kuuluvat Euroopan unionin jäsenvaltioiden lisäksi Islanti, Liechtenstein ja Norja (Tulli 2019).
Hiilineutraali	Tuotetaan vain sen verran hiilidioksidia kuin pystytään sitomaan (Sitra 2018).
Ioni	Sähköisesti varautunut atomi tai molekyyli.
Kasvihuonekaasut	Ilmakehässä olevia kaasuja, jotka mahdollistavat kasvihuoneilmiön eli lämmön pysymisen maapallolla. Tärkeimmät luonnostaan ilmakehässä olevat kasvihuonekaasut ovat vesihöyry ja hiilidioksidi. Ihmisen toiminta on lisännyt ilmakehän kasvihuonekaasuja, jonka seurauksena kasvihuoneilmiö voimistuu ja maapallon lämpötila nousee. (Ilmasto-opas 2019.)

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selvitettiin testattavana olleiden kevyiden sähköajoneuvojen ja sähköavusteisten polkupyörien vastaavuutta nykyisen lainsäädännön kanssa, niiden soveltuvuutta ympärivuotiseen käyttöön sekä kaupunki-infrastruktuurin tuomia mahdollisia haasteita testattaville ajoneuvoille. Lainsäädännön kannalta testattavista ajoneuvoista mitattiin nopeustutkalla nopeudet ja tuloksia verrattiin ajoneuvon oman mittarin ja lainsäädännön asettamien rajoitusten kanssa. Soveltuvuutta ympärivuotiseen käyttöön testataan tutkimalla ajoneuvojen akkujen varauksen kestävyyttä ja ajoneuvojen toimintaa talven sääoloissa. Samalla kun testattiin akkuja, havainnoitiin mitä mahdollisia haasteita ajoneuvoilla on infrastruktuurin kanssa yleisesti ja mitä lisähaasteita on mahdollisesti talvella.

Kevyet sähköajoneuvot tulivat lainvoimaisiksi Suomen tieliikenteessä vuoden 2016 alussa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2015). Koska kyseessä on melko uusi liikkumisen muoto, kevyistä sähköajoneuvoista ei juurikaan löytynyt julkisia tutkimuksia. Sen sijaan sähköautoista löytyi muutamia tutkimuksia talvioloista. Timo Turkula on kirjoittanut 2.1.2018 Moottori-lehdessä saksalaisen Autobild-lehden sähköautojen toimintamatkojen mittauksesta. Tuloksista saatiin selville, että pienillä sähkökäyttöisillä henkilöautoilla (pienikokoisen Smart-auton kokoluokkaa) oli ongelmia päästä valmistajan ilmoittamaan toimintamatkaan jo +5 °C:n lämpötilassa. Opinnäytetyössä kevyiden sähköajoneuvojen toimintamatkaa testataan pienessä pakkasessa. Mikäli kevyiden sähköajoneuvojen akut reagoivat viileään keliin samalla tavalla kuin Autobild-lehden testaamat pienet sähkökäyttöiset henkilöautot, haasteita tulee luultavasti olemaan kevyiden sähköajoneuvojen akkujen varauksen kestävyuden kanssa.

Kevyet sähköajoneuvot ovat kehittyvä liikkumisen muoto, minkä voi päätellä esimerkiksi siitä, että markkinoille on tullut uusia valmistajia ja uusia tuotteita. Esimerkiksi Valmet Automotive ja Rideascout aloittavat yhteistyön sähköavusteisen polkuauton valmistamisesta (Turun Sanomat 14.3.2019).

Liikenne tuotti vuonna 2017 noin viidesosan Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (Tilastokeskus 2018). Korvaamalla henkilöauton käyttöä esimerkiksi kevyillä sähköajoneuvoilla tätä lukemaa saataisiin pienemmäksi, koska sähkökäyttöiset ajoneuvot eivät tuota

päästöjä ajettaessa mutta sähkökäyttöisten ajoneuvojen päästöissä on myös huomiotava sähköntuotannossa syntyvät päästöt. Jos esimerkiksi sähkö on tuotettu hiilivoimalla, ajoneuvoilla liikkuminen ei ole hiilivapaata.

Opinnäytetyö tehtiin CIVITAS ECCENTRIC -hankkeen toimeksiannosta yhteistyössä toisen EU-rahoitteisen hankkeen, BSR Electricin kanssa. Turun kaupunki on mukana kansainvälisessä CIVITAS ECCENTRIC -hankkeessa neljän muun Euroopan kaupungin kanssa vuosina 2016–2020. Hanketta rahoittaa Euroopan unionin Horizon 2020 -ohjelma. Hankkeen tarkoituksena on löytää kestävämpiä liikkumisen ratkaisuja. Hanke tukee Turun tavoitetta olla hiilineutraali kaupunki vuoteen 2029 mennessä. Turun ammattikorkeakoulu on yksi Turun kaupungin yhteistyökumppaneista hankkeessa. (Turun kaupunki 2019.)

Turun kaupunki on liisannut CIVITAS ECCENTRIC -hankkeessa vuodeksi (elokuu 2018 – heinäkuu 2019) kokeilukäyttöön erilaisia kevyitä sähköajoneuvoja ja sähköavusteisia polkupyöriä. Kokeilun tarkoituksena on vähentää kaupungin työntekijöiden henkilöauton käyttöä lyhyissä siirtymisissä työpäivän aikana. Kyseiset ajoneuvot ovat kaupungin eri yksiköiden työntekijöiden testattavana 2 viikon testijakson ajan. Testijakson jälkeen ajoneuvo siirtyy seuraavalle saman yksikön työntekijälle 2 viikoksi. Kokeilujakson jälkeen työntekijät täyttävät käyttökokemuskyselyn. (Lilja 2018.) Tammikuussa 2019 suurin osa kokeilun ajoneuvoista oli Turun ammattikorkeakoulun testattavana, jotta saataisiin tietoa ajoneuvojen soveltuvuudesta talvisiin olosuhteisiin. Tällöin ajoneuvot eivät olleet kaupungin työntekijöiden kokeilukäytössä.

Opinnäytetyön alussa käsitellään lähdeaineistoa eli kevyihin sähköajoneuvoihin liittyvää lainsäädäntöä. Käsiteltäviä lakeja ovat ajoneuvo- ja tieliikennelait. Lainsäädännön jälkeen esitellään testattavat ajoneuvot ja valmistajien ilmoittamat tekniset ominaisuudet. Valmistajien ilmoittamien tietojen lisäksi perehdytään akkuteknologiaan yleisellä tasolla. Teorian jälkeen analysoidaan ajoneuvojen nopeus- ja akkutestien tuloksia ja käsitellään infrastruktuurin tuomia haasteita ajoneuvoille. Opinnäytetyön lopussa kootaan saadut tulokset.



## 2 TESTAUKSEN TAUSTA

Ajoneuvojen testauksen tärkeimpinä tausta-aineiston lähteinä käytetään voimassa olevia lakeja ja ajoneuvojen valmistajien ilmoittamia tietoja. Näiden lisäksi tausta-aineistossa käsitellään akkuteknologiaa yleisesti.

### 2.1 Lainsäädäntö

Kevyen sähköajoneuvossa saa olla enintään 1 kW tehoinen sähkömoottori, ja sen suurin sallittu nopeus on 25 km/h. Kevyeen sähköajoneuvoon sovelletaan samoja vaatimuksia kuin moottorittomaan ajoneuvoon. Kevyitä sähköajoneuvoja ei tarvitse rekisteröidä. (Ajoneuvolaki 1090/2002.) Kevyiden sähköajoneuvojen ajamiseen ei tarvita ajokorttia. Ajokortti tarvitaan vasta, kun ajoneuvon suurin sallittu nopeus on yli 25 km/h. (Ajokorttilaki 386/2011.)

Sähköavusteisessa polkupyörässä saa olla korkeintaan 250 W tehoinen sähkömoottori. Sähkömoottori saa toimia vain poljettaessa, ja sen on kytkeydyttävä pois päältä viimeistään, kun nopeus on 25 km/h. (Ajoneuvolaki 1090/2002.) Moottorilla varustellun polkupyörän moottorin maksimiteho on 1 kW ja moottorilla varustellussa polkupyörässä polkeminen ei ole pakollisista avustuksen saamiseksi, mutta avustuksen on kytkeydyttävä pois päältä viimeistään, kun nopeus on 25 km/h. Moottorilla varustettu polkupyörä luokitellaan mopoksi. (Traficom 2019.) Moottorilla varustettua polkupyörää ei käsitellä tässä opinnäytetyössä tämän tarkemmin.

Kevyessä sähköajoneuvossa on oltava käyttöjarru ja äänimerkinantolaitte. Käyttöjarruksi käy myös riittävän hidastavuuden varmistava sähkömoottori. (Valtioneuvoston asetus 1613/2015.) Liikennekäytössä olevissa ajoneuvoissa on turvallista käyttämistä varten oltava tarpeelliset valaisimet ja heijastimet (Ajoneuvolaki 1090/2002). Kaikilla ajoneuvoilla on annettava suuntamerkki suuntavalaisimella esimerkiksi käännätyssä risteyksissä. Jos ajoneuvossa ei ole suuntavalaisinta, suuntamerkki on annettava muulla näkyvällä tavalla. (Tieliikennelaki 729/2018.)

Kevyttä sähköajoneuvoa ajattaessa on noudatettava polkupyöräilijän liikennesääntöjä ja ohjauslaitteita. Itsestään tasapainottuvaa kevyttä sähköajoneuvoa, joka pysyy tasapainossa myös, kun ajoneuvo ei liiku tai siinä ei ole kuljettajaa, saa kuljettaa jalkakäytävällä.

Jalankulkijalle on annettava esteetön kulku. (Tieliikennelaki 729/2018.) Testattavana ei ollut yhtään itsestään tasapainottuvaa kevyttä sähköajoneuvoa.

Polkupyörällä ja kevyellä sähköajoneuvolla saa kuljettaa vain sen määrän henkilöitä, joille ajoneuvo on rakennettu. Matkustajaa saa kuljettaa kyseisillä ajoneuvoilla vain, jos ajoneuvossa on matkustajalle sopiva istuin. Polkupyörän ja kevyen sähköajoneuvon saa varustaa nastarenkailla, jotka eivät oleellisesti vahingoita tien pintaa. (Tieliikennelaki 729/2018.)

Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa käyttöön otetun kevyen sähköajoneuvon ja enintään kaksipyöräisen polkupyörän suurin sallittu leveys on 80 cm. Yli kaksipyöräisissä polkupyörissä enimmäisleveys on 125 cm. Suurimmat sallitut leveydet on mainittu tieliikennelain 729/2018 liitteessä 7.4., joka on opinnäytetyön liitteenä 1.

## 2.2 Testattavat ajoneuvot

Testattavana oli yhteensä 8 ajoneuvoa, joista 2 on sähköavusteisia polkupyöriä ja loput kevyitä sähköajoneuvoja. Testattavien ajoneuvojen teknisiä tietoja ja muita ominaisuuksia käsitellään seuraavissa kappaleisessa.

### 2.2.1 Sähköavusteinen polkupyörä

Testattavana sähköavusteisena polkupyöränä oli Kalkhoff Jubilee Move. Ulkoasultaan sähköavusteinen polkupyörä on tavallisen polkupyörän näköinen. Siinä on kolme sähköavustuksen vaihdetta. Sähköavusteinen polkupyörä on esiteltynä kuvassa 1.



Kuva 1. Sähköavusteinen polkupyörä. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)

Sähköavusteisessa polkupyörässä on harjaton sähkömoottori, joka on nimellisteholtaan 250 W. Siinä on 416 Wh litiumioniakku, joka on kapasiteetiltaan 11 Ah. Akku on sijoitettu pyörän runkoon satulan alle. Akun latausaika on noin 5 tuntia. Sähköavusteisen polkupyörän toimintamatkaksi on ilmoitettu 140 km ihanteellisissa sääoloissa ja pienimmällä avustuksen tasolla. (Ajoneuvon käyttöohjekirja.) Akku on mahdollista irrottaa ja ladata esimerkiksi asunnossa pyörän ollessa pyörävarastossa. Testauksen aikana renkaina olivat nastarenkaat.

### 2.2.2 Sähköavusteinen kuormapolkupyörä

Testattavana kuormapolkupyöränä oli sähköavusteinen Babboe Big-E. Kuormapolkupyörässä on kolme pyörää, kaksi edessä ja yksi takana. Etupyörien välissä on kuljetuslaatikko kuormaa varten. Sähköavusteinen kuormapolkupyörä on esiteltynä kuvassa 2.



Kuva 2. Sähköavusteinen kuormapolkupyörä. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)

Kuormapolkupyörä on 217 cm pitkä, 88 cm leveä ja 110 cm korkea. Kuljetuslaatikko on 90 cm pitkä, 58 cm leveä ja 53 cm korkea. Ajoneuvon huoltovapaa moottori on teholtaan 250 W. Siinä on 375 Wh litiumionipolymeeriakku. Akun latausaika täysin tyhjästä täysin täyteen 4–6 tuntia. Akku on sijoitettu takatarakan alle. Akun toimintamatkaksi on ilmoitettu 40–60 km. Kuljetuslaatikon ja satulan suurimmat sallitut kuormitukset ovat 100 kg kummallekin. (Ajoneuvon käyttöohjekirja.) Akku on mahdollista irrottaa ja ladata esimerkiksi asunnossa pyörän ollessa pyörävarastossa. Testauksen aikana renkaina olivat nastarenkaat.

### 2.2.3 goMoto 2.4+

goMoto 2.4+ on Skandin valmistama katolla varustettu nelipyöräinen sähköskootteri. Ajoneuvossa on myös tuulilasi ja tuulilasinpyyhkijät. Ajoneuvolla on mahdollista ajaa sekä eteen- ja taaksepäin. Ajoneuvon mittaristosta näkee nopeuden, ajetun matkan, matkaan kuluneen ajan ja akun varauksen. goMoto 2.4+:ssa on 2 käsijarrua, toinen etupyörille ja toinen takapyörille. Lisäksi ajoneuvossa on jalkajarru takapyörille. goMoto 2.4+ on esiteltynä kuvassa 3.



Kuva 3. goMoto 2.4+. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)

Ajoneuvo on 192 cm pitkä, 80 cm leveä ja 155 cm korkea. Maavaraa ajoneuvolla on 18 cm. Ajoneuvon harjaton tasavirtamoottori on teholtaan 1 kW. Ajoneuvon 2,4 kWh akku on kapasiteetiltaan 20 Ah ja sen toimintamatka on 20–100 km, ajotavan mukaan. Ajoneuvon nettopaino on 175 kg ja sen suurin sallittu kuormitus on 125 kg. Ajoneuvossa on paikka matkustajalle, mutta matkustajan on oltava alle 12-vuotias. (Skand 2019a.) Akun latausaika on 4–15 tuntia lataustasosta ja mallista (ajoneuvosta on myös 2.4-malli) riippuen. Ajoneuvon paino ilman akkuja on 160 kg. Toimintamatkan arvio on tehty arvioimalla kuljettajan painoksi 75 kg. Ajoneuvon maksiminopeudeksi voidaan asettaa joko 15 km/h tai 25 km/h. (Ajoneuvon käyttöohjekirja.) Akku sijaitsee penkin alla, eikä sitä voi irrottaa. Testauksen aikana renkaina olivat nastarenkaat.

#### 2.2.4 Leijona 1400

Leijona 1400 on Skandin valmistama nelipyöräinen sähköskootteri. Ajoneuvolla on mahdollista ajaa sekä eteen- ja taaksepäin. Ajoneuvon mittaristosta näkee nopeuden ja akun varauksen. Ajoneuvon takaosassa on lukittava säilytyslaatikko. Leijona 1400 on esiteltynä kuvassa 4.





Kuva 4. Leijona 1400. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)

Ajoneuvo on 152 cm pitkä, 68 cm leveä ja 105 korkea. Maavaraa ajoneuvolla on 13 cm. Huoltovapaa sähkömoottori on teholtaan 1 kW. Ajoneuvossa on 1,4 kWh akku, jonka latausaika on 4–8 tuntia lataustason mukaan. Akun toimintamatkaksi on ilmoitettu 55 km, ajotavan mukaan. Ajoneuvon paino on 126 kg ja sen suurin sallittu kuormitus on 140 kg. (Skand 2019b.) Akku sijaitsee penkin alla, eikä sitä voi irrottaa. Testauksen aikana renkaina olivat nastarenkaat.

#### 2.2.5 Poljinkäyttöinen sähköskootteri

Poljinkäyttöinen sähköskootteri ZT-09 on Skandin valmistama. Ajoneuvo näyttää ulkoasultaan tavalliselta skootterilta, ainoa eroavaisuus on polkupyöristä tutut polkimet. Ajoneuvolla liikutaan siten, että liikkeelle lähdetessä polkimilla polkaistaan sähköskootteri liikkeelle. Nopeus määräytyy polkaisun perusteella ja se pysyy tasaisessa maastossa vakiona, kunnes painetaan jarrua. Nopeutta säädetään painamalla jarrua ja sen jälkeen polkimilla polkaistaan uudestaan. Poljinkäyttöinen sähköskootteri on esiteltynä kuvassa 5.



Kuva 5. Poljinkäyttöinen sähköskootteri. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)

Ajoneuvosta ei ollut vielä opinnäytetyön kirjoitushetkellä olemassa käyttöohjeita. Valmistaja on kuitenkin ilmoittanut seuraavat tekniset tiedot toimeksiantajalle:

1,12 kWh akku, joka on toimintamatkaltaan 20–60 km ajotavan mukaan. Akku sijaitsee istuimen alla, ja se on mahdollista irrottaa ja ladata esimerkiksi asunnossa skootterin ollessa pyörävarastossa. Testauksen aikana renkaina olivat nastarenkaat.

#### 2.2.6 Sähköskootteri

Testattavana on Skandin sähköskootteri ZT-09. Ajoneuvo muistuttaa ulkomuodoltaan tavallista skootteria. Sähköskootteri on esiteltynä kuvassa 6.



Kuva 6. Sähköskootteri. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)

Ajoneuvosta ei ollut vielä opinnäytetyön kirjoitushetkellä olemassa käyttöohjeita. Valmistajan mukaan sähköskootteri on teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlainen kuin aikaisemmin esitelty poljinkäyttöinen sähköskootteri. Tähän skootteriin on lisätty jälkiasennuksena tavallisista skoottereista tuttu kaasukahva, tästä on poistettu polkimet. Testauksen aikana renkaina olivat nastarenkaat.

#### 2.2.7 Sähköpotkulauta Xiaomi

Testattavana on Xiaomin valmistama M365 sähkökäyttöinen potkulauta, joka on tavallisen potkulaudan näköinen ajoneuvo. Ajoneuvon kanssa päästään liikkeelle potkaimella alussa vauhtia ja sen jälkeen nopeutta säädetään kaasuvivusta. Ajoneuvossa on polkupyöristä tuttu soittokello, ajovalo, jarruvipu ja kaasuvipu. Xiaomin sähköpotkulauta on esiteltynä kuvassa 7.





Kuva 7. Sähköpotkulauta Xiaomi. (Kuva: Turun AMK / Simpanen E.)

Sähköpotkulauta on 108 cm pitkä, 43 cm leveä ja 114 cm korkea. Taitettuna sen korkeus on 49 cm. Sähkömoottori on teholtaan 250 W. Potkulaudassa on 280 Wh akku, jonka latausaika on noin 6 tuntia. Sähkömoottori on sijoitettu etupyörään ja akku seisontalevyn alle. Ajoneuvon paino on noin 12,5 kg ja sen suurin sallittu kuormitus on 100 kg. Ajoneuvolla pystyy ajamaan 75 kg:n kuormituksella tuulettomassa 25 °C:n lämpötilassa noin 30 km. (Ajoneuvon käyttöohjekirja.) Akkua ei ole mahdollista irrottaa, mutta ajoneuvon keveyden takia sitä on helppo ladata esimerkiksi asunnossa. Testauksen aikana renkaina ei ollut nastarenkaita, vaan samat renkaat kuin kesälläkin.

#### 2.2.8 Sähköpotkulauta Ribber

Testattavana on Ribberin valmistama sähköpotkulauta, jolla on mahdollista liikkua joko seisten tai istuen. Vaikka kyseessä on sähköpotkulauta, liikkumaan pääsee ilman alkuvauhtia toisin kuin edellä mainitussa sähköpotkulaudassa. Ajoneuvossa on ajovalo, moipoista tuttu kaasukahva ja takana säilytyskori. Ribberin sähköpotkulauta on esiteltynä kuvassa 8.



Kuva 8. Sähköpotkulauta Ribber. (Kuva: Turun AMK / Heikkilä V.)

Sähköpotkulaudan on 175 cm pitkä, 75 cm leveä ja 77 cm korkea. Teholtaan sähköpotkulaudan hiiliharjaton tasavirtamoottori on 1 kW. Ajoneuvossa on litiumakku, joka on kapasiteetiltaan 20 Ah, ja sen latausaika on 5-7 tuntia lataustason mukaan. Moottori on sijoitettu takavanteen sisään ja akku seisontatason alle. Painoa ajoneuvolla on 60 kg, ja sen suurin sallittu kuormitus on 200 kg. Sähköpotkulaudalla pystyy ajamaan yhdellä latauksella 50-80 km. (Ajoneuvon käyttöohjekirja.) Akkua ei voi irrottaa. Testauksen aikana renkaina ei ollut nastarenkaita, vaan samat renkaat kuin kesälläkin.

### 2.3 Akkuteknologia yleisesti

Polttimoottorilla varustellussa ajoneuvossa akkua käytetään sen käynnistämiseen. Sähkökäyttöisessä ajoneuvossa akku sen sijaan tuottaa kaiken ajoneuvon tarvitseman energian. (Antila ym. 2008,186.)

Akuissa on positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet elektrodit. Elektrolyytti erottaa elektrodit toisistaan. Akun purkautuessa negatiivisesti varautuneella elektrodilla tapahtuu spontaani hapettumisreaktio eli sieltä vapautuu elektroneja. Samaan aikaan positiivisesti varautuneella elektronilla tapahtuu spontaanisti pelkistymisreaktio eli sinne tulee lisää

elektroneja. Akkuja ladattaessa hapettumis-pelkistymisreaktiot pakotetaan sähkövirran avulla tapahtumaan päinvastaiseen suuntaan kuin spontaaneissa reaktioissa. (Antila ym. 2008, 182-184.)

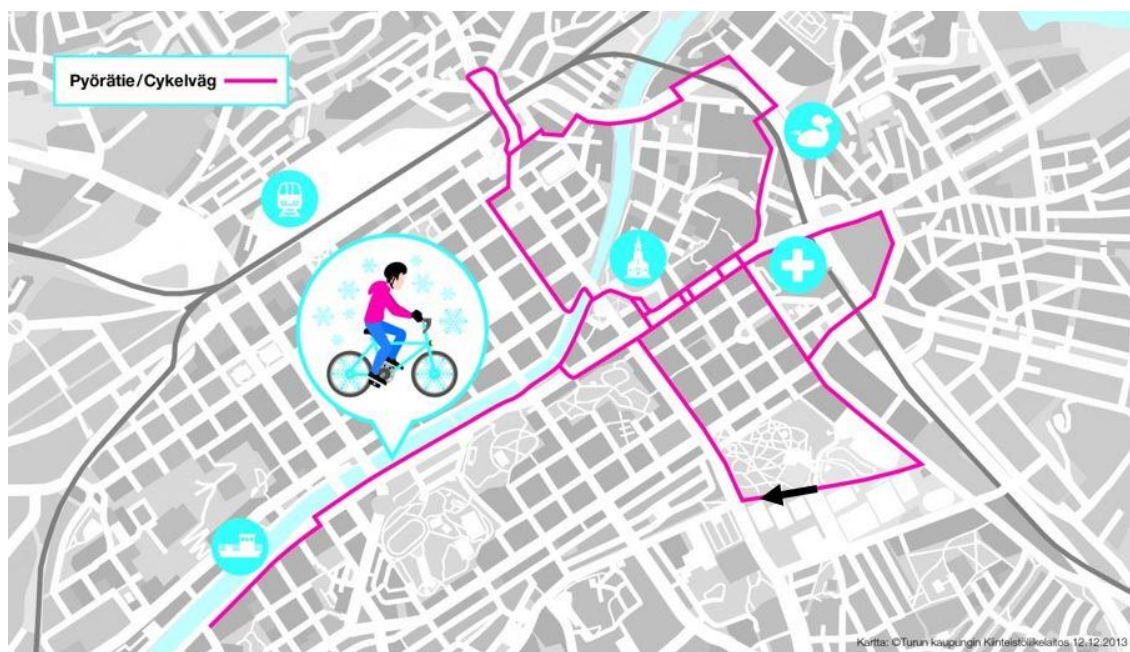
Lämpötilalla on vaikutusta akun kapasiteettiin, sillä lämpötilan laskiessa akun kapasiteetti heikkenee (Koivisto & Mikkolainen 2004, 165). Kun akun kapasiteetti on heikentynyt, sen varaus purkautuu nopeammin ja toimintamatka on lyhyempi. Litiumioniakuissa kapasiteettia heikentää litiumionien liikkumisen hidastuminen elektrodien välillä (Lehto 2018).

### 3 AJONEUVOJEN TESTAAMINEN

Ajoneuvot olivat Turun ammattikorkeakoulun käytettävissä 16.1.-30.1.2019, jotta saataisiin tietoa kyseisten ajoneuvojen toimivuudesta talvisissa oloissa. Testauksissa testattiin ajoneuvojen teknisinä ominaisuuksina niiden huippunopeuksia ja akkujen kestävyyttä pakkasessa. Akkutestausten yhteydessä havainnoitiin mahdollisia infrastruktuurin haasteita ajoneuvoille. Ajoneuvojen testaamisessa oli mukana auttamassa 3 opiskelija-assistenttia Turun ammattikorkeakoulun tutkimusryhmistä.

#### 3.1 Nopeuksien testaaminen

Ajoneuvojen nopeuksia testattiin 23.1.2019 talvipyöräilyn testireitillä Kupittaaanpuistossa. Talvipyöräilyn testireitti on CIVITAS ECCENTRIC -hankkeen toimenpiteenä toteutettu sulana pidettävä 12 km pituinen talvipyöräilyreitti Turun keskustassa. Reitin kunnossapitoon käytetään harjasuolausmenetelmää. (Turun kaupunki 2018.) Talvipyöräilyn testireitti ja ajoneuvojen nopeuksien mittauspaiikka on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Turun talvipyöräilyn testireitti. Ajoneuvojen nopeuksia testattiin mustan nuolen alueella. (Kuva: Turun kaupunki)

Talvipyöräilyn testireitti valikoitui mittauspaikaksi, koska siellä pystyi turvallisesti mittaamaan sulalla pyörätiellä ajoneuvojen huippunopeuksia. Mittauspaikaksi valittiin mahdollisimman suora osuus talvipyöräilyn testireitiltä. Aurajoen ranta oli toinen vaihtoehto, mutta Kupittaanpuistossa oletettiin olevan vähemmän jalankulkijoita haittaamassa mittauksia. Nopeuksia mitattiin Stalker ATS -nopeustutkalla, joka kalibroitiin ennen mittauksia. Tutkalla pystyi mittaamaan muun muassa keskinopeuden ja maksiminopeuden, mitauksissa mitattiin pelkästään maksiminopeuksia. Tutkan virhemarginaalista ei ollut tietoa. Ajoneuvojen nopeustestien tulokset käydään ajoneuvokohtaisesti läpi seuraavissa kappaleissa.

### 3.1.1 Sähköavusteinen polkupyörä

Sähköavusteisen polkupyörän tulokset olivat yli 25 km/h. Luvussa 2.2 mainittiin, että sähköavusteisen polkupyörän sähköavustimen on kytkeydyttävä pois päältä nopeudessa 25 km/h. Testeissä havaittiin, että avustin kytkeytyy pois päältä oikeassa nopeudessa, minkä seurauksena huippunopeudet saatiin testaajan polkuvoimalla. Testauksessa käytettiin suurinta avustusastetta. Sähköavusteisen polkupyörän nopeustestin tulokset on listattu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Sähköavusteisen polkupyörän nopeustestin tulokset.

Sähköavusteinen polkupyörä		
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)	Mittarin tulos (km/h)
1	27	25
2	31	31
3	27	27
Keskiarvo	28,3	27,7

Taulukosta havaitaan, ettei tutkan ja sähköavusteisen polkupyörän oman mittarin välillä ollut suuria eroavaisuuksia. Molempien ilmoittama huippunopeus oli 31 km/h. Mittauksen 1 eroavaisuus selittyy sillä, että testaaja ei havainnut suurempaa nopeutta. Mittauksissa 2 ja 3 tulokset tutkan ja mittarin kanssa ovat samat, niin voidaan todeta sähköavusteisen

polkupyörän mittarin ilmoittavan nopeuden olevan totta. Nopeustestin yhteydessä havaittiin, että polkupyörän sähköavustus toimii vain poljettaessa.

### 3.1.2 Sähköavusteinen kuormapolkupyörä

Sähköavusteisella kuormapolkupyörällä ei päästy kertaakaan yli 25 km/h ja tämän takia ei ole varmuutta kytkeytykö sähköavustus pois päältä oikeassa nopeudessa. Testauksessa käytettiin suurinta avustusastetta. Sähköavusteisen kuormapolkupyörän tulokset on listattu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Sähköavusteisen kuormapolkupyörän nopeustestin tulokset.

Sähköavusteinen kuormapolkupyörä	
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)
1	24
2	20
3	23
Keskiarvo	22,3

Sähköavusteisessa kuormapolkupyörässä ei ollut nopeusmittaria. Tutkimuksen kannalta olisi ollut mielenkiintoista, jos mittari olisi ollut. Nopeustestin yhteydessä havaittiin, että sähköavustus toimii vain poljettaessa. Tietoa siitä, kytkeytykö sähköavustin pois päältä nopeudessa 25 km/h ei saatu, koska huippunopeudeksi saatiin 24 km/h.

### 3.1.3 goMoto 2.4+

goMoto 2.4+:ssa oli suurimmat eroavaisuudet nopeustutkan ja ajoneuvon oman nopeusmittarin välillä. Tutkan perusteella pysyttiin sallituissa rajoissa, mutta ajoneuvon oman mittarin mukaan mentiin reilusti yli. goMoto 2.4+:n nopeustestin tulokset on listattu taulukkoon 3.



Taulukko 3. goMoto 2.4+:n nopeustestin tulokset.

goMoto 2.4+		
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)	Mittarin tulos (km/h)
1	23	24
2	23	30
3	23	30
Keskiarvo	23	28,0

Taulukosta on havaittavissa, ettei goMoto 2.4+:n nopeusmittarin näyttämä nopeus vastaa nopeustutkalla mitattua nopeutta. Nopeustutkalla saatiin kaikista mittauksista tulokseksi 23 km/h ja ajoneuvon oma mittari ilmoitti huippunopeudeksi 30 km/h. Nopeusmittarin tulosten eroavaisuus on selitettävissä, sillä ettei testaaja välttämättä huomannut mittauksessa 1 huippunopeutta.

#### 3.1.4 Leijona 1400

Leijona 1400 pysyi hyvin sallituissa nopeusrajoituksissa, huippunopeudeksi saatiin 22 km/h. Leijona 1400:n nopeustestin tulokset on listattu taulukkoon 4.

Taulukko 4. Leijona 1400:n nopeustestin tulokset.

Leijona 1400		
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)	Mittarin tulos (km/h)
1	19	19
2	22	22
3	21	21
Keskiarvo	20,7	20,7

Leijona 1400:n nopeusmittarina oli tavallinen nopeusmittari, ei digitaalista mittaria, joten näin ollen Leijona 1400 nopeusmittarin tulokset ovat testaajan tulkitsemia arvioita. Saatujen tulosten perusteella Leijona 1400:n oman nopeusmittarin ja tutkan välillä ei ole mitään eroavaisuutta.

### 3.1.5 Poljinkäyttöinen sähköskootteri

Poljinkäyttöisellä sähköskootterilla pysyttiin sallituissa rajoissa, huippunopeudeksi saatiin 24 km/h. Poljinkäyttöisen sähköskootterin nopeustestin tulokset on listattu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Poljinkäyttöisen sähköskootterin nopeustestin tulokset.

Poljinkäyttöinen sähköskootteri		
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)	Mittarin tulos (km/h)
1	23	20
2	19	20
3	24	24
Keskiarvo	22	21,3

Taulukosta on havaittavissa, että ajoneuvon oman mittarin ja tutkan tulosten välillä on vaihtelua. Haastetta poljinkäyttöisen sähköskootterin nopeustestiin toi ajoneuvon nopeuden säätäminen. Nopeuden säätäminen saattoi myös haitata nopeusmittarin lukemista.

### 3.1.6 Sähköskootteri

Sähköskootterin oman nopeusmittarin ja tutkan välillä oli pientä eroavaisuutta, nopeustestin tulokset on listattu taulukkoon 6.



Taulukko 6. Sähköskootterin nopeustestin tulokset.

Sähköskootteri		
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)	Mittarin tulos (km/h)
1	25	27
2	25	27
3	25	27
Keskiarvo	25	27

Sähköskootterilla saatiin nopeustesteissä tasainen tulos. Ajoneuvon oman mittarin mukaan mentiin kovempaa kuin laki sallii, mutta nopeustutkan perusteella ajoneuvo täyttää lain vaatimukset nopeuden suhteen.

### 3.1.7 Sähköpotkulauta Xiaomi

Xiaomin sähköpotkulaudalla pysyttiin tutkan perusteella sallittujen nopeuksien rajoissa, huippunopeuden ollessa 24 km/h. Tulokset Xiaomin sähköpotkulaudan nopeustestistä on listattu taulukkoon 7.

Taulukko 7. Xiaomin sähköpotkulaudan nopeustestin tulokset.

Sähköpotkulauta Xiaomi	
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)
1	24
2	23
3	23
Keskiarvo	23,3

Saadut tulokset olivat melko tasaisia. Sähköpotkulaudassa ei ollut nopeusmittaria. Tutkimuksen kannalta olisi ollut mielenkiintoista, jos mittari olisi ollut.

### 3.1.8 Sähköpotkulauta Ribber

Ribberin sähköpotkulauta oli ainoa kevyt sähköajoneuvo, jonka huippunopeudeksi saatiin enemmän kuin lain asettama rajoitus 25 km/h. Ribberin sähköpotkulaudan nopeustestin tuloksen on listattu taulukkoon 8.

Taulukko 8. Ribberin sähköpotkulaudan nopeustestin tulokset.

Sähköpotkulauta Ribber	
Mittaus	Tutkan tulos (km/h)
1	26
2	26
3	25
Keskiarvo	25,7

Sähköpotkulaudassa ei ollut nopeusmittaria. Tutkimuksen kannalta olisi ollut mielenkiintoista, jos mittari olisi ollut. Huippunopeudeksi saatiin yli 25 km/h, voidaan kuitenkin todeta, ettei nopeusrajoituksen ylitys ollut kovinkaan suuri.

### 3.2 Akkujen varauksien kestävyys pakkasessa

Akkuja testattiin kolmena eri päivänä: 25.1.2019, 29.1.2019 ja 30.1.2019. Testikertojen ajoreitit ovat nähtävissä liitteessä 2.

Luvussa 2.3 mainittiin akkujen kapasiteettien heikkenevän lämpötilan laskiessa. Tämän perusteella voidaan olettaa akkujen purkautuvan nopeammin talvella kuin kesällä. Ilmatieteen laitoksen mukaan kaikkina testausajankohtina oli ilman lämpötilana noin -3 °C. Näin ollen akkujen varauksien kestävydestä saadaan vertailukelpoista tietoa. Akkujen varauksien kestävyttä tutkittiin ajamalla ajoneuvoilla. Tämä tutkimustapa valikoitui, koska valmistajat ovat ilmoittaneet akkujen toimintamatkan ihanneolosuhteissa. Ajokertojen jälkeen kirjattiin ylös ajatut kilometrit ja ajoneuvojen akkujen varauksien tilanteet. Saadut tulokset on kirjattu taulukkoon 9.

Taulukko 9. Ajoneuvojen akkujen varauksien kestävyys -3 °C:ssa.

Ajoneuvo	Ajettu matka (km)	Varausta jäljellä (%)	Valmistajan ilmoittama toimintamatka ihanneoloissa (km)
<b>Sähköavusteinen polkupyörä</b>	n. 6	Yli 50	140
<b>Sähköavusteinen kuormapolkupyörä</b>	n. 6	50-75	40-60
<b>goMoto 2.4+</b>	n. 21	n. 50	20-100
<b>Leijona 1400</b>	15-16	0	n. 55
<b>Poljinkäyttöinen sähköskootteri</b>	n. 8	n. 50	20-60
<b>Sähköskootteri</b>	n. 8	0	20-60
<b>Sähköpotkulauta Xiaomi</b>	Akun varauksen kestävyyttä ei testattu.		n. 30
<b>Sähköpotkulauta Ribber</b>	n. 17	0	50-80

Lähes kaikissa ajoneuvoissa oli vaikeaa tietää, mikä akun todellinen varaus oli, sillä mittarit näyttivät eri lukemaa eri maastoissa. Esimerkiksi ylämäessä mittari saattoi näyttää että varausta oli jäljellä 25 % varausta olevan jäljellä, kun taas tasaisella varausta näytti olevan 75 %. Ajoneuvojen käyttöohjeissa mainittiin, että luetettavin varauksen tila on tasamaalla mittarin näyttämä varaus ja nämä tulokset listattiin taulukkoon. Taulukosta voidaan kuitenkin tehdä se johtopäätös, että goMoto 2.4+:lla oli paras akun varauksen kestävyys sillä akun varauksesta oli purkautunut puolet noin 21 km:n ajamisen jälkeen. Sähköskootterilla oli heikoin akun varauksen kestävyys, sen akun varaus oli purkautunut noin 8 km:n ajamisen jälkeen. Xiaomin sähköpotkulaudan akun varauksen kestävyyttä ei testattu, koska oletettiin ettei se pääse Turun mäkiä ylös. Tämä oletus tehtiin sillä perusteella, että se ei päässyt nopeustestien jälkeen melko täydellä akun varauksella Sepänkadun mäkeä ylös. Kyseinen mäki ei ole Turun jyrkimpiä tai pisimpiä. Testiajoissa

olisi väkisinkin ollut jyrkempiä tai pidempiä mäkiä. Sähköavusteisten polkupyörien akkujen varausten kestävyyttä testattiin suurimmilla avustuksen tasoilla, valmistajien ilmoittamissa toimintamatkoissa oltiin sen sijaan käytetty pienintä avustuksen tasoa.

Ribberin sähköpotkulaudan todennäköisin syy akun varauksen nopealle purkautumiselle oli se, että testikerran jälkeen se oli noin viikon ajan käyttämättä ja lataamatta. Valmistajan mukaan ajoneuvon akun varaus vähenee, vaikka sitä ei käytettäisi.

Sähköskootterin akun varauksen nopea purkautuminen on huomionarvoista, koska ajoneuvo oli ollut lämpimissä sisätiloissa ennen testausta ja ulkolämpötila oli vain noin -3 °C.

Koska kyseisestä ajoneuvosta ei ollut käyttöohjeita saatavilla, selvitettiin mitä muiden ajoneuvojen ohjeissa sanotaan akun varauksen nopeasta purkautumisesta. Ribberin mainitsemia mahdollisia syitä akun nopealle purkautumiselle ovat seuraavat:

1. Ajoneuvossa on alhainen rengaspaine. Tutkimusten yhteydessä ei mitattu ajoneuvojen renkaiden paineita.
2. Ajoneuvon raskas kuormitus, joita ovat muun muassa mäet. Tutkimuspäivänä sähköskootterilla ajettiin monissa mäissä Leijona 1400:n kanssa, jonka akku oli myös päivän päätteeksi tyhjentynyt huomattavasti aikaisemmin kuin valmistajan ilmoittama toimintamatka 55 km tuli täyteen.
3. Akun laturin toiminnassa on vikaa. Latureiden toimintaan ei kiinnitetty huomiota testauksissa.

Voi olla myös mahdollista, ettei akkua ole ladattu ohjeiden mukaisesti. Sähköskootterin valmistaja Skand on neuvonut muiden testattavana olleiden tuotteidensa, goMoto 2.4+:n ja Leijona 1400:n, akkujen lataamisesta seuraavanlaisesti:

Akkua on ladattava aina täyteen eikä anneta sen kulua täysin tyhjäksi. Akkua voi ladata joka käyttökerran jälkeen, mutta lataus on lopetettava akun tullessa täyteen.

Myös muilla valmistajilla oli samantyyppisiä ohjeita, eli akkua on ladattava säännöllisesti ja ladattua akkua ei saa pitää liian kauan laturissa. Lisäksi on vältettävä akun ajamista tyhjäksi ja tyhjä akku olisi saatava lataukseen mahdollisimman äkkiä.

### 3.3 Infrastruktuurin haasteita

Infrastruktuurin mahdollisia haastekohtia havainnoitiin akkutestien yhteydessä. Testauksia kuvattiin GoPro-kameralla, jotta jälkikäteen pystyttäisiin katsomaan uudelleen haastavia kohtia. Tässä luvussa olevat kuvat on otettu videomateriaalista ja opinnäytetyön kirjoittaja on ainoa henkilö, joka kuvissa näkyy.

Pyöräteiden leveydet vaihtelivat ja leveimpien ajoneuvojen kohdalla havaittiin pyöräteiden olevan paikoitellen erittäin kapeita. Kuvassa 10 on esiteltynä yksi kapea pyörätie.



Kuva 10. Kapea pyörätie. (Kuva: Turun AMK)

Pyörätie oli kapeampi kuin normaalisti auratun lumen takia. Tämän takia goMoto 2.4+:n kanssa piti ajaa välillä hieman jalkakäytävän puolella. Vaikka aurattua lunta ei olisi ollut, niin joko vastaan tulevat polkupyöräilijät ja vastaavanlaisten kevyiden sähköajoneuvojen käyttäjät tai kuvan goMoto 2.4+ olisi joutunut väistämään jalkakäytävän puolelle.

Pyörätiet olivat paikoitellen normaalia kapeampia, kuten kuvassa 11 on havaittavissa.



Kuva 11. Työmaan kaventama pyörätie. (Kuva: Turun AMK)

Pyörätie ja jalkakäytävä olivat kaventuneet huomattavasti viereisen työmaan takia. Kapeuden lisäksi haasteena kyseisessä paikassa oli lumi. Pyöräteiden paikoittaisesta kapeudesta kertoo myös se, että vastaan tulevat pyöräilijät joutuvat ajamaan kyseisissä paikoissa jalkakäytävän puolella.

Pyöräteiden kapeuden lisäksi haasteita oli myös Kuvan 12 Kaskenkadun ja Kuvan 13 Humalistonkadun pyöräkaistoilla.



Kuva 12. Kaskenkadun pyöräkaista. (Kuva: Turun AMK)

Kaskenkadulla haasteena olivat pyöräkaistalle kerääntyneet lumikasat, joiden seurauksena piti ajaa ajoradan puolella kuvassa näkyvän risteyksen yli. Vaikutti siltä, että pyöräkaistaa käytettiin auratun lumen välivarastona. Pyöräkaistaa oli paikoitellen vaikea havaita. Lisää haastetta ja hieman turvattomuuden tunnetta toi myös viereen ajanut linja-auto.



Kuva 13. Humalistonkadun pyöräkaista. (Kuva: Turun AMK)

Humalistonkadun pyöräkaistan ongelmana oli se, ettei sitä havainnut lainkaan. Pyöräilijän tai kevyen sähköajoneuvon käyttäjän pitää tietää miten kaista sijoittuu kadulle ja missä kohtaa se siirtyy ajoradan ja pysäköintipakkojen välistä pysäköintipaikkojen toiselle puolelle. Paikalla olisi voinut olla liikennemerkkejä kertomassa pyöräkaistasta.

Aurattu lumi aiheutti myös ongelmia ajoneuvoilla ajamiseen. Ajoradalta aurattu lumi kasaantui valliksi suojatien reunalle, eikä ajoneuvot päässeet omin voimin vallin yli. Kuvassa 14 on havainnollistettu kyseistä tapahtumaa.



Kuva 14. goMoto 2.4+ jumissa lumivallissa. (Kuva: Turun AMK)



goMoto 2.4+ saatiin lopulta pois lumivallista työntämällä. Yksin sitä ei olisi saatu pois. Myös Leijona 1400 tarvitsi apua päästäkseen vallin yli.

Alikulkutunnelista käännettäessä ylämäkeen Leijona 1400:sta ja goMoto 2.4+:sta loppuivat voimat. Leijona 1400 saatiin ylös työntämällä ja goMoto 2.4+ pääsi ylös, kun otettiin vähän vauhtia kauempaa.

Poljinkäyttöisellä skootterilla ajo jäisellä pinnalla toi hieman turvattomuuden tunnetta, kun se meni vakionopeudella eteenpäin ja testaaja ei heti muistanut kuinka nopeutta säädettiin. Leijona 1400 reagoi herkästi teiden epätasaisuuksiin, esimerkiksi jääkerroksesta johtuvaan, jonka seurauksena ajoneuvon hallinta heikkeni. Ribberin sähköpotkulaudalla oli suuria haasteita liikkeellelähdessä irtolumessa, se vain suti paikallaan.

### 3.4 Muita huomioita testien yhteydessä

Tässä luvussa kerrotaan testausten yhteydessä havaituista asioista, joita havaittiin useamman kerran.

Ihmiset eivät reagoineet joidenkin kevyiden sähköajoneuvojen äänimerkkeihin. Syynä voi olla se, että useimmissa kevyissä sähköajoneuvoissa äänimerkkinä oli samanlainen ääni kuin mopoissa. Tästä syystä jalankulkijat saattoivat luulla, etteivät äänimerkit olleet tarkoitettu heille, sillä keskustan pyöräteillä ei ole sallittua ajaa mopoilla. Yhdessä tapauksessa käytettiin ensin äänimerkkiä, joka kuulosti mopon äänimerkiltä niin siihen ei reagoitu. Sen jälkeen käytettiin pyörän äänimerkkiä ja siihen reagoitiin.

Kaikissa testattavissa ajoneuvoissa ei ollut suuntavalaisimia. Luvussa 2.2 mainittiin suuntavalaisimien puuttuessa ajoneuvosta, suuntamerkki on annettava muulla selkeällä tavalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että näytetään kädellä kumpaan suuntaan käännytään. Ribberissä haasteeksi koitui vasemmalle kääntyminen, sillä vasemmalla kädellä säädettiin kaasua.

Toinen huomio liittyen suuntavalaisimiin oli, että varsinkin goMoto 2.4+:ssa suuntavalaisin jäi helposti päälle. Muissa ajoneuvoissa piti painaa suuntavalaisimen kytkin pohjaan sammuttaakseen sen. goMoto 2.4+:ssa suuntavalaisimen kytkin piti saada keskiasentoon.

goMoto 2.4+ssa katto toi haasteita lähes kaksimetriselle testaajalle, sillä teiden epätasaisuuksien takia testaajan pää osui ajoneuvon kattoon.

## 4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, vastaavatko testattavana olevat kevyet sähköajoneuvot nykyistä lainsäädäntöä, soveltuvatko ne ympärivuotiseen käyttöön ja mitä haasteita kaupunki-infrastruktuuri mahdollisesti asettaa testattaville ajoneuvoille.

Lainsäädännön vastaavuuteen liittyen ajoneuvoista mitattiin nopeustutkalla nopeudet. Testien perusteella voidaan todeta testattujen kevyiden sähköajoneuvojen ja sähköavusteisten polkupyörien vastaavan lain asettamia rajoituksia nopeuden suhteen.

Soveltuvuutta ympärivuotiseen käyttöön testattiin ajamalla ajoneuvoilla kevyessä pakkasessa, kirjaamalla ajettu matka ylös ja katsomalla paljonko akuissa oli varausta vielä jäljellä. Saaduilla tuloksilla ei voida varmuudella vastata kysymykseen, soveltuvatko nämä ajoneuvot ympärivuotiseen käyttöön, koska akkuja testattiin vain -3 °C:ssa. Osalla testatuista akuista havaittiin olevan haasteita jo tässä lämpötilassa. Suuremmilla pakkasilla ajoneuvojen toimintamatkat olisivat luultavasti olleet huomattavasti lyhyempiä, kuten myös luvussa 1 mainittiin Timo Turkulan todenneen Autobild-lehden tekemistä sähköautojen toimintamatkan mittauksista artikkelissaan Pienet sähköautot hyytyivät.

Tieinfrastruktuurissa suurimpana haasteena oli lumi. Osa pyöriteistä oli kaventunut, kun niiden reunoille oli kasaantunut aurattua lunta. Ajoradoilta aurattu lumi muodostui paikoitellen niin suuriksi lumivalleiksi, ettei ajoneuvoilla päässyt suojatien yli ilman apua. Pyöräkaistoilla lumi oli peittänyt niiden punaiset maalit ja näin ollen niitä oli vaikea havaita. Pyöräkaistoilla voisi olla liikennemerkkit kertomassa niiden olemassa olost.

Ajoneuvoja testattiin yksipuolisissa sääoloissa, pienessä pakkasessa ja poutaisessa säässä. Helmikuussa 2019 olisi ollut hyvä myös testata ajoneuvoja, sillä helmikuussa oli vaihtelevampia sääoloja kuin tammikuussa. Helmikuussa oli kovia pakkasia ja välillä lämpötila oli jopa 5 °C. Näin ollen oltaisiin saatu tammikuun tuloksille vertailuarvoja, mutta aikataulun vuoksi näitä vertailuja ei saatu tehtyä. Nopean aikataulun vuoksi ajoneuvojen akkujen varauksien kestävyyttä ei ehditty testaamaan useampaa kertaa. Varsinkin niitä ajoneuvoja olisi pitänyt testata uudelleen, joista akut purkautuivat.

Tällä hetkellä kevyitä sähköajoneuvoja ei ole kovinkaan paljon katukuvassa. Jos tällaisten ajoneuvojen käyttö lisääntyy huomattavasti, pyöriteiden ja kevyen liikenteen väylien kapeudesta tulee todennäköisesti huomattava haaste.

Koska kevyiden sähköajoneuvojen suurin sallittu nopeus on 25 km/h, olisi kaikissa ajoneuvoissa voinut olla nopeusmittari. Lisäksi kaikissa kevyissä sähköajoneuvoissa olisi voinut olla suuntavalaisimet, koska nopeutta säädettiin kaikissa testatuissa kevyissä sähköajoneuvoissa kädellä ja suuntamerkin osoittaminen kädellä oli tällöin haastavaa.

Lopuksi on koottu yhteen opinnäytetyön tuloksiin vaikuttavia virhelähteitä:

1. Akkutesteissä ei ollut samat reitit. Eri reiteillä oli erilaiset kuormittavat tekijät, esimerkiksi mäkien määrä oli eri. Eri reitteihin päädyttiin kuitenkin siitä syystä, että saataisiin tutkittua mahdollisia erilaisia infrastruktuurin haasteita eri puolilta kaupunkia.
2. Nopeustutkan virhemarginaalin puuttuminen. Tämä tieto olisi ollut tarpeellinen varsinkin Ribberin sähköpotkulaudan nopeustestin tulosten analysoinnissa.
3. Testaajien toiminta nopeustesteissä. Muutamissa tuloksissa testaaja ei huomannut ajoneuvon nopeusmittarin huippunopeutta, koska ei voinut koko ajan katsoa nopeusmittarin lukemaa. Leijona 1400:n nopeusmittarin tulokset olivat testaajan arvioita, koska mittari ei ilmoittanut digitaalista nopeuden arvoa.
4. Testaajien ajotavat akkujen testauksissa. Valmistajien mukaan ajotavalla on vaikutusta toimintamatkaan.
5. Ajoneuvojen rengaspaineita ei mitattu. Joidenkin valmistajien mukaan alhaisen rengaspaineen seurauksena akut purkautuisivat nopeammin.



Turkula T. 2018. Pienet sähköautot hytyivät. Moottori 2.1.2018. Autobild-lehden mittaus. Viitattu 11.3.2019 <https://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/pienet-sahkoautot-hytyivat/>.

Turun kaupunki 2018. Talvipyöräilyn testireitti on jälleen avattu. Viitattu 25.2.2019 [https://www.turku.fi/uutinen/2018-10-30\\_talvipyorailyn-testireitti-jalleen-avattu](https://www.turku.fi/uutinen/2018-10-30_talvipyorailyn-testireitti-jalleen-avattu).

Turun kaupunki 2019. CIVITAS ECCENTRIC. Viitattu 4.3.2019 <https://www.turku.fi/civitas-eccentric>.

Turun Sanomat 14.3.2019. Autotehdas kehitti poljettavan sähköajokin.

Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta 30.12.2015/1613. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151613>.

**Liite 1. Tieliikennelain 729/2018 liite 7.4.**

729/2018

**Liite 7.4**

Kevyen sähköajoneuvon, moottorilla varustetun polkupyörän ja polkupyörän sekä näiden perävaunun suurin sallitu leveys (128 §)

	Ajoneuvo	leveys, metriä
a	Kevyt sähköajoneuvo ja enintään kaksipyöräinen polkupyörä	0,80
b	Kaksipyöräinen moottorilla varustettu polkupyörä	1,00
c	Yli kaksipyöräinen polkupyörä	1,25
d	Perävaunu a-c kohdassa tarkoitettuun ajoneuvoon	1,25

## **Liite 2. Akkustestien ajoreitit.**

25.1.2019 reitti

Turun ammattikorkeakoulu, Sepänpäädun kampus - Sepänpäätu - Kupittaankatu - Uudenmaantie - Kupittaanpuisto - Lemminkäisenkatu - Kiinamylynpäätu - Hämeenkatu - Akatemiankatu - Piispankatu - Itäinen Rantakatu - Volter Kilven päätu - Neitsytpolku - Sirkkalankatu - Sepänpäätu - Luostarinkatu - Kaskenkatu - Kupittaankatu - Uudenmaantie - Sirkkalankatu - Lemminkäisenkatu - Kiinamylynpäätu - Hämeentie - Rehtoripellonkatu - Vatselankatu - Assistentinkatu - Helsinginkatu - Lonttistentie - Verkatehtaankatu - Aninkaistenkatu - Tuureporinkatu - Kauppiaskatu - Yliopistonkatu - Aurakatu - Kaskenkatu - Luostarinkatu - Sepänpäätu - Turun ammattikorkeakoulu, Sepänpäädun kampus

29.1.2019 reitti

Turun ammattikorkeakoulu, Sepänpäädun kampus - Sepänpäätu - Luostarinkatu - Kaskenkatu - Hämeenkatu - Rettiginrinne - Itäinen Rantakatu - Piispankatu - Akatemiankatu - Rothoviuksenkatu - Tuomiokirkonkatu - Piispankatu - Uudenmaankatu - Linnankatu - Brahenkatu - Ratapihankatu - Humalistonkatu - Läntinen Rantakatu - Teatterisilta - Itäinen Rantakatu - Kaskenkatu - Luostarinkatu - Sepänpäätu - Turun ammattikorkeakoulu, Sepänpäädun kampus

30.1.2019 reitti

Turun ammattikorkeakoulu, Sepänpäädun kampus - Sepänpäätu - Luostarinkatu - Kaskenkatu - Aurakatu - Läntinen Rantakatu - Linnankatu - Brahenkatu - Tuureporinkatu - Aninkaistenkatu - Satakunnantie - Markulantie - Viilarinkatu - Markulantie - Satakunnantie - Aninkaistenkatu - Tuureporinkatu - Ukkokodinpolku - Multavierunkatu - Eerinkatu - Aninkaistenkatu - Uudenmaankatu - Piispankatu