

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Autotekniikka ja katsastus

2017

Jenna Wahlsten

# SÄHKÖBUSSIEN LATAUSTIEDON HYÖDYNTÄMISEN ORGANISOINTI

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

2017 | Sivumäärä 35 + liite

Ohjaajat: Markku Ikonen, Panu Aho

Jenna Wahlsten

# SÄHKÖBUSSIEN LATAUSTIEDON HYÖDYNTÄMISEN ORGANISOINTI

Opinnäytetyön tarkoitus on helpottaa Turun sähköbussiprojektin kokemus- ja tutkimusperäisen tiedon käsittelyä kokoamalla sähköbussipilottilinjalta kerätyt lataukseen liittyvät mittaustiedot yhteen Excel-tiedostoon. Työssä esitellään Turun sähköbussiprojekti ja toteutetun kokoonpanotiedoston luominen sekä sen lähteinä toimivat tiedonkeruujärjestelmät. Samalla kartoitettiin sähkölinja-autojen määrää maailmalla.

Excel-kokoonpanotiedosto toteutettiin Wapicen IoT-Ticket ja Turku Energian yhteistyökumppanin Virtapisteen tiedonkeruujärjestelmien avulla. Näistä lähteistä saatiin auton järjestelmän ja laturien keräämät tekniset tiedot, jotka siirrettiin VBA-koodin avulla tehtyyn Excel-tiedostoon. Tietoa Turun sähköbussiprojektista kerättiin projektin yhteistyökumppaneilta Internetiä hyödyntäen.

Tiedonkeruujärjestelmistä peräisin oleva latausdata saatiin koottua järjestelmällisesti Excelliin, joten suuri määrä tietoa on selattavissa yhdestä paikasta. Sähköbussiyksilöiden vertailu keskenään onnistuu nyt helpommin, kun jokaisen bussin kuukausittaiset lataustiedot ovat samalla välilehdellä.

ASIASANAT:

sähkölinja-auto, energiankulutus, latausenergia, päästötavoitteet, tiedonkeruu

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

2017 | Total number of pages 35 + appendix

Instructors: Markku Ikonen, Panu Aho

Jenna Wahlsten

## ORGANIZING THE UTILIZATION OF THE CHARGING DATA OF THE ELECTRIC BUSES

The aim of this Bachelor's thesis was to ease the handling of the experimental and research data by collecting the recharging information of the electric bus pilot route into one Excel file. In this Bachelor's thesis, the Turku electric bus project is introduced, as well as the created composition data file system with its sources. At the same time, information about electric buses around the world was collected.

The composition data file system was created using data collected by the Wapice IoT-Ticket system and data from Virtapiste, a collaborator of Turku Energia. From these sources, the technical data from the electric bus and the battery charger data collection systems was collected and transferred into the constructed Excel spreadsheet via a VBA-code. The information about the Turku electric bus project was collected from the partners of the project utilizing the Internet.

The information from the data collecting systems was gathered into one organized Excel based data composition file. As a result of this, a large amount of data is now available in one place. Therefore, the comparison of the buses is easier, because the monthly data of each bus is visible in one Excel spreadsheet.

### KEYWORDS:

Electric bus, Energy consumption, Charging energy, Emission targets, Data collection

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 YMPÄRISTÖ JA HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT</b>	<b>8</b>
<b>3 SÄHKÖBUSSIEN YLEISYYS ERI MAISSA</b>	<b>10</b>
3.1 Suomi	10
3.1.1 Turku	10
3.1.2 Pääkaupunkiseutu	12
3.1.3 Tampere	13
3.2 Pohjoismaat	14
3.2.1 Norja	14
3.2.2 Tanska	15
3.3 Muu Eurooppa	15
3.3.1 Lontoo	15
3.3.2 Saksa	17
3.3.3 Hollanti	18
3.4 Muu maailma	19
3.4.1 Kiina	19
3.4.2 Pohjois Amerikka	19
3.4.3 Australia	21
<b>4 TURUN SÄHKÖBUSSIPROJEKTI</b>	<b>22</b>
<b>5 TIEDONKERÄYSJÄRJESTELMÄT</b>	<b>23</b>
<b>6 KOKOONPANO TIEDOSTON LUOMINEN ERI LATAUSMITTAUSTIETOJEN YHDISTÄMISEKSI</b>	<b>25</b>
<b>7 PÄÄTELMIÄ KOKOONPANO TIEDOSTOSTA</b>	<b>27</b>
<b>8 SÄHKÖLASKUTUKSEN JA LATURISTA MITATUN SÄHKÖN VERTAILU</b>	<b>31</b>
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>32</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>33</b>

## LIITTEET

Liite 1. Osa Excelliin tehtyä VBA-koodia

## KUVAT

Kuva 1. Sähköbussi latautumassa Turun lentokentällä.	11
Kuva 2. Turun lentokentän laturi: ylhäältä alaspäin laskeutuva virroitinratkaisu.	11
Kuva 3. Helsingin sähköbussin lataus.	12
Kuva 4. Tampereen sähköbussi ja latausasema Pyynikintorin pääte pysäkillä.	14
Kuva 5. Induktiivinen latausjärjestelmä Saksassa.	17
Kuva 6. Saksan sähköbussi.	18
Kuva 7. Kanadan Winnipegin sähköbussi ja latausjärjestelmä.	20
Kuva 8. Australian aurinkoenergialla ladattava sähköbussi.	21
Kuva 9. IoT-Ticketin WRM247+.	23
Kuva 10. Virtapisteen etusivu.	24
Kuva 11. Esimerkkikuvaa kokoonpanotiedostosta.	27

## KUVIOT

Kuvio 1. Sähkönkulutus päivittäin keskilämpötilan funktiona autolla numero 35 helmikuussa.	30
--	----

## TAULUKOT

Taulukko 1. Yhteenvetoa Virtapisteen ja IoT-Ticketin latausmääristä.	28
Taulukko 2. Virtapisteen energian lukemien vertailu Turku Energian sähkölaskutustietojen kanssa.	31

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
VBA	Visual Basic for Applications
$CO_2$	Hiilidioksidi
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
WAVE	Wireless Advanced Vehicle Electrification
HSL	Helsingin seudun liikenne
IoT	Internet of Things
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
TKL	Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitos

# 1 JOHDANTO

Tiukentuvien päästörajoitteiden takia yhä useampi maa tutkii vaihtoehtoisilla energialähteillä toimivaa joukkoliikennettä. Varsinkin kaupunkien keskustoissa sähköisen liikenteen etuja ovat ilmanlaadun parantuminen ja melusaasteen pienentyminen.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan Turun sähköbussiprojektiin ja sen pilottilinjan tiedonkeruujärjestelmiin ja samalla sähköbussien yleisyyteen eri maissa. Sähköbussien yleisyyteen maailmalla tutustuttiin, jotta nähtäisiin, miten muissa maissa on edetty joukkoliikenteen sähköistämässä. Näin voidaan saada eri näkökulmia sähkölinja-autoprojektiin, oppia toisilta ja vertailla eroavaisuuksia muiden maiden projekteihin.

Työssä esitellään tiedonkeruujärjestelmien tietojen pohjalta koottu Excel kokoonpanotiedosto. Sen tarkoituksena on saada kerättyä suuri määrä kokemus- ja tutkimusperäistä tietoa kaikista Turun sähkölinja-autoista yhteen tiedostoon ja päästä vertailemaan niitä keskenään. Sen avulla nähdään linja-autojen eroja esimerkiksi latauksessa ja energian kulutuksessa. Näin pystytään etsimään syitä näille eroavaisuuksille ja kehittämään sähköbussijärjestelmää. Tekninen data on myös helpommin käsiteltävissä, kun suurimman osan tiedoista näkee yhdestä paikasta, eikä niitä tarvitse etsiä monesta eri lähteestä.

Sähkölinja-auton latautumiseen ja energian kulutukseen vaikuttaa moni tekijä. Siksi pelkkä latureilta ja auton järjestelmästä tuleva tieto ei riitä. Näin ollen teknistä dataa käsittelevään tiedostoon täytyy lisätä esimerkiksi ilman lämpötila ja verrata eri mittauskohteista saatua tietoa keskenään. Lisäksi Exceliin saadaan tehtyä kuvaajia, joilla pystytään havainnollistamaan käsiteltävää tietoa.

## 2 YMPÄRISTÖ JA HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

Nykyajan haasteellisin ympäristöongelma on ilmastonmuutos, jonka aiheuttaa hiilidioksidin ( $CO_2$ ) ja muiden kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousu. Hiilidioksidilla on suurin vaikutus ilmaston lämpenemiseen, sillä sen osuus kaikista kasvihuoneilmiötä aiheuttavista kaasuisista on 80 prosenttia. 75 prosenttia  $CO_2$ - päästöistä on taas peräisin kivihiihostä, öljystä ja maakaasusta eli fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Koska energian tarve on kasvanut suuresti, hiilidioksidia on vapautunut viimeisen parin sadan vuoden aikana kiihtyvällä vauhdilla. Vaikka hiilidioksidipäästöt kääntyisivät laskuun, ei sen pitoisuus ilmakehässä vähenisi saman tien, koska hiilidioksidin poistuminen ilmakehästä on hidasta. ( $CO_2$ - raportti 2017.)

Suomessa noin 20 prosenttia kasvihuonekaasujen päästöistä on peräisin Suomen sisällä tapahtuvasta liikenteestä. Noin 75 prosenttia siitä syntyy tieliikenteessä. Lukema on suuri ja siksi esimerkiksi henkilöautoliikenteen vähentäminen olisi tehokkain tapa pienentää hiilidioksidipäästöjä. Yksi keino tähän on joukkoliikenteen kehittäminen, mitä sähköbussiprojektilla tavoitellaankin. (Liikennevirasto 2017.)

Ilmastonmuutoksesta aiheutuvat vaikutukset eivät jakaudu tasapuolisesti ympäri maailmaa. Seuraamuksista eivät kärsi eniten teollisuusmaat, jotka ovat aiheuttaneet noin 80 prosenttia tähänastisista päästöistä, vaan köyhimmät maat, joilla ei ole kunnollisia mahdollisuuksia sopeutua muuttuviin olosuhteisiin. Päästöjen vaikutukset leviävät laajalle, vaikka päästöt olisivatkin paikallisia. (Suomen YK- liitto 2016.)

Koska ilmastonmuutos on globaali ongelma, tilanteen parantamiseksi tarvitaan yhteistyötä. Esimerkkinä on IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), joka on kansainvälinen hallitustenvälinen ilmastopaneeli. Sen tavoitteena on kerätä tutkimusperäistä tietoa ympäri maailmaa, jotta tilanteessa pysyttäisiin perillä ja osattaisiin tehdä ajankohittaisia ja oikeita päätöksiä ilmastopolitiikassa. (Suomen YK- liitto 2016.)

Yhteistyön helpottamiseksi ilmastonmuutoksen torjumisesta on tehty erilaisia sopimuksia. Suurin ja edistävän on Pariisin ilmastopöimus, joka on ensimmäinen kaikkia maita velvoittava ja sitova ilmastopöimus. Sopimuksesta päästiin yhteisymmärrykseen joulukuussa 2015 Pariisissa. Kaikkien maiden tehtäväksi tuli seurata annettuja päästörajoja ja raportoida omasta edistymisestä vähennysten suhteen. Teollisuusmaiden tehtävänä on



myös auttaa kehitysmaita tukemalla niitä rahallisesti, jotta ilmastonmuutosta saadaan hidastettua. Sopimuksen tavoitteet alkavat vuodesta 2020. (Suomen YK- liitto 2016.)

Ilmastopäästöjen lisäksi myös paikalliseen ilmanlaatuun vaikuttavat päästöt ovat edelleen ongelma. Ilmansaasteet tekevät hallaa niin ympäristölle kuin ihmisillekin. Ilman epäpuhtaudet happamoittavat vesistöjä ja maaperää sekä rehevöittävät vesistöjä. Terveydelle ovat haitallisia ilmassa olevat raskasmetallit sekä hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet. Varsinkin hiukkaset ovat terveydelle haitaksi ja niiden on todettu lisäävän kuolleisuutta. Vanhukset, lapset sekä kroonisista sydän- ja hengityselinsairauksista kärsivät altistuvat normaalia herkemmin saasteiden terveysvaikutuksille. Varsinkin vilkasliikenteisillä alueilla katupöly, pakokaasut ja melu ovat merkittäviä haittatekijöitä. (Ympäristö 2015; HSY 2015.)

## 3 SÄHKÖBUSSIEN YLEISYYS ERI MAISSA

Sähköbussit ovat alkaneet yleistyä ympäri maailmaa, toisissa maissa nopeammin kuin toisissa, mutta kaikilla on sama päämäärä. Tämä johtuu muun muassa lisääntyvistä ilman saasteista, huonontuneesta ilmanlaadusta, ilmastonmuutoksen torjunnasta ja kiristyneistä päästörajoista. Sähkömoottorin hyötysuhde on dieseliä huomattavasti parempi, jolloin energiankulutus on pienempi. Varsinkin, jos käytettävä sähkö on tuotettu hiilettömästi tai uusiutuvalla hiilellä, kasvihuonevaikutus jää pieneksi.

### 3.1 Suomi

Helsingissä, Turussa ja Tampereella on menossa kussakin omat tutkimushankkeensa sähköisen bussiliikenteen käynnistämiseksi. VTT:n organisoima eKEKO- sähköbussihanke kerää eri kaupunkien kokemukset yhteen. Tapaamisissa jaetaan kokemuksia ja haetaan parhaimpia vaihtoehtoja sähköisen bussiliikenteen käynnistämiseen.

#### 3.1.1 Turku

Turun kaupungin tavoitteena on lisätä sähköisen kaluston osuutta julkisessa liikenteessä ja ensimmäinen sähköbussi otettiin käyttöön lokakuussa 2016. Käytössä on kuusi kotimaiselta Linkker Oy:ltä Sastamalasta ostettua kuvan 1 mukaista linja-autoa. Projektin takana on kaupungin strateginen päätös olla hiilineutraali vuoteen 2040 mennessä. (Hjelt 2016.)



Kuva 1. Sähköbussi latautumassa Turun lentokentällä (Turkulainen 2016).

Turussa on tällä hetkellä 8 Heliom BV:n valmistamaa laturia, joille Turku Energia on toteuttanut ja rakentanut latausasemat satamaan, lentoasemalle ja liikennöitsijän varikolle, joka sijaitsee Rieskalähteentiellä. Sataman ja lentoaseman laturit ovat kuvan 2 mukaisia pikalatureita, joita hyödynnetään ajossa ja varikolla olevat kuusi laturia ovat hidaslatureita, joita käytetään yöllä. (Teknologioteollisuus ry 2016.)



Kuva 2. Turun lentokentän laturi: ylhäältä alaspäin laskeutuva virroitinratkaisu (Turkulainen 2016).

Sähköbussiprojektin sopimus sisältää bussien ja latauslaitteiden huoltosopimuksen seitsemäksi vuodeksi. Sopimuksen osapuolina ovat Linkker Oy:n kumppaniverkosto

Schunk Nordiska Ab, joka vastaa virroitinjärjestelmistä ja Heliox. (Teknologiateollisuus ry 2016.)

Turku Energian kehityspäällikön Antto Kullan mukaan sähköisen liikenteen palveluiden kehittämiseen tullaan edelleen panostamaan suuresti ympäristöohjelman mukaisesti. Kulta täydentää, että edellytyksenä Turun laajemmalle sähköbussikaluston käyttööntolle lähivuosina on tietotaidon lisääminen aiheesta ja tietenkin latausjärjestelmien toteuttaminen. (Teknologiateollisuus ry 2016.)

Turun kaupungin ympäristötoimialan kehittämisspäällikkö Jari Paasikiven mukaan ”Paikallisesti päästöttömät sähköbussit mahdollistavat esimerkiksi aivan uudenlaisia sisätiloihin rakennettavia pysäkki- ja terminaali-alueita. Vaikka Turussa ei juuri tällaisia suunnitelmia ole vireillä tällä hetkellä, halusimme päästä ensimmäisten kaupunkien joukkoon saamaan kokemuksia uudesta tekniikasta. Asteittain sähköbussien määrä tulee varmasti Turussakin kasvamaan”. (Teknologiateollisuus ry 2016.)

### 3.1.2 Pääkaupunkiseutu

Helsinkiin ostetaan kaiken kaikkiaan 12 kuvan 3 mukaista sähköbussia Linkkeriltä. Helsingin seudun liikennepalvelut -osaston johtaja Reijo Mäkinen kertoo, että ”HSL hankkii kaluston poikkeuksellisesti itse, sillä uuden teknologian riskien säilyttäminen liikennöitsijöille olisi ollut kohtuutonta” ja lisäksi ”Järjestely mahdollistaa myös sen, että HSL voi omistamissaan sähköbusseissa testata ja kehittää uusia matkustajapalveluita ja tehdä autoihin erilaisia koeasennuksia.” (Kainulainen 2016.)



Kuva 3. Helsingin sähköbussin lataus (Kauppalehti 2016).

Latausasemat sijaitsevat Rautatientorilla ja linjojen päätepysäkeillä ja asemia rakennetaan kaiken kaikkiaan kahdeksan kappaletta. Helsingissä latausjärjestelmä toimii niin, että bussin pantografi nousee kuvan 3 mukaisesti katolta vastakappaleeseen eli latausasemaan. (Kainulainen 2016.)

Helsingin seudun liikenteen tavoitteena on moninkertaistaa sähköbussien määrä. Vuoteen 2020 mennessä sähköbussuja pitäisi olla kymmenen prosenttia koko HSL:n tilaamasta kalustosta ja kolmekymmentä prosenttia vuoteen 2025 mennessä. Tämänkin projektin takana on kestävän kehityksen toimenpidesitoumus vuodelle 2050, minkä tavoite on hiilineutraali yhteiskunta. (HSL 2015.)

Kun Espoosta alkaa kulkea metro Espoo–Helsinki -väliä, suurin osa eteläisen Espoon linja-autoreiteistä muuttuu syöttölinjoiksi metroasemille. Espoon kestävän kehityksen johtajan Pasi Laitilan mukaan tavoitteena on, että mahdollisimman moni reitti toteutettaisiin sähköbussilla. Espoo on lupautunut järjestämään linja-autoille latauspisteen, jos sähköbussi valitaan parhaaksi vaihtoehdoksi Helsingin seudun liikenteen kilpailutuksessa Matinkylän metron liityntäliikenteeseen. Lisäksi latauspisteitä on suunniteltu esimerkiksi Tapiolan ja Espoonlahden terminaaleihin. (HSL 2015.)

### 3.1.3 Tampere

Tampereelle on tulossa viiden vuoden leasing- sopimuksella yhteensä neljä kuvan 4 mukaista sähköbussia, joista ensimmäinen otettiin käyttöön joulukuun puolivälissä 2016. Viiden vuoden aikana on tarkoitus kerätä kokemuksia bussien käytettävyydestä ja kustannuksista. Sopimukseen sisältyy myös mahdollisuus hankkia lisää autoja leasingin aikana. Helsingistä ja Turusta poiketen Tampereen sähköbussit toimittaa puolalainen Solaris. Sähköbussilinjasta vastaa Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitos (TKL). Tampereen pikalatausasema sijaitsee Pyyntikin torin päätepysäkillä ja Nekalan varikolla on neljä hidaslatauspistettä. (Happonen 2016.)



Kuva 4. Tampereen sähköbussi ja latausasema Pyynikintorin pääte pysäkillä (Tampere 2016).

### 3.2 Pohjoismaat

Pohjoismaissa on tällä hetkellä yli 500 Fortumin Charge and Drive -latauspistettä, joista yli 200 on pikalatauspisteitä. "Sähköisiä ajoneuvoja tulee yhä enemmän myös julkisen liikenteen puolelle, ja haluamme olla aktiivisesti mukana tässä kehityksessä", sanoo kehitysjohtaja Jukka Toivonen Fortumista. (VTT 2015.)

#### 3.2.1 Norja

Norjan Stavangerissa otettiin 7.4.2015 käyttöön kaksi EBUSCON sähköbussia. Bussit valmistivat Helmondissa sijaitseva hollantilainen yritys nimeltä Ebusco BV. Busseja liikennöi Boreal Transport Norge AS. Busseja ladataan vain yön yli varikolla eli matkan varrella ei ole pikalatureita. (Ventura systems 2015.)

Norjan eduskunnan tavoitteena on, että kaikki uudet autot joita myydään vuodesta 2025 eteenpäin olisivat vähäpäästöisiä (lataushybridit) tai täysin (sähkö tai vety) päästöttömiä. Tavoite on erittäin kunnianhimoinen, mutta uskotaan, että se voidaan saavuttaa viherverojärjestelmällä periaatteena, että ilman saastuttajat maksavat. Tällä poliittiset puolueet haluavat samalla ilmaista, että on taloudellisesti hyödyttävää valita vähäpäästöinen tai täysin päästötön auto. (Norsk elbilforening 2017.)

### 3.2.2 Tanska

Kööpenhamina sai ensimmäiset kaksi sähköbussia 2014 kiinalaiselta BYD:ltä ja 2016 kaksi lisää suomalaiselta Linkker Oy:ltä. Latausjärjestelmän toimittaa Linkkerin autoille samat yhtiöt (Schunk ja Heliox) kuin Turussakin. (Rychla 2015.)

Suomesta tuodut sähköbussit latautuvat pikalatausasemilla linja-autoreitin varrella varikon hidaslatausaseman lisäksi. Kiinalaisen BYD yhtiön bussit latautuvat vain yön yli varikolla. (Rychla 2015.)

Tanskan pääkaupunki on asettanut tavoitteekseen olla 100-prosenttisesti hiilineutraali vuonna 2025. Lisäksi halutaan vähentää typpioksidipäästöjä 60 prosenttia verrattuna vuoteen 2011. (Rychla 2015.)

### 3.3 Muu Eurooppa

Alan asiantuntijoiden mukaan sähköbussien suuri tuleminen on lähellä ilmassa olevien merkkien perusteella, vaikka toistaiseksi niiden prosentuaalinen osuus koko linja-autokalustosta on vielä pieni ja dieselbusseilla hoidetaan suurin osa reiteistä. (Laitila 2015.)

Linkkerin toimitusjohtaja Kimmo Erkkilän mukaan muun muassa Pariisi ja Amsterdam ovat päättäneet sähköistää bussiliikenteensä vuoteen 2025 mennessä ja esimerkiksi Pariisissa on yksinään 5 000 linja-autoa. Globaalisti Erkkilä arvioi, että sähköisellä voimajalalla varustettuja busseja myytäisiin vuonna 2020 50 000 kappaletta. Näin ollen markkinat olisivat miljardien arvoiset. (Kainulainen 2016.)

Tämän hetken tietojen perusteella uskotaan, että vuoteen 2020 mennessä isommat linja-autovalmistajat, kuten Volvo, Scania ja Mercedes-Benzin valmistaja Daimler ovat todennäköisesti saaneet sähköbussinsa valmiiksi. Tämä kertoo, että ”isommatkin tekijät” ovat huomanneet sähköbussien kysynnän lisääntymisen ja kokevat näin ollen sähköbussien valmistamisen tarpeelliseksi nykyisen tuotantonsa rinnalle. (Kainulainen 2016.)

#### 3.3.1 Lontoo

Lontoon kaupunginjohtaja Sadiq Khan ja Lontoon kaupungin liikenne ovat ilmoittaneet, että pääkaupunki tulee omistamaan Euroopan suurimman sähköbussikaluston, kun he

julkistivat ensimmäiset 2 täysin sähköbussilla toimivaa reittiä Lontoon keskustassa. Reitillä tulee olemaan käytössä 51 sähkölinja-autoa ja lisäksi Lontoon lähiöissä on 22 sähköbussia, joiden ansiosta Lontoon kaupungin kalustossa on yhteensä 73 autoa, joka on suurin määrä Euroopassa. (TfL 2016.)

Lontoon busseilla on kaksi toimittajaa. Toinen on kiinalainen BYD, joka valmistaa autot Britanniassa ja toinen on brittiläinen ADL. Yksi Lontoon suurimmista linja-autoliikennöitsijöistä, Go- Ahead London, tilasi juuri kiinalaiselta BYD:ltä 51 sähköbussia. (Laitila 2015.)

Kaupunginjohtajan tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä kaikki 300 yksikerroksista bussia, jotka liikennöivät Lontoon keskustan läpi, olisivat täysin päästöttömiä ja kaikki 3 100 kaksikerroksista bussia olisivat hybridejä vuoteen 2019 mennessä. Bussit ovat Khanin mukaan avainasemassa hänen suunnitelmassaan kehittää ilmanlaatua ja liikennettä terveellisemmäksi ja puhtaammaksi. (TfL 2016.)



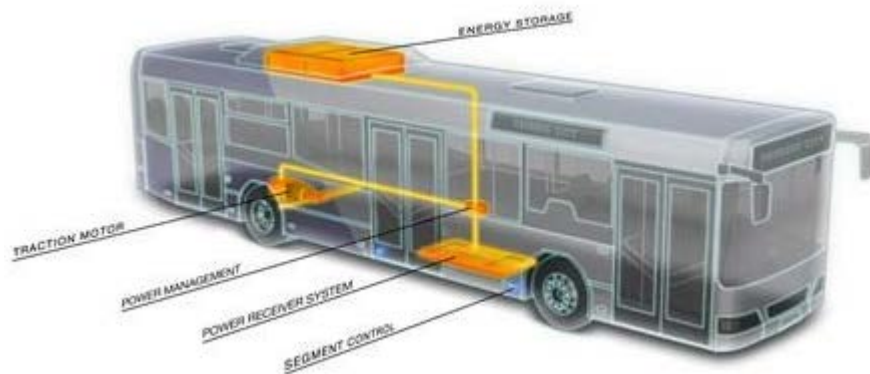
### 3.3.2 Saksa

Kahteen Mannheimin paikalliseen bussiin on sovitettu ainutlaatuinen järjestelmä, joka voi ladata langattomasti käyttäen kuvan 5 PRIMOVE induktiivista langatonta latauslaattaa. Se sijaitsee bussin pysähtymiskohdalla tien pinnan alla jokaisella asemalla ja käynnistyy vasta, kun anturit havaitsevat linja-auton olevan laatan päällä. (TFOT 2017.)



Kuva 5. Induktiivinen latausjärjestelmä Saksassa (TFOT 2017).

Seuraavan 12 kuukauden aikana ”Primove Mannheim” -tutkimusprojekti keskittyy Mannheimin kaupunkiin lounaiseen Saksaan. Tavoitteena on testata kahdella kuvan 6 mukaisella langattomasti ladattavalla sähköbussilla, voisiko tämä teknologia auttaa leikkaamaan kuluja julkisesta liikenteestä. (TFOT 2017.)



Kuva 6. Saksan sähköbussi (TFOT 2017).

Merkkipaalu on saavutettu sähköisen liikumisen kehittämisessä, kun maailman ensimmäisenä pääkaupunkina Berliini otti käyttöön langattomasti ladattavan sähköbussin. Berlinin liikenneviranomaisen BVG on asettanut itsensä edelläkävijäksi kaupunkiliikkuudessa ottamalla käyttöön neljä Solaris Urbino 12 -sähköbussia varustettuna Bombardier primove -induktiivisella latausjärjestelmällä ja Vossloh Kiepen voimansiirrolla. Projektia rahoittaa liittovaltion Liikenne ja digitaalinen infrastruktuuri -ministeriö. (Bombardier 2015.)

### 3.3.3 Hollanti

Tämän hetkisen suunnitelman mukaan vuoden 2025 jälkeen bensiini- ja dieselautoja ei saisi enää myydä Hollannissa. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseessä olevan vuoden jälkeen Hollannin teillä kulkevat uudet autot olisivat vain sähköautoja. Fossiilipohjaisella polttoaineella kulkevat ajoneuvot saisi kuitenkin käyttää elinkaarensa loppuun saakka. (Dockrill 2016.)

Suunnitelmasta saattaa tulla jopa laki, koska suurin osa Hollannin parlamentin jäsenistä kannattaa aloitetta, vaikka se onkin aika äärimmäinen ehdotus. Koska kaikkien päästölisten autojen myynti olisi laitonta, polttoainetta käyttäviä hybridejäkään ei saisi enää ostaa, ellei ajoneuvo käyttäisi vetyä energian lähteenään. (Dockrill 2016.)

Kaikki eivät kuitenkaan usko suunnitelman toteutuvan. Esimerkiksi talousministeri Janene Pietersin mukaan tavoite on epärealistinen ja yli-innokas. Hän uskoo, että todennäköisemmin vain 15 prosenttia uusista ajoneuvoista on täysin sähköisiä vuoteen 2025 mennessä. (Dockrill 2016.)

### 3.4 Muu maailma

#### 3.4.1 Kiina

Ensimmäinen kiinalaisen yrityksen BYD :n sähköbussi valmistui syyskuussa 2010. BYD on sähköbussien valmistaja, joka on kehittänyt itse myös oman rautafosfaattiakun. Kiinan teillä kulki yli 100 000 sähköbussia vuonna 2015, joka oli silloin yli 20 prosenttia koko maan busseista. Kaikkien maan bussien arvellaan olevan sähköisiä vuonna 2025, jos kasvu jatkuu samanlaisena. (Andrei 2016.)

#### 3.4.2 Pohjois Amerikka

Edmonton aikoo ostaa suuremman määrän sähköbusseja kuin mikään muu kaupunki Pohjois-Amerikassa ja toivookin näyttävänsä esimerkkiä muille valtioille ympäristöystävällisimmistä projekteista. Suunnitteilla on ostaa 25 - 40 sähköbussia, riippuen niiden yksittäishinnasta. Projektin pitäisi olla valmis loppuvuodesta 2018. Kaupunki odottaa, että sähkölinja-autojen avulla kasvihuonepäästöjä saadaan vähennettyä 38 – 44 prosenttia. (Metro news 2016.)

Winnipegin kuljetus käyttää nyt neljää New Flyer Xcelsior -sähköbussia päivittäisliikenteessä osana sähköbussiesittelyä. Projekti on yhteistyötä Winnipegin kaupungin, Manitoban maakunnan, Manitoba Hydron, New Flyer teollisuuden, Mitsubishi Heavy teollisuuden, Red River korkeakoulun ja Kanadan kestävän kehityksen teknologian kanssa. Winnipegin lentokentällä on kuvassa 7 näkyvä New Flyerin asentama latausasema. (Winnipeg Transit 2017.)



Kuva 7. Kanadan Winnipegin sähköbussi ja latausjärjestelmä (Winnipeg Transit 2017).

Päästöttömien sähköbussien odotetaan vähentävän huomattavasti kasvihuonepäästöjä ja ilmansaasteiden aiheuttamaa sumua. Manitobassa sähköbussien avulla aiotaan vähentää 160 000 kg kasvihuonepäästöjä per bussi per vuosi. Tätä suunnitelmaa tukee Manitoban sähköntuotantorakenne, joka on suurilta osin uusiutuvaa. Suunnilleen 100 prosenttia sähköstä tuotetaan polttamatta öljyä. (Winnipeg Transit 2017.)

Montreal aloittaa sähköbussiprojektin, jossa bussit kehitetään Kanadassa ja yhteistyössä Quebecin hallituksen kanssa. Käyttöönotto viivästyi parilla vuodella, mutta nyt kaupungin julkinen liikenne on vastaanottanut toimituksen. Se sisältää kolme sähkölinja-autoa ja kaupunki on valmis testaamaan niitä ajossa tammikuussa 2017. Angrignonin pääteasemalle ja Victorian aukiolle asennettiin kaksi pikalaturiasemaa ja neljä kakkostason (hidas) laturia linja-autovarikolle Lasalleen. (Lambert 2016.)

Yhdysvalloissa sähköbussit ovat vielä harvinaisia latausasemien puuttumisen takia. Sähkölinja-autoja on käytössä pääosin vain lentokentillä ja muilla lyhyillä edestakaisilla reiteillä. Yhtenä isompana esimerkkinä toimii Foothill Transit, joka ajaa usealla sähköbussilla kauas koilliseen Los Angelesin lähiöön. (MacKechnie 2016.)

Henkilöliikenne-yhtiö County Connection ja Walnut Creek kaupunki Kaliforniassa esittelivät uuden sähköisen johdinbussinsa yhteisölle. Sähköbussi, sähköinen energiajärjestelmä sekä induktiivinen latausjärjestelmä toteutettiin yhteistyönä Gillig-yhtiön, BAEn (energiajärjestelmä), WAVE:n (latausjärjestelmä) ja County Connectionin kanssa. Kustannus koostuu neljästä sähköisestä johdinbussista, joille on kaksi latausasemaa. Bussit rakennettiin paikallisen Gilligin toimesta. Uudet linja-autot tulevat korvaamaan vanhat dieselbussit. (County Connection 2016.)

Chicagolla on ollut muutama sähköbussi ajossa kaksi vuotta. Nyt lähdetään etsimään kehitysehdotuksia esimerkiksi latauspaikkoihin ja -tilanteihin kahden uuden sähkölinja-auton avulla. Chicagolla on valmiina jo ylös yli -latauspaikka, jolla kestää ladata autojen akut täyteen kolmesta viiteen tuntiin. Chicagoon suunnitellaan ostettavaksi kahdestakymmenestä kolmeen kymmeneen sähköbussia muutaman seuraavan vuoden kuluessa. (Kennedy 2016.)

### 3.4.3 Australia

Adelaiden kaupungin valtuustolla on ollut kahdeksan vuoden projekti saada kunnalle täysin puhdas sähkölinja-auto ja siinä onnistuttiin. Adelaidella on maailman ensimmäinen 100-prosenttisesti aurinkoenergialla ladattava kuvan 8 mukainen sähköbussi ja se tulee olemaan Adelaiden kansalaisten käytössä joka päivä. Adelaiden kaupunginvaltuusto mahdollistaa tämän ilmaisen bussilinjapalvelun. Bussi latautuu asemalle saapuessaan lataustolpan avulla. On arvioitu, että kunnan sähköbussi vähentäisi 70 000 kg hiilidioksidipäästöjä vuosittain. (Denhere 2015.)



Kuva 8. Australian aurinkoenergialla ladattava sähköbussi (Denhere 2015).

## 4 TURUN SÄHKÖBUSSIPROJEKTI

Sähköbussiprojekti sai alkunsa 1.6.2015, kun Turun kaupunginhallitus hyväksyi sähköbussipilottilinjan toteuttamishankkeen aloittamisen. Yhteistyökumppaniksi projektiin tuli Turun kaupunkiliikenne Oy, jonka avulla toteutettiin 1 linjan liikennöinti ja sähkölinja-autojen pilottihanke, sekä Linkker Oy, Turku Energia sekä Turun ammattikorkeakoulu. Kilpailutus suoritettiin vuonna 2015 ja ratkaisu saatiin aikaan vuoden 2016 alkupuolella. (Jorasmaa 2015.)

Sähköbussiprojektin tavoitteena oli aloittaa sähköbussiliikennöinti vähintään yhdellä autolla syksyllä 2016 ja tavoite saavutettiin. Linjan 1 edellinen liikennöintisopimus päättyi 30.9.2016 ja uusi sopimus alkoi 1.10.2016. Kun uusi sopimus ja sähköbussit tulivat linjalle, vuoroväli tihentyi 15 minuuttiin ja busseja oli aikaa ladata pääte pysäkillä noin viisi minuuttia. Dieselbussien on tarkoitus avustaa linjalla ruuhka-aikoina ja toimia varakalustona. (Jorasmaa 2015.)

Pilottilinjan avulla on tarkoitus saada enemmän tietoa Turun kaupungin toimintaympäristöstä kokemusten ja tutkimusten perusteella. Näiden tietojen avulla saadaan pohdittua paremmin sitä, kuinka sähköbussien määrän kasvattamisen kanssa kannattaa edetä, mille linjoille ne soveltuisivat parhaiten ja mitkä ovat todelliset kokonais- ja elinkaarikustannukset tällaisen liikennöinnin, kaluston ja latausratkaisujen kanssa. (Aho 2016.)

Tehtyjen laskelmien perusteella arvioidaan, että vuoteen 2020 mennessä sähköbussiliikennöinti olisi elinkaarikustannuksiltaan jo edullisempi kuin dieselliikenne. Tätä edesauttaa sähköajoneuvojen sarjavalmistuksen eteneminen, jolloin autojen akustojen hinnat laskevat, latausratkaisut karsiintuvat parhaiksi todettuihin ja ne standardoituvat sekä käytettyä kalustoa tulee myyntiin. Tarkoituksena oli, että koko 1 linjan pääkierto olisi sähköistetty vuoteen 2017 mennessä. (Jorasmaa 2015.)



## 5 TIEDONKERÄYSJÄRJESTELMÄT

Kun ensimmäinen sähköbussi oli saatu liikenteeseen, aloitettiin suunnittelemaan latausjärjestelmän kokoonpanotiedoston toteuttamista. Ainoa saatavissa oleva tieto oli tuolloin auton järjestelmän keräämä tekninen data. Järjestelmän tiedot tulevat IoT-Ticketistä, joka on Wapice Oy:n myymä tuote. IoT-Ticket on siis sovellusalusta, joka kattaa tiedonkeruun, raportoinnin, mittariston ja analytiikan. Se mahdollistaa toimintatehokkuuden ja innovaation liiketoimintamalliin teollisuusyrityksille. Sovellusalusta tukee ajotilan seuranta, automaatiota ja kehittyntä raportointia. (IoT-Ticket 2017.)

Wapice on suomalainen itsenäinen ja yksityisesti omistettu yritys, joka on perustettu 1999 Vaasassa. Wapicella on kolme tuotetta, jotka ovat IoT-Ticketin lisäksi Summium ja EcoReaction. Asiakaskunta koostuu muun muassa maataloudesta, kuljetuksesta ja terveydenhuollosta. (Wapice 2017.)

IoT-Ticket on Wapicen ylläpitämä järjestelmä, mutta Linkker huolehtii, että kuvan 9 WRM247+ liittinyksikössä on virrat päällä ja että se toimii. Linkker saa myös muokata alustapohjaa oman järjestelmänsä ja käyttötarkoituksensa mukaan vielä paremmaksi.



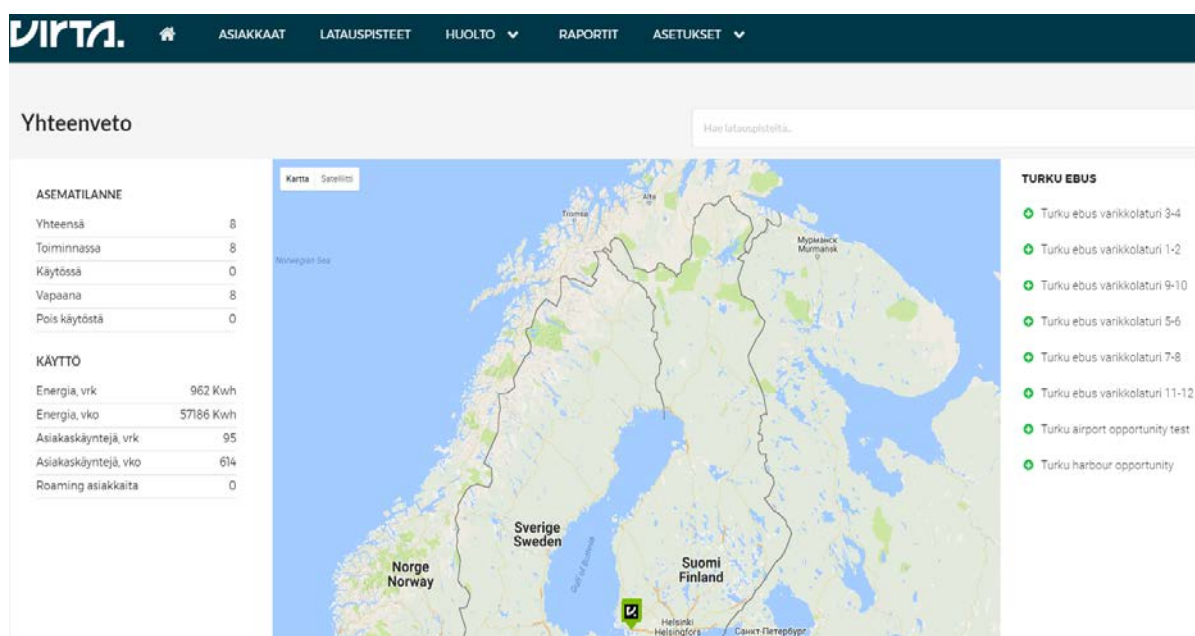
Kuva 9. IoT-Ticketin WRM247+ (IoT-Ticket 2017).

Joulukuussa saatiin otettua Turun sähköbussien käyttöön Virtapiste-järjestelmä, joka kerää sähköiset arvot kustakin latauslaitteesta. Kuvassa 10 näkyy Virtapisteen aloitussivu ja oikeassa reunassa Turun kaikki laturit lueteltuna. Liikennevirta on vuonna 2013 suomalaisten energiayhtiöiden toimesta käyttöön otettu sähköajoneuvojen latausoperaattoriyhtiö. Sen avulla oli tarkoitus yhdistää kaikki Suomen latauspisteverkostot yhteen latausoperaattoriyhtiöön, jonka ansiosta saataisiin helpotettua latauspisteiden käyttäjien

työtä ja pisteiden kehittämistä. Sen jälkeen latauspisteet löytyivät Virtapiste-latausverkostosta. Tällä hetkellä verkostossa on noin 115 latauspistettä.

Yhtiö on keskittänyt toimintansa tänä aikana erityisesti älykkäiden latauspisteiden ja -ominaisuuksien tarjoamiseen. Esimerkkejä ovat dynaaminen kuormanhallinta, hintaoptimointi SPOT- markkinahinnan perusteella ja latauksen ohjaus sähköverkon taajuuden pohjalta. Vaikka Virtapiste on aikaisemmin keskittynyt pääosin henkilöautojen lataukseen, voidaan siitä saatua kokemusta hyödyntää pohjana myös joukkoliikenteen sähköistämisen latausoperaattorina toimimiseen, koska toimintaperiaate on molemmissa hyvin samanlainen.

(Lotta Lyytikäinen, sähköpostitiedonanto 15.03.2017)



Kuva 10. Virtapisteen etusivu.



## 6 KOKOONPANO-TIEDOSTON LUOMINEN ERI LATAUSMITTAUSTIETOJEN YHDISTÄMISEKSI

Auton järjestelmästä saadut tiedot on kirjattu käsin IoT-Ticketin automaattisesti muodostamasta kaksiviikkoisraportista Excel-tiedostoon. Virtapiste-sivustosta saadaan ladattua laturikohtaiset lataustiedot csv-tiedostona koneelle, joista ne muokataan xlsx-muotoon. Virtapisteessä tiedot ovat lueteltuna latureittain lataustapahtumakohtaisesti. Saadut laturikohtaiset tiedot koostetaan VBA-koodin avulla automatisoidusti nappia painamalla päivitetystä laturikohtaisista Excel-tiedostoista viralliseen kokoonpanotiedostoon. Liitteessä 1 on esimerkkikuva tehdyn koodiin pääohjelmasta. Kokoonpanotiedostossa tiedot ovat laskettu yhteen yhden päivän ajalta jokaiselle bussille erikseen. Näin saadaan bussien päiväkohtaiset tiedot, joita voidaan verrata IoT-Ticketin kaksiviikkoisraportin arvoihin.

Sähköbussien tiedoista on kerätty matka, jonka ne kulkevat päivässä. Sen suuruuden avulla päästään heti ensimmäisenä päättelemään, onko auto toiminut normaalisti ja ollut liikenteessä koko ajan vai ei. Kertynyt kilometrimäärä kuvaa myös energian mittaustietojen luotettavuutta. Jos bussi on liikkunut vain parikymmentä kilometriä, kyseisenä päivänä mitatut arvot eivät ole yhtä luotettavia kuin pidemmän matkan ajaneella linja-autolla.

Tiedot autoihin ladatusta energiasta on kokoonpanotiedostossa jaettu ajoneuvon järjestelmän ja laturien mittaamiin arvoihin. Lisäksi laturit on vielä jaettu pika- ja hidaslatureihin, jotta nähdään konkreettisesti kummankin laitteen osuudet auton lataamisessa. Verrattaessa auton järjestelmästä saatua lataustietoa latausjärjestelmästä saatuun tietoon voidaan karkeasti arvioida eri tiedonkeräysjärjestelmien tarkkuuksia ja nähdään helposti karkeat järjestelmän virhelukemat. Autokohtaisia lataustietoja vertailemalla voidaan selvittää, onko lataustapahtumissa autokohtaisia eroja. Jos jossakin autossa olisi toisiin verrattuna suurempi ero prosentti latauslaitteen tiedonkeräysjärjestelmästä saatuun tietoon nähden, ongelmaa osattaisiin lähteä ratkaisemaan.

Latauksen keston avulla pystytään seuraamaan lataustehoa, kun tiedetään ladatun energian määrä, eli kuinka paljon sähköenergiaa siirtyy tietyssä ajassa. Lisäksi nähdään kuinka kauan kuljettajat ovat ehtineet ladata ja vaihteleeeko suuruusluokka eri ajankohdina.

Myös pikalatauskerrat on lueteltu Excelissä, ja ne on jaettu onnistuneisiin ja epäonnistuneisiin. Tämän avulla päästään seuraamaan sähköbussin ja sen latauksen toimintaa sekä selvittämään joidenkin päivien korkeita epäonnistuneiden latauksien määriä. Epäonnistuneiden latausten sarakkeeseen tehtiin ehdollinen muotoilu. Kaavan avulla korostettiin punaisella kohdat, joissa epäonnistuneiden latauksien määrät ylittivät kuukauden keskiarvon puolitoistakertaisesti tai enemmän. Sen avulla huomio saadaan nopeasti kiinnitettyä normaalia suurempiin latausongelmamääriin ja päästään selvittämään päivän, ajankohdan ja kuljettajatiedon avulla mahdollisia syitä ongelmiin.

Päivittäisen kulutuksen avulla saadaan selville, kuinka paljon kukin bussiyksilö käyttää kunakin päivänä sähköenergiaa kilometriä kohti. Bussin valmistaja lupasi auton energian kulutuksen olevan noin 1 kWh/km. Exceliin kirjattujen sähköbussin antamien lukujen perusteella pystyy hyvin seuraamaan, pitääkö annettu luku paikkansa ja mitkä asiat vaikuttavat kulutuksen suuruuteen.

## 7 PÄÄTELMIÄ KOKOONPANO-TIEDOSTOSTA

Kuvassa 11 esitellään tehtyä kokoonpanotiedostoa. Esimerkkinä on sähköbussi 1:n tiedot maaliskuulta 2017.

Auto 1 (TKU35)											
Päivä	Matka (km)	Ladattu energia auton mukaan (kWh)	Ladattu energia pikalaturilla (kWh)	Ladattu energia hidaslaturilla (kWh)	Ladatussumman ero auton mittamaan (%)	Latauksen kesto pikalataukset (h)	Latauksen kesto hidaslataukset (h)	Latauskerrat (pikalataus)	Epäonnistuneet lataukset	Päivittäinen kulutus (kWh/km)	Keskilämpötila (°C)
1	163	159	164		3.3 %	0.83		14	3	0.975	2.3
2	313	307	315		2.5 %	1.48		27	0	0.981	1.8
3	247	252	236	19.2	1.3 %	1.05	0.72	15	5	1.02	0.8
4	285	266	255	23.2	4.4 %	1.20	0.47	21	3	0.933	-1.6
5	356	331	276	0.94	-16.3 %	1.40	0.03	27	11	0.93	-4.1
6	287	305	281	39.6	5.2 %	1.47	0.75	20	9	1.063	-4.2
7	287	305	290	24.7	3.3 %	1.32	0.50	20	8	1.063	-3.3
8	287	300	304		1.3 %	1.40		19	39	1.045	-0.6
9	290	319	298	25.3	1.3 %	1.37	0.52	21	8	1.1	0.4
10	288	272	273		0.4 %	1.35		22	6	0.944	1.5
11	291	277	279		0.6 %	1.38		26	7	0.952	0.6
12	137	112	102	14.0	3.3 %	0.52	0.30	8	5	0.818	0.6
13		26		29.9			0.65				2
14	301	328	287	49.2	2.5 %	1.35	1.08	23	4	1.09	2.3
15	285	269	250	21.1	0.8 %	1.22	0.43	22	5	0.944	4.6
16	302	281	269	15.6	1.3 %	1.33	0.72	22	10	0.93	2.9

Kuva 11. Esimerkkikuvaa kokoonpanotiedostosta.

Tämänhetkiset tulokset eivät ole täysin luotettavia, koska sähköbussiprojekti on vielä niin alussa ja kehitystyö on vielä käynnissä. Kerätyt luvut ja niistä tehtävät päätelmät ovat luotettavampia, kun bussilla on ajettu vähintään 100 kilometriä päivän aikana. Esimerkiksi 50 kilometrin tai paljon sen alle olevissa päiväkohtaisissa matkoissa päivittäinen kulutus on herkästi normaalia suurempi, koska bussi on saatettu ladata täyteen eikä ladattua energiamäärää ole päästy kuluttamaan lyhyen ajomatkan takia. Päivittäinen sähkökulutus lasketaan jakamalla autoon päivän aikana ladattu energiamäärä päivän aikana kertyneellä kilometrimäärällä.

Pikalatureiden osuus on linja-auton latauksessa huomattavasti suurempi kuin hidaslatauksen. Joinakin öinä hidaslaturilla ei ole ladattu autoa ollenkaan. Verrattaessa ladattua energiamäärää ja latausaikaa saadaan selville latausteho. Näin pystytään tarkastelemaan, toimivatko laturit samalla tavalla vai onko jokin teholtaan heikompi.

Oletuksena oli, että Virtapisteestä ja IoT-Ticketistä saadut arvot olisivat lähes yhtä suuret. Osa lasketuista eroprosenteista Virtapisteeseen ja IoT-Ticketin arvojen välillä oli odotusten vastaisia. Vertailtavien arvojen joukossa oli usein oletettuja suurempia eroja molempiin suuntiin. Joskus ero oli kuitenkin todella pieni, jolloin latureilta eli Virtapisteeseen ilmoittamat energian kulutuslukemat vastasivat hyvin IoT-Ticketistä saatuja. Kaksiviikkoisraportissa olevat IoT-Ticketin mittausarvot (Daily charged energy) eivät sisällä regeneroitua eli jarrutuksesta talteen otettua energiaa. Regeneroitu energia ei siis selitä tilannetta, jossa auton järjestelmän mukaan siihen on ladattu enemmän energiaa kuin laturin järjestelmän mukaan.

Seuraavassa taulukossa 1 on havainnollistettu edellisessä kappaleessa mainittuja latausmääräeroja. Helmi- ja maaliskuussa taulukkoon on otettu mukaan vain sähköbussit 1 (auto numero 35) ja 2 (auto numero 36), koska ne ovat ainoat koko kuukauden täysipäiväisesti liikenteessä olleet linja-autot.

Taulukko 1. Yhteenvedoa Virtapisteeseen ja IoT-Ticketin latausmääristä.

Virtapisteeseen ja IoT-ticketin latausmäärien erotus kuukausittain			
Kuukausi (2017)	Helmikuu (auto 1 ja 2)	Maaliskuu (auto 1 ja 2)	Huhtikuu (auto 1,2,3,4 ja 5)
Ladattu energia IoT-Ticket (kWh)	11401	13746	29814
Ladattu energia Virtapiste (kWh)	9707	13146	26787
Kuukausittaisen ladatun energian erotus IoT-Tickettiin nähden	-14,9 %	-4,4 %	-10,2 %
IoT-Ticketin päiväkohtainen latausenergia (kWh)	142	149	13
Virtapisteeseen päiväkohtainen latausenergia (kWh)	175	208	16
Päivittäisen ladatun energian suurin erotus IoT-Tickettiin nähden	23,2 %	39,6 %	19,8 %
IoT-Ticketin päiväkohtainen latausenergia (kWh)	329	264	324
Virtapisteeseen päiväkohtainen latausenergia (kWh)	8	141	144
Päivittäisen ladatun energian pienin erotus IoT-Tickettiin nähden	-97,6 %	-46,6 %	-55,5 %

Kuukauden latausenergioiden erotus on laskettu molempien tietolähteiden kuukauden kokonaislatausenergioista jakamalla Virtapisteeseen ja IoT-Ticketin energian kulutuslukemien erotus IoT-Ticketin energian kulutuslukemalla. Eroprosentti on jokaisessa tarkastellussa kuussa negatiivinen, koska Virtapisteestä saatu ladattu energiamäärä on pienempi kuin IoT-Ticketistä saatu ladattu energiamäärä. Päivittäisen ladatun energian ero on laskettu samalla periaatteella. Huhtikuussa on kyseessä olevan ajanjakson pienin päiväkohtainen positiivinen eroprosentti. Suurin positiivinen eroprosentti Virtapisteeseen ja IoT-Ticketin päivittäisen energialukeman välillä on maaliskuussa.

Negatiiviseen suuntaan eroprosentti on suurimmillaan helmikuussa ja pienimmillään maaliskuussa. Negatiiviset eroprosentit johtuvat osittain lähtötietojen systemaattisesta

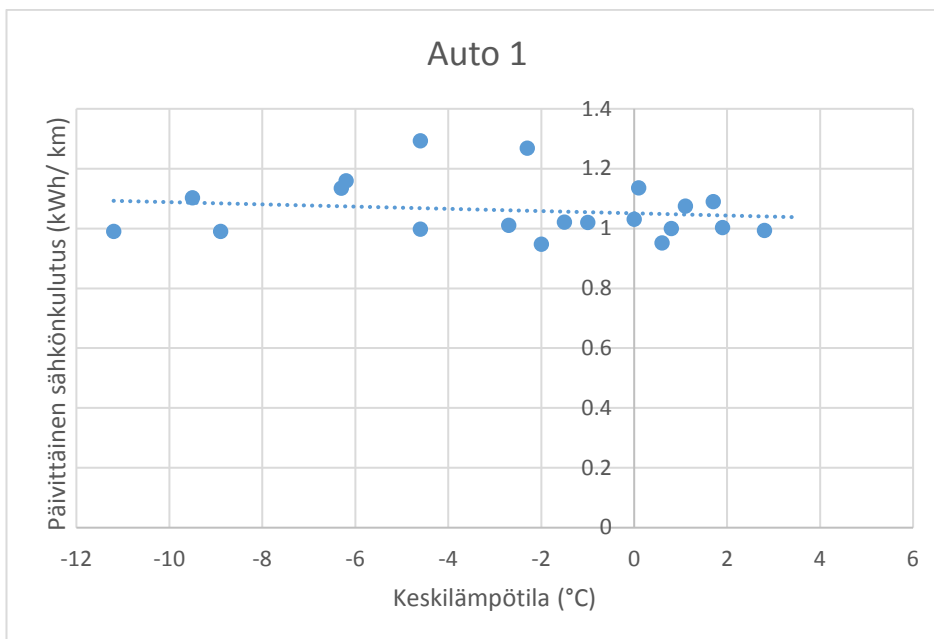
virheestä. Joukossa on selvästi myös päiviä, jolloin kaikki tehdyt lataukset eivät ole rekisteröityneet Virran järjestelmään eli Virtapisteen mukaan autoon on ladattu huomattavasti vähemmän energiaa kuin IoT-Ticketin mukaan. Syitä tälle ei pystytty selvittämään tämän opinnäytetyön rajoissa.

Epäonnistuneiden latauksien määrä oli aluksi suuri, ja se on vaihdellut jonkin verran projektin aikana. Onnistuneiden latauksien päiväkohtainen määrä kaksinkertaistui, kun sataman laturikin saatiin otettua käyttöön. Joului- ja tammikuussa, kun sähkölinja-autot alkoivat kulkea pidempiä matkoja säännöllisemmin ja olla enemmän liikenteessä, epäonnistuneiden latauksien osuus kaikista latauksista oli noin 40 prosenttia. Vähitellen osuus laski ja huhtikuun lopussa epäonnistuneiden latauksien osuus oli kaikilla autoilla enää noin 15 prosenttia. Joului- ja tammikuun suuremman osuuden taustalla olivat käynnissä olleet kuljettajien koulutukset, johon sisältyi myös latauskoulutus. Koulutuksessa simuloitiin erilaisia virheellisiä toimintatapoja, joista kirjautui myös epäonnistuneita latauskerroja tiedonkeruuseen.

Epäonnistuneiden latausten osuuden pieneneminen on myös ohjelmistopäivitysten ja latureihin tehtyjen muutoksien ansiota. Esimerkiksi osa latauslaitteiden alkuperäisistä osista oli herkkiä ilmankosteudelle, jonka takia epäonnistuneiden latauksien määrä kasvoi kosteilla säillä. Osat vaihtamalla tämäkin ongelma ratkesi. Joinakin päivinä on kuitenkin ollut erityisen suuri määrä epäonnistuneita latauksia ja niitä yritetään selvittää päivän, ajankohdan ja kuljettajatietojen avulla, jotta näitä tilanteita saataisiin vähennettyä. Halutaan selvittää, toistuvatko latausongelmat joidenkin tiettyjen kuljettajien kanssa vai aiheuttaako ongelmat jokin muu.

Yksi syy latausongelmiin oli Suomen olosuhteisiin alimitoitettu latauslaitteen jäädyttimen nestettä kierrättävä pumppu. Pumppu joutui käymään koko ajan maksimiteholla, jotta latauslaite pysyisi toimintalämpötilassaan. Tämän takia moottorisuojakytkin laukesi ja latauslaite meni vikatilaan, jolloin laturi ei pystynyt lataamaan.

Yksi kiinnostuksen kohde oli, kuinka suuri vaikutus lämpötilalla on auton sähkönkulutukseen. Sitä havainnollistamaan laadittiin kulutuskuvaajia kullekin autolle lämpötilan funktiona jokaiselle kuukaudelle. Lämpötilan vaikutusta bussin sähkönkulutukseen tarkkailtaessa huomattiin, että kulutus on hieman suurempaa kylmemmissä olosuhteissa kuin lämpimämmällä säällä. Esimerkkikuvaajana toimii kuvio 1, jossa on sähköbussin 1 (auto numero 35) arvot helmikuulta.



Kuvio 1. Sähkönkulutus päivittäin keskilämpötilan funktiona autolla numero 35 helmikuussa.

Trendikäyrä on samansuuntainen kaikissa sähköbussseissa, mutta käyrän jyrkkyys vaihtelee hieman. Suurempi energiankulutus pakkasella johtuu esimerkiksi siitä, että kylmemmällä ilmalla ladattua energiaa kuluu enemmän bussin lämmitykseen. Lokakuun ja huhtikuuhun välisenä aikana päivittäisen kulutuksen kuukauden keskiarvo on vaihdellut arvoissa 0,94 kWh/km – 1,1 kWh/km. Päivät, jolloin bussi ei ole liikkunut koko päivää, on ohitettu, jotta ne eivät vääristäisi keskimääräisiä arvoja. Valmistaja lupasi päivittäiseksi kulutukseksi noin 1 kWh/km ja arvio on pitänyt melko hyvin paikkansa.

Kokoonpanotiedostoa on tarkoitus hyödyntää vielä tulevaisuudessakin projektin edetessä, jotta päästään seuraamaan projektin kehitystä, tekemään päätelmiä kerätyistä teknisistä tiedoista ja näiden päätelmien avulla kehittämään sähköbussiprojektia parempaan suuntaan. Tehdyn Excel-tiedoston tietojen päivitys onnistuu projektin henkilöiltä, joilla on käyttöoikeudet sekä virtapisteeseen että IoT- Tickettiin.

Kokoonpanotiedostoa on kehitetty projektin varrella, kun sille on nähty tarvetta. Exceliin on kuitenkin mahdollisuus lisätä vielä tutkittavia tietoja, kun se nähdään tarpeelliseksi. Lisäksi IoT-Ticketin tietojen siirto kokoomatiedostoon tullaan automatisoimaan koodaamalla, jotta sähköisten arvojen päivittäminen tapahtuisi nopeammin ja helpommin eikä kaikkea tarvitsisi kirjoittaa käsin.

## 8 SÄHKÖLASKUTUKSEN JA LATURISTA MITATUN SÄHKÖN VERTAILU

Turku Energian sähkölaskutustiedot haluttiin saada opinnäytetyöhön mukaan, jotta saataisiin lisää vertailukohtaa Virtapisteen energian lukemille ja näin ollen selvennystä muihinkin lukemiin. Ne lisättiin Exceliin projektin loppuvaiheessa. Virtapisteestä lasketut kuukausittaiset laturikohtaiset latausarvot on laskettu yhteen taulukkoon 2, jossa niitä verrataan saatuihin Turku Energian laskutustietoihin.

Taulukko 2. Virtapisteen energian lukemien vertailu Turku Energian sähkölaskutustietojen kanssa.

Ladattu energiamäärä (kWh) kuukausittain						
	Kuukausi (2017)					
Latausasema	Helmikuu		Maaliskuu		Huhtikuu	
	Virtapiste	Lasku	Virtapiste	Lasku	Virtapiste	Lasku
Varikko	1920	2767	2078	2912	1963	2492
Lentoasema	7290	9144	11740	15220	14437	19115
Satama	7029	8463	10024	12935	11720	14805
	Lasku suurempi kuin		Lasku suurempi kuin		Lasku suurempi kuin	
	Virtapiste		Virtapiste		Virtapiste	
Varikko (%)	44 %		40 %		27 %	
Lentoasema (%)	25 %		30 %		32 %	
Satama (%)	20 %		29 %		26 %	

Turku Energian laskutustietoihin mitatut arvot ovat keskimäärin noin 30 prosenttia suurempia kuin Virtapisteen arvot. Lukema kuulostaa suurelta, mutta lataushybridihenkilöautoissa latauksessa syntyvä häviö on suunnilleen sama.

Laskettujen eroprosenttien perusteella vaikuttaisi siltä, että Virtapisteen energiankulutuksen arvo olisi laturista ulos tuleva energia tasasuuntauksen jälkeen. Turku Energian mittaama energia on sähköverkosta otettu laturiin sisään syötetty energia. Tällöin eroprosentti olisi selitettävissä tasasuuntauksesta ja muista latausprosessissa aiheutuvista häviöistä.

## 9 YHTEENVETO

Ilmastonmuutos on nykyajan haasteellisin ympäristöongelma. Hiilidioksidi poistuu ilmakehästä hitaasti, päästöjen vaikutukset leviävät laajalle, vaikka päästöt olisivatkin paikallisia. Ilmastonmuutosta ei hidasteta vain muutaman maan voimin vaan siihen tarvitaan kaikkien maiden yhteistyötä. Siksi moni maa onkin alkanut kehittää vaihtoehtoisilla energianlähteillä toimivaa joukkoliikennettä. Sähköbussien avulla yritetään vähentää hiilidioksidipäästöjä, jolla on kaikista kasvihuonekaasuista suurin vaikutus ilmaston lämpenemiseen.

Sähköbussien yleistyminen on joissain maissa nopeampaa kuin toisissa, mutta kaikilla on kuitenkin sama tavoite, joka on hiilineutraaliuus ja kasvihuonepäästöjen vähentäminen. Julkisen liikenteen kaluston sähköistämistä hidastaa sähköbussien vaihteleva toimintavarmuus ja latausasemien puute. Latausasemien rakennuttamista hidastavat latausinfraan suuret kustannukset. Toisaalta, jos auton haluttaisiin kulkevan pidemmän matkan ilman lataamista, vaihtoehtona olisi akun koon kasvattaminen. Tämäkään ei kuitenkaan ole sen parempi vaihtoehto, koska suurempi akku maksaa myös enemmän ja lisäksi se lisää ajoneuvon omamassaa, jolloin esimerkiksi bussin kulutus kasvaa.

Turun sähköbussiprojektin pilottilinja otettiin käyttöön, kun ensimmäinen sähkölinja-auto tuli linjalle 1 lokakuussa 2016. Pilottilinjalta on tarkoitus kerätä tutkimus- ja kokemusperäistä tietoa. Tämän tiedon avulla kehitetään tämän hetkistä sähköbussiprojektia ja miettään, miten joukkoliikenteen kaluston sähköistämisen kanssa kannattaa edetä tulevaisuudessa.

Tässä opinnäytetyössä laadittuun kokoonpanotiedostoon koottiin pilottilinjalta tiedonkeruujärjestelmien, Virtapisteen ja IoT- Ticketin, keräämät ladatun sähkömittaustiedot yhteen Excel-tiedostoon. Näin saatiin suuri määrä tietoa yhteen paikkaan, helpotettiin bussien vertailua keskenään ja päätelmien tekemistä sähköbussiprojektin edistymisestä.

Kokoonpanotiedosto onnistui hyvin ja tavoitteet saavutettiin suurimmaksi osaksi. Sähköbussit eivät kuitenkaan ole olleet liikenteessä niin paljon kuin oli ajateltu, ja projektin kehitys on vielä kesken, joten tässä kohtaa kokoonpanotiedostosta saatavat päätelmät ovat enemmän suuntaa antavia. Toisaalta tarkoituksena olikin luoda menetelmä tulevaa seurantaa varten.



## LÄHTEET

- Aho, P 2016. eFÖLI – Sähköisen bussiliikenteen aloittaminen Turussa. Viitattu 24.3.2017 <https://www.turkuamk.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hae-projekteja/efoli-sahkoisen-bussiliikenteen-aloittaminen-turus/>
- Andrei, M. 2016. All of China's buses might be electric by 2025. Viitattu 1.5.2017 <http://www.zmescience.com/ecology/renewable-energy-ecology/china-electric-bus-19012016/>
- Bombardier 2015. Berlin – The First Capital City with a Wirelessly-Charged E-bus Line. Viitattu 29.3.2016 [http://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.bt\\_20150901\\_berlin-erste-hauptstadt-mit-kabellos-geladener-e-bu.bombardier-com.html](http://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.bt_20150901_berlin-erste-hauptstadt-mit-kabellos-geladener-e-bu.bombardier-com.html)
- CO<sub>2</sub>-raportti 2017. Tietoa ilmastonmuutoksesta. Viitattu 26.4.2017 <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>
- County Connection 2016. Introducing All Electric Buses. Viitattu 1.4.2016 <https://county-connection.com/about/electric-buses/>
- Denhere, T. 2015. Tindo: The world's first solar bus. Viitattu 29.3.2017 <http://www.sundaymail.co.zw/tindo-the-worlds-first-solar-bus/>
- Dockrill, P. 2016. The Netherlands Is Making Moves to Ban All Non-Electric Vehicles by 2025. Viitattu 28.3.2016 <http://www.sciencealert.com/the-netherlands-is-making-moves-to-ban-all-non-electric-vehicles-by-2025>
- Happonen, K. 2016. Katso miltä Tampereen uudet sähköbussit näyttävät sisältä ja ulkoa – lähtevät reiteille maanantaina. Viitattu 15.3.2017 <http://www.aamulehti.fi/raha/katso-milta-tampereen-uudet-sahkobussit-nayttavat-sisalta-ja-ulkoa-lahtevat-reiteille-maanantaina-24145975/>
- Hjelt, Y 2016. Sähköbussit aloittavat Turussa ensi syksynä Viitattu 23.3.2017 <http://yle.fi/uutiset/3-8745232>
- HSL 2015. Ensimmäiset pikaladattavat Linkker-sähköbussit lähtevät pian liikenteeseen Viitattu 18.3.2017 <https://www.hsl.fi/uutiset/2015/ensimmaiset-pikaladattavat-linkker-sahkobussit-lahtevat-pian-liikenteeseen-7684>
- HSY 2015. Ilmansaasteiden terveysriskit teiden ja katujen varsilla. Viitattu 25.4.2017 [https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/2\\_2015\\_Ilmansaasteiden\\_terveysriskit\\_teiden\\_ja\\_katujen\\_varsilla.pdf](https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/2_2015_Ilmansaasteiden_terveysriskit_teiden_ja_katujen_varsilla.pdf)
- IoT-Ticket brochure 2017. Viitattu 29.4.2017 [https://www.iot-ticket.com/images/Files/IoT-Ticket\\_brochure.pdf](https://www.iot-ticket.com/images/Files/IoT-Ticket_brochure.pdf)
- Jorasmaa, L. 2015 Föli Turun seudun joukkoliikenne pdf Viitattu 24.3.2017

Kainulainen, J. 2016. Suomalainen sähköbussivalmistaja tavoittelee miljardibisnestä Viitattu 20.3.2017 <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/suomalainen-sahkobussivalmistaja-tavoittelee-miljardibisnesta/AtwjUeh3>

Kauppalehti 2016. <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/suomalainen-sahkobussivalmistaja-tavoittelee-miljardibisnesta/AtwjUeh3>

Kennedy, S. 2016. Chicago Sees Benefits of Electric Buses. Viitattu 3.4.2017 <https://www.yaleclimateconnections.org/2016/12/chicago-sees-benefits-of-electric-buses/>

Laitila, J. 2015. Pihhat kiinni - sähköbussit rullaavat pian liikenteeseen. Viitattu 25.3.2017 <https://www.hsl.fi/matkaketju/matkaketju-3-2015/piihat-kiinni-sahkobussit-rullaavat-pian-liikenteeseen>

Lambert, F. 2016. Montreal takes delivery of 3 new all-electric buses made in Canada. Viitattu 2.4.2017 <https://electrek.co/2016/12/21/montreal-all-electric-buse/>

Liikennevirasto 2017. Ilmastonmuutos. Viitattu 7.4.2017 <http://www.liikennevirasto.fi/ymparisto/ilmastonmuutos#.W0c-kvnyiUk>

MacKechnie, C. 2016. Electric Buses - An Introduction. Viitattu 3.4.2017 <https://www.thoughtco.com/electric-buses-introduction-2798839>

Metro news 2016. Edmonton pushes for large purchase of electric buses. Viitattu 27.3.2017 <http://www.metronews.ca/news/edmonton/2016/11/24/edmonton-pushes-for-large-purchase-of-electric-buses.html>

Norsk elbilforening 2017. Norwegian EV policy. Viitattu 25.3.2017 <http://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/>

Palomaa, A. 2015 Tampere valmistautuu ostamaan ensimmäiset sähköbussit. Viitattu 16.2.2017 <http://yle.fi/uutiset/3-8043902>

Rychla, L. 2015. Copenhagen to test new electric buses. Viitattu 24.3.2017 <http://cph-post.dk/news/copenhagen-to-test-new-electric-buses.html>

Suomen YK- liitto 2016. Ilmastonmuutos. Viitattu 23.4.2017 <http://www.yk-liitto.fi/yk70v/ekologinen/ilmastonmuutos>

Tampere 2016. Tampereen ensimmäiset sähköbussit aloittavat 19.12.2016 linjalla 2. Viitattu 11.5.2017 [http://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2016/12/15122016\\_8.html](http://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2016/12/15122016_8.html)

Teknoliateollisuus ry 2016. Sähköinen bussiliikenne alkaa Turussa syksyllä Viitattu 20.3.2017 <http://www.electromobility.fi/2016/04/sahkoinen-bussiliikenne-alkaa-turussa.html>

TfL 2016. Mayor unveils first fully electric bus routes for central London. Viitattu 28.3.2018 <https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2016/september/mayor-unveils-first-fully-electric-bus-routes-for-central-lond>

TFOT 2017. Wireless Charging Electric Bus Tested in Germany. Viitattu 25.3.2017 <http://thefutureofthings.com/5058-wireless-charging-electric-bus-tested-in-germany/>

Turkulainen 2016. <http://www.turkulainen.fi/artikkeli/439244-turku-saa-sahkobussin-joka-osaa-puhua>

Wapice. Viitattu 25.4.2017 <https://www.wapice.com/en>

Venturta systems 2015. EBUSCO: Zero-emission Public Transport. Viitattu 17.2.2017 <http://www.venturasystems.com/en-4-204/zero-emission-public-transport.html?view=all>

Winnipeg Transit 2017. Electric Bus Demonstration. Viitattu 1.4.2017 <http://winnipegtransit.com/en/major-projects/electric-bus-demonstration/>

VTT 2015 Ensimmäiset kotimaiset pikaladattavat sähköbussit lähtevät vuoden vaihteessa liikenteeseen Espoon linjalle 11. Viitattu 16.2.2017 <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/ensimm%C3%A4iset-kotimaiset-pikaladattavat-s%C3%A4hk%C3%B6bussit-l%C3%A4htev%C3%A4t-vuoden-vaihteessa-liikenteeseen-espoon-linjalle-11>

Ympäristö 2015. Ilmansuojelu. Viitattu 24.4.2017 [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmansuojelu](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu)

## Osa Exceliin tehtyä VBA koodia

```
Option Explicit
```

```
Sub Get_data()
```

```
Dim Last_get_data_date As Variant  
Dim Last_get_data_month As Variant  
Dim Last_get_data_year As Variant  
Dim MyFolder As String  
Dim MyFile As String  
Dim Sheet_name As String  
Dim koostetiedosto As String  
Dim Path As Variant
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
koostetiedosto = ThisWorkbook.Name
```

```
'Avataan lähdetiedostot, luetaan ja suljetaan. Kansiopolun oltava alla oleva  
Path = Application.ActiveWorkbook.Path & "\Turku_Energian_data"
```

```
MyFile = Dir(Path & "\*.xlsx") 'Luettavat tiedostot on oltava .xlsx muodossa
```

```
Do While MyFile <> ""
```

```
    Workbooks.Open Filename:=Path & "\" & MyFile 'Avataan tiedosto  
    Sheet_name = Left(MyFile, 18) 'Tallennetaan avatun tiedoston välilehden nimi  
    'Kutsutaan luku funktio tallentamaan avoinna olevan tiedoston tiedot  
    Call copy_data(MyFile, Sheet_name, koostetiedosto)  
    Workbooks(MyFile).Close SaveChanges:=False 'Suljetaan luettu tiedosto tallentamatta  
    MyFile = Dir
```

```
Loop
```

```
Workbooks(koostetiedosto).Sheets("Datan haku").Activate
```

```
'Talletaan viimeinen luettu päivämäärä, jotta seuraava haku aloittaa oikeasta päivästä.
```

```
'Koostetiedostoon ei tallennettu tämän päivän tietoja koska päivä on kesken
```

```
Workbooks(koostetiedosto).Sheets("Datan haku").Range("viimeksi_haettu_paiva") = Day(Now) - 1
```

```
Workbooks(koostetiedosto).Sheets("Datan haku").Range("viimeksi_haettu_kuukausi") = Month(Now)
```

```
Workbooks(koostetiedosto).Sheets("Datan haku").Range("viimeksi_haettu_vuosi") = Year(Now)
```

```
Application.ScreenUpdating = True
```

```
End Sub
```