

Annakaisa Lehtinen
Olli Kanerva

Selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla



Annakaisa Lehtinen, Olli Kanerva

Selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2017

Liikennevirasto

Helsinki 2017

Kannen kuva: Annakaisa Lehtinen

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-388-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Annakaisa Lehtinen ja Olli Kanerva: Selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Liikennevirasto, Liikenteen palvelut -osasto. Helsinki 2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2017. 57 sivua ja 3 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-388-0.

Avainsanat: sähköbussi, sähköbussiliikenne, latausjärjestelmä, pikalataus, päätepysäkkilataus, latausaika, joukkoliikennetoimijoiden roolit, kilpailutus, hankinta, akkuteknologia, joukkoliikenne

Tiivistelmä

Tämä työ on selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Selvityksen tavoitteena on lisätä kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten tietoa sähköbussiliikenteen suunnitteluun ja hankintaan liittyvissä kysymyksissä. Lisäksi tavoitteena on edistää sähköbussien käyttöönottoa Suomessa ja tätä kautta tukea hallituspoliittisten, kansallisten ja EU-tason tavoitteiden toteutumista.

Työ koostuu nykytilan analyysistä, sähköbussiliikenteen ominaisuuksien, kilpailutuksen ja hankinnan selvityksestä sekä suomalaisten kaupunkiseutujen sähköbussiliikenteen kokemuksista. Nykytilan analyysissä on kuvattu lyhyesti nykyisen dieselbussiliikenteen ominaisuudet ja sähköbussiliikenteen nykytila Suomessa. Nykytilanteessa sähköbussiliikennettä on Espoossa, Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

Sähköbussiliikenteen ominaisuuksien osalta on selvitetty hyötyjä ja haasteita, järjestämistapaa ja latausta, kaluston ja pikalatauspisteen ominaisuuksia, akkukapasiteettia ja -teknologiaa, liikennöintiä kylmissä talviolosuhteissa, latausajan tarvetta sekä taloudellista kannattavuutta. Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta sähköbussiliikenteen suurin hyöty on pienet käyttökustannukset.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla ei ole vielä tehty sähköbussiliikennöinnin kilpailutusta. Tampereella ja Turussa on kuitenkin kilpailutettu täyssähköbussikalusto ja latausinfrastruktuuri bussilinjoille, joita liikennöi kaupungin oma yhtiö. Tampereen ja Turun kaupunkien hankinnat on suoritettu kokonaisuutena, joka sisältää sähköbussit ja latausjärjestelmän, huolenpitosopimukset sekä vaatimuksia koulutuksen järjestämisestä.

Suomalaisten kaupunkiseutujen kokemusten keräämiseksi työssä haastateltiin HSL:n sekä Espoon, Tampereen ja Turun kaupunkien edustajia. Haastattelut suoritettiin marraskuussa 2016. Haastatteluilla kerättiin kokemuksia sähköbussiliikenteen käynnistämisestä, merkittävimmistä muutoksista, joukkoliikennetoimijoiden rooleista, latausjärjestelmästä sekä sähköbussiliikenteen haasteista.

Annakaisa Lehtinen och Olli Kanerva: Utredning om hur man främjar elbussar i finska stadsregioner. Trafikverket, Trafiktjänster Helsingfors 2017. Trafikverkets undersökningar och utredningar 21/2017. 57 sidor och 3 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-388-0.

Nyckelord: elbuss, elbusstrafik, laddningssystem, snabbladdning, ändhållplatsladdning, laddningstid, kollektivtrafikaktörernas roll, konkurrensutsättning, upphandling, batteriteknik, kollektivtrafik

Sammanfattning

Denna rapport är en utredning om hur man främjar elbussar i finska stadsregioner. Syftet med utredningen är att öka städernas och de behöriga kollektivtrafikmyndigheternas kunskap om frågor som gäller planering och upphandling av elbusstrafik. Målet är dessutom att främja ibruktagandet av elbussar i Finland och därigenom bidra till att uppfylla såväl de regeringspolitiska och nationella målen som målen på EU-nivå.

Rapporten består av en nulägesanalys, en utredning om elbusstrafikens egenskaper, konkurrensutsättning och upphandling av elbusstrafik samt av erfarenheterna av elbusstrafik i finska stadsregioner. Nulägesanalysen beskriver kort den nuvarande dieselbusstrafikens egenskaper och elbusstrafikens nuläge i Finland. För tillfället finns det elbusstrafik i Esbo, Helsingfors, Tammerfors och i Åbo.

I fråga om elbusstrafikens egenskaper, har man undersökt nyttan och utmaningarna, anordningssättet och laddning, fordonens och snabbladdningspunktens egenskaper, batterikapacitet och -teknik, trafikering i kalla vinterförhållanden, behovet av laddningstid samt den ekonomiska lönsamheten. Ur ett lönsamhetsperspektiv är största nyttan med elbusstrafiken de låga driftskostnaderna.

I de finska stadsregionerna har elbusstrafiken ännu inte konkurrensutsatts. I Tammerfors och Åbo har man emellertid konkurrensutsatt de helt eldrivna bussarna och laddningsinfrastrukturen till busslinjer som trafikeras av städernas egna bolag. Upphandlingarna i Tammerfors och Åbo har genomförts som helheter som inkluderar elbussarna och laddningssystemet, serviceavtalen samt kraven på att ordna utbildning.

För att ta del av erfarenheterna i de finska stadsregionerna intervjuades HRT samt representanter för städerna Esbo, Tammerfors och Åbo. Intervjuerna gjordes i november 2016. Med hjälp av intervjuerna samlade man in erfarenheter av att starta elbusstrafik, betydande ändringar, kollektivtrafikaktörernas roller, laddningssystemet samt elbusstrafikens utmaningar.

Annakaisa Lehtinen and Olli Kanerva: Study on the promotion of electric buses in Finnish urban regions. The Finnish Transport Agency, Traffic Services. Helsinki 2017. Research reports of the Finnish Transport Agency 21/2017. 57 pages and 3 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-388-0.

Key words: electric bus, electric bus services, charging system, fast-charging, opportunity charging, charging time, role of public transport actors, competitive tendering, procurement, battery technology, public transport

Summary

This study examines the promotion of electric buses in Finnish urban regions. The aim of the study is to increase the knowledge of cities and competent public transport authorities about planning and procurement of electric bus services. Moreover, the aim is to promote the introduction of electric buses in Finland, and thus contribute to meeting the governmental, national and EU-level objectives.

The study comprises a current state analysis, a study on the characteristics, competitive tendering and procurement of electric bus services, as well as experiences of electric bus services in the Finnish urban regions. The current state analysis briefly describes the characteristics of diesel bus services and the state of electric bus services in Finland at present. Electric bus services are currently provided in Espoo, Helsinki, Tampere and Turku.

The studied aspects include the benefits and challenges of electric bus services, setup and charging, the characteristics of vehicles and fast-charging points, battery capacity and technology, operation in cold winter conditions, and the required charging time and profitability. In regards to profitability, the greatest benefit of electric bus services is the low operating costs.

Electric bus services have not yet been put out to tender in the Finnish urban regions. However, in Tampere and Turku, the fully electric bus fleet and charging infrastructure have been put out to tender to bus lines operated by the cities' own companies. The procurements in Tampere and Turku have been carried out as total procurements that include the electric buses and the charging system, the maintenance contracts and the demands for providing training.

In order to gain knowledge of experiences from the Finnish urban regions, interviews were held with Helsinki Region Transport, and with representatives of the cities of Espoo, Tampere and Turku. The interviews were held in November 2016. The interviews covered subjects such as the start-up of electric bus services, significant changes, the roles of public transport actors, the charging system and the challenges of the electric bus services.

Esipuhe

Tämä työ on selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Selvityksen tilaajatahoja ovat Liikennevirasto sekä Lahden, Oulun, Porin ja Vantaan kaupungit. Edellä mainittujen tahojen lisäksi sähköbussiselvityksen ohjausryhmässä on ollut edustettuna Paikallisliikenneliitto.

Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet:

Laura Langer	Liikennevirasto (puheenjohtaja)
Noora Lähde	Liikennevirasto
Seija Köning	Liikennevirasto
Jukka Lindfors	Lahden kaupunki
Kim Venesjärvi	Lahden kaupunki
Saija Räinen	Oulun kaupunki
Hannu Honkanen	Oulun kaupunki
Sanna Välimäki	Porin kaupunki
Emmi Pasanen	Vantaan kaupunki
Jere Mättö	Vantaan kaupunki
Tiina Hulkko	Vantaan kaupunki
Minna Soininen	Paikallisliikenneliitto
Annakaisa Lehtinen	Trafix Oy (konsultin projektipäällikkö)
Olli Kanerva	Trafix Oy

Työssä haastateltiin HSL:n sekä Espoon, Tampereen ja Turun kaupunkien edustajia. Haastattelut suoritettiin marraskuussa 2016.

HSL:ltä haastatteluun osallistuivat Reijo Mäkinen ja Petri Saari, Espoon kaupungilta Sinikka Ahtiainen, Pasi Laitala ja Matti Takala ja Tampereen kaupungilta Elli Kotakorpi ja Juha-Pekka Häyrynen. Turussa haastatteluun osallistuivat kaupungilta Lauri Jorasmaa ja Jari Paasikivi, Turun Kaupunkiliikenteeltä Juha Parkkonen, Turku Energialta Antto Kulla ja Turun Ammattikorkeakoulusta Panu Aho.

Työn tekemisestä ovat vastanneet Trafix Oy:ssä Annakaisa Lehtinen ja Olli Kanerva. Tammikuussa 2017 pidettiin työpaja, johon osallistuvat lisäksi Trafixilta Juhani Bäckström, Leena Gruzdaitis, Mikko Suhonen, Esa Karvonen ja Nelli Frilander.

Työ alkoi lokakuussa 2016 ja päättyi maaliskuussa 2017.

Helsingissä maaliskuussa 2017

Liikennevirasto

Liikenteen palvelut -osasto/Joukkoliikenteen palvelut -yksikkö

Käsitteitä

Braunschweig-ajosykli	Kaupunkibussisykli, jota käytetään laboratoriomittauksissa muun muassa ajoneuvon energiakulutuksen ja päästöjen määrittämiseen
HSL	Helsingin seudun liikenne
Hybridibussi	Bussi, jonka käyttövoimana on sekä sähkö että diesel-polttoaine ja energiavarastona akut
Induktiolataus	Sähköbussin alapuolelta tapahtuva automaattinen latausmenetelmä (ei käytössä suomalaisilla kaupunkiseuduilla)
Kaapelilataus	Kaapelilla kytkettävä pienitehoinen langallinen lataus
LTO-akku	Litiumtitanaattioksidin (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂) -akku
Muunnossähköbussi	Dieselbussista modifioitu sähköbussi
Pantografi	Sähköbussin katolle tai vaihtoehtoisesti sähköbussin latauslaitteeseen asennettava komponentti, joka välittää sähkövirtaa bussiin sitä ladattaessa
Pikalataus	Bussilinjan varrella suoritettava lyhytkestoinen sähköbussin lataus (esimerkiksi virroitinlataus tai induktiolataus)
Plug-in-hybridibussi	Ladattava hybridibussi. Plug-in-hybridibusseja voidaan ladata täyssähköbussien latausinfrastruktuuria käyttäen.
Pääte pysäkkilataus	Sähköbussiliikenteen järjestämistapa, jossa sähköbusseja ladataan päivän aikana linjan varrella ja lähtökohtaisesti myös bussivarikolla yön aikana
TKL	Tampereen Kaupunkiliikenne Liikelaitos
Sähköbussi/Täyssähköbussi	Bussi, jonka käyttövoimana on sähkö ja energiavarastona akut
Varikkolataus	Bussivarikolla suoritettava sähköbussin lataus
Virroitinlataus	Sähköbussin yläpuolelta tapahtuva automaattinen ja suuritehoinen latausmenetelmä (käytössä suomalaisilla kaupunkiseuduilla Espoossa, Helsingissä, Tampereella ja Turussa)

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	10
1.1	Työn tausta	10
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset	10
2	NYKYTILAN ANALYYSI.....	12
2.1	Dieselbussiliikenteen ominaisuudet.....	12
2.2	Sähköbussiliikenteen nykytila Suomessa.....	13
2.2.1	Espoo ja Helsinki	14
2.2.2	Tampere	16
2.2.3	Turku	18
3	SÄHKÖBUSSILIIKENTEEN OMINAISUUDET	20
3.1	Hyödyt ja haasteet.....	20
3.2	Järjestämistapa ja lataus.....	20
3.3	Sähköbussi.....	21
3.4	Pikalatauspiste.....	22
3.5	Akkukapasiteetti ja -teknologia	22
3.6	Sähköbussiliikenne kylmissä talviolosuhteissa.....	23
3.7	Latausajan tarve linjalla	24
3.8	Taloudellinen kannattavuus	26
4	SÄHKÖBUSSILIIKENTEEN KILPAILUTUS JA HANKINTA	31
4.1	Aikataulu	31
4.2	Pisteytys ja arviointiperusteet.....	32
4.2.1	Hinta	32
4.2.2	Laatu	33
4.3	Vaatimuksia	34
4.4	Sanktiot	35
5	KOKEMUKSIA SÄHKÖBUSSILIIKENTEESTÄ	37
5.1	Sähköbussiliikenteen käynnistäminen	37
5.2	Merkittävimmät muutokset.....	38
5.3	Joukkoliikennetoimijoiden roolit	39
5.4	Latausjärjestelmä	42
5.5	Sähköbussiliikenteen haasteita	44
5.5.1	Latausjärjestelmä ja sähköverkko	44
5.5.2	Standardointi ja jälkimarkkinat	45
5.5.3	Muita haasteita	46
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	47
6.1	Yhteenvedo	47
6.2	Suosituksset	49
6.2.1	Sähköbussiliikenteen käynnistäminen.....	49
6.2.2	Latausjärjestelmä	50
6.2.3	Joukkoliikennetoimijoiden roolit.....	52
6.2.4	Sähköbussiliikenteen kilpailutus ja hankinta	53
6.3	Jatkotoimenpiteet.....	54
	LÄHTEET.....	56

LIITTEET

- Liite 1 Haastattelurunko
- Liite 2 Tekninen muistio
- Liite 3 Sähköbussiliikenteen ratkaisut suomalaisilla kaupunkiseuduilla

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Sähköbussien määrä maailmalla on lisääntymässä ja sähköbussien käyttöönotosta ollaan kiinnostuneita myös Suomessa. Kun siirrytään dieselbussiliikenteestä sähköbussiliikenteeseen, on muutos merkittävä. Tietoa tarvitaan kattavasti. Tämän vuoksi kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten tietoa sähköbussiliikenteen suunnittelusta ja hankkimisesta on järkevä lisätä yhteistyössä.

Sähköbussiliikenne on paikallispäästötöntä ja hiljaista. Paikallispäästöttömyys mahdollistaa suomalaisten kaupunkiseutujen ilmanlaadun paranemisen ja hillitsee ilmastonmuutosta. Dieselbussien korvaaminen sähköbusseilla vähentää joidenkin arvioiden mukaan kasvihuonekaasupäästöjä 10–50 % riippuen sähköenergian tuotannon sekä sähköbussikaluston ja akkujen valmistuksen päästöistä. Sähköbussiliikenteen hiljaisuus vähentää liikennemelua ja samalla sähköbussit ovat hiljaisia myös matkustajille ja kuljettajalle.

Sähköbussin käyttökustannukset ovat dieselbussin käyttökustannuksia alhaisemmat. Sähköbussit lisäävät uuden teknologian mahdollistamaa työllisyys- ja liiketoimintapotentiaalia sekä tuovat imagohyötyjä suomalaisille kaupunkiseuduille. Lisäksi sähköbussit edistävät Suomen hallitusohjelman mukaisia tavoitteita, kuten hiilettömän uusiutuvan kotimaisen energian käyttöä liikenteessä. Liikenne- ja viestintäministeriö on esittänyt, että sähkön osuus kaupunkien bussi- ja jakeliikenteessä on oltava vähintään 70 % vuonna 2050 (LVM 2013).

Suomi pyrkii hallitusohjelmassa sekä EU:ssa sovittujen tavoitteiden mukaisesti vähentämään kasvihuonekaasupäästöjen määrää 80–95 prosentilla vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta (TEM 2017). Suomen ilmasto- ja energiapoliittisessa selonteossa on asetettu kotimaan liikenteelle 80 % päästövähennystavoite vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta (VNK 2009). Lisäksi liikenne- ja viestintäministeriön työryhmä on ehdottanut Suomen kansalliseksi tavoitteeksi, että vuonna 2050 tieliikenne olisi lähes nollapäästöistä (LVM 2016).

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Sähköbussiselvityksen tavoitteena on lisätä kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten tietoa sähköbussiliikenteen suunnitteluun ja hankintaan liittyvissä kysymyksissä. Lisäksi tavoitteena on edistää sähköbussien käyttöönottoa Suomessa ja tätä kautta tukea hallituspoliittisten, kansallisten ja EU-tason tavoitteiden toteutumista.

Tavoitteena on tehdä selvityksestä riittävän kattava ja pitää selvitys yleisellä tasolla niin, että sen tulokset ovat mahdollisimman hyvin hyödynnettävissä ja sovellettavissa suomalaisille kaupunkiseuduille. Selvitystyössä painotetaan liikkeellelähtöä eli sähköbussiliikenteen käynnistämistä.

Työssä tarkastellaan sähköbussiliikennettä lähes pelkästään kaupunkien ja joukko-liikenteen toimivaltaisten viranomaisten näkökulmasta. Liikennöitsijöiden, energia- ja sähköverkkoyhtiöiden sekä kalusto- ja latauslaitetoimittajien haastattelut on rajattu pääosin tämän työn ulkopuolelle. Työssä tarkastellaan sähköbussiliikennettä suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Kansainvälisten sähköbussikokemusten selvittäminen on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

2 Nykytilan analyysi

2.1 Diesalbussiliikenteen ominaisuudet

Diesalbussiliikenne on tuttua joukkoliikennetoimijoille ja matkustajille. Diesalbussiliikenteessä vallitsevat vakiintuneet käytännöt muun muassa liikenteen kilpailutuksessa ja hankinnassa sekä joukkoliikennetoimijoiden rooleissa. Diesalbussiliikenteen vaatima infrastruktuuri on jo olemassa ja bussiliikenteen käyttämän tekniikan riskit ovat vähäiset. Joukkoliikennetoimijat ovat tietoisia muun muassa kaluston, energian ja huollon kustannuksista.

Yleisimmät kaupunkidiesalbussit Suomessa voidaan jakaa karkeasti 2-akselisiin busseihin (pituus 12–13 m) ja telibusseihin (pituus 15 m; kolme akselia). 2-akselisissa diesalbusseissa on noin 30–40 istumapaikkaa ja telibusseissa noin 50 istumapaikkaa. Seisomapaikkoja lasketaan neljälle matkustajalle per neliömetri. Suomen markkinoilla diesalbusseja on saatavilla monilta valmistajilta, kuten Ivecolta, Mercedekseltä, Scaniaalta, Solarikselta, VDL:ltä sekä Volvolla.

Kaupunkiajossa 2-akselinen diesalbussi kuluttaa noin 33 l/100 km. Dieselpolttoaineen hinta veroineen on noin 1,25 €/l. Nykyaikaisissa diesalbusseissa käytetään lisäksi typpioksidipäästöjä vähentävää AdBlue-lisäainetta, jonka kulutus on noin 1,4 l/100 km. Kaupunkiajossa 2-akselisen diesalbussin polttoainekustannukset ovat siten karkeasti arvioituina noin 40 €/100 km. 2-akselisen diesalbussin investointikustannus on noin 250 000 € ja huoltokustannukset noin 20 €/100 km.

Kaupunkidiesalbussilla voi ajaa yhdellä tankillisella noin 600 kilometriä. Dieselpolttoaineen saatavuus ja toimitusvarmuus on erinomainen, ja nykyinen varikkoinfra palvelee hyvin polttomottoriajoneuvoja. Polttoaineen tankkaamiseen menee aikaa noin 5 minuuttia ja tankkaaminen on mahdollista bussin normaalien käyttötaukojen puitteissa. Diesalbussin tankkaustiheyteen vaikuttaa liikennöitävän linjan päivityksellinen operointisäde. Esimerkiksi päivittäisellä 300 kilometrin operointisäteellä kaupunkidiesalbussi pitää tankata noin kahden päivän välein.

Diesalbussiliikenne on typpioksidien, pienhiukkasten, kasviuonekaasupäästöjen sekä liikennemelun lähde. Päästöt ovat merkittävä terveys- ja ympäristöhaittojen sekä ilmastonmuutoksen aiheuttaja. Typpioksidit voivat aiheuttaa limakalvomuutoksia ja hengitysvaikeuksia sekä altistaa virus- ja infektiosairauksille. Terveyshaittojen lisäksi typpioksidit nopeuttavat ilmastonmuutosta. Pienhiukkaset ärsyttävät silmiä ja hengitystä ja ovat pitkäaikaisessa altistuksessa syöpäsairauksille altistavia. Kasviuonekaasupäästöt voimistavat maapallon luonnollista kasviuoneilmiötä nostamalla maapallon keskilämpötilaa ja aiheuttaen ilmastonmuutosta.

Liikennemelu koostuu ajoneuvon moottorimelusta sekä vierintämelusta. Kestopäälysteisillä kaduilla polttomottoriajoneuvoissa moottorimelu on hallitsevassa osassa taajamanopeuksilla (alle 50 km/h). Tätä suuremmilla nopeuksilla vierintämelu, johon ajoneuvon käyttövoima ei vaikuta, on hallitseva. Matkustajan kannalta huomattava meluhaitta syntyy myös polttomottoriajoneuvojen tyhjäkäynnistä esimerkiksi bussipysäkeillä. Liikennemelu laskee kaupunkikeskustojen ja asuinalueiden viihtyisyyttä. Asukkaille liikennemelu aiheuttaa sekä tiedostettua, psyykkistä stressiä että tiedostamatonta, fysiologista stressiä. Yksilöllisestä melu-

herkkyydestä riippuen melulla voi siten olla tilapäisiä mutta myös pitkäaikaisia, elimistön toimintahäiriöinä ilmeneviä vaikutuksia.

Dieselöljy on fossiilinen polttoaine, jonka maailmanlaajuinen saatavuus on pitkällä aikavälillä tunnetusti rajallinen. Dieselpolttoainetta voidaan kuitenkin valmistaa myös uusiutuvista raaka-aineista, kuten ruokajätteestä. Niin sanottua biodieseliä voidaan käyttää osana perinteistä dieselpolttoainetta tai puhtaana. Biodieselin käytöllä voidaan myös saavuttaa päästövähennyksiä. Suomen kansallinen jakeluvelvoite määrää, että biopolttoaineiden osuus liikennepolttonesteiden jakelussa tulee olla vuonna 2016 vähintään 10 %, vuonna 2020 20 % ja vuonna 2030 30 %.

Dieselbussiliikenteen kilpailutuksessa alhaiset päästöt ja korkea laatutaso voidaan taata esimerkiksi vaatimalla tarpeeksi uuden kaluston käyttöä. Tyypillisesti Suomessa dieselbussiliikennettä kilpailuttaessa vaaditaan, että liikennöitsijän kalusto on keski-ikänsä korkeintaan 8 vuotta ja maksimi-ikänsä korkeintaan 15-16 vuotta. Yleensä kilpailutus tehdään lähes pelkästään hintaan perustuen. Liikennöitsijät antavat yksikköhinnan linjakilometrille, linjatunnille ja autopäivälle. Tilaaja voi kuitenkin myös asettaa ehdottomia vaatimuksia kaluston iästä ja laadusta. Laatupisteitä voi saada esimerkiksi uusiutuvien polttoaineiden käytöstä.

2.2 Sähköbussiliikenteen nykytila Suomessa

Nykytilanteessa sähköbussiliikennettä on HSL-alueella Espoossa ja Helsingissä sekä Tampereella ja Turussa. Sähköbussiliikenteen nykytila on esitetty kuvaamalla sähköbussiliikenteen ratkaisut edellä mainituilla suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Seuraavien lukujen olennaisimmat tiedot sähköbussista, sähköbussilinjoista- ja liikennöinnistä, latausjärjestelmästä sekä kaupunkien tavoitteista on esitetty liitteessä 3.

Suomessa Työ- ja elinkeinoministeriö on myöntänyt energiatukea sähköbussi- ja latausinfrastruktuurihankintoihin niin HSL-alueella kuin Tampereella ja Turussakin. Vuoden 2016 alussa tuettiin sähköbussihankkeita 5,3 miljoonalla eurolla. Hankkeissa Espoon, Turun ja Tampereen kaupungit yhteistyössä HSL:n kanssa hankkivat yhteensä 22 sähköbussia ja 34 latauslaitetta (pika- ja varikkolatauslaitteet).

Tampereen kaupunki on saanut työ- ja elinkeinoministeriöltä tukea sähköbussijärjestelmän hankintaan 812 000 euroa. Energiatuki on noin 30 % hankinnan kokonaisarvosta. Työ- ja elinkeinoministeriö myönsi energiatukea myös Turun kaupungille 6 sähköbussin ja niiden latauslaitteiden hankintaan sekä HSL:lle 12 sähköbussin hankintaan. Turun kaupungin sähköbussijärjestelmän hankinnan kokonaisarvo on noin 3,8 miljoonaa euroa, mutta energiatuen suuruudesta ei ole tarkkaa tietoa.

Työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille energiatukea sellaisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, energiansäästöä tai energiantuotannon tai käytön tehostamista tai vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja. Vuosina 2016-2018 uusiutuvan energian ja uuden teknologian investointeihin on päätetty osoittaa yhteensä 100 miljoonaa euroa energiatukea.

2.2.1 Espoo ja Helsinki

Espoo on toiminut syksystä 2012 lähtien sähköbussiliikenteen koekenttänä kansallisessa eBus-hankkeessa. Hankkeessa tutkittiin sähköbussien soveltuvuutta Suomen haastaviin talviolosuhteisiin. Espoon linjalla 11 Tapionaukio-Friisilänaukio on liikennöinyt vuodesta 2012 asti viiden kalustovalmistajan sähköbusseja. Espoossa liikennöineet sähköbussit ovat BYD, Caetano Bus, Ebusco, VDL Bus & Coach ja Linkker.

Keväällä 2015 valmistui suorahankinta, jossa HSL hankki 12 Linkker täyssähköbussia pääkaupunkiseudun bussiliikenteeseen. Linkker täyssähköbussit on valmistettu Suomessa (Sastamala). Sähköbusseissa on myös kotimaisen Visedon (Lappeenranta) moottori. HSL on ottanut Linkeriltä vuoden 2016 loppuun mennessä vastaan 6 sähköbussia 12:sta. Suorahankituista 12 sähköbussista kaksi on muunnossähköbusseja (modifioitu dieselbusseista sähköbusseiksi) ja 8 seuraavaa 13 metrisiä Linkker täyssähköbusseja. Kahta viimeistä HSL:n hankkimaa sähköbussia ei ole vielä tilattu, koska niiden ominaisuuksien määrittely on kesken. Viimeisten sähköbussien toimitus venyy vuoden 2017 loppupuolelle.

Ensimmäinen pikaladattava täyssähköbussi aloitti liikennöinnin Espoon linjalla 11 Tapionaukio-Friisilänaukio vuoden 2016 alussa. Linjalla 11 on liikennöinyt vuoden 2016 alusta lähtien kaksi muunnossähköbussia. Syksyn ajan linjalla 11 on liikennöinyt myös kolmas, täysin uusi Linkker täyssähköbussi. Sähköbusseja on liikennöinyt linjalla 11 Trasdev Finland Oy. Sähköistetty linja 11 on noin 10 kilometriä pitkä.

Sähköbussiliikennettä varten Tapionaukiolle asennettiin sähköbussin pikalatauslaite. Latauslaitteen teho on 300 kW. Latauslaitteen toimittaja on Heliox/Schunk. Espoon linjalla 11 liikennöiviä sähköbusseja ladataan ainoastaan Tapiolan pikalatauspisteellä, koska Trasdevin bussivarikolla ei ole Linkkerin sähköbusseille soveltuvia varikkolatauslaitteita bussien yöaikaista latausta varten. Ratkaisuun on päädytty Länsimetron viivästymisen takia. Kuvassa 1 on esitetty Tapiolan pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri.



Kuva 1. Tapiolan pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri

Nykyinen Espoon linja 11 lopetetaan Länsimetron avautuessa. Tapiolan pikalatauslaite siirtyy tällöin Friisiläntien pohjoispäähän ja kaksi muunnossähköbussia liikennöivät jatkossa linjalla 133 Friisilä–Matinkylä–Henttaa. Sähköbussilinjan vaihtuessa vaihtuu myös sähköisen bussiliikenteen liikennöitsijä. Linjalla 133 sähköbussuja liikennöi Åbergin Linjat Oy. Linjalla 11 liikennöity Linkker täyssähköbussi siirtyy liikennöintiin Helsinkiin.

Espoon kaupunki on varautunut bussiliikenteen sähköistymiseen kaikissa länsimetron liityntäterminaaleissa. Tapiolan, Matinkylän ja Espoonlahden bussiliikenteen sisäterminaalien mitoituksessa varaudutaan sähköbussien lataukseen. Pitkän tähtäimen tavoitteena on, että sähköbussuja voitaisiin ladata kaikilla terminaalien lähtölaitureilla samaan aikaan kun matkustajat nousevat bussin kyytiin. Yhteen laturiin pyritään kytkemään 2-3 latauspaikkaa. Espoon kaupunki on syksyllä 2015 päättänyt varata sähköbussien latauslaitteiden hankintaan 4 miljoonaa euroa vuoteen 2020 mennessä.

HSL-alueen bussiliikenteen sähköistymisen seuraavassa vaiheessa vuoden 2017 alussa otetaan käyttöön pikalatauslaite Ruskeasuolla linjan 23 päätepysäkillä ja tammi-helmikuussa Koskelassa linjan 55 päätepysäkillä. Rautatietorin latauslaitteen rakennustyöt alkoivat vuoden 2016 lopussa ja pikalatauslaite tulee käyttöön todennäköisesti loppukeväästä 2017.

Linjoille 23 Rautatietori-Ruskeasu ja 55 Rautatietori-Koskela siirtyy Linkker täyssähköbussi Espoon linjan 11 liikenteestä. Lisäksi liikennöintiin tulee uusia Linkker täyssähköbussuja. Helmikuussa on tavoitteena sähköistää myös linja 51 Hakaniemi-Malminkartano. Tavoitteena on, että helmikuussa 2017 pääkaupunkiseudun liikenteessä on 10 sähköbussia. Bussiliikenteen sähköistymistä varten HSL on hankkinut bussivarikoille latureita. Kyseiset laturit ovat pyörillä kulkevia liikuteltavia versioita.

Kuvassa 2 on esitetty Koskelan pikalatauslaite Helsingissä ja kuvassa 3 Linkker täyssähköbussi Ruskeasuolla Helsingissä.



Kuva 2. Koskelan pikalatauslaite Helsingissä



Kuva 3. Linkker täyssähköbussi Ruskeasuolla Helsingissä

Ensimmäiset kilpailutetut sähköbussilinjat aloittavat liikennöinnin HSL-alueella vuoden 2019 alussa. Tällöin tarjouspyynnöt tulee lähettää syksyllä 2017 ja päätös hankinnasta on saatava aikaan vuoden 2017 loppuun mennessä. Tällöin liikennöitsijälle jää hankintapäätöksestä noin vuosi aikaa liikennöinnin aloittamiseen.

HSL:n tavoitteena on kasvattaa tulevaisuudessa voimakkaasti sähköbussien määrää pääkaupunkiseudulla. HSL strategian mukaan joukkoliikenteen päästöjä tulisi vähentää yli 90 % niin haitallisten lähipäästöjen kuin hiilidioksidipäästöjen osalta vuoteen 2025 mennessä vuoden 2010 tasoon verrattuna. Tavoitteena on, että HSL-alueella liikennöi vuonna 2025 noin 400 täyssähköbussia, mikä on 30 % HSL-alueen bussikalustosta. Lisäksi liikenteessä on noin 250 hybridi- tai plug-in-hybridibussia. Espoon kaupungin ja HSL:n tavoitteena on, että vuoteen 2025 mennessä Espoon kaupunkiradan ja metron liityntäliikenne hoidetaan sähköbusseilla.

2.2.2 Tampere

Tampereen kaupungin sähköisen liikenteen strategia julkaistiin keväällä 2014 ja toteutussuunnitelma vuoden 2014 lopussa. Näiden suunnitelmien pohjalta Tampereen kaupunki valitsi sähköisen liikenteen saralla valtakunnallisen suunnannäyttäjän roolin. Rooli tekee Tampereen alueesta kokonaisvaltaisen sähköisen liikenteen edistäjän, joka tavoittelee kansallista ja jopa kansainvälistä sähköisen liikenteen johtajan asemaa ja pyrkii siten luomaan Tampereen alueelle merkittävää sähköisen liikenteen osaamiskeskittymää.

Tampereella bussiliikenteen sähköistäminen aloitettiin linjalta 2 Pyynikintori-Rauhaniemi joulukuussa 2016. Linjalle hankittiin 4 täyssähköbussia ja yksi sähköbussien pikalatauslaite linjan 2 päätepysäkille Pyynikintorille. Latauslaitteen teho on 300 kW. Bussivarikolle Nekalaan hankittiin 4 latauslaitetta bussien yöaikaista latausta varten. Ensin otettiin käyttöön yksi sähköbussi ja vähitellen vuoden 2017 alussa lisättiin muutkin kolme sähköbussia linjalle. Sähköbussit ja latauslaitteet hankittiin puolalaiselta Solaris Bus & Coach yritykseltä. Sähköistetty linja 2 on noin 5 kilometriä pitkä. Kuvassa 4 on esitetty Pyynikintorin pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri.



Kuva 4. Pyynikintorin pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri

Sähköbussiliikenteen myötä linjalle 2 tehtiin muutamia muutoksia. Aikaisemmin linjalla liikennöi kolme bussia, mutta sähköbussien tulon myötä linjan kalustokierto on otettiin lisäbussi liikennöintiin. Toimenpiteellä bussien kääntöaikaa ja täten myös latausaikaa saatiin pidennettyä ja samalla linjan vuoroväliä tihennettiin. Tampereella linjan 2 sähköbussiliikenne on mitoitettu keskimääräisen 4 minuutin latausajan mukaan.

Sähköistetyllä linjalla 2 sähköbussijärjestelmää ja -kalustoa testataan oikeassa tuotantokäytössä. Hankkeen toivotaan antavan valmiudet sähköbussiliikenteen huomattavaan laajentamiseen tulevaisuudessa. Sähköbussijärjestelmää on lisäksi tarkoitus käyttää tamperelaisen älyliikenteen innovaatioalustana. Tampereen sähköbussijärjestelmän hankinta on osa Tekesin Huippuosajat -ohjelman rahoittamaa Sähköisen liikenteen ratkaisut -projektia.

Päätökset useampien bussilinjojen sähköistämisestä tehdään ensimmäisen linjan kokeilun perusteella. Tämän vuoksi Tampereen kaupungilla ei ole vielä mitään päätettyä strategiaa sähköbussijärjestelmän laajentamisesta. Lähtökohta kuitenkin on, että mikäli kokemukset ovat positiivisia, laajennetaan järjestelmää tulevaisuudessa huomattavasti. Tulevan raitiotien liityntälinjastot on muun muassa suunniteltu liikennöitävän sähköbusseilla. Valitsemalla sähköisen liikenteen valtakunnallisen suunnannäyttäjän roolin Tampereen kaupunki myös sitoutui tekemään toimenpiteitä puhtaamman, taloudellisemman ja viihtyisemmän liikenteen puolesta.

2.2.3 Turku

Turussa sähköbussiliikenteeseen saatiin ensikosketus heinäkuussa 2013, kun sähköbussi oli testikäytössä viikon tavallisessa linjaliikenteessä linjalla 1 Satama–Kauppatori–Lentoasema. Syksyllä 2013 Turun kaupunginhallitus päätti, että Turun seudun joukkoliikenteessä tullaan jatkossa priorisoimaan sähkö- ja hybridikalustoa. Syksyllä 2014 julkaistiin diplomityö ”Sähköbussit osana Turun seudun joukkoliikennejärjestelmää”. Työn lopputuloksena tehtiin ehdotus Turun sähköbussiliikenteen käynnistämisestä.

Sähköbussiliikenne alkoi Turun seudun bussiliikenteessä lokakuun alussa 2016. Tällöin ensimmäinen täyssähköbussi aloitti liikennöinnin linjalla 1 Satama–Kauppatori–Lentoasema. Toinen täyssähköbussi saatiin linjalle marraskuussa. Linjalle 1 tulee kaikkiaan 6 täyssähköbussia. Turussa liikennöidään Linkker täyssähköbussein. Linkker täyssähköbussit on valmistettu Suomessa (Sastamala). Sähköbusseissa on myös kotimaisen Visedon (Lappeenranta) moottori. Ruuhka-ajan vuoroja sataman liikenteessä ajaa edelleen täyssähköbussien rinnalla kaksi dieselbussia. Sähköistetty linja 1 on noin 10 kilometriä pitkä.

Sähköbussiliikenteen alkaessa sähköistettävän linjan 1 pääte pysäkillä lentoasemalla oli yksi pikalatauslaite. Joulukuussa 2016 otettiin käyttöön pikalatauslaite myös linjan toisella pääte pysäkillä satamassa. Latauslaitteiden maksimiteho on 300 kW. Latauslaitteet on toimittanut Heliox/Schunk. Pikalatauspisteet on toteutettu yhteistyössä Turku Energian kanssa. Turku Energia on myös toteuttanut varikolle latauspisteet bussien yöaikaista latausta varten. Kuvassa 5 on esitetty Turun lentoaseman pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri.



Kuva 5. Turun lentoaseman pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri

Bussilinjan sähköistäminen aiheutti pieniä muutoksia linjan 1 liikennöintiin. Linjalla 1 Satama-Kauppatori-Lentoasema bussiliikenne on aikaisemmin hoidettu telibusseilla 20 minuutin vuorovälillä. Turun kaupunkiseudulle hankituissa täyssähköbusseissa on kuitenkin telibusseja pienempi matkustajakapasiteetti. Tämän vuoksi linjan 1 vuoroväliä tihennettiin 15 minuuttiin sähköbussiliikenteen alkaessa.

Turun kaupungin tavoitteena on määrätietoisesti lisätä sähköisen kaluston osuutta julkisessa liikenteessä (joukkoliikenne, taksit, kuljetuspalvelut). Sähköbussien määrää tullaan kasvattamaan Turussa asteittain. Tavoitteena on sähköistää bussilinjoja sitä mukaa kun linjojen sopimukset päättyvät ja linjat tulevat kilpailutukseen. Vision mukaan vuonna 2025 Turun kaupungin sisäisessä liikenteessä käytetystä bussikalustosta 50 % on sähköistetty. Tämä tarkoittaisi noin 100 sähköbussia vuonna 2025. Turun kaupungin strateginen tavoite on tulla hiilineutraaliksi kaupungiksi vuoteen 2040 mennessä.

Turun sähköbussiprojektin ympärille on syntynyt uusi Tekesin rahoittama tutkimus- ja kehityshanke eFöli vuosille 2015–2019. Turku on myös mukana EU-rahotteisessa Civitas Eccentric -hankkeessa. Hankkeessa kehitetään sähköistä liikennettä, yhteiskäyttöauto- ja pyöräpalveluja sekä liikkuminen palveluna -konseptia. Hanke ajoittuu vuosille 2016–2020.

3 Sähköbussiliikenteen ominaisuudet

3.1 Hyödyt ja haasteet

Sähköbussiliikenteessä on monia hyötyjä, mutta myös haasteita. Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta sähköbussiliikenteen suurin hyöty on pienet käyttökustannukset. Sähköbusseissa on vähäinen huollon tarve ja energiakustannukset ovat noin 25 % dieselbussin energiakustannuksista. Sähköbussiliikenteen taloudellista kannattavuutta on käsitelty tarkemmin luvussa 3.8.

Sähköbussiliikenne on paikallispäästötöntä, hiljaista ja käyttäjäystävällistä. Paikallis- päästöttömyys mahdollistaa suomalaisten kaupunkiseutujen ilmanlaadun paranemisen ja hillitsee ilmastonmuutosta. Sähköbussiliikenteen hiljaisuus vähentää liikennemelua ja samalla sähköbussit ovat hiljaisia myös matkustajille ja kuljettajalle. Sähköbussien käyttäjäystävällisyys perustuu hiljaisuuden lisäksi sähköisen voimalinjan mahdollistamaan pehmeään kiihdytykseen ja jarrutukseen sekä vaihteistottoman voimansiirtolinjan mahdollistamaan tasaiseen liikennöintiin.

Sähköbussiliikenne tarjoaa lisäksi uuden teknologian mahdollistaman työllisyys- ja liiketoimintapotentialin sekä tuo imagohyötyjä suomalaisille kaupunkiseuduille.

Toisaalta sähköbussit ja niiden latausinfrastruktuuri ovat uutta tekniikkaa, mikä aiheuttaa sähköbussiliikenteen ensivaiheessa kalusto- ja infrastruktuuririskejä. Riskit voivat konkretisoituessaan haitata bussiliikennöintiä. Varautuminen riskien konkretisoitumisen ehkäisemiseksi nostaa todennäköisesti sähköbussiliikenteen kustannuksia. Riskit voivat myös heikentää liikennöitsijöiden ja energiayhtiöiden halukkuutta sähköbussi- ja latausinfrastruktuuri-investointeihin.

Sähköbussiliikenteen mahdollistamiseksi on rakennettava sähköbussien latausinfrastruktuuri ja hankittava sähköbussit. Jos liikennöitsijät ja energiayhtiöt eivät ole valmiita kantamaan mahdollisia riskejä sähköbussiliikenteen ensivaiheessa, voivat kalusto- ja infrastruktuuri-investoinnit jäädä kaupungin maksettavaksi. Uusi bussikalusto ja latausinfrastruktuuri aiheuttavatkin suuren investointitarpeen tilanteessa, jossa jälkimarkkinoista ei vielä ole tietoa.

3.2 Järjestämistapa ja lataus

Sähköbussiliikenteen järjestämistavaksi on vakiintumassa niin sanottu päätepysäkkilataus. Päätepysäkkilatausta käytettäessä sähköbusseja ladataan päivän aikana linjan varrella ja lähtökohtaisesti myös bussivarikolla yön aikana. Järjestämistapa saa nimensä siitä, että linjan varrelle sijoitetut latauslaitteet sijaitsevat yleensä bussilinjan päätepysäkeillä. Näin ei kuitenkaan tarvitse olla, vaan latauslaitteet voidaan sijoittaa myös muualle linjan varrelle.

Päätepysäkkilataus vaatii investointeja sähköbussien latausinfrastruktuuriin linjan varrelle ja bussivarikolle. Linjan varrella lataus suoritetaan yleensä suuritehoista (≥ 300 kW) virroitinlatausta käyttäen. Virroitinlatauksella tarkoitetaan sähköbussin yläpuolelta tapahtuvaa latausta. Virroitinlataus on automaattinen latausmenetelmä, jota voidaan käyttää sekä varikkolataukseen että liikennöinnin aikaiseen pika-

lataukseen. Virroitinlataus voidaan suorittaa raitiovaunun johdinverkosta tai latauslaitteella. Latauslaitetta käytettäessä pantografi voi sijaita joko latauslaitteessa tai sähköbussissa. Virroitinlataustekniikka mahdollistaa parhaimmillaan jopa 450 kW latauksen.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla käytetyn virroitinlatauksen lisäksi on olemassa muitakin sähköbussien pikalatausmenetelmiä. Yksi esimerkki näistä on induktiolataus. Induktiolatauksella tarkoitetaan sähköbussin alapuolelta tapahtuvaa automaattista latausta. Induktiolataus tapahtuu maahan asennettavan ensiökäämin ja bussiin asennettavan toisiokäämin välillä ilman kosketuspintaa. Induktiolatauslaitteet ovat kalliita järjestelmiä, jotka vaativat toimiakseen hyviä käyttöolosuhteita. Pienetkin häirtatekijät voivat estää latauksen onnistumisen. Tällaisia häirtatekijöitä voivat olla esimerkiksi puiden lehdet, hiekka, roskat, lumi ja jää. Lisäksi sähköbussin asemointi induktiolatauslaitteelle vaatii sähköbussin automaattista havaitsemisjärjestelmää.

Bussivarikolla lataus suoritetaan yleensä kaapelilatausta käyttäen. Kaapelilatauksessa käytetään maltillisia 20–50 kW lataustehoja kustannusten minimoimiseksi. Kaapelilataus tarkoittaa kaapelilla kytkettävää langallista latausta. Kaapelilataus ei ole automaattinen latausmenetelmä, vaan latauksen suorittamiseksi latauskaapeli on kytkettävä käsin sähköbussiin. Tämän vuoksi kaapelilataus soveltuu parhaiten varikkolataukseen, jolloin sähköbussien huoltohenkilökunta voi hoitaa latauskaapeleiden kytkemisen.

Sähköbussiliikenteen latausjärjestelmää on käsitelty tarkemmin luvussa 5.4 ja sähköbussin pikalatauspistettä luvussa 3.4.

3.3 Sähköbussi

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivät sähköbussit ovat 2-akselisia 12–13 metrisiä busseja. 2-akselisessa sähköbussissa on noin 30–40 istumapaikkaa ja matkustajakapasiteetti on yhteensä noin 70–80 paikkaa. Sähköbussien paino vaihtelee valmistajasta riippuen 9 500–12 500 kg välillä ja korkeus 3,25–3,45 metrin välillä. Sähköbussit ovat 2,55 metriä leveitä. Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöityjä tai Suomen markkinoille pyrkiviä kalustovalmistajien sähköbusseja ovat ainakin BYD, Caetano Bus, Ebusco, Linkker, Siemens/Rampini, Solaris, VDL Bus & Coach ja Volvo.

Sähköbussit eivät poikkea pituudeltaan, leveydeltään, painoltaan tai matkustajakapasiteetiltaan nykyään käytössä olevista 2-akselisista dieselbusseista. Sähköbussien paino vaihtelee valmistajasta riippuen kuitenkin suuresti. Kevytrunkoinen Linkker täyssähköbussi on jopa hieman kevyempi kuin saman kokoinen dieselbussi. Sähköbussin katolle mahdollisesti sijoitettavan pantografin tai muiden latausjärjestelmälaitteiden takia sähköbussit voivat valmistajasta riippuen olla hieman dieselbusseja korkeampia. Matkustajalle 2-akselinen sähköbussi näyttäytyy muun muassa matkustamon istumajärjestyksen osalta täysin nykyisen dieselbussin kaltaisena. Huomattavin ero matkustajalle on sähköbussin hiljaisuus tyhjäkäynnin aikana.

3.4 Pikalatauspiste

Bussilinjan varrella oleva pikalatauspiste koostuu vähintään latauslaitteesta, muuntamosta ja latauslaitetilasta, jossa sijaitsee mittauskeskus. Latauslaitteella tarkoitetaan tässä työssä järjestelmää, jonka kautta sähköbussin lataus suoritetaan. Muuntamo on kojeisto, jossa 20 kV keskijännite muunnetaan 400 VAC pienjännitteeksi. Latauslaitetilassa 400 VAC vaihtojännite muutetaan sähköbussin akkujen lataukseen soveltuvaksi tasajännitteeksi. Mittauskeskuksessa sijaitsevat muun muassa pääkytkin, pääsulakkeet ja sähköverkkoyhtiön kWh-mittari.

Muuntamo ja latauslaitetila aiheuttavat kohtuullisen merkittävän tilatarpeen latauslaitteen läheisyydessä. Latauslaitetilan maksimitat ovat Espoossa 2,4x1,6x1,8 metriä tai 3,9x0,8x1,8 metriä, Tampereella 4,0x1,5x2,0 metriä ja Turussa 2,8x2,5x2,8 metriä (leveys, syvyys, korkeus). Kuvissa 1-5 on esitetty pikalatauslaitteita ja niiden vaatimaa infrastruktuuria (muuntamo, latauslaitetila) Espoossa, Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

Pikalatauspistettä rakennettaessa on huomioitava etäisyys latauslaitteen ja latauslaitetilan välillä. Jos latauslaitetila sijaitsee kaukana latauslaitteesta, niin kaapeleiden paksuus kasvaa ja latauspisteen kustannukset nousevat. Joidenkin arvioiden mukaan 50 metrin etäisyys pikalatauslaitteen ja latauslaitetilan välillä on vielä kustannustehokkaasti järjestettävissä.

Sähköbussin pikalataukseen riittävällä sähköverkolla tarkoitetaan verkkoa, jonka tehonsyöttökyky 400 VAC vaihtojännitteellä mahdollistaa vähintään 300 kW lataustehon. Tällöin tarvittava sähköliittymä on 3-vaiheiliittymä (400 VAC, 3x630 A, 50 Hz). Sähköbussin pikalataus tapahtuu 400-800 V tasajännitteellä. Yksi sähköliittymä voi palvella tarvittaessa 2-3 pikalatauslaitetta alennetulla latausteholla.

3.5 Akkukapasiteetti ja -teknologia

Järjestämistapana päätepyssäkilataus mahdollistaa sähköbussin pienen akkukapasiteetin. Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivissä sähköbussissa akkukapasiteetti on 55–75 kWh kalustovalmistajasta riippuen. Yleensä tavoitteena on käyttää mahdollisimman pientä akkukapasiteettia sähköbussikaluston hinnan, painon ja energiankulutuksen minimoimiseksi sekä matkustajakapasiteetin maksimoimiseksi. Yleensä kalustovalmistajat tarjoavat sähköbussieihin useampia akkupaketteja, joista kaluston tilaaja voi valita tarpeisiinsa sopivan paketin.

Pienen akkukapasiteetin vuoksi sähköbussien operointisäde on kuitenkin lyhyt. Lyhyen noin 30–60 kilometrin operointisäteen takia sähköbussieja tulee ladata useita kertoja päivässä. Karkean arvion mukaan latausten määrä päivässä on linjan ominaisuuksista riippuen 15–30 latausta. Lataukset tulee suorittaa linjan varrella mahdollisimman huomaamattomana osana bussiliikennettä. Tällöin sähköbussien latausaika muodostuu merkittäväksi tekijäksi. Sähköbussien latausajan tarvetta linjalla on käsitelty luvussa 3.7.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivissä sähköbussseissa käytetään akkuteknologiana litiumtitanaattioksidin (LTO) -akkuja. Akun syklikesto on yli 12 000 purkulataussykliä (2C, 25 °C) ja akun toimintalämpötilaikkuna on jopa -40 °C - +65 °C. LTO-akku voidaan ladata 80 prosenttiin sen kapasiteetista -30 °C lämpötilassa. Akun energiatiheys on 70–115 Wh/kg ja näin ollen akku painaa 9–14 kg/kWh. LTO-akun tehoteho on 760–1250 W/kg. LTO-akun hintaa silloin, kun akkujen uusiminen saattaisi tulla ajankohtaiseksi, on vaikea ennustaa. Hintakehitykseen vaikuttaa merkittävästi sähköisen liikenteen ja LTO-akkujen käytön yleistymisen. Joidenkin arvioiden mukaan LTO akkuteknologia tulisi maksamaan 2020-luvulla noin 500 €/kWh.

Edellä mainittu LTO-akkujen syklikesto on markkinoiden parhaita, mikä antaa mahdollisuudet akkujen pitkälle käyttöiälle. Syklikesto tarkoittaa purku-lataussyklien määrää, jonka akku kestää kunnes akun alkuperäisestä kapasiteetista on jäljellä 80 %. Akkujen käyttöikä vaikuttaa purku-lataussyklien määrän lisäksi myös purku-lataussykliin syvyys, latausteho sekä lämpötila liikennöinnin ja latauksen aikana.

Akun toimintalämpötilaikkunan osalta olennaista on akkujen käytettävyyden ja ladattavuuden alhaisissa lämpötiloissa. LTO-akun erittäin laaja toimintalämpötilaikkuna takaa akkujen käytettävyyden niin kesällä kuin talvellakin ja akkujen latausmahdollisuus jopa -30 °C lämpötilassa mahdollistaa lataamisen myös kovilla pakkasilla. LTO-akkujen tehoteho on hyvä ja siten akkuja voidaan ladata jopa 6C arvolla. Tämä tarkoittaa teoriassa sitä, että akkukapasiteetin ollessa 60 kWh LTO-akkuja voidaan ladata korkeintaan 360 kW latausteholla.

3.6 Sähköbussiliikenne kylmissä talviolosuhteissa

Sähköbussien soveltuvuutta Suomen haastaviin talviolosuhteisiin tutkittiin kansallisessa eBus-hankkeessa vuosina 2012–2015. Hankkeen johtopäätöksenä todettiin, että kaupunkisähköbussien mahdollisuudet toimia menestyksekkäästi Suomessa on olemassa. Lisäksi todettiin, että energiatehokas ja ympäristöystävällinen sähköbussi näyttäisi olevan taloudellisesti kilpailukykyinen vaihtoehto nykyiselle dieselbussiliikenteelle.

eBus-hankkeen ja sitä seuranneiden jatkohankkeiden tiimoilta Espoon linjalla 11 Tapionaukio-Friisilänaukio on liikennöinyt vuodesta 2012 asti viiden kalustovalmistajan sähköbussseja. Espoossa liikennöineet sähköbussit ovat BYD, Caetano Bus, Ebusco, VDL Bus & Coach ja Linkker. Edellä mainittujen kalustovalmistajien lisäksi Suomen kylmissä talviolosuhteissa liikennöinnistä on kokemusta Tampereella vuoden 2016 lopussa liikennöinnin aloittaneella Solaris Bus & Coach yrityksellä.

Sähköbussiliikenne kylmissä talviolosuhteissa aiheuttaa vaatimuksia muun muassa kaluston ja latausjärjestelmän pakkasenkestävyydelle sekä sähköbussien ja akkujen lämmitykselle. Pakkaskestävyyden ja lämmitykseen liittyvät vaatimukset ovat pääosin täytetty suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Pakkanen on kuitenkin aiheuttanut haasteita latausjärjestelmän toimivuudelle muun muassa Turun lentoaseman pikalatauspisteellä. Pakkasella pikalatauslaitteen jäähtytys ei toimi kunnolla ja lataustapahtuma voi hidastua merkittävästi (useita minutteja). Tämä johtuu yksittäisten komponenttien ongelmista ja on korjattavissa komponenttivaihdolla.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivissä sähköbussseissa käytettävien akkujen erittäin laaja toimintalämpötilaikkuna takaa akkujen käytettävyyden niin kesällä kuin talvellakin. Akkujen latausmahdollisuus jopa -30 °C lämpötilassa mahdollistaa lataamisen myös kovilla pakkasilla. Lisäksi sähköbussseissa on sekä bussin sisätilan lämmitys että akkujen lämmitys. Sähköbussissa on kalustovalmistajasta riippuen ilmalämpöpumpulla tai biodieselillä toimiva sisätilan lämmitys. Lisäksi sähköbussseista on tarpeen vaatiessa dieselkäyttöinen matkustamotilan lisälämmitin.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi Suomen kylmissä talviolosuhteissa liikennöitäessä on huomioitava sähköbussin energiankulutuksen vaihtelu. Sähköbussin kulutus vaihtelee riippuen muun muassa kalustovalmistajasta, kuljettajan ajotavasta sekä liikennöinti- ja sääolosuhteista. Sähköbussin kulutus kylmissä, lumisissa ja liukkaissa olosuhteissa talvella voi olla 25 % suurempi kuin kesällä liikennöitäessä. Tämä tulee huomioida muun muassa latausjärjestelmän ja akkukapasiteetin mitoituksessa.

Sähkönkulutuksen kasvu kylmissä talviolosuhteissa johtuu ilmanvastuksen ja vierintävastuksen kasvamisesta. Ilmanvastus on -20 °C lämpötilassa noin 10 % suurempi kuin $+23\text{ °C}$ lämpötilassa ja lumisen tien vierintävastus voi olla jopa 40 % suurempi kuin puhtaan asfaltin. Lisäksi jäisellä tiellä ajettaessa tien pinnan kitkertoimen pieneneminen heikentää jarrutusenergian talteenottoa.

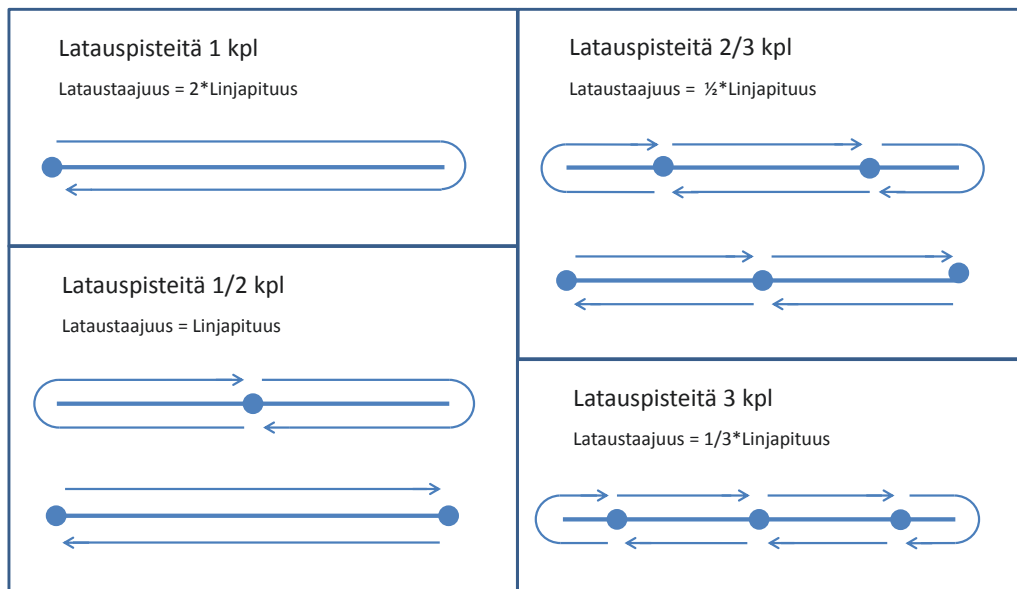
3.7 Latausajan tarve linjalla

Latausajan tarve linjalla on merkittävä sähköbussiliikenteen toteuttamiskelpoisuuteen ja taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttava tekijä. Latausajan tarpeeseen vaikuttaa linjapituus, latauspisteiden määrä ja sijoittelu, sähköbussin energiankulutus ja latauslaitteen pikalatausteho. Tässä työssä on tehty teoreettinen vertailu esimerkkilinjojen latausajan tarpeesta. Muuttujina vertailussa ovat linjapituus ja lataustaajuus. Vertailussa sähköbussien energiankulutus on 1 kWh/km, akkukapasiteetti 60 kWh ja pikalatausteho 300 kW.

Vertailussa ei ole huomioitu linjakohtaisten ominaisuuksien tai ulkoisten tekijöiden vaikutusta esimerkkilinjojen energiankulutukseen. Vertailussa on myös selkeyden vuoksi käytetty kaikilla esimerkkilinjoilla samaa akkukapasiteettia ja pikalataustehoa. Nämä muuttujat ovat kuitenkin todellisuudessa räätälöitävissä linjakohtaisesti. Latauspisteet on oletettu sijoitettavan tasavälein esimerkkilinjojen varrelle.

Vertailussa esitetty lataustapahtumien määrä tarkoittaa yhden kierron aikana suoritettuja lataustapahtumia. Vertailussa oletetaan, että sähköbussi ladataan aina latauspisteellä. Lataustapahtumien määrä linjalla on mitoitettu niin, että sähköbussi käyttää normaalilla lataustaajuudella liikennöitäessä korkeintaan 50 % akkukapasiteetista.

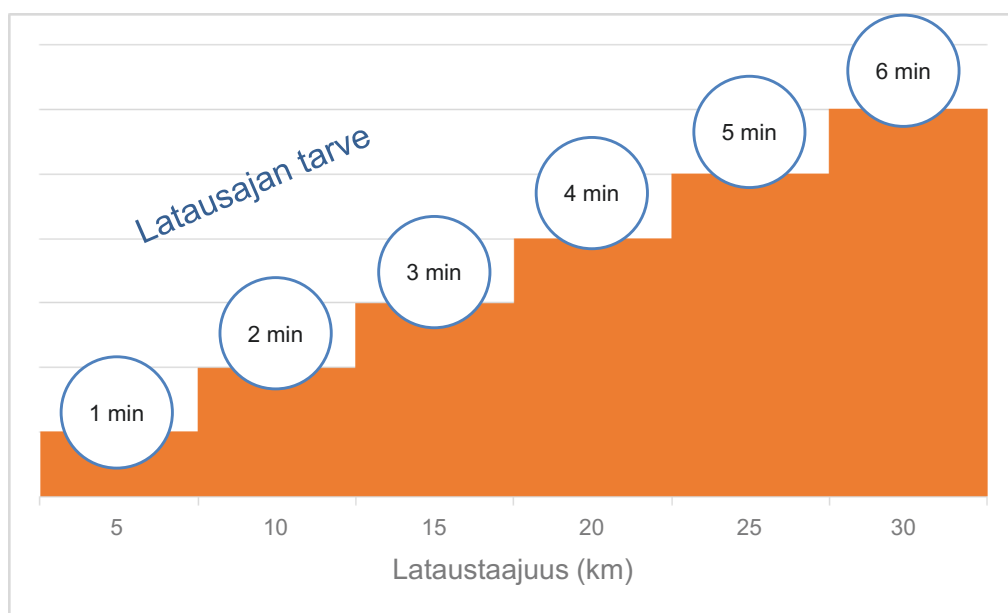
Lataustaajuuden määrittää linjapituus sekä latauspisteiden määrä ja sijoittelu. Sama lataustaajuus voidaan mahdollistaa pienemmällä latauspisteiden määrällä muuttamalla latauspisteiden paikkaa linjalla. Tämä sähköbussiliikenteen ominaisuus on huomioitu esimerkkilinjojen vertailussa. Kuvassa 6 on havainnollistettu latauspisteiden määrän ja niiden sijoittelun vaikutusta sähköbussilinjan lataustaajuuteen, taulukossa 1 on vertailtu esimerkkilinjojen ominaisuuksien vaikutusta latausajan tarpeeseen ja kuvassa 7 on esitetty lataustaajuuden vaikutus latausajan tarpeeseen.



Kuva 6. Latauspisteiden määrän ja niiden sijoittelun vaikutus lataustaajuuteen

Taulukko 1. Vertailu esimerkkilinjojen ominaisuuksien vaikutuksesta latausajan tarpeeseen

Muuttuja	Esim 1	Esim 2	Esim 3	Esim 4	Esim 5	Esim 6	Esim 7	Esim 8	Esim 9	Esim 10
Linjapituus	5 km	5 km	10 km	10 km	15 km	15 km	20 km	20 km	30 km	30 km
Latauspisteitä	1 kpl	2/3 kpl	1 kpl	2/3 kpl	1 kpl	1/2 kpl	1/2 kpl	2/3 kpl	2/3 kpl	3 kpl
Lataustaajuus	10 km	2,5 km	20 km	5 km	30 km	15 km	20 km	10 km	15 km	10 km
Latausaika /lataus	2 min	0,5 min	4 min	1 min	6 min	3 min	4 min	2 min	3 min	2 min
Lataustapahtumia	1 kpl	4 kpl	1 kpl	4 kpl	1 kpl	2 kpl	2 kpl	4 kpl	4 kpl	6 kpl
Latausaika /kierto	2 min	2 min	4 min	4 min	6 min	6 min	8 min	8 min	12 min	12 min



Kuva 7. Lataustaajuuden vaikutus latausajan tarpeeseen

Vertailusta on nähtävissä, että pienen latausajan tarpeen mahdollistaa lyhyt linjapituus ja/tai suuri latauspisteiden määrä. On kuitenkin huomattava, että latauspisteiden määrän kasvattaminen pienentää ainoastaan yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarvetta, ei sähköbussilinjan kokonaislatausaikaa.

Linjapituudeltaan 5 kilometrin bussilinjalla on yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarve latauspisteiden määrästä riippumatta lyhyt, korkeintaan 2 minuuttia. Linjapituudeltaan 10 kilometrin bussilinjalla kohtuullisen lyhyt, korkeintaan 4 minuuttia. Latauspisteiden määrää lisäämällä tai latauspisteiden paikkaa optimoimalla päästään tarvittaessa huomattavasti vielä pienempään yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarpeeseen. Sähköbussilinjan kokonaislatausaika yhden linjakierron aikana on 5 kilometrin linjalla 2 minuuttia ja 10 kilometrin linjalla 4 minuuttia.

Linjapituudeltaan 15 kilometrin bussilinjalla on yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarve vähintään 3 minuuttia ja linjapituudeltaan 20 kilometrin bussilinjalla vähintään 4 minuuttia, kun linjalle sijoitetaan yksi latauspiste. Tätä pienempään latausajan tarpeeseen pääseminen vaatii latauspisteiden määrän lisäämistä. Sähköbussilinjan kokonaislatausaika yhden linjakierron aikana on 15 kilometrin linjalla 6 minuuttia ja 20 kilometrin linjalla 8 minuuttia. Linjapituuden kasvaessa on huomattava sähköbussilinjan kokonaislatausajan tarpeen merkittävä lisääntyminen.

Vertailu osoittaa sen, että sähköbussiliikenne on mahdollista myös pitkillä linjoilla. Pitkillä linjoilla liikennöitäessä latauspisteiden määrän ja latausajan tarve kuitenkin kasvaa. Linjapituudeltaan 30 kilometrin bussilinjalla on yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarve suuri, vähintään 6 minuuttia, kun linjalle sijoitetaan yksi latauspiste. Tätä pienempään latausajan tarpeeseen pääseminen vaatii latauspisteiden määrän lisäämistä. Linjapituudeltaan 30 kilometrin bussilinjalla kokonaislatausajan tarve yhden linjakierron aikana on myös suuri, vähintään 12 minuuttia.

3.8 Taloudellinen kannattavuus

Sähköbussiliikenteen taloudellisen kannattavuuden mittarina voidaan käyttää elinkaarikustannuksia. Elinkaarikustannukset muodostuvat sähköbussiliikenteen käyttökustannuksista ja investointikustannuksista. Tässä työssä käyttökustannuksina on huomioitu energia- ja huoltokustannukset sekä mahdollisesta akkujen vaihdosta johtuvat kustannukset. Investointikustannuksina on huomioitu sähköbussikaluston ja latausinfrastruktuurin hankinta.

Sähköbussien energiakustannukset ovat erittäin pienet. Sähköbussi kuluttaa keskimäärin 1 kWh/km, mutta kulutus vaihtelee riippuen muun muassa kalustovalmistajasta, kuljettajan ajotavasta sekä liikennöinti- ja sääolosuhteista. Sähköbussin kulutus kylmissä, lumisissa ja liukkaissa olosuhteissa talvella voi nousta 1,5 kWh/km. Sähkön hinta veroineen ja siirtoineen on noin 10 snt/kWh. Näin ollen sähköbussin energiakustannukset ovat karkean arvion mukaan noin 10 €/100 km.

Sähköbussiliikenteen huoltokustannuksista ei ole vielä tarkkaa tietoa. Kustannuksista ei ole riittävästi kokemusta ja lisäksi diesel- ja sähköbussiliikenteen huoltosopimusten hinnoittelun vertailukelpoisuus on heikko, koska ensimmäiset sähköbussivalmistajat voivat käyttää huoltosopimuksiaan myös markkinointikeinoina. Todettakoon kuitenkin, että ainakin osa sähköbussivalmistajista tarjoaa edullisempaa huoltosopimusta kuin dieselbussivalmistajat. Sähköbussissa on myös vähemmän huollettavia osia (ei

esim. vaihteistoa) kuin dieselbussissa. Yleinen oletus on, että sähköbussien huolto on dieselbussikaluston huoltoa edullisempaa.

Sähköbussien akkujen käyttöiästä ei myöskään ole tarkkaa tietoa, mutta kalustovalmistajien lupaama akkujen takuu-aika ja sähköbussien huoltosopimuksien pituus viittaavat siihen, että sähköbussin akkujen oletetaan kestävän 5–7 vuotta. Tämä tarkoittaa sitä, että sähköbussien akut on vaihdettava vähintään kerran sähköbussien käyttöiän (noin 15 vuotta) aikana. Tämä lisää käyttökustannuksia akkukapasiteetista ja akkujen tulevasta hintatasosta riippuen karkeasti arvioituna noin 30 000 € sähköbussin elinkaaren aikana.

Investointikustannus sähköbussikalustoon on noin 500 000 €/bussi ja pikalatausinfrastruktuuriin noin 250 000 €/latauslaite. Karkeana mitoitusarvona latauslaitteen hinnalle voidaan pitää 1 000 €/kW.

Sähköbussiliikenteen taloudellisen kannattavuuden selvittämiseksi tässä työssä on tehty vertailu dieselbussiliikenteen ja sähköbussiliikenteen elinkaarikustannuksista. Vertailua varten on tehty karkeita oletuksia, jotka muodostavat vertailun perustilanteen. Perustilanteessa linjalla on 5 bussia (käyttöikä 15 vuotta) ja 2 latauspistettä (käyttöikä 30 vuotta), yhden bussin vuosittainen liikennöintisuorite on 100 000 km, sähköbussin energiankulutus on 1 kWh/km ja huolto 10 % halvempaa kuin dieselbussiliikenteen, akkukapasiteetti on 60 kWh, akkujen (LTO) elinikä 5 vuotta ja akkujen hinta 500 €/kWh. Elinkaarikustannukset on laskettu 15 vuoden ajanjaksolle, jonka vuoksi latausinfrastruktuurin kustannukset on puolitetty vertailussa.

Perustilanne kuvastaa keskisuuren suomalaisen kaupunkiseudun keskimääräistä bussiliikennettä. Esimerkiksi Turun kaupungin sisäisessä bussiliikenteessä linjojen kalustomäärä vaihtelee noin 1–12 bussin välillä, ollen karkean arvion mukaan keskimäärin noin 5 bussia per linja. Yhden bussin vuosittainen liikennöintisuorite vaihtelee bussilinjasta riippuen noin 50 000–150 000 kilometrin välillä, ollen karkean arvion mukaan keskimäärin noin 100 000 kilometriä vuodessa. Useilla bussilinjoilla kalustomäärä ja vuosittainen liikennöintisuorite ovat kuitenkin perustilanteessa esitetyjä alhaisemmat. Tämän vuoksi perustilanteen lisäksi vertailussa on tehty herkkyystarkasteluja.

Herkkyystarkasteluissa muuttujina ovat sähköbussin energiankulutus, sähköbussiliikenteen huoltokustannukset, yhden bussin vuosittainen liikennöintisuorite ja bussien määrä linjalla. Lisäksi vertailussa on tehty herkkyystarkastelu, jossa sähköbussilla liikennöidään vain yksi sopimuskausi (10 vuotta). Tällöin bussikalusto uusitaan 10 vuoden välein perustilanteen 15 vuoden käyttöiän sijasta. Taulukossa 2 on esitetty karkea vertailu dieselbussiliikenteen ja sähköbussiliikenteen elinkaarikustannuksista.

Taulukko 2. Vertailu dieselbussiliikenteen ja sähköbussiliikenteen elinkaari-kustannuksista

	TILAAJAN KUSTANNUKSET	LIIKENNOITSIJÄN KUSTANNUKSET				Elinkaarikustannukset (€/15 vuotta)
	Investointikustannukset (€)	Käyttökustannukset (€/km)				
	Latausinfra	Kalusto	Energia	Huolto	Akkujen vaihto	
PERUSTILANNE						
Sähköbussi	250 000	2 500 000	0,10	0,18	0,06	5 300 000
Dieselbussi	0	1 250 000	0,40	0,20	0,00	5 750 000
HERKKYYSTARKASTELU 1 (Sähköbussin energiankulutus on 1,25 kWh/km)						
Sähköbussi	250 000	2 500 000	0,125	0,18	0,06	5 487 500
Dieselbussi	0	1 250 000	0,40	0,20	0,00	5 750 000
HERKKYYSTARKASTELU 2 (Sähköbussin energiankulutus on 1,5 kWh/km)						
Sähköbussi	250 000	2 500 000	0,15	0,18	0,06	5 675 000
Dieselbussi	0	1 250 000	0,40	0,20	0,00	5 750 000
HERKKYYSTARKASTELU 3 (Sähköbussiliikenteen huolto on 10 % kalliimpaa)						
Sähköbussi	250 000	2 500 000	0,10	0,22	0,06	5 600 000
Dieselbussi	0	1 250 000	0,40	0,20	0,00	5 750 000
HERKKYYSTARKASTELU 4 (Sähköbussiliikenteen huolto on 20 % kalliimpaa)						
Sähköbussi	250 000	2 500 000	0,10	0,24	0,06	5 750 000
Dieselbussi	0	1 250 000	0,40	0,20	0,00	5 750 000
HERKKYYSTARKASTELU 5 (Yhden bussin vuosittainen liikennöintisuorite on 75 000 km/bussi)						
Sähköbussi	250 000	2 500 000	0,10	0,18	0,08	4 775 000
Dieselbussi	0	1 250 000	0,40	0,20	0,00	4 625 000
HERKKYYSTARKASTELU 6 (Linjalla on 1 bussi)						
Sähköbussi	250 000	500 000	0,10	0,18	0,06	1 260 000
Dieselbussi	0	250 000	0,40	0,20	0,00	1 150 000
HERKKYYSTARKASTELU 7 (Bussikalustolla liikennöidään vain yksi sopimuskausi (10 vuotta))						
Sähköbussi	250 000	3 750 000	0,10	0,18	0,06	6 550 000
Dieselbussi	0	1 875 000	0,40	0,20	0,00	6 375 000

Vertailun tuloksia tulkittaessa on muistettava, että vertailua varten on tehty karkeita oletuksia muun muassa bussilinjan ja -kaluston ominaisuuksista sekä latausjärjestelmästä. Lisäksi vertailussa käytetyt investointi- ja käyttökustannukset ovat yksinkertaistettuja arvioita. Esimerkiksi latausinfrastruktuurin kustannukset voivat vaihdella linjoittain suuresti riippuen latauspisteiden määrästä ja ominaisuuksista sekä latauspisteen perustamiseksi tarvittavista rakennus- ja sähköverkollisista toimenpiteistä. Käyttökustannuksiin vaikuttaa merkittävästi muun muassa bussien energiankulutus sekä dieselin ja sähkön hinta. Pienetkin heilahtelut näiden muuttujien arvoissa voivat aiheuttaa suuria muutoksia sähköbussiliikenteen taloudelliseen kannattavuuteen.

Vertailusta on nähtävissä, että tässä työssä tehdyillä oletuksilla sähköbussiliikenne on perustilanteessa taloudellisesti dieselbussiliikennettä kannattavampaa. Sähköbussiliikenteen investointikustannukset ovat 1,75 miljoonaa euroa dieselbussiliikenteen investointikustannuksia suuremmat, mutta käyttökustannukset ovat 26 senttiä pienemmät jokaista liikennöityä kilometriä kohden. Merkittävästi pienemmät käyttökustannukset mahdollistavat tässä työssä tehdyillä oletuksilla sähköbussiliikenteen taloudellisen kannattavuuden suurista investointikustannuksista huolimatta.

Herkkyystarkasteluilla 1 ja 2 on selvitetty sähköbussin energiankulutuksen vaikutusta taloudelliseen kannattavuuteen. Herkkyystarkastelut osoittavat, että sähköbussiliikenne on tässä työssä tehdyillä oletuksilla edelleen taloudellisesti dieselbussiliikennettä kannattavampaa, vaikka energiankulutus nousisi 1,5 kWh/km. Sähköbussin energiankulutuksella on kuitenkin merkittävä vaikutus sähköbussiliikenteen elinkaarikustannuksiin.

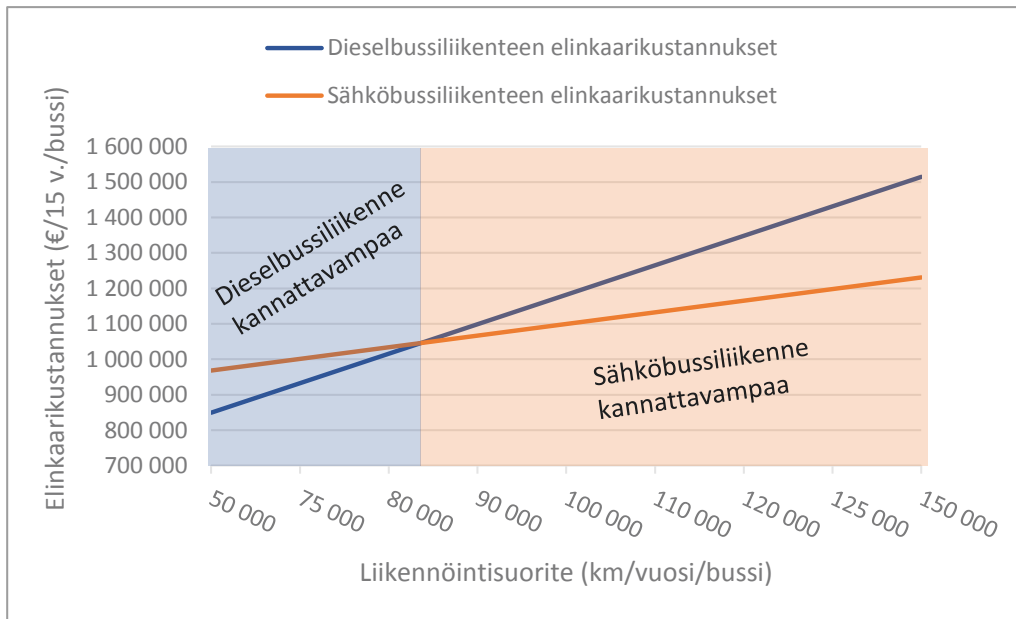
Herkkyystarkasteluilla 3 ja 4 on selvitetty sähköbussiliikenteen huoltokustannusten vaikutusta taloudelliseen kannattavuuteen. Herkkyystarkastelu 3 kuvaa tilannetta, jossa sähköbussiliikenteen huolto on 10 % dieselbussiliikenteen huoltoa kalliimpaa. Tällöin sähköbussiliikenne on tässä työssä tehdyillä oletuksilla taloudellisesti dieselbussiliikennettä kannattavampaa. Herkkyystarkastelu 4 kuvaa tilannetta, jossa sähköbussiliikenteen huolto on 20 % dieselbussiliikenteen huoltoa kalliimpaa. Tällöin sähköbussiliikenne ja dieselbussiliikenne olisivat taloudellisesti yhtä kannattavia. Jos sähköbussiliikenteen huolto on yli 20 % dieselbussiliikenteen huoltoa kalliimpaa, niin dieselbussiliikenne on tässä työssä tehdyillä oletuksilla taloudellisesti sähköbussiliikennettä kannattavampaa.

Herkkyystarkastelulla 5 on selvitetty yhden bussin vuosittaisen liikennöintisuoritteen vaikutusta taloudelliseen kannattavuuteen. Perustilanteessa, jossa yhden bussin vuosittainen liikennöintisuorite on 100 000 kilometriä, sähköbussiliikenne on tässä työssä tehdyillä oletuksilla taloudellisesti dieselbussiliikennettä kannattavampaa. Herkkyystarkastelu 5 kuitenkin osoittaa, että jos yhden bussin vuosittainen liikennöintisuorite laskee 75 000 kilometriin, on tehdyillä oletuksilla dieselbussiliikenne taloudellisesti sähköbussiliikennettä kannattavampaa.

Herkkyystarkastelulla 6 on selvitetty bussien määrän vaikutusta taloudelliseen kannattavuuteen. Vertailu osoittaa, että bussien määrän aiheuttamat vaikutukset ovat hyvin samakaltaisia kuin liikennöintisuoritteen aiheuttamat vaikutukset. Tämä on ilmeistä, koska bussilinjan vuosittainen liikennöintisuorite on riippuvainen yhden bussin vuosittaisesta liikennöintisuoritteesta ja bussien määrästä linjalla. Herkkyystarkastelusta 6 nähdään, että kalustomäärältään pienillä bussilinjoilla dieselbussiliikenne on tässä työssä tehdyillä oletuksilla sähköbussiliikennettä taloudellisesti kannattavampaa.

Herkkyystarkastelu 7 kuvaa tilannetta, jossa sähköbussilla liikennöidään vain yksi sopimuskausi (10 vuotta). Vertailu osoittaa selkeästi sähköbussiliikenteen suurten investointikustannusten vaikutuksen linjan taloudelliseen kannattavuuteen tilanteessa, jossa bussikalusto uusitaan 10 vuoden välein perustilanteen 15 vuoden käyttöiän sijasta. Tällöin dieselbussiliikenne on tässä työssä tehdyillä oletuksilla taloudellisesti sähköbussiliikennettä kannattavampaa. Voidaan siis todeta, että mitä pidemmälle ajanjaksolle sähköbussiliikenteen suuret investointikustannukset voidaan jyvittää, niin sitä kannattavampana sähköbussiliikenne taloudellisesti näyttäytyy.

Liikennöintisuoritteen vaikutusta sähköbussiliikenteen taloudelliseen kannattavuuteen on vielä havainnollistettu kuvassa 8. Kuvan perusteella voidaan todeta sähköbussiliikenteen olevan sitä kannattavampaa mitä suurempi on yhden bussin keskimääräinen vuosittainen liikennöintisuorite. Alhaisilla liikennöintisuoritteilla sähköbussiliikenne voi muodostua joissakin tilanteissa jopa taloudellisesti kannattamattomaksi.



Kuva 8. Vuosittaisen liikennöintisuoritteen vaikutus sähköbussiliikenteen taloudelliseen kannattavuuteen

Edellä esitetty vertailu on suuntaa antava ja sen perusteella voidaan tehdä ainoastaan karkeita päätelmiä ja yleistyksiä. Todellisuudessa sähköbussiliikenteen taloudellinen kannattavuus on riippuvainen sähköistettävästä bussilinjasta ja sen ominaisuuksista sekä valitusta sähköbussikalustosta ja latausjärjestelmästä. Taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat teknologian kehitys ja sähköbussiliikenteen yleistyminen sekä näiden mukanaan tuoma kaluston ja latausinfrastruktuurin sekä akkuteknologian mahdollinen hintojen lasku. Lisäksi taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa muun muassa dieselin ja sähkön hintojen kehitys.

Voidaan kuitenkin todeta, että sähköbussiliikenne on jo nykytilanteessa mahdollista järjestää niin, että sen aiheuttamat kustannukset kaupungeille ja joukkoliikenteen toimivaltaisille viranomaisille ovat nykyistä dieselbussiliikennettä pienemmät. Tulevaisuudessa, jos oletetaan sähköbussiliikenteen investointikustannusten laskevan, näyttäytyy sähköbussiliikenne entistä kannattavampana. Bussilinjan taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat kuitenkin useat tekijät, ja tämän vuoksi sähköbussiliikennettä suunniteltaessa taloudelliseen kannattavuuteen liittyvät tarkastelut on tehtävä linjakohtaisesti.

4 Sähköbussiliikenteen kilpailutus ja hankinta

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla ei ole vielä tehty sähköbussiliikennöinnin kilpailutusta. Tampereella ja Turussa on kuitenkin kilpailutettu täyssähköbussikalusto ja latausinfrastruktuuri bussilinjoille, joita liikennöi kaupungin oma yhtiö. Tampereella sähköbussilinjan liikennöitsijä on Tampereen Kaupunkiliikenne Liikelaitos ja Turussa Turun Kaupunkiliikenne Oy.

Tampereen kaupunki oli ensimmäinen suomalainen kaupunkiseutu, joka teki sähköbussien ja latausjärjestelmän julkisen kilpailutuksen ja hankinnan. Tampereen kaupunki käytti avointa hankintamenettelyä. Avoimessa menettelyssä hankintailmoituksen julkaisemisen yhteydessä tarjouspyyntö asetetaan avoimesti kaikkien saataville. Kaikki halukkaat toimittajat voivat jättää tarjouksen hankintailmoitukseen.

Turun kaupunki on toinen suomalainen kaupunkiseutu, joka teki yhdessä Turku Energian ja Turun Kaupunkiliikenteen kanssa sähköbussien ja latausjärjestelmän julkisen hankinnan ja kilpailutuksen. Turun kaupunki käytti rajoitettua hankintamenettelyä. Rajoitetussa menettelyssä hankintailmoituksen julkaisemisen yhteydessä tarjouspyyntö asetetaan avoimesti kaikkien saataville. Halukkaat toimittajat vastaavat hankintailmoitukseen pyytämällä saada osallistua kilpailutukseen. Avoimesta menetelmästä poiketen ainoastaan hankintayksikön hyväksymät toimittajat saavat jättää tarjouksen hankintailmoitukseen.

Tampereen kaupungin ja Turun kaupungin hankinnat on suoritettu kokonaisuutena, joka sisältää sähköbussit ja latausjärjestelmän. Tällöin bussien ja latausjärjestelmän tekninen sekä toimittamisen aikataullinen yhteensovittaminen on jätetty toimittajan vastuulle. Molemmat hankinnat sisältävät myös sähköbussien ja latauslaitteiden huolenpitosopimukset. Turun kaupungin hankinta sisältää lisäksi sähköbussien ja latauslaitteiden käyttö- ja huoltokoulutukset, jotka on suunnattu bussikuljettajille ja huoltohenkilöstölle. Tampereen kaupungin hankinta sisältää koulutuksen ja koulutusaineiston toimittamisen liikennöitsijän esimiehille.

4.1 Aikataulu

Tampereen kaupungin hankintailmoitus julkaistiin 1.7.2015 ja Turun kaupungin 20.11.2015. Lisäksi Tampereen kaupungin hankinnasta annettiin ennakoilmoitus 1.6.2015, kuukausi ennen hankintailmoituksen julkaisemista. Tampereen kaupungin hankinnassa tarjousten jättö oli 30.9.2015, kolme kuukautta hankintailmoituksen julkaisemisen jälkeen. Turun kaupungin hankinnassa tarjousten jättö oli 22.1.2016, kaksi kuukautta hankintailmoituksen julkaisemisen jälkeen. Turun kaupungin hankinnassa tarjousten jättämisen määräaika pidennettiin alkuperäisestä.

Sähköbussien ja latausjärjestelmän toimitusaika on Tampereen kaupungin tarjouspyynnössä jätetty avoimeksi. Turun kaupungin tarjouspyynnössä on määritetty, että vähintään yksi sähköbussi ja latausjärjestelmä kokonaisuudessaan tulee olla toimitettu viimeistään 31.5.2017. Kaikkien sähköbussien ja latausjärjestelmän toimitusaika on viimeistään 30.10.2017. Lisäksi sekä Tampereen kaupungin että Turun kaupungin tarjouspyynnössä on määritetty, että sähköbusseja ei voida alkaa toimittamaan ennen latausjärjestelmän valmistumista.

Tampereella sähköbussit alkoivat liikennöidä joulukuussa 2016 ja Turussa lokakuussa 2016. Tampereella liikennöinnin alkamiseen kului hieman yli vuosi (noin 14 kk) tarjousten jätöstä. Turussa liikennöinnin alkamiseen kului hieman alle vuosi (noin 8 kk) tarjousten jätöstä. Tässä kohtaa on kuitenkin huomioitava, että kummallakaan kaupunkiseudulla kaikki tilatut sähköbussit eivät olleet edellä esitetyllä aikataululla liikennöinnissä. Turussa on tavoitteena saada kaikki 6 täyssähköbussia liikenteeseen helmikuun 2017 loppuun mennessä. Tällöin kokonaisen bussilinjan sähköistäminen olisi kestänyt noin 13 kk tarjousten jätöstä.

4.2 Pisteytys ja arviointiperusteet

Tampereen kaupungin ja Turun kaupungin hankinnoissa valintaperusteena on kokonaistaloudellinen edullisuus. Tällöin pisteytykseen vaikuttavat hinta ja laatu. Tampereen kaupungin hankinnassa hinnan painoarvo tarjousten pisteytyksessä oli 85 % ja laadun painoarvo 15 %. Turun kaupungin hankinnassa hinnan painoarvo oli 70 % ja laadun painoarvo 30 %. Turun kaupungin hankinnassa yhdellä laatuominaisuudeksi luokitellulla tekijällä (sähköbussin energiakulutus) on kuitenkin merkittävä vaikutus sähköbussiliikenteen elinkaarikustannuksiin, jonka voidaan katsoa pienentävän laatu-painoarvoa ja kasvattavan hintapainoarvoa.

4.2.1 Hinta

Tampereen kaupungin hankinnassa pyydettiin seuraavia hintoja:

- sähköbussin rahoitusleasing €/kk/bussi (4 bussia)
- sähköbussin jäännösarvo € (5 vuoden sopimuksen jälkeen)
- sähköbussin huolenpitosopimus snt/km
- latausjärjestelmä € (pika- ja varikkolatauslaitteet)
- latauslaitteiden huolenpitosopimus €/kk

Tampereen kaupungin tarjouspyynnössä on määritetty, että sähköbussin rahoitusleasinghinnan tulee olla sama koko 5 vuoden sopimuskauden ajan. Sähköbussin ja latauslaitteiden huolenpitosopimuksen hinta voi vaihdella vuosittain. Tämän vuoksi huolenpitosopimuksen hinta on tarjouspyynnössä pyydetty ilmoittamaan jokaiselta sopimusvuodelta erikseen.

Tampereen kaupungin hankinnassa tarjouksessa ilmoitettu sähköbussin hinta, sähköbussin 5 vuoden huolenpitosopimuksen hinta, latausjärjestelmän hinta ja latauslaitteiden 5 vuoden huolenpitosopimuksen hinta laskettiin yhteen. Pienimmän kokonaishinnan tarjonnut sai 85 pistettä ja muiden tarjoajien pisteet laskettiin suhteessa pienimpään kokonaishintaan.

Lisäksi pyydettiin sähköbussikorjaamon tuntiveloitushintoja ja varaosahintoja. Edullisin tarjous korjaamon tuntiveloitushinnoissa sai 2 lisäpistettä ja edullisin tarjous varaosahinnoissa sai 1 lisäpisteen. Muiden tarjoajien pisteet laskettiin suhteessa edullisimpaan tarjoukseen.

Turun kaupungin hankinnassa pyydettiin seuraavia hintoja:

- sähköbussi €/bussi (6 bussia)
- sähköbussin huolenpitosopimus €/km/bussi
- latausjärjestelmä € (pika- ja varikkolatauslaitteet)
- latauslaitteiden huolenpitosopimus €/kk

Turun kaupungin tarjouspyynnössä on määritetty, että sähköbussin huolenpitosopimushinta on ilmoitettava erikseen takuuajalle (1–2 vuotta) sekä takuuajan jälkeiselle ajalle kahdessa jaksossa (3–5 vuotta, 6–7 vuotta). Latauslaitteiden osalta tarjouksessa on ilmoitettava hinta kolmelle vaihtoehdoiselle huolenpitosopimukselle (kattava, laaja, suppea). Huolenpitosopimushinnat ilmoitetaan erikseen takuuajalle (1–2 vuotta) ja sen jälkeiselle ajalle yhdessä jaksossa (3–7 vuotta).

Turun kaupungin hankinnassa pisteytettiin Tampereen kaupungin hankinnasta poiketen erikseen kaikki edellä mainitut hintatekijät (sähköbussi, sähköbussin huolenpitosopimus, latausjärjestelmä, latauslaitteiden huolenpitosopimus). Edullisin tarjous sähköbussin kokonaishinnassa sai 50 pistettä ja muiden tarjoajien pisteet laskettiin suhteessa pienimpään kokonaishintaan. Saman periaatteen mukaisesti edullisin tarjous sähköbussin huolenpitosopimuksen kokonaishinnassa sai 30 pistettä, latausjärjestelmän kokonaishinnassa 30 pistettä ja latauslaitteiden huolenpitosopimuksen hinnassa 15 pistettä.

4.2.2 Laatu

Laatupisteitä oli mahdollista saada Tampereen kaupungin hankinnassa seitsemästä eri laatutekijästä ja Turun kaupungin hankinnassa viidestä eri laatutekijästä. Tampereen kaupungin hankinnassa laadusta oli mahdollisuus saada korkeintaan 15 pistettä ja Turun kaupungin hankinnassa 50 pistettä.

Tampereen kaupungin hankinnassa laatuasteita sai seuraavista tekijöistä:

- bussin varusteisiin kuuluu sähköinen ilmalämpöpumppu tai kaasukäyttöinen lisälämmitin, 2,5 pistettä
- bussin varusteisiin kuuluu sivulle liukuvat poistumisovet, 1 piste
- bussissa on mahdollista käyttää tiettyä rengas- ja vannekokoa, 2 pistettä
- bussin varusteisiin kuuluu 710 mm leveät istuimet vähintään 90 % paikoista, 1,5 pistettä
- yli 32 istumapaikkaa, 0,25 pistettä/paikka, kuitenkin korkeintaan 1 piste
- yli 5 vuoden akkutakuu, 1 piste/vuosi, kuitenkin korkeintaan 5 pistettä
- sähköbussiprojektiin liittyvän innovaatio suunnitelman laadinta, 2 pistettä

Turun kaupungin hankinnassa laatuasteita sai seuraavista tekijöistä:

- sähköbussin huoltopalveluiden aukioloaikojen laajuus, korkeintaan 10 pistettä
- koulutuksen saaneen huoltohenkilökunnan määrä, korkeintaan 10 pistettä
- sähköbussin energiakulutus, korkeintaan 10 pistettä
- bussin nopeutta on mahdollista säätää kauko-ohjatusti, 10 pistettä
- yli 12 metrinen bussi, 1 piste/0,1 metriä, kuitenkin korkeintaan 10 pistettä

Ainoana Tampereen kaupungin ja Turun kaupungin hankintojen yhteisenä laatu-tekijänä voidaan pitää sähköbussin kokoa. Tampereen kaupungin hankinnassa bussin koon mittarina on käytetty istumapaikkojen määrää ja Turun kaupungin hankinnassa sähköbussin pituutta. Muutoin hankinnoissa on laitettu painoarvoa hyvin erilaisille laatu-tekijöille.

4.3 Vaatimuksia

Tampereen kaupungin ja Turun kaupungin tarjouspyyntöasiakirjoissa on määritetty tarkasti sähköbussikaluston ja latausjärjestelmän vaatimukset. Tämän työn tarkoituksena ei ole pureutua syvällisesti näihin vaatimuksiin, vaan tarkoituksena on lyhyesti kuvata keskeisimmät sähköbussiliikenteen, latausjärjestelmän ja akkuteknologian vaatimukset.

Tampereen kaupungin tarjouspyynnön vaatimuksena on, että täyssähköbussin tulee pystyä liikennöimään vähintään 20 kilometriä ilman latauksia. Tampereen hankinnassa hyväksyttiin myös plug-in-hybridibussit, joilta olisi vaadittu vähintään 9 kilometrin yhtämittaista liikennöintiä pelkkien akkujen voimalla. Turun kaupungin tarjouspyynnön vaatimuksena on, että täyssähköbussin tulee pystyä liikennöimään vähintään 30 kilometriä ilman latauksia.

Molemmissa tarjouspyynnöissä on vaatimuksena, että pikalataus linjan varrella suoritetaan pantografi-tyyppisellä latauslaitteella vähintään 300 kW teholla. Tampereen tarjouspyynnössä laturilta vaaditaan toimintalämpötilaikkunaa $-30\text{ °C} - 40\text{ °C}$ ja Turun tarjouspyynnössä toimintalämpötilaikkunaa $-35\text{ °C} - 50\text{ °C}$. Tarjouspyynnöissä on määritetty, että pikalatauksen on tapahduttava automaattisesti niin, että bussikuljettajan ei tarvitse poistua bussin ohjaamosta kytkemään latausta päälle tai pois päältä. Turun tarjouspyynnössä on lisäksi määritetty, että pantografin on sijaittava latauslaitteessa.

Molemmissa tarjouspyynnöissä on pikalatausvaatimuksen lisäksi vaatimuksena, että sähköbussin akustoa on pystyttävä lataamaan hidaslatauksella bussivarikolla. Tarjouspyyntöjen vaatimuksena on, että hidaslataus perustuu CCS-standardiin ja Combo2-pistokkeeseen. Sähköbussin ja latauslaitteen välinen kommunikaatio perustuu yleisesti käytössä oleviin standardeihin SFS-EN 61851-23 ja ISO 15118. Tampereen tarjouspyynnössä on lisäksi määritetty, että hankinnassa on noudatettava pienjännitesähköasennuksia koskevaa standardia SFS 6000, sähköturvallisuusstandardia SFS 6002 ja jakeluverkon raja-arvoja koskevaa standardia SFS-EN-50160.

Tampereen hankintaan sisältyy sähköbussien ja latauslaitteiden 5 vuoden huolenpitosopimus. Tämän lisäksi Tampereella on mahdollisuus latauslaitteiden huolenpitosopimuksen osalta 3 optiovuoden käyttöön. Sähköbussien osalta huolenpitosopimuksen pituuden ylittävästä akkutakuusta annetaan laatupisteitä tarjouskilpailussa. Tampereen kaupungin tarjouspyynnössä vaatimuksena on pika- ja varikkolatauslaitteiden 5 vuoden täystakuu. Lisäksi pika- ja varikkolatauslaitteille on varaosien toimitusvelvoite 3 vuotta takuuajan päättymisen jälkeen.

Turun kaupungin hankintaan sisältyy sähköbussien ja latauslaitteiden 7 vuoden huolenpitosopimus. Tarjouspyynnössä vaatimuksena on sähköbusseille sekä pika- ja varikkolatauslaitteille 2 vuoden takuu. Lisäksi tarjouspyynnössä on määritetty, että toimittaja sitoutuu huoltamaan myymänsä ajoneuvon ja latausjärjestelmän sekä toimittamaan varaosia vähintään 10 vuoden ajan kokonaistoimituksen hyväksytyyn vastaanoton jälkeen.

Tampereen kaupungin tarjouspyynnössä on vaadittu, että akuston on oltava tarvittaessa eristetty kylmyyttä ja ajoviimaa vastaan. Lisäksi auton akuston on oltava tarvittaessa lämmitettävä. Tarjouspyynnössä on myös vaadittu, että sähköbussissa pitää olla polttoöljyllä tai CNG:llä toimiva lisälämmitin. Sähköbussissa tulee myös olla riittävän tehokas sähköllä toimiva ilmastointilaite.

Turun kaupungin tarjouspyynnössä on vaadittu, että sähköbussissa on ilmalämpöpumpulla tai muulla matalaenergiakulutuksellisella ratkaisulla toimiva ilmastointi ja lämmitys. Lisäksi busseissa on oltava dieselkäyttöinen matkustamotilan lisälämmitin. Tarjouspyynnössä on myös vaadittu mahdollisuutta akuston sähkökäyttöiseen lämmitykseen auton käyttötauojen aikana bussivarikolla.

Kummassakaan tarjouspyynnössä ei ollut vaatimuksia akkuteknologiaan, akkukapasiteettiin tai sähköbussien energiakulutukseen liittyen. Tampereen kaupungin tarjouspyynnössä on todettu, että toimittajalla on oikeus määrittää akkuteknologia, akuston koko ja akun käyttöparametrit vapaasti, kunhan vaadittu ajosuorite täyttyy. Turun kaupungin hankinnassa oli mahdollisuus saada laatupisteitä pienestä energiakulutuksesta.

4.4 Sanktiot

Tampereen kaupungin ja Turun kaupungin tarjouspyynnöissä oli määritetty erilaisia sanktioita. Tampereen kaupungin tarjouspyyntö sisälsi yhden sanktion ja Turun kaupungin tarjouspyyntö neljä erilaista sanktiota. Molemmista tarjouspyynnöissä oli määritetty sähköbussien ja latausjärjestelmän käyttökatkoon liittyvä sanktio.

Tampereen kaupunki ei maksa sähköbusseista rahoitusleasingkuluja niiltä päiviltä, jolloin bussi on pois liikennöinnistä kaluston tai latausjärjestelmän viasta johtuen. Jokaista sähköbussia kohden on kalenterivuositain 10 arkipäivää, jolloin bussi saa olla ilman sanktiota pois liikennöinnistä. Tampereella toimittaja sitoutuu lisäksi maksamaan 750 € suuruisen sanktion jokaiselta alkavalta päivältä, jolloin latausjärjestelmän ongelmat estävät sähköbussien liikennöinnin.

Turussa toimittaja maksaa kalenterivuositain ajoneuvo kohtaista sanktiota 110 € jokaiselta 20 päivää ylittävältä huolto- ja korjauspäivältä, kuitenkin korkeintaan 48 000 € vuodessa. Lisäksi toimittaja maksaa kalenterivuositain sanktiota 1 000 € jokaisesta vähintään 30 minuuttia kestävästä pikalatausaseman käyttökatkosta, kun käyttökatkosten määrä vuodessa ylittää 12 kertaa. Lisäksi toimittaja maksaa kalenterivuositain jokaisesta pikalatausaseman yhtämittäisestä kestoaltaan vuorokauden ylittävältä käyttökatkosta sanktiota 1 000 € jokaiselta alkavalta vuorokaudelta. Pikalatausasemien käyttökatkosanktiot ovat kuitenkin korkeintaan 40 000 € vuodessa.

Edellä mainittujen käyttökatkosanktioiden lisäksi Turun kaupungin tarjouspyynnössä on määritetty sanktioita sähköbussien ja latausjärjestelmän toimitusaikoihin, latausjärjestelmän huolenpidon vasteaikoihin ja sähköbussin energiankulutukseen liittyen. Sähköbussien ja latausjärjestelmän toimituksen viivästyessä sovitusta toimitusajasta, on toimittaja velvollinen maksamaan sanktiota 16 000 € jokaiselta alkavalta viikolta, jolloin toimittaja ylittää sovitun toimitusajan. Toimituksen viivästyssanktio on kuitenkin korkeintaan 240 000 €.

Turun kaupungin tarjouspyynnössä on määritetty latausjärjestelmän huolenpitosopimuksen vasteajat. Jos toimittaja ei pysty noudattamaan määritettyjä vasteaikoja, antaa tilaaja kunkin kalenterivuoden ensimmäisestä vasteaikojen noudattamatta jättämisestä huomautuksen. Huomautuksen jälkeen toimittaja maksaa kalenterivuosittain sanktiota 500 € jokaista kertaa kohti, kun huolenpitosopimuksen vasteaikoja ei noudateta. Vasteaikojen noudattamatta jättämisen sanktio on kuitenkin korkeintaan 5 000 € vuodessa.

Kaikki Turun kaupungin hankintailmoitukseen tarjouksen jättäneet toimittajat ilmoittivat tarjouksessaan sähköbussin energiankulutuksen 0,1 kWh/km tarkkuudella tilaajan määrittämän reittikuvauksen ja Braunschweig-ajosyklin perusteella. Tarjouskilpailun voittaneen toimittajan sähköbussin todellinen energiakulutus mitataan bussien toimituksen yhteydessä. Jos mitattu energiankulutus on 10–19 % suurempi kuin toimittajan ilmoittama, toimittaja on velvollinen maksamaan sanktiota 10 000 €. Jos mitattu energiakulutus on vähintään 20 % suurempi kuin toimittajan ilmoittama, toimittaja on velvollinen maksamaan sanktiota 25 000 €. Sanktio on ajoneuvo-kohtainen.

Lisää tietoa Tampereen sähköbussiliikenteen kilpailutuksesta ja hankinnasta saa julkaisusta Sähköbussihankinnan toteutus – Tampereen kokemuksia (2016).

5 Kokemuksia sähköbussiliikenteestä

Tässä työssä kerättiin haastatteluilla kokemuksia sähköbussiliikenteestä. Työssä haastateltiin HSL:n sekä Espoon, Tampereen ja Turun kaupunkien edustajia.

HSL:ltä haastatteluun osallistuivat Reijo Mäkinen ja Petri Saari, Espoon kaupungilta Sinikka Ahtiainen, Pasi Laitala ja Matti Takala ja Tampereen kaupungilta Elli Kotakorpi ja Juha-Pekka Häyrynen. Turussa haastatteluun osallistuivat kaupungilta Lauri Jorasmaa ja Jari Paasikivi, Turun Kaupunkiliikenteeltä Juha Parkkonen, Turku Energialta Antto Kulla ja Turun Ammattikorkeakoulusta Panu Aho.

Haastattelut suoritettiin marraskuussa 2016. Haastatteluista on tehty erilliset muistiot. Haastatteluiden olennaisin anti on kirjattuna seuraaviin lukuihin. Haastattelurunko ja kaikkien haastatteluiden pohjalta tehty tekninen muistio ovat tämän työn liitteinä 1 ja 2.

5.1 Sähköbussiliikenteen käynnistäminen

Haastattelujen perusteella sähköbussiliikenteen käynnistämisen taustalla ovat kaupungin ja joukkoliikenteen toimivaltaisen viranomaisen strategia ja arvot. Kaupunkiseuduilla on halu minimoida ympäristöhaitat, kuten päästöt ja melu, sekä lisätä keskustojen ja asuinalueiden viihtyisyyttä. Esimerkiksi HSL joukkoliikenteen toimivaltaisena viranomaisena pyrkii vähäpäästöisyyteen kaikissa kalustohankinnoissa. Tavoitteena on leikata joukkoliikenteen päästöjä yli 90 % vuoteen 2025 mennessä vuoden 2010 tasosta.

Sähköbussiliikenteeseen liitetään myös edelläkävijäys ja positiivinen kaupunki-imago. Esimerkiksi Tampereen kaupunki tähtää ilmastopolitiikan edelläkävijäksi ja sähköisen liikenteen valtakunnalliseksi suunnannäyttäjäksi vuoteen 2025 mennessä. Tavoitteena on 40 % hiilidioksidipäästöjen vähennys vuoden 1990 tasosta vuoteen 2025 mennessä. Päästötavoitteiden saavuttamisen lisäksi sähköbussiliikenteen käynnistämisen taustalla on halu kokeilla uutta lupaavaa bussitekniikkaa, joka saattaa johtaa kustannussäästöihin pidemmällä aikavälillä.

Haastatellut kaupunkiseudut ottavat ensisijaisesti käyttöön täyssähköbussseja. Plug-in-hybridibussseja otetaan mahdollisesti tulevaisuudessa käyttöön pidemmällä linjoilla muun muassa seutuliikenteessä. Plug-in-hybridibussien käyttöönoton edellytyksenä on, että niitä voidaan ladata täyssähköbussien latausinfrastruktuuria käyttäen.

Täyssähköbussien ja plug-in-hybridibussien rinnalla tullaan käyttämään ainakin HSL-liikenteessä myös tavallisia hybridibussseja sekä biopolttoaineita. HSL:n tavoitteena on, että vuonna 2025 noin puolet bussikalustosta on täyssähköbussseja, plug-in-hybridibussseja tai hybridibussseja ja puolet muita käyttövoimia. Joidenkin haastattelujen näkemyksen mukaan lähivuosina päästöjä vähennetään eniten uuden E6-dieselbussikaluston ja biopolttoaineiden avulla. Biopolttoaineita ei kuitenkaan pidetty lopullisena ratkaisuna muun muassa niiden aiheuttamien päästöjen sekä kestävän energiatuotannon kapasiteetin näkökulmasta.

Suomalaisten kaupunkiseutujen ensimmäiset sähköbussilinjat ovat valikoituneet sähköistettäväksi muun muassa niiden linjapituuden, 2-akselisen kaluston, liikennöintisopimusten, pysäkkien ja pysähdysten määrän sekä linjan näkyvyyden perusteella. Sähköbussseja on sijoitettu kohtuullisen lyhyille linjoille, joissa liikennöinti on mahdollista pienellä akkukapasiteetilla. Lisäksi sähköbussseja on otettu käyttöön linjoilla, joilla on näkyvyyttä niin kaupunkilaisten kuin matkailijoidenkin keskuudessa. Vaatimus 2-akselisesta kalustosta johtuu siitä, että sähkökäyttöisiä telibusseja ei ole ollut tai on ollut rajoitetusti saatavilla ensimmäisiä sähköbussilinjoja suunniteltaessa ja kilpailutettaessa.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi haastateltujen näkemyksen mukaan sähköistettävien bussilinjojen tulee mahdollistaa linjan latauspisteiden hyvä käyttöaste ja sähköbussilinjaa tulee pystyä liikennöimään nykyisellä kalustomäärällä. Sähköbussiliikenteen ensivaiheessa suomalaiset kaupunkiseudut ovat sähköistäneet bussilinjoja tämän periaatteen vastaisesti ottamalla lisäbussseja kalustokiertoon. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltava ratkaisu sähköbussiliikenteen taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta. HSL-alueella sähköistettävien bussilinjojen valintaan on vaikuttanut myös eBus ja ePeli hankkeet ja hankeosapuolet sekä liikennöitsijöiden halukkuus sähköbussiliikenteeseen.

5.2 Merkittävimmät muutokset

Kun siirytään dieselbussiliikenteestä sähköbussiliikenteeseen, on muutos merkittävä. Haastattelujen perusteella merkittävimmät muutokset tapahtuvat energian hankinnassa ja infrastruktuurissa, koulutustarpeessa, kaavoituksessa ja linjasto-suunnittelussa, varautumissuunnitelmissa, kaupunkiympäristön kehittämismahdollisuuksissa sekä joukkoliikennetoimijoiden rooleissa.

Sähköbussiliikenteen myötä tulee tarve uuden infrastruktuurin rakentamiseen. Tähän tulee varautua muun muassa bussipysäkkien ja -terminaalien tilavarauksissa sekä sähköverkon kapasiteetissa. Uuden infran rakentaminen, tilavaraukset ja sähköverkon kapasiteetin kasvattaminen aiheuttavat kustannuksia. Espoon kaupunki on varannut 4 miljoonaa euroa sähköbussien latausinfrastruktuurihankintoihin vuoteen 2020 mennessä. Sähköbussien latausinfrastruktuuri tulee lisäksi vaikuttamaan kaupunkikuvaan.

Uuden infrastruktuurin lisäksi myös energian hankinnassa tapahtuu muutoksia. Nykyisessä dieselbussiliikenteessä liikennöitsijä vastaa itse polttoainehankinnoista ja polttoaineen kilpailutuksesta. Liikennöitsijät voivat yrityskohtaisesti sopia polttoaineen hinnasta sekä valita itselleen sopivan polttoaineen jakeluyhtiön ja jakelupaikat. Sähköbussiliikenteessä tilanne on toinen. Sähköbussien latausinfrastruktuurin omistaa nykyään suomalaisilla kaupunkiseuduilla kaupunki tai energia-yhtiö. Tällöin liikennöitsijät ovat riippuvaisia kaupungin tai energiayhtiön tarjoamasta latausinfrastruktuurista ja sen kilpailuttaman sähkön hinnasta.

Uusi bussikalusto ja latausinfrastruktuuri aiheuttavat myös tarpeen bussikuljettajien ja huoltohenkilökunnan kouluttamiseen.

Haastattelujen perusteella sähköbussien varautuminen on kaavoituksellinen asia. Kaavoituksen osalta on ainakin huomioitava uuden infrastruktuurin tilavaraukset sekä latauslaitteiden vaikutus kaupunkikuvaan. Espoossa ei toistaiseksi ole varauduttu sähköbussien tulon kaavoituksessa. Liikkeelle on lähdetty uusista bussiliikenteen sisäterminaaleista, joissa on helpointa järjestää tilat latausinfrastruktuurille.

Tampereen kaupungin haastateltujen näkemyksen mukaan sähköbussiliikenne on myös huomioitava bussiliikenteen linjastosuunnittelussa. Linjastosuunnittelussa huomioitavia asioita ovat ainakin linjojen pysyvyys, linjapituudet, kalustokierto sekä mahdollisuus linjojen yhteisille latauspisteille. Sähköbussiliikenteen käynnistämistä linjastosuunnittelun näkökulmasta on käsitelty tarkemmin luvuissa 6.2.1. ja 6.2.2.

Turun haastateltujen mukaan sähköbussiliikenteen laajentaminen muuttaa olennaisesti bussikaluston ominaisuuksia, mikä vaikuttaa varautumissuunnitelmiin. Sähköbussi on sidottu liikennöimään tiettyä linjaa, eikä se sovellu esimerkiksi väestön siirtämiseen pidempiä matkoja. Tällöin kalustoa ei voida nykyiseen tapaan osoittaa viranomaiskäyttöön varautumissuunnitelmassa.

Haastatteluissa nousi lisäksi esille sähköbussiliikenteen tarjoama kaupunkiympäristön kehittämismahdollisuus. Kehittämismahdollisuus kumpuaa sähköbussien ympäristöystävällisyydestä ja hiljaisuudesta. Esimerkiksi päätepysäkeillä bussien tyhjäkäynnin melu ja päästöt jäävät kokonaan pois sähköbussiliikenteen myötä. Tämä lisää viihtyisyyttä kaupunkikeskustoissa ja asuinalueilla sekä avaa mahdollisuuden keskustojen houkuttelevuuden lisäämiseen. Bussit ovat hiljaisia myös matkustajille ja kuljettajalle.

Joukkoliikennetoimijoiden rooleja omistus- ja vastuusuhteiden näkökulmasta on käsitelty seuraavassa luvussa 5.3.

5.3 Joukkoliikennetoimijoiden roolit

Sähköbussiliikenteessä joukkoliikennetoimijoiden roolit omistus- ja vastuusuhteiden näkökulmasta eivät ole vielä vakiintuneet. Tämän vuoksi joukkoliikennetoimijoiden roolijako vaihtelee hieman haastateltujen suomalaisten kaupunkiseutujen välillä. Seuraavassa on kuvattu haastateltujen kaupunkiseutujen roolijako sähköbussiliikenteen ensivaiheessa sekä näkemykset laajemman sähköbussijärjestelmän vastuu- ja omistussuhteista.

Espoossa kaupunkitekniikan keskus omistaa Tapiolan pikalatauslaitteen. Pikalatauslaitteen sähköverkon ja sähköliittymän rakennustyöt tekee Caruna Oy Espoon kaupungin tilauksesta. Sähköbussien ladattava sähköenergia on Espoon kaupungin kilpailuttamaa. Sähköenergian tuottaa Fortum. Sähköbussit on hankkinut 3 vuoden leasing-sopimuksella pääkaupunkiseudun joukkoliikenteen toimivaltainen viranomaisen HSL.

HSL antaa hankkimansa sähköbussit liikennöitsijöiden käyttöön 10 % leasingvuokraa vastaan. Kolmen vuoden leasing-sopimuksen jälkeen HSL ei enää hanki sähköbussia, vaan vastuu siirtyy liikennöitsijöille. HSL:n hankkimille sähköbusseille on laskettu 20 % jäännösarvo. Tällä hinnalla liikennöitsijät voivat ostaa bussit 3 vuoden leasing-sopimuksen jälkeen itselleen.

Espoon kaupunki maksaa Tapiolan pikalatauslaitteen sähköliittymälle koituvat sähkölaskut. Liikennöitsijää laskutetaan säännöllisin väliajoin Espoon kaupungin sähköliittymän käytöstä sähköenergian kulutukseen perustuen. Espoon kaupungin haastateltujen näkemyksen mukaan tämän kaltainen järjestely toimii sähköbussiliikenteen aloitusvaiheessa, kun liikenteessä on vain yhden liikennöitsijän sähköbusseja. Jatkossa, kun sähköbusseja ja liikennöitsijöitä on useita, tarvitaan latausoperaattori muun muassa laskutuspalvelun hoitamista varten.

Helsingissä HKL (Helsingin kaupungin liikennelaitos) toimii latauslaitteiden tilaajana. Latauslaitteiden latausoperaattorina toimii Virta. Helen rakentaa ja asentaa pikalatauslaitteet HKL:n tilauksesta. Helen myös kilpailuttaa latauslaitteet. Caruna rakentaa latauslaitteiden vaatiman sähköverkon ja sähköliittymät.

Lähitulevaisuuden tavoite on, että Fortum toimisi latausoperaattorina Espoon kaupungin alueella. Fortum vastaisi latausoperaattorina energian toimittamisesta, latauslaitteen energiankulutuksen seurannasta, raportoinnista ja sähköenergian laskutuksesta liikennöitsijöiden suuntaan. Latauslaitteiden korjaus ja huolto olisi takuuajan jälkeen Helenin vastuulla myös Espoon laturien osalta. Sähköverkon ja sähköliittymien rakentamisen hoitaisi sähköverkon haltija Caruna Espoo ja pikalatauslaitteiden asentamisen Espoon kaupungin tai laitetoimittajan valitsema urakoitsija.

Espoossa liikennöitsijä (Transdev) vastaa kuljettajien kouluttamisesta sähköbussiliikenteeseen. Latauslaitteen tilaussopimuksessa on sovittu, että latauslaitetoimittaja (Heliox/Schunk) vastaa asennus- ja huoltohenkilöstön perehdyttämiseen tarvittavasta (suomenkielisestä) koulutuksesta. HSL:n haastateltujen näkemyksen mukaan sähköbussiliikenteen koulutusvastuu on liikennöitsijällä ja kalustovalmistajalla.

Joukkoliikennetoimijoiden omistus- ja vastuusuhteisiin liittyen laaditaan parhaillaan koko HSL-aluetta koskevia pelisääntöjä sähköbussiliikenteen huoltopalvelujen ja sähkönsäätöjärjestämisen periaatteista.

Tampereen kaupunki omistaa Pyynikintorin pikalatauslaitteen ja varikkolatauslaitteet. Sähköbussit on hankkinut liikennöitsijä Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitos (TKL) 5 vuoden leasing-sopimuksella. Leasing-sopimuksen päätyttyä TKL:lla on mahdollisuus ostaa sähköbussit omaksi. Latauslaitteista ja sähköbusseista on tehty 5 vuoden huoltosopimus kalustovalmistaja Solariksen kanssa. Sähköbussien huoltosopimuksessa Solariksen alihankkijana on Tampereen Infra. Sähköbussiliikenteen koulutuksesta vastaa TKL. Tampereella sähkölaitos laskuttaa sähköbussien kuluttamasta sähköstä suoraan liikennöitsijää (TKL).

Tampereen sähköbussiprojektissa Tampereen sähkölaitoksen rooli on ollut hyvin pieni. Tampereella sähkölaitos ei ole ollut kiinnostunut pikalatauslaitteiden hankinnasta. Muun muassa tästä johtuen vaikuttaa järkevältä, että kaupunki päättää sähköistettävät linjat ja hankkii pikalatauslaitteet myös tulevaisuudessa. Haastateltujen näkemyksen mukaan latauspisteiden rakentamista täytyy myös koordinoida yhden toimijan eli kaupungin toimesta. Varikkolatauslaitteet olisivat varmaakin tulevaisuudessa liikennöitsijän omistuksessa. Tampereen kaupungin nykyiset yhtiöt eivät todennäköisesti tule hankkimaan lisää sähköbusseja. Ratikan myötä kaupungin organisaatioon tulee kuitenkin uusi toimija (kalusto- ja ratayhtiö), jolla olisi tulevaisuudessakin mahdollisuus omistaa sähköbussikalustoa.

Turussa sähköbussit omistaa Turun Kaupunkiliikenne Oy. Sähköbussien huoltovastuu on kalustovalmistajalla (Linkker, 7 vuoden huoltosopimus). Sähköbussien huoltosopimuksessa Linkkerin alihankkijana on Suomen Korikorjaus Oy. Alihankkijan huoltohenkilökunta on koulutettu sähköbussien huoltoon. Bussien sähkötekniinen huolto on kuitenkin kalustovalmistajan vastuulla, jolloin uuden huoltohenkilökunnan rekrytointitarvetta ei ole. Huoltotoimenpiteiden aikana sähköbussien sähköturvallisuus varmistetaan tekemällä sähköbussista jännitteetön huoltoerotuskytkimen avulla. Turussa koulutus on ollut osa sähköbussien kokonaishankintaa ja sen on järjestänyt Turun ammattikorkeakoulu. Koulutus koski koko henkilöstöä (bussikuljettajat, huoltohenkilökunta) mukaan luettuna myös hinaushenkilökunta ja pelastushenkilökunta.

Turku Energia omistaa pika- ja varikkolatauslaitteet ja vastaa kaikista latauspisteiden kustannuksista (mm. sähköverkon ja -liittymien rakentaminen). Turku Energia tarjoaa Turun Kaupunkiliikenteelle latauspalvelua, joka sisältää muun muassa sähkön toimittamisen ja laskuttamisen sekä latauslaitteiden huollon.

Turku Energia laskuttaa energian käytöstä suoraan liikennöitsijää (Turun Kaupunkiliikenne Oy). Tällä hetkellä laskutusperusteena käytetään muuntamon ja latauslaitteen välistä sähkönkulutusta. Tulevaisuudessa, kun liikennöinnissä on useita busseja ja liikennöitsijöitä sähkönkulutuksen mittauksen rajapinta siirtyy todennäköisesti bussin katolle. Sähkön hinta kattaa sähköenergian, sähkön siirron ja sähköverot. Liikennöitsijän maksaman sähköenergian hinnan määrää markkinahinta, jonka päälle lisätään Turku Energian kate.

Taulukossa 3 on esitetty edellä kuvatut sähköbussiliikenteen omistus- ja vastuusuhteet suomalaisilla kaupunkiseuduilla.

Taulukko 3. Sähköbussiliikenteen omistus- ja vastuusuhteet suomalaisilla kaupunkiseuduilla

OMISTUS- JA VASTUUSUHTEET (Espoo, Tampere, Turku)

	kaupunki	liikennöitsijä	energia- ja/tai verkkoyhtiö	kalusto- tai latauslaitetoimittaja	muu
sähköbussit omistaa		TKL, Turun kaupunkiliikenne			HSL
latauslaitteet omistaa	Espoo, Tampere		Turku Energia		
sähköbussit huoltaa				Solaris, Linkker	Tampereen Infra, Suomen Korikorjaus Oy
latauslaitteet huoltaa			Helen, Turku Energia	Heliox/Schunk, Solaris	
sähköverkon ja -liittymän rakentaa			Caruna, Turku Energia		
energian toimittaa			Fortum, Tampereen sähkölaitos, Turku Energia		
energiasta laskutetaan	Espoo	TKL, Turun kaupunkiliikenne			
koulutuksesta vastaa		Transdev, TKL		Heliox/Schunk	Turun AMK

Espoon kaupungin haastateltujen näkemyksen mukaan energiayhtiöiden välillä on suuria eroja siinä, minkälaisen roolin ne haluavat sähköbussien latausjärjestelmän mahdollistamisesta. Fortum ei ole ollut halukas hankkimaan sähköbussien pikalatauslaitteita Espooseen, joten toistaiseksi Espoon kaupunki on hankkinut latausinfraomistukseensa. Turku Energian mielestä Turun sähköbussiliikenteen vastuu- ja omistussuhteiden toimintamalli istuu hyvin heidän liiketoiminta-alueellensa.

Sähköbussiliikenteen ohessa on ilmennyt, että pikalatauslaite kuluttaa sähköenergiaa myös latauksen oheistoimintoihin, kuten laturin jäähdyttämiseen. Kyseisten oheistoimintojen aiheuttama energiahukka on karkean arvion mukaan 1–10 %. Mitä suurempi on latauspisteen käyttöaste, niin sitä pienempi on hukkaenergian osuus. Tämän vuoksi on noussut esille kysymys siitä, laskutetaanko liikennöitsijää vain bussiin ladatusta sähköenergiasta, vai kuuluuko liikennöitsijän maksettavaksi myös kaikki muu latauslaitteen kuluttama energia.

Espoossa on liikennöitsijän kanssa sovittu, että Espoon kaupunki laskuttaa liikennöitsijältä 90 % sähköliittymän käyttämästä energiasta siirtomaksuineen ja veroineen. Tällöin 10 % sähköenergiasta jää pääosin kaupungin maksettavaksi. Turun haastateltujen mielestä sillä taholla joka vastaa latauslaitteesta, tulee olla myös intressi kehittää latauslaitetta. Tällöin hukkaenergia jää latauslaitteen omistajan maksettavaksi ja liikennöitsijä maksaa vain kuluttamastaan sähköenergiasta.

5.4 Latausjärjestelmä

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla ensimmäisten sähköbussilinjojen pikalatauslaitteet on kaupunkiseudusta riippumatta asennettu sähköbussilinjojen päätepysäkeille tai päätepysäkeille. Turussa ja Helsingissä pikalatauslaite asennettiin ensivaiheessa vain toiselle sähköbussilinjan päätepysäkeille, mutta lopputilanteessa sähköbussilinjan molemmilla päätepysäkeillä tulee olemaan pikalatauslaitteet. Espoossa ja Tampereella pikalatauslaite on asennettu vain linjan toiselle päätepysäkeille. Espoon

kaupungin haastateltujen näkemyksen mukaan sähköbussiliikenteen varmistamiseksi vilkkaasti liikennöidyillä bussilinjoilla olisi hyvä olla pikalatauslaite linjan molemmilla päätepysäkeillä.

Haastateltujen näkemyksen mukaan latauslaitteet on ollut aloitusvaiheessa helpointa sijoittaa päätepysäkeille, joissa voidaan nykyisten tilavarausten puitteissa järjestää tilat ja sähköä latauslaitteelle ja sen vaatimalle infrastruktuurille. Myös kaupunkikuvallisista syistä kääntöpaikat, erityisesti tilapäinen Tapiolan kääntöpaikka sekä Turussa lentokenttä ja satama, ovat olleet helpoimpia kohteita sähköbussien latauslaitteiden lupaprosessin kannalta.

Haastateltujen näkemyksen mukaan laajassa sähköbussijärjestelmässä latauspisteiden sijoittaminen pelkästään bussilinjan päätepysäkeille ei ole kuitenkaan mahdollista. Tämä ei ole mahdollista linjojen kääntöaikojen puitteissa, vain pieni osa matkustajista nousee kyytiin päätepysäkiltä ja lisäksi latausinfrastruktuurin rakentaminen kaikkien linjojen päätepysäkeille ei ole kustannustehokasta. Kyseistä järjestämistapaa tullaan kuitenkin todennäköisesti toteuttamaan suomalaisilla kaupunkiseuduilla vielä lähitulevaisuudessa.

Laajempaan sähköbussijärjestelmään pyritään muodostamaan solmupisteitä, joissa lataus mahdollistetaan sillä aikaa, kun matkustajat nousevat bussin kyytiin ja poistuvat bussin kyydistä. Solmupisteet ovat bussireitin varrella olevia useiden linjojen yhteisiä pysäkkejä. HSL:n haastateltujen näkemyksen mukaan laajempi sähköbussijärjestelmä tullaan rakentamaan niin, että sähköbussien lataukset suoritetaan joukkoliikenneterminaaleissa, joukkoliikenteen solmupisteissä ja päätepysäkeillä. Pidemmällä tulevaisuudessa myös teknologian kehitys (mm. lataus- ja akkuteknologia) tulee vaikuttamaan siihen, millaiseksi sähköbussijärjestelmä muodostuu.

Pikalatauslaite ja sen vaatima infrastruktuuri sekä bussin vaatima lataus-, operointi- ja odotustila määrittävät pysäkin tilantarpeen ja lisäksi ne vaikuttavat kaupunkikuvaan. Haastateltujen mukaan pikalatauslaitteen rakentaminen kaupunkiympäristöön vaatii vähintäänkin sijoitusluvan ja naapureiden kuulemisen. Tämän vuoksi Espoon kaupungin tavoitteena on suunnitella ja tuottaa latauslaitteet ja niiden vaatima infra niin, että tulevaisuudessa ne voidaan tyyppihyväksyttää, samoin kuin nykyään kuljettaja-WC. Tyyppihyväksyntä keventäisi kaupunkiympäristöön sijoitettavien latauslaitteiden rakennus- ja sijoituslupaprosessia.

Tällä hetkellä suomalaisilla kaupunkiseuduilla on käytössä erilaisia virroitinlataustekniikoita. Suomalainen Linkker tekee kahdenlaisia busseja. Pantografi on joko etuakselin kohdalla bussissa (alhaalta ylös, Espoo) tai etuakselin kohdalla latauslaitteessa (ylhäältä alas, Turku). Puolalainen Solaris taas tekee busseja, joissa Pantografi on taka-akselin kohdalla bussissa (alhaalta ylös, Tampere). Edellisestä johtuen Solariksen bussia ei voitaisi liikennöidä HSL:n tai Turun sähköbussiliikenteessä ja toisaalta Linkkerin bussia ei voitaisi liikennöidä Tampereen sähköbussiliikenteessä.

Päätös virroitinlataustekniikasta ja pantografin sijoittamisesta vaikuttaa latausjärjestelmän ja sähköbussien investointikustannuksiin, sähköbussin painoon sekä latausjärjestelmän häiriöherkkyyteen. Pantografi voidaan sijoittaa joko sähköbussiin (alhaalta ylös) tai latauslaitteeseen (ylhäältä alas). Molemmissa ratkaisuisissa on hyvät

ja huonot puolensa. Käyttökokemusten keräämiseksi muun muassa Turussa (ylhäältä alas) ja Espoossa (alhaalta ylös) virroitinlataustekniikka on käänteinen.

Kun sijoitetaan pantografi bussiin (alhaalta ylös), pantografin kustannus kertaantuu. Pantografin sijoittaminen bussiin vaikuttaa noin 15 000 € sähköbussin hintaan. Bussiin sijoitettu pantografi myös lisää bussin painoa noin 100 kg. Sähköbussin painon lisääminen lisää energiakulutusta ja käyttökustannuksia, joskin tässä tapauksessa haastateltujen mielestä hyvin marginaalisesti. Bussiin sijoitettu pantografi on myös alttiina jatkuvalle liikennetärinälle ja kolhiintumiselle (mm. alikukkorkeudet). Pantografin sijoittaminen bussiin mahdollistaa sen, ettei langatonta tiedonsiirtoa pantografin ja bussin välillä tarvita.

Kun sijoitetaan pantografi latauslaitteeseen (ylhäältä alas), niin latauslaitteen vikatilanteen aikana pahimmillaan yksikään latauslaitetta käyttävä sähköbussi ei pysty liikennöimään. Tämän vuoksi joidenkin haastateltujen näkemyksen mukaan on toivottavaa, että latauslaitteessa on mahdollisimman vähän häiriöherkkiä liikkuvia osia. Laajassa sähköbussijärjestelmässä, jossa latauslaitteita on paljon, pantografin sijoittaminen latauslaitteeseen tuskin aiheuttaa vikatilanteessakaan merkittävää haittaa bussiliikennöinnille. Pantografin sijoittaminen latauslaitteeseen vaatii hieman enemmän latauslaitteen rakenteelta (mm. pantografin koko ja paino). Esimerkiksi Helsingin Rautatien torille halutaan hyvin sirot latauslaitteet, minkä toteuttaminen on helpompaa pantografin sijaitessa bussissa.

Jatkossa jää nähtäväksi, mitkä ovat kalustovalmistajien joustomahdollisuudet pantografin sijoittamiselle ja miten liikennöinnistä saatava kokemus ja tuotekehitys vaikuttavat pantografin sijoittamiseen.

Linjan varrelle sijoitettavien pikalatauslaitteiden lisäksi bussivarikolla on lähtökohtaisesti kaapelilatauslaitteet sähköbussien yöaikaista latausta varten. Varikkolataus on nykyään mitoitettu hyvin varman päälle. Varikkolataustehot voitaisiin puolittaa nykyisestä. Joissakin tapauksissa varikkolatauslaitteita ei edes tarvittaisi, vaan bussit voitaisiin ladata myös päivän aluksi pikalatauspisteellä. Tällaiseen ratkaisuun on päädytty Espoossa, jossa sähköbusseja ladataan ainoastaan Tapiolan pikalatauspisteellä. Varikolla suoritettavan kaapelilatauksen tarpeeseen vaikuttavat muun muassa bussivarikon sijainti suhteessa liikennöitävien bussilinjojen pikalatauslaitteiden sijaintiin sekä liikennöitsijän käytännöt. Espoon kaupungin haastateltujen näkemyksen mukaan ideaalinen ratkaisu olisi kuitenkin se, että bussilinjalla on suuritehoiset pikalatauslaitteet ja varikolla pienitehoiset varikkolatauslaitteet.

5.5 Sähköbussiliikenteen haasteita

5.5.1 Latausjärjestelmä ja sähköverkko

Haastattelujen perusteella sähköbussiliikenteen haasteet liittyvät erityisesti latausjärjestelmään. Häiriötilanteet ovat olleet seurausta suorittamattomista lataustapahtumista sähköbussilinjan päätepysäkillä. Turussa suorittamattomat lataustapahtumat ovat johtuneet osittain kuljettajan virheistä ja osittain järjestelmätason ongelmista. Järjestelmässä on ollut ongelmia muun muassa lentoaseman pikalatauspisteellä, jossa pakkanen on tuottanut haasteita. Pakkasella pikalatauslaitteen jäädytys ei toimi kunnolla ja lataustapahtuma voi hidastua merkittävästi (useita

minuutteja). Tämä johtuu yksittäisten komponenttien ongelmista ja on korjattavissa komponenttivaihdolla.

Turun haastateltujen mukaan sähköbussien varikkolataukseen liittyy myös haasteita. Sähköbussin akkujen lataaminen tapahtuu tasavirralla, mutta bussin muut järjestelmät ladataan vaihtovirralla. Tällä hetkellä ei ole olemassa sähköbusseille latauspistoketta, josta saadaan sekä tasa- että vaihtovirtaa. Tämä aiheuttaa lisätyötä kahden erillisen lataustapahtuman tarpeen muodossa. Bussivarikon pysäköinti-järjestykseen on Turussa myös jouduttu tekemään muutoksia johtuen siitä, että nykyisissä sähköbusseissa latauskaapeli kytketään bussin perään keulan sijasta. HSL-alueella ja Tampereella kaapelilataus ei ole vaikuttanut bussivarikon pysäköinti-järjestykseen, sillä käytettävä kaapelilatauslaite on liikuteltava.

Nykyisin Turun sähköbussien varikkolataus suoritetaan bussin ollessa käynnissä. Tavoitteena on, että bussin järjestelmät ajaisivat itsensä hallitusti alas latauksen päätyttyä. Nykyisten sähköbussien ja latauslaitteiden käyttövarmuus ei kuitenkaan ole vielä tässä suhteessa riittävän hyvä, mistä johtuen sähköbussit ovat joskus olleet käynnissä koko yön.

Tampereen kaupungin ja HSL:n haastattelujen perusteella haasteita aiheuttaa myös latauspisteiden sijoittaminen. Tampereella haasteet johtuvat bussilinjaston muutos-paineista ratikan tulon myötä. Tässä tilanteessa on vaikea löytää päätepysäkkejä, joiden tiedettäisiin toimivan bussilinjan päätepysäkkinä vielä 10 vuoden kuluttua.

Espoossa haasteita on aiheuttanut Tapiolan pikalatauslaitteen sijainti. Latauslaite sijaitsee noin 500 metrin päässä linjan päätepysäkestä. Tämä hidastaa lataustapahtumaa siirtoajojen muodossa. Siirtoajoon ja lataukseen kuluva ajasta johtuen sähköbussilinjalle tarvitaan yksi lisäbussi kalustokiertoon, mikä tekee liikennöinnistä kalliimpaa. Tämä ei ole suositeltava päätepysäkkilatauksen järjestämistapa, mutta on Espoossa hyväksytty sähköbussiliikenteen aloitusvaiheessa.

Latausjärjestelmän lisäksi haasteita sähköbussiliikenteen käynnistämiseksi aiheuttaa sähköverkon riittävyys. Erittäin harvoin nykyinen sähköverkko on riittävä sähköbussien pikalataukseen. Tämä aiheuttaa tarpeen sähköverkon vahvistamiseen (kaapelivedot, uusi muuntaja jne.). Lisäksi pikalatauslaitetta varten tarvitaan oma sähköliittymä. Paikallinen energia- tai sähköverkkoyhtiö pystyy toteuttamaan tarvittavat sähköverkolliset toimenpiteet pikalatauspisteen perustamiseksi. Tästä aiheutuu kuitenkin kustannuksia ja mahdollista rakentamisen aikaista haittaa.

5.5.2 Standardointi ja jälkimarkkinat

Standardointia pidetään yhtenä merkittävimpana sähköbussijärjestelmän kulmakivenä. Latausjärjestelmästandardeja löytyy jo useimpiin tilanteisiin ja standardointityö on parhaillaan käynnissä. Turun tilanteessa, jossa pantografi on sijoitettu latauslaitteeseen (ylhäältä alas), langatonta tiedonsiirtoa bussin ja pantografin välillä ei ole kuitenkaan standardoitu. Markkinoilla on myös erilaisia pantografeja ja niiden kontaktipintoja. Turun haastateltujen tietojen mukaan pantografin kontaktipinta on kuitenkin vaihdettavissa sähköbussin latausjärjestelmään sopivaksi. Käynnissä oleva standardointityö ei myöskään ota kantaa pantografin sijaintiin bussissa eikä siihen tulisiko sen sijaita bussissa vai latauslaitteessa.

Jatkossa on toivottavaa, että saatujen kokemusten perusteella voitaisiin sopia yhteisistä periaatteista niin, että sähköbussit soveltuvat joko suoraan tai pienin kustannuksin räätälöityinä eri kaupunkiseutujen latausjärjestelmiin. Jos tällaisia useampia virroitinlataustekniikoita jää standardoinnin puutteessa voimaan pidemmäksi aikaa, niiden yhdenmukaistaminen myöhemmässä vaiheessa voi olla kallis ja haasteellinen tehtävä.

Lisäksi suomalaisten kaupunkiseutujen sähköbussijärjestelmien yhteensopimattomuus hankaloittaa sähköbussien jälkimarkkinoita, joissa on Tampereen kaupungin haastateltujen näkemyksen mukaan ongelmia jo dieselbussiliikenteessäkin. Jälkimarkkinoiden epävarmuus voi heikentää liikennöitsijöiden halukkuutta lähteä mukaan sähköbussiliikenteeseen. Espoon kaupungin näkemyksen mukaan sähköbussiliikenteen yleistyminen on riippuvainen liikennöitsijöiden halukkuudesta investoida sähköbusseihin. Tämän vuoksi se miten onnistutaan liikennöitsijöiden motivoinnissa, on merkittävää sähköbussijärjestelmän laajentumisen kannalta.

5.5.3 Muita haasteita

Tampereen kaupungin haastateltavat mainitsivat haasteena myös uudenlaisen joukkoliikennesuunnittelun. Heidän näkemyksensä mukaan sähköbussiliikennettä on vaikea toteuttaa nykyisessä joukkoliikennejärjestelmässä ilman lisäkustannuksia. HSL:n haastateltujen mukaan haasteena on myös sähköbussien ja latauslaitteiden toimitusaikojen yhteensovittaminen. Toimitusaikojen yhteensovittamisen epäonnistuessa voidaan joutua tilanteeseen, jossa sähköbussit ovat toimitettu, mutta niitä ei voida ladata ja siten ei myöskään liikennöidä.

Lisäksi on nähtävillä kehityssuunta, jossa liikennöitsijät haluaisivat kilpailuttaa sähköbusseihin ladattavan sähkön itse. Tämä ei ole tällä hetkellä mahdollista, koska nykyisen lainsäädännön puitteissa ainoastaan sähköliittymän omistava taho pystyy määrittämään ja kilpailuttamaan sähköntuottajan. Espoossa kaupunkitekniikan keskus, Tampereella kaupunki ja Turussa energiayhtiö (Turku Energia) omistavat pikalatauslaitteiden sähköliittymän. Siten liikennöitsijät ovat riippuvaisia kaupungin tai energiayhtiön tarjoamasta latausinfrastruktuurista sekä kaupungin tai energiayhtiön kilpailuttaman sähkön hinnasta.

Haastateltavat korostavat, että tällä hetkellä kaupunkiseuduilla on käynnissä sähköbussien tuotannollinen koekäyttöjakso. Sen vuoksi haastateltavat eivät odotakaan kaiken onnistuvan ensimmäisellä kerralla. Ongelmat ovat olleet usein järjestelmätason ongelmia, jotka ovat luonnollinen osa koekäyttöä. Ongelmat ovat liittyneet ainakin Turussa osin myös tiedonkulkuun muun muassa kuljettajien ja huoltohenkilökunnan välillä. Haastateltujen mielestä sähköbussit ovat selviytyneet varsin hyvin liikennöinnistä ja kokemukset ovat olleet odotettua positiivisemmat.

6 Johtopäätökset

6.1 Yhteenveto

Dieselbussiliikenne on tuttua joukkoliikennetoimijoille ja matkustajille. Dieselbussiliikenteessä vallitsevat vakiintuneet käytännöt ja bussiliikenteen vaatima infrastruktuuri on jo olemassa. Sähköbussiliikenne on uutta tekniikkaa, mikä aiheuttaa sähköbussiliikenteen ensivaiheessa kalusto- ja infrastruktuuririskejä. Lisäksi uusi bussikalusto ja latausinfrastruktuuri aiheuttavat suuren investointitarpeen tilanteessa, jossa jälkimarkkinoista ei vielä ole tietoa.

Toisaalta dieselbussiliikenne on typpioksidien, pienhiukkasten, kasvihuonekaasupäästöjen sekä liikennemelun lähde. Päästöt ovat merkittävä terveys- ja ympäristöhaittojen sekä ilmastonmuutoksen aiheuttaja. Liikennemelu laskee kaupunkikeskustojen ja asuinalueiden viihtyisyyttä. Sähköbussiliikenne on paikallispäästötöntä, hiljaista ja käyttäjäystävällistä. Sähköbusseissa on vähäinen huollon tarve ja energiakustannukset ovat noin 25 % dieselbussin energiakustannuksista. Sähköbussiliikenne tarjoaa uuden teknologian mahdollistaman työllisyys- ja liiketoimintapotentiaalin sekä tuo imagohyötyjä kaupungeille.

Haastattelujen perusteella sähköbussiliikenteen käynnistämisen taustalla ovat kaupungin ja joukkoliikenteen toimivaltaisen viranomaisen strategia ja arvot. Kaupunkiseuduilla on halu minimoida ympäristöhaitat, kuten päästöt ja melu, sekä lisätä keskustojen ja asuinalueiden viihtyisyyttä. Haastatellut kaupunkiseudut ottavat ensisijaisesti käyttöön täyssähköbusseja.

Espoossa on liikennöinyt vuoden 2016 aikana kolme täyssähköbussia. Helsingissä sähköbussiliikenne aloitettiin vuoden 2017 alussa. HSL on hankkinut Espoon ja Helsingin liikenteeseen yhteensä 12 täyssähköbussia. Turussa ja Tampereella bussiliikenteen sähköistäminen aloitettiin loppuvuonna 2016. Turkuun on hankittu yhteensä 6 täyssähköbussia ja Tampereelle 4 täyssähköbussia. Sähköbussiliikennettä varten on rakennettu pikalatauspisteet Espoon Tapiolaan, Turkuun satamaan ja lentoasemalle, Tampereen Pyyrikintorille sekä Helsinkiin Ruskeasuolle ja Koskelaan. Lisäksi Helsingin Rautatientorin pikalatauspiste on rakenteilla.

HSL:n ja Turun kaupungin tavoitteena on kasvattaa tulevaisuudessa sähköbussien määrää kaupunkiseuduilla. Kalustostrategian mukaan HSL-alueella liikennöi vuonna 2025 noin 400 täyssähköbussia, mikä on 30 % HSL-alueen bussikalustosta. Lisäksi liikenteessä on noin 250 hybridi- tai plug-in-hybridibussia. Turun kaupungin sisäisessä liikenteessä käytetystä bussikalustosta vision mukaan 50 % on sähköistetty vuonna 2025. Tämä tarkoittaisi noin 100 täyssähköbussia vuonna 2025. Tampereella päätökset useampien bussilinjojen sähköistämisestä tehdään ensimmäisen linjan kokeilun perusteella.

Sähköbussiliikenteen järjestämistavaksi on vakiintumassa niin sanottu päätepysäkkilataus. Päätepysäkkilataus vaatii lähtökohtaisesti investointeja sähköbussien latausinfrastruktuuriin linjan varrelle ja bussivarikolle. Linjan varrella lataus suoritetaan yleensä suuritehoista (≥ 300 kW) virroitinlatausta käyttäen. Bussivarikolla lataus suoritetaan yleensä kaapelilatausta käyttäen. Kaapelilatauksessa käytetään maltillisia 20–50 kW lataustehoja.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivät sähköbussit ovat 2-akselisia 12–13 metrisiä busseja. 2-akselisessa sähköbussissa on noin 30–40 istumapaikkaa ja matkustajakapasiteetti on yhteensä noin 70–80 paikkaa. Sähköbussien paino vaihtelee valmistajasta riippuen 9 500–12 500 kg välillä ja korkeus 3,25–3,45 metrin välillä. Sähköbussit ovat 2,55 metriä leveitä.

Sähköbussiliikenne kylmissä talviolosuhteissa aiheuttaa vaatimuksia muun muassa kaluston ja latausjärjestelmän pakkasenkestävyydelle sekä sähköbussien ja akkujen lämmitykselle. Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivissä sähköbusseissa käytettävien akkujen erittäin laaja toimintalämpötilaikkuna takaa akkujen käytettävyyden niin kesällä kuin talvellakin. Lisäksi sähköbusseissa on sekä bussin sisätilan lämmitys että akkujen lämmitys. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi Suomen kylmissä talviolosuhteissa liikennöitäessä on huomioitava sähköbussin energiankulutuksen vaihtelu. Sähköbussin kulutus kylmissä, lumisissa ja liukkaissa olosuhteissa talvella voi olla 25 % suurempi kuin kesällä liikennöitäessä.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla liikennöivissä sähköbusseissa akkukapasiteetti on 55–75 kWh kalustovalmistajasta riippuen. Yleensä tavoitteena on käyttää mahdollisimman pientä akkukapasiteettia sähköbussikaluston hinnan, painon ja energiankulutuksen minimoimiseksi sekä matkustajakapasiteetin maksimoimiseksi. Pienen akkukapasiteetin vuoksi sähköbussien operointisäde on kuitenkin lyhyt. Lyhyen noin 30–60 kilometrin operointisäteen takia sähköbusseja tulee ladata useita kertoja päivässä.

Tästä johtuen latausajan tarve linjalla on merkittävä sähköbussiliikenteen toteuttamiskelpoisuuteen ja taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttava tekijä. Latausajan tarpeeseen vaikuttaa linjapituus, latauspisteiden määrä ja sijoittelu, sähköbussin energiankulutus ja latauslaitteen pikalatausteho. Pienen latausajan tarpeen mahdollistaa lyhyt linjapituus ja/tai suuri latauspisteiden määrä. On kuitenkin huomattava, että latauspisteiden määrän kasvattaminen pienentää ainoastaan yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarvetta, ei sähköbussilinjan kokonaislatausaikaa.

Linjapituudeltaan 10 kilometrin bussilinjalla on yksittäisen lataustapahtuman latausajan tarve vähintään 2 minuuttia, linjapituudeltaan 20 kilometrin bussilinjalla vähintään 4 minuuttia ja linjapituudeltaan 30 kilometrin bussilinjalla vähintään 6 minuuttia, kun linjalle sijoitetaan yksi latauspiste (300 kW) ja sähköbussin energiankulutus on 1 kWh/km. Tätä pienempään latausajan tarpeeseen pääseminen vaatii latauspisteiden määrän lisäämistä. Sähköbussilinjan kokonaislatausaika yhden linjakierron aikana on 10 kilometrin linjalla 4 minuuttia, 20 kilometrin linjalla 8 minuuttia ja 30 kilometrin linjalla 12 minuuttia.

Sähköbussien energiakustannukset ovat erittäin pienet, karkean arvion mukaan noin 10 €/100 km. Sähköbussiliikenteen huoltokustannuksista ei ole vielä tarkkaa tietoa. Yleinen oletus on, että huolto on dieselbussien huoltoa edullisempaa. Mahdollinen akkujen vaihto lisää käyttökustannuksia akkukapasiteetista ja akkujen tulevasta hintatasosta riippuen karkeasti arvioituna noin 30 000 € sähköbussin elinkaaren aikana. Investointikustannus sähköbussikalustoon on noin 500 000 €/bussi ja pikalatausinfrastruktuuriin noin 250 000 €/latauslaite.

Sähköbussiliikenteen taloudellinen kannattavuus on riippuvainen sähköistettävästä bussilinjasta ja sen ominaisuuksista sekä valitusta sähköbussikalustosta ja latausjärjestelmästä. Taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat teknologian kehitys ja sähköbussiliikenteen yleistyminen sekä näiden mukanaan tuoma kaluston ja latausinfrastruktuurin sekä akkuteknologian mahdollinen hintojen lasku. Lisäksi taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa muun muassa dieselin ja sähkön hinnan kehitys.

Voidaan kuitenkin todeta, että sähköbussiliikenne on jo nykytilanteessa mahdollista järjestää niin, että sen aiheuttamat kustannukset kaupungeille ja joukkoliikenteen toimivaltaisille viranomaisille ovat nykyistä dieselbussiliikennettä pienemmät. Tulevaisuudessa, jos oletetaan sähköbussiliikenteen investointikustannusten laskevan, näyttäytyy sähköbussiliikenne entistä kannattavampana.

Suomalaisista kaupunkiseuduista Tampere ja Turku ovat tehneet sähköbussien ja latausjärjestelmän julkisen kilpailutuksen ja hankinnan. Tampereen kaupunki käytti avointa hankintamenettelyä ja Turun kaupunki rajoitettua hankintamenettelyä. Molemmissa hankinnoissa valintaperusteena on kokonaistaloudellinen edullisuus. Tampereen kaupungin ja Turun kaupungin hankinnat on suoritettu kokonaisuutena, joka sisältää sähköbussit ja latausjärjestelmän. Molemmat hankinnat sisältävät myös sähköbussien ja latauslaitteiden huolenpitosopimukset sekä vaatimuksia koulutuksen järjestämisestä.

6.2 Suositukset

Suositukset perustuvat tässä selvityksessä tehtyihin haastatteluihin (HSL sekä Espoon, Tampereen ja Turun kaupungit) ja käytettyyn lähtöaineistoon. Selvityksessä tarkasteltiin sähköbussiliikennettä lähes pelkästään kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten näkökulmasta. Liikennöitsijöiden, energia- ja sähköverkko-yhtiöiden sekä kalusto- ja latauslaitetoimittajien näkökulmaa ei ole pystytty huomioimaan suosituksissa. Suositukset on kirjattu suomalaisten kaupunkiseutujen näkökulmasta, mahdollisia kansainvälisiä sähköbussikokemuksia ei ole pystytty huomioimaan suosituksissa.

6.2.1 Sähköbussiliikenteen käynnistäminen

Sähköbussiliikenteen käynnistämisen lähtökohta on, että matkustajalle ei tulisi koitua haittaa siirryttäessä nykyisestä dieselbussiliikenteestä sähköbussiliikenteeseen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että bussiliikenteen palvelutason täytyy pysyä vähintään nykyisellä tasolla ja sähköbussien lataus tulee suorittaa linjan varrella mahdollisimman huomaamattomana osana bussiliikennettä.

Ensimmäisenä sähköbussiliikennettä käynnistettäessä on tärkeää asettaa bussiliikenteen sähköistämisen tavoitteet. Bussiliikenteen sähköistäminen voi olla puhtaasti ympäristöarvoja tukeva valinta tai tavoitteeksi voidaan asettaa esimerkiksi säästöt bussiliikenteen järjestämiskustannuksissa pidemmällä aikavälillä. Kaupunkikohtaiset tavoitteet määrittävät bussiliikenteen sähköistämisen reunaehdot ja prioriteetit, jotka ohjaavat sähköbussiliikenteen käynnistämisen eri vaiheissa tehtäviä valintoja.

Sähköbussiliikenteen käynnistämiseksi on tehtävä bussiliikenteen sähköistämisen suunnitelma. Suunnitelma sisältää muun muassa sähköistettävien bussilinjojen valinnan ja järjestyksen sekä latausjärjestelmän määrittämisen. Suunnitelman tulee myös sisältää selkeä etenemispolku. Bussilinjojen valinnan ja latausjärjestelmän määrittämisen perustana toimivat ensisijaisesti bussiliikenteen sähköistämiseksi asetetut tavoitteet. Kaupunkikohtaisten tavoitteiden lisäksi on muutamia positiivisesti bussilinjan sähköistämisen potentiaalisuuteen vaikuttavia ominaisuuksia, jotka kannattaa myös huomioida.

Ensimmäiseksi todettakoon, että bussilinja on potentiaalinen sähköistettäväksi, kun linjan ominaisuudet, kuten linjapituus, kalustokierto, kaluston määrä ja liikennöintisuorite, muodostavat ideaalisen yhdistelmän. Näitä ideaalisia yhdistelmiä on useita. Näin ollen potentiaalista sähköbussilinjaa ei voida kuvata tietyillä ominaisuuksilla, vaan linjan potentiaalisuus on monen muuttujan summa. Tämän vuoksi bussiliikenteen sähköistäminen on suunniteltava aina kaupunki- ja linjakohtaisesti.

Positiivisesti bussilinjan sähköistämisen potentiaalisuuteen vaikuttavia ominaisuuksia kuitenkin ovat kohtuullinen linjapituus, kohtuullisen pitkä kääntö- ja tasausaika sekä vuosittainen liikennöintisuorite, 2-akselinen kalusto ja liikennöintisopimuksen päättyminen. Positiivisen kaupunki-imagon kannalta tärkeää on myös linjan näkyvyys.

Kohtuullista linjapituutta on vaikea yleistää, mutta karkeasti voidaan todeta, että linjapituudeltaan korkeintaan 15 kilometrin bussilinja on todennäköisesti vielä helposti sähköistettävissä. Kohtuullisen pitkä kääntö- ja tasausaika mahdollistavat sähköbussilinjan liikennöinnin nykyisellä kalustomäärällä. Kohtuullisen pitkällä kääntö- ja tasausajalla tarkoitetaan noin 5 minuutin latauksen mahdollistamista ainakin kerran linjakierron aikana. Kohtuullisen suuri vuosittainen liikennöintisuorite palvelee sekä sähköbussiliikenteen taloudellista kannattavuutta että mahdollistaa linjan latauspisteiden hyvän käyttöasteen.

Suositus 2-akselisesta kalustosta johtuu siitä, että kyseistä sähköbussikalustoa on saatavana normaalina tuotantotavarana, mutta sähkökäyttöisiä telibusseja on vain rajoitetusti saatavilla. Bussilinjat suositellaan sähköistettävän sitä mukaa kun niiden liikennöintisopimus päättyy ja linjat tulevat kilpailutukseen. Sähköbussiliikenteen käynnistämisen suositukset latausjärjestelmän määrittämisen osalta on esitetty seuraavassa luvussa 6.2.2.

6.2.2 Latausjärjestelmä

Latausjärjestelmän määrittämisen lähtökohtana suositellaan pidettävän latauksen mahdollistamista sekä linjan varrella että varikolla. Sähköbussiliikenteeseen kannattaa varautua bussipysäkkien, -terminaalien ja -varikoiden tilavarauksissa sekä sähköverkon kapasiteetissa. Linjan varrelle suositellaan suuritehoista ja automaattista pikalatausta. Varikolle suositellaan vähintään pienitehoista kaapelilatausta, mutta tarvittaessa varautumista myös suuritehoiseen ja automaattiseen pikalataukseen.

Latausjärjestelmän määrittäminen erityisesti pikalatauspisteiden sijoittamisen osalta tulee tehdä yhteistyössä sähköistettävien bussilinjojen valinnan kanssa pitkällä aikajänteellä. Suomalaisilla kaupunkiseuduilla ensimmäisten sähköbussilinjojen pikalatauslaitteet on kaupunkiseudusta riippumatta asennettu sähköbussilinjojen päätepysäkeille tai päätepusäkeille. Näin ei kuitenkaan tarvitse olla, vaan latauslaitteet

voidaan sijoittaa myös muualle linjan varrelle. Sijoitettaessa latauslaitteita muualle linjan varrelle korostuu kaupunkikuvalliset vaikutukset. Latauslaitteiden kaupunkikuvalliset vaikutukset suositellaan huomioon otavan aina latausjärjestelmää määritettäessä.

Pitkällä aikajänteellä suunniteltaessa sähköbussiliikenne muodostaa laajan sähköbussista ja latauslaitteista koostuvan järjestelmän. Tällöin sähköbussien lataus linjan varrella on mahdollista suorittaa joukkoliikenneterminalleissa, joukkoliikenteen solmupisteissä tai päätepysäkeillä. Sähköbussien latausjärjestelmä suositellaan määritettävän niin, että pikalatauslaitteita voidaan mahdollisuuksien mukaan hyödyntää useammalla bussilinjalla. Tällöin voidaan minimoida latausinfrastruktuurin investointikustannukset ja maksimoida latauspisteiden käyttöaste.

Latauspisteiden käyttöastetta maksimoitaessa on kuitenkin käytettävä tarkkaa harkintaa. Ensinnäkin monen linjan yhteinen latauspiste edellyttää aikataulusuunnittelua bussilinjojen lähtöaikojen porrastamisen muodossa. Sähköbussilinjojen lähtöaikoja on syytä porrastaa, jotta lataustapahtumat voidaan suorittaa sujuvasti vuoron perään eri linjojen välillä. Lisäksi latauspisteen käyttö aivan sen maksimikapasiteetin rajoissa lisää sähköbussilinjojen häiriöherkkyyttä. Vilkkaasti liikennöidyillä bussilinjoilla ja -pysäkeillä on ilman lataustapahtumaakin riski bussivuorojen ketjuuntumiseen. Useamman sähköbussilinjan yhteinen latauspiste voi lisätä ketjuuntumisen riskiä entisestään ja johtaa myöhästymisiin linjoilla. Latauspisteistä ei saa tulla pullonkauloja.

Pikalatauspisteiden sijoittamisen osalta olennaista on sähköbussilinjan reitti ja luonnolliset käyttötauat, kuten kääntö- ja tasausajat joukkoliikenteen solmupisteissä ja päätepysäkeillä. Lähtökohtaisesti pikalatauspistettä ei suositella sijoitettavan keskelle bussilinjaa, koska matkustajille koituvaa ylimääräinen odottaminen keskellä linjaa heikentää bussiliikenteen palvelutasoa ja matkustajatyytyväisyyttä. Poikkeuksena voidaan kuitenkin pitää luonnollisia käyttötaukoja joukkoliikenteen vahvoissa solmupisteissä, jossa lataus mahdollistetaan sillä aikaa kun matkustajat nousevat bussin kyytiin ja poistuvat bussin kyydistä. Tällaisia solmupisteitä voivat olla esimerkiksi Tampereella keskustori ja Turussa kauppatori.

Yleisemminkin pikalatauspisteet suositellaan suunniteltavan ja sijoitettavan niin, että lataus voidaan suorittaa sillä aikaa kun matkustajat nousevat bussin kyytiin ja/tai poistuvat kyydistä. Tällä tarkoitetaan käytännössä latauslaitteen sijoittamista bussin lähtölaituriin riippumatta siitä, suoritetaanko lataus joukkoliikenneterminalissa, joukkoliikenteen solmupisteessä vai päätepysäkillä. Nykyään suomalaisilla kaupunkiseuduilla on käytössä pysäkki- ja pikalatausjärjestelyjä, joissa sähköbussi ladataan lähtölaiturista erillään olevalla latauslaitteella. Tämä aiheuttaa turhia siirtoajoja ja lyhentää käytettävissä olevaa latausaikaa.

Latausjärjestelmää määritettäessä tulee kiinnittää erityistä huomiota latausjärjestelmästandardeihin ja pikalatauksessa käytettävään virroitinlataustekniikkaan. Tällä hetkellä suomalaisilla kaupunkiseuduilla on pikalatauksessa käytössä erilaisia virroitinlataustekniikoita. Pantografi voidaan sijoittaa joko sähköbussiin (alhaalta ylös) tai latauslaitteeseen (ylhäältä alas). Jatkossa on toivottavaa, että saatujen kokemusten perusteella voitaisiin sopia yhteisistä periaatteista niin, että sähköbussit soveltuvat joko suoraan tai pienin kustannuksin räätälöityinä eri kaupunkiseutujen latausjärjestelmiin. Jos tällaisia useampia virroitinlataustekniikoita jää standar-

doinnin puutteessa voimaan pidemmäksi aikaa, niiden yhdenmukaistaminen myöhemmässä vaiheessa voi olla kallis ja haasteellinen tehtävä.

6.2.3 Joukkoliikennetoimijoiden roolit

Sähköbussiliikenteessä joukkoliikennetoimijoiden roolit omistus- ja vastuusuhteiden näkökulmasta eivät ole vielä vakiintuneet. Tämän vuoksi joukkoliikennetoimijoiden roolijako vaihtelee hieman haastateltujen suomalaisten kaupunkiseutujen välillä. Energiayhtiöiden välillä on myös suuria eroja siinä, minkälaisen roolin ne haluavat sähköbussiliikenteen ja sen latausjärjestelmän mahdollistamisesta.

Edellisestä huolimatta on nähtävissä selvä kehityssuunta siinä, minkälaiseksi joukkoliikennetoimijoiden roolit omistus- ja vastuusuhteiden näkökulmasta ovat muodostumassa. Sähköbussikaluston omistuksen suhteen on selkeä näkemys ja suositus se, että kaluston hankkii ja omistaa liikennöitsijä samoin kuin nykyisessä dieselbussiliikenteessäkin. Sähköbussien huolto on todennäköisesti kalustotoimittajan vastuulla osana liikennöitsijän ja kalustotoimittajan välistä leasing-sopimusta.

Latausinfrastruktuurin omistuksen suhteen näkemys ei ole yhtä selkeä. Sähköbussilinjan varrelle sijoitettava pikalatausinfrastruktuuri on joko kaupungin tai energiayhtiön omistuksessa. Varikkolatausinfrastruktuurin omistaa todennäköisesti liikennöitsijä. Latauslaitteiden huolto tulee todennäköisesti olemaan omistussuhteesta riippumatta takuuajana latauslaitetoimittajan ja takuuajan jälkeen paikallisen energiayhtiön vastuulla. Latauslaitteiden huollon näkökulmasta voisi olla suositeltavaa, että energiayhtiö myös omistaisi pikalatausinfrastruktuurin. Toisaalta kaupungilla voi olla intressi sähköbussilinjan varrelle sijoitettavien pikalatauslaitteiden toteutuksen koordinointiin, eikä paikallisella energiayhtiöllä ole välttämättä kiinnostusta latausinfrastruktuurin hankintaan.

Latausinfrastruktuuriin liittyen on kuitenkin nähtävissä selvä kehityssuunta, jossa energian toimittamisesta, latauslaitteen energiankulutuksen seurannasta ja sähköenergian laskutuksesta liikennöitsijöiden suuntaan vastaa latausoperaattori. Latausoperaattorina toimii todennäköisesti paikallinen energiayhtiö. Sähköverkon ja sähköliittymien rakentamisen hoitaa paikallinen energia- ja sähköverkkoyhtiö.

Sähköbussiliikenteen koulutus on sähköbussiliikenteen ensivaiheessa suositeltavaa liittää osaksi sähköbussi- ja latausjärjestelmähankintaa. Tällöin vastuu bussikuljettajien ja huoltohenkilökunnan kouluttamisesta on kalusto- ja latauslaitetoimittajalla. Sähköbussiliikenteen laajentuessa ja kokemuksen karttuessa koulutusvastuu tulee todennäköisesti siirtymään liikennöitsijöille ja paikallisille energiayhtiöille.

Joukkoliikennetoimijoiden roolien vastuu- ja omistussuhteiden näkökulmasta ei tarvitse olla täysin identtisiä kaikilla suomalaisilla kaupunkiseuduilla, mutta roolijako on suositeltavaa olla yhtenäinen kaupunkiseutukohtaisesti. Joukkoliikennetoimijoiden roolijako on oltava selvillä ennen sähköbussiliikenteen julkista kilpailutusta ja hankintaa. Taulukossa 4 on esitetty sähköbussiliikenteen joukkoliikennetoimijoiden mahdollinen roolijako omistus- ja vastuusuhteiden näkökulmasta.

Taulukko 4. Sähköbussiliikenteen joukkoliikennetoimijoiden mahdollinen roolijako

OMISTUS- JA VASTUUSUHTEET				
	kaupunki	liikennöitsijä	energia-yhtiö	toimittaja
sähköbussit omistaa				
latauslaitteet omistaa				
sähköbussit huoltaa				
latauslaitteet huoltaa				
sähköverkon ja -liittymän rakentaa				
latausoperaattori				
koulutuksesta vastaa				

6.2.4 Sähköbussiliikenteen kilpailutus ja hankinta

Bussiliikenteen sähköistyminen suomalaisilla kaupunkiseuduilla on tapahtunut ensisijaisesti kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten aloitteesta, mutta vähitellen myös liikennöitsijät alkavat kiinnostua asiasta. Sähköbussiliikenteen julkisesta kilpailutuksesta ei ole vielä kokemusta suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Tampereella ja Turussa on kuitenkin kilpailutettu täyssähköbussikalusto ja latausinfrastruktuuri bussilinjoille, joita liikennöi kaupungin oma yhtiö. Edellisestä johtuen tässä työssä ei esitetä suosituksia sähköbussiliikenteen kilpailutuksen ja hankinnan toteutukseen, mutta esitellään lyhyesti työn aikana esille nousseita ajatuksia ja ideoita.

Sähköbussiliikenteen kilpailutus ja hankinta alkaa siitä, kun nykyisen dieselbussilinjan liikennöintisopimus päättyy ja linja tulee kilpailutukseen. Sähköbussiliikennettä kilpailutettaessa ja hankittaessa tarjouspyyntöön lisätään vaatimus sähköisen bussikaluston käytöstä. Lisäksi tarjouspyynnössä kuvataan aikaisemmin määritetty sähköbussiliikenteen latausjärjestelmä. Sähköbussikalustolle voidaan määrittää tarjouspyynnössä erityisiä laatuvaatimuksia, joissa kannattaa huomioida markkinoilla ja liikennöinnissä oleva kalusto sekä mahdolliset standardit. Olennaista on myös kuvata sähköistettävän bussilinjan kalustokierto, josta sähköbussikaluston on kuvattava latausjärjestelmää käyttäen suoriuduttava.

Tarjouspyynnössä määritetään sähköbussiliikenteen pelisäännöt. Esimerkiksi bussiliikenteen ruuhkavuorot tullaan todennäköisesti tulevaisuudessakin ajamaan dieselbusseilla. Osana pelisääntöjä tulee myös määrittää bussilinjan sähköistämistä. Bussilinja voidaan vaatia liikennöintisopimuksen alusta alkaen täyssähköbussikalustolla liikennöitäväksi. Vaihtoehtoisesti voidaan sallia linjan porrastettu sähköistäminen niin, että esimerkiksi ensimmäisenä liikennöintisopimusvuotena hyväksytään linjalla 50 % sähköbusseja ja 50 % dieselbusseja. Tällöin liikennöintisopimukseen lisätään vaatimus siitä, että tietyn ajan jälkeen bussilinja on täysin sähköistetty.

Bussilinjan porrastettu sähköistäminen helpottaa sähköbussiliikenteen käynnistämistä niin liikenteen tilaajan kuin liikennöitsijänkin näkökulmasta. Kun linjalle otetaan sähköbussuja käyttöön vähitellen, investointitarve sähköbussikalustoon ja latausinfrastruktuuriin jakaantuu pidemmälle aikajänteelle. Samalla myös sähköistettävän bussilinjan häiriöherkkyys ja riskit pienenevät. Bussilinjan porrastetussa sähköistämisessä jää myös enemmän aikaa kokemusten keräämiseen uudesta kalusto- ja latauslaitetekniikasta. Kerättyä kokemusta voidaan hyödyntää seuraavissa linjalle tehtävissä kalusto- ja latausjärjestelmähankinnoissa.

Kalusto- ja infrastruktuuri-investointien ohella sähköbussiliikenteen kilpailutuksessa ja hankinnassa tulisi huomioida liikennöinnin käyttökustannukset, erityisesti sähköbussin energia- ja huoltokustannukset. Sähköbussin energiankulutus vaihtelee riippuen kalustovalmistajasta ja kulutuksella on merkittävä vaikutus sähköbussiliikenteen elinkaarikustannuksiin. Sähköbussiliikenteen kalusto ja infrastruktuuri on kallista, mutta merkittävästi nykyistä dieselbussiliikennettä pienemmät käyttökustannukset mahdollistavat oikein suunniteltaessa sähköbussiliikenteen järjestämisen niin, että sen aiheuttamat kustannukset kaupungeille ja joukkoliikenteen toimivaltaisille viranomaisille ovat nykyistä dieselbussiliikennettä pienemmät.

Tämän työn puitteissa ilmeni tarve mahdollistaa sähköenergian monipuolisempi ja joustavampi kilpailutus. Nykyään suomalaisilla kaupunkiseuduilla ainoastaan sähköliittymän omistava taho (kaupunki, energiayhtiö) pystyy määrittämään ja kilpailuttamaan sähköntuottajan. Tulevaisuudessa olisi kuitenkin toivottavaa, että jokainen liikennöitsijä pystyisi kilpailuttamaan sähköbussieihin ladattavan sähkön itse. Bussiliikenteen kilpailutuksessa marginaalit ovat jo lähtökohtaisesti pienet ja sähköbussiliikenteen myötä liikennöitsijöiden mahdollisuus energian kilpailuttamiseen on poistettu.

Sähköbussiliikenteen kilpailutus- ja hankintaprosessissa joukkoliikennetoimijoiden, erityisesti suunnittelu- ja toteutusorganisaatioiden, välinen tiivis ja avoin yhteistyö on tärkeää. Keskeisiä joukkoliikennetoimijoita ovat ainakin kaupungit ja joukkoliikenteen toimivaltaiset viranomaiset, liikennöitsijät, energia- ja sähköverkkoyhtiöt sekä kalusto- ja latauslaitetoimittajat. Bussiliikennettä sähköistettäessä lisäksi tärkeää on suomalaisten kaupunkiseutujen välinen yhteistyö. Asiantuntija- ja tutkimusorganisaatioiden tietämystä ja kokemusta sähköbussiliikenteestä kannattaa myös hyödyntää.

6.3 Jatkotoimenpiteet

Tämä selvitys antaa kuvan sähköbussiliikenteestä sekä sen suunnittelusta ja hankkimisesta suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Selvityksen tarkoitus on auttaa kaupungeja ja joukkoliikenteen toimivaltaisia viranomaisia alkuun sähköbussien käyttöönotossa. Ennen sähköbussiliikenteen aloittamista kaupunkien täytyy kuitenkin vielä käydä läpi muutamia sähköbussien käyttöönoton vaiheita.

Näitä vaiheita ovat muun muassa bussiliikenteen sähköistämisen kaupunkikohtaisten tavoitteiden asettaminen, sähköistettävien bussilinjojen valinta, sähköbussilinjojen mahdollinen aikataulu- ja reittisuunnittelu, sähköbussikaluston ominaisuuksien ja latausjärjestelmän määrittäminen, joukkoliikennetoimijoiden roolijaon selvittäminen sekä sähköbussiliikenteen kilpailutus ja hankinta. Edellä mainitut vaiheet tulee

suunnitella ja toteuttaa aina vähintään kaupunkikohtaisesti ja joissakin tapauksissa myös linjakohtaisesti.

Tässä selvityksessä rajoituttiin tarkastelemaan sähköbussiliikennettä lähes pelkästään kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten näkökulmasta. Ennen sähköbussiliikenteen käynnistämistä on suositeltavaa tarkastella sähköbussiliikennettä myös liikennöitsijöiden, energia- ja sähköverkkoyhtiöiden sekä kalusto- ja latauslaitetoimittajien näkökulmasta.

Jatkotoimenpidetarpeena tunnistettiin erityisesti liikennöitsijöiden näkökulman selvittäminen ja mahdollinen motivointi. Liikennöitsijöiden toimintaan vaikuttaa esimerkiksi se, että sähköbussiliikenteen kustannukset eivät ole yleisesti tiedossa. Sähköbussiliikenteen jälkimarkkinoista ei ole vielä tietoa ja bussiliikenteen kilpailutuksen marginaalit ovat pienet. Marginaaleja pienentää entisestään se, että sähköenergian voi kilpailuttaa ainoastaan sähköliittymän omistava taho, nykytilanteessa kaupunki tai energiayhtiö. Liikennöitsijöiden näkökulman selvittäminen edellä mainituista asioista ja mahdollisista muista tekijöistä on tärkeää liikennöitsijöiden motivoinnin ja täten koko sähköbussiliikenteen laajentumisen kannalta.

Lisäksi työssä rajoituttiin tarkastelemaan sähköbussiliikennettä ainoastaan suomalaisilla kaupunkiseuduilla. Laajemman ja monipuolisemman kuvan saamiseksi jatkotoimenpiteenä on suositeltavaa selvittää sähköbussiliikenteen kansainväliset kokemukset, erityisesti Euroopasta ja muista Pohjoismaista.

Lähteet

- Ahtiainen, S., Laitala, P. & Takala, M. 2016. Espoon kaupunki. 16.11.2016. Haastattelu.
- Airaksinen, S., Lehtinen, V., Kataja, A. & Sulonen, K. 2015. Käyttövoimaselvitys Lahden hyötyajoneuvoliikenteen tarpeisiin. Lahden kaupunki.
- Airaksinen, S., Kataja, A., Järviluoma, N., Tinnilä, M., Kallio, J. & Aalto, P. 2015. Joukkoliikenteen kilpailutuksia ja markkinoita koskeva tutkimus 2014. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2015. Liikennevirasto 2015, Helsinki.
- eBus-hankkeen tiivistelmä (Executive summary). VTT, Aalto-yliopisto, Metropolia ammattikorkeakoulu, Veolia Transport. Electric Commercial Vehicles ECV / eBus.
- Jorasmaa, L., Paasikivi, J., Parkkonen, J., Kulla, A. & Aho, P. 2016. Turun kaupunki, Turun Kaupunkiliikenne, Turku Energia, Turun Ammattikorkeakoulu. 17.11.2016. Haastattelu.
- Karvonen, V. 2013. Kaupunkibussien päästötietokanta 2013. Yhteenveto VTT:n menetelmistä ja mittauksista. HSL.
- Kotakorpi, E. & Häyrynen, J. 2016. Tampereen kaupunki. 29.11.2016. Haastattelu.
- Kotakorpi, E. & Siikasmaa, L. 2016. Sähköbussihankinnan toteutus – Tampereen kokemuksia. Tampereen kaupunki.
- Lehtinen, A., Kanerva, O., Bäckström, J., Gruzdaitis, L., Suhonen, M., Karvonen, E. & Frilander, N. 2017. Trafix Oy. 23.1.2017. Työpaja.
- Lehtinen, A. 2014. Sähköbussit osana Turun seudun joukkoliikennejärjestelmää. Turun kaupunki.
- LVM, 2016. Työryhmän ehdotus liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon suunnitelmaksi. Liikenne- ja viestintäministeriön raportit ja selvitykset 1/2016.
- LVM, 2013. Liikenteen ympäristöstrategia 2013–2020. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 43/2013.
- Manninen, A., Peura, M., Rinta, E. & Suomalainen, A. 2016. Joukkoliikenteen suunnitteluohje HSL-liikenteessä. HSL Helsingin seudun liikenne 13/2016. Helsinki 2016.
- Mäkinen, R. & Saari, P. 2016. HSL Helsingin seudun liikenne. 25.11.2016. Haastattelu.
- Stenman, P., Hänninen, T., Kahilaniemi, S. & Lumiaho, A. 2014. Tampereen kaupungin sähköisen liikenteen strategia – Käyttöönottoselvitys. Tampereen kaupunki.
- Stenman, P., Manelius, L., Aho, J. & Kotakorpi, E. 2014. Tampereen kaupungin sähköisen liikenteen toteutussuunnitelma. Tampereen kaupunki.
- Tampereen kaupungin sähköbussi- ja latausjärjestelmähankinnan tarjouspyyntöasiakirjat. 2015.

TEM, 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017.

Turun kaupungin sähköbussi- ja latausjärjestelmähankinnan tarjouspyyntöasiakirjat. 2015.

VNK, 2009. Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009.

Haastattelurunko

Tekniset kysymykset

- Mikä on hankittujen sähköbussien pituus ja paino tyhjänä?
- Mikä on hankittujen sähköbussien matkustajakapasiteetti (istumapaikat/ seisomapaikat)?
- Mikä on hankittujen sähköbussien akkukapasiteetti?
- Mitä akkuteknologiaa sähköbussissa käytetään?
- Kuinka pitkän käyttöiän kalustovalmistaja lupaa sähköbussille, entä sähköbussissa käytetyille akuille?
- Kuinka pitkän käyttöiän latausjärjestelmätoimittaja lupaa latauslaitteille?
- Kuinka suurta lataustehoa käytetään linjan varrella olevilla latauspisteillä, entä varikolla?
- Mikä on hankittujen sähköbussien ja latauslaitteiden hinta?
- Pystytekö arvioimaan sähköbussissa käytetyn akkuteknologian hintaa?

Haastattelukysymykset

- Mitkä ovat olleet kaupunkiseudun perusteet sähköbussiliikenteen käynnistämiseksi?
- Onko muita vaihtoehtoisia käyttövoimia (mm. biokaasu) harkittu? Onko niistä luovuttu ja miksi?
- Missä vaiheessa kaupunkiseudun bussiliikenteen sähköistäminen tällä hetkellä on?
- Millä perustein sähköistettävät bussilinjat on valittu? Sähköbussiliikenteen kriteerit?
- Miten ja millä aikataululla on tavoitteena edetä bussiliikenteen sähköistämisessä?
- Onko tavoitteena ottaa käyttöön ainoastaan täyssähköbussseja vai myös plug-in-hybridibussseja?
- Mihin kaikkeen bussiliikenteen sähköistäminen vaikuttaa? Miten se tulee huomioida?
- Miten sähköbussien tulon on varauduttu mm. kaupunkisuunnittelussa ja rakentamisessa?
- Kuinka sähköbussien hiljaisuus on otettu suunnittelussa huomioon liikenneturvallisuusnäkökulmasta?
- Mitkä ovat mielestänne merkittävimmät muutokset siirryttäessä sähköbussiliikennöintiin?
- Mitkä kaupunkiseudun, yhdyskuntarakenteen, joukkoliikennelinjaston ja kaupunkiorganisaation ominaisuudet vaikuttavat mielestänne sähköbussiliikenteeseen siirtymiseen, sitä helpottaen tai vaikeuttaen?
- Mitä bussiliikenteen sähköistämisen periaatteita kaupunkiseudullanne on noudatettu?
- Mitä sähköbussiliikenteen järjestämistapavaihtoehtoja kaupunkiseudullanne on harkittu ja miksi on päädytty käytettävään järjestämistapaan (esim. pääte-pysäkkilataus)?
- Oletteko harkinneet muilla sähköistettävillä linjoilla jotakin muuta järjestämistapaa tai periaatteita?

- Miten lataus on järjestetty linjan varrella ja varikolla? Tarvittava latausinfrastrukturi?
- Mitä vaatimuksia latausinfrastrukturi asettaa mm. sähköverkolle ja infralle? Muita vaatimuksia?
- Miten virroitinlataustekniikka (ylhäältä alas/alhaalta ylös) vaikuttaa auton painoon ja hintaan? Onko virroitinlataustekniikalla vaikutusta latausjärjestelmän kustannuksiin?
- Miten sähköbussseissa käytettävä sähköenergia tuotetaan ja hankitaan?
- Mikä on tällä hetkellä latausjärjestelmien standardoinnin tila Suomessa, Euroopassa ja maailmalla?
- Noudattavatko hankitut latauslaitteet tulevia latausstandardeja? Jos noudattavat, niin mitä standardeja?

- Miten sähköbussien, latausinfrastruktuurin ja huollon vastuu- ja omistussuhteet on jaettu?
- Kenellä on kuljettajien/huoltohenkilökunnan koulutusvelvollisuus? Miten koulutus on järjestetty?
- Mikä on sähköbussien luotettavuus eli käyttövarmuus? Onko ilmennyt ongelmia mm. päivittäisen operointisäteen saavuttamisessa, kylmällä ilmalla liikennöitäessä tai lataustapahtuman suorittamisessa?
- Miten talviolosuhteisiin on varauduttu mm. bussien sisälämpötilan ja akkujen lämmittämisen osalta?
- Mitkä ovat sähköbussien todelliset käyttökustannukset (energiankulutus, energian hinta ja huoltokustannukset)?
- Mitä periaatteita kaupunki on käyttänyt sähköbussiliikenteen kilpailutuksessa ja hankinnassa?
- Mitä haasteita on ilmennyt sähköbussiliikenteen suunnittelussa, hankinnassa ja liikennöinnissä?
- Mitä teknisiä ja operatiivisia haasteita näette sähköbussiliikenteen edistämässä ja laajentamisessa?

- Mikä on näkemyksenne Liikenne- ja viestintäministeriön esitykseen, jonka mukaan sähkön osuus kaupunkien bussi- ja jakeluliikenteestä on oltava vähintään 70 % vuonna 2050? Mitä tavoitteen toteuttaminen edellyttää kaupunkiseudulla? Kuinka todennäköisenä pidettä esityksen toteutumista?

Tekninen muistio

Tekniset kysymykset

Mikä on hankittujen sähköbussien pituus ja paino tyhjänä?

- pituus 12–13 m
- paino 9 500–12 500 kg

Mikä on hankittujen sähköbussien matkustajakapasiteetti (istumapaikat/seisomapaikat)?

- istumapaikkoja 30–40
- seisomapaikkoja noin 40

Mikä on hankittujen sähköbussien akkukapasiteetti?

- 55–75 kWh

Mitä akkuteknologiaa sähköbusseissa käytetään?

- Litiumtitanaattioksidi (LTO)

Kuinka pitkän käyttöiän kalustovalmistaja lupaa sähköbusseille, että sähköbusseissa käytetyille akuille?

- Sähköbussien oletettu käyttöikä on 15 vuotta. Sähköbussilinjojen sopimuskauden päättyessä ei kuitenkaan ole tietoa sähköbussien jälkimarkkinoista.
- Kalustovalmistajien akkujen takuu-aika ja sähköbussien huoltosopimuksien pituus viittaavat siihen, että sähköbussin akkujen oletetaan kestävän 5–7 vuotta.

Kuinka pitkän käyttöiän latausjärjestelmätoimittaja lupaa latauslaitteille?

- Latauslaitteiden oletettu käyttöikä on kymmeniä vuosia.
- Latauslaitteiden valmistajan takuu-aika viittaa siihen, että latauslaitteiden käyttöikä on vähintään 5 vuotta.

Kuinka suurta lataustehoa käytetään linjan varrella olevilla latauspisteillä, että varikolla?

- Linjan varrella 300–350 kW
- Varikolla 20–50 kW

Mikä on hankittujen sähköbussien ja latauslaitteiden hinta?

- sähköbussi noin 500 000 €
- pikalatauslaite noin 250 000 €

Pystyttekö arvioimaan sähköbusseissa käytetyn akkuteknologian hintaa?

- Arvioiden mukaan LTO akkuteknologian hinta on nykyään 750–1 250 €/kWh.
- Laaja yksimielisyys vallitsee siitä, että akkujen hintakehityksessä on voimakas laskeva trendi.
- Todellista kustannustasoa silloin, kun akkujen uusiminen saattaisi tulla ajan-kohtaiseksi, on vaikea ennustaa. Joidenkin arvioiden mukaan LTO akkuteknologia tulisi maksamaan 2020-luvulla noin 500 €/kWh.

Sähköbussiliikenteen ratkaisut suomalaisilla kaupunkiseuduilla

	ESPOO ja HELSINKI	TAMPERE	TURKU
Sähköbussien määrä	12 kpl	4 kpl	6 kpl
Sähköbussien toimittaja	Linkker Oy	Solaris Bus & Coach	Linkker Oy
Sähköbussit valmistettu	Suomessa	Puolassa	Suomessa
Liikennöinti alkanut	1/2016	12/2016	10/2016
Sähköbussilinjat	Espoossa 11, 133 Helsingissä 23, 55, 51	Linja 2	Linja 1
Linjapituus	noin 10 km (linja 11)	noin 5 km	noin 10 km
Pikalatauspisteiden määrä	3 kpl (Tapiola, Ruskeasuo, Koskela)	1 kpl (Pyynikintori)	2 kpl (Lentoasema, Satama)
Pikalatausteho	300 kW	300 kW	300 kW
Varikolatauslaitteet	Espoossa EI Helsingissä KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ
Liikennöitsijät	Transdev Finland Oy Åbergin Linjat Oy	Tampereen Kaupunkiliikenne Liikelaitos	Turun Kaupunkiliikenne Oy
Tavoite 2025	400 täyssähköbussia, 250 hybridi- tai plug-in- hybridibussia	Päätökset tehdään ensimmäisen linjan kokeilun perusteella	100 täyssähköbussia

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-388-0
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

