

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Autotekniikka

2016

Jani Travanti

SÄHKÖBUSSIT OSANA JOUKKOLIIKENNETTÄ

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

2016 | 41

Markku Ikonen

Jani Travanti

SÄHKÖBUSSIT OSANA JOUKKOLIKENNETTÄ

Opinnäytetyössä on tarkoituksena esitellä sähköbussuja julkisessa liikenteessä. Työssä käydään läpi sähköbussien ominaisuuksia, valmistajien malleja ja niiden teknisiä tietoja sekä sähköbussien käyttöä Suomessa.

Suomen suurimmissa kaupungeissa on käynnissä hankkeita, joilla saadaan julkista bussiliikennettä sähköistettyä. Bussilinjojen sähköistäminen on askel kohti Euroopan Unionin päästötavoitteiden saavuttamista, jonka avulla pyritään hidastamaan ilmastonmuutosta.

Liikenteellä on monia terveydelle haitallisia vaikutuksia. Pakokaasupäästöissä vapautuu terveydelle sekä ilmastolle haitallisia kaasuja. Niiden vaikutukset ovat paikallisesti suuria varsinkin suurten kaupunkien ruuhkaisilla alueilla. Sähköbussilla on myös positiivinen vaikutus paikalliseen ilmanlaatuun ja kaupunkien keskustan melutasoon. Sähköbussit ovat hiljaisia ja niistä ei tule paikallisia pakokaasupäästöjä. Lisäksi sähkömoottorin kokonaishyötysuhde on parempi kuin polttomoottorissa, jolloin ajoneuvon energiatehokkuus paranee.

Toimivan latausinfrastruktuurin luonti vauhdittaa sähköajoneuvojen yleistymistä. Sen luonti on ensimmäinen askel sähköisen bussiliikenteen yleistymiseen. Sähköisen liikenteen yleistyminen vaatii vanhojen tapojen muutosta ja tuo mukanaan uusia haasteita. Julkisen bussiliikenteen sähköistämisen suurimpia haasteita ovat muun muassa pohjoisen haastavat sääolosuhteet. Aasiassa, Euroopassa ja Amerikassa on monia sähköbussivalmistajia ja sähköbussien kysyntä kasvaa koko ajan.

ASIASANAT:

Sähköajoneuvo, linja-auto, sähköbussi, joukkoliikenne.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

2016 | 41

Markku Ikonen

Jani Travanti

ELECTRIC BUSES IN PUBLIC TRANSPORTATION

This thesis presents usage of electric buses in public transportation. The thesis introduces models of different electric bus manufacturers as well as their technical information and features. The work also demonstrates the current use of electric buses in Finland.

There are public transportation projects to increase the number of electric buses in larger cities in Finland. The European Union has set energy targets to reduce the greenhouse effect. Applying more electric buses to public transportation is one step towards these objectives.

Road traffic has many harmful impacts on health. Exhaust fumes contain gases harmful to human health and to the environment. The effects of exhaust fumes are strong particularly in large cities. Electric buses have a positive impact to air quality because they do not produce local emissions. Electric buses are silent and they reduce urban noise pollution. Also, the efficiency of the electric motor is much better compared to the internal combustion engine.

Electric buses will become more popular when a well-functioning charging infrastructure is created. People will have to change their old customs to allow electric vehicles become more popular. It is a huge change and it will take a lot of time and effort to make it work. There are already several electric bus manufacturers in Asia, Europe and America. There is a quickly growing demand for electric buses in the world.

KEYWORDS:

Electric bus, vehicle, public transportation.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 TIETOA SÄHKÖBUSSEISTA	9
3 LATAUSJÄRJESTELMÄT	11
3.1 Kaapelilataus	11
3.2 Virroitinlataus	12
3.3 Induktiolataus	13
4 AKKUTYYPIT	15
4.1 Litium-rautafosfaattiakku	15
4.2 Litium-titanaattiakku	16
4.3 Litiumpolymeeriakku	16
4.4 Natrium-nikkeliakku	16
5 MARKKINOILLA OLEVA KALUSTO	17
5.1 BYD	17
5.2 Caetano	19
5.3 Ebusco	19
5.4 Emoss	21
5.5 Irizar	22
5.6 Linkker	23
5.7 PVI/Gepebus	24
5.8 Siemens-Rampini	25
5.9 Skoda	26
5.10 Solaris Bus & Coach	27
5.11 Tamsa	29
5.12 Van Hool	30
5.13 VDL	31
5.14 Volvo	32
6 SÄHKÖBUSSIT SUOMESSA	34
6.1 Helsinki	34
6.2 Tampere	35
6.3 Turku	35

7 LOPUKSI	37
------------------	-----------

LÄHTEET	39
----------------	-----------

KUVAT

Kuva 1. Volvo 7900 Electric ja Siemensin virroitinlatausjärjestelmä (Siemens 2015).	12
Kuva 2. Latausasema on sijoitettu maan alle (1). Bussin järjestelmä vastaanottaa siirretyn energian (2) ja lataa akkuja (3) (Scania 2014).	13
Kuva 3. Kaksiovinen BYD 12 m –sähköbussi (BYD 2016).	18
Kuva 4. Caetano Cobus 2500 EL –sähköbussi (Caetanobus 2016).	19
Kuva 5. Ebusco 2.1 talvitestissä Helsingissä (Ebusco 2016).	20
Kuva 6. Emoss-sähköbussi (Emoss 2016).	21
Kuva 7. Irizar i2e –sähköbussi (Irizar 2016).	22
Kuva 8. Linkker-sähköbussi (HSL 2015).	24
Kuva 9. PVI/Gepebus Oreos 4x –sähköbussi (PVI 2016).	25
Kuva 10. Siemens/Rampini –sähköbussi (Siemens 2013).	26
Kuva 11. Skoda Perun –sähköbussien ulkomuoto (Skoda HP 2016).	27
Kuva 12. Solaris Urbino electric 12 –malli (Solaris 2014).	29
Kuva 13. Temsa MD9 electriCITY –sähköbussi (Temsa 2016).	30
Kuva 14. Van Hool A308-EV –sähköbussi (Van Hool 2016).	31
Kuva 15. VDL Citea Low Floor Electric –sähköbussi (VDL 2016).	32
Kuva 16. Volvo 7900 Electric –sähköbussi (Icomera 2015).	33

TAULUKOT

Taulukko 1. BYD 8 ja 18 –sähköbussien tekniset tiedot (BYD 2016).	18
Taulukko 2. BYD 12 –sähköbussien tekniset tiedot (BYD 2016).	18
Taulukko 3. Caetano Cobus 2500 EL –sähköbussin tekniset tiedot (CHAdeMo 2013; CaetanoBus 2016).	19
Taulukko 4. Ebusco 2.1 –sähköbussin tekniset tiedot (PPMC 2015).	20
Taulukko 5. Emoss-sähköbussin tekniset tiedot (Emoss 2016).	21
Taulukko 6. Irizar i2e –sähköbussin tekniset tiedot (Irizar 2016).	22
Taulukko 7. Linkker-sähköbussin tekniset tiedot (Linkker 2016).	23
Taulukko 8. PVI/Gepebus Oreos 4x –sähköbussin tekniset tiedot. (Avem 2010; PVI 2016)	24
Taulukko 9. Siemens/Rampini –sähköbussin tekniset tiedot (Siemens 2013).	25
Taulukko 10. Skoda Perun –sähköbussien tekniset tiedot (Skoda HE 2016; Skoda HP 2016).	27
Taulukko 11. Solaris Urbino 8.9 LE ja 12 –sähköbussien tekniset tiedot (Solaris 2014).	28
Taulukko 12. Solaris Urbino 18 ja 18,75 –sähköbussien tekniset tiedot (Solaris 2014).	28
Taulukko 13. Temsa MD9 electriCITY –sähköbussin tekniset tiedot (Temsa 2016).	29
Taulukko 14. Van Hool –sähköbussin tekniset tiedot (Primove 2015).	30
Taulukko 15. VDL Citea Low Floor Electric –sähköbussin tekniset tiedot (VDL 2016).	32

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan sähköbussien käyttöön joukkoliikenteessä. Työssä perehdytään sähköbussien latausjärjestelmiin, käytettyihin akkutyyppeihin, markkinoilla olevaan kalustoon sekä sähköbussien käyttöön Suomessa. Tavoitteena on saada mahdollisimman kattava kuvaus sähköbussien käytöstä Suomessa sekä niiden markkinoista Euroopassa.

Maailman lisääntyvän energiantarpeen ja samanaikaisen ilmaston lämpenemisen vuoksi on kehitettävä kestäviä energiamuotoja fossiilisten polttoaineiden rinnalle. Fossiiliset polttoaineet saastuttavat ilmastoa ja edistävät ilmaston lämpenemistä. Maapallon fossiiliset polttoainevarannot vähenevät koko ajan ja ennen niiden ehtymistä tulisi löytää vaihtoehtoisia energianlähteitä tyydyttämään ihmiskunnan energiantarve.

Euroopan Unioni onkin asettanut itselleen energia- ja ilmastotavoitteita vuosiksi 2020, 2030 ja 2050. Näillä tavoitteilla pyritään muun muassa porrastetusti vähentämään kasvihuonepäästöjä, nostamaan uusiutuvien energianlähteiden osuutta energiankulutuksessa ja lisäämään energiatehokkuutta. (EU 2014.)

Sähköinen liikenne on yksi keino vaikuttaa ilmastomuutokseen ja vähentää kasvihuonepäästöjä. Liikenne aiheuttaa noin kolmanneksen maailman ilmastomuutokseen vaikuttavista hiilidioksidipäästöistä. Suomen kasvihuonepäästöistä noin viidennes aiheutuu liikenteestä. Noin 90 prosenttia kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä syntyy tieliikenteessä ja noin 60 prosenttia näistä päästöistä aiheutuu henkilöautoista. (Trafi 2014.) Vaikka linja-autojen päästöt ovat verrattain pieni osa tieliikenteen päästöistä, niillä on suuri vaikutus kaupunkien keskustan ilmanlaatuun (VTT 2014).

Liikenteellä on monia haittavaikutuksia sekä ihmisiin että ympäristöön. Saasteiden, melun, onnettomuuksien ja liikenneonnettomuuksien sanotaan maksavan Euroopan unionille vuosittain noin yhden bruttokansantuloosentoin verran. Liikenteen suurimpia haittavaikutuksia ovat ilmastomuutos, haitallisten aineiden leviäminen ympäristöön, ilmanlaadun heikkeneminen, maaperän ja vesistöjen happamoituminen ja rehevöityminen. Näiden lisäksi aiheutuu meluhaittoja, liikenneonnettomuuksia ja liikenteen aiheuttamaa stressiä. (Motiva 2015a.)

Polttoaineen palamisen seurauksena syntyy ilmastolle, ilman laadulle ja terveydelle haitallisia kaasuja. Näitä ovat muun muassa hiilidioksidi, hiilimonoksidi, hiilivedyt, hiukkaset

ja typenoksidit. Hiilidioksidi ei ole terveydelle haitallinen, mutta merkittävin kasvihuoneilmiötä aiheuttava kaasu. Osa näistä päästöistä on niin kutsuttuja suorja päästöjä (esimerkiksi pakokaasuhiukkaset) ja osa epäsuoria (katupöly). Arviolta jopa kaksi miljoonaa suomalaista kärsii ajoittain hiukkasten ja muiden ilmassa leijuvien epäpuhtauksien aiheuttamista hengitysteiden oireista ja vuosittain arviolta noin 2000 suomalaista kuolee ennenaikaisesti näiden epäpuhtauksien johdosta. (Trafic 2014.)

Erityisen herkkiä ilmansaasteiden terveysvaikutuksille ovat vanhukset, lapset sekä kroonisista sydän- ja hengityselinsairauksista kärsivät. Jo lyhytaikainen altistuminen on haitallista ja voi aiheuttaa herkissä väestöryhmissä oireilua sekä vakavia, pahimmassa tapauksessa kuolemaan johtavia akuutteja sairauskohtauksia. Haitallisinta on kuitenkin pitkäaikainen altistuminen, joka edistää sairauksien syntymistä ja pahentumista. (HSY 2015.)

Fossiilisten polttoaineiden haittavaikutusten ja ilmastotavotteiden myötä monet yhtiöt ovat panostaneet hybridi- ja sähköautotekniikkaan. Vaihtoehtoisella energialla kulkeville ajoneuvoille on tulevaisuudessa suurta kysyntää ja monilla ajoneuvoyhtiöillä on paljon kehitystoimintaa tällä saralla. Monet valtiot, Suomi mukaan lukien, panostavat sähköiseen liikenteeseen verohelpotuksilla ja tukemalla näitä hankkeita (Föli 2016).

Sähköautoihin siirtyminen vie varmasti paljon aikaa, sillä niiden sujuvassa liikennöinnissä on vielä paljon kehitettävää. Hidasteina ovat sähköajoneuvojen korkea hinta, akkujen pitkät latausajat, lyhyt toimintamatka, toimivan latausinfrastruktuurin puute sekä sähköauton toiminnan epävarmuus varsinkin kylmissä olosuhteissa. Lisäksi sähköautoiluun siirtyminen vaatisi totuttujen tapojen muutosta, joten muutos tapahtuisi luultavasti hitaasti seuraavan sukupolven aikana. Paikallisliikenteen sähköistäminen on yksi hyvä askel kohti vihreämpää tulevaisuutta. Suomessa ja muissa Euroopan maissa liikennöi jo paljon sähköbussseja. Sähköbussien määrät lisääntyvät ja latausinfrastruktuuria kehitetään koko ajan. (Kukkonen 2014.)

2 TIETOA SÄHKÖBUSSEISTA

Kaupungeissa sähköbussin etuja ovat päästöttömyys ja hiljaisuus, korkea energiatehokkuus ja halpa käyttövoima. Kaupunkibussi on henkilöautoa helpompi sähköistämiskohde, koska bussin päivittäinen käyttöaste on moninkertainen. Bussin ajoreitti tunnetaan ja tarvittava toimintamatka on ennakoitavissa, jolloin riittävän akkukapasiteetin määrittäminen on paljon helpompaa. (Kuopion Energia 2014.)

VTT:n tutkija Samu Kukkonen kertoo, että ”siirtyminen dieseliä käyttävistä busseista täyssähköbusseihin on erityisen houkuttelevaa, koska näiden korkea energiatehokkuus ja halpa käyttövoima tarjoavat merkittävän alhaiset käyttökustannukset. Paikallispäästöttömyyden ja hiljaisuuden ansiosta täyssähköiset kaupunkibussit parantavat lisäksi kaupunkien ilmanlaatua ja vähentävät melua. Myös joukkoliikenteen houkuttelevuuden voi arvioida kasvavan parempien ympäristöarvojen ja meluttomuuden myötä.” (Kuopion Energia 2014.)

Sähköajoneuvojen toiminta kylmissä olosuhteissa herättää paljon epäilystä. Nordic Energy Research:n RekkEvide-projektissa on tutkittu sähköajoneuvojen toimintaa kylmissä olosuhteissa. Tutkimuksessa on perehdytty miten kylmät olosuhteet vaikuttavat sähköajoneuvon toimintamatkaan. Kyseisen tutkimuksen tuloksissa ilmenee, että ilman auton sisäilman lämmittämistä autojen toimintamatka lyhenee keskimäärin 27 % lämpötilan ollessa -20°C verrattuna $+23^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan. Sähköisen sisäilmanlämmittimen ollessa päällä toimintamatka voi lyhentyä suurimmillaan 76 % samoissa olosuhteissa. Toimintamatkan pidentämiseksi ajoneuvoon voi liittää polttoainekäyttöisen sisäilman lämmittimen, jotta ajoneuvon lämmitykseen ei tarvitsisi käyttää auton liikuttamiseen käytettävää energiaa. (Nordic Energy 2013.)

Jukka Mäkisen mukaan ”sähköisen kaupunkiliikenteen keskeisiä haasteita ovat ajoneuvon voimalinjan, akuston, taajuusmuuntajan ja sähkömoottorin sekä latausverkoston rakenne”. Jotta ajoneuvo pysyy toimintakykyisenä sen päivittäisen käytön aikana, tulee akustoa ladata säännöllisesti. Hankkijan täytyy valita ison akuston ja pienen optimoidun akuston väliltä. (Mäkinen 2015.)

Optimoitu akkukoko ja pikalatus ovat yleistyvä yhdistelmä. Akusto on suurin sähköbussin hintaan vaikuttava tekijä. Suuri akusto nostaa sekä sähköbussin hankintahintaa että käyt-

tön aikaisia kokonaiskäyttökustannuksia. Akuston koko ja paino vaikuttaa myös matkustajien määrään. Jokainen 65 kg akustoa vähentää yhden matkustajapaikan bussista. Lisäksi suuren akuston tuoma lisämassa kasvattaa ajoneuvon energiantarvetta jokaisessa kiihdytyksessä, joita kaupunkibussin operoinnissa tulee paljon. (Mäkinen 2015.)

Turku Energian kehityspäällikkö Antto Kulla sanoo, että sähköbussien latausjärjestelmän toteuttaminen ja tietotaidon lisääminen mahdollistaa myös laajemman sähköisen kaluston käyttöönoton julkisessa liikenteessä (Föli 2016). Latausinfrastruktuurin rakentaminen on tärkeä askel kaupunkiliikenteen sähköistämiseksi.

Bussilinjaa sähköistettäessä latausjärjestelmä ja akuston koko ovat suuria valintoja. Valintoja tehdessä täytyy miettiä, haluaako bussin, jossa on suuri akkukapasiteetti, jota ladataan harvoin, mutta pitkiä aikoja kerralla vai bussin, jossa on pieni akusto, mutta sitä ladataan usein esimerkiksi virroitin latausjärjestelmällä. Eri valmistajien ajoneuvoissa on myös eri tyyppisiä akkuja, joissa on hieman toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. Lähes kaikki valmistajat turvautuvat eri tyyppisiin litiumioniakustoihin muutamia poikkeuksia lukuunottamatta.

3 LATAUSJÄRJESTELMÄT

Sähköbussien akkujen lataamiseen on tarjolla kolme vaihtoehtoa. Kaapelilataus, virroittinlataus ja induktiolataus. (Karvonen 2014.)

Latausjärjestelmien yhtenä ongelmana on niiden keskinäinen yhteensopivuus eri valmistajien tuotteiden välillä. Jos valmistajat eivät sitoudu keskenään yhteensopiviin järjestelmiin, voivat sähköbussien jälkimarkkinat romuttua, koska mahdollisuus ladata bussia eri valmistajien latureilla on rajattu. (Kukkonen 2014.)

Monet eurooppalaiset valmistajat ovat mukana ryhmittymässä, jonka tarkoituksena on määrittellä avoin rajapinta sähköbussien ja latausjärjestelmien välille ja sitä kautta helpottaa sähköbussien käyttöönottoa Euroopan kaupunkialueilla. Koska monissa kaupungeissa rakennetaan sähköbussijärjestelmiä jo nyt, valmistajat ovat sitoutuneet vapaaehtoisesti avoimeen toimintamalliin. Yhteisiä ratkaisuja on tarkoitus käyttää sekä pikalatauksessa päätepysäkeillä että yön yli –latauksessa. Eurooppalaisten valmistajien ryhmittymässä ovat tällä hetkellä mukana bussivalmistajat Irizar, Solaris, VDL ja Volvo sekä latausjärjestelmiä valmistavat ABB, Heliox ja Siemens. (Electro Mobility 2016.)

3.1 Kaapelilataus

Kaapelilatauksessa akut ladataan ajoneuvon latauspistokkeeseen asetettavan kaapelin avulla. Lataus ei ole automaattinen, joten kuljettajan tai varikkotyöntekijän on pidettävä huoli siitä, että latausjohto kytketään ja irrotetaan. Lataustapa on melko hidas, riippuen laturin tehosta, joten lataus suoritetaan usein yön yli varikolla. Ajoneuvoa voi ladata myös kesken päivän, mutta latauksen aikana sillä ei voi liikennöidä. Ajoneuvo vaatii todella suuren akuston, jotta sillä voi ajaa pitkiä aikoja ilman latausta. Suuri akusto on kallis investointi. Lisäksi se tuo bussiin lisää painoa ja vie paljon tilaa. Kun bussiin tulee paljon painoa ja vähän matkustustilaa niin bussin kokonaishyötysuhde laskee. Vaikka suuri akusto on kallis investointi niin suuren akuston ja kaapelilatauksen ansiosta latausinfrastruktuuriin ei tarvitse tehdä suuria investointeja. (Karvonen 2014.)

3.2 Virroitinlataus

Virroitinlatauksessa energia siirretään akustoon käyttäen bussin yläpuolelta laskevaa virroitinta. Virroitin sijaitsee kiinteässä latauspylväässä ja ajoneuvon kattoon sijoitetaan vain latauskiskot. Ratkaisu laskee merkittävästi bussin hintaa sekä kokonaispainoa, koska ajoneuvoa ei tarvitse varustaa suurella akustolla. Virroitin voi sijaita myös bussissa, jolloin virroitin nousee bussin katolta latausasemaan. Tällainen ratkaisu tosin kasvattaa bussin hintaa ja painoa. Virroitin on turvallinen vaihtoehto, sillä kaikki liikkuvat osat sijaitsevat korkealla latauspylväässä ja ne ovat jännitteellisiä vain kun ajoneuvo on paikallaan latauksessa. (Mäkinen 2015.)

Pysäkillä bussin akustonhallintajärjestelmä kommunikoi latausaseman kanssa, latausasema laskee virroitimen bussin katolla sijaitseville latauskiskoille (kuva 1) ja lataus voi alkaa. Latauksen jälkeen virroitin palaa takaisin yläasentoon latauspylväaseen. Koko toiminta on automaattinen, joten kuljettajan ei tarvitse nousta erikseen kytkemään latausta. Lataus voidaan suorittaa pysäkillä samalla kun matkustajia otetaan kyytiin. Tällöin liikennöinti on sujuvaa ilman pitkiä käyttötauoja. (Mäkinen 2015.)



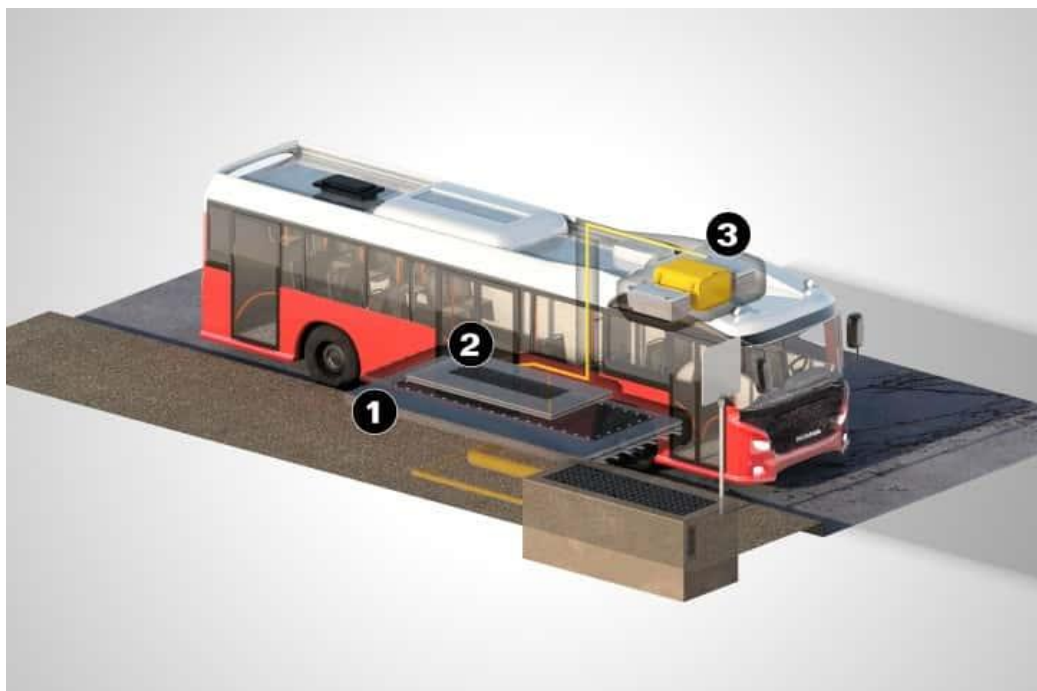
Kuva 1. Volvo 7900 Electric ja Siemensin virroitinlatausjärjestelmä (Siemens 2015).

Virroitinlataus mahdollistaa pienen akkukapasiteetin, joka pienentää huomattavasti linja-auton hankintakustannuksia ja mahdollistaa suuremman matkustajakapasiteetin. Latausinfrastruktuurin investointikustannukset taas ovat suuret, koska reitille täytyy rakentaa latausasemia. (Mäkinen 2015.)

ABB:n sähköisen liikenteen asiantuntija Jukka Mäkinen arvioi, että kevyen akuston sekä automaattisen pysäkilatauksen yhdistelmä on kaupunkiliikenteen bussien paras yhdistelmä (Mäkinen 2015).

3.3 Induktiolataus

Sähkömagneettisessa induktiossa ensiökäämiin johdetaan vaihtovirtaa, jolloin käämin ympärille muodostuu muuttuva magneettikenttä. Kun ladattavan laitteen toisiokäämi asetetaan ensiökäämin muodostamaan magneettikenttään, toisiokäämin johtimeen indusoituu muuttuva sähkökenttä. Näin generoitua virtaa voidaan käyttää akun lataamiseen. (Battery University 2016c.) Kuvassa 2 on esimerkki sähköbussin induktiolatauksesta.



Kuva 2. Latausasema on sijoitettu maan alle (1). Bussin järjestelmä vastaanottaa siirretyn energian (2) ja lataa akkuja (3) (Scania 2014).

Induktiolataus on turvallinen valinta esimerkiksi sellaisissa olosuhteissa, missä sähkökipinä voi aiheuttaa räjähdysvaaran. Lataustyyppi on myös hyvä likaisissa ja kosteissa olosuhteissa, missä metallipintojen korroosion riski on suuri. Lisäksi lataustyyli on todella kätevä, sillä ladattava ajoneuvo täytyy vain ajaa latauspisteen päälle ja auton akusto alkaa täyttyä. (Battery University 2016c.)

Induktiolatauksen huonoja puolia on sen hyötysuhde. Sen kokonaishyötysuhde on 75-80 %. Energiahäviö muuttuu lämmöksi, jonka seurauksena laturi lämpenee sitä käytettäessä. Latauksen loputtua laturi kuitenkin jäähtyy. (Battery University 2016c.)

4 AKKUTYYPIT

Motiva määrittelee akun seuraavasti. ”Akku on sähkökemiallinen energiavarasto, joka koostuu kahden elektrodin, anodin ja katodin muodostamasta sähköparista. Elektrodien välissä on elektrolyytti, joka on usein nestemäisessä tai geelimäisessä muodossa olevaa ainetta.” Akun purkautuessa anodista vapautuu elektroneja, jotka kulkevat elektrolyytin välityksellä katodiin. Akkua ladataessa tämä reaktio tapahtuu toiseen suuntaan. (Motiva 2013.)

Litiumioniakuissa anodi valmistetaan yleensä hiilestä, suosituimpana materiaalina on käytetty grafiittia. Katodi on yleensä metallioksidi. (Battery University 2016b.) Akkutyyppistä riippuen katodina on käytetty mangaanioksidia, kobolttioksidia, rautafosfaattia, nikkeliä, alumiinia, polymeeria, titanaattia tai joidenkin näiden aineiden yhdistelmiä (Motiva 2013).

Litium kaikista kevyin metalli. Se on todella reaktiivinen metalli ja sillä on suurin elektrokemiallinen potentiaali sekä suuri energiatiheys. Näiden ominaisuuksien takia litium on suosittu alkuaine akuissa. Litiumioniatkut ovat herkkiä yllätaukselle ja syväpurkaukselle. Suosituimpia akkutyyppisiä sähköautoja ajatellen ovat litium-rautafosfaattiakku sekä litium-titanaattiakku. (Motiva 2013.)

Eri akkutyypeillä on erilaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat akun käyttöikäen. Toiset akkutyyppit ovat eri tavalla herkkiä ympäristölle ja käytölle kuin toiset. Jotkut akut kärsivät liian suuresta latausvirrasta tai syväpurkauksesta, jotkut taas menettävät kapasiteettiaan lämpötilan muuttuessa liian suureksi. (Motiva 2013.)

4.1 Litium-rautafosfaattiakku

Litium-rautafosfaattiakku (LiFePO₄) on litiumia sisältävistä akuista ympäristöystävällisin, sillä se ei sisällä raskasmetalleja. Sen suurimpia hyötyjä ovat pitkä elinikä, syklikesto ja turvallisuus. Akun energiatiheys on tyydyttävä. Litium-rautafosfaattiakuissa itsepurkautuminen on muita litiumioniakkuja suurempaa, mikä voi aiheuttaa ongelmia akun vanhetessa. Litium-rautafosfaattiakkujen energiatiheys on 90-120 Wh/kg. Sen syklikesto on 1000-2000 sykliä riippuen syväpurkauksien määrästä ja käyttölämpötilasta. (Battery University 2016b.)

4.2 Litium-titanaattiakku

Litium-titanaattiakku (LTO) on turvallinen ja sillä on todella pitkä syklikesto. Akun itsepurkautuminen kylmässä on todella pientä. Se pystyy pitämään 80 % varauksen jopa -30°C lämpötilassa. Akun huonoja puolia on sen pieni energiatiheys ja suuri hinta. Akun energiatiheys on vain 70-80 Wh/kg, mutta sen syklikesto on 3000-7000 sykliä. (Battery University 2016b.)

4.3 Litiumpolymeeriakku

Litiumpolymeeriakun (LiPo) suurin ero tavalliseen litiumioniakkuun nähden on litiumin säilytys polymeereissä orgaanisen liuottimen sijaan. Litiumpolymeeriakussa on hieman muita litiumioniakkuja suurempi purkuvoima ja akku on hieman ohuempi. Akku on melko harvinainen suurien ajoneuvojen energiavarastona. Vain yhdessä tämän työn esimerkki-autossa on litiumpolymeeriakku. (Battery University 2016d.)

4.4 Natrium-nikkeliakku

Natrium-nikkeliakku (So-Nick) on melko uutta tekniikkaa ajoneuvojen energiansäilytyksessä. Vain yhdessä tämän työn esimerkki-autossa on natrium-nikkeliakku. Natrium-nikkeliakku on erittäin ympäristöystävällinen sillä sen kaikki osat voidaan kierrättää. Akussa on pitkä elinikä ja syklikesto sekä korkea energiatiheys. Akkutyyppi kestää myös korkeita lämpötiloja ja sen raakamateriaalikustannukset ovat pienet. (PV magazine 2015.)

5 MARKKINOILLA OLEVA KALUSTO

Tässä luvussa esitellään Euroopan markkinoilla olevaa sähköbussikalustoa. Luvussa tuodaan esille eri valmistajien tuottamien mallien tärkeimpiä ominaisuuksia. Näitä ovat muun muassa ajoneuvon mitat, käytetyt akkutyypit, akuston kapasiteetti, toimintamatka latausjärjestelmät ja matkustajakapasiteetti. Joistakin malleista on enemmän tietoa kuin toisista. Tämä johtuu joidenkin valmistajien tarjoamien tietojen puutteellisuudesta.

5.1 BYD

BYD on kiinalainen bussivalmistaja, jolla on Euroopassa markkinoilla viisi sähköbussia. Vaihtoehtoina on 8 m, 10,2 m, 10,8 m, 12 m ja 18 m pituiset mallit. 10,2 m ja 10,8 m mallit on tarkoitettu vasemmanpuoleiseen liikenteeseen, joten tässä työssä ei niitä huomioida sen tarkemmin. (BYD 2016.)

BYD käyttää sähköajoneuvoissaan litium-rautafosfaattiakkuja (LiFePO₄). Akut voi ladata vain pistokelaturilla. Latauslaitteessa on kaksi pistoketta, joiden kummankin suurin teho on 40 kW. Laitteen jännite on 400 V ja suurin sähkövirta 126 A. Yhden latauskaapelin pituus on 3 metriä. Virroitinlatausta ei ole, mutta sivuston mukaan se on tutkinnan alla. (BYD 2016.)

BYD 12 m -mallia on saatavilla joko kaksiovisena (2D) tai kolmiovisena (3D). Kuvassa 3 on esitelty kaksiovinen BYD 12 m sähköbussi. Lisäksi kolmiovisesta mallista voi valita kahden eri akkukoon väliltä. Kolmiovinen BYD 12 m on mahdollista varustaa 270 kWh akustolla (2B), jolloin toimintasäde on 210 km ja matkustajakapasiteetti 87, joista 27 on istumapaikkoja. Toinen vaihtoehto taas on 380 kWh akusto (3B), jonka toimintasäde on 300 km ja matkustajakapasiteetti, hieman pienempi, 68, joista 26 on istumapaikkoja. (BYD 2016.)

Taulukko 1. BYD 8 ja 18 –sähköbussien tekniset tiedot (BYD 2016).

Malli (BYD)	8	18
Mitat (P/L/K)	8,80/2,43/3,22 m	18,1/2,55/3,435 m
Suurin sallittu paino	19 000 kg	29 000 kg
Matkustajakapasiteetti	49 (19 istumapaik- kaa)	150 (51 istumapaik- kaa)
Toimintasäde	200 km	170 km
Akkutyyppe	LiFePO4	LiFePO4
Akuston kapasiteetti	260 kWh	270 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke	Pistoke

Taulukko 2. BYD 12 –sähköbussien tekniset tiedot (BYD 2016).

Malli (BYD)	12 2D	12 3D 2B	12 3D 3B
Mitat (P/L/K)	12/2,55/3,36 m	12/2,55/3,36 m	12/2,55/3,36 m
Suurin sallittu paino	19 000 kg	19 000 kg	19 000 kg
Matkustajakapasiteetti	68 (31 istumapaik- kaa)	87 (27 istumapaik- kaa)	68 (26 istumapaik- kaa)
Toimintasäde	300 km	210 km	300 km
Akkutyyppe	LiFePO4	LiFePO4	LiFePO4
Akuston kapasiteetti	380 kWh	270 kWh	380 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke	Pistoke	Pistoke



Kuva 3. Kaksiovinen BYD 12 m –sähköbussi (BYD 2016).

5.2 Caetano

Caetano on portugalilais-saksalainen bussivalmistaja, jonka ainut sähköbussi on Cobus 2500 EL (kuva 4). Bussin kori on tehty alumiinista painon laskemiseksi. Bussista on mahdollista saada 2,55 metriä leveään mallin lisäksi 3 metriä leveä lentokenttämalli. Pikalatauksella akut saa ladattua 3 tunnissa 90% varaustasoon. (CHAdEMo 2013; CaetanoBus 2016.)

Taulukko 3. Caetano Cobus 2500 EL –sähköbussin tekniset tiedot (CHAdEMo 2013; CaetanoBus 2016).

Malli	Cobus 2500 EL
Mitat (P/L/K)	12,3/2,55/3,085 m
Suurin sallittu paino	18 000 kg
Matkustajakapasiteetti	66 (joista 23 istumapaikkoa)
Toimintasäde	120 km
Akkutyyppe	LiFePo4
Akuston kapasiteetti	150 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke



Kuva 4. Caetano Cobus 2500 EL –sähköbussi (Caetanobus 2016).

5.3 Ebusco

Ebusco on alankomaalainen bussivalmistaja, jolla on yksi sähköbussi, Ebusco 2.1 (kuva 5). Linja-auton kori on tehty alumiinista, mikä laskee bussin painoa. Tähän mennessä

bussit on toimitettu 311 kWh litium-rautafosfaattiakkupaketilla (LiFePO₄), mutta kaupunkiliikenteeseen on myös mahdollista saada 80 kWh litium-titanaattiakuilla (LTO) varustettu virroitinladattava busse. Pistokelataus mahdollistaa 311 kW/tunti latauksen, jolloin jokaista ladattua minuuttia kohden bussilla voi ajaa 5 kilometriä. (PPMC 2015.)

Taulukko 4. Ebusco 2.1 –sähköbussin tekniset tiedot (PPMC 2015).

Malli	Ebusco
Pituus	12 m
Matkustajakapasiteetti	90
Toimintasäde	300 km
Akkutyyppe	LiFePO ₄
Akuston kapasiteetti	311 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke
Teho	150 kW
Vääntö	2500 Nm



Kuva 5. Ebusco 2.1 talvitestissä Helsingissä (Ebusco 2016).

5.4 Emoss

Emoss on alankomaalainen sähköajoneuvojen valmistaja, jonka ainoa sähköbussi on valmistettu Volvo 7700 koriin (kuva 6). Linja-auton pituus on 12 metriä ja sen matkustajakapasiteetti on yhteensä 86 matkustajaa. Bussissa on suuri litiumpolymeeriakusto (LiPo). Lataus mahdollisuuksia ovat pistokelataus, virroitinlataus sekä induktiolataus. (Emoss 2016.)

Taulukko 5. Emoss-sähköbussin tekniset tiedot (Emoss 2016).

Malli	Emoss
Pituus	12 m
Matkustajakapasiteetti	86
Akkutyyppe	LiPo
Akuston kapasiteetti	128-300 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin Induktio
Teho	240 kW
Vääntö	960 Nm
Huippunopeus	85 km/h



Kuva 6. Emoss-sähköbussi (Emoss 2016).

5.5 Irizar

Irizar on espanjalainen bussivalmistaja, jolla on yksi sähköbussi, Irizar i2e (kuva 7). Lähes 12 metrisessä bussissa on 24 istumapaikkaa, mutta kokonaismatkustajakapasiteettia ei ilmoiteta. Linja-autossa on natrium-nikkeliakusto (So-Nick). Suuren akuston avulla bussin toimintasäde on maksimissaan 250 km. Irizar i2e sähköbussin voi ladata vain pistokelatauksella. Viiden tunnin latauksella on mahdollista liikennöidä kaupunkiolosuhteissa 14-16 tuntia matkanopeuden ollessa keskimäärin 17 km/h. Bussin kori on valmistettu alumiinista, joka laskee bussin kokonaispainoa. (Irizar 2016.)

Taulukko 6. Irizar i2e –sähköbussin tekniset tiedot (Irizar 2016).

Malli	Irizar
Mitat (P/L/K)	11,98/2,55/3,22 m
Matkustajakapasiteetti	24 istumapaikkaa
Toimintasäde	200-250 km
Akkutyyppe	So-Nick
Akuston kapasiteetti	376 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke
Teho	180 kW
Vääntö	1400 Nm



Kuva 7. Irizar i2e –sähköbussi (Irizar 2016).

5.6 Linkker

Linkker on suomalainen sähköbussivalmistaja. Valmistajalla on yksi sähköbussi Linkker 12 (kuva 8). Linkkerin 12-metrinen sähköbussin kori on tehty kevyestä alumiinista ja bussi painaa vain 9500 kg, joka on valmistajan mukaan noin 3000 kg kevyempi kuin modernit teräsrunkoiset bussit. Bussin matkustajakapasiteetti on 69, joista 40 on istumapaikkoja. Linkker-linja-autossa on pieni, nopeasti ladattava 40-48 kWh litium-titanaattiakusto (LTO). Akujen toimintalämpötila on -25 C^0 - $+45\text{ C}^0$ ja niiden syklikesto on 12 000 sykliä. Akut voi ladata sekä pistokkeella että virroittimella. 200 kW virroitinlatauksella akut täyttyvät 3-7 minuutissa. (Linkker 2016.) Virroitinlatauksella akkuihin kertyy riittävästi virtaa seuraavaa ajokierrosta varten 1,5-3 minuutissa (HSL 2015).

Taulukko 7. Linkker-sähköbussin tekniset tiedot (Linkker 2016).

Malli	Linkker
Pituus	12 m
Paino	9500 kg
Matkustajakapasiteetti	69 (joista 40 istumapaikkoja)
Toimintasäde	30-50 km
Akkutyyppe	LTO
Akuston kapasiteetti	40-48 kWh
Kulutus	0,5-0,8 kWh/km
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin



Kuva 8. Linkker-sähköbussi (HSL 2015).

5.7 PVI/Gepebus

PVI on ranskalainen sähköbussivalmistaja. Yhtiön valmistamat sähköbussit myydään brändinimellä Gepebus. Valmistajalla on yksi kaupunkiliikenteeseen tarkoitettu sähköbussi Gepebus Oreos 4x (kuva 9). Bussin matkustajakapasiteetti on 22 matkustajaa. Bussi on varustettu 170 kWh litiumioniakuilla, jotka mahdollistavat 120-150 km toimintasäteen yhdellä latauksella. Latausjärjestelmänä toimii pistokelataus. (Avem 2010; PVI 2016.)

Taulukko 8. PVI/Gepebus Oreos 4x –sähköbussin tekniset tiedot. (Avem 2010; PVI 2016)

Malli	PVI/Gepebus
Mitat (P/L/K)	9,31/2,35/3,34 m
Matkustajakapasiteetti	22 (joista 13 istumapaikkoja)
Toimintasäde	120-150 km
Akkutyyppe	Li-ion
Latausjärjestelmä	Pistoke
Huippunopeus	90 km/h



Kuva 9. PVI/Gepebus Oreos 4x –sähköbussi (PVI 2016).

5.8 Siemens-Rampini

Siemens-Rampini -sähköbussi on saksalaisen Siemensin ja italialaisen Rampini-bussi- valmistajan yhteistyötä. Se on ensimmäinen sarjatuotettu täyssähköbussi Euroopassa (kuva 10). Bussin matkustajakapasiteetti on 40, joista 13 on istumapaikkoja. Linja- autossa on 96 kWh litium-rautafosfaattiakusto (LiFePO₄), jonka voi ladata pistoke- ja virroitinlatauksella. Sähköbussi painaa 8 250 kg ja sen mitat ovat: pituus 7,72 m, leveys 2,2 m ja korkeus 3,05 m. Huippunopeus on 62 km/h. (Siemens 2013.)

Taulukko 9. Siemens/Rampini –sähköbussin tekniset tiedot (Siemens 2013).

Malli	Siemens/Rampini
Mitat (P/L/K)	7,72/2,2/3,05 m
Paino	8250 kg
Matkustajakapasiteetti	40 (joista 13 istumapaikkoja)
Akkutyyppe	LiFePO ₄
Akuston kapasiteetti	96 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin



Kuva 10. Siemens/Rampini –sähköbussi (Siemens 2013).

5.9 Skoda

Skodalla on kaksi sähköbussia, HE (High Energy) Perun ja HP (High Power) Perun. Molemmat bussit ovat ulkoisilta mitoiltaan samankokoiset, mutta suurin ero on akustossa. (Skoda HE 2016; Skoda HP 2016.) Esimerkki bussien ulkomuodosta kuvassa 11.

HE Perun -mallissa on 221 kWh kokoinen litiumpolymeeriakusto (LiPo), jonka avulla bussilla voi kulkea jopa 150 km yhdellä latauksella. Akut voi ladata Skoda Ultra Fast (UFC) latauksella 70 minuutissa tai yön yli –latauksella 6-8 tunnissa. Bussin matkustajakapasiteetti on 82, joista 27 on istumapaikkoja. (Skoda HE 2016.)

HP Perun -mallissa on 78 kWh litium-titanaattiakusto (LTO), jonka maksimi toimintasäde yhdellä latauksella on 30 km. Akut voi ladata virroitinlatauksella 5-8 minuutissa. Matkustajakapasiteetti on 85, joista 27 on istumapaikkoja. (Skoda HP 2016.)

Taulukko 10. Skoda Perun –sähköbussien tekniset tiedot (Skoda HE 2016; Skoda HP 2016).

Malli	Perun HE	Perun HP
Mitat (P/L/K)	12/2,55/3,25 m	12/2,55/3,25 m
Matkustajakapasiteetti	82 (joista 27 istu- mapaikkoja)	85 (joista 27 istu- mapaikkoja)
Toimintasäde	150 km	30 km
Akkutyyppe	LiPo	LTO
Akuston kapasiteetti	221 kWh	78 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin	Pistoke Virroitin
Teho	160 kW	160 kW
Huippunopeus	70 km/h	70 km/h



Kuva 11. Skoda Perun –sähköbussien ulkomuoto (Skoda HP 2016).

5.10 Solaris Bus & Coach

Puolalaisella sähköautovalmistaja Solariksella on neljä sähköbussia. Solaris Urbino 8.9 LE electric, Urbino electric 12, 18 ja 18,75. Kuvassa 12 on esitelty Urbino electric 12 -

sähköbussin ulkomuoto. Kaikissa busseissa on litiumioniakusto (Li-ion), jonka koko räätälöidään sellaiseksi kuin asiakas sen haluaa. Lyhyimmässä Urbino 8.9 LE electric:ssä on vakiolatausjärjestelmänä vain pistokelataus, mutta siihen on mahdollista saada lisäksi virroitinlatausjärjestelmä. Urbino electric 12 ja 18 malleissa on myös vakiona pistokelataus, mutta niihin on mahdollista saada lisäksi virroitinlatausjärjestelmä tai induktiolatausjärjestelmä. Urbino electric 18,75 mallissa on vain pistokelatausmahdollisuus. (Solaris 2014.)

Taulukko 11. Solaris Urbino 8.9 LE ja 12 –sähköbussien tekniset tiedot (Solaris 2014).

Malli	Urbino 8.9 LE	Urbino 12
Mitat (P/L/K)	8,95/2,4/3.25 m	12/2,55/3,25 m
Matkustajakapasiteetti	29 istumapaikkaa	41 istumapaikkaa
Akkutyyppe	Li-ion	Li-ion
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin	Pistoke Virroitin Induktio
Teho	120/160 kW	160/2x60 kW

Taulukko 12. Solaris Urbino 18 ja 18,75 –sähköbussien tekniset tiedot (Solaris 2014).

Malli	Urbino 18	Urbino 18.75
Mitat (P/L/K)	18/2,55/3,25 m	18,75/2,55/3,25 m
Matkustajakapasiteetti	54 istumapaikkaa	54 istumapaikkaa
Akkutyyppe	Li-ion	Li-ion
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin Induktio	Pistoke
Teho	240 kW	240 kW



Kuva 12. Solaris Urbino electric 12 –malli (Solaris 2014).

5.11 Temsa

Temsa on turkkilainen bussivalmistaja, jonka ainoa sähköbussi on MD9 electriCITY (kuva 13). Bussin mitat ovat: pituus 9,496 m, leveys 2,4 m ja korkeus 3,132 m. Linja-auton kokonaispainoa ei kerrota, mutta maksimipaino matkustajineen saa olla 13 834 kg. Suuren 200 kWh akuston voi ladata 130 kWh DC-laturilla kahdessa tunnissa tai 50 kWh DC-laturilla kuudessa tunnissa. Valmistajan sivuilla ei kerrota mitä akkutyyppejä he käyttävät. Tällä akustolla maksimi toimintasäteeksi muodostuu 200 km. Matkustajakapasiteetti on 57, joista 26 on istumapaikkoja. (Temsa 2016.)

Taulukko 13. Temsa MD9 electriCITY –sähköbussin tekniset tiedot (Temsa 2016).

Malli	Temsa
Mitat (P/L/K)	9,496/2,4/3,132 m
Suurin sallittu paino	13834 kg
Toimintasäde	200 km
Matkustajakapasiteetti	57 (joista 30 istumapaikkoja)
Akuston kapasiteetti	200 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke
Teho	100 kW
Vääntö	2200 Nm



Kuva 13. Tamsa MD9 electriCITY –sähköbussi (Tamsa 2016).

5.12 Van Hool

Van Hool A308-EV 9,7 m on belgialaisen bussivalmistajan ainoa sähköbussi (kuva 14). Bussissa on 36 kWh litiumioniakusto (Li-ion), jonka voi ladata Bombardier-yhtiön valmistamalla Primover-induktiolatausjärjestelmällä sekä pistokelatauksella. Ajoneuvo on 9,7 metriä pitkä, jonka paino ilman matkustajia on 11 420 kg ja matkustajakapasiteetti on 55, joista 17 on istumapaikkoja. (Primove 2015.)

Taulukko 14. Van Hool –sähköbussin tekniset tiedot (Primove 2015).

Malli	Van Hool
Mitat (P/L/K)	9,65/2,95/3,4 m
Paino	11420 kg
Matkustajakapasiteetti	55 (joista 17 istumapaikkoja)
Akkutyyppe	Li-ion
Akuston kapasiteetti	36 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke Induktio
Teho	160 kW



Kuva 14. Van Hool A308-EV –sähköbussi (Van Hool 2016).

5.13 VDL

VDL Bus & Coach on alankomaalainen yritys, joka on yksi Euroopan suurimmista linja-autovalmistajista. Valmistajan ainoa täyssähköbussi on Citea Low Floor Electric (kuva 15). Se on 12 metriä pitkä sähköbussi, johon voi itse valita akuston käyttötarpeen mukaan. Pienimmän akkukoon valittaessa matkustajakapasiteetti voi nousta yhtiön mukaan jopa sataan henkilöön. Myös latausjärjestelmissä on useita vaihtoehtoja valittavana. Asiakas voi valita latausjärjestelmäksi pistokelatauksen, virroitinlatauksen, induktiolatauksen tai näiden yhdistelmiä. (VDL 2016.)

Taulukko 15. VDL Citea Low Floor Electric –sähköbussin tekniset tiedot (VDL 2016).

Malli	Citea
Mitat (P/L/K)	12/2,55/3,12 m
Paino	n. 11355 kg
Matkustajakapasiteetti	n. 100
Toimintasäde max.	yli 200 km
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin Induktio



Kuva 15. VDL Citea Low Floor Electric –sähköbussi (VDL 2016).

5.14 Volvo

Ruotsalaisen autovalmistaja Volvon ainoa sähköbussi on Volvo 7900 Electric (kuva 16). Linja-autossa on litiumioniakusto (Li-ion), jonka yhteiskapasiteetti on 76 kWh. Akut voi ladata virroitinlatauksella, joka mahdollistaa akkujen täytön jopa 6 minuutissa. Bussin pituus on 12 m, leveys 2,55 m ja korkeus 3,28 m. Painoa tyhjänä ei kerrota, mutta suurin sallittu paino on 19 000 kg. Volvon 7900 sähköbussia on myyty jo yli 2200 kappaletta ympäri maailmaa. (Volvo 2016.)

Taulukko 16. Volvo 7900 Electric –sähköbussin tekniset tiedot (Volvo 2016).

Malli	7900
Mitat (P/L/K)	12/2,55/3,28 m
Suurin sallittu paino	19 000 kg
Matkustajakapasiteetti	105 (joista 34 istu- mapaikkoja)
Akkutyyppe	Li-ion
Akuston kapasiteetti	4 x 19 kWh
Latausjärjestelmä	Pistoke Virroitin
Teho	160 kW
Vääntö	400 Nm



Kuva 16. Volvo 7900 Electric –sähköbussi (Icomera 2015).

6 SÄHKÖBUSSIT SUOMESSA

Muutamit suuremmat kaupungit Suomessa ovat alkaneet sähköistää kaupunkiseudun bussiliikennettä. Tähän asti sähköbussuja on käytetty Suomessa lähinnä kokeiluluontoisesti kokonaisen linjan liikennöintiä sähköbussuilla ole toteutettu kuin Espoossa yhdellä linjalla. Vuoden 2016 aikana Helsingin Seudun Liikenne, Turun seudun joukkoliikenne ja Tampereen kaupunkiliikenne laitokset ottavat käyttöön kokonaan sähköistettyjä bussilinjoja. (HSL 2015; Tampere 2015; Föli 2015.)

6.1 Helsinki

Tähän mennessä Espoon linjalla 11 Tapiolan ja Friisilänaukion välillä on liikennöinyt vuodesta 2012 asti viisi eri sähköbussia. Linjalla on kulkenut VDL Citea Electric, Caetano EL2500, Ebusco sekä BYD valmistajan malleja. (Tekes 2014.)

Helsingin Seudun Liikenne (HSL) ostaa suomalaiselta Linkker Oy:ltä 12 sähköbussia, joista osa sijoitetaan Espoon 11 linjalle ja osa myös Helsingin linjoille. Sähköbussit ovat osana HSL:n strategista tavoitetta lisätä vähäpäästöisen liikenteen osuutta joukkoliikenteessä. Vuonna 2020 HSL:n tilaamasta bussiliikenteen kalustosta tulee sähköbussuja olla kymmenen prosenttia ja vuonna 2025 kolmekymmentä prosenttia. (HSL 2015.)

Linkker-bussin latauslaitteen Espoon linjalle on kustantanut Espoon kaupunki. Espoo on myös varannut viisi miljoonaa euroa sähköbussiliikenteen kehittämiseen. Linjan 11 pääte pysäkillä asennettavasta pikalatauspisteestä vastaa Fortum. Kun Espoon metro valmistuu niin valtaosa eteläisen Espoon bussireiteistä muuttuu syöttölinjoiksi metroasemille. Espoon kestävä kehityksen johtaja Pasi Laitila sanoo, että ”jos sähköbussi voittaa HSL:n kilpailutuksen Matinkylän metron liityntäliikenteestä, Espoo on valmis järjestämään bussille latauspisteen liikenteen alusta lähtien. Matinkylän terminaalin lisäksi Espoo kaavaillee uusia latauspisteitä muun muassa Tapiolan ja Espoonlahden terminaaleihin.” (HSL 2015.)

6.2 Tampere

Tampereen kaupunkiliikenne laitos (TKL) alkaa liikennöidä vuoden 2016 aikana yhtä bussilinjaa sähköbussilla. Hankittavasta sähköbussijärjestelmästä tehtiin avoin kilpailutus, johon osallistui Linkker Oy, Solaris Bus & Coach S.A ja Volvo Finland Ab. Sähköbussijärjestelmän toimittajaksi valittiin puolalainen Solaris Bus & Coach S.A. (Tampere 2015.)

Linjalle hankitaan yksi pikalatausasema, neljä sähköbussia sekä neljä varikolle sijoitettavaa hidaslatauspistettä eli niin sanottua yön yli –latauspistettä. Busseista on tehty viiden vuoden leasing-sopimus. Hankintaan kuuluu myös optiona 1-2 lisäautoa sekä mahdollisuus autojen lunastukseen leasing-jakson jälkeen. Tampereen kaupunki ostaa automaattisen pikalatausaseman sekä varikolle sijoitetut hidaslatauspisteet omaksi. (Tampere 2015.)

Sähköbussuja ladataan varikolla hidaslatauksella, kun ne ovat säilytyksessä. Liikennöidessä akkujen varaustasoa ylläpidetään muutamien minuuttien pituisilla päätepysäkilatauksilla pikalatauksella. Sähköbussit liikennöivät linjalla 2 välillä Pyyrikintori-Rauhaniemi. TKL:n tavoitteena on ottaa bussit käyttöön vuoden 2016 loppupuolella. Sähköbussilinja on tärkeä hankinta tulevaisuuden kannalta, sillä se tulee toimimaan myös älyliikenteen innovaatioalustana. (Tampere 2015.)

Vuonna 2014 Tampereen kaupunki on luonut sähköisen liikenteen toimenpidesuunnitelman, jonka osana on yhden bussilinjan sähköistäminen. Toimenpidesuunnitelman tavoitteena on muun muassa ilmastotavoitteiden toteuttaminen sähköistä liikennettä edistämällä. Tampereen sähköbussijärjestelmän hankinta on osana Tekesin Huippuosajat –ohjelman rahoittamaa Sähköisen liikenteen ratkaisut –projektia. (Tampere 2015.)

6.3 Turku

Turun kaupunkiseudun joukkoliikenne Föli ottaa ensimmäiset täyssähköbussit käyttöön vuoden 2016 syksyllä. Suunnitelmien mukaan liikennöinti alkaa lokakuussa 2016. Sähköbussit tulevat liikennöimään linjalla 1, välillä Satama-Kauppatori-Lentoasema. Linjalle tulee kuusi sähköbussia, jotka toimittaa suomalainen Linkker Oy. Turku Energia raken-

taa pikalatausasemat satamaan ja lentoasemalle. Turku Energia toimittaa myös liikennöitsijän varikolle asennettavat bussien yönaikaiset latauslaitteet. Sopimus sisältää bussien ja latauslaitteiden huoltosopimuksen seitsemän vuoden ajalle. Latausjärjestelmän hankinnan kokonaisarvo on noin 3,8 miljoonaa euroa. Työ- ja elinkeinoministeriö on myöntänyt hankinnalle investointitukea noin miljoona euroa. (Föli 2015.)

Turun kaupungin strategisena tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2040. Jotta tavoitteet saavutetaan, tulee kaupungin lisätä sähköisen kaluston osuutta sekä julkisessa liikenteessä että ostopalveluissa (taksit, kuljetuspalvelut). (Föli 2015.)

7 LOPUKSI

Työn tavoitteena oli tutustua sähköbussien toimintaan ja niiden valmistajiin. Tarkoituksen oli tuoda esiin sähköbussien toimintaan liittyviä ominaisuuksia ja vaihtoehtoja sekä saada mahdollisimman kattava kuvaus sähköbussien valmistajista Euroopassa. Työssä keskityttiin lähinnä eurooppalaisiin valmistajiin, sillä esimerkiksi Aasiasta löytyy varmasti paljon pieniä sähköbussien valmistajia, joiden markkinat eivät ylety Eurooppaan asti. Tarkastelun alla oli myös Suomen kaupunkien sähköbussihankkeet.

Sähkö tulee yleistymään tulevaisuudessa ajoneuvojen voimanlähteenä. Huoli planeettamme hyvinvoinnista ja ilmastonmuutoksen tuomista ongelmista pakottaa meidät etsimään vaihtoehtoja fossiilisten polttoaineiden käyttämiselle. Sähkömoottorin hyvä hyötysuhde polttomoottoriin verrattuna on jo itsessään houkutteleva näkökulma. Sähkömoottorilla kuljettaessa saman matkan kulkemiseen tarvitaan huomattavasti vähemmän energiaa kuin polttomoottorilla kuljettaessa. Kokonaispäästöjä katsottaessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon tapa, jolla sähkö on tuotettu.

Sähkön lisäksi on olemassa muitakin ympäristöystävällisiä ajoneuvojen polttoaineita, joita tutkitaan ja kehitetään parhaillaan. Hyviä vaihtoehtoja ovat erilaiset biopolttoaineet, kuten biokaasu, biodiesel, etanoli ja metanoli.

Yksi suuri huoli sähköisten ajoneuvojen kohdalla ollut akkujen riittävyys. Kaupunkiliikenteessä tarkkaan suunnitelluilla reiteillä pienen akuston ja virroitin latausjärjestelmän yhteistoiminta on toimiva ratkaisu. Bussin ei tarvitse seisoa pitkiä aikoja latauksessa, akusto ei vie suuria määriä matkustustilaa eikä tuo suurta lisäpainoa.

Työn suurimmat haasteet olivat sähköbussien valmistajien etsiminen ja mallien teknisten tietojen puute valmistajien sivustoilla. Ei ollut mitään sivustoa, josta löytyisi kaikki sähköbussien valmistajat vaan tieto piti hakea monien eri sivustojen ja uutislähteiden kautta. Lisäksi monien valmistajien kotisivuilta ei löytynyt mallien teknisiä tietoja, joten luotettavaa tietoa piti etsiä muiden sivujen ja julkaisujen kautta. Suurin osa informaatiosta löytyi vierailta kielillä. Monien valmistajien sivuilla jopa englanninkielinen teksti oli vähäistä ja suurin osa informaatiosta esiintyi paikallisella kielellä.

Työn tekeminen avarsi paljon näkemystä sähköbusseista, niiden valmistajista ja markkinoista. Oli yllättävää, kuinka paljon valmistajia jo pelkästään Euroopassa on tällä hetkellä

ja kuinka monessa maassa sähköbussit jo liikennöivät. Myös Suomen suurimpien kaupunkien aktiivinen osallistuminen bussilinjojen sähköistämiseen tuli positiivisena yllätyksenä. Sähköbussien määrät varmasti lisääntyvät, kun kaupunkien pikalatausverkot valmistuvat ja luodaan toimiva infrastruktuuri tukemaan sähköbussien sujuvaa liikennöintiä.

LÄHTEET

- Avem 2010. Gepebus Oreos 4x. Viitattu 28.4.2016 http://www.avem.fr/index.php?page=bus&cat=bus_det&id=8
- Battery University 2016a. BU-204: How so Lithium Batteries Work? Viitattu 22.5.2016 http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- Battery University 2016b. BU-205. Types of Lithium-ion. Viitattu 22.5.2016 http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- Battery University 2016c. BU-412 Charging without wires. Viitattu 27.4.2016 http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_without_wires
- Battery University 2016d. BU-206 Lithium-polymer: Substance or Hype? Viitattu 22.5.2016 http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype
- BYD 2016. Specifications. Viitattu 28.4.2016. <http://www.bydeurope.com/> > Products & Services > BYD ebus.
- CaetanoBus 2010. Caetano Cobus 2500 EL. Viitattu 28.4.2016 <http://www.caetanobus.pt/> > Products > Electrical product.
- CHAdEMO 2013. CaetanoBus/Efacec Cobus EL. Viitattu 28.4.2016 http://www.chademo.com/wp/wp-content/uploads/2013/02/3.Presentation_EFACEC.pdf
- Electro Mobility 2016. Bussivalmistajat valmistelevat eurooppalaista latausstandardia. Viitattu 12.5.2016 <http://www.electromobility.fi/2016/03/bussivalmistajat-valmistelevat.html>
- Emoss. EMOSS wireless e-Bus 12 meter. Viitattu 28.4.2016 <http://www.emoss.biz/electric-bus/emoss-e-bus-12-meter/>
- EU 2014. Energia. Viitattu 20.4.2016 http://europa.eu/pol/ener/index_fi.htm
- Föli. Ensimmäiset sähköbussit Turkuun syksyllä. Viitattu 4.5.2016 <http://www.foli.fi/fi/ensimm%C3%A4iset-s%C3%A4hk%C3%B6bussit-turkuun-syksyll%C3%A4>
- HSL 2015. Ensimmäiset pikaladattavat Linkker-sähköbussit lähtevät pian liikenteeseen. Viitattu 8.5.2016 <https://www.hsl.fi/uutiset/2015/ensimmais-et-pikaladattavat-linkker-sahkobussit-lahtevat-pian-liikenteeseen-7684>
- HSY 2015. Ilmansaasteiden terveysriskit teiden ja katujen varsilla. Viitattu 20.4.2016 https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/2_2015_Ilmansaasteiden_terveysriskit_teiden_ja_katujen_varsilla.pdf
- Icomera 2015. Volvo's first electric buses hit Gothenburg. Viitattu 13.5.2016 <http://www.icomera.com/volvos-first-electric-buses-hit-gothenburg/>
- Irizar 2016. Irizar i2e catalogue. Viitattu 28.4.2016 <http://www.irizar.com> > Buses and Coaches > Irizar i2e > Catalogue
- Karvonen, V. 2014. Linja-autoliikenteen uudet teknologiat ja polttoaineet. Viitattu 27.4.2016 http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/574/Veikko_Karvonen_-_Linja-autoliikenteen_uudet_teknologiat_ja_polttoaineet.pdf
- Kukkonen, S. 2014. Sähköbusseille haussa yleiskäyttöinen latausstandardi. Viitattu 16.5.2016 <http://www.electromobility.fi/2014/11/sahkobusseille-haussa-yleiskayttoinen.html>

Kuopion Energia 2014. Bussi on henkilöautoa helpompi sähköistämiskohde. Viitattu 24.4.2016 <https://www.sahkoviesti.fi/energiatehokkuus/bussi-on-henkiloautoa-helpompi-sahkoistamis-kohde.html>

Linkker. Solutions. Viitattu 28.4.2016 <http://www.linkkerbus.com> > Solutions

Motiva 2013. Akut. Viitattu 27.4.2016 http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/va-litse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut

Motiva 2015a. Vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön. Viitattu 20.4.2016 http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/vaikutukset_ihmisiin_ja_ymparistoon

Motiva 2015b. Liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt. Viitattu 20.4.2016 http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/liikenteen_energiankulu-tus_ja_pakokaasupaastot

Mäkinen, J. 2015. Kaupunkien bussiliikenteen tulevaisuus: pienemmät akut ja automaattinen päätepyssäkilataus Viitattu 24.4.2016 <http://www.electromobility.fi/2015/10/kaupunkien-bussiliikenteen-tulevaisuus.html>

Nordic Energy 2013. Range & Performance of Electric Vehicles in Nordic Driving Conditions. Viitattu 16.5.2016 http://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2012/03/Poster_RekkE-Vidde.pdf

PPMC 2015. EBUSCO: Zero-emission Public Transport. Viitattu 28.4.2016 <http://ppmc-cop21.org/ebusco-zero-emission-public-transport/>

Primove 2015. Pimove e-bus. Viitattu 30.4.2016 http://primove.bombardier.com/fileadmin/primove/content/MEDIA/Publications/BT_PRIMOVE_Datasheet_2015_Bruges_110dpi.pdf

PVI 2016. The electric buses Oreos. Viitattu 28.4.2016 <http://pvi.nouveauxterritoires.fr/IMG/pdf/PVI-OREOS-electric-buses-web-en.pdf>

PV Magazine 2015. FIAMM: Sodium batteries, applications and advantages of environmentally friendly and efficient technology. Viitattu 16.5.2016 http://www.pv-magazine.com/services/press-releases/details/beitrag/fiamm--sodium-batteries--applications-and-advantages-of-environmentally-friendly-and-efficient-technology_100018722/#axzz48fMcF5Ac

Scania 2014. Wirelessly charged city bus tested for the first time in Sweden. Viitattu 12.5.2016 <http://www.scania.com/group/en/wirelessly-charged-city-bus-tested-for-the-first-time-in-sweden/>

Siemens 2013. Wiener linien electric bus. Viitattu 29.4.2016 <http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2013/infrastructure-cities/2013-03-uitp-pk/background-ebus-wiener-linien-e.pdf>

Siemens 2015. Volvo busse und Siemens kooperieren bei Elektrobussystemen. Viitattu 12.5.2016 http://w5.siemens.com/web/at/de/corporate/portal/presse/presseinformationen/presse/pages/volvo_e_busse.aspx

Skoda HE 2016. Electrobus Skoda HE Perun. Viitattu 29.4.2016 <http://www.skoda.cz/en/products/electric-and-hybrid-buses/electrobus-skoda-he-perun/>

Skoda HP 2016. Electrobus Skoda HP Perun. Viitattu 29.4.2016 <http://www.skoda.cz/en/products/electric-and-hybrid-buses/electrobus-skoda-hp-perun/>

Solaris 2014. Urbino electric. Viitattu 29.4.2016 <http://solarisbus.com/> > Vehicles > Urbino Electric > Catalog

Tampere 2015. Tampereen kaupungin sähköbussijärjestelmän hankintapäätös on tehty. Viitattu 8.5.2016 http://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2015/10/27102015_81.html

Tekes 2014. Espoon sähköbussitesti ainutlaatuinen koko maailmassa. Viitattu 8.5.2016 <http://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2014/eve-uutiset/espoo-sahkobussitesti-ainutlaatuinen-koko-maailmassa/>

Temsa 2016. MD9 electriCITY. Viitattu 29.4.2016 <http://www.temsa.com/> > Product Portfolio > MD9 electriCITY > Technical Specifications

Trafi 2014. Liikenteen päästöt ilmaan. Viitattu 20.4.2016 http://www.trafi.fi/tietopalvelut/analyysitoiminta/indikaattorit/ymparistoindikaattorit/liikenteen_paastot_ilmaan#kasvi

Van Hool 2016. A308 (electric). Viitattu 23.5.2016 <http://www.vanhool.be/ENG/openbaar%20vervoer/elektrisch/a308e.html>

VDL 2016. Citea Low Floor Electric. Viitattu 30.4.2016 <http://www.vdlbuscoach.com/> >Tuotteet > Julkinen liikenne > Citea > Mallisto > Citea Low Floor Electric

Volvo 2016. Volvo 7900 Electric brochure. Viitattu 30.4.2016 http://electric.volvobuses.com/pdf/Volvo_7900_Electric_Brochure_EN.pdf

VTT 2014. Suomen tieliikenteen päästöjen kehitys. Viitattu 20.4.2016 <http://lipasto.vtt.fi/liisa/ai-kasarja.htm>