LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Aleksi Oikkonen

Raskaanliikenteen sähköistyminen ja sen vaikutukset sähkönjakeluverkkoon

Työn tarkastajat: Apulaisprof. Jukka Lassila

TkT Juha Haakana

Työn ohjaaja: DI Mika Suomi

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Aleksi Oikkonen

Raskaanliikenteen sähköistyminen ja sen vaikutukset sähkönjakeluverkkoon

Diplomityö
2022
78 sivua, 33 kuvaa, 23 taulukkoa ja 6 liitettä

Työn tarkastajat: Apulaisprof. Jukka Lassila
TkT Juha Haakana
Työn ohjaaja: DI Mika Suomi

Hakusanat: raskasliikenne, sähköauto, liikenne, sähkönjakeluverkot, lataus

Ilmastonmuutoksen hillitseminen vaatii toimenpiteitä, joista yksi on liikenteen sähköistäminen. Suuri osa liikenteen aiheuttamista päästöistä syntyy raskaasta liikenteestä, jolloin myös raskaanliikenteen päästöjä tulee pienentää. Raskaan liikenteen päästöjä voidaan pienentää sähköistämällä ajoneuvoja. Laajamittainen raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa vaikutuksia sähkönjakeluverkkoon, jonka vuoksi niitä tulee tarkastella.

Tässä diplomityössä tarkastellaan raskaan liikenteen sähköistymistä ja sen vaikutuksia sähkönjakeluverkkoon. Kuormituksen kasvua simuloidaan verkkotietojärjestelmässä työssä muodostettujen kuormituskäyrien avulla, jotka perustuvat tehtyihin tutkimuksiin, sekä liikennetutkimuksiin ja olettamuksiin. Työssä myös esitetään keinoja, jolla verkostovaikutuksia on mahdollista pienentää.

Työn tulosten perusteella raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa merkittäviä verkostovaikutuksia sähkönjakeluverkkoon ja tulevaisuudessa raskaanliikenteen sähköistyminen tulee ottaa huomioon verkonsuunnittelussa.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Aleksi Oikkonen

Electrification of heavy transport and its effects on the electricity distribution network

Master's Thesis

2022

78 pages, 33 figures, 23 tables and 6 appendixes

Examiners: Associate Prof. Jukka Lassila

D.Sc. (Tech.) Juha Haakana

Supervisor: M.Sc. Mika Suomi

Keywords: Heavy traffic, Electric vehicle, traffic, Electricity distribution networks, charging

Mitigating climate change requires measures, one of which is the electrification of transport. Much of the emissions caused by traffic are generated by heavy traffic, which means that emissions from heavy traffic must also be reduced. Emissions from heavy traffic can be reduced by electrifying vehicles. The large-scale electrification of heavy transport is having an impact on the electricity distribution network and should therefore be considered.

This thesis examines the electrification of heavy traffic and its effects on the electricity distribution network. The increase in load is simulated in the network information system using load curves which is generated in the work, which are based on studies, traffic studies and assumptions. The paper also presents ways to reduce network impacts.

Based on the results of the work, the electrification of heavy traffic will cause significant network effects on the electricity distribution network, and in the future the electrification of heavy traffic must be taken into account in network design.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön tilaajana toimi Caruna Oy. Työ on tehty talven 2021–2022 aikana. Työssä käsitellään raskaanliikenteen sähköistymistä ja sen vaikutusta sähkönjakeluverkkoon.

Haluan kiittää Caruna Oy:tä mahdollisuudesta saada tehdä diplomityön heille. Erityisesti haluan kiittää Mika Suomea työnohjaamisesta ja hänen antamasta mahdollisuudesta tehdä työ juuri tästä mielenkiintoisesta aiheesta. Tämä lisäksi haluan kiittää Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston koko henkilökuntaa ja erityisesti työn ohjaajiani Jukka Lassilaa ja Juha Haakanaa.

Lisäksi haluan erityisesti kiittää puolisoani Vilmaa, perhettä ja opiskelukavereitani tuestanne ja opiskeluiden mahdollistamisesta.

Tuusulassa 15.4.2022

Aleksi Oikkonen

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET 7

1 JOHDANTO 8

1.1 Työn tavoite ja tutkimusmenetelmät 9

1.2 Caruna 9

2 LIIKENTEEN SÄHKÖISTYMINEN 11

2.1 Sähköautot 11

2.2 Taustaa liikenteen sähköistymiselle 11

3 RASKASLIIKENNE 15

3.1 Ajoneuvoluokat 15

3.2 Raskaanliikenteen sähköistymisen tilanne 15

3.3 Raskaanliikenteen sähköistymisen haasteet 18

3.4 Raskaanliikenteen sähköistymisen tulevaisuus 19

3.5 Raskaanliikenteen liikennöinti 27

3.5.1 Linja-autoliikenne 29

3.5.2 Tavaraliikenne 30

4 AKKUJA LATAUSTEKNOLOGIAN NYKYTILA JA TULEVAISUUS 34

4.1 Linja-auto 35

4.1.1 Linja-autojen akkuteknologia 35

4.1.2 Linja-autojen latausteknologia 36

4.2 Kuorma-auto 39

4.2.1 Kuorma-autojen akkuteknologia 39

4.2.2 Kuorma-autojen latausteknologia 41

4.3 Akku ja lataus teknologioiden tulevaisuus 43

5 RASKAANLIIKENTEEN AIHEUTTAMIEN VAIKUTUSTEN ANALYSOINTI 45

5.1 Kuormitusprofiilien rakentaminen 45

5.1.1 Lataustehojen määritys 48

5.2 Simulointi menetelmät kuormituksen kasvulle 49

5.3 Simuloitava verkko 49

5.4 Sähköisen raskaanliikenteen kuormitusvaikutukset 50

5.4.1 Johtolähtö KUM B02 50

5.4.2 Johtolähtö SNV J05 55
5.4.3 Johtolähtö LAE- J16 60
5.4.4 Johtolähtö VRL J26 64
5.5 Verkostovaikutusten simulointi 68
6 RASKAANLIIKENTEEN AIHEUTTAMAT VERKOSTOVAIKUTUKSET .. 69
6.1 Ensimmäinen johtolähtö 69
6.2 Toinen johtolähtö 70
6.3 Kolmas johtolähtö 70
6.4 Neljäs johtolähtö 71
7 RATKAISUT VERKOSTOVAIKUTUSTEN MINIMOIMISEKSI 73
8 JOHTOPÄÄTÖKSET 75
9 YHTEENVETO 77
LÄHDELUETTELO 78

LIITTEET

LIITE I: Raskaan liikenteen jakautumien eri tietyypeille
LIITE II: Raskaat kuorma-autot
LIITE III: Keskiraskaiden kuorma-autojen tiekohtaiset ajomäärät
LIITE IV: Linja-Autojen tiekohtainen ajosuorite vuorokaudessa.
LIITEV: Pakettiautojen tiekohtainen ajosuorite vuorokaudessa.
LIITE VI: Keskimääräiset ajomatkat vuorokaudessa kaikilla ajoneuvoilla

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

lyhenteet

EU	Euroopan Unioni
IPCC	Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli
T&E	Transport & Environment
CO2	Hiilidioksidi
LNG	Nesteytetty bio- ja maakaasu
milj.km	Miljoonaa kilometriä
mrd. €	Miljardia euroa
t	Tonnia

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on saanut yhteiskunnan poliittiset päättäjät pohtimaan, kuinka päästöjä voidaan laskea, jotta ilmastonmuutosta voidaan hidastaa. Yksi merkittävistä päästöjen aiheuttajista on tieliikenne. Tieliikenteen päästöjä halutaan pienentää ja siitä syystä liikennevälineiden päästöjä laskea. Liikenteen päästöjä pienennetään vaihtamalla fossiiliset polttoaineet biopolttoaineiksi ja sähköistämällä ajoneuvoja. Suomessa 94 % kotimaan liikenteen päästöistä aiheutuu tieliikenteestä vuonna 2019 ja niistä 41 % päästöistä aiheutui paketti,- ja kuorma-autoista. Koska Suomi aikoo saada liikenteestä kasvihuonekaasupäästöt kokonaan pois vuoteen 2045 mennessä on liikennevälineiden päästöjä pudotettava. Päästötavoitteiden saavuttaminen vaatii, sekä vaihtoehtoisia polttoaineita, että liikenteen sähköistymistä. (Anderson, Jääskeläinen, Saarinen, Mänttäri & Honkanen 2020)

Monet raskaanliikenteen ajoneuvoja valmistavat yritykset ovat alkaneet valmistaa sähköisiä ajoneuvoja. Esimerkiksi Volvo on tuonut markkinoille täyssähköisiä kuorma-autoja sekä linja-autoja. Raskaanliikenteen kalustot ovat isoja ja kalliita, joten ne vaativat paljon voimaa ja suuren käyttöasteen. Raskasliikenne sähköistyy ja ajoneuvoja on ladattava. Koska raskaanliikenteen kuormat ovat suuria tarkoittaa se suurta energian tarvetta ja koska aikaa lataamiselle ei ole loputtomasti tarvitaan suuria lataustehoja. Asiasta sähkönjakeluyhtiön näkökulmasta hankalaa tekee se, että ajoneuvon pitää liikkua mahdollisimman paljon, jolloin lataus pitää olla mahdollisimman nopeaa. Jakeluverkko yhtiön näkökulmasta on siis tärkeä saada tieto siitä, milloin sähköistyminen tulee tapahtumaan ja missä, että osaavat varautua sen tulemiseen ja sen tuomiin vaikutuksiin. Oleellista jakeluyhtiön kannalta on myös tietää, miten raskaan liikenteen sähköistys tapahtuu ja millaisia latausjärjestelmiä markkinoille tulee, että voi varautua kuormiin joita verkkoon tulee kohdistumaan.

Raskasliikenne jaetaan työssä kolmeen eri alaluokkaan. Linja-auto liikenne, jakeluliikenne ja kaukoliikenne. Linja-auto liikenne tarkoittaa kaikkia joukkoliikenteen linja-autoja. Jakeluliikenne tarkoittaa lyhyitä matkoja tekeviä raskaita ajoneuvoja. Kaukoliikenne tarkoittaa pitkiä matkoja ja isoja kuormia kuljettavia raskaita ajoneuvoja. Tässä työssä ei perehdytä raskaiden työkoneiden sähköistymiseen, vaan työ keskittyy maanteillä liikkuviin ajoneuvoihin.

1.1 Työn tavoite ja tutkimusmenetelmät

Työn tavoitteena on analysoida sähköisen raskaanliikenteen kehittymistä ja sen aiheuttamia verkostovaikutuksia. Työssä erityisen kiinnostavaa on liikenteen kehityksen aikataulu ja millaisia vaikutuksia se aiheuttaa sähkönjakeluverkkoon. Lisäksi työn tavoitteena on löytää mahdollisia toimenpiteitä, joilla raskaan sähköisenliikenteen verkostovaikutukset olisivat mahdollista ratkaista mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Tutkimuksessa tehdään aluksi kirjallisuuskatsaus raskaanliikenteen sähköistymiseen ja analysoidaan sen mahdollisia kuormitusvaikutuksia, jonka jälkeen kuormitusvaikutuksia simuloidaan jakeluverkkoon Trimble NIS ohjelmalla. Simuloinnit tehdään erilaisille johtolähdöille, jotta saadaan mahdollisimman kattavasti erilaisia verkko-olosuhteita. Lopuksi kirjallisuuskatsauksen ja simuloinnin tuloksia analysoidaan, jonka perusteella etsitään mahdollisia ratkaisukeinoja, joilla verkostovaikutukset ovat kestettävissä mahdollisimman kustannustehokkaasti.

1.2 Caruna

Caruna on Suomessa toimiva sähkönjakeluverkkoyhtiö, jolla on yli 700 000 asiakasta Etelä-Lounais,- ja Länsi-Suomessa, Joensuussa, Koillismaalla sekä Satakunnassa. Carunan Sähköverkko luo pohjan tulevaisuuden energiajärjestelmälle, jossa digitaaliset palvelut lisääntyvät, liikenne sähköistyy ja kuluttajasta tulee energian tuottaja. Verkko on yli 88 000 kilometriä pitkä, se on noin 76 kertaa Suomen pituinen. (Caruna 2021)

Caruna on perustettu vuonna 2014, mutta Carunan tarina alkoi jo vuonna 1912 paikassa nimeltä Karuna, jossa uusi sähköyhtiö aloitti toimintansa. Carunalla tavoitellaan mahdollisimman toimitusvarmaa verkkoa ja verkkoon investoidaan jatkuvasti. Carunan asiakas voi esimerkiksi tuottaa sähkönsä itse ja myydä ylijäämäsähköä eteenpäin. (Caruna 2021)

Caruna koostuu kahdesta sähköverkkoyhtiöstä, jotka ovat rakenteeltaan hyvin erilaiset. Caruna Espoo Oy on kaupunkiyhtiö, jonka kaapelointiaste on korkea ja jolla on paljon asiakkaista jakamassa yhden verkkometrin kustannuksia. Caruna Oy taas toimii pääosin haja-asutusalueilla, missä ylläpidettävää, rakennettavaa ja kunnostettavaa verkko omaisuutta on paljon. Tässä työssä käsitellään kuitenkin Carunaa yhtenä kokonaisuutena. Carunalla

työskentelee noin 300 henkilöä ja välillisesti se työllistää yli tuhat henkilöä eri puolilla Suomea. Carunan toimintaa sääntelee Energiavirasto, joka valvoo kaikkea sähköverkkoliiketoimintaa Suomessa. Carunan omistavat suomalainen eläkevakuutusyhtiö Elo (7,5 %) sekä kansainväliset sijoittajat KKR (40 %), Ontario Teachers' (40 %) ja AMF (12,5 %). (Caruna 2021)

2 LIIKENTEEN SÄHKÖISTYMINEN

Liikenteen sähköistymisellä tarkoitettaan sähkökäyttöisten ajoneuvojen lisääntymistä. Perinteiset polttomoottori käyttöiset autot vähenevät ja sähköautot lisääntyvät. Tässä luvussa esitetään mitä liikenteen sähköistyminen tarkoittaa. Luvussa perehdytään kaikkeen sähköiseen liikenteeseen, että saadaan riittävä kuva raskaanliikenteen sähköistymisen tutkimiseen.

2.1 Sähköautot

Yleensä sähköautolla tarkoitetaan autoa, joka kulkee akustoon varastoidulla sähköenergialla. Sähköautoja on totuttu näkemään yleensä esimerkiksi postitoimistojen jakeluautoina ja pienissä määrin kaupunkien keskustoissa pieninä kaupunkisähköautoina. Ihmisten ympäristötietoisuuden lisääntymisen seurauksena politiikka on muuttunut vähäpäästöllisille autoille suotuisammaksi. Tämän takia kiinnostus sähköautoja kohtaan on lisääntynyt ja suuret autonvalmistajat ovat lisänneet merkittävästi sähköautoihin kohdistuvia tutkimuksia. Sähköautolla voidaan tarkoittaa hybridiautoa eli osittain sähköllä kulkevia autoja. Hybridiautossa on sähkömoottorin ja akkujen lisäksi polttomoottori, joka voidaan käynnistää, kun sähkömoottorin teho ei riitä tai akkujen varaus on vähissä. Hybridiautoa voidaan käyttää myös pelkällä akussa olevalla sähköenergialla niin kuin täysin sähköllä toimivaa sähköautoa. (Tikka 2010)

2.2 Taustaa liikenteen sähköistymiselle

Tiedetään, että maapallon ilmasto lämpenee. Ilmastonmuutoksen torjuminen on noussut koko ihmiskunnan kohtalonkysymykseksi. Mikäli maapallon keskilämpötila nousee paljon enemmän kuin 1,5 °C, on odotettavissa ennen näkemättömän laajaa inhimillistä kärsimystä. Mikäli Ilmaston keskilämpötilan nousu haluttaisiin saada pysymään lähelle 1,5°C. Tarvitaan todella nopeita ja radikaaleja päästöleikkauksia kaikilla yhteiskunnan sektoreilla. Globaalien hiilidioksidipäästöjen tulisi puolittua vuoteen 2030 mennessä ja nettonollapäästöt tulisi saavuttaa vuoden 2050 paikkeilla. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä tulisi luopua liikenteessä. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä ei ole mahdollista poistaa, jos liikenteessä käytetään fossiilista bensiiniä ja dieseliä. Nämä polttoaineita voidaan korvata monilla muilla käyttövoimilla kuten uusiutuvilla polttoaineilla ja sähköllä.

Tieliikenteen osuus kaikista liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä korostuu, koska EU:n päästövähennysvelvoitteet koskevat kotimaanliikenteen päästöjä. Kotimaanliikenteen päästöiksi lasketaan IPCC:n sääntöjen mukaisesti tieliikenteen, dieselkäyttöiset raideliikenteen ja kotimaan vesiliikenteen päästöt. Sähkökäyttöisen raide-, tie- ja vesiliikenteen päästöt lasketaan osaksi sähköntuotannon päästöjä. Noin 94 % kotimaanliikenteen päästöistä vuonna 2019 syntyi tieliikenteessä. Raideliikenteen osuus kotimaanliikenteen päästöistä oli alle yhden prosentin ja kotimaan vesiliikenteen osuus noin 4 %. Kotimaan lentoliikenteen osuus Suomen liikenteen päästöistä oli noin 2 %. Suomen kotimaanliikenteen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2019 olivat yhteensä noin 11,1 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Liikenteen päästöt vastaavat noin viidennestä Suomen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä, joka on noin 40 % ns. taakanjakosektorin päästöistä. (Anderson ym. 2020)

Suomessa tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2019 olivat yhteensä noin 10,54 miljoonaa tonnia. Tieliikenteen päästöistä noin 54 % aiheutui henkilöautoista, noin 41 % paketti- ja kuorma-autoista ja loput linja-autoista, moottoripyöristä ja muista liikennevälineitä. Kotimaanliikenne on suurin yksittäinen päästölähde taakanjakosektorilla Suomessa. Kotimaanliikenteen päästöt muodostavat noin 40 % koko taakanjakosektorin päästöistä.

Sanna Marinin hallitusohjelmassa on sanottu että, Suomen tulee olla hiilineutraali vuonna 2035. Liikenteen päästövähennystavoitteiden tulee vastata tähän tavoitteeseen. Suomessa vuosina 2018 ja 2019 toteutettujen skenaariotarkastelujen mukaan tämä tarkoittaa, että liikenteessä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt tulee poistaa kokonaan vuoteen 2045 mennessä. (Anderson ym. 2020)

Sähköinen liikenne kasvaa vauhdilla sekä Suomessa että ympärimaailman. Kyseessä on yksi keskeisimmistä liikennettä ja liikennejärjestelmää muokkaavista megatrendeistä. Suurin päästövähennyspotentiaali sähkön osalta liittyy sähköautoihin. Sähköautojen etuja ovat energiankäytön hyvä hyötysuhde, ajonaikainen päästöttömyys ja alhainen melutaso. Ihanteellisissa olosuhteissa akkusähköauton hyötysuhde on jopa 70 %, kun polttomoottoriauton luku parhaimmillaankin on alle 25 %. Sähköautoilla on siis merkittävä rooli paitsi liikenteen päästöjen, myös liikenteen energiankulutuksen pienentämisessä. (Anderson, et.al. 2020)

Suomessa sähköntuotannon CO2-päästöt ovat puolittuneet 10 vuodessa ja ovat jo nykyisellään varsin matalat noin 90–100 g/kWh. Päästökaupan sekä muiden toimen piteiden kuten esimerkiksi kivihiilen käyttökiellon ohjaamana päästöt tulevat edelleen pienenemään ja vuonna 2050 niiden arvioidaan olevan noin 40 g/kWh. Täyssähköajoneuvolla ajamisen laskennalliset päästöt Suomessa ovat sähköntuotannon tämänhetkisellä keskimääräisellä päästöllä laskettuna noin 15–20 g/km. Uusien Suomessa ensirekisteröityjen bensiini- ja dieselautojen päästöt ovat tällä hetkellä noin 167–181 g/km. (Anderson ym. 2020)

Sähkön riittävyys ei tule Suomessa aiheuttamaan rajoitteita sähköautojen yleistymiselle. Suomessa on asetettu tavoitteeksi sähköautomäärä 250 000 sähköautoa vuonna 2030. Tämä kuluttaisi sähköä alle 1 TWh. Se vastaa noin 1 % lisäystä sähkön vuosikulutuksessa. Koko henkilöautokannan sähköistäminen lisäisi sähköenergian kokonaiskulutusta arviolta 9–10 TWh vuodessa, joka vastaa noin 10 % sähkönkulutuksen lisäystä. Liikenteen sähköistäminen vähentäisi kuitenkin samalla liikenteen kokonaisenergiankulutusta merkittävästi. (Anderson ym. 2020)

Suomessa oli liikennekäytössä vuoden 2019 lopussa noin 12 600 linja-autoa, joista lähes 99 % oli dieselkäyttöisiä. Vaihtoehtoisten teknologioiden osuus liikennekäytössä olevista linja-autoista oli vuoden 2018 lopussa noin 0,9 %. Vuonna 2019 Suomessa ensirekisteröitiin kaikkiaan lähes 600 linja-autoa, joista 92 % oli dieselkäyttöisiä. Sähkökäyttöisiä linja-autoja rekisteröitiin kuitenkin ennätysmäärä, lähes 7 % kaikista uusista linja-autoista. Kuorma-autoja oli liikennekäytössä vuoden 2019 lopussa yhteensä noin 95100 kappaletta. (Anderson, ym. 2020)

Kuorma-autoista noin puolet on kokonaismassaltaan 3 500–12 000 kiloa ja puolet yli 12 000 kilon painoisia Ylivoimaisesti suurin osuus kuorma-autoliikenteen päästöistä syntyy nimenomaan raskaista ajoneuvoyhdistelmistä. Tämä on haaste kuorma-autojen päästövähennyksiä ajatellen, sillä suuret yhdistelmät ovat vaikeita sähköistää. (Anderson, et.al. 2020) Sähkö on siis kaikista energiatehokkain liikenteen käyttötapa. Kun sähkö on tuotettu puhtaasti, on sähköautot myös kaikista ympäristöystävällisempi.

Kuorma-autot muodostavat alle 2 % tien päällä olevista ajoneuvoista, mutta 22 % teiden hiilidioksidipäästöistä. Raskaiden hyötyajoneuvojen ilmastovaikutukset ovat yksi nopeimmin kasvavista ne ovat kasvaneet 9 % kolmen vuoden aikana. Kun EU:n uusien

raskaiden hyötyajoneuvojen CO2-päästöjen vähennystavoitteet tulevat voimaan ne lisäävät uusien ajoneuvojen sähköistämistä ja avaa uusia mahdollisuuksia EU:n teollisuudelle kompensoidakseen sähköautojen vallankumouksen myöhäistä alkua. Nykyään kaikki tärkeimmät eurooppalaiset kuorma-autojen valmistajat ovat alkaneet valmistaa sähkökuorma-autoja, mutta odotettuun tuotantoon liittyy epävarmuutta osittain siksi, että tällä hetkellä ei ole strategista lähestymistapaa sähköautojen lataukseen. (Transport & Environment 2020)

Päästöjä täytyy leikata, jotta ilmastonlämpeneminen pysyy alle 1,5°C. Sähköisellä liikenteellä saadaan pudotettua päästöjä todella paljon, sillä sähköinen liikenne ei ainoastaan laske CO2-päästöjä vaan se myös pienentää kokonaisenergian kulutusta. Niin kuin yllä on mainittu pelkästään henkilöautoliikenteen muuttaminen ei riitä päästöjen laskemiseksi, jonka vuoksi täytyy raskasta liikennettäkin muuttaa vähä päästöisemmäksi.

3 RASKASLIIKENNE

Tässä luvussa perehdytään raskaaseen liikenteeseen ja siihen missä vaiheessa sen sähköistyminen on tällä hetkellä ja miten sen arvellaan kehittyvän tulevaisuudessa. Raskaanliikenteen tämänhetkinen tilanne yleisesti, sekä sähköistymisen kannalta tulee tietää mahdollisimman tarkasti, että voi arvioida tulee mahdollisimman luotettavasti. Aluksi tarkastellaan raskaanliikenteen alaluokat ja mitä niillä tarkoitetaan. Sen jälkeen perehdytään, missä vaiheessa niiden sähköistys on tällä hetkellä ja lopuksi perehdytään, miten se mahdollisesti kehittyy tulevaisuudessa.

3.1 Ajoneuvoluokat

Linja-auto on henkilöiden kuljetukseen tarkoitettu auto, jossa on kuljettajan lisäksi tilaa useammalle kuin kahdeksalle henkilölle. Pienoislinja-auto, jossa on kuljettajan lisäksi tilaa enintään 22 matkustajalle. Nivellinja-auto on linja-auto, jossa on useampia pysyvästi toisiinsa nivellettyjä jäykkiäosia ja jossa matkustajat voivat liikkua vapaasti nivelletyistä osista toisiin nivelosan kautta. (Finlax 2021)

Jakeluliikenteellä tarkoitetaan lyhyitä matkoja ja pienempiä kuormia kuljettavia raskaita ajoneuvoja. Jakeluliikennettä on esimerkiksi jäteautot ja postipaketteja kuljettavat pienemmät ajoneuvot. Jakeluliikenteen autot ovat pienimmillään pakettiautoja ja suurimmillaan isoja rekkoja.

Kaukoliikenteellä tarkoitetaan pitkiä matkoja ja suuria kuormia kuljettavia ajoneuvoja. Kaukoliikenteessä etäisyydet ovat pitkiä ja kuormat painavia. Kaukoliikenne ja jakeluliikenne eroavat toisistaan, matkojen pituudessa ja kuormien määrässä. Kaukoliikenteen ajoneuvo vois esimerkiksi olla iso täysperävaunu kuorma-auto, joka vie Helsingistä Ouluun tavaraa.

3.2 Raskaanliikenteen sähköistymisen tilanne

Sähköistymistä on tapahtunut jo kaikissa ajoneuvo luokissa jonkin verran. Taulukossa 3.1 on esitetty linja-autojen määrät moottorityypeittäin. Taulukoissa 3.2 ja 3.3 on esitetty kuorma-autojen ja pakettiautojen määrät moottorityypeittäin.

Taulukko 3.1 Linja-autojen määrä (Autoalan tiedotuskeskus, 2021)

	Sähkö	Hybridi(kaikki)	Muu
2014	5 (0,04 %)	0	12441
2015	5 (0,04 %)	0	12450
2016	14 (0,13 %)	0	12457
2017	22 (0,17 %)	0	12601
2018	21 (0,17 %)	0	12460
2019	62 (0,50 %)	3 (0,02 %)	12515
2020	87 (0,88 %)	17 (0,17 %)	9859

Taulukossa 3.1 on esitetty Linja-autojen määrä liikenteessä vuoden lopussa vuodesta 2014 vuoteen 2020. Taulukossa nähdään miten täyssähkö, - ja hybridikäyttöiset linja-autot lisääntyvät koko ajan. Linja-autojen määrä on vuonna 2020 lopussa ollut alhainen, sillä koronan takia monet auto oli käyttämättä ja poistettu liikenteestä. Vuoden 2020 lopussa suomessa oli käytössä 87 sähkölinja-autoa, se on prosentuaalisesti pieni osuus koko ajoneuvokannasta, Mutta niiden prosentuaalinen osuus kasvaa jatkuvasti.

Taulukko 3.2 Kuorma-autojen määrät(Autoalan tiedotuskeskus, 2021)

	Sähkö	Hybridi	Muu
2014	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	95176
2015	1 (0,0 %)	0 (0,0 %)	95249
2016	1 (0,0 %)	0 (0,0 %)	94779
2017	1 (0,0 %)	0 (0,0 %)	95947
2018	2 (0,0 %)	0 (0,0 %)	96167
2019	2 (0,0 %)	0 (0,0 %)	95139
2020	7 (0,01 %)	22 (0,02 %)	95679

Taulukossa 3.2 on esitetty kuoma-autojen määrä vuoden lopussa vuodesta 2014 vuoteen 2020. Taulukosta voidaan nähdä, kuinka sähköiset kuorma-autot ovat lisääntyneet samoin kuin hybridi ajoneuvot, joita on enemmän kuin täyssähköisiä. Kuorma-autojen sähköistys

on kuitenkin vielä vähäistä ja kehitys vasta alussa. Kuorma-autoilla tarkoitetaan kaikkia raskaanliikenteen ajoneuvoja, jotka ovat tieliikenteessä, mutta eivät ole linja-autoja.

Taulukko 3.3 Pakettiautojen määrät vuoden lopussa (Autoalan tiedotuskeskus, 2021)

	Sähkö	Hybridi	Muu
2014	96 (0,03 %)	1 (0,0 %)	304158
2015	129 (0,04 %)	1 (0,0 %)	307576
2016	170 (0,05 %)	7 (0,0 %)	311199
2017	210 (0,07 %)	14 (0,0 %)	319236
2018	256 (0,08 %)	29 (0,01 %)	325371
2019	312 (0,09 %)	39 (0,01 %)	330320
2020	444 (0,13 %)	302 (0,09 %)	337629

Taulukossa 3.3 on esitetty pakettiautojen määrä vuodenlopussa vuodesta 2014 vuoteen. Taulukosta voidaan nähdä, että sähköiset ajoneuvot ovat lisääntyneet myös pakettiautojen luokassa. Vuoden 2020 lopussa täyssähköisiä pakettiautoja oli suomessa liikenteessä 444 kpl.

Tällä hetkellä raskaanliikenteen sähköistyminen on hyvin vähäistä, mutta kaikissa ajoneuvotyypeissä on selkeää kasvua. Taulukossa 3.4 on esitetty vuoden 2020 lopussa olleiden sähköisten ajoneuvojen osuu kaikista kyseisen ajoneuvotyypin ajoneuvoista prosentteina

Taulukossa 3.4 on esitetty sähköisten linja-autojen, kuorma-autojen ja pakettiautojen suhteellinen määrä koko ajoneuvotyypin määrästä. Luvut ovat esitetty prosentteina. taulukosta voidaan tulkita miten pieni osuus tällä hetkellä raskaista ajoneuvoista käyttää sähköä käyttövoimanaan. Taulukossa on esitetty täyssähköautojen määrä prosentteina koko autotyypin kannasta, sekä täyssähkö ja hybridiautojen yhteen laskettu prosenttimäärä koko ajoneuvotyypin kannasta.

Taulukko 3.4 Sähköisten ajoneuvojen prosenttiosuudet kaikista ajoneuvoista ajoneuvoluokittain

	Sähkö [%]	Sähkö+hybridi [%]
Linja-auto	0,88	1,05
Kuorma auto	0,01	0,03
Pakettiauto	0,13	0,22

Vuonna 2018 99 % kaikista sähkölinja-autoista oli Kiinassa. Vuonna 2018 Kiinassa oli käytössä yli 421000 sähkölinja-autoa. Ympäri maailman koko ajan tulee lisää sähköisiä linja-autoja Esimerkiksi Euroopassa sähköisten linja-autojen lisääntymistä kasvattaa vuonna 2019 Euroopan unionin asettamat päästö rajoitteet, jotka määrittelevät, että julkiseen liikenteeseen hankituista linja-autoista neljäsosa pitää olla hiilineutraaleja vuoteen 2025 mennessä. Monet Euroopan maat ovat asettaneet itselleen tiukempiakin vaatimuksia, liikenteen sähköistymisen osalta. Hollanti on Euroopassa kaikista eniten lisännyt sähköisiä linja-autoja. Myös monet kaupungit kuten Berliini ja Lontoo on määritellyt itselleen tiukempia tavoitteita liikenteen sähköistymiseen. (Ies-synergy 2021)

3.3 Raskaanliikenteen sähköistymisen haasteet

Raskaanliikenteen sähköistymisessä on monenlaisia haasteita. Tässä luvussa avataan hieman haasteita. Sähkökäyttöinen raskasajoneuvo on noin puolet kalliimpi kuin perinteinen diesel käyttöinen osto hinnaltaan. Akkujen toiminta säde on pieni raskaita kuormia kuljettaessa, joka hankaloittaa kuljetuksia, varsinkin kun kaikkialla ei ole tarjolla pikalatausta. Pikalatausverkon kattavuus on vielä epävarma, joka aiheuttaisi epävarmuutta myös kuljetuksiin. Akkujen lataus vaatii enemmän aikaa, kuin perinteisen diesel ajoneuvon tankkaus, joka aiheuttaa vaikutuksia esimerkiksi aikatauluihin. Raskaanliikenteen akut ovat paljon suurempia, joten niiden kehityksessä menee kauemmin aikaa, sen vuoksi niiden kehitysaste on vielä alhainen. Virta voitaisiin myös tuoda yläjohtimilla, mutta se lisäisi kuitenkin merkittävästi infrastruktuurikustannuksia ja lisäisi liikennejärjestelmän häiriöherkkyyttä sähkönjakelun katkostilanteissa. (Kalenoja 2021)

3.4 Raskaanliikenteen sähköistymisen tulevaisuus

Raskasliikenne on edellisinä vuosina selvästi sähköistynyt. Sähköistyminen on lisääntynyt lähivuosina kovemmin eikä sille ole näkyvissä loppua. Raskasliikenne tulee osittain sähköistymään ja tässä kohtaa perehdytään hieman millaisia skenaarioita raskaanliikenteen sähköistymisellä voisi olla.

Ilmastonmuutoksen torjumiseksi solmittiin vuonna 2016 Pariisin sopimus, jolla pyrittiin vähentämään kasvihuonekaasuja ilmakehässä, niin että keskimääräinen ilmaston lämpeneminen pysyy alle 2 °C:n sisällä esiteolliseen aikaan verrattuna. Yksi suurimmista kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista on kuljetusala, joka tuottaa lähes 25 % maailman kasvihuonekaasu päästöistä. Eri liikennemuodoista maantieliikenne aiheuttaa lähes 75 % liikenteen hiilidioksidipäästöistä. Tämän vuoksi tieliikenteen sähköistämisestä on tullut kriittinen asia hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Useat hallitukset ovat tehneet siirtymäsuunnitelmia liikenteen sähköistämiseksi vuoteen 2050 mennessä. Vuoden 2020 loppuun mennessä maailmanlaajuinen sähköajoneuvojen kanta oli noin 10 miljoonaa, joista kaksi kolmasosaa oli akkukäyttöisiä sähköajoneuvoja. Suurin osa näistä sähköautoista on kevyitä henkilöautoja, mutta hyötyajoneuvot muodostivat lähes 40 % maailmanlaajuisesti tieliikenteen CO2-päästöt vuonna 2015. Näin ollen hyötyajoneuvojen sähköistys on lupaava tapa pienentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä. (Bassam Iftekhar Daryoush Mohammad 2021)

Akkuteknologian kehitys on tehnyt sähkökäyttöisistä raskaista ajoneuvoista taloudellisesti kannattavia verrattuna diesel käyttöisiin ajoneuvoihin. Useat kuorma-autojen valmistajat, kuten DAF, Daimler, MAN, Navistar, Nikola, PACCAR, Volkswagen, Volvo, Tesla ovat ilmoittaneet merkittävistä suunnitelmistaan sähköistää raskaanliikenteen. Suurinta kehitystä tapahtuu keskiraskaiden kuorma-autojen sähköistämisessä, sillä niiden matkat ovat lyhyempi ja akun pienempiä, mutta monet valmistajat ovat kuittenkin julkaisseet suunnitelmia raskaiden kuorma-autojen sähköistämiseksi. Monet yrityksetkin ovat ilmoittaneet aikeista sähköistää oman kuljetuskaluston. (Bassam ym. 2021)

Raskassähköinenliikenne lisääntyy tulevaisuudessa koko ajan, esimerkiksi Kaliforniassa jäteautot olisi tarkoitus olla viidenvuodenpäästä sähköistetty kokonaan. (Ies-synergy, 2021). Suomessakin esimerkiksi Helsingin seudun liikenne on ilmoittanut että vuonna 2023 heidän

tilaamista liikenteen linja-autoista kolmannes on sähkölinja-autoja.(HSL, 2021)Suomessa esimerkiksi Kotka ja Imatra on ilmoittanut vaihtavansa kaikki paikallaisliikenteen vuorot lähitulevaisuudessa sähkölinja-autoihin. (Tillaeus 2021)

Kesällä 2020 Transport & Environment(T&E), julkaisi kolme mahdollista skenaariota kuorma-autoliikenteen sähköistymiselle Euroopassa. Sähkö Kuorma-autojen käyttöönotolle on analysoitu kolme erilaista skenaariota. Ensimmäinen on ”Industry-Baseline", joka on autoteollisuus alan perusskenaario. Toinen skenario on "EV-Leaders", joka perustuu joidenkin kuorma-auto valmistajien ilmoittamiin suunnitelmiin. Kolmas skenaario on Road-2-Zero, T&E:n tekemä skenaario, jolla saavutettaisiin ilmasto neutraalisuus vuosisadan puoliväliin mennessä. Kaksi jälkimmäistä skenaariota perustuvat teollisuuden perusskenaariota vahvempaan sähköautojen käyttöönotto kaupunkien solmukohdissa, mikä on seurausta päästöttömästä kaupunki rahtistrategiasta. (Transport & Environment 2020)

Taulukko 3.5 T&E arvioimat skenaariot (Transport & Environment 2020)

	Baseline	Ev-Leader	Road-2-zero
Osuus myynnistä vuonna 2025	1.3 (%)	5 (%)	10 (%)
Osuus myynnistä vuonna 2030	15 (%)	20 (%)	30 (%)
Sähkö kuorma-autojen määrä Vuonna 2030	191000	316000	526000

Taulukosta 3.5 nähdään Sähkökuorma-autojen myynnin osuus kaikista myydyistä kuorma-autoista vuosien 2025 ja 2030 aikana, sekä sähköisten kuorma-autojen kokonaismäärä vuonna 2030.

T&E mallinsi raportissaan latausinfrastruktuurin käyttöönottotarpeita kaupunkialueilla, jotta tarvittava sähköinen kuljetuskalusto on mahdollista ottaa käyttöön. Latausinfrastruktuurin käyttöönotto 173 kaupunki liikenteen solmussa on osoittautunut kustannustehokaimmaksi strategiaksi, kun sähköautot kattavat 9 %, 14 % ja 24 % EU:n maanteiden tavaraliikenteen kokonaistoiminasta vuonna 2030 Industry-Baseline-, EV-Leaders- ja Road-2-Zero -skenaarioissa. Seurauksena teiden CO2-päästöt tavaraliikenteen osalta vähenisivät 8 %, 13 % ja jopa 22 % vuonna 2030. T&E on laskenut, että vuonna 2030 kohdelatureita pitäisi olla

yhteensä 27 500 jakelukeskus ja 14 400 julkista laturia EU:ssa Road-2-Zero -skenaariossa. Tämä tarkoittaa, että tarvitaan noin yksi kohdelaturi jokaista 15 sähköautoa ja yksi julkinen laturi jokaista 30 sähköautoa kohti. Kohde- ja julkisten latureiden kumulatiivinen kokonaisinvestoinnin arvo on 28 mrd. € seuraavan vuosikymmenen aikana Road-2-Zero -skenaariossa. Keskimääräinen vuotuinen investointi on silloin 2,8 mrd. €, mikä on vain 2,8 % EU:n vuosittaisesta 100 mrd. €, joka investoidaan liikenteen infrastruktuuriin. Keskimäärin jokainen analysoidusta 173 kaupunkisolmusta tarvitsisi 1 700 tukikohtalaturia, 90 kohdelaturit ja 50 julkista laturia, suurimmissa kaupunkisolmuissa voisi olla 3 kertaa enemmän sähköautot ja laturit. Yhden kaupunkisolmun keskimääräinen sähkönkulutus on 29–166 GWh vuodessa vuonna 2030 eli EU-tasolla yhteensä enintään 50 TWh eli 1,6 % nykyisestä kokonais- sähköntuotanto määrästä. (Transport & Environment 2020)

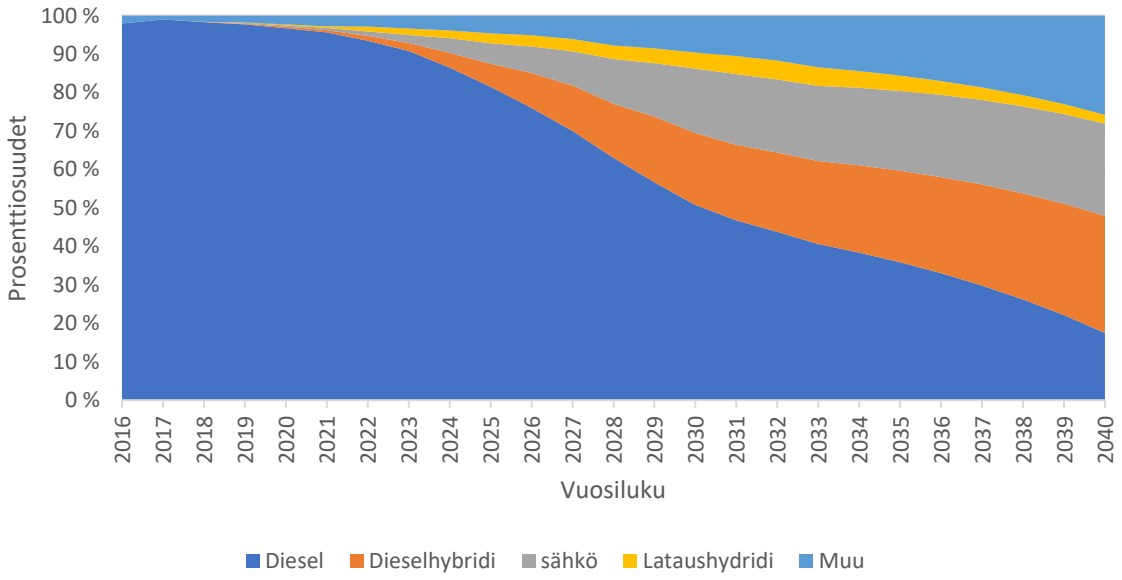
Oikeanlaisilla käytännöillä ja maksuinfrastruktuurilla maanteiden tavaraliikenteen hiilidioksidipäästöjä voitaisiin vähentää selkeästi 2020-luvulla. T&E:n raportti osoittaa, kuinka älykään infrastruktuurin käyttöönotto kaupungeissa voi määrittävä vaihe sähköautojen määrän kasvamiselle. Diesel- ja maakaasuautojen myynti lopetetaan asteittain viimeistään kuitenkin vuosien 2035–2040 aikana, jos EU haluaa noudattaa vihreää sopimusta ilmastoneutraaliudesta vuosisadan puoliväliin mennessä. Tämän tason hiilidioksidipäästöjen saavuttamiseksi tarvitaan useita lainsäädännöllisiä ja poliittisia muutoksia sekä sähköautojen tuotannon nopeuttamista ja latausinfrastruktuurin kiireellistä käyttöönotto ottaa varikolla (yön lataus), jakelukeskuksessa (kohdelataus) ja julkisesti saatavilla olevissa paikoissa (julkinen lataus). (Transport & Environment 2020)

Tieliikenteen tietokeskus on Julkaissut ”Paketti-, kuorma- ja linja-autojen tulevaisuuden käyttövoimat – tiekartta vuoteen 2040” dokumentin, jossa pohditaan autoilun tulevaisuutta vuoteen 2040. Tieliikenteen tietokeskus on käyttövoimatiekartassa laatinut ns. perusennusteen, jossa ensirekisteröityjen ajoneuvojen kehitys on nykytilanteen jatkumoa edustavan kehityksen kaltainen ja liikenteen verotus sekä hinnoittelu noudattavat nykyistä verotusta. Perusennusteessa vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen hankintaan ei ole oletettu kohdennettavan uusia hankintakannusteita tämänhetkisten lisäksi. (Kalenoja 2021)

Perusennusteen lisäksi on tutkittu liikenteen tiekarttana vaihtoehtoa, jossa on toteutettu autoalan ilmastostrategian mukaisista toimenpiteistä autoveron vaiheittainen poistaminen ja

erittäin vähäpäästöisten työsuhdeautojen verotusarvon alentaminen. Tieliikenteen tiekartassa päädytään vuosien 2030–2035 aikana merkittävästi suurempiin sähkö- ja kaasuautojen määriin, sillä autokannan nopeampi uudistuminen tuo autokantaan enemmän uusia autoja seuraavan vuosikymmenen aikana, jolloin käyttövoimamurros on suurimmillaan. Lisäksi vuosina 2020–2027 käytössä oleva erittäin vähäpäästöisten työsuhdeautojen kannustemalli lisää sähköautojen kysyntää ajanjaksolla, vaikka sähköautojen hankinta hinta polttomoottoriautoihin nähden on vielä korkeampi. (Kalenoja 2021)

Perusennusteen mukaan noin kolmannes ensirekisteröitävistä pakettiautoista olisi vuonna 2030 sähkö tai kaasukäyttöisiä. Ladattavien hybridien osuuden odotetaan jäävän selvästi henkilöautokantaa pienemmäksi. Pakettiautojen sähköistyminen edistyy nopeimmin vuosina 2025–2030, koska akkuteknologian kehittyy ja akkujen valmistuskapasiteetti kasvaa. Pakettiautoilla käyttövoimamuutosta edistää autonvalmistajille asetettu hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoite, jonka mukaan uusien pakettiautojen päästöjen on oltava vuonna 2030 31 % vuoden 2021 vertailutasoa alemmat. Kevyet jakelukuorma-autot sähköistyvät lähes samaan tahtiin kuin pakettiautot. (Kalenoja 2021)

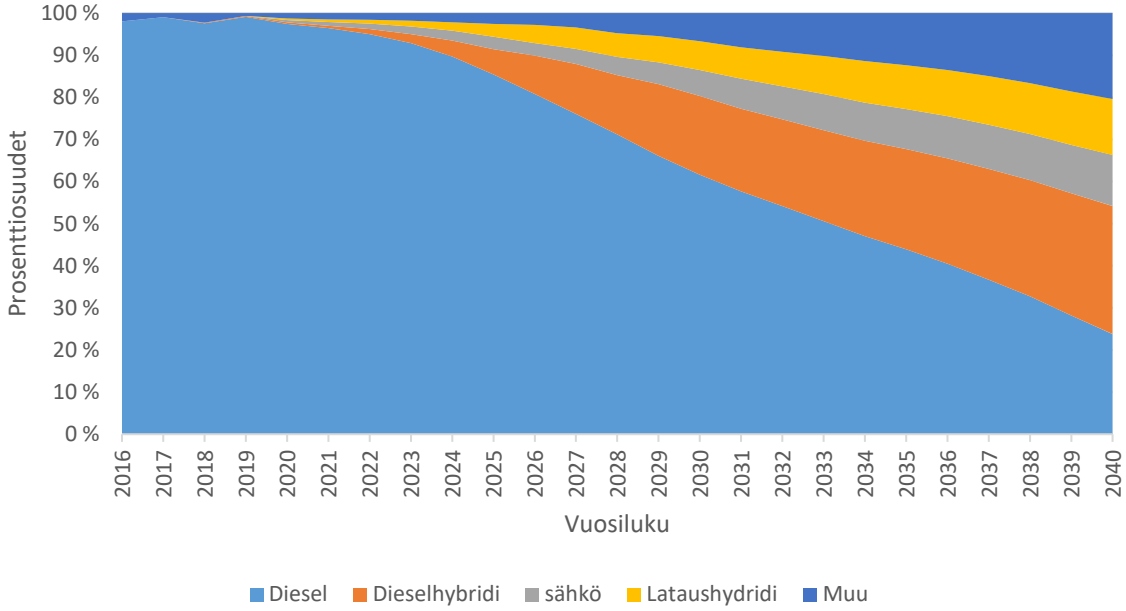


Kuva 3.1 Pakettiautojen ja pienten linja-autojen eri käyttövoimien kehitys (Kalenoja 2021)

Kuvassa 3.1 on esitetty ensirekisteröityjen pakettiautojen ja pienten linja-autojen ajoneuvojen erikäyttövoimien prosenttiosuudet perusennusteessa. Kuvasta nähdään, kuinka

diesel käyttöisten ajoneuvojen osuus pienenee koko ajan, joka on seurasta päästöjen vähennys tavoitteista. Harmaalla kuvassa näkyy täyssähköautojen osuus, joka kasvaa kokoajan ja vuonna 2040 se on merkittävä osuus kokoajoneuvokannasta.

Kokonaismassaltaan alle 16 t keskiraskailla kuorma-autoilla eli jakelukuorma-autot sähköistymisen on ennakoitu etenevän lähes yhtä nopeasti kuin pakettiautojen kokoluokassa. Jakelukuorma-autoilla sähköistymisen odotetaan selvemmin etenevän hybridivoimalinjojen kautta. Ladattavien hybridien ja täyssähköautojen yleistyminen kiihtyy vuoden 2030 jälkeen. Myös kevyt- ja täyshybriditeknologian yleistyminen dieselkalustossa nopeutuu vuoden 2023 jälkeen. (Kalenoja 2021)

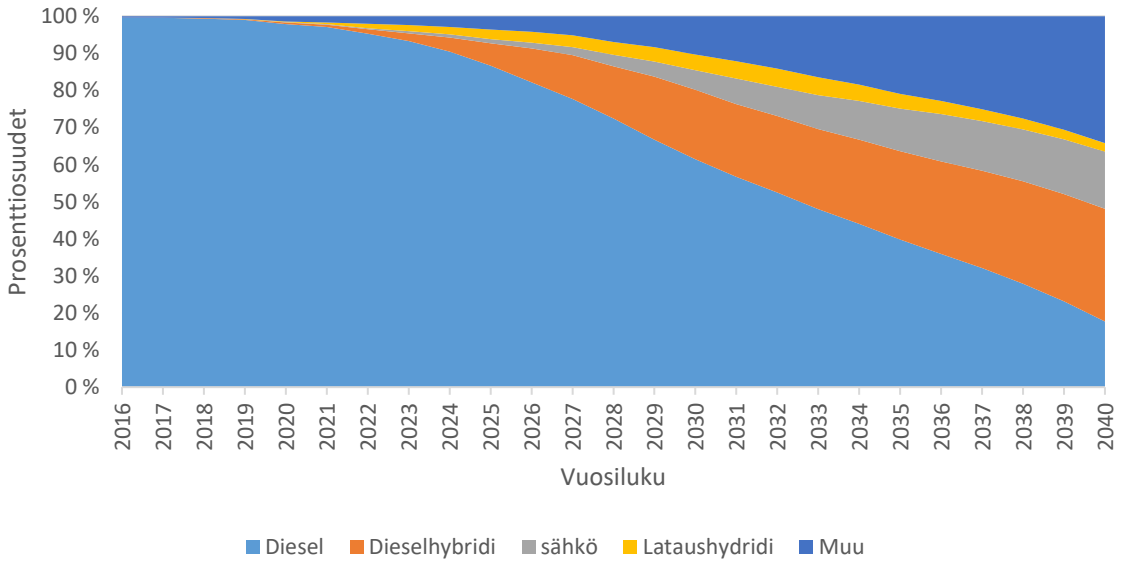


Kuva 3.2 Keskiraskaiden ajoneuvojen eri käyttövoimien kehitys (Kalenoja 2021)

Kuvassa 3.2 on esitetty ensirekisteröityjen keskiraskaiden (alle16t painavien) ajoneuvojen erikäyttövoimien prosenttiosuudet perusennusteessa. Kuvasta nähdään, kuinka sähkö käyttöisten ajoneuvon osuus ensirekisteröidyistä ajoneuvoista kasvaa jatkuvasti. Kuvasta huomataan, miten dieselhybrideistä oletetaan kaikista suurin käyttövoima vuoteen 2040 mennessä.

Kokonaismassaltaan yli 16 t kuorma-autoilla uusiutuvandieselin merkitys päästöjen vähentämisessä on suuri, koska sähkö ja kaasu ajoneuvojen yleistymistä hidastaa lähivuosina toimintasäderajoitteet, kallis hankintahinta ja jakeluinfrastruktuurin

puuttuminen. Kuitenkin dieseliin yhdistetyt kevyt- ja täyshybridivoimalinjat vähentävät dieselkuorma-autojen päästöjä ja parantavat kaluston energiatehokkuutta. Maa- ja biokaasu yleistyvät raskaiden yli 16 t kuorma-autojen käyttövoimana nopeammin kuin sähkö. Nesteytetty bio- ja maakaasu (LNG) ovat potentiaalisia vaihtoehtoja dieselille, koska nesteytetyllä kaasulla voidaan ajaa yhdellä tankkauksella lähes yhtä pitkään kuin dieselautolla. Nesteytettyä kaasua käyttävän kuorma-auton hinnan ovat kuitenkin vielä toistaiseksi 20–30 % dieselajoneuvoa korkeampi. Sähkökuorma-autojen yleistymistä hillitsee vielä lähivuosina korkea hankintahinta. Sähkökuorma-autojen hinta on toistaiseksi yli kaksinkertainen perinteiseen dieselajoneuvoon verrattuna ja toimintasäde sähkö ajoneuvolla on dieseliin ja kaasuun verrattuna vaatimaton. (Kalenoja 2021)

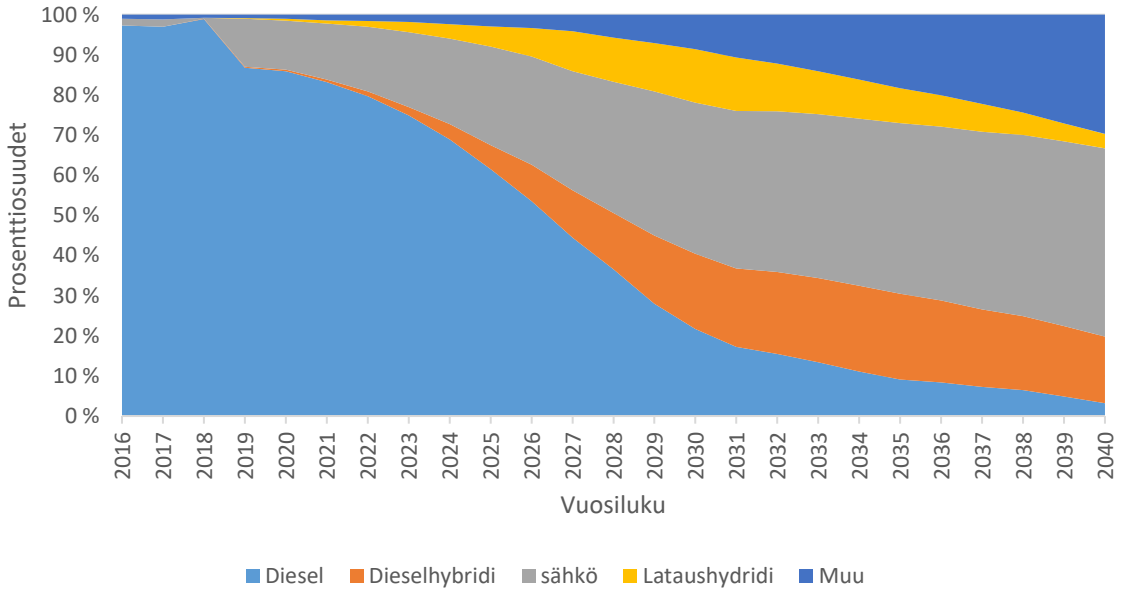


Kuva 3.3 Raskaiden kuorma-autojen eri käyttövoimien kehitys (Kalenoja 2021)

Kuvassa 3.3 on esitetty ensirekisteröityjen raskaiden (yli 16 t painavien) ajoneuvojen erikäyttövoimien prosenttiosuudet perusennusteessa. Tässä ajoneuvoluokassa sähköistymisen odotetaan olevan kaikista hitainta. Kuitenkin vuonna 2040 noin puolet ajoneuvoista on joku hybridi tai täyssähkö ajoneuvoja. Vedyn ennakoidaan yleistyvän hitaasti 2030-luvulla ja kääntävän akkusähkökuorma-autojen kysynnän alenemaan 2040-luvulla.

Kokonaismassaltaan yli 8 t linja-autoilla vaihtoehtoisten polttoaineiden osuus ensirekisteröinneistä kasvaa kaikista nopeimmin, koska julkisensektorin hankinnoissa painotetaan tulevina vuosina ensisijaisesti sähkökäyttöisten linja-autojen hankintaa.

Kaupunkiliikenteessä sähkölinja-autoihin on olemassa toimivia latausratkaisuja ja kaluston käyttö voidaan sovittaa lataustarpeisiin pitkämatkaista liikennettä nopeammin. Julkisia hankintoja koskevan lainsäädännön lisäksi useilla kaupungeilla on omia paikallisia päästövähennystavoitteita, jotka kohdistuvat linja-autokaluston hankintaan. Sähkölinja-autojen osuus kasvaa vähitellen erityisesti suurtenkaupunkien lähettyvillä. Uutena ensirekisteröitävistä linja-autoista jo yli kolmanneksen odotetaan vuonna 2025 kulkevan kokonaan tai osittain sähköllä. (Kalenoja 2021)



Kuva 3.4 Linja-autojen eri käyttövoimien kehitys (Kalenoja 2021).

Kuvassa 3.4 on esitetty ensirekisteröityjen Linja-autojen erikäyttövoimien prosenttiosuudet perusennusteessa. Kuvasta nähdään, miten paljon täyssähkö lisääntyy käyttövoimana. Linja-autojen sähköistyminen on kaikista nopeinta.

Autoalan tiekartan toimet perustuvat autoalan ilmastostrategian mukaisiin toimenpiteisiin. Autoalan tiekartassa kehitys eroaa perusennusteesta pakettiautojen osalta siten, että siinä autovero poistuisi vaiheittain seuraavan 5–6 vuodenaikana. Pakettiautokannan uusiutuminen nopeutuisi niin, että autoja ensirekisteröitäisiin noin 24 000 kappaletta vuosittain nykyisen noin 16 000 auton sijasta. Tämä lisäisi selvästi uusien pakettiautojen osuutta autokannasta ja liikennesuoritteesta. Hankintatuella voitaisiin lisätä merkittävästi kaasu- ja sähkökäyttöisten kuorma- ja pakettiautojen määrää. Tuki tasaisi vielä toistaiseksi kalliimman teknologian hintaeroa perinteiseen diesel tekniikkaan verrattuna. Esimerkiksi

Saksassa kokonaispainoltaan yli 7.5 t kuorma-autojen ja työkoneiden hankintaan saa tukea. Tuki otettiin käyttöön vuonna 2018, rahallisen hankintatuen lisäksi, myös sähkökäyttöiset kuorma-autot ovat vapautettu tiemaksuista. Joissakin maissa kuorma-autoille on käytössä suunnattuja hankintatukia, joiden määrä on suhteutettu vaihtoehtoisen teknologian ja perinteisen dieselteknologian väliseen hinta eroon. Esimerkiksi Kanadassa jotkin energiayhtiöt tarjoavat yrityksille hankintatukia, joilla korvataan enimmillään 25 % kaasukäyttöisen ja dieselkäyttöisen kaluston hinnanerosta. Sama laskentatapa on käytössä myös Ruotsissa sähkö- ja kaasukäyttöisten työsuhdeautojen arvonmäärityksessä. (Kalenoja 2021)

Molemmat edellä käsitellyt tutkimukset ennustavat raskaanliikenteen sähköistymisen kasvavan lähitulevaisuudessa. Suurin kasvu sähköajoneuvoissa oletetaan tapahtuvan linja-autoliikenteessä, mutta sähköistymistä tulee tapahtumaan myös muissa raskaanliikenteen ajoneuvo luokissa. (Kalenoja 2021)

Taulukoihin 3.6 ja 3.7 on tehty arvio edellisten tutkimusten perusteella, kuinka paljon ladattavia ajoneuvoja olisi vuosina 2030 ja 2040. Näitä arviota tarvitaan, että voidaan arvioida tulevaisuudessa ajoneuvojen lataustarvetta ja sen myötä verkostovaikutuksia.

Taulukko 3.6 Ladattavien ajoneuvojen määrä vuonna 2030

	Prosenttiosuus kaikista ensirekisteröidyistä ajoneuvoista	Ajoneuvo määrä
Linja-autot	56	7000
Keskiraskaat kuorma-autot	24	12000
Raskaat kuorma-autot	23	11500
Pakettiautot ja pienet linja-autot	35	118300

Taulukossa 3.6 on esitetty ensirekisteröityjen ladattavien ajoneuvojen määrä vuonna 2030. Ladattaviin ajoneuvoihin lasketaan diesel hybridit sekä sähköajoneuvot. Taulukosta nähdään, että jo vuonna 2030 linja-autoista yli puolet olisivat ladattavia ajoneuvoja. Kaikissa muissakin ajoneuvoluokissa on selvästi isompi määrä ladattavia ajoneuvoja, kuin tällä hetkellä. Taulukoissa 3.6 ja 3.7 ajoneuvojen kokonaismäärä on tehty olettamuksella, että ajoneuvo tyypin kokonaismäärä on sama, kuin historiassa. Kuorma-autot oletetaan jakautuvan tasaisesti raskaisiin ja keskiraskaisiin kuorma-autoihin.

Taulukko 3.7 Ladattavien ajoneuvojen määrä vuonna 2040

	Prosenttiosuus kaikista ensirekisteröidyistä ajoneuvoista	Ajoneuvo määrä
Linja-auto	65 (%)	8125
Keskiraskaat kuorma-autot	42 (%)	21000
Raskaat kuorma-autot	45 (%)	22500
Pakettiautot ja pienet linja-autot	55 (%)	185900

Taulukossa 3.7 on esitetty ensirekisteröidyistä ladattavien ajoneuvojen määrä vuonna 2040. Vertailemalla taulukoita 3.6 ja 3.7 nähdään, kuinka jokaisessa ajoneuvoluokassa on tapahtunut kasvua ladattavissa ajoneuvoissa. Taulukosta voidaan huomata, että yli puolet ensirekisteröidyistä pakettiautoistakin olisi ladattavia vuonna 2040.

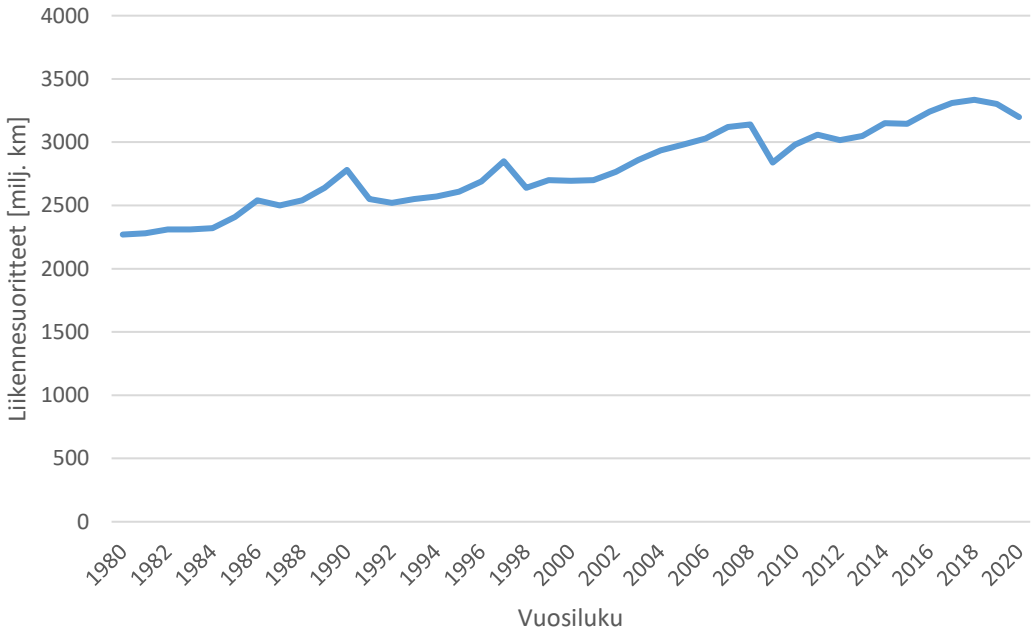
3.5 Raskaanliikenteen liikennöinti

Sähköinen raskasliikenne lisääntyy jatkuvasti. Raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa toimenpiteitä sähkönjakeluverkkojen haltijoille. Sähköistä henkilöautoliikennettä ja raskasta liikennettä ei voida käsitellä yhdessä, sillä henkilöautoissa lataustehot ja akut ovat paljon pienempi, sekä ajomatkat erilaisia. Raskaanliikenteen sähköistyminen on haaste kuormituksen mallintamiselle, sillä perinteiset tyyppikuormakäyrät eivät tunne sähköisen liikenteen käsitteitä. Tulevaisuuden kannalta kuormanmallintamisessa on ymmärrettävä sähköisenliikenteen ja lataamisen erityispiirteen. Sähköisenliikenteen kulutuspaikka ja aika voivat vaihdella, joka aiheuttaa kuorman mallinnuksen kannalta haasteita, sillä perinteisesti kuormanmallintamisessa kuormien liikkumista ei ole tarvinnut huomioida. Sähköisenliikenteen kuormituksen ajoittuminen aiheuttaa myös haasteita. Ajoneuvot liikkuvat paikasta toiseen ja lataus voi tapahtua milloin vaan ja vaikeasti ennustettavassa paikassa. Näistä syistä mallintaminen on hankalaa, mutta se on kuitenkin mahdollista kun tehdään joitakin olettamuksia. Olettamuksilla asia yksinkertaistuu ja muuttujien määrä pienenee, jolloin muuttujia on mahdollista käsitellä.

Sähköisen raskaanliikenteen latauskuorma on merkittävä haaste sähköverkoille, koska lataustehot ovat suuret. Mallintamiseen on luotava järkevämalli, jossa otetaan huomioon

keskimääräiset ajomatkat, lähtö- ja kohdepaikat sekä mahdollisimman tarkka ajankohta ajoneuvon käytölle. Raskasliikenne toimii usein tietyn aikataulun tai reitti ohjelman mukaan, mutta aikatauluihin voi tulla poikkeuksia, jotka vaikeuttavat latauksen ennakoimista.

Kuormitusvaikutusten arvioimiseksi yksi tärkeä lähtötieto on ajoneuvojen liikennöintimäärät. Kuvassa 3.5 on esitetty kuorma-auto ja linja-autojen yhteenlaskettu kilometrimäärä vuosien 1980–2020 välisenä aikana.

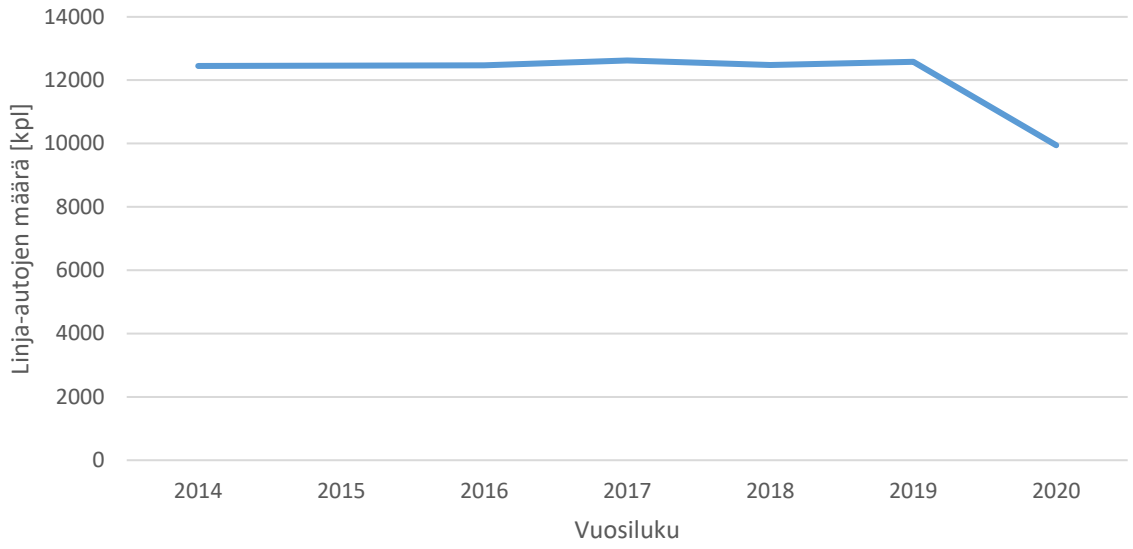


Kuva 3.5 Kuorma ja linja-autojen liikenne suorite vuosien 1980-2020 aikana.

Kuvassa 3.5 nähdään kuorma ja linja-auto liikenteen liikennesuoritteet vuosien 1980–2020 aikana. Kuvassa esitetty arvo on miljoonaa kilometriä vuodessa. Vuotuiset kilometrimäärät ovat kasvaneet, muutamia poikkeamia lukuun ottamatta, joista viimeisin kilometrimäärän lasku oli vuonna 2020 koronapandemian takia. (Traficom 2021) Ennen koronapandemiaa tehdyn tutkimuksen perusteella kasvu jatkuisi 2040 luvulle, jolloin se kääntyisi laskuun. Huippu 2040 vuosikymmenellä olisi noin 4000 milj.km vuodessa. Vuoteen 2050 mennessä pudotusta ei juuri tapahdu vaan huippu näyttää tasaantuvan noin 4000 milj.km. (Lapp ym. 2018)

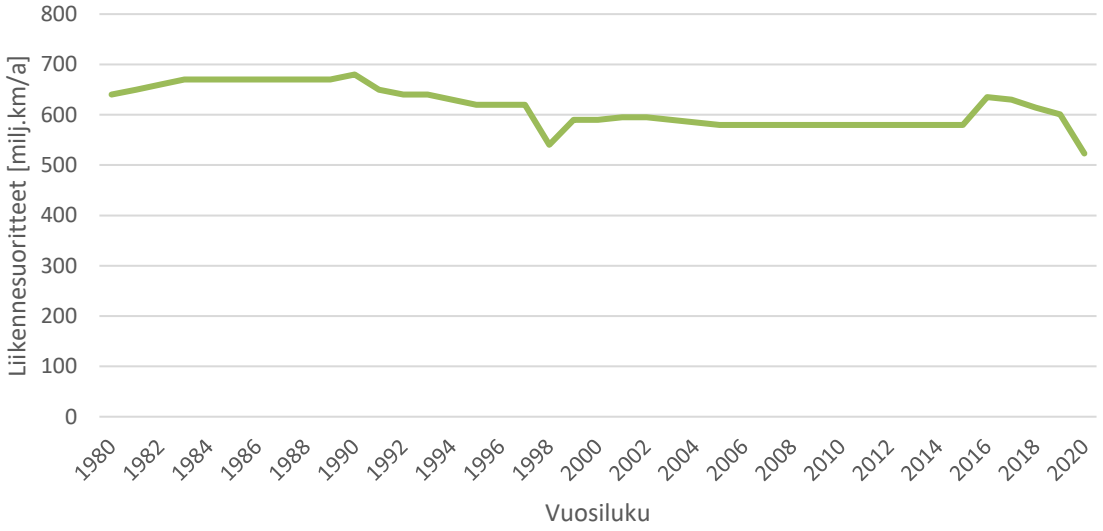
3.5.1 Linja-autoliikenne

Linja-auto liikenne toimii pääsääntöisesti hyvin tarkkojen aikataulujen mukaisesti, joka helpottaa niiden liikennöinnin mallintamista. Osa linja-autoista ei liikennöi aikataulujen mukaisesti ja aikatauluhinkin joudutaan tekemään poikkeuksia, jonka vuosi mallintamista ei voida tehdä suoraan aikataulujen perusteella. Mallintamiseen tulee ottaa huomioon hajonta, joka aiheutuu linja-autoista, jotka eivät ole aikataulussa. Linja-autot voidaan jakaa kahteen osaan niiden liikennekäyttäytymisen mukaan, jotta voidaan luoda molemmille tyypeille omat mallit niiden liikennöinnistä. Linja-autoliikenne jakautuu kaupunki ja kaukolinjoihin.



Kuva 3.6 Rekisteröityjen linja-autojen määrä vuosien lopussa

Kuvassa 3.6 on esitetty liikenne käytössä olevien linja-autojen määrä vuosien lopussa. Vuonna 2020 oli linja-autoja merkittävästi vähemmän käytössä, kuin edellisinä vuosina johtuen koronapandemiasta. Muuten kuvasta huomataan, että linja-autojen määrä on vaihdellut vain vähän viimeisen viiden vuodenaikana.



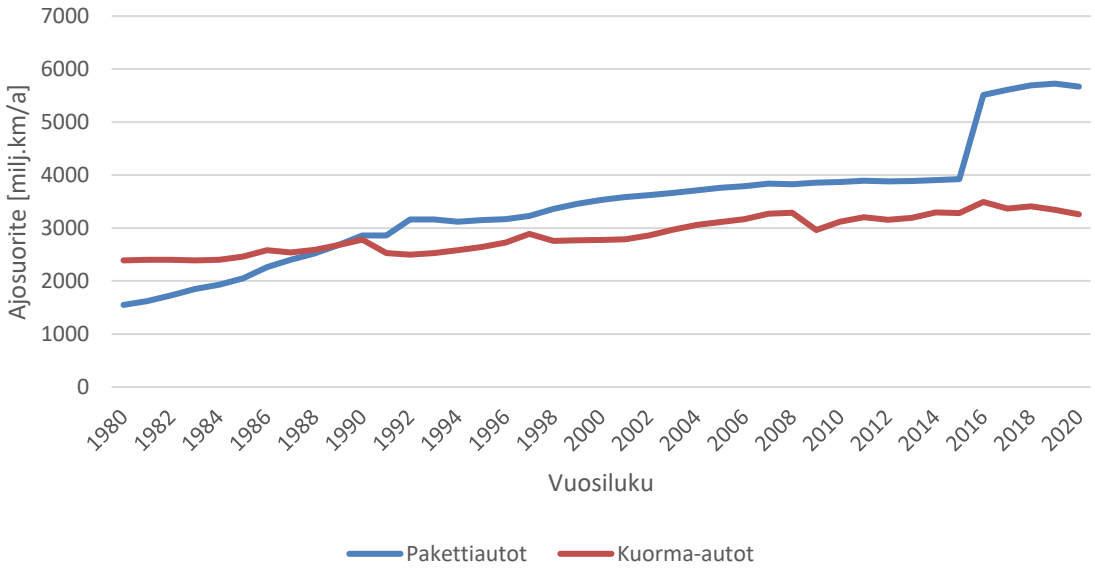
Kuva 3.7 Linja-autojen liikennesuoritteet. (Tilastokeskus 2021)

Kuvassa 3.7 on esitetty linja-autojen liikennesuoritteet vuositasolla. Kuvassa esitetyt liikennesuoritteet ovat mlj.km vuodessa. Vuonna 2020 liikennemäärät laskivat, koronapandemian takia. (Tilastokeskus 2021)

Linja-autojen keskimääräistä ajomatkaa voidaan käyttää yhtenä tietona, kun määritetään sähköisten linja-autojen lataustarvetta. Vuonna 2018 linja-autoliikenteen liikennesuorite oli noin 614 milj.km ja ajoneuvoja oli 18467. Tällöin keskimääräinen ajosuorite vuonna 2018 oli 33249 km. (Väylä 2018)

3.5.2 Tavaraliikenne

Tavaraliikenteellä tarkoitetaan kaikkia raskaita kuljetuksia, joissa liikutetaan tavaroita eikä ihmisiä. Tavaraliikenteeseen huomioidaan kuorma-autot sekä pakettiautot. Tavaraliikenne koostuu sekä kaukoliikenteestä, että jakeluliikenteestä.

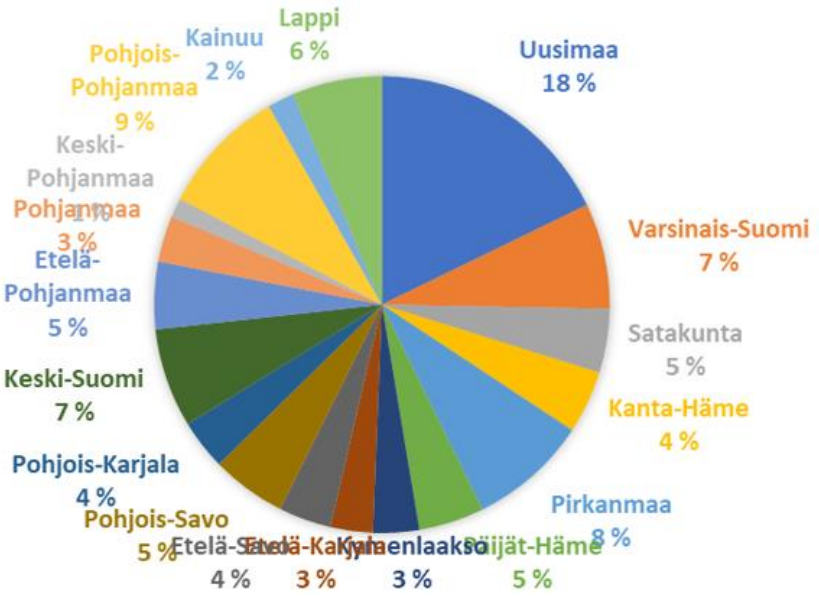


Kuva 3.8 Liikennesuoritteet ajoneuvoluokittain pakettiautoilla ja kuorma-autoilla.(Tilastokeskus 2021)

Kuvassa 3.8 on esitetty pakettiautojen ja kuorma-autojen liikennesuoritteet vuodessa. Kuvassa esitetyt suoritteet ovat milj.km vuodessa. Pakettiautoilla on vuoden 2016 laskenta tapoja on muutettu, jonka vuoksi ne eivät ole täysin vertailu kelpoisia edellisiin vuosiin verrattuna. (Tilastokeskus 2021)

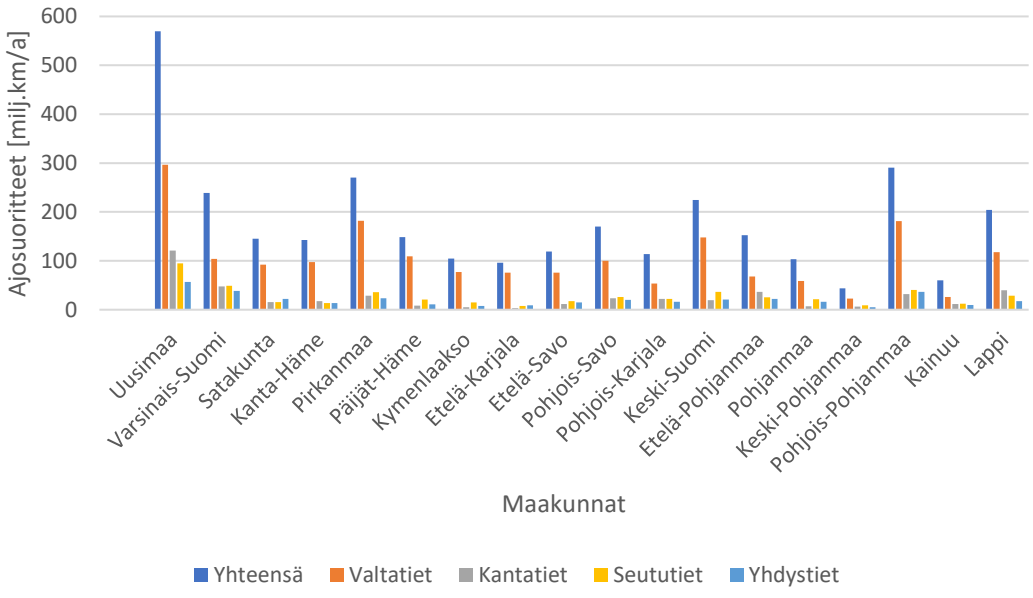
Tavaraliikenteen keskimääräiset ajomatkat tulee tietää, että voi arvioida niiden lataustarvetta. Pakettiautojen liikenne suorite vuonna 2018 oli 5693 milj.km. Ajoneuvokanta oli 456510 ajoneuvoa, niin keskimääräinen ajosuorite oli pakettiautoilla 15798 km. Vastaavasti kuorma-autoilla liikennesuorite vuonna 2018 oli 3411 milj.km ja ajoneuvokanta oli 155867, jolloin keskimääräinen ajosuorite on 30411 kilometriä.

Arvioitaessa raskaanliikenteen verkostovaikutuksia on oleellista tietää, missä lataus tapahtuu. Tutkimuksen kannalta on tärkeää saada mahdollisimman tarkka kuva missä raskaanliikenne liikennöi. Raskaanliikenteen ajojen maantieteellinen jakautuminen on esitetty kuvassa 3.9.



Kuva 3.9 Raskaan liikenteen suoritteet maakunnittain vuonna 2020

Kuvasta 3.9 nähdään että kaikista suurin liikenne määrä on uusimaalla. Raskaanliikenteen sähköistymisen vaikutuksia tutkittaessa on tärkeää tietää, kuinka liikenne jakautuu maakunnittain, mutta myös on tärkeä tietää, kuinka liikenne jakautuu erilaisille teillä maakunnissa.



Kuva 3.10 Raskaanliikenteen ajosuoritteet tieluokittain erimaakunnissa.

Kuvasta 3.10 huomataan hyvin, että suuri osa raskaanliikenteen liikennöinnistä tapahtuu valtatiellä. Tämä on merkittävä asia raskaanliikenteen lataus mahdollisuuksia suunniteltaessa. Jokaisessa maakunnassa valtateillä liikennöidään eniten.

4 AKKUJA LATAUSTEKNOLOGIAN NYKYTILA JA TULEVAISUUS

Tässä luvussa perehdytään sähköisen raskaanliikenteen akku ja lataustekniikkaan. Aluksi hankitaan tietoa, millaista teknologiaa on tällä hetkellä käytössä ja sen jälkeen arvioidaan tulevaisuuden näkymiä. Akku ja lataustekniikat on tärkeä tuntea, jotta voidaan arvioida niiden kuormitusvaikutuksia. Raskaanliikenteen sähköistykseen liittyen on myös esitetty teknisesti erilaisia mahdollisuuksia ladata ajoneuvoja.

Akkuteknologia kehittyy jatkuvasti. Kehitys on ollut viime aikoina nopeaa ja teknologia menee hurjaa vauhtia eteenpäin. Raskaanliikenteen ajoneuvot ovat suuria ja ne vaativat suurenmäärän energiaa, joten akuilla on merkittävä rooli niiden sähköistämisessä.

Latausinfrastruktuurin saatavuus on tärkeä asia sähköautojen käyttöönoton edistämisessä. standardin SAE J1772 mukaan sähköautojen latausinfrastruktuuri voidaan jakaa kolmeen tasoon lataustehon perusteella. Nämä tasot ilmaisevat latauksen keston sähköautoista, joissa tasot yksi ja kaksi tunnetaan hitaina latureina, Taso kolme on pikalaturi. Vuoden 2018 loppuun mennessä latauksen globaali asennus kevyille ajoneuvoille tarkoitettujen asemien määrä oli noin 5,2 miljoonaa. Suurin osa näistä asemista asennettiin nimellä hidaslatausasemilla, kun taas julkisilla latausasemilla oli 144 000 pikalaturia ja 395 000 hidasta laturia. Lisäksi vuonna 2019 julkistettiin monia suunnitelmia tehostaa latausinfrastruktuurin käyttöönottoa. Suurin osa näistä ilmoituksista koski yksityisensektorin latureita eri kapasiteetilla. (Bassam ym. 2021) Taulukossa 4.1 on esitetty kolmen eri lataus tason perustiedot.

Taulukko 4.1 Lataus tasot (Bassam et. 2021)

Lataustasot	Taso 1	Taso 2	Taso 3
Vaiheet	1	1/3	Tasavirta
Jännite (V)	120	230–400	yli 400
Virta (A)	10–16	16–63	63- yli 400
Teho (kW)	1,4–1,9	3,7–22	yli 44

Taulukossa 4.1 on esitetty kolmen eri lataus tason perustiedot. Nämä tasot ovat standardista SAE J1772. Ne eivät ole vain raskaan liikenteen käyttöön, vaan kaiken sähköisen liikenteen käyttöön. Nähdään että taso kolme on kaikista suuritehoisin ja taso yksi pienitehoisin. latausinfrastruktuurin soveltuvuus raskaidenajoneuvojen lataamiseen riippuu näiden tehovaatimuksista. Tason kaksi latureita voidaan käyttää yön yli kevyiden ja keskisuurten sähköautojen latauksen, kun taas taso kolme latureita voidaan käyttää nopeaan lataukseen pienten ja keskiraskaiden sähköautojen lataukseen. Lisäksi tason kolme latureita voi voidaan käyttää joidenkin raskaiden sähköajoneuvojen yön ylilataukseen. Siitä huolimatta useimmat raskaat ja keskiraskaat sähköautot pitkillä ajomatkoilla vaativat erillisen pikalataus infrastruktuurin, jonka tehokapasiteetti on suurempi kuin nykyinen tason kolme nopeat laturit. Siksi useilla yrityksillä, kuten Tritium, Phoenix Contact, BMW Group ja Charge Point, on ilmoittanut uusista suunnitelmistaan ottaa käyttöön suuritehoisia yli 400 kW:n lataus laitteita. Lisäksi Tesla on ilmoittanut suunnittelevansa 1 MW latauslaitteen, jolla voidaan ladata 30 minuutissa niin paljon energiaa, että ajoneuvolla voidaan ajaa 640 km. (Bassam ym 2021)

4.1 Linja-auto

Tässä luvussa käsitellään linja-autojen akku- ja lataustekniikoita. On tärkeää tietää, millaista teknologiaa käytetään, voidakseen arvioida linja-autojen latauksen aiheuttamia kuormitusvaikutuksia. Molemmat tekniikat kehittyvät hurjaa vauhtia ja luvun neljä lopussa on käsitelty niiden tulevaisuuden näkymiä.

4.1.1 Linja-autojen akkuteknologia

Sähkölinja-auton akku on suunniteltu varastoimaan energiaa pitkäksi aikaa. Se vaatii suurta kapasiteettia, suurta teho/painosuhdetta, suurta ominaisenergiaa ja tiheyttä. Niiden tulee olla

myös mahdollisimman pieniä ja kevyitä, siksi Li-on-akkua käytetään laajalti sähkölinja-autoissa. Litiumrautafosfaatti (LiFePO4) ja litiumrautamangaanioksidi (LiMn2O4) ovat kahden tyyppisiä Li-on-akkuja, jotka soveltuvat sähkölinja-autoihin. Akun tehovalinta määräytyy moottorin suurimman sähkötehon mukaan. (Janjamraj, Changsarn & Hiranvarodom 2021) Taulukossa 4.2 on esimerkkejä siitä, minkäkokoisia linja-autojen akun ovat käytännössä.

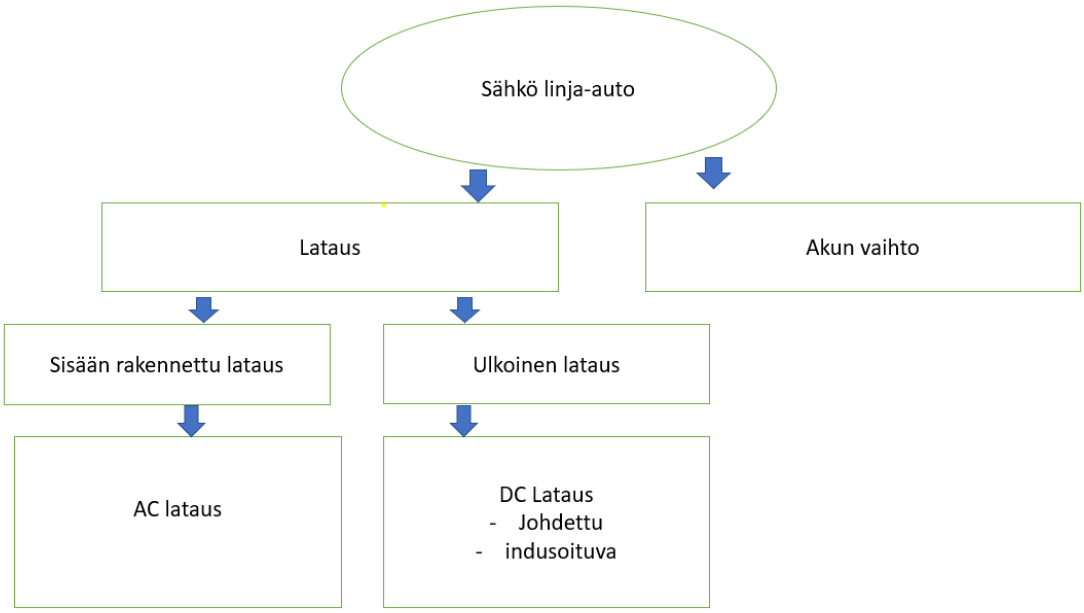
Taulukko 4.2 Linja-autojen tietoja.

Ajoneuvo valmistaja	Ajoneuvon kokonaispaino (t)	Akun kapasiteetti (kWh)	Energian kulutus (kWh/Km)	Lähteet
Volvo	19,5–30	470–565	-	(Volvo 2021)
Proterra	33	450–675	1,1–1,7	(Proterra 2022)
Ebusco 2.2	19,5	350–500	0.7	Ebusco 2021)
Scania	20	245–330	0,75–1,5	(Scania 2021)

Taulukossa 4.2 on esitetty neljän eri linja-auton tiedot. Taulukosta nähdään, että akkujen koossa on suuria eroja. Myöskin kulutukset ovat hyvin erilaisia, johtuen siitä, että linja-autoja on monen erikokoisia. Taulukoissa 4.3 ja 4.4 on esitetty keskiraskaista ja raskaista ajoneuvoista samat tiedot.

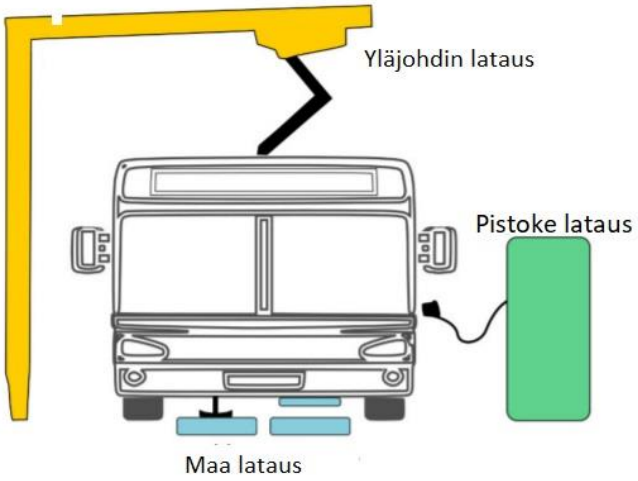
4.1.2 Linja-autojen latausteknologia

Sähköiset linja-autot lisääntyvät jatkuvasti kaupungeissa ja siitä syntyy tarve kehittää erilaisia metodeitta ladata sähköajoneuvoja. Kuvassa 4.1 on esitetty kaavio erilaisista lataus tyypeistä.



Kuva 4.1 Sähkölinja-autojen lataustyypit. (Boonraksa, Paudel, Dawan, Marungsri 2019)

Kuvassa 4.1 on esiteltynä erilaisia lataustyyppejä, joilla sähkö linja-autoa voidaan ladata. Akunvaihto on tyyppi, joka sopii hyvin kaupunki linja-autoihin. Se helpottaa reittien ja aikataulujen suunnittelua, kun ei auton ei tarvitse seistä pitkään latauksessa. Akunvaihdossa ideana on, että akku vaihdetaan uuteen ladattuun akkuun ja vanha akku siirtyy lataukseen. Sähkölinja-autojen lataus voidaan toteuttaa, joko sisäänrakennetulla laturilla tai ulkoisella laturilla. Sisäänrakennettu laturi tarkoittaa laturia, joka kulkee ajoneuvon mukana. Esimerkiksi jarrutuksesta talteen otettava energia on tuotettu sisäisellä laturilla. Ulkoisia latureita on useita, joissa kolme päätyyppiä ovat; yläjohdin, induktiivinen lataus ja paikallaan tapahtuva latauskaapelilla tapahtuva lataus. Yläjohdinlatauksella tarkoitetaan latausta, joka tapahtuu ajon aikana tai ajoneuvon ollessa paikallaan ajoneuvon yläpuolella olevasta johtimesta. Induktiivinen lataus on niin sanottu langaton lataus se tarkoittaa, että ajoneuvoon indusoidaan energiaa, jolla ladataan ajoneuvoa. (Boonraksa, Paudel, Dawan & Marungsri 2019)



Kuva 4.2 Sähkölinja-autojen lataustavat

Kuvassa 4.2 on esitetty tavat, joilla sähkölinja-autoa voidaan ladata. Kuvasta nähdään, miten ajoneuvoa voidaan ladata ylhäältä päin virroittimella, Maalatauksella ajoneuvon alta tai pistokkeella, joka liitetään ajoneuvoon.

Latausinfrastruktuurilla on tärkeä rooli sähköautojen kehittymisessä. Nykyään erilaisia latauksia teknologiaa on saatavilla ympäri maailmaa, jotka voidaan luokitella kolmeen tyyppiin energiansiirron tyypin perusteella. Niitä ovat johtavalataus, langatonlataus ja akunvaihtaminen. Nykyään langaton lataus ja akunvaihto onnistuvat, mutta eivät ole Euroopan markkinoilla useista syistä, joita ovat muun muassa turvallisuus, tehokkuus, kustannukset ja puutteet standardointi. Euroopan tärkeimmät toimijat latausala on alkanut keskittyä erilaisiin johtaviin latausmenetelmiin. Johtavalataus vaatii aina metalli-metalli-liitäntä laturin ja ajoneuvon välillä. Pistokelatureita käytetään hitaaseen lataukseen Euroopassa, tehoalueella 50–150 kW. Kun taas automaattisesti liitettävää latausta käytetään yleisesti pikalatauksella, tehoalueella 150–600 kW. Nämä lataustehoalueita ei ole määritelty standardeissa, mutta on saatavilla olevaan tekniikkaan perustuvat arvot. Automaattisesti liitettävä pikalataus voidaan toteuttaa kolmella erilaisella tavalla. Tavat ovat tyyppi A, Tyyppi B ja Tyyppi C. Tyyppi A virroitin lasketaan ajoneuvon katolle sen yläpuolelta. Tyyppi B taas toimii niin että ajoneuvosta nousee virroitin ylös. Tyyppi C toimii niin että lataus tapahtuu ajoneuvon alta. (Boonraksa ym. 2019)

Helsingin kaupungin liikenne on ottanut vuosien 2017 ja 2018 aikana useita 400 kW latauslaitteita käyttöön sähkölinja-autojen latausta varten. Samoin Turku energialla oli vuonna 2017 käytössä kaksi 300 kW ja kuusi 50 kW latauslaitetta sähkölinja-autoja varten. (Virta 2021)

Espoon leppävaarassa on mittava sähkölinja-autojen lataus kokonaisuus, jossa lataus teho on yhteensä 3 MW ja latauslaitteiden tehot ovat 180 kW–350 kW. Tällaisella lataus ratkaisulla pystytään huolehtimaan 30 sähkölinja-auton latauksista. (Plugit 2020)

4.2 Kuorma-auto

Tässä luvussa käsitellään kuorma-autojen akku- ja latausteknologioita. Niiden tunteminen on oleellista, jotta voidaan arvioida kuorma-autojen aiheuttamia kuormitusvaikutuksia. Kuorma-autot ovat raskaita paljon energiaa vaativia ajoneuvoja, joten niiden akku- ja latausteknologioiden kehityksellä on suuri merkitys kuorma-autojen sähköistymiseen.

Kuorma-autoilla tarkoitetaan kaikkia raskaita ajoneuvoja, jotka eivät ole linja-autoja.

4.2.1 Kuorma-autojen akkuteknologia

Kuorma-autoissa käytetään yleisesti Li-ion akkuja hyvien ominaisuuksien vuoksi. Hyviä ominaisuuksia ovat suuri ominaisteho, korkea ominaisenergia, pitkänkestoisuus ja syklinpituus. (Mantravadi, Husain & Sozer 2011)

Tässä luvussa käsitellään kuorma-autoja yhdessä muusta työstä poiketen, sillä jakeluliikenteen ja kaukoliikenteen ajoneuvot ovat osittain sekaisin tällä osa alueella. Ajoneuvot jaetaan painoluokittain keskiraskaisiin ja raskaisiin ajoneuvoihin. Keskiraskaat ajoneuvot painavat 3.5 t–15 t ja raskaat ajoneuvot ovat yli 15 t painoisia. Taulukosta 4.3 nähdään keskiraskaiden ajoneuvojen tietoja. (Bassam ym. 2021)

Taulukko 4.3 Keskiraskaiden ajoneuvojen tietoja (Bassam et. 2021)

Ajoneuvo valmistaja	Ajoneuvon kokonaispaino (t)	Akun kapasiteetti (kWh)	Energian kulutus (kWh/Km)
Navistar eStar	5,5	80	0,8
Smith Newton	6,4–12	40–120	0,62–0,75
BYD	7,3–11	145–175	0,58–0,88
Mitsubishi	7,5	82.8	0,69
EMOSS	7,3–10	99	0,69
Daimler	12	325	0,88

Taulukosta 4.3 on esitetty viiden keskiraskaan ajoneuvon tiedot, ajoneuvon kokonaispaino, akunkapasiteetti ja energiankulutus nähdään, että keskiraskaiden ajoneuvojen akuissa on vaihteluita, eikä kaikissa ajoneuvoissa ole samankokoinen akku. Taulukossa on esitetty kuuden erivalmistajan ajoneuvoista tiedot. Kuormitusvaikutuksia laskettaessa on oleellista tietää akunkoko ja kuinka paljon ajoneuvo keskimäärin kuluttaa energiaa liikkumiseen. Taulukossa 4.4 on esitetty vastaavat tiedot raskaista ajoneuvoista, jotka oli esitetty taulukossa 4.3 keskiraskaista ajoneuvoista.

Taulukko 4.4 Raskaidenajoneuvojen tietoja.(Bassam et. 2021)

Raskaat ajoneuvot	Ajoneuvon kokonaispaino (t)	Akun kapasiteetti (kWh)	Energian kulutus (kWh/Km)
Renault	16	200–300	1
Emoss	18	120–240	1
Mercedes-Benz	26	212	1,06
Renault	26	200	1
Tesla-semi	36	600–1000	<1,25
BYD	36	350	1,75
Daimler	40	550	1,38

Taulukosta 4.4 on esitetty seitsemän raskaan ajoneuvon tiedot, ajoneuvon kokonaispaino, akun kapasiteetti ja energian kulutus. Huomataan että raskaidenajoneuvojen energian kulutus on suurempi kuin keskiraskaiden, mutta myös niiden akkukapasiteetti on suurempi.

4.2.2 Kuorma-autojen latausteknologia

Tässä luvussa käsitellään kauko- sekä jakeluliikenteen lataustapoja infrastruktuuria yhtenä kokonaisuutena, sillä useat yhtiöt harjoittavat sekä jakelu- että kaukoliikennettä. Osittain samoja ajoneuvoja käytetään molemmissa liikenteen muodoissa, jolloin niiden erottaminen tässä kohtaa olisi hankalaa.

Johtuen kaupallisen kuorma-autokaluston toiminnan alueellisesta ja ajallisesta jakautumisesta ja sopivien latausasemien puutteesta, useat kuljetusyritykset luottavat "paluu tukikohtaan" -strategia, jossa suuritehoinen latausinfrastruktuuri asennetaan heidän omiin tiloihinsa (varastoon, pihat, teollisuuden omat verkot jne.). Mahdollistaakseen sähköajoneuvojen täyden latauksen työajan ulkopuolella, kuten yön aikana tai vuorojen välissä. Ensimmäisessä vaiheessa sähkö ajoneuvojen käyttöönotossa yksinkertaisin strategia on asentaa oma latausasema jokaiselle tarvitsevalle sähköajoneuvolle, joka tulee ladata omissa tiloissa. On mahdollista, että jokaiselle asennetaan oma latauslaite, mutta todellisuudessa useat ajoneuvot voivat hyödyntää samaa latauslaitetta, että pääomakustannukset olisivat mahdollisimman alhaiset. (Bassam ym. 2021)

Latausinfrastruktuuria tarvitaan sähköajoneuvojen lataamiseen täyteen pysäköintiaikansa sisällä. Kuitenkin joissain sovelluksissa täyttä akunkapasiteettia tarvitaan harvoin, koska sähkö ajoneuvon päivittäiset toiminta-aikataulut. Sähköautojen alkuperäinen akun latauksen tila voi muuttua minkä tahansa poikkeaman mukaan, kuten päivittäisten toiminta-aikataulujen muutos tai jarrutusenergiaa, jolla ladataan akkua. Peruslataus on haastava tekniikka kaupalliseen käyttöön, sekä kuljetusyhtiön että sähköverkkoyhtiön näkökulmasta se on hankala, sillä se vaatii todella suuria huipputehoja. (Bassam ym. 2021)

Koska paluu tukikohtaan mahdollistaa vain latauksen yhtiön omissa tiloissaan, pitäisi ajoneuvoissa olla suurikokoiset akut, joilla voidaan suorittaa vaaditut päivittäiset ajomatkat ennen paluuta latauspaikkaan. Tämän vuosi näihin paikkoihin asennettu latausinfrastruktuuri tarvitsee olla suuritehoinen, että nämä ajoneuvot voidaan ladata sallituissa aikaikkunoissa. Tämän seurauksena tulee olemaan merkittävä lisäys

huipputehotarpeessa keskiraskaiden ja raskaidensähköautojen latauspaikoilla, jolla puolestaan on merkittäviä vaikutuksia sähkönjakeluverkkoon. Tämä suuri tehontarve rasittaa paikallista sähkönjakeluverkkoa. Nykymarkkinoilla henkilöautoja on huomattavasti enemmän kuin sähköistä raskasta liikennettä ja näin ollen ei välttämättä ole riittävät kannustimet sähkönjakeluverkko yhtiöille päivittää jakeluverkkoa vastamaan helposti kysyntään. Tulevaisuudessa, kun sähköinen raskasliikenne on markkinoilla saavuttaa tietyn kynnyksen kustannus-hyötyanalyysissä niin liiketoiminta ohjaa varmasti infrastruktuuria koskevia päätöksiä päivitysten osalta. (Bassam ym. 2021)

Edellisessä kappaleessa mainituilla tekijöillä on negatiivinen vaikutus ajoneuvojen määrään, joita voidaan ladata samanaikaisesti yhtiöiden tiloissa. Tästä syystä kuljetusyhtiöiden sähköverkkoa on parannettava, jotta se mukautuisi lisääntyvään sähkö ajoneuvojen käyttöön kaupallisessa liikenteessä. Paikallisen sähkönjakeluverkon tasolla saatetaan tarvita verkoston muutoksia tiettyjen hyötyajoneuvojen latauspaikkojen palvelemiseksi, jotta voidaan käsitellä lisääntynyttä lataustehontarve. Kuitenkin korkeat investointikustannukset yhtiöidentilojen sähköverkon uusimisesta voi olla kohtuutonta ottaa käyttöön ennen sähköajoneuvojen kaupallisesti kannattavaa käyttöä. Lisäksi paikallisen sähköverkon uusiminen tuo haasteita sähköverkkoyhtiöille suurten investointien ja pitkän takaisinmaksuajan vuoksi. (Bassam ym. 2021)

Monissa paikoissa raskaanliikenteen ajoneuvoja kannattaa ladata siellä, missä ne pysäköivät, mutta monista syistä niitä kannattaa ladata myös kesken matkan. Latausinfrastruktuuri vaatii suuria huipputeho kapasiteettiä. Mikäli kaikki ajoneuvot ladataan samassa paikassa vaatisi se omistajilta suuren investoinnin, että olisi mahdollista toteuttaa lataus kuljetusyhtiön omissa tiloissa. Lataus ajoneuvon reitillä auttaisi siis pienentämään investointi kustannuksia, jotka kohdistuvat lataus infrastruktuuriin, joka on iso asia varsinkin pienillä yrityksillä. (Bassam ym. 2021)

Joissakin tapauksissa tulee muutoksia ja poikkeamia ajoneuvojen toiminta-aikatauluihin, muun muassa kausivaihtelut, kuljettajien käyttäytyminen ja liiketoiminnalliset tarpeet, jotka aiheuttavat reitti muutoksia tai ajoneuvojen määrän vaihteluita. Nämä muutokset vaikuttavat päivittäin kilometrimäärä, joka voi olla suurempi kuin sähköauton toimintasäde. Siksi näiden ajoneuvojenlataus reitillä on välttämätön vaihtelevien toiminta-aikataulujen huomioon ottamiseksi. (Bassam ym. 2021)

Jotkut kaupalliset kuljetusyhtiöt saattavat mieluummin vähentää hyötyajoneuvojen pääomakustannusten sijoittaminen nimeämällä ajoneuvoja monivuorotyötä varten asiakkaidentilausten mukaan. Tämä edellyttää jompaakumpaa raskasta akkua näiden tehtävien suorittamiseksi, mikä rajoittaa osuutta hyötykuormaan tai ajoneuvo joutuu välillä palaamaan tiloihin latautumaan, mikä saattaa vaikuttaa tehtävien loppuunsaattamiseen, Siksi näiden latausta reitillä vaaditaan. Ajoneuvot voivat myös olla monta vuoroa palaamatta tukikohtaan, jonka vuoksi latauksen on tapahduttava reitillä, koska muuten kuorman määrä rajoittuisi liian paljoa. (Bassam ym. 2021)

Haasteita julkisilla latauspaikoilla lataamisesta tekee muun muassa se, että jos latauspaikalla on ruuhkaa viivästyttää se ajoneuvon aikataulua. Kustannukset, jotka syntyvät julkisilla latauspisteillä ei ole välttämättä ennalta arvattavissa, vaan sähkö voi olla erihintaista, joka vaikeuttaa liiketoiminnansuunnittelua. Julkisenlataus paikan perustaminen on haastavaa, sillä ei voi tietää millaisen käyttöasteen latauspaikka saavuttaa, joka vaikuttaa suoraan tuottoihin. Jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta haasteita aiheuttaa suuret kuormien vaihtelut, jotka vaikuttavat jakeluverkkoon. (Bassam ym. 2021)

4.3 Akku ja lataus teknologioiden tulevaisuus

Euroopan teillä odotetaan muutaman vuoden sisällä olevan huomattavan määrän sähkökuorma-autoja hyötyajoneuvojen CO2-päästöjen vähentämiseksi. Suuri osa tavaraliikenteen toiminnasta tulee raskaasta kaukoliikenteestä. Akkusähköautojen rajallinen toimintasäde edellyttää kuitenkin suuritehoista pikalatausta kauko- tai alueliikenteen lyhyissä tauoissa ja keskitehoista latausta pitkien pysähdysten aikana. Latausinfrastruktuurin koordinoitu käyttöönotto on edellytys raskaiden akkukäyttöisten sähköajoneuvojen käyttöönotolle. Tulevan latausinfrastruktuurin sijainnit tulisi ihanteellisesti valita siten, että se ei katkaise nykyistä toimintamallia, joten sen tulisi optimaalisesti sopia useiden ajoneuvojen nykyisiin pidempiin pysähdyksiin. (Plötz & Speth 2021)

Raskaanliikenteen ajoneuvo valmistajan Man:in toimitusjohtaja Andreas Tostmann esitti, että Eurooppaan on vuoteen 2025 mennessä moottoriteiden varrelle rakennettava latausverkko, jonka latauskapasiteetti on 700–1000 kW. (MAN 2021)

Tulevaisuudessa raskaiden ajoneuvojen latauslaitteet tulevat olemaan yli 1 MW. Raskaanliikenteen ajoneuvot ovat kalliita ja niiden käytön tulee olla jatkuvaa, jotta niistä

saadaan mahdollisimman paljon hyötyä, joten latauksen tulee tapahtua taukojen aikana. Latausasemat ovat myös suunniteltava niin, että siellä voidaan ladata useampaa ajoneuvoa 1 MW teholla. Verkkoyhtiön kannalta haasteita aiheuttaa että 1 MW on jo suuriteho, mutta jos 10 lataus laitetta toimii samaan aikaan tarkoittaa se 10 MW tehoa. Perinteisesti huoltoasemilla on ollut pienet kulutukset ja sijaintikin saattaa olla syrjäinen, jolloin verkon vahvistaminen on hankalaa. Tulevaisuudessa onkin tärkeä, miettiä minne huoltoasema sijoitetaan, esimerkiksi jos lataus olisikin isolla teollisuusalueella, jossa kuormat ovat jo valmiiksi suuria, eikä moottoritien varressa, jossa ei ole juuri muuta kuormaa. (Halvorson 2021)

5 RASKAANLIIKENTEEN AIHEUTTAMIEN VAIKUTUSTEN ANALYSOINTI

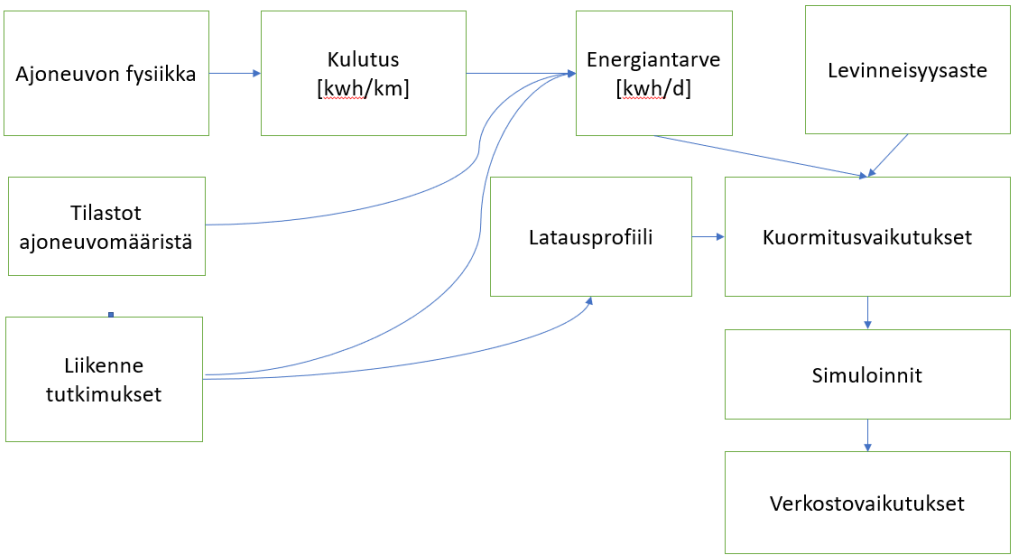
Raskaanliikenteen sähköistymisestä aiheutuvia verkostovaikutuksia tarkastellaan simuloimalla kuormia verkkotietojärjestelmän avulla. Ennen kuin voidaan simuloida, täytyy määritellä tuloksiin vaikuttavat muuttujat, sekä perustella kaikki oletukset. Simuloinnit suoritetaan Caruna Oy ja Caruna Espoo Oy verkkotiedoilla. Verkoista tarkastellaan erityyppisiä keskijännite lähtöjä Case-esimerkkeinä. Johtolähdöt valitaan, niin että saadaan mahdollisimman monipuolinen kuva, maantieteellisesti sekä sähköteknisesti.

Verkostolaskentaa varten tulee tehdä useita parametrivalintoja sekä olettamuksia tulevaisuudesta. Kaikista suurimmat epävarmuustekijät liittyvät kuormituksen kasvun suuruuteen sekä raskaiden sähköajoneuvojen lataustarpeen ajankohtaan, paikkaan, määrään ja lataustehoon. Perinteisesti kuormituksen kasvu verkostolaskennassa on voitu ennustaa kohtuullisesti asemakaavojen ja väestön kasvuennusteiden avulla. Laskentaparametrit ja periaatteet kun luodaan huolella, niin saadaan uskottavat edellytyksen laskennalle.

Sähköisenliikenteen lataustarpeesta aiheutuvat kuormitukset arvioidaan vuosille 2030 ja 2040 ja näille tehdään omat simuloinnit. Sähköisenliikenteen arvioidaan lisääntyvän tulevaisuudessa. Sähköverkon käyttöikä on kuitenkin pitkä, jonka vuoksi on tärkeä tietää millaisia kuormia verkkoon arviolta tulee lähitulevaisuudessa ja vähän pidemmällä tulevaisuudessa, jotta verkko osataan suunnitella kestämään tulevaisuudenkin kuormitukset. Simuloinneissa ei oteta kantaa verkon teknillistaloudellisiin asioihin, vaan keskitytään tarkastelemaan millaisia kuormitusvaikutuksia verkkoon aiheutuu raskaanliikenteen sähköistymisestä.

5.1 Kuormitusprofiilien rakentaminen

Simulointia varten tulee tehdä joukko olettamuksia latauskuormia koskien. Kuvassa 5.1 on esitelty yksinkertainen kaavio, josta nähdään miten verkkovaikutusten analysointiin päästään. Erilaiset liikenteen tutkimukset ovat merkittäviä lähtötietoja prosessin alkuvaiheissa.



Kuva 5.1 Sähköisen raskaan liikenteen lataustarpeen määrityksen vaiheet

Kirjallisuuden perusteella voidaan arvioida kuinka paljon keskimäärin eriajoneuvo luokan ajoneuvot kuluttavat energiaa kuljetulla matkalla ja tiedämme kuinka paljon, ja missä päin Suomea ajoneuvot liikkuvat, saamme määritettyä niiden lataustarpeen. Taulukoista 3.6 ja 3.7 saamme tiedot, kuinka monta kunkin ajoneuvoluokan ladattavaa ajoneuvoa liikenteessä olisi vuonna 2030 ja 3040. Lataustarpeen määrittämiseen tarvitaan ajoneuvojen keskimääräinen ajomatka, tehdään oletus, että ajoneuvo liikkuvat lähes saman verran kuin vuonna 2018, jolloin voimme hyödyntää kappaleessa viisi esitettyjä keskimääräisiä ajomatkoja jokaiselle ajoneuvo tyypille. Kappaleessa viisi esitetyt keskimääräiset ajomatkat ovat vuositasolla, jolloin päivätason keskimääräiset ajomatkat saadaan jakamalla keskimääräinen vuotuinen ajomatka vuoden päivillä. Taulukossa 5.1 on esitetty ajoneuvokohtaiset keskimääräiset ajomatkat vuorokaudessa.

Taulukko 5.1 Keskimääriset ajomatkat ajoneuvoluokalla vuorokaudessa kaikilla ajoneuvoluokan ajoneuvoilla

	Ajomatka [Milj.km]	Yhden ajoneuvon ajomatka [km/vrk]
Linja-autot	1,7	92
Raskaat kuorma-autot	4,7	60
Keskiraskaat kuorma-autot	4,7	60
Pakettiautot ja pienet linja-autot	15,6	34

Taulukosta 5.1 nähdään kuinka paljon kunkin ajoneuvotyypin ajoneuvot liikkuvat keskimäärin vuorokaudessa. Keskiraskaat ja raskaat kuorma-autot oletetaan jakautuvat puoliksi, jolloin ajomäärät ovat samat. Vuorokauden lataustarpeen määrittämiseen tarvitaan tieto kuinka paljon ajoneuvot ovat liikkuneet. Taulukosta nähdään, myös kuinka paljon yksiajoneuvo liikkuu yhdessä vuorokaudessa.

Liitteessä 6 on esitetty eri ajoneuvoluokkien keskimääräiset ajomäärät vuorokaudessa kilometreinä. Taulukosta, kuinka paljon eri maakunnissa ajetaan. Tämän tiedon avulla voimme arvioida, miten paljon maakunnassa tarvitaan ladata ajoneuvoja. Liitteessä I on esitetty taulukko siitä, miten raskasliikenne jakautuu eritietyypeille. Liitteessä 2–5 on esitetty taulukot, josta nähdään kuinka erityyppistenajoneuvojen liikenne jakautuu tietyypeittäin.

Yksi oleellinen tieto verkkoa simuloitaessa on, millaisilla tehoilla lataus tapahtuu. Markkinoilla vuonna 2021 latauslaitteiden tehot vaihtelevat 22–800 kW, mutta tulevaisuudessa tehon tarve on ainakin 1 MW. Latauksentehon tarpeeseen vaikuttaa millaisella taktiikalla lataus toteutetaan ja millainen ajoneuvo on kyseessä. Simuloinnissa tulee siis huomioida erilaiset ajoneuvot ja niiden erilaiset lataustarpeet, jotta saadaan todellinen kuva verkkoon muodostuvista kuormista.

Simuloinneissa tulee olla arvio, millaisia sähköisiä ajoneuvoja liikkuu ja miten niiden lataus toteutetaan. Esimerkiksi paikallislinja-auto tai pitkänmatkan kuorma-auto näyttäytyvät verkolle ihan erilaisena kuormana. Erilataus tekniikoille pitää luoda oma malli, jolla voidaan arvioida kuormitusvaikutuksia.

Linja-autoa voidaan ladata varikolla, päätepisteessä ja reitin varrella. Näihin kaikkiin on arvioitava, millaisella teholla lataus tapahtuu, jotta voidaan arvioida niiden kuormitusvaikutusta. Kuorma-autoja voidaan taas ladata tukikohdassa, julkisilla lataus asemilla ja kohdelatauksella. Simuloinnit suoritetaan käyttäen kullekin lataustyypille yhtä lataustehoa, joka on päätelty kirjallisuuskatsauksen perusteella mahdollisimman oikeaksi, vaikka todellisuudessa lataustehot vaihtelevat hyvin paljon toimijasta ja tarpeesta riippuen.

Simuloinnin yhteydessä tehdään myös seuraavat oletukset:

- Kaikkia ladattavia ajoneuvotyypin ajoneuvoja ladataan samalla teholla ja niiden lataus tarve on sama.
- Latauksen aiheuttamia häviöitä ei huomioida.
- Simuloinneissa keskitytään vain raskaanliikenteen aiheuttamiin kuormanmuutoksiin.
- Simuloinnin mahdollistamiseksi tehdään oletus, että lataus teho pysyy samana koko latauksen ajan.
- Kaikki ajoneuvot pysyvät aikatauluissa, eikä sen vuoksi synny muutoksia latausprofiileihin.

5.1.1 Lataustehojen määritys

Sähköverkon kannalta yksi merkittävimmistä lataukseen liittyvistä asioista on teho, jolla sähköisiä ajoneuvoja ladataan. Raskaat ajoneuvot vaativat suuria lataustehoja, koska niissä on suuret akut ja ne tulee ladata nopeasti. Lataustehoon vaikuttavat ajoneuvontyyppi, ajojen määrä, latausstrategia ja lataukseen käytettävissä oleva aika. Latauslaitteita löytyy 22 kW–1 MW, tällä hetkellä ja tulevaisuudessa mahdollisesti vieläkin suurempia. Sähkönjakeluverkon kannalta 1 MW latauslaite aiheuttaa paljon enemmän vaikutuksia, kuin 22 kW, tämän vuoksi on oleellista tietää, millaisella teholla lataus tapahtuu.

Latausstrategialla on oleellinen vaikutus myös käytettävään lataustehoon. Erilaisia strategioita on useita riippuen ajoneuvosta ja sen käytöstä.

Taulukko 5.2 Erilaisten lataus strategioiden tehot

	Paluu tukikohtaan	Julkinen lataus	Kohde/päätepiste lataus
Linja-auto	50–200 KW	150–400 kW	300–800 kW
Kaukoliikenne	50–1 MW	150 kW–1 MW	150 kW–1 MW
Jakeluliikenne	22–200 kW	150 kW– 1 MW	50 kW–1 MW

Taulukossa 5.2 on esitelty erilaisten lataus taktiikoiden mahdolliset lataustehot. Paluu tukikohtaan lataus tarkoittaa latausta, joka tapahtuu liikennöitsijän omissa tiloissa, esimerkiksi vuorojen välissä tai yön aikana. Julkisella latauksella tarkoitetaan latausta, joka tapahtuu julkisilla latausasemilla. Kohde/päätepiste latauksella tarkoitetaan latausta, joka tapahtuu esimerkiksi linja-autoliikenteen päätepisteessä tai jakeluliikenne terminaalissa.

Yksittäisen latauslaitteen tehot voivat olla taulukon 5.2 mukaisia, mutta toinen asia, joka tulee ottaa verkkoa simuloitaessa huomioon on, kuinka monta latauslaitetta yhdellä latausasemalla on. Esimerkiksi Espoossa Leppävaarassa oleva linja-autojen latausasema on kokonaisteholtaan 3 MW, vaikka yksittäisen latauslaitteen tehot ovat paljon pienemmät.

5.2 Simulointi menetelmät kuormituksen kasvulle

Kuormituksen kasvua voidaan simuloida monella eri tavalla. Simulointi voitaisiin toteuttaa niin, että kuorma kasvaisi tasaisesti vuorokauden jokaiselle tunnille, mutta tämä menetelmä ei oikein toimi raskaanliikenteen verkostovaikutuksia simuloitaessa, sillä latauskuormat eivät jakaudu tasaisesti vuorokauden sisällä, eikä myöskään tasaisesti jokaiseen verkon osaan. Kuormituksen kasvua voitaisiin simuloida myös muokkaamalla kuormituspiste kohtaisia kuormituskäyriä ja päiväenergioita. Tähän menetelmään ei anna välttämättä oikeaa tulosta, sillä kuormat eivät kohdistu kaikille kuormituspisteille ja niin tulos voisi vääristyä.

Simulointeihin käytetään menetelmää, jossa johtolähdölle lisätään uusi kuormituspiste. Kuormituspisteen teho on lataustehon suuruinen. Tämä menetelmä toimii raskaanliikenteen sähköistymisen kohdalla parhaiten, koska latauslaitteita ei tule jokaiselle kuormituspisteellä vaan niitä tulee yksittäisiin pisteisiin. Menetelmän etuna on, että siinä voidaan käyttää todellista tuntidataa, joka on mitattu johtolähdöltä. Ainoaksi epävarmuustekijäksi jää silloin lataustehon suuruus, mutta huolellisella latauskuorman arvioinnilla saadaan kuitenkin tuloksia, joiden perusteella voidaan ottaa kantaa verkon kehittämiseen.

5.3 Simuloitava verkko

Työhön on valittu neljä kappaletta keskijännite lähtöjä, joissa tehdään tarkasteluita, kuinka mahdollinen raskaanliikenteen sähköistyminen vaikuttaa niihin. Johtolähdön ovat valittu, niin että saadaan mahdollisimman kattava kuva erilaisista verkoista. Johtolähtöjen valinnassa on huomioitu maantieteellinen sijainti, sekä onko johtolähtökaupungissa vai haja-asutusalueella. Työssä keskitytään tarkastelemaan keskijännitejohtolähtöä, eikä pienjännite puolelle oteta kantaa, sillä lataustehot ovat niin suuret. Taulukossa 5.3 on esitetty johtolähdöt ja niiden tärkeimmät tiedot.

Taulukko 5.3 Simuloitavat johtolähdöt

Johtolähtö	Sijainti	Pituus	Huipputeho	Suurin jännitteenalenema
KUM B02	Espoo	5523 m	1933 kW	0.18 %
SNV J05	Kuusamo	10832 m	2508 kW	0.52 %
LAE- J16	Tuusula	20172 m	4886 kW	1.34 %
VRL J26	Sastamala	32083 m	2535 kW	2.52 %

Taulukosta 5.3 nähdään Simuloitavat johtolähdöt ja niiden perustiedot lähtötilanteessa. Sijainti kohdasta nähdään, miten johtolähdöt jakautuvat Carunan verkkoalueelle. Sähköisistä tiedoista johtolähdölle on ilmoitettu suurin jännitteenalenema, sekä huipputeho

5.4 Sähköisen raskaanliikenteen kuormitusvaikutukset

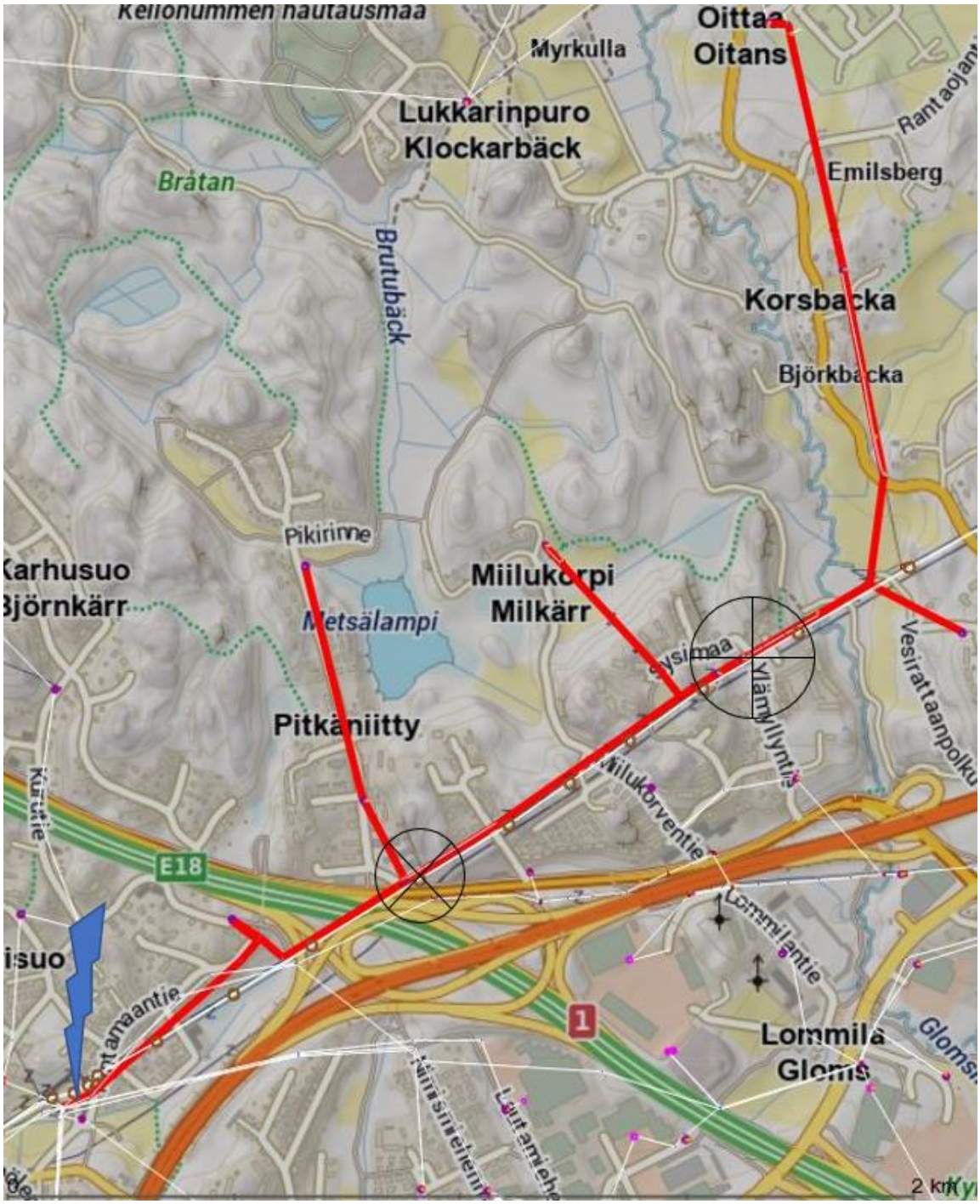
Sähköinen liikenne aiheuttaa sähkönjakeluverkkoon vaikutuksia. Tässä kappaleessa perehdytään kuormitusvaikutuksiin, jotka aiheutuvat raskaanliikenteen sähköistymisestä, joita voidaan sitten simuloida verkkoon, että saadaan tietoon millaisia verkostovaikutuksia syntyy. Selvää on että kuormat verkossa nousevat, mutta miten paljon ja mihin aikaan. Kuormitusvaikutukset ovat erisuuruiset maantieteellisesti, sillä ne ovat riippuvaisia ajoneuvojen määrästä, sekä ajomäärästä. Jokaiselle johtolähdölle tulee arvioida erikseen kuormitusvaikutukset, jotka aiheutuvat sähköisestäliikenteestä.

5.4.1 Johtolähtö KUM B02

Ensimmäinen johtolähtö KUM B02 sijaitsee Espoossa. Johtolähtö kulkee yhden liikenteen solmupisteen ohi. Liikenteen solmupisteessä risteää Turunväylä ja Kehä III. Molemmat tiet ovat paljon liikennöityjä ja niissä liikkuu paljon raskasta liikennettä. Koska solmupisteestä kulkee paljon ajoneuvoja, voisi se olla potentiaalinen paikka suuritehoiselle julkiselle latauspisteelle.

Johtolähdöllä on myös paljon isoja teollisuuskiinteistöjä, joissa voisi sijaita tukikohtia raskaanliikenteen kalustolle, jolloin niihin voisi tulla tukikohta sekä jakeluliikenteen päätepiste latausta. Tukikohta lataus tapahtuu yleensä yöaikana ja vuorojen välissä. Koska lataus aika on pidempi, kuin julkisissa latauspaikoissa on lataus teho alhaisempi.

Johtolähdöllä kulkee myös useita linja-auto reittejä. Näiden reittien varrelle olisi hyvinkin mahdollista sijoittaa latausasema, jossa linja-autoa ladataan nopeasti suurella teholla pysähdyksen aikana. Koska lataus tapahtuu vain nopean pysähdyksen aikana on tehon oltava suuri.

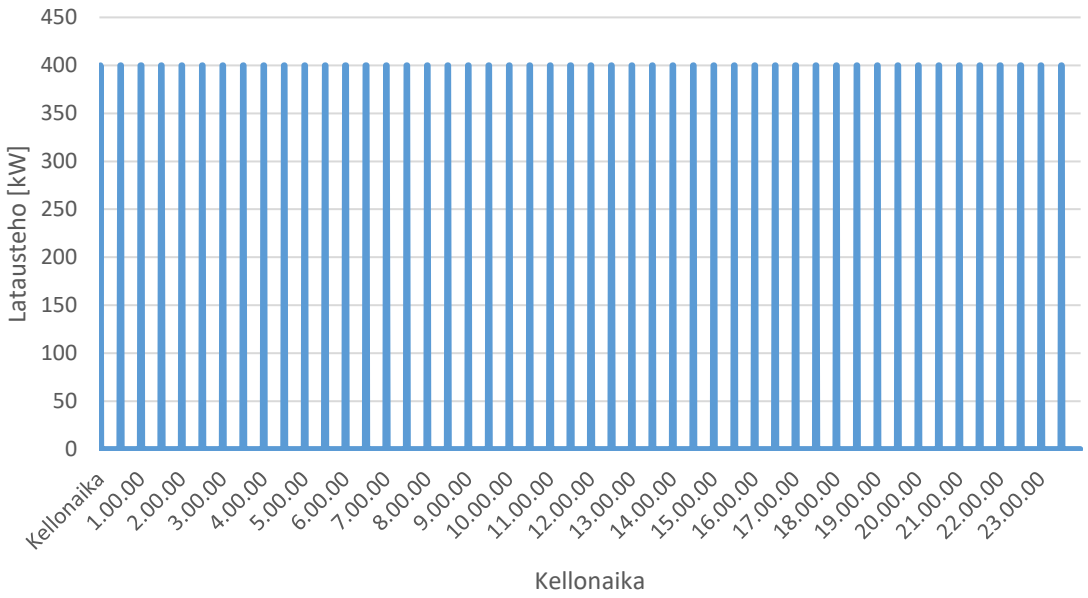


Kuva 5.2 Johtolähtö KUM B02

Kuvasta 5.2 nähdään johtolähdön KUM B02 sähköinen reitti. Johtolähtö näkyy kuvassa punaisenvärisenä, sekä paksunnettuna. Kuvasta nähdään, miten johtolähtö kulkee Turunväylän ja Kehä III liittymän kohdalla. Kuvassa Salama osoittaa sähköaseman paikan ja ympyrät ovat latauksille suunniteltuja paikkoja. Ympyrä jonka keskellä on x tarkoittaa julkista latausta ja ympyrä jossa on + merkki tarkoittaa linja-auto latausta.

Johtolähdölle tehdyn arvion perusteella saadaan arvioitua, kuinka paljon lataustarvetta esiintyy, milloin lataus tapahtuu ja millaisella teholla. Näiden tietojen perusteella saadaan selville millaiset kuormitusvaikutukset johtolähdölle aiheutuvat.

Vuonna 2030 Sähköisenliikenteen osuus on suurempi, kuin tänä päivä, mutta kuitenkin pienempi kuin vuonna 2040. Vuonna 2030 voidaan arvioida suuren osan paikallisliikenteen linja-autoliikenteestä tapahtuvat sähkö linja-autoilla, joten oletetaan että johtolähdön ohi kulkevat linja-autot tarvitsevat latausta. Koska johtolähdöllä ei ole minkään linja päätepysäkkiä ei tarvitse huomioida päätepiste latausta, mutta koska useat linjat kulkevat johtolähdöllä on siinä hyvä paikka pysähdyksen aikaiselle lataukselle. Oletetaan että lataus tapahtuu kaksi kertaa tunnissa kahden minuutin ajan 400 kW teholla.

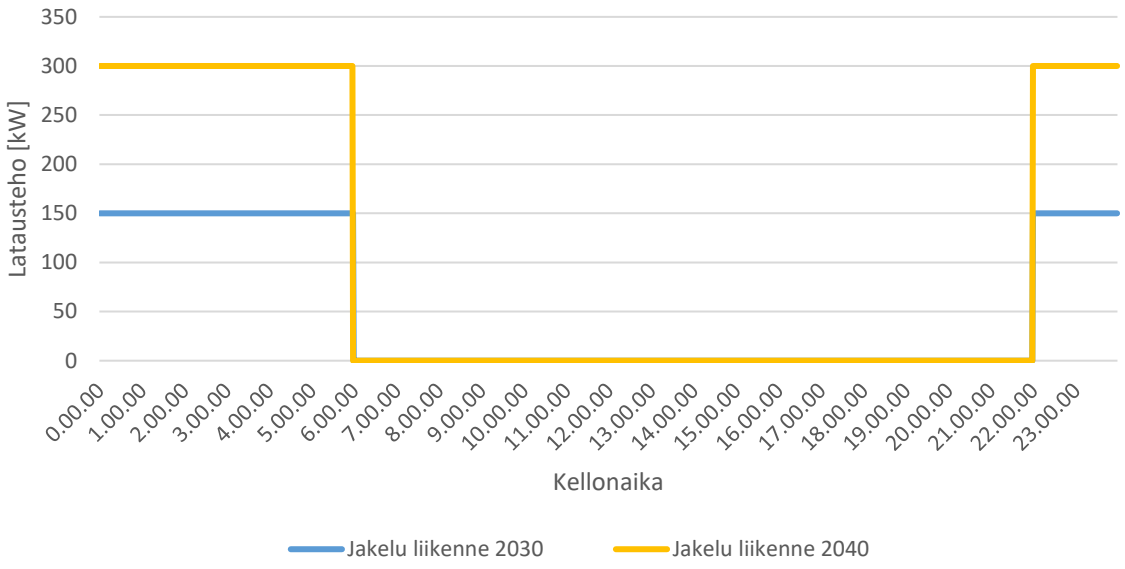


Kuva 5.3 Sähköisten linja-autojen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.3 nähdään millaiset kuormitusvaikutukset sähköinen linja-auto liikenne aiheuttaa johtolähdölle. Kuvaajasta nähdään, että lataus toistuu aina samaan aikaan tunnin sisällä,

mutta todellisuudessa siihen syntyy hieman hajontaa, koska aina linja-autot eivät pysy aikataulussa, mutta työn kannalta on mahdotonta sanoa miten paljon linja-autot ovat myöhässä tulevaisuudessa ja sen vuoksi hajontaa ei oteta huomioon.

Jakeluliikenteen osalta johtolähdöllä on monia potentiaalisia paikkoja tukikohtalataukselle, vielä vuonna 2030 jakeluliikenteessä sähköisten ajoneuvojen käyttö on alhaista. Oletettavasti muutama toimija on hankkineet sähköisen jakeluauton, joita ladataan yöllä klo. 22.00–06.00. Yhteensä tukikohtalatauksesta aiheutuva latausteho johtolähdöllä olisi 150 kW.

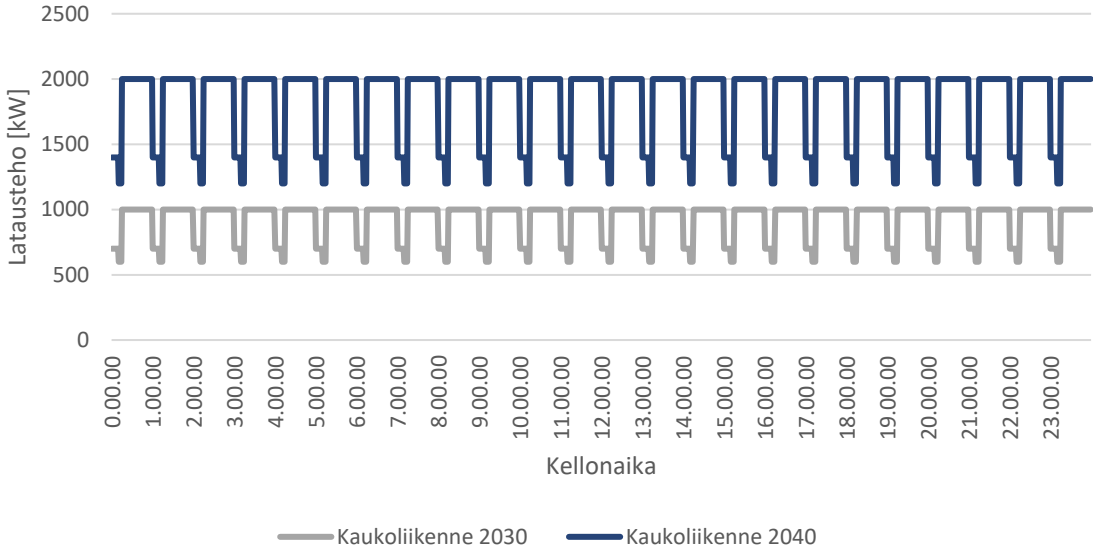


Kuva 5.4 Jakeluliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset johtolähdölle

Kuvasta 5.4 nähdään kuormitusvaikutukset, jotka aiheutuvat johtolähdölle jakeluliikenteen tukikohtalatauksesta. Kuvasta nähdään sekä vuoden 2030, että vuoden 2040 kuormitusvaikutukset. Vuonna 2040 kuormitus on yön aikana kaksinkertainen, mutta kuormitus tapahtuu samaan aikaan.

Johtolähdöllä olisi hyvä paikka suuritehoiselle julkiselle latauspisteelle, jossa voitaisiin ladata kaukoliikenteen sähköisiä ajoneuvoja. Vuonna 2030 sähköistä raskasta liikennettä on kohtuullisen pieni osuus kaikesta liikenteestä, joten latausasemalla ei kannata olla kuin muutama latauspiste ja niiden latausteho olisi yhteensä 1 MW. Latauspaikalla voisi olla kolme latauspistettä, joiden tehot olisivat 300 kW, 300 kW ja 400 kW. Koska kyseessä on paljon liikennöity liikenteen solmupiste oletetaan, että latausasemalla on koko ajan kysyntää

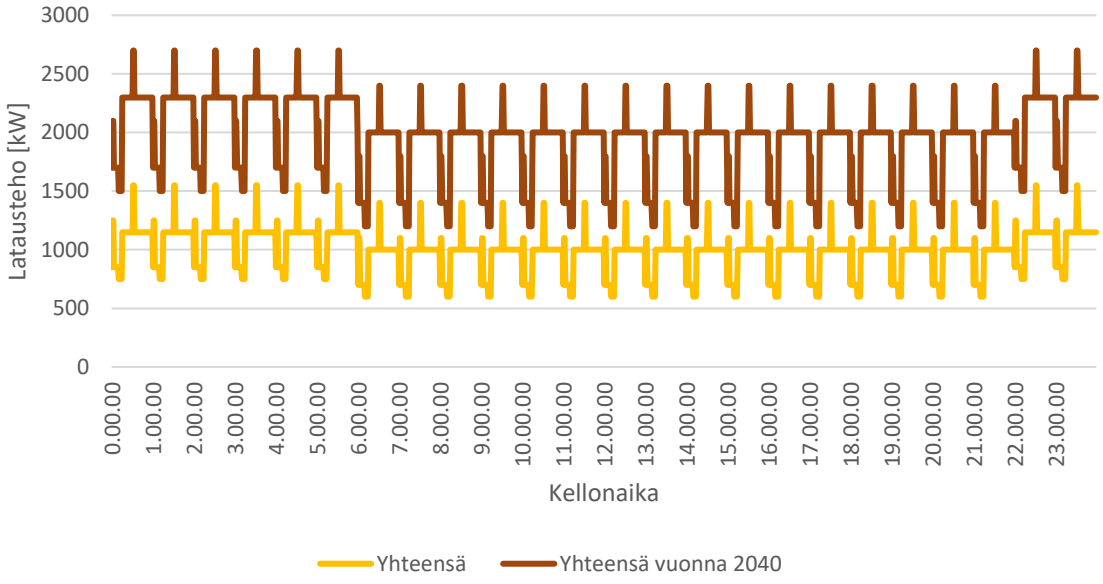
Oletetaan myös, että latausaika yhdelle ajoneuvolle on noin tunti ja ajoneuvon vaihtamisessa menee noin viisi minuuttia. Vuonna 2040 oletetaan että latureita on kaksinkertainen määrä, ja aina kahteen laturiin vaihdetaan ajoneuvo samaan aikaan.



Kuva 5.5 Kaukoliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.5 nähdään, millaisia vaikutuksia kaukoliikenne aiheuttaa johtolähdölle. Kuvasta nähdään, että vuonna 2030 suurimman osan ajasta lataus tapahtuu täydellä 1 MW teholla, mutta aikoina jolloin ajoneuvoa vaihdetaan laturiin lataus tapahtuu, joko 600 kW tai 700 kW teholla riippuen mihin laturiin vaihdetaan uusi ajoneuvo. Vuonna 2040 Lataus tapahtuu suurimman osan ajasta 2 MW teholla ja ajoneuvon vaihdon aikana se laskee joko 1,4 MW tai 1,2 MW riippuen siitä mitkä laturit ovat pois verkosta.

Näistä saadaan muodostettua kuormitusvaikutus, joka syntyy johtolähdölle raskaanliikenteen sähköistymisestä vuonna 2030. Vuonna 2040 Sähköisten ajoneuvojen määrä on lisääntynyt kaikissa ajoneuvoissa. Linja-autoliikenne voidaan ajatella pysyneen samana ja näin ollen latauksen kuormitusvaikutukset ovat samat kuin vuonna 2030. Jakelu ja kaukoliikenteessä sähköisten ajoneuvojen osuus on kasvanut sitä myöten lataus tehot nousevat. Vuonna 2040 oletetaan että johtolähdöllä olisi neljäkappaletta jakeluliikenteen varikkolatauspistettä, joissa yön aikana ladataan yhteensä 300 kW teholla ja päivällä lastausten yhteydessä 150 kW teholla 2 kertaa 30 minuutin ajan. Julkisella latauspisteellä oletetaan tehot kaksinkertaistuneen. Nämä yhteen laskettuna saadaan verkosto vaikutukset vuonna 2040.

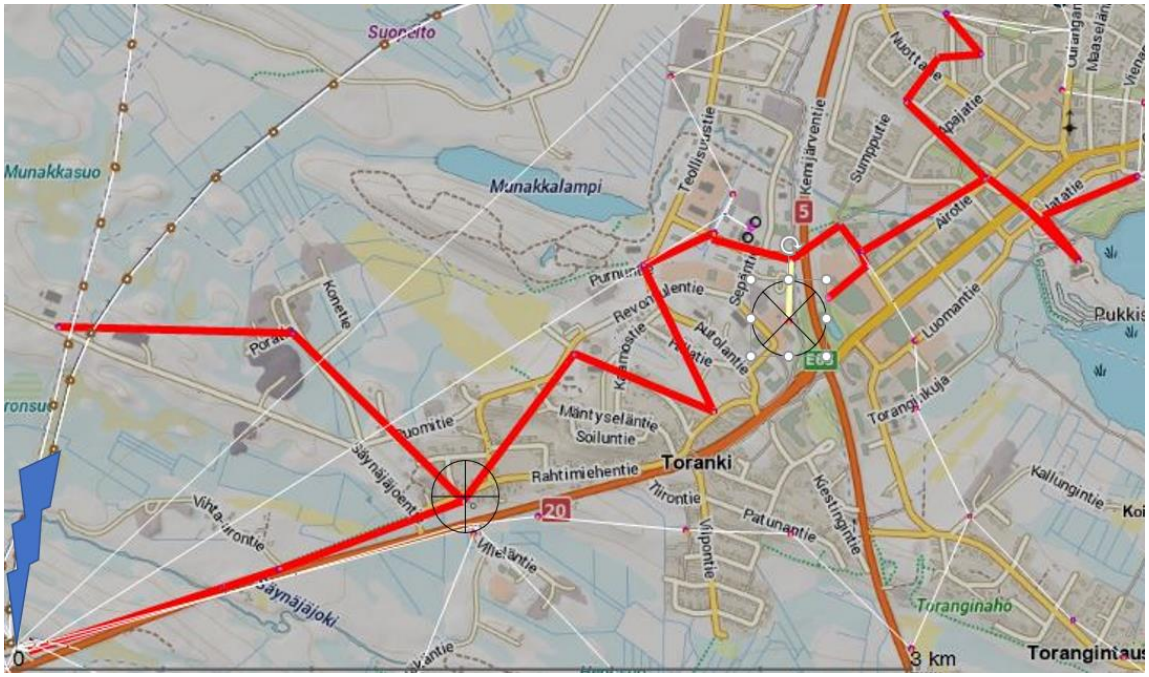


Kuva 5.6 Kuormitusvaikutukset vuosina 2030 ja 2040

Kuvassa 5.6 on esitetty kuormitusvaikutukset, jotka aiheutuvat raskaanliikenteen sähköistymisestä johtolähdölle KUM B02. Kuvasta nähdään, kuinka paljon johtolähdön kuorma, muuttuu kun sähköinen liikenne lisääntyy.

5.4.2 Johtolähtö SNV J05

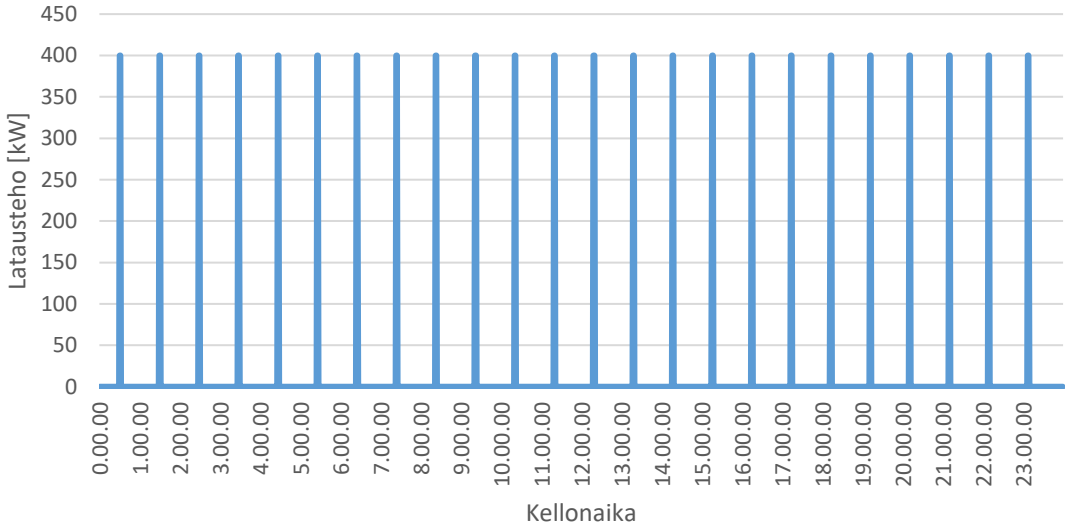
Toinen johtolähtö SNV J05 sijaitsee Kuusamossa. Johtolähtö kulkee lounaispuolella, jossa risteää kaksi isoa tietä. Johtolähdöllä risteää reitti E63 ja tie 20, Nämä ovat merkittäviä reittejä Kuusamoon suuntautuvan ja sieltä pois lähtevän liikenteen kannalta. Johtolähdöllä on myös paljon teollisuutta ja teollisuusaluetta, jonne voisi hyvin sijoittua jakeluliikennettä.



Kuva 5.7 Johtolähtö SNV J05

Kuvasta 5.7 nähdään, miten johtolähtö kulkee Kuusamon alueella. Kuvassa näkyy johtolähdön johtoreitti. Kuvaan on merkitty kohdat joihin raskaanliikenteen latausta voisi tulla. Kuvassa salama osoittaa sähköasemanpaikan. Ympyrä jossa on + merkki osoittaa linja-auton latauksen ja ympyrä jossa on x osoittaa julkisen latauksen paikan. Sähköasema on hieman kaupungista sivulla ja johtolähdönalku on haja-asutusalueella, mutta loppu osa on Kuusamon keskustassa.

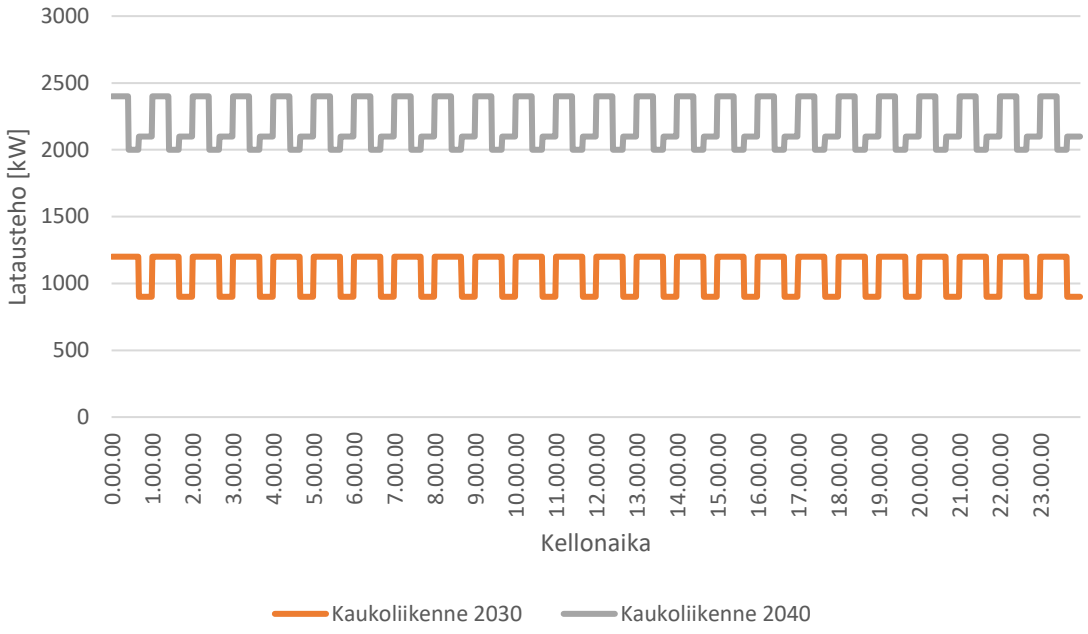
Johtolähdön varrelle kulkee paikallisliikenteen linja-auto linjoja. Johtolähdöllä ei ole linja-auto asemaa, eikä päätepysäkkiä, mutta johtolähdölle voisi sijoittua matkan aikaista latausta. Matkan aikainen lataus oletetaan tapahtuvat kahden minuutin ajan 400 kW teholla kerran tunnissa. Oletetaan, että paikallisliikenteen vuorot ovat johtolähdön varrella ovat sähköistyneet vuonna 2030, sen vuoksi myös vuonna 2040 lataus tapahtuu samalla tavalla.



Kuva 5.8 Linja-autojen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.8 nähdään millaiset kuormitusvaikutuksen aiheutuvat linja-autoliikenteen sähköistymisestä johtolähdölle. Kuvasta nähdään, kuinka teho nousee aina kahden minuutin ajaksi 400 kW ja muuten se pysyy nollassa.

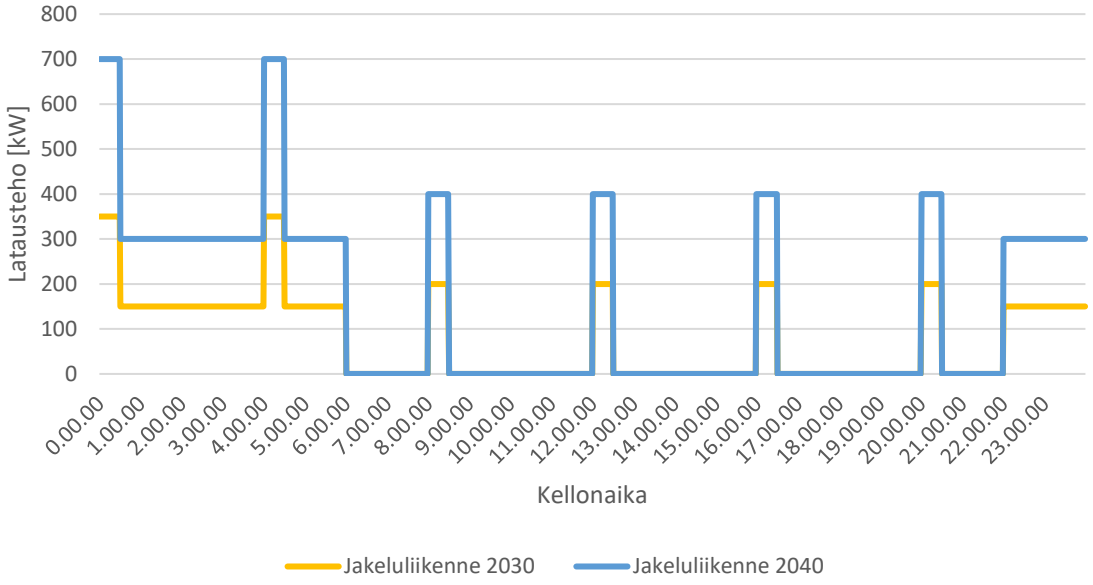
Johtolähdöllä sijaitsee kahden suuren tien risteys ja ne molemmat ovat valta väylät, josta pääsee Kuusamoon, kun tulee etelän suunnalta. Tämän vuoksi risteyksessä olisi hyvä paikka sijoittaa julkinen latauspiste raskaalle liikenteelle. Etäisyydet on pidemmät kuin johtolähdöllä yksi ja sen vuoksi latauksen tarve on suurempi. Vuonna 2030 lataus asemalla oletetaan olevan neljäkappaletta 300 kW latauslaitteita, jolloin niiden yhteenlaskettu teho olisi 1,2 MW. Latauslaitteiden kysynnän oletetaan olevan jatkuvaa. Laitteet toimivat täydellä teholla, paitsi silloin kuin niiden vaihdetaan uusi ajoneuvo. Vaihdossa oletetaan kestävä viisi minuuttia ja aina yksi ajoneuvo kerralla. Vuoteen 2040 mennessä kaukoliikenne on sähköistynyt lisää, jolloin lataustehoa tarvitaan enemmän. Koska ajoneuvoja on tulisi olla noin kaksinkertainen määrä, oletetaan lataustehon tarpeen tuplaantuvan. Oletetaan että lataus asemalla on vuonna 2040 neljä kappaletta 300 kW latauslaitteita, sekä kolme kappaletta 400 kW latauslaitteita.



Kuva 5.9 Kaukoliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.9 nähdään millaiset kuormitusvaikutukset kaukoliikenne aiheuttaa johtolähdölle. Kuvassa on esitetty sekä vuoden 2030 että 2040 vuoden kuormitusvaikutukset. Nähdään että vuonna 2030 suurin teho on 1,2 MW ja vuonna 2040 suurin teho on 2,4 MW.

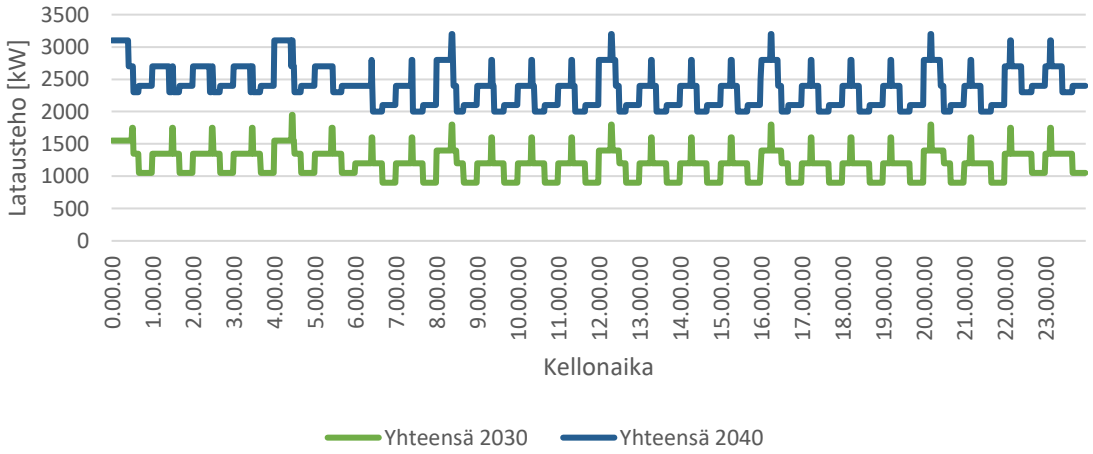
Johtolähdöllä on useita teollisuus kiinteistöjä, joihin voisi tulla jakeluliikenteen lataus pisteitä. Johtolähdölle voisi tulla tukikohtalatausta sekä päätepistelatausta. Vuonna 2030 yönaikaista latausta tapahtuu klo. 22.00–6.00 välillä teholla 150 kW. Päätepistelataus tapahtuu 200 kW teholla kuusi kertaa vuorokaudessa. Vuonna 2040 liikenteen sähköistyminen on edistynyt ja ajoneuvojen määrä on noin kaksinkertaistunut, jolloin lataustehon tarve on kaksinkertaistunut verrattuna 2030 vuoteen. Vuonna 2040 yönaikainen lataus tapahtuu 300 kW teholla ja päätepiste lataus tapahtuu 400 kW teholla kuusi kertaa vuorokaudessa.



Kuva 5.10 Jakeluliikenteen kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.10 nähdään millaisia vaikutuksia jakeluliikenteen sähköistyminen aiheuttaisi johtolähdölle. Kuvasta nähdään, että vuonna 2040 suurin tehon tarve on 700 kW ja vuonna 2030 suurin teho on 350 kW.

Yhdistämällä kaikki latauskuormat saadaan kokonais- kuormitusvaikutukset johtolähdölle, joita sitten simuloimalla verkkoon saadaan verkostovaikutukset.

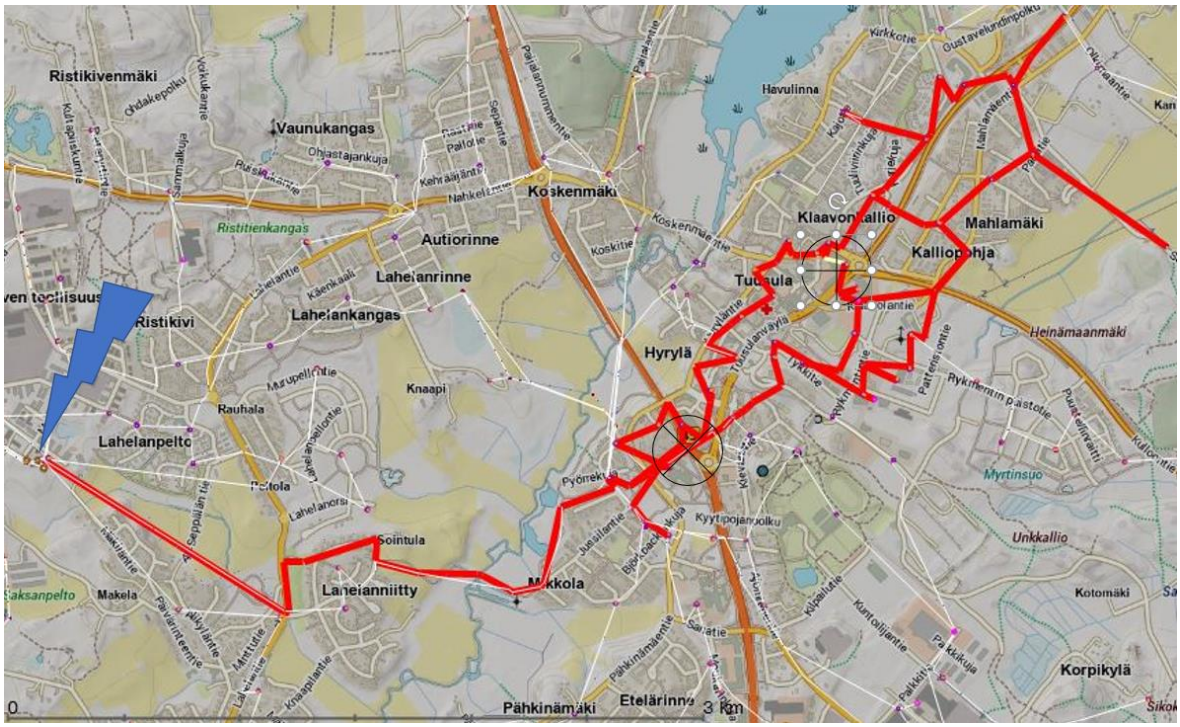


Kuva 5.11 Sähköisen liikenteen kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.11 Nähdään kuormitusvaikutukset, jotka aiheutuvat johtolähdölle raskaanliikenteen sähköistymisestä. Kuvasta nähdään, että vuonna 2040 kuormitusvaikutukset ovat suuremmat, mikä johtuu suuremmasta ajoneuvo määrästä.

5.4.3 Johtolähtö LAE- J16

Kolmas johtolähtö sijaitsee Tuusulassa. Johtolähdöllä on paljon potentiaalisia paikkoja, johon voisi tulla raskaan liikenteen latausta. Johtolähdöllä sijaitsee linja-auto asema, jossa kulkee paljon linja-autoja, johon varmasti tulee latauslaitteistoa, mutta johto lähdöllä on myös paljon muitakin potentiaalisia paikkoja raskaanliikenteen lataukselle.

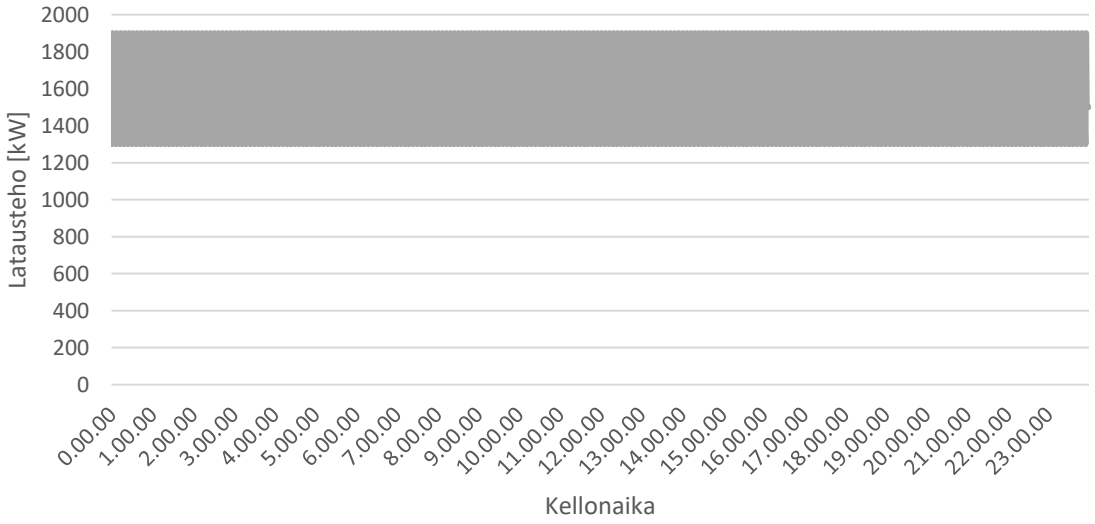


Kuva 5.12 Kolmas johtolähtö

Kuvassa 5.12 on esitetty kolmas johtolähtö. Kuvasta nähdään johtolähdön sähköinen reitti. Kuvaan on merkattu myös sähköasema ja mahdolliset raskaanliikenteen latauspaikat. Kuvassa salama osoittaa sähköasemanpaikan. Ympyrä jossa on + merkki osoittaa linja-auton latauksen ja ympyrä jossa on x osoittaa julkisen latauksen paikan. Kuvasta nähdään, miten johtoreitti kulkee Tuusula keskustan alueella.

Linja-auto liikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset tulevat kaikki linja-autoasemalta. Sinne voisi tulla monta erilaista latauslaitettu, sillä siinä on usean linjan päätepysäkki ja useat

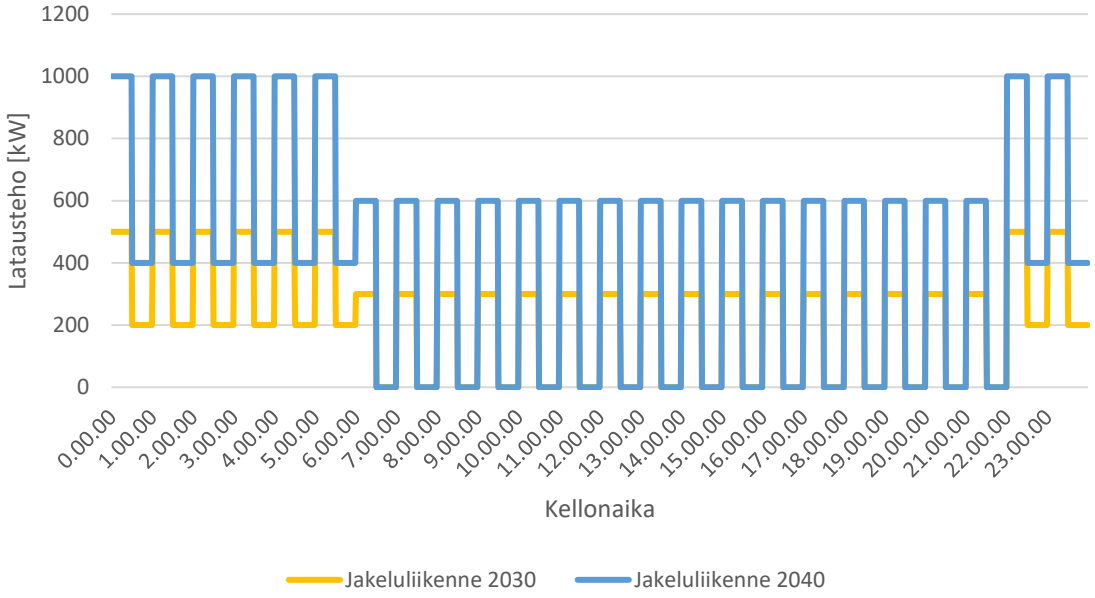
linjat vain pysähtyvät siinä. Arkipäivisin asemalta lähtee noin 15–20 linja-autoa tunnissa, oletetaan että vuonna 2030 ja 2040 linja-autoja lähtee 20 kappaletta tunnissa tasaisin välein. Oletetaan myös, että kymmenen linja-autoa vain pysähtyy nopeasti asemalla ja toiselle kymmenelle siinä on päätepysäkki. Oletetaan että kaikki ajoneuvot, jotka pysähtyvät asemalla lataavat kaksi minuuttia 400 kW teholla ja ne ajoneuvot, joiden päätepysäkkinä asema toimii lataavat 30 minuuttia 300 kW teholla. Vuonna 2030 ja 2040 kuormitusvaikutusten oletetaan olevat yhtä suuret.



Kuva 5.13 Linja-autoliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset.

Kuvassa 5.13 esitetään millaiset kuormitusvaikutukset linja-autoliikenne aiheuttaa johtolähdölle. Kuvasta nähdään, että teho vaihtelee jatkuvasti 1,3 MW ja 1,9 MW välillä. Koska vaihtelut ovat niin tiheitä, ei ne näy tarkasti kuvassa, mutta vaihtelut johtuvat tiheästi liikkuvista linja-autoista.

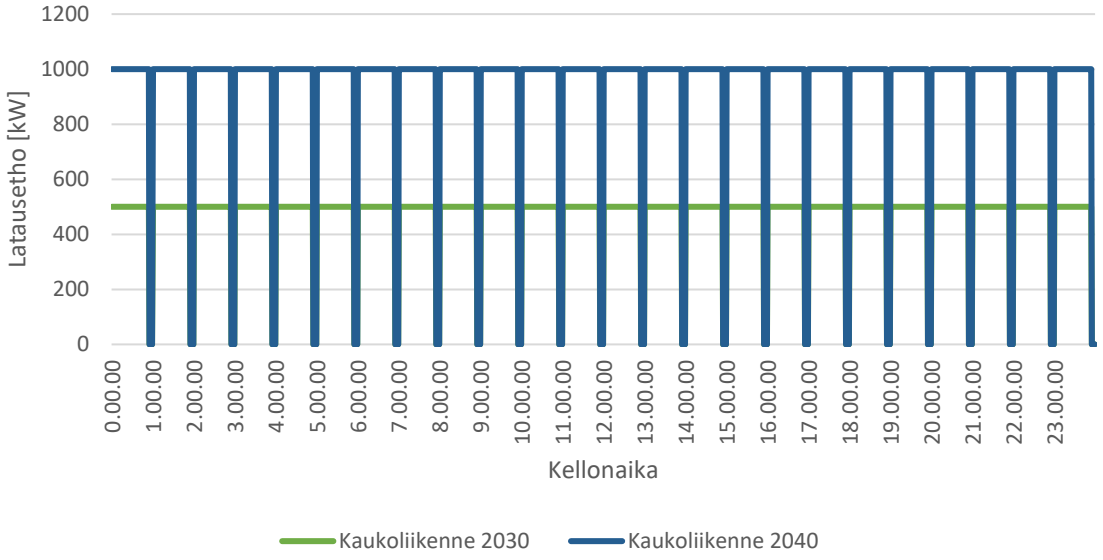
Johtolähdöllä sijaitsee myös paljon potentiaalisia paikkoja jakeluliikenteen tukikohta sekä kohdelataukselle. Johtolähtö kulkee Hyrylän taajamassa, jossa on useita rakennuksia, joihin voisi sijoittua kohdelatausta. Vuonna 2030 tukikohtalatausta yöaikaan oletetaan tapahtuvat 200 kW teholla 22.00–06.00 välisenä aikana. Kohdelatausta taas oletetaan tapahtuvat kerran tunnissa 300 kW teholla 30 minuutin ajan. Vuonna 2040 oletetaan tehon lataustarpeen tuplaantuneen ja yönaikaisen latauksen oletetaan tapahtuvat 400 kW teholla ja kohdelatauksen tapahtuvat 600 kW teholla 30 minuutin ajan.



Kuva 5.14 Jakeluliikenteen aiheuttamat verkostovaikutukset

Kuvasta 5.14 nähdään jakeluliikenteen aiheuttamat verkosto vaikutukset johtolähdölle. Kuvasta nähdään, että pahimmillaan teho on 1 MW. Huomataan myös, että vuonna 2040 vaikutukset ovat suuremmat, kuin vuonna 2030.

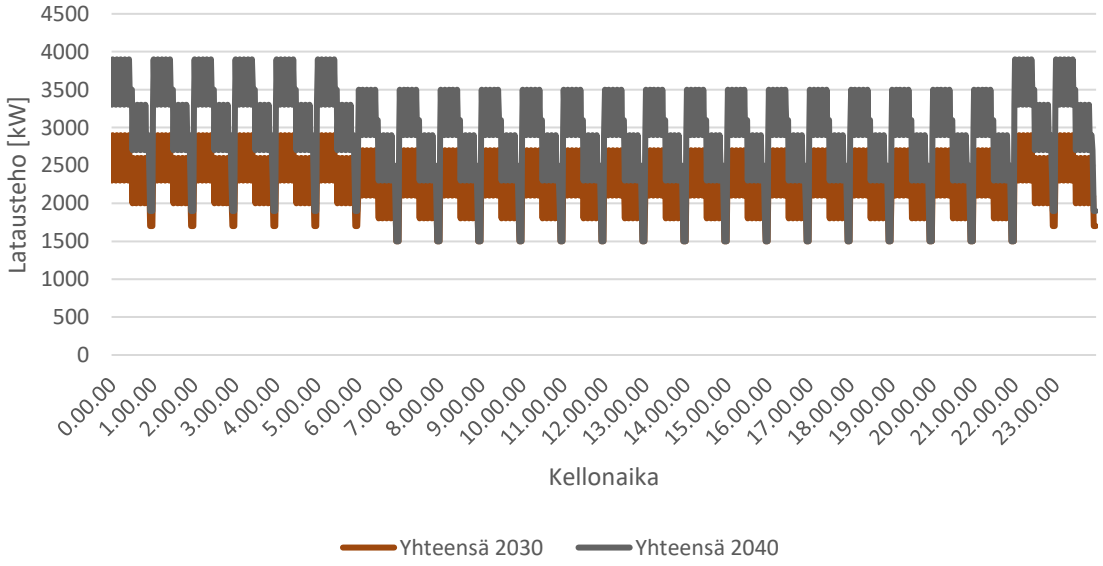
Kaukoliikenteelle johtolähdöllä ei ole potentiaalisia kohdelataus eikä tukikohtalataus paikkoja, mutta potentiaalinen julkinen latauspiste paikka olisi, sillä johtolähdöllä on paljon liikennöity Tuusulan väylä. Vuonna 2030 Julkisen latauksen teho oletetaan olevan 500 kW ja latauksen olevan jatkuvaa, paitsi silloin kuin ajoneuvo vaihdetaan, oletetaan olevat viiden minuutin tauko. Vuonna 2040 oletetaan lataustarpeen tuplaantuneen ja lataustehon nousseen 1 MW, mutta lataus tapahtuu samalla tavalla.



Kuva 5.15 Kaukoliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.15 nähdään, millaiset kuormitusvaikutukset kaukoliikenne aiheuttaa johtolähdölle. Nähdään, että vuonna 2040 tehot ovat puolet suuremmat, kuin vuonna 2030.

Yhdistämällä kaikki tehoprofiilit saadaan millaiset kuormitusvaikutukset koko raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa johtolähdölle, joita voidaan sitten simuloida johtolähdölle ja saada verkostovaikutukset. Kuvasta nähdään, että vuonna 2040 kaukoliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset ovat 1 MW.

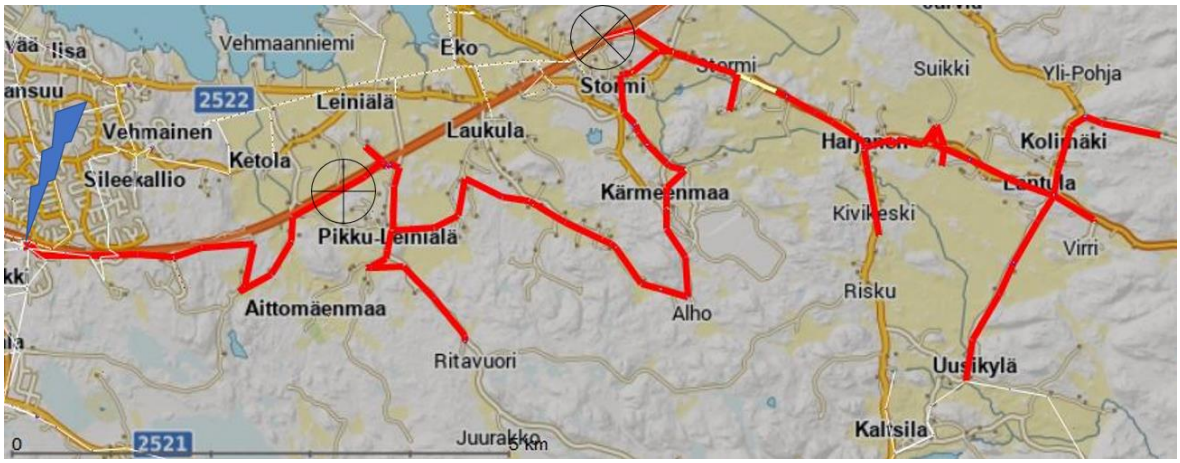


Kuva 5.16 Kuormitusvaikutukset johtolähdölle

Kuvasta 5.16 nähdään, millaiset kuormitusvaikutukset johtolähdölle aiheutuu raskaanliikenteen sähköistymisestä. Nähdään, että pahimmillaan tehontarve on lähes 4 MW, joka on melkein saman verrankuin johtolähdöllä tällä hetkellä huipputeho.

5.4.4 Johtolähtö VRL J26

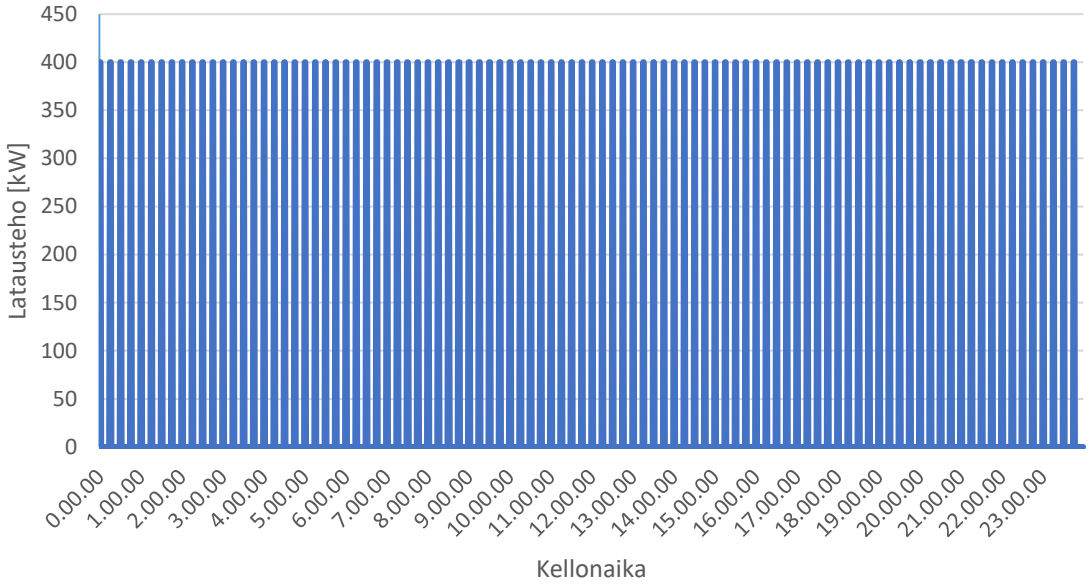
Neljäs johtolähtö sijaitsee Sastamalassa. Neljäs johtolähtö on selvästi enemmän maaseudulla, kuin edelliset johtolähdöt, mutta kuitenkin johtolähdöllä on potentiaalisia paikkoja raskaanliikenteen latausasemille. Johtolähtö kulkee valtatien 12 suuntaisesti, kohti itää, tie on paljon liikennöity, jonka vuoksi raskaanliikenteen julkinen lataus olisi hyvinkin mahdollinen. Valtatie 12 on hyvin liikennöity ja mahdollisessa latauspisteen kohdassa kulkee vuorokaudessa keskimäärin 6796 ajoneuvoa.



Kuva 5.17 Neljäs johtolähtö

Kuvassa 5.17 on esitetty neljäs johtolähtö. Kuvasta nähdään johtolähdön sähköinen reitti. Kuvaan on merkattu sähköaseman paikka, sekä mahdolliset raskaan liikenteen latauspaikat. Kuvassa salama osoittaa sähköasemanpaikan. Ympyrä jossa on + merkki osoittaa linja-auton latauksen ja ympyrä jossa on x osoittaa julkisen latauksen paikan.

Johtolähdölle ei ole linja-auto asemaa, eikä päätepysäkkiä, mutta matkanaikaista latausta voisi tapahtua johtolähdöllä. Matka-aikainen lataus voisi sijaita Pirkanmaan tiellä, jossa oletetaan kulkevan linja-autoja kaksi kertaa tunnissa molempiin suuntiin. Lataus oletetaan tapahtuva kahden minuutin ajan 400 kW teholla. Oletetaan linja-auto liikenne samanlaiseksi vuonna 2030 ja vuonna 2040.

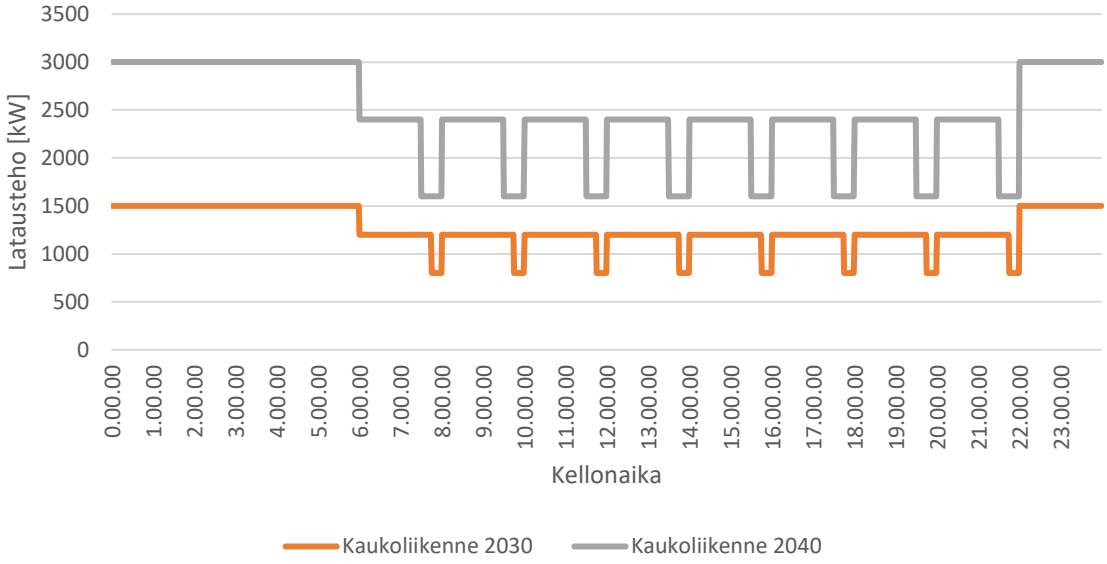


Kuva 5.18 Linja-autojen sähköistymisen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.18 nähdään linja-autojen sähköistymisen aiheuttamat kuormitusvaikutukset johtolähdölle. Neljäkertaa tunnissa verkkoon kohdistuu kahden minuutin ajan 400 kW teho, joka tekee tehokäyrästä tuon muotoisen.

Johtolähdöllä on huoltoasema, jossa on rekkaparkki. Rekkaparkki olisi potentiaalinen paikka raskaan liikenteen julkiselle lataukselle, sillä siellä kaukoliikenne pysähtyy pitkäksi aikaa ja silloin kuorma-autoja voitaisiin ladata aiheuttamatta suurta häiriötä aikatauluihin. Latauspisteelle tulee sijoittaa useita latauslaitteita, sillä useat ajoneuvot tarvitsevat samanaikaista latausta. Myöskin vuonna 2030 latauksen tarve on pienempi kuin vuonna 2040, koska sähköiset ajoneuvot lisääntyvät vuosine 2030 ja 2040 välillä.

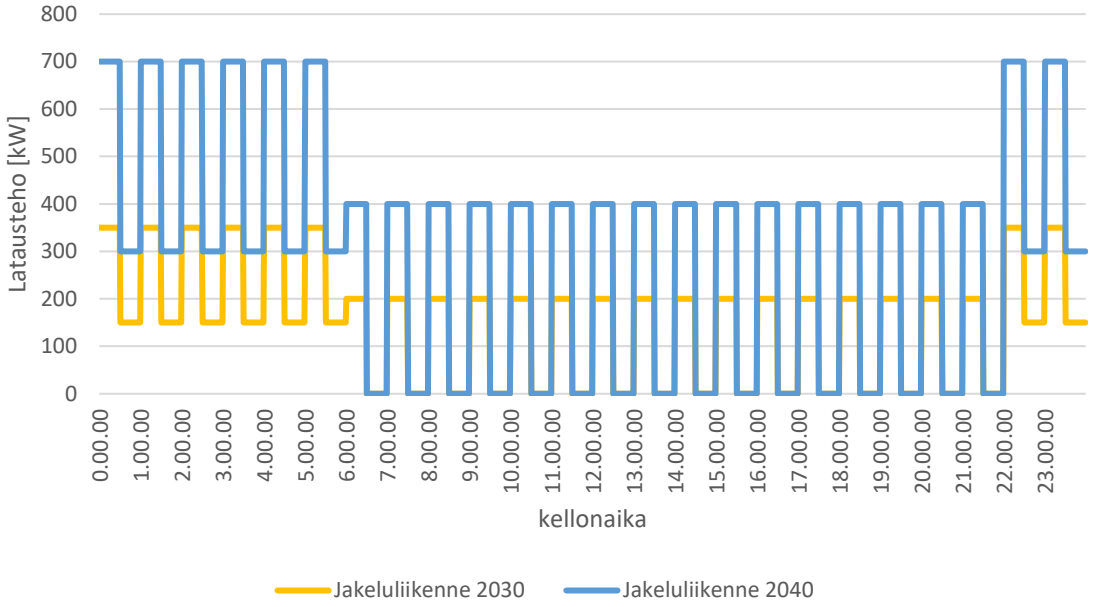
Vuonna 2030 yöaikana klo. 22.00–06.00 lataustarve oletetaan olevan kymmenellä kuorma-autolla ja niitä ladataan 150 kW teholla. Päiväsaikaa tarvitaan lyhyempiä latausjaksoja, jotka kestävät noin kaksi tuntia 400 kW latausteholla. Päiväaikaan lataus tapahtuu jatkuvasti kolme ajoneuvoa kerrallaan, mutta teho laskee viideksi minuutiksi, kun ajoneuvo vaihdetaan. Vuonna 2040 yöaikana kello 22.00–06.00 oletetaan lataustarpeen olevan 20 kuorma-autolla ja latauksen tapahtuvan 150 kW teholla. Päiväsaikaan oletetaan olevan kuudella rekalla samaan aikaan tarve ladata 400 kW teholla noin kahden tunnin ajan. Oletetaan latauksen olevan jatkuvaa, muuten paitsi ajoneuvon vaihdon aikana, joka kestää viisi minuuttia.



Kuva 5.19 Kaukoliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset

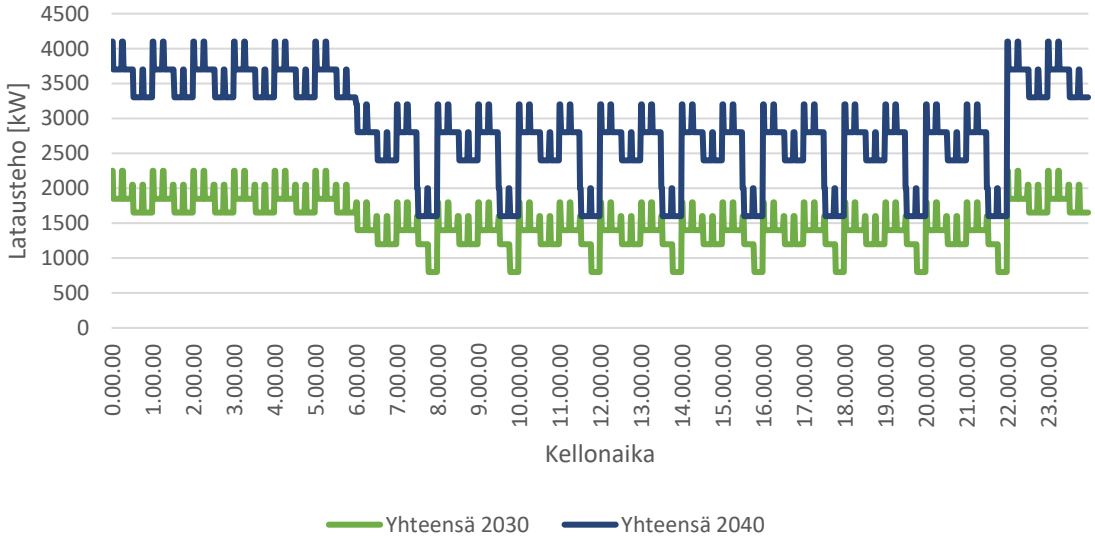
Kuvasta 5.19 nähdään millaiset kuormitusvaikutukset kaukoliikenteen sähköistyminen aiheuttaa johtolähdölle vuonna 2030 ja vuonna 2040. Kuvasta nähdään, että yöaikana latauksen tarve on vuonna 2040 3 MW, joka on suurempikuin kokojohtolähdön tämänhetkinen huipputeho.

Johtolähdöllä sijaitsee useita teollisuus kiinteistöjä, jossa voisi olla jakeluliikenteen tukikohtalatausta sekä kohdelatausta. Vuonna 2030 oletetaan että tukikohtalataus johtolähdöllä tapahtuu 150 kW teholla yönaikana klo. 22.00–06.00. Kohdelatausta oletetaan tapahtuvat kerran tunnissa 200 kW teholla 30 minuutin ajan. Vuonna 2040 oletetaan lataustarpeen tuplaantuneen. Vuonna 2040 tukikohtalatausta tapahtuu 300 kW teholla ja kohdelatausta 400 kW teholla.



Kuva 5.20 Jakeluliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset.

Kuvasta 5.20 Nähdään millaiset kuormitusvaikutukset raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaisi johtolähdölle. Vuonna 2040 vaikutukset ovat tuplasti suuremmat, johtuen ajoneuvomäärän kasvusta. Yhdistämällä kaikkien kolmen ajoneuvotyypin aiheuttamat kuormitusvaikutset saadaan kokonaisvaikutukset, jotka aiheutuvat johtolähdölle liikenteensähköistymisestä.



Kuva 5.21 Johtolähdölle aiheutuvat kuormitusvaikutukset

Kuvasta 5.21 nähdään kuormitusvaikutukset, jotka aiheutuvat johtolähdölle liikenteen sähköistymisestä. Kuvasta havaitaan, että pahimmillaan kuorma nousee vuonna 2040 yli 4 MW, joka on paljon suurempi teho kuin koko johtolähdöllä huipputeho nyt.

5.5 Verkostovaikutusten simulointi

Verkostovaikutusten simulointi alaluvussa käydään simuloinnit läpi, ja esitetään, miten simuloinnin toteutetaan, mutta tulokset kasataan lukuun kuusi Raskaanliikenteen aiheuttamat verkostovaikutukset. Kappaleessa 5.4 muodostettujen kuormitusvaikutusten perusteella simuloidaan verkostovaikutuksia johtolähdöillä. Sähköisenliikenteen aiheuttamat kuormat ovat laskettu yhteen, kullekin johtolähdölle ja niistä on muodostettu kuormitusprofiili, joka lisätään johtolähdölle uutena kuormana. Näin saadaan verkostovaikutukset, jotka syntyvät kullekin johtolähdölle. Simuloinnissa hyödynnetään Trimble NIS ohjelmaa. Jokaiselle tarkasteltavalle johtolähdölle voidaan lisätä kuormitusprofiili, jonka avulla ohjelma laskee verkostoon tulevat vaikutukset.

Verkostovaikutusten simulointiin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, sillä kuormitusvaikutukset ovat laskettu osittain olettamusten perusteella, jolloin niissä voi olla suuria heittoja, mutta simuloinnit antavat hyvän tiedon suunnasta johon verkostovaikutukset ovat menossa.

6 RASKAANLIIKENTEEN AIHEUTTAMAT VERKOSTOVAIKUTUKSET

Simuloinnin perusteella nähdään millaisia verkostovaikutuksia raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa sähkönjakeluverkkoon. Tässä kappaleessa käsitellään raskaanliikenteen sähköistymisen aiheuttamia verkostovaikutuksia. Kaikilla johtolähdöillä syntyy verkostovaikutuksia, mutta joillakin ne jäävät pienemmäksi kuin toisilla. Verkostovaikutukset käydään tarkemmin johtolähtökohtaisesti läpi seuraavissa alaluvuissa.

6.1 Ensimmäinen johtolähtö

Ensimmäinen johtolähtö sijaitsee Espoossa keskellä kaupunkia kehä tienvarrella. Taulukkoon 6.1 on koottu johtolähdön sähköisistä tiedoista, jotka muuttuvat merkittävästi raskaanliikenteen sähköistyessä.

Taulukko 6.1 Ensimmäisen johtolähdön sähkötekniset tiedot

Vuosi	Huipputeho	Jännitteenalenema
Nykytilanne	1,9 MW	0,18 %
2030	3,0 MW	0,21 %
2040	4,0 MW	0,25 %

Taulukossa 6.1 nähdään ensimmäisen johtolähdön tiedot nykyhetkessä, sekä tiedot kun raskaanliikenteen sähköistymistä on tapahtunut. Vuosien 2030 ja 2040 tiedot ovat saatu simuloinnit tuloksina. Taulukosta nähdään, että vuoteen 2040 mennessä huipputeho on tuplaantunut johtolähdöllä. Johtolähdöllä kaikki komponentit kestäisivät sen, että raskasliikenne sähköistyisi, mutta on mahdotonta sanoa, miten verkko kestäisi muun sähköistymisen siinä ohessa, kuten henkilöliikenteen ja lämmitysjärjestelmien muutokset. Huomataan kuitenkin, että huipputeho nousee tuplasti, mikä on merkittävä muutos johtolähdöllä.

Kyseessä on vahva johtolähtö keskellä kaupunkia, jolloin pelkät raskaanliikenteen sähköistymisen aiheuttamat verkostovaikutukset jäävät vähäisiksi, mutta mikäli johtolähdölle tulee paljon uusia rakennuksia tai monet kulutuskohteet tarvitsevat lisää tehoa, muun muassa henkilöliikenteen autoja tai lämmitysjärjestelmän muutosta varten, voi johtolähtö joutua ylikuormaan.

6.2 Toinen johtolähtö

Toinen johtolähtö sijaitsee Kuusamossa, jossa verkko sijaitsee kaupunki ja taajama alueella. Taulukkoon 6.2 on koottu johtolähdön sähköisistä tiedoista, jotka muuttuvat merkittävästi raskaanliikenteen sähköistyessä.

Taulukko 6.2 Toisen johtolähdön sähkötekniset tiedot

Vuosi	Huipputeho	Jännitteenalenema
Nykytilanne	2,5 MW	0,52 %
2030	4,0 MW	0,88 %
2040	5,1 MW	1,12 %

Taulukossa 6.2 on esitetty toisen johtolähdön tiedot nykyhetkessä, sekä tiedot kun raskaanliikenteen sähköistymistä on tapahtunut. Vuosien 2030 ja 2040 tiedot ovat saatu simuloinnit tuloksina. Taulukosta nähdään että, verkon kuormitus muuttuu ja vuoteen 2040 mennessä huipputeho kasvaa kaksin kertaiseksi. Myös jännitteenalenema lisääntyy.

Toinen johtolähtö sijaitsee Kuusamon kaupungissa ja kyseessä on vahva sekä kohtuullisen lyhyt johtolähtö, jolloin verkostovaikutukset johtolähdöllä jäävät kohtuullisiksi, eikä jännitteenalenema nouse 1,12 suuremmaksi, vaikka huipputeho kaksinkertaistuu.

6.3 Kolmas johtolähtö

Kolmas johtolähtö sijaitsee Tuusulassa ja sen varrella on linja-autoasema. Linja-auto asemalla on suuret lataustehon tarpeet, jonka vuoksi myös johtolähdölle kohdistuu suuret lataustehot. Taulukossa 6.3 on esitetty Johtolähdön sähköteknisiä tietoja.

Taulukko 6.3 Kolmannen johtolähdön sähkötekniset tiedot

Vuosi	Huipputeho	Jännitteenalenema
Nykytilanne	4,8 MW	1,34 %
2030	7,1 MW	2,67 %
2040	8,0 MW	3,13 %

Taulukossa 6.3 on esitetty johtolähdön sähkötekniset tiedot nykyhetkessä, vuonna 2030 sekä vuonna 2040. Taulukosta nähdään, että jännitteenalenema nousee 3,13, mutta mikäli muukin kulutus kasvaa voi osa johtolähdön komponenteista mennä yli 100 % kuormitukseen ja Jännitteenalenema nousta yli raja-arvojen.

Johtolähtö sijaitsee Tuusulan keskustassa ja sinne rakennetaan koko ajan lisää. Johtolähdölle tulee jatkuvasti uusia kuormia, kun alueella rakennetaan uusia liikekiinteistöjä ja kerrostaloja. Tämä tarkoittaa, että tulevaisuudessa tulisi tehdä laajempi selvitys johtolähdön verkostovaikutusten kestävyydestä, sillä tässä työssä käytettiin pohja kuormana tämänhetkistä kuormitustilannetta ja sinne lisättiin raskaanliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset, mutta tarkemmassa selvityksessä tulisi ottaa myös johtolähdön muun kuormituksen muutokset. Raskaanliikenteen sähköistys jo itsessään nostaa johtolähdön kuormitusasteen hyvin korkeaksi, jolloin oleellista olisi tietää myös, miten muu kuormitus muuttuu.

6.4 Neljäs johtolähtö

Neljäs johtolähtö sijaitsee Sastamalassa ja sen varrella on Kuorma-auto parkki, jossa tulevaisuudessa tarvitaan suuria lataustehoja. Taulukkoon 6.4 on koottu johtolähdön sähköisistä tiedoista, jotka muuttuvat merkittävästi raskaanliikenteen sähköistyessä.

Taulukko 6.4 neljännen johtolähdön sähkötekniset tiedot

Vuosi	Huipputeho	Jännitteenalenema
Nykyhetki	2.5 MW	2.52 %
2030	4.3 MW	4.5 %
2040	5.9 MW	6.25 %

Taulukossa 6.4 on esitetty neljännen johtolähdön sähkötekniset tiedot nykyhetkessä, vuonna 2030 ja vuonna 2040. Taulukosta nähdään, miten kuorman kasvaessa jännitteenalenema kasvaa yli kuuteen prosenttiin. Merkittävää on myös huipputehon nouseminen vuonna 2040 5.9 MW, jos jokaisella johtolähdöllä tehot kasvaa enemmän kuin kaksinkertaiseksi, voi olla että päämuuntajan kapasiteetti ei riitä enää.

Neljännellä johtolähdöllä jännitteenalenema kasvaa kaikista suurimmaksi Raskaanliikenteen sähköistymisen vaikutuksista. Neljäs johtolähtö on kaikista tutkittavista johtolähdöistä pisin ja se on selkeästi eniten taajaman ulkopuolella, josta johtuu jännitteenaleneman suuruus. Johtolähdölle olisi hyvä tulevaisuudessa tehdä tarkisteluita johdinten teknillistaloudellisesta vaihtamisesta, sillä voi olla että häviöenergia alkaa olemaan niin suuri, että johtimia kannattaisi vaihtaa.

7 RATKAISUT VERKOSTOVAIKUTUSTEN MINIMOIMISEKSI

Luvussa ratkaisut verkostovaikutusten minimoimiseksi käsitellään mahdollisia toimenpiteitä ja tapoja, jolla voitaisiin saada verkostovaikutukset mahdollisimman pieniksi tai edullisiksi verkkoyhtiölle. Ratkaisuita on varmasti enemmänkin, mutta kappaleessa esitetään työssä esiin tulleet asiat ja toimenpiteet.

Sähkönjakeluverkkoyhtiön tulisi olla käydä aktiivisesti vuoropuhelua kuljetusalan toimijoiden kanssa. Keskustelusta tulisi käydä ilmi millaisia suunnitelmia kuljetusyhtiöillä on kaluston sähköistämisessä, pitkällä ja lyhyellä tähtäimellä, millaista latausstrategiaa yhtiö aikoo hyödyntää ja missä lataus tapahtuu. Sähkönjakeluverkkoyhtiön kannalta on tärkeää tietää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa liikenteen sähköistämis- suunnitelmista, jolloin jakeluverkkoa osataan suunnitella vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin mahdollisimman hyvin. Jakeluverkkoyhtiön tulisi myös osallistua aktiivisesti suunnitteluvaiheessa olevien latausasemien suunnitteluun, koska voi olla että toinen johtolähtö on pienessä kuormassa ja sen alle uuden lataus aseman perustaminen ei vaatisi verkon vahvistamista, mutta toiseen johtolähtöön jouduttaisi tekemään vahvistusta. Kuljetusyhtiöiden lisäksi sähkönjakeluverkkoyhtiöiden tulisi käydä keskustelua latauslaite toimittajien ja operaattorien kanssa. Sähkönjakeluverkkoyhtiöllä voisi olla mahdollisuus vaikuttaa moneen asiaan jo suunnittelu vaiheessa, jolloin verkkoon aiheutuneita kustannuksia voitaisiin pienentää.

Sähkönjakeluverkkoyhtiöllä tulisi olla asiantuntija, joka hoitaisi raskaanliikenteen sähköistymiseen liittyvän vuoropuhelun kuljetusyhtiöiden, latauslaite toimijoiden sekä poliittisten päättäjien kanssa. Sähköistymistä tulee tapahtumaan ja jakeluverkkoon tulee vaikutuksia varmasti, mutta niihin pystytään vaikuttamaan ja niistä on mahdollista tehdä edullisemmat sähkönjakeluverkkoyhtiölle sekä sitä kautta myös yhteiskunnalle.

Teknisistä ratkaisuista yksi keino vähentää verkostovaikutuksia olisi linja-autojen matkanaikaisen latauksen latauspisteisiin liitettävä akku, Sillä esimerkiksi johtolähdöllä neljä, jos energia ladattaisiin tasaisesti, eikä kahden minuutin piikkinä olisi tehon tarve paljon pienempi. Akulla pystyttäisiin laskemaan kaikissa sellaisissa latauspisteissä huipputehon tarvetta, missä latauslaite ei ole koko ajan käytössä vaan sen käyttöaste on suhteellisen alhainen.

Poliittisilla päätöksillä hinnoittelun suhteen voitaisiin tehdä kuljetusyhtiöille kannattavampaa ladata pienillä tehoilla pidemmän aikaa, jolloin vaikutukset sähkönjakeluverkossa olisi pienemmät, vaikka energiaa tarvittaisiin yhtä paljon.

Tulevaisuudessa on tärkeää ottaa raskaanliikenteen sähköistyminen mahdollisimman hyvin, jo verkoston suunnitteluvaiheessa, sillä niin voidaan ennalta ehkäistä tilannetta, ettei verkko kestä raskaanliikenteen sähköistymistä. Tämä edellyttää huolellista perehtymistä alueen tulevaisuuteen, mutta myös tuntemuksen raskaanliikenteen aiheuttamista kuormista.

Yksi vaihtoehto verkostovaikutusten minimoimiseksi olisi suunniteltu vuorottelu, eli kun raskaanliikenteen ajoneuvo kytketään lataukseen, joku muu isokuorma otetaan pois verkosta siksi aikaan, jolloin kokonaiskuormitus ei kasvaisi niin paljoa eikä verkkoa tarvitsisi vahvistaa,

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa esitetään työssä tehdyt tärkeimmät havainnot ja havaintojen perusteella tehdyt johtopäätökset ja perustelut. Luvussa arvioidaan tulosten oikeellisuutta ja mahdollisia virhetekijöitä. Luvussa arvioidaan myös mahdollista jatkotarkastelun tarvetta.

Työn perusteella osa raskaasta liikenteestä tulee sähköistymään seuraavan kymmenen vuoden aikana. Kaikissa ajoneuvoluokissa sähköistymistä tulee tapahtumaan, mutta kaikista voimakkain sähköistyminen tapahtuu linja-auto liikenteessä.

Tulevaisuuden skenaarioita on etsitty useammasta lähteestä, jotta saadaan mahdollisimman luotettava kuva sähköistymisen tulevaisuudesta. Tulevaisuuden skenaariot perustuvat kuitenkin arvioihin, jolloin niihin tulee suhtautua varauksella, eikä niitä voida pitää täysin luotettavana. Tulevaisuudessa olisikin hyvä käydä vuoropuhelua usean raskaanliikenteen toimijan kanssa heidän näkemyksistään liikenteen sähköistymisestä, jolloin saataisiin vielä luotettavampi analyysejä tulevaisuudesta.

Laustehon määrittämiseen simulointeja varten liittyy myös virhetekijän mahdollisuus. Latauslaitteiden tehot vaihtelevat suuresti ja vaikka latauslaite olisi suunniteltu tietylle lataus strategialle on tehoissa suuria eroja. On mahdotonta tietää missä raskaanliikenteen ajoneuvot lataavat itsensä ja kuinka paljon niitä on tulevaisuudessa, jonka vuoksi latauksen muodostavat kuormitukset ovat parhaita arviota, niihin liittyy epävarmuus tekijöitä.

Raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa verkkoon suuria kuormia. Monella johtolähdöllä yksistään raskaan liikenteen latauksen aiheuttama kuorma on suurempikuin johtolähdön tämänhetkinen huippukuorma. Raskaanliikenteen latauksen aiheuttamiin kuormiin on mahdollista vaikuttaa, erilaisilla teknisillä ratkaisuilla, kuljetusyhtiöiden kanssa käytävällä vuoropuhelulla, poliittisilla päätöksillä sekä hinnoittelulla.

Raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa verkostovaikutuksia, joka puolelle verkkoa, mutta joissakin johtolähdöissä vaikutukset jäävät selvästi pienemmiksi kuin toisissa. Raskasliikenne itsessään tuo jo todella suuria kuormia johtolähdöille, mutta tulevaisuudessa tulisi ottaa huomioon myös muut sähkönkäytön muutokset, jolloin saataisiin todellinen kuva tulevaisuuden verkosta.

Jatkossa olisi hyvä tutkia tarkemmin kuormia, jotka syntyvät raskaanliikenteen sähköistymisestä. Jatkotutkimuksiin olisi hyvä kartoittaa mahdollisimman paljon kuljetusyhtiöiden strategiota sähköajoneuvojen ja niiden latauksen osalta, että saisi muodostettua mahdollisimman tarkan arvion tulevaisuuden lataustarpeesta eri alueilla.

Tässä työssä tehdyt arviot latauksen tarpeesta ovat arvioita ja ne perustuvat osittain olettamuksiin. Niihin ei voida luottaa sokeasti, mutta ne antavat suuntaa ja niiden perusteella voidaan todeta, että verkostoon tulee kohdistumaan suuria kuormia. Verkostovaikutusten minimoimisen keinojen tutkimista olisi hyvä jatkaa, sillä raskaanliikenteen aiheuttamat vaikutukset ovat suuret. Tämän työn perusteella ei voida suoraan kertoa kuinka paljon kuormitusvaikutuksia voitaisiin pienentää erilaisilla keinoilla, vaan sen selvittämiseksi tarvittaisiin jatkotutkimuksia. Jatkossa tutkimuksiin olisi hyvä ottaa mukaan kaikki muut sähkönkäytön muutokset, sillä niin saataisiin todellinen kuva siitä, miten verkko kokonaisuudessa kuormittuu ja millaisia toimenpiteitä sinne tulisi tehdä. Oleellista olisi myös tutkia, miten sähköasemien päämuuntajat riittävät silloin, jos jokaiselle johtolähdölle tulee raskaanliikenteen latausinfraa.

9 YHTEENVETO

Tässä työssä on käsitelty raskaanliikenteen sähköistymistä ja sen aiheuttamia verkostovaikutuksia sähkönjakeluverkkoon. Raskaanliikenne sähköistyy ja sen myötä on tärkeä tarkastella sitä miten raskasliikenne sähköistyy ja millaisia vaikutuksia sähkönjakeluverkkoon sillä on. Raskaanliikenteen sähköistymisen taustalla on liikenteen päästöjen laskeminen ja sitä myöten ilmastonmuutoksen hillitseminen.

Raskaanliikenteen sähköistymiseen liittyy paljon kysymyksiä sähköverkkoyhtiön näkökulmasta, jonka vuoksi Diplomityö oli ajankohtainen. Sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta työssä on selvitetty, tuleeko raskasliikenne sähköistymään ja millaisella aikataululla raskaanliikenteen sähköistyminen tulee tapahtumaan. Raskaanliikenteen sähköistyminen on jo alkanut ja se etenee jatkuvasti.

Raskaanliikenteen sähköistymisessä oleellisessa roolissa on akku ja latausteknologioiden kehitys. Näitä teknologioita käydään työssä läpi ja niiden kehittymisen nopeudella tulee olemaan suurimerkitys raskaanliikenteen sähköistymisen aikatauluun. Latauslaitteet ovat nyt jo suuritehoisia, mutta raskaanliikenteen sähköistyminen suuremmassa mittakaavassa vaatii vieläkin suurempia latauslaitteita. Akkuteknologia kehittyy jatkuvasti, mutta tällä hetkellä yksi raskaanliikenteen sähköistymistä rajoittava tekijä on raskaiden sähköajoneuvojen rahallinen toimintasäde.

Raskaanliikenteen ajoneuvot ovat suuria ja saattavat liikkua pitkiä matkoja, jolloin vaaditaan suuria määriä energiaa. Liikenteen sähköistymisessä kokonaisenergia ei kuitenkaan ole se todellinen ongelma, vaan lataustehojen suuruus. Työssä käsitellään lataustehoja ja muodostetaan niiden perustella raskaanliikenteen aiheuttamat kuormitusvaikutukset neljälle johtolähdölle. Työn perusteella raskaanliikenteen sähköistyminen aiheuttaa merkittäviä kuormitusvaikutuksia verkkoon. Kuormitusvaikutukset taas aiheuttavat jakeluverkkoon verkostovaikutuksia, jotka vaativat toimenpiteitä.

Työssä yksi oleellinen tutkimuskysymys oli, miten verkostovaikutuksia voidaan minimoida ja miten ne voidaan kestää mahdollisimman taloudellisesti. Verkkoyhtiöiden kannalta olisi oleellista päästä vaikuttamaan liikenteen sähköistymiseen, jolloin latausasemien suunnittelussa osattaisiin ottaa huomioon jakeluverkon tarpeet. Verkostovaikutuksiin voidaan myös vaikuttaa erilaisilla teknisillä ratkaisuilla, joista tässä työssä on esitetty osa.

LÄHDELUETTELO

(ABB 2021) Älykkäämpää liikennettä [verkkodokumentti] [Viitattu 29.11.2021] https://new.abb.com/ev-charging/fi/

(Autoalan tiedotuskeskus, 2021) Linja-autokanta vuoden lopussa käyttövoimittain [verkkodokumentti] [Viitattu 26.10.2021] Saatavilla:https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/autokanta_kayttovoimittain/linja-autokanta_kayttovoimittain

(Bassam Iftekhar Daryoush Mohammad, 2021) 2021 Charging Infrastructure for Commercial Electric Vehicles: Challenges and Future Works IEEE https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9524919

(Boonraksa, Paudel, Dawan, Marungsri 2019) Impact of Electric Bus Charging on the Power Distribution System a Case Study IEEE 33 Bus Test System IEEE https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/document/8716023/references#references

(Caruna, 2021) Caruna, 2021. ”Tietoa meistä”. [verkkodokumentti] [Viitattu 21.10.2021] Saatavilla: https://www.caruna.fi/tietoa-meista

(Ebusco, 2021) Ebusco 2.2 [verkkodokumentti] [Viitattu 1.12.2021] https://www.ebusco.com/electric-buses/ebusco-2-2/

(Finlax, 2021) Asetus ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista [verkkodokumentti] [Viitattu 26.10.2021] Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19921256

(Halvorson Bengt, 2021) Halvorson B. Eletric island: First US charging station for semis is ready for megawatt fastcahrging[Verkkodokumentti] [Viitattu 19.1.2022] https://www.greencarreports.com/news/1132019_first-charging-station-electric-semis-megawatt-fast-charging

(HSL, 2021) Sähköbussi pelaa päästötavoitteittemme ykkösketjussa [verkkodokumentti] [Viitattu 26.10.2021] https://www.hsl.fi/hsl/sahkobussit

(Ies-synergy, 2021) Electric buses: where are we?

[verkkodokumentti] [Viitattu 29.10.2021] Saatavilla: https://www.ies-synergy.com/en/electric-buses-where-are-we/

(Janjamraj, Changsarn & Hiranvarodom, 2021) Janjamraj N, Changsarn N & Hiranvarodom S. 2021. Design of Traction Motor and Battery for The Modification of Old BMTA Public Bus to E-Bus. IEEE. https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/document/9440335

(Kalenoja, 2021) Kalenoja, H. 2019. Paketti-, kuorma- ja linja-autojen tulevaisuuden käyttövoimat- tiekartta vuoteen 2040. Tieliikenteen keskus. http://www.aut.fi/files/2009/Hyotyajoneuvojen_kayttovoimat_tiekartta.pdf

(Kempower Defining charging, 2020) (Kempower Defining charging.. 2020. (https://kempower.com/wp-content/uploads/2021/01/Kempower-C-station-C800-datasheet-Rev-G-11-2020.pdf) [Viitattu 29.11.2021]

(Lakervi & Partanen, 2008) Lakervi E., Partanen, J., Sähkönjakelutekniikka, Helsinki, Gaudeamus Helsinki University Press, 2008, 285 s., ISBN 978-951-672-357-3

(Lapp Et al, 2018) T Lapp, P Iikkanen, J Ristikartano, M Niinikoski, J Rinta-Piirto, P Moilanen Valtakunnalliset liikenne-ennusteet Liikenne virasto.

(MAN, 2021) MAN 2021 Battery trucks are our future [Verkkodokumentti] [Viitattu 5.1.2022] https://press.mantruckandbus.com/united-kingdom/battery-electric-trucks-are-our-future/

(Mantravadi, Husain & Sozer, 2011) Mantravadi P, Husain I & Sozer Y 2011 Modeling, implementation and analysis of a Li-ion battery powered electric truck IEEE. https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/document/6063948

(Plugit, 2020) Hsl ja Espoon Leppävaaran mittava latauskokonaisuus [Verkkodokumentti][viitattu 14.2.2022] https://plugit.fi/kokemukset/case-hsl-ja-espoon-leppavaaran-mittava-sahkobusien-latauskokonaisuus/

(Plötz P, Speth D, 2021) Truck Stop Locations in Europe – Final Report. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI

(Proterra, 2021) CHARGING FOR ELECTRIC FLEETS Proterra [verkkodokumentti] [Viitattu 4.12.2021] https://www.proterra.com/energy-services/charging-infrastructure/

(Proterra, 2022) REVOLUTIONIZING TRANSIT [verkkodokumentti] [Viitattu 15.4.2022] https://www.proterra.com/products/transit-buses/

(Scania 2021) Scania Citywide [verkkodokumentti] [Viitattu 4.12.2021] https://www.scania.com/fi/fi/home/products/buses-and-coaches/urban-transport-operations/scania-citywide-lf.html

(Siemens, 2021) SICHARGE UC Powerful charging solution for your electric fleet [verkkodokumentti] [Viitattu 4.12.2021] https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:22b45a08-a83a-4c1d-a489-99d58663d28e/sicharge-uc-ipdf-en.pdf

(Tillaeus, 2021) Tillaeus, J. 2021. Kaksi kaupunkia aikoo muuttaa koko paikallisliikenteensä sähköiseksi ensimmäisenä Suomessa –

oikeusprosessi ratkaisee, kumpi ehtii ensin. Yle uutiset. https://yle.fi/uutiset/3-12118789

(Traficom, 2021) Liikenne maanteillä [verkkodokumentti] [Viitattu 12.12.2021] https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikenne-maanteilla?toggle=L%C3%A4hteet%20ja%20lis%C3%A4tiedot

(Transport & Environment, 2020) Transport & Environment Unlocking Electric Trucking in the EU: recharging in cities 2020 https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2020_07_Unlocking_electric_trucking_in_EU_recharging_in_cities_FINAL.pdf

(Tritiumcharging, 2021) Tritiumcharging products [verkkodokumentti] [Viitattu 1.12.2021] https://tritiumcharging.com/product/pk-350/

(Virta, 2021) Virta 2021 Virta pitää Helsingin ja Turun sähköbussit liikkeesä.https://www.virta.global/fi/asiakkaat/virta-pitaa-helsingin-ja-turun-sahkobussit-liikkeessa

(Volvo 2021) Specifications Volvo 7900 Electric [verkkodokumentti] [Viitattu 1.12.2021] https://www.volvobuses.com/en/city-and-intercity/buses/volvo-7900-electric/specifications.html

(Väylä, 2018) Väylä Tieliikenteen suoritelaskenta 2018 (https://vayla.fi/documents/25230764/0/Raportti_tieliikenteen_suoritelaskenta_2018.pdf/4079997f-549e-4f99-b2cd-e697681a371)

Liite 1 Raskaan liikenteen jakautuminen eritietyypeille

	Valtatie	Kantatie	seututi	yhdystie
Uusimaa	52.07	21.26	16.67	10.00
Varsinais-Suomi	43.41	19.87	20.53	16.18
Satakunta	63.60	10.59	10.62	15.18
Kanta-Häme	68.54	12.32	9.46	9.69
Pirkanmaa	67.41	10.70	13.17	8.72
Päijät-Häme	73.40	5.53	13.79	7.28
Kymenlaakso	73.87	5.02	13.97	7.14
Etelä-Karjala	78.98	3.49	7.83	9.71
Etelä-Savo	63.34	9.61	14.80	12.25
Pohjois-Savo	58.87	13.91	15.42	11.80
Pohjois-Karjala	47.07	19.33	19.49	14.11
Keski-Suomi	65.95	8.66	16.15	9.24
Etelä-Pohjanmaa	44.70	24.05	16.79	14.46
Pohjanmaa	56.49	6.94	20.73	15.84
Keski-Pohjanmaa	52.44	15.12	20.59	11.86
Pohjois-Pohjanmaa	62.43	11.00	13.88	12.68
Kainuu	43.80	19.43	20.24	16.54
Lappi	57.71	19.58	14.20	8.51

Liite 2 Raskaat kuorma-autot

	Valtatien osuus [km]	Kantatien osuus [km]	seututien osuus [km]	yhdystien osuus [km]
Uusimaa	435 995	178011	139553	83718
Varsinais-Suomi	152 529	69819	72141	56840
Satakunta	135 503	22561	22632	32351
Kanta-Häme	143 451	25778	19800	20280
Pirkanmaa	267 581	42462	52286	34600
Päijät-Häme	160 267	12085	30104	15896
Kymenlaakso	113 504	7718	21466	10968
Etelä-Karjala	111 501	4923	11049	13708
Etelä-Savo	111 039	16840	25940	21481
Pohjois-Savo	147 025	34741	38504	29469
Pohjois-Karjala	78 780	32361	32624	23616
Keski-Suomi	217 296	28549	53208	30451
Etelä-Pohjanmaa	100 344	53981	37685	32452
Pohjanmaa	86 057	10576	31577	24127
Keski-Pohjanmaa	33 923	9783	13317	7669
Pohjois-Pohjanmaa	266 554	46968	59270	54147
Kainuu	38 756	17190	17906	14631
Lappi	173 190	58748	42603	25538

Liite 3 Keskiraskaiden kuorma-autojen tiekohtaiset ajomäärät

	Valtatien osuus [km]	Kantatien Osuus [km]	seututien osuus [km]	yhdystien osuus [km]
Uusimaa	435995	178011	139553	83718
Varsinais-Suomi	152529	69819	72141	56840
Satakunta	135503	22561	22632	32351
Kanta-Häme	143451	25778	19800	20280
Pirkanmaa	267581	42462	52286	34600
Päijät-Häme	160267	12085	30104	15896
Kymenlaakso	113504	7718	21466	10968
Etelä-Karjala	111501	4923	11049	13708
Etelä-Savo	111039	16840	25940	21481
Pohjois-Savo	147025	34741	38504	29469
Pohjois-Karjala	78780	32361	32624	23616
Keski-Suomi	217296	28549	53208	30451
Etelä-Pohjanmaa	100344	53981	37685	32452
Pohjanmaa	86057	10576	31577	24127
Keski-Pohjanmaa	33923	9783	13317	7669
Pohjois-Pohjanmaa	266554	46968	59270	54147
Kainuu	38756	17190	17906	14631
Lappi	173190	58748	42603	25538

Liite 4 Linja-autojen tiekohtaiset ajosuoritteet vuorokaudessa

	Valtatie osuus [km]	Kantatie osuus [km]	seututien osuus [km]	Yhdystien Osuus [km]
Uusimaa	157700	64387	50477	30281
Varsinais-Suomi	55170	25254	26094	20559
Satakunta	49012	8160	8186	11701
Kanta-Häme	51887	9324	7162	7335
Pirkanmaa	96785	15359	18912	12515
Päijät-Häme	57969	4371	10889	5750
Kymenlaakso	41055	2792	7764	3967
Etelä-Karjala	40330	1781	3996	4958
Etelä-Savo	40163	6091	9383	7770
Pohjois-Savo	53179	12566	13927	10659
Pohjois-Karjala	28495	11705	11800	8542
Keski-Suomi	78596	10326	19246	11014
Etelä-Pohjanmaa	36295	19525	13631	11738
Pohjanmaa	31127	3825	11421	8727
Keski-Pohjanmaa	12270	3538	4817	2774
Pohjois-Pohjanmaa	96413	16988	21438	19585
Kainuu	14018	6218	6477	5292
Lappi	62643	21249	15409	9237

Liite 5 Pakettiautojen tiekohtainen ajosuorite vuorokaudessa.

	Valtatien osuus [km]	Kantatien osuus [km]	seututien osuus [km]	yhdystien osuus [km]
Uusimaa	1447132	590845	463198	277872
Varsinais-Suomi	506268	231740	239448	188660
Satakunta	449755	74882	75121	107376
Kanta-Häme	476135	85560	65720	67314
Pirkanmaa	888141	140937	173545	114844
Päijät-Häme	531952	40113	99920	52760
Kymenlaakso	376736	25617	71248	36404
Etelä-Karjala	370089	16341	36674	45498
Etelä-Savo	368555	55893	86100	71299
Pohjois-Savo	487997	115311	127802	97812
Pohjois-Karjala	261482	107412	108285	78385
Keski-Suomi	721238	94758	176606	101072
Etelä-Pohjanmaa	333056	179172	125081	107713
Pohjanmaa	285638	35104	104809	80080
Keski-Pohjanmaa	112595	32470	44201	25456
Pohjois-Pohjanmaa	884733	155894	196727	179723
Kainuu	128637	57058	59432	48564
Lappi	574842	194994	141404	84765

Liite 6 Keskimääräiset ajomatkat vuorokaudessa kaikilla ajoneuvoilla

	Raskaat kuormautot	Keskirt	Linja-autot	Paketti
Yhteensä [km]	4700000	4700000	1700000	1560000
Uusimaa	837277	837277	302845	2779046
Varsinais-Suomi	351330	351330	127077	1166117
Satakunta	213047	213047	77060	707135
Kanta-Häme	209309	209309	75708	694729
Pirkanmaa	396929	396929	143570	1317467
Päijät-Häme	218353	218353	78979	724745
Kymenlaakso	153655	153655	55577	510005
Etelä-Karjala	141181	141181	51066	468602
Etelä-Savo	175300	175300	63406	581848
Pohjois-Savo	249739	249739	90331	828921
Pohjois-Karjala	167382	167382	60542	555564
Keski-Suomi	329505	329505	119183	1093675
Etelä-Pohjanmaa	224462	224462	81188	745022
Pohjanmaa	152337	152337	55101	505630
Keski-Pohjanmaa	64692	64692	23399	214722
Pohjois-Pohjanmaa	426940	426940	154425	1417077
Kainuu	88483	88483	32005	293689
Lappi	300079	300079	108539	996006