

Sähköautojen latauskuormituksen mallintaminen sähkönjakeluverkoissa verkkotietojärjestelmää hyödyntäen

Modeling EV loads in electricity distribution
networks with NIS tools

Stefan Forsström

stefan.forsstrom@vantaanenergia.fi

28.2.2011

VANTAAN ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY
VANTAA ENERGY ELECTRICITY NETWORKS LTD
P.O.BOX 95 FI-01301 VANTAA FINLAND

| | | |
|---|---|--|
| Tekijä Stefan Forsström | | |
| Nimike Sähköautojen latauskuormituksen mallintaminen sähköjakeluverkoissa verkkotietojärjestelmää hyödyntäen | | |
| Tiivistelmä <p>Tiukentuvat ilmastotavoitteet ja halu päästä eroon öljyriippuvuudesta aiheuttavat sen, että sähköautojen yleistyminen seuraavien vuosien ja vuosikymmenien aikana tulee olemaan merkittävää. Suurin osa sähköautojen käyttämästä energiasta tullaan lataamaan niihin sähköverkkojen kautta. Tämä aiheuttaa sen, että myös sähköjakeluverkkojen on tähän tilanteeseen varauduttava. Sähköautot nähdäänkin tulevaisuudessa merkittävänä uutena kuormituksena, joka sähköverkkojen on kyettävä ottamaan vastaan.</p> <p>Tässä raportissa esitellään tapoja mallintaa sähköautojen vaikutuksia sähköjakeluverkon kannalta. Erityisesti etsitään tapoja mallintaa autojen määriä ja sijainteja, jotta voidaan päätellä missä ja kuinka suurella volyyymilla latausta tullaan tulevaisuudessa tekemään. Tarkastelujen tekemisessä on pyritty erityisesti hyödyntämään verkkotietojärjestelmää, joka tarjoaa hyvät työkalut alueellisten tarkastelujen tekemiseen. Sähköautojen yleistymiseen ja latausteknologiaan liittyy vielä hyvin paljon epävarmuuksia, joka on raportin tarkasteluissa pyritty ottamaan huomioon. Myös tulevaisuuden kysynnänjousto toimenpiteiden vaikutukset sähköverkkojen kuormitukseen voivat olla merkittäviä. Sähköautojen latausta ja koko muutakin kuormitusta voidaan jatkossa ohjata huomattavasti nykyistä enemmän, joka muuttaa kuormitusprofiileja merkittävästi. Tämä on hyvä huomioida raportin tuloksia lukiessa. Tutkimuksessa on pyritty kuitenkin huomioimaan tämän hetken tietämyksen mukaisia pahimpia mahdollisia skenaarioita, jotka sähköjakeluverkon tulisi kestää. Tuloksista myös selviää se, että ainakin Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkossa on kohtuullisen hyvin kapasiteettia ottaa vastaan merkittäviäkin määriä sähköautoja. Selvityksen mukaan ne on kuitenkin selvästi huomioitava ja sisällytettävä pitkántähtäimen ennustusprosessiin. Tilannetta täytyy myös jatkossa seurata hyvin tiiviisti.</p> | | |
| Julkaisu aika Helmikuu 2011 | Kieli Suomi (engl. tiivistelmä) | Sivumäärä 32 s. |
| Projektin nimi SGEM, WP3.3 Plug-in hybrid and electric vehicles | | Toimeksiantaja(t) Vantaan Energia Sähköverkot Oy; Cleen Oy |
| Avainsanat Sähköautot, EV, jakeluverkko, vaikutukset, vaikutukset jakeluverkkoon, sähköverkko | | Julkaisija Vantaan Energia Sähköverkot Oy Peltolantie 27 PL 95, 01301 Vantaa |



| | | |
|--|---|--|
| Author Stefan Forsström | | |
| Title Modeling EV loads in electricity distribution networks with NIS tools | | |
| Abstract Stringent climate targets and the desire to get rid of oil dependency cause the proliferation of electric cars in the coming years and decades. Most of the energy that electric cars use will be charged from the electrical networks. Because of this the electricity distribution networks have to be prepared for this situation. Electrical cars are seen as a major new load that networks must be able to handle with. This report presents methods for modeling the impacts of electrical cars charging on the electricity grid. In particular to find ways to model car quantities and locations in order to determine where and how large scale the charging will be made in the future. The aim was specifically to take advantage of the network information system which provides useful tools to make regional analysis. There are still a lot of uncertainties in the penetration level and charging technology forecasts which are attempted to take into account in this report. Also the future demand response actions to the grid loads can be significant. Charging of EVs and also many other loads will be controlled much more flexible in the future which will cause changes in the load profiles. This is a good point to take into account when reading the results of this report. However in this study efforts have been made to pay attention to the worst possible scenarios which the electricity distribution network should be able to handle. Results also shows that Vantaa Energy Electricity Network's distribution network is reasonably well ready to handle significant quantities of electric cars. However according to this study they clearly have to be taken into account and integrated to the long-term forecasting process. Situation must also be followed very closely now on. | | |
| Date February 2011 | Language Finnish (engl. abstract) | Pages 32 p. |
| Name of project SGEM, WP3.3 Plug-in hybrid and electric vehicles | | Commissioned by Vantaa Energy Electricity Networks Ltd; Cleen Oy |
| Keywords Electric vehicles, EV, power system, power system impacts, distribution network, distribution network impacts | | Publisher Vantaa Energy Electricity Networks Ltd Peltolantie 27 PL 95, 01301 Vantaa FINLAND |

Alkusanat

Tämä työ on tehty osana Smart Grids and Energy Markets (SGEM) tutkimusohjelman työpakettia 3.3 Plug-in hybrid and electrical vehicles. Työn kokonaisuus mietittiin yhdessä Aalto-TKK:n sähkötekniikan laitoksen henkilöiden kanssa, joille haluan antaa kiitosta aihekokonaisuuden muodostumisesta. Haluaisin myös kiittää koko työpaketin 3.3 ohjausryhmää, joiden kanssa on hyvää tietojen vaihtoa ja yhteistyötä tämän hankkeen tiimoilta tehty. Kiitos kuuluu myös monille muille työn eri vaiheisiin osallistuneille tahoille, joiden avulla informaatiota tätä selvitystä varten on saatu kerättyä.

Vantaa 28.2.2011

Stefan Forsström

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| Alkusanat | 4 |
| 1 Johdanto..... | 6 |
| 2 Menetelmiä sähköautojen mallintamiseen sähköverkon kuormituksina..... | 7 |
| 2.1 Sähköautojen määrien ja liikkumisen mallinnus | 8 |
| 2.2 Kuormitusmallien metodiikka | 10 |
| 3 Kuormien mallinnus jakeluverkossa..... | 12 |
| 3.1 Sähköautokuormat sähköasematasolla ja keskijännitelähdöillä | 12 |
| 3.2 Sähköautojen mallinnus verkkotietojärjestelmässä..... | 19 |
| 3.2.1 Tietojen siirto verkkotietojärjestelmän tietokantaan..... | 19 |
| 3.3 Kuormitusten laskenta verkkotietojärjestelmässä | 21 |
| 3.3.1 Sähköautojen energioiden mallinnus pienjänniteliittymille..... | 21 |
| 3.3.2 Nykyisellä verkolla laskeminen..... | 22 |
| 3.3.3 Tulevaisuuden verkolla laskeminen | 28 |
| 4 Yhteenveto ja johtopäätökset | 31 |
| 5 Lähdeviitteet | 32 |

1 Johdanto

Kasvavat paineet kasvihuonepäästöjen hillitsemiseksi ovat johtaneet sähköautojen kehittämisen uuteen ja nopeaan kasvuun. Useat autonvalmistajat ovat tuomassa lähivuosina sarjavalmistettavia sähköautojaan markkinoille. Vaikka akkujen kalleus on vielä esteenä sähköautojen massiiviselle ja nopealle yleistymiselle, on niiden hintojen arveltu vähintään puolittuvan seuraavan 5 – 10 vuoden aikana. Tällä hetkellä normaalin sähköauton ajomatka on n. 100 – 200 km. Kuitenkin myös akkujen varaskyvyn uskotaan parantuvan tulevaisuudessa merkittävästi. Myös valtion tukipolitiikka saattaa nopeastikin vauhdittaa sähköautojen markkinoita. Pistokkeesta ladattavat PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) autot tulevat myös tulevaisuudessa olemaan merkittävä osa autokantaamme. Niiden etuna on sähkömoottorin lisänä oleva polttomoottori, joka mahdollistaa myös pitkät satunnaismatkat. Pääasiassa normaalit alle 50 km päivittäisajot ajetaan kuitenkin pelkällä sähköllä. PHEV:n uskotaankin olevan merkittävässä roolissa siirtymävaiheessa täyssähköautoihin. Näin ollen onkin nähtävissä, että merkittävä osa liikkumisen energiankäytöstä tulee muuttumaan sähköenergiaksi. Suuri osa tästä energiasta tullaan lataamaan sähköverkoista autoihin. Sähköverkkojen on tällöin oltava valmiita vastaanottamaan tämä uusi kuormitus. Koska sähköverkkojen suunnittelujänne on hyvin pitkä, on asiaan pystyttävä varautumaan ajoissa. Tässä tutkimuksessa selvitetään menetelmiä mallintaa sähköautojen latauksen aiheuttamaa kuormitusta erityisesti

sähkönjakeluverkkojen näkökulmasta. Työssä lähdetään liikkeelle autojen liikkumisen mallintamisesta, josta päästään kiinni latauksen mallintamiseen. Varsinkin työn skenaario laskelmia lukiessa on hyvä muistaa, että erilaisilla ohjaus ja hintakannustinjärjestelmillä voidaan hyvin voimakkaasti vaikuttaa latauskäyttäytymiseen tulevaisuudessa. Työssä on pyritty kuitenkin laskemaan tämän hetken parhaan saatavilla olevan tiedon mukaisia pahimpia mahdollisia skenaarioita jakeluverkon kannalta. Tällöin mahdollisilla ohjausvaikutuksilla olisi keventävään suuntaan vetävä vaikutus. Erilaisten ohjausmenetelmien käyttöönottoon ei tässä työssä juurikaan oteta kantaa, mutta selkeästi kuormien tasaamista voidaan älykkäällä ohjauksella tehdä. Tämä koskee sähköautojen latauksen lisäksi monia muita jo olemassa olevia ja tulevia kuormituksia.

2 Menetelmiä sähköautojen mallintamiseen sähköverkon kuormituksina

Jotta kuormituksia sähköverkossa voidaan mallintaa, täytyy tietää missä, milloin ja kuinka suurina nämä kuormitukset esiintyvät. Koska autot ovat liikkuvia kuormia, liittyy niiden mallintamiseen runsaasti haasteita. Tämän työn perustana on ollut lähteä mallintamaan sähköautojen ns. hidasta latausta. Hitaalla latauksella tarkoitetaan tyypillisesti nykyisellä pienjännitteellä tehtävää latausta (1 x 16 A tai 3 x 16 A), joka kestää nykyisillä sähköautojen akkukapasiteeteilla 6 – 10 tuntia. Hidas lataus nähdään varsinkin alkuvaiheessa sähköautojen pääasiallisena lataustapana, koska latausta voidaan suorittaa nykyisistä sähkökäyttöpisteistä. Itse uskon kuitenkin, että hidas lataus tulee säilymään myös tulevaisuudessa tärkeimpänä tapana ladata sähköautoja. Tulevaisuudessa kuitenkin myös erilaiset puolinopeat ja varsinaiset pikalatausvaihtoehdot tulevat mahdolliseksi. Näillä voidaan päästä sähköautojen kanssa lähelle nykyistä polttoaineen tankkausnopeutta. Aalto-TKK:n tämän työpaketin yhteydessä tekemässä raportissa⁴ on käsitelty pikalatauksen mahdollisuuksia erityisesti juuri Vantaan alueen näkökulmasta. Näitä tuloksia ja menetelmiä voidaan jatkohankkeissa yhdistää myös tässä työssä kehiteltyihin malleihin.

Seuraavissa kappaleissa kuvattavat menetelmät keskittyvät pääpainollisesti sähköautojen hitaaseen lataukseen kotona. Myös työpaikalla tehtävää hidasta latausta käsitellään lyhyesti. Mikään ei kuitenkaan estä menetelmien laajentamista myös muiden tyyppisten latausten kuvaamiseen.

2.1 Sähköautojen määrien ja liikkumisen mallinnus

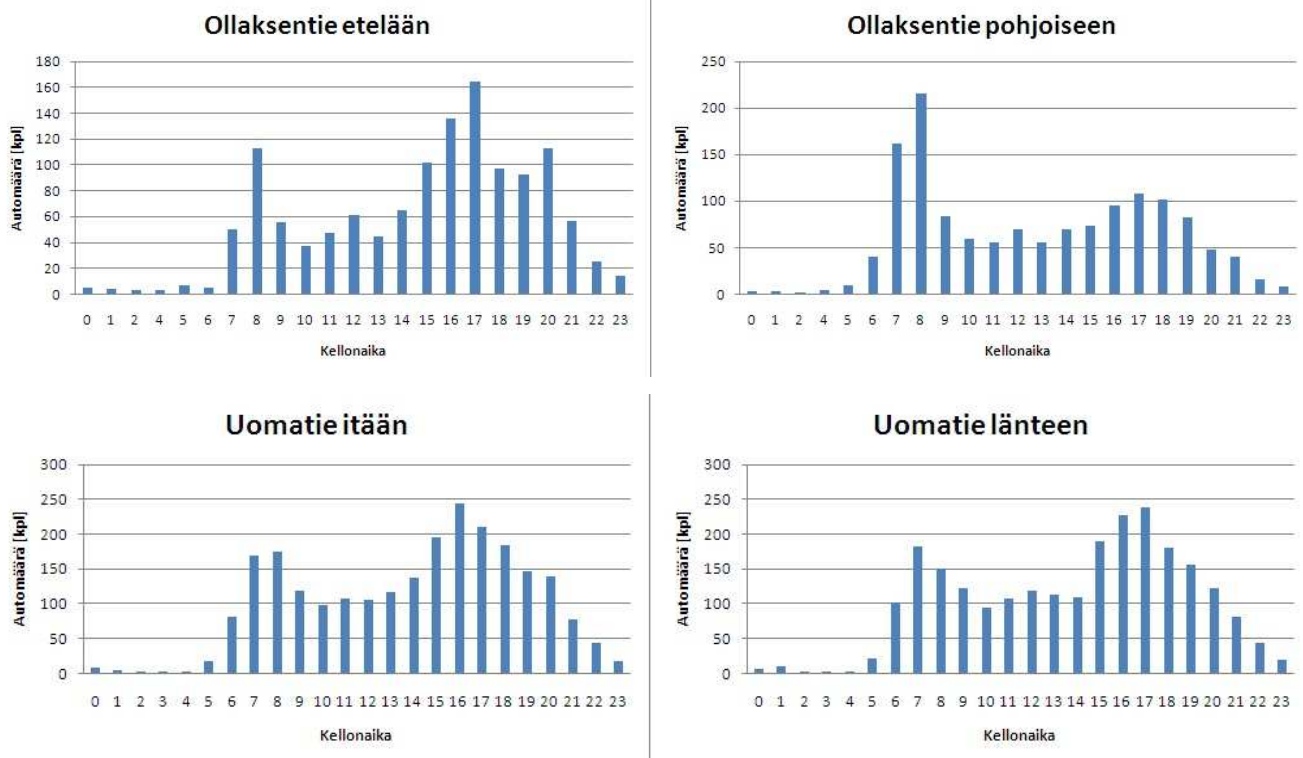
Jotta päästään kiinni autojen sähköverkolle aiheuttamaan kuormitukseen täytyy lähteä selvittämään kuinka paljon autoja on ja kuinka ne liikkuvat kyseisen verkkoalueen piirissä. Tässä selvityksessä haluttiin lähteä siitä, että päästäisiin mahdollisimman tarkasti alueellisesti kiinni Vantaan kaupungin (VES jakelualue) alueen ajoneuvokantaan. Automäärien mahdollisimman tarkan alueellisen tason selvittämiseksi päätettiin tilata Trafilta koko Vantaan autokannan tiedot osoitetasolla. Trafi ei itse toimita massahakutuloksia tietokannoistaan, vaan tiedot täytyy ostaa heidän yhteistyökumppaneidensa kautta. Lupaprosessi tietojen saamiseksi ja käyttämiseksi on myös kohtuullisen tarkka ja kaikkia aluksi haluttuja tietoja ei saatu. Mm. käyttövoima ja käyttöönottovuosi tiedoista jouduttiin luopumaan. Näiden tietojen avulla olisi ollut mahdollista tehdä autojen käytöstä ja elinkaaresta erilaisia tarkentavia analyyseja. Loppuen lopuksi saatiin tiedot osoitetasolla automäärittäin. Nämä olivat tämän selvityksen kannalta oleellimmat. Näillä tiedoilla päästään hyvin tarkasti kiinni alueelliseen automäärien kartoittamiseen Vantaalla.

Automäärien lisäksi autojen aiheuttaman kuormituksen mallintamiseen tarvitaan tietoa autojen liikkumisesta. Autojen liikkumisen pohjalta päästään kiinni paikkoihin, joissa autot ovat parkissa ja tällöin myös mahdollisuus niiden lataukseen on olemassa. Valtakunnallinen liikenneselvitys tarjoaa hyvän pohjatiedon mallien rakentamiseen, mutta tässä selvityksessä haluttiin myös tältä osin lähteä hakemaan vertailudataa autojen liikkumisesta Vantaalla. Valtakunnallinen selvitys ei myöskään kovin tarkasti ota kantaa pääkaupunkiseudun liikkumisen erityispiireisiin. Pk-seudulla runsas julkisen liikenteen käyttö sekä lyhyemmät etäisyydet ja tätä kautta ajosuoritteet eroavat koko valtakunnan tilanteesta merkittävästi.

Vantaan kaupungin liikennesuunnitteluosastolla on mittaustietoja¹ kaupungin teiden liikennekuormista tuntitasolla. Heidän kanssaan käytyjen keskustelujen pohjalta liikennevirtatietoja pyydettiin neljältä mittauspaikalta. Kuvassa 1 nähdään mittauspaikka Ylästössä Ollaksentiellä. Paikka on tämän selvityksen tarkoitusta varten hyvä, koska se sijaitsee asuinalueelle johtavan pääasiallisen reitin alkupäässä. Tällöin päästään hyvin kiinni alueelle tuleviin ja sieltä lähteviin ajoneuvoihin. Kuvassa 1 toisena mittauspaikkana on Myyrmäen poikki kulkeva Uomatie. Paikassa on läpikulkuliikennettä sekä paikallisen asumisen ja palveluiden aiheuttamaa liikennettä. Mittauspaikkojen liikennevirtamittaukset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 1. Ollaksentien ja Uomatien mittauspisteet. Kartat ⁶



Kuva 2. Ollaksentien liikennemäärämittaukset 27.5.2009. ja Uomatien liikennemäärämittaukset 6.5.2008.

Liikennevirtamittausten pohjalta voidaan päätellä mm. ihmisten kotiin ja töihin tulo- ja lähtöaikoja. Näistä päästää kiinni autovolyymeihin eri hetkinä eri paikoissa. Tässä työssä liikennevirtamittauksia käytettiin lähinnä tarkentamaan seuraavassa kappaleessa esiteltäviä jo hyvinkin tarkasti tehtyjä selvityksiä ihmisten liikkumisesta ja sähköautojen latauksesta. Kuormitusmallien määrittelyyn tarvitaan myös tietoa autojen sähkökulutuksesta ja akkukapasiteeteista. Seuraavassa taulukossa 1 on esitetty tietoja eri sähköautojen

kulutuksista ja akkujen kooista. Näitä tietoja on käytetty jatkossa esiteltävien kuormitusprofiilien ja –ennusteiden laskentaan.

Sähköautojen tietoja

Full EV, täyssähköautot

| Auto | Akkujen koko (kWh) | Kulutus (kWh/km) |
|-------------------|--------------------|------------------|
| Nissan Leaf | 24 | 0,15 |
| Mitsubishi i MiEV | 16 / 20 | 0,125 |
| Tesla Roadster | 53 | 0,174 |
| Citroën C-ZERO | 16 | 0,12 |
| PEUGEOT iOn | 16 | 0,12 |
| Valmet Eva | 35,5? | 0,22 |
| Think City | 22 | 0,14 |

PHEV, Pistokkeesta ladattavat hybridit

| Auto | Akkujen koko (kWh) | Kulutus (kWh/km) (Pelkällä sähköllä ajettaessa) |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|
| Chevrolet Volt / Open Ampera | 16, käytetään kuitenkin vain 9 | 0,15 |
| Toyota Prius | 5,2 (konseptimallissa) | 0,24 |
| Tesla Model S | 42 | 0,15 |
| Fisker Karma | 22,6 | 0,28 |
| Volvo V60 | 12 | 0,24 |

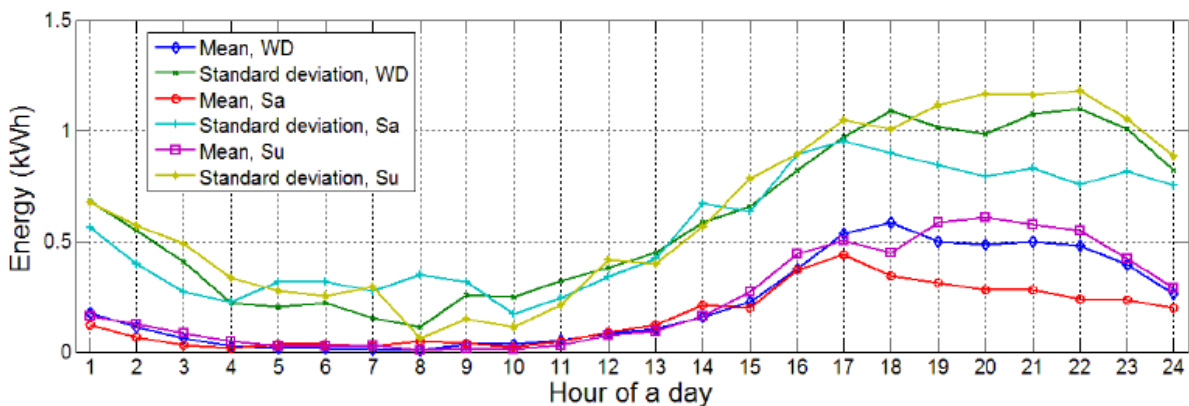
Taulukko 1.

2.2 Kuormitusmallien metodiikka

Tampereen Teknillisessä Yliopistossa on tehty Antti Rautiaisen toimesta sähköautojen latauksen kuormituskäyrämallinnusta Valtakunnallisen henkilöliikenneselvityksen pohjalta². Tutkimus tarjoaa erittäin hyvää analyysiä ihmisten liikkumistutkimuksen pohjalta tehdystä sähköautojen latausmallinnuksesta. Esimerkki tämän tutkimuksen lopputuloksena saatavasta kuormitusmallista nähdään kuvassa 3. Kyseessä on kerros- ja rivitalojen tapauksessa sähköautojen latausta mallintava kuormituskäyrä hajontoineen. Kuten kuvasta nähdään, ovat hajonnat hyvin suuria. Tämän sekä edellä mainittujen liikennemäärämittausten perusteella lähdettiin rakentamaan omia sähköautojen latauskäyriä. Latauskäyrät oli tarkoitus mallintaa niin, että niitä voidaan suoraan hyödyntää myös verkkotietojärjestelmässä.

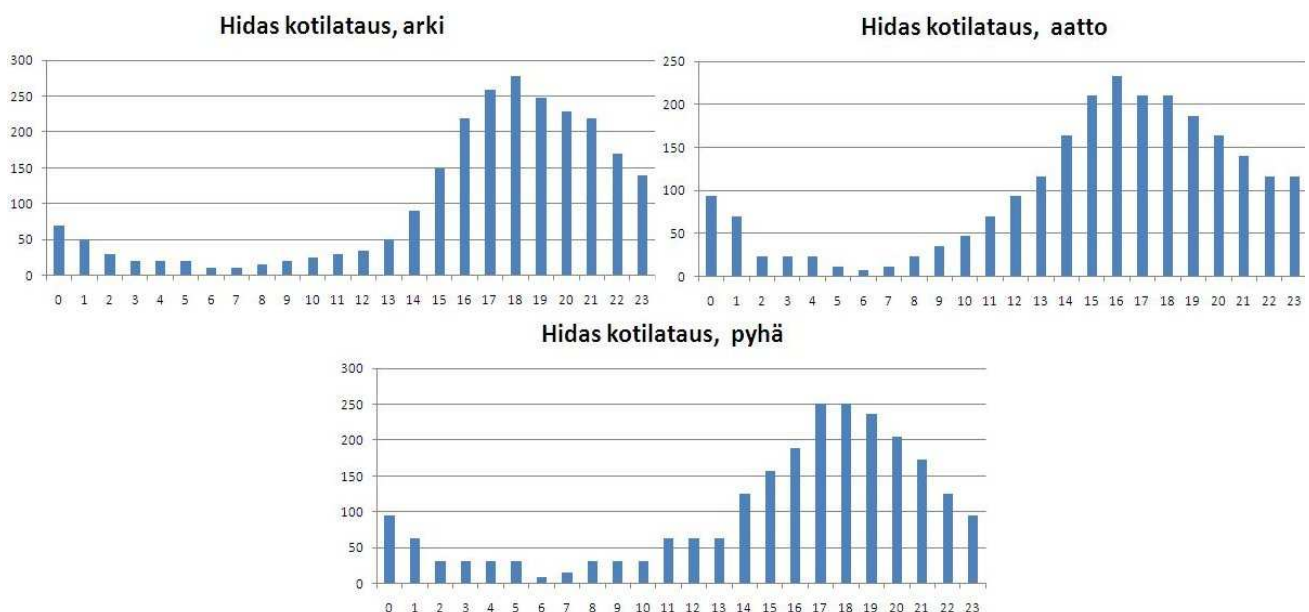
Pääasiallinen tavoite oli rakentaa kuormituskäyrä, joka kuvaa normaalia kotona tehtävää ohjaamatonta hidaslatausta. Tämän tyyppiseen mallinnukseen erilaiset liikennevirtatutkimukset tarjoavat hyvää informaatiota. Pohjaksi käyrän rakentamiseen otettiin kuvan 3 käyrä, jota skaalattiin Uomatien ja Ollaksentie mittaustuloksien pohjalta tehdyillä käyriillä. Mallinnuksen perustana on katsoa lataukseen tulevien autojen määrää,

akkukapasiteettia ja latausnopeutta. Tuloksena saatiin kuvan 4 käyrästä, jotka kuvaavat vapaata sähköautojen hidaslatausta Vantaalla. Tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollisuutta lähteä tekemään tarkempia analyyseja Vantaan liikennevirtamittausten perusteella. Myös ihmisten käyttäytymisen epävarmuus ja tulevaisuuden tariffi- ja kuormanohjausmuutokset voivat aiheuttaa hyvinkin suuria muutoksia tilanteeseen, joten mallinnukseen liittyvät epävarmuuden ovat hyvin suuria. Tämän kuormitusmallin lisäksi rakennettiin myös yö- ja työpaikkalatausta kuvaavat käyrästä, jotka on esitetty kuormituksen mallinnusta käsittelevässä kappaleessa 4. Myös näiden määrittelyn apuna käytettiin liikennevirtamittauksia.



Kuva 3. Antti Rautiainen, TTY. Rivitalot, kerrostalohuoneistot ja muut vastaavan tyyppiset latauspaikat. 2 x 3 kW, talvi. WD = arki, Sa = aatto ja Su = pyhä.

Kuvan 4 kuormitusmallien yhteyteen rakennettiin myös hajonnat kuvan 3 hajontojen pohjalta. Nämä hajonnat on myös viety verkkotietojärjestelmään ja niitä on käytetty osassa kappaleissa 3.3.2 ja 3.3.3 esitettäviä skenaariolaskentoja. Yö- ja työpaikkalatauskäyrien yhteyteen ei hajontoja mallinnettu suurien epävarmuuksien ja tarvittavan tilastodatan puuttumisen vuoksi.



Kuva 4. Mallinnetut vapaan hidaslatauksen kuormituskäyrät.

3 Kuormien mallinnus jakeluverkossa

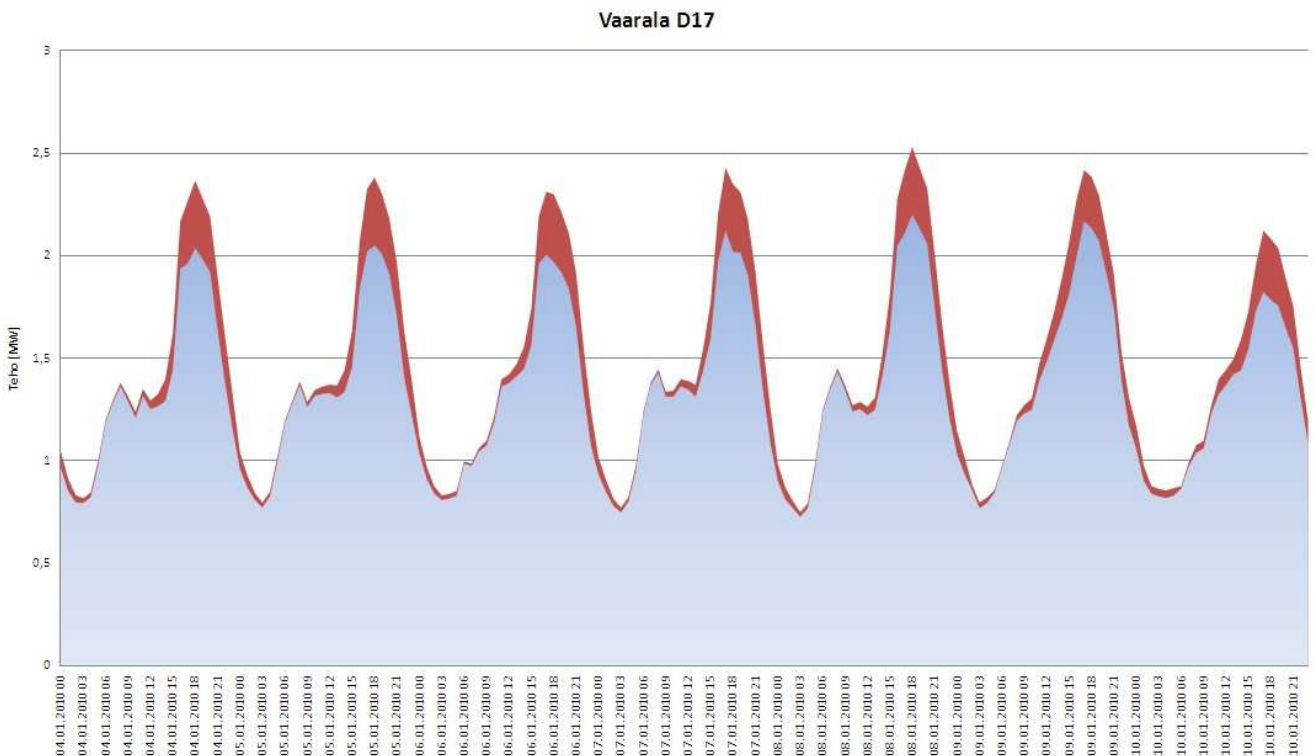
Kun autojen käyttäytyminen ja näiden pohjalta kuormitusmallit on laadittu, voidaan niiden avulla laskea vaikutuksia jakeluverkon nykyisen ja tulevaisuuden kuormituksen päälle. Tässä tutkimuksessa vaikutusten laskeminen on jaettu pääsääntöisesti kahteen eri osioon. Ensimmäisessä osiossa lasketaan sähköautojen aiheuttama lisäkuormitus suoraan mitattujen sähköasemalähtöjen päälle. Toisessa osiossa autotiedot mallinnetaan verkkotietojärjestelmän avulla pienjänniteverkkoon, jolloin voidaan myös pj-verkon kuormitustilanne mallintaa. Tällöin on myös mahdollista laskea tulevaisuuden yleissuunnittelun mukaisen keskijänniteverkon tilannetta. Autojen mallinnus verkkotietojärjestelmässä antaa myös mahdollisuuden tarkempaan alueelliseen automäärien analyysiin. Tällöin sähköasemamittaustenkin päälle tehtäviä sähköautokuormituksia voidaan mallintaa tarkemmin, koska syöttöalueiden automäärät tunnetaan huomattavasti paremmin. Autotietojen siirtämisestä verkkotietojärjestelmään ja datan analysoinnista kerrotaan kappaleessa 4.2.

3.1 Sähköautokuormat sähköasematasolla ja keskijännitelähdöillä

Sähköasemilta saatavia mittauksia saadaan yleensä tuntitasolla keskijänniteverkon lähdeittäin. Tämä mahdollistaa verkon todellisen nykykuormituksen tuntemuksen kohtuullisella alueellisellakin tarkkuudella. Tutkimustyössä pyrittiin valitsemaan kulutusrakenteeltaan riittävän homogeenisia lähtöjä, jolloin muutamilla tietyn tyyppisillä kuormituskäyrillä voidaan kohtuullisella tarkkuudella mallintaa koko lähdön alla olevia oletettuja sähköautoja. Tarkasteluun valittiin yksi kerrostalovaltainen lähtö, yksi sähkölämmitysvaltainen päämuuntaja sekä yksi pääasiassa työpaikkoja sisältävä lähtö. Tämän lisäksi tarkasteluun otettiin koko VES:n kuormitusprofiili sähköautojen kanssa. Tässä esitettyjen tilanteiden mallinnus on tehty 30 % sähköautopenetraatiolla (täyssähköautoja), joka ei nopeidenkaan kasvuennusteiden⁵ mukaan ole ainakaan ennen vuotta 2030 todennäköinen (EV + PHEV osuus liikennesuoritteesta).

Vaaralan D17 lähtö syöttää pääasiassa Hakunilan kerrostalovaltaista kaupunginosaa. Verkkotietojärjestelmään vietyjen autotietojen perusteella tehty analyysi syöttöalueen automääristä on n. 1070 kpl. Autokannan tulevaisuustutkimuksen⁷ mukaan automäärän kasvun arvioidaan vuoteen 2030 mennessä olevan n. 10 %, joten tämä on huomioituna laskelmissa. Koska Vaaralan D17 lähdön syöttöalueella oleva sähköautopotentiaali koostuu pääasiassa vain kerrostaloissa asuvista kohteista, käytetään koko tämän massan mallintamiseen kuvassa 4 olevaa käyrästä. Uudet kuormanohjaustavat ja tariffit tulevat

tulevaisuudessa varmasti muuttamaan tätä profiilia, mutta tässä selvityksessä tehtävien oletusten perusteella tilanteen oletetaan kuitenkin menevän pääasiassa ihmisten liikkumisen ja vapaan tahdon mukaan. Tällöin varaudutaan pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen. Tulevaisuuden kuormanohjauksilla oletettavasti kuormituksia pyritään siirtämään kevyemmän tilanteen ajankohtiin. Sähkötalouden tulevaisuuden kehityksen ennakoimattomuudesta johtuen toisensuuntainenkin kehitys on toki mahdollista. Laskelmissa käytettävä 0,2 kWh / km on yleinen sähköautojen kulutusta mallintava keskiarvo. Tämän päivän ja lähitulevaisuuden sähköautojen kulutukset vaihtelevat n. 0,10 – 0,30 kWh / km välillä. Kappaleessa 2.1 on listattuna joitakin tällä hetkellä markkinoilla olevia sähköautoja ja näiden kulutuksia. Kerrostalohuoneistossa asuva käyttää autoaan arvioiden mukaan keskimäärin n. 13000 km vuodessa. Tätä arvioitaessa on käytetty henkilöliikennetutkimuksen⁸ materiaaleja sekä itse laskettuja Vantaan kaupunginosakohtaisia autotiheyksiä. Kerrostalovaltaisella alueella suhteessa vähän autoja omistavat ajavat näillä myös vähemmän kuin haja- ja pientaloalueilla asuvat. Seuraavassa kuvassa 5 on esitettyä laskelma edellä esitettyjen oletusten pohjalta lähön huippuviikolta.



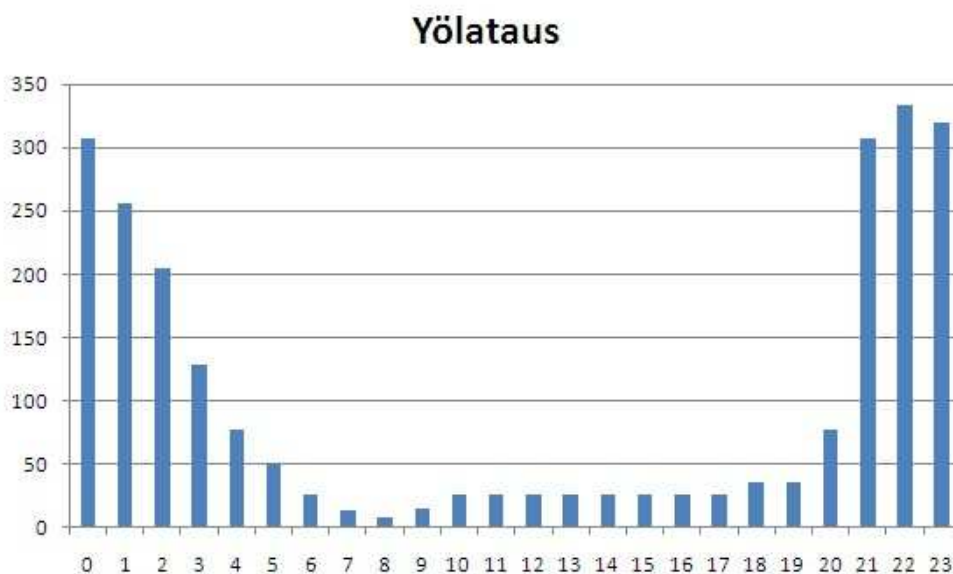
Kuva 5. Vaarala D17 sähköautojen vaikutuksen kanssa.

| | |
|---|-------------------|
| Autoja Vaaralan sähköaseman lähön D17 syöttöalueella (10 % kasvu huomioitu) | 1200 kpl |
| Sähköautojen yleistymisaste | 30 % (n. 400 kpl) |
| Kulutus | 0,2 kWh / km |
| Ladattava vuotuinen ajomatka | 13000 km |
| Huipputehon kasvu lähdöllä | 17 % |

Taulukko 2. Vaaralan D17 lähön laskentaparametrit.

Vaaralan lähdöllä 17 % kasvu on kohtuullisen suuri. Tämä johtuu siitä, että latauspiikki osuu klo 18, jolloin myös kulutus muutenkin on tämän tyyppisillä alueilla korkeimmillaan. Lähdön kuormitus ei kuitenkaan tässäkään tilanteessa muodostuisi vielä minkäänlaiseksi ongelmaksi. Kuitenkin mahdollisuus ohjata latausta kevyemmän kuormituksen aikaan, on juuri näillä alueilla keskeisimmässä roolissa.

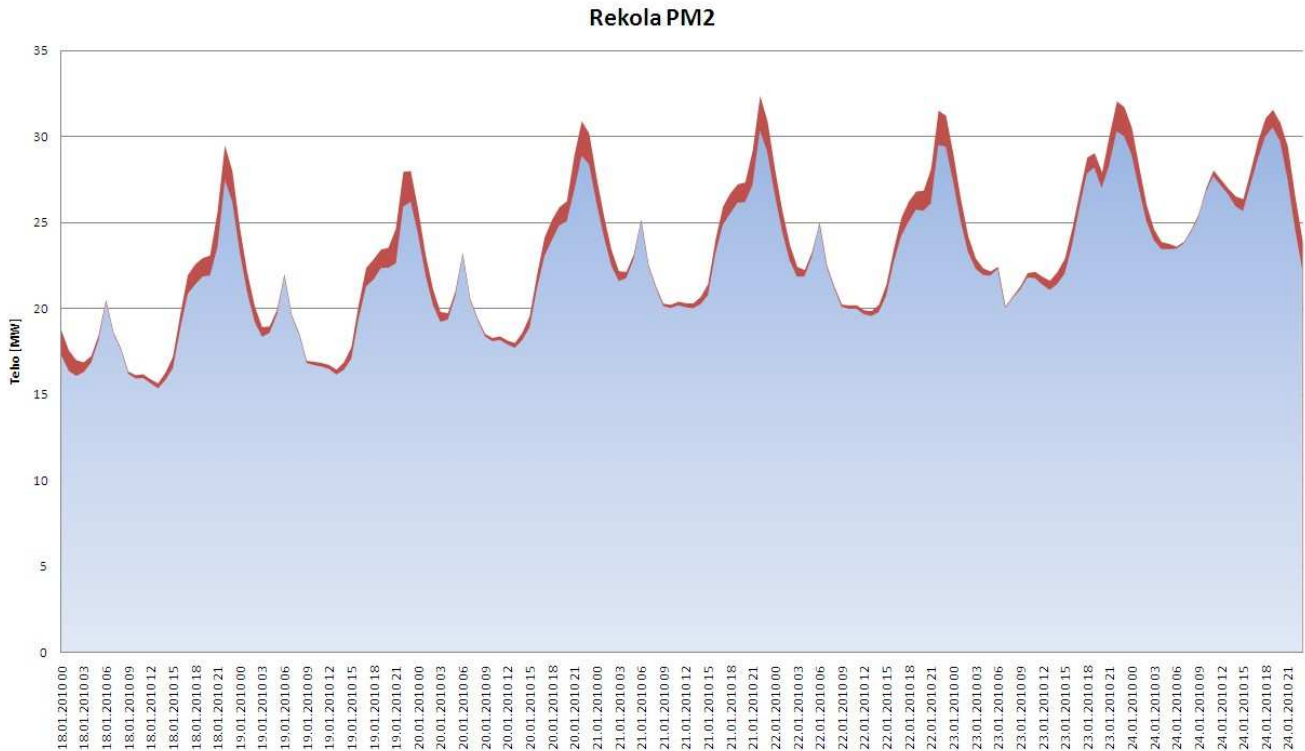
Kohteissa, joissa yötariffi on käytössä, voitaisiin ainakin osan sähköauton potentiaalisista lataajista olettaa käyttävän halvempaa yöhintaa lataukseen. Hintaero yösähkön eduksi ei ole suuri, mutta varsinkin pientaloissa ajatuksen rakentaminen auton lataukseen yöksi on hyvin yksinkertainen toteuttaa. Tästä johtuen sähköautojen yölatauksen mallintamista varten rakennettiin oma kuormitusprofiilinsa, joka nähdään kuvassa 6. Kuormitusprofiilin perustana on VES:n verkkoalueella käytössä olevan yötariffin alkaminen klo 21. Lisäksi käytettiin keskimääräisiä ajomatkoja sekä sähköautojen akkukapasiteetteja ja tätä kautta syntyvää lataustarvetta kuormituskäyrän rakentamiseen. Yölatauksen yhteydessä indeksisarjaesityksen mukaista aattoa ja pyhää ei mallinnettu erikseen. Tämä voidaan tehdä jatkokehityshankkeissa tarpeen mukaan.



Kuva 6. Sähköautojen yölataus.

Rekolan sähköaseman toisen päämuuntajan kuorma koostuu pääasiassa sähkölämmityskohteista. Sähkölämmittäjillä on käytössä yötariffi, joten tämän hetkisen tilanteen mukaan ainakin osa luultavasti käyttäisi tätä myös sähköauton lataukseen. Tämän takia tässä skenaariossa päädyttiin olettamaan, että puolet oletettavista sähköautonlataajista käyttää yösähköä lataamiseen. Tulevaisuudessa uudet tariffit ja kuormanohjaustavat tulevat tässäkin tapauksessa varmasti muuttamaan tätä tilannetta. Nyt tehtävässä tarkastelussa tämä

lähtökohta kuitenkin oletetaan. Vuotuiseksi ajomatkaksi tässä tapauksessa arvioitiin 15000 km, joka on hieman edellistä Hakunilan esimerkkiä korkeampi. Tämä sen takia, että alue koostuu pääasiassa pientalokohteista, joissa autoa käytetään liikkumiseen enemmän. Seuraavassa kuvassa 7 nähdään tilanne näillä parametreilla laskettuna.



Kuva 7. Rekolan sähköaseman toinen päämuuntaja sähköautojen vaikutuksen kanssa.

| | |
|--|------------------------------|
| Autoja Rekolan sähköaseman toisen päämuuntajan syöttöalueella (10 % kasvu huomioitu) | 7500 kpl |
| Sähköautojen yleistymisaste | 30 % (n. 2300 kpl) |
| Kulutus | 0,2 kWh / km |
| Kuormitusprofiilit | 50 % / 50 % oletus-/yölataus |
| Ladattava vuotuinen ajomatka | 15000 km |
| Huipputehon kasvu päämuuntajalla | 9 % |

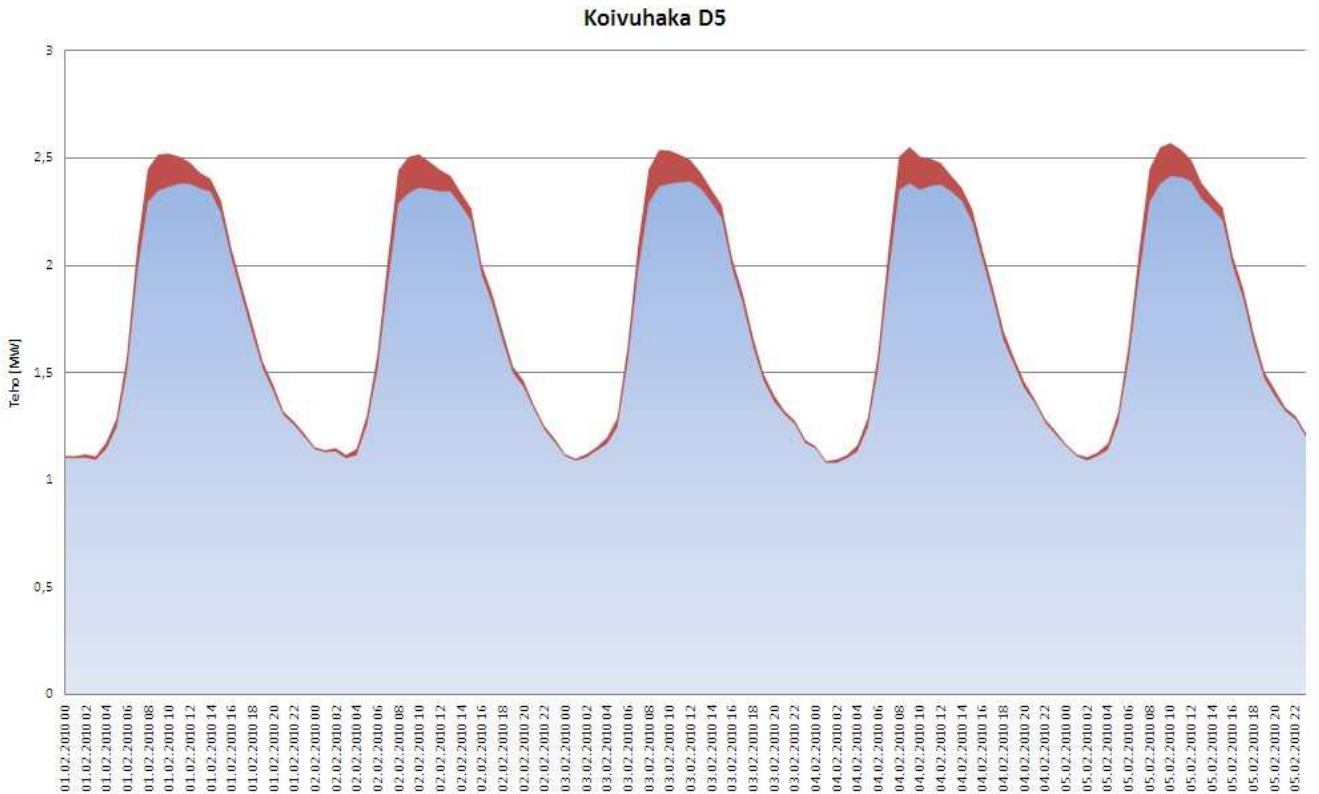
Taulukko 3. Rekolan PM2 laskentaparametrit.

Kuten taulukosta nähdään, on kuormituksen kasvu päämuuntajalla n. 9 %. Tämäkään ei nykyisillä kasvuennusteilla vielä aiheuta merkittäviä ongelmia päämuuntajan kuormitukseen, mutta on selkeästi otettava huomioon pitkäntähtäimen ennustamisprosessissa ja yleissuunnittelussa. Päämuuntajakapasiteetin, sähköasemien ja 110 kV yhteyksien varaaminen ovat keskeisiä pitkäntähtäimen suunnittelun kysymyksistä, joihin joudutaan hyvissä ajoin varautumaan. Tämän takia sähköautojen vaikutusta on pyrittävä huomioimaan mahdollisimman varhain.



Kuva 8. Sähköautojen työpaikkalatauksen kuormitusprofiili.

Koivuhaan työpaikkavaltaista lähtöä laskettaessa on autojen määrän arviointi hyvin haastavaa. Eri työpaikkojen parkkipaikkamäärien arviointi sekä näihin tulevaisuudessa tulevien sähköautojen latauspaikkojen ennustaminen on hyvin vaikeaa. Tässä laskelmassa lähdettiin arvioimaan, että työpaikoilla ladattava vuotuinen ajomäärä on 5000 km. Tähän päädyttiin olettamalla keskimääräiseksi ajomatkaksi 25 km ja vuotuisten työpäivien määräksi 200 kpl. 25 km on hieman korkea keskimääräiseksi työmatkaksi, mutta tässä haluttiin myös ottaa huomioon muuta työpaikoilla tehtävää latausta. Kuvassa 8 nähdään työpaikkalataukseen käytetty kuormitusprofiili. Profiili on laadittu liikennevirtatilastojen, liikennesuoritteiden, akkukapasiteettien pohjalta. Ladattavien sähköautojen määräksi tällä lähdöllä 30 % sähköautopenetraatiolla arvioitiin 500 kpl. Määrää arvioidessa pyrittiin karkeasti laskemaan syöttöalueella olevia yrityksiä ja näiden parkkipaikkamääriä. Tarkempien selvityksien tekeminen vaatisi kaavoitustietojen läpikäyntiä ja/tai yrityksiin yhteydenottamista.

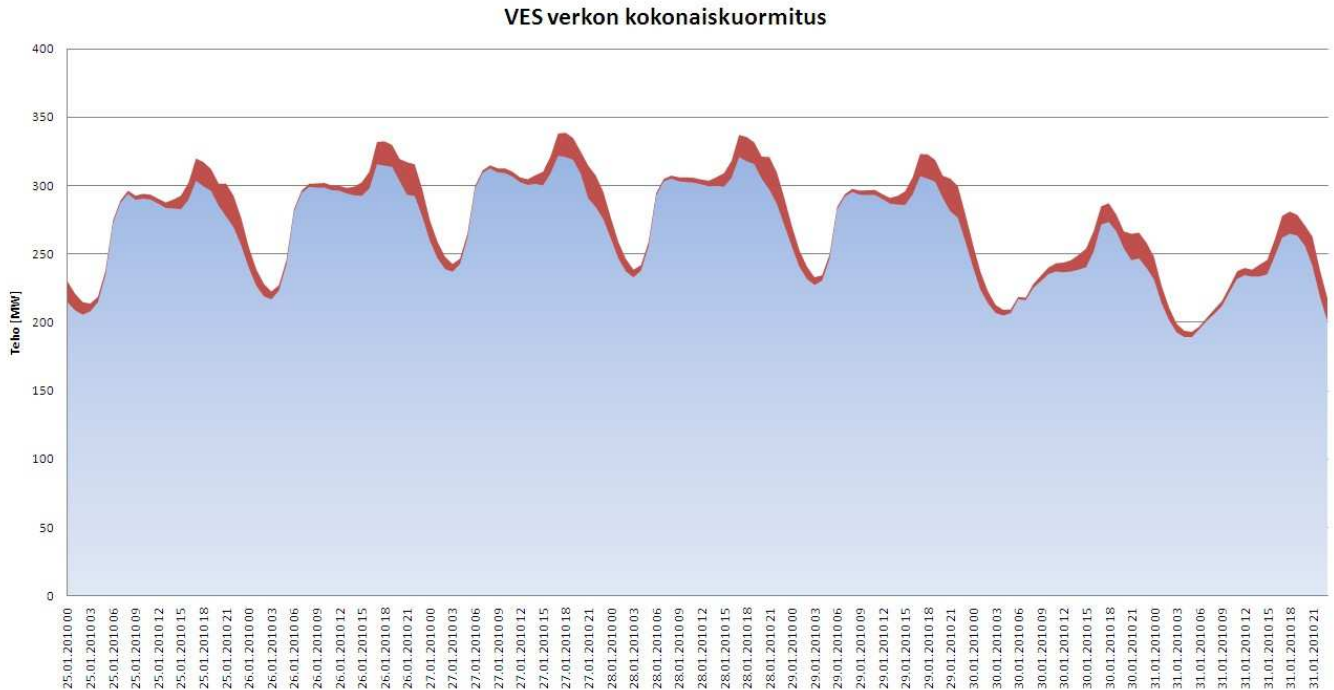


Kuva 9. Koivuhaka D5 sähköautojen vaikutuksen kanssa.

| | |
|---|--------------|
| Sähköautoja huomioituna Koivuhaan sähköaseman lähdön D5 laskelmissa | 500 kpl |
| Kulutus | 0,2 kWh / km |
| Ladattava vuotuinen ajomatka | 5000 km |
| Huipputehon kasvu lähdöllä | 6,5 % |

Taulukko 4. Koivuhaan lähdön D5 laskentaparametrit.

Koivuhaan sähköaseman lähdön D5 syöttämällä alueella sähköautojen aiheuttama kuormituksen kasvu olisi n. 6,5 %. Tässä tilanteessa sähköautojen aiheuttama kasvu on hyvin maltillista eikä aiheuttaisi toimenpiteitä. Sähköasema- ja kokoaaniskuormitustasoilla nämäkin kasvut on kuitenkin otettava huomioon. Sähköautojen latauspaikkojen raju kasvu työpaikoilla voi myös muuttaa tilannetta. Myös isojen kauppakeskusten mahdollinen toimiminen latauspaikkana aiheuttaa kuormitusta päivään/iltapäivään juuri tämän tyyppisillä lähdöillä. Näiden arviointia ei kuitenkaan tässä työssä ole lähdetty tekemään. Aalto-TKK:n tekemässä selvityksessä² on keskitytty kauppakeskuksissa tehtävän sähköautolatauksen vaikutusten arviointiin. Kokonaisskenaarion laskentaa jossa myös näitä asioita on huomioitu, voidaan VES:n verkkoalueen olettamuksilla tehdä seuraavissa selvityksissä.



Kuva 10. VES:n verkon kokonaiskuormitus sähköautojen vaikutuksen kanssa.

| | |
|---|---|
| Käytössä olevia ajoneuvoja Vantaalla (10 % kasvu huomioituna) | 90000 kpl |
| Sähköautojen yleistymisaste | 30 % |
| Kulutus | 0,2 kWh / km |
| Kuormitusprofiilit | 67 % / 33 % oletus-/yölataus + työpaikkalataus 5000 autoa |
| Ladattava vuotuinen ajomatka (oletus/yö/työ) | 13000 km / 16000 km / 5000 km |
| Huipputehon kasvu kokonaiskuormituksessa | 6 % |

Taulukko 5. VES:n verkon kokonaiskuormituksen laskentaparametrit.

VES:n verkkoalueen kokonaiskuormituksen mallinnuksessa päädyttiin käyttämään kaikkia kolmea mallinnettua kuormituskäyrää. Tiedot käytettävistä parametreista on esitetty taulukossa 5. Näillä oletuksilla laskettaessa olisi huippukuormituksen kasvu n. 6 %. Karkealla perusoletuksella voidaan sähköautojen kuormituksen olettaa jakautuvan alkuillan n. klo 18 latauspiikkiin sekä myöhäisempään n. klo 21 – 22 piikkiin. Tulevaisuuden kysynnänjoustolla ja uusilla älykkäillä ohjaustavoilla olisi kuormitusta kuitenkin siirrettävissä kevyemmän kuormituksen aikaan. Sähköautojen kohdalla esimerkiksi yöaikaan tehtävä lataus sopisi monissa tilanteissa hyvin.

Jatkotyönä vastaavat analyysit voitaisiin laskea myös monille muille VES:n sähköasemalähdöille ja päämuuntajille. Automäärien analysointi verkkotietojärjestelmää käyttäen helpottaa nyt näiden laskelmien tekoa.

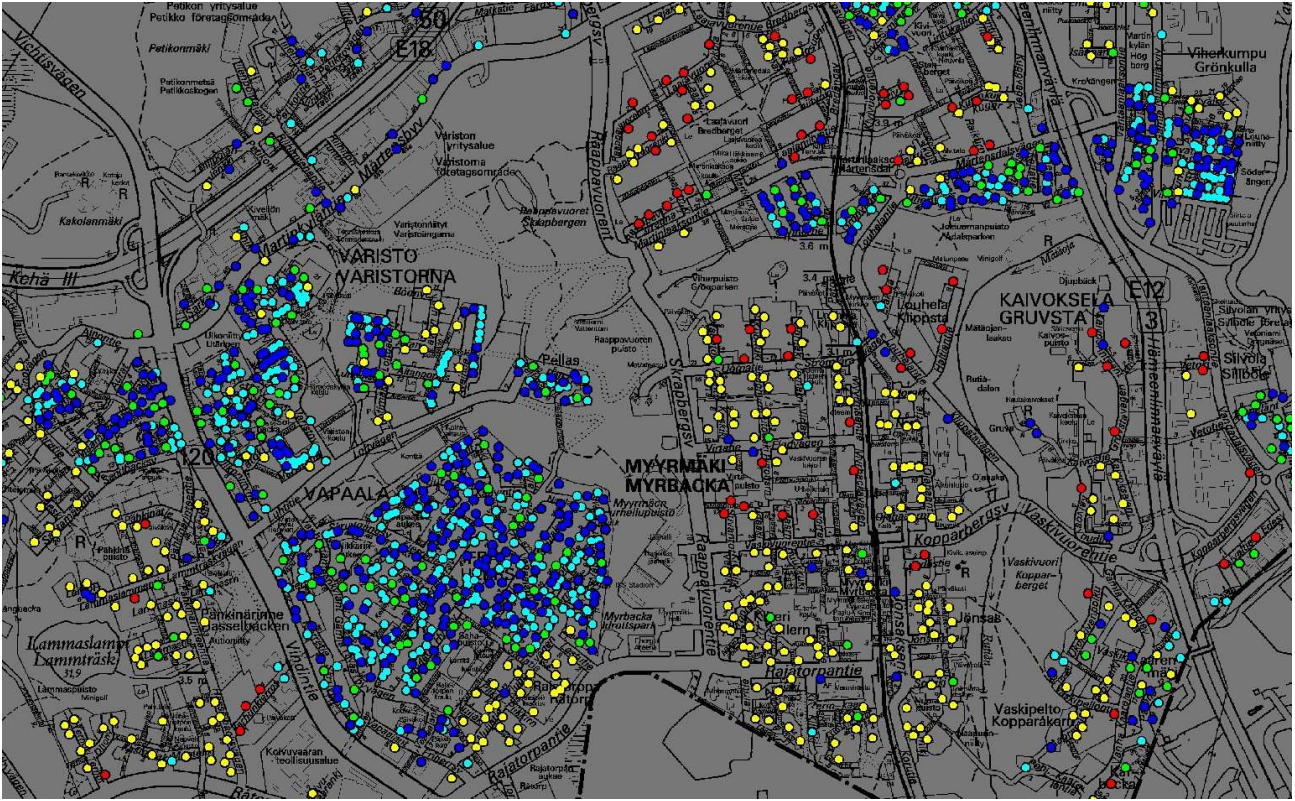
3.2 Sähköautojen mallinnus verkkotietojärjestelmässä

Jotta autojen aiheuttamaa kuormitusta voidaan mallintaa mahdollisimman tarkasti, täytyy niiden määrästä ja sijainneista olla alueellista tietoa. Tämän takia päätettiin hankkia Trafilta Vantaan automäärät osoitetasolla, kuten työn alussa kerrottiin. Tässä kappaleessa kerrotaan tietojen jalostamisesta ja siirtämisestä verkkotietojärjestelmään jatkoanalyysia varten. Verkkotietojärjestelmä tarjoaa hyvät työkalut tietojen alueelliseen analyysiin sekä mahdollistaa verkon kuormituslaskennat, joissa sähköautotiedot voidaan suoraan ottaa huomioon. Tietoja joudutaan kuitenkin kohtuullisen paljon muokkaamaan ennen kuin ne ovat käyttökelpoisia.

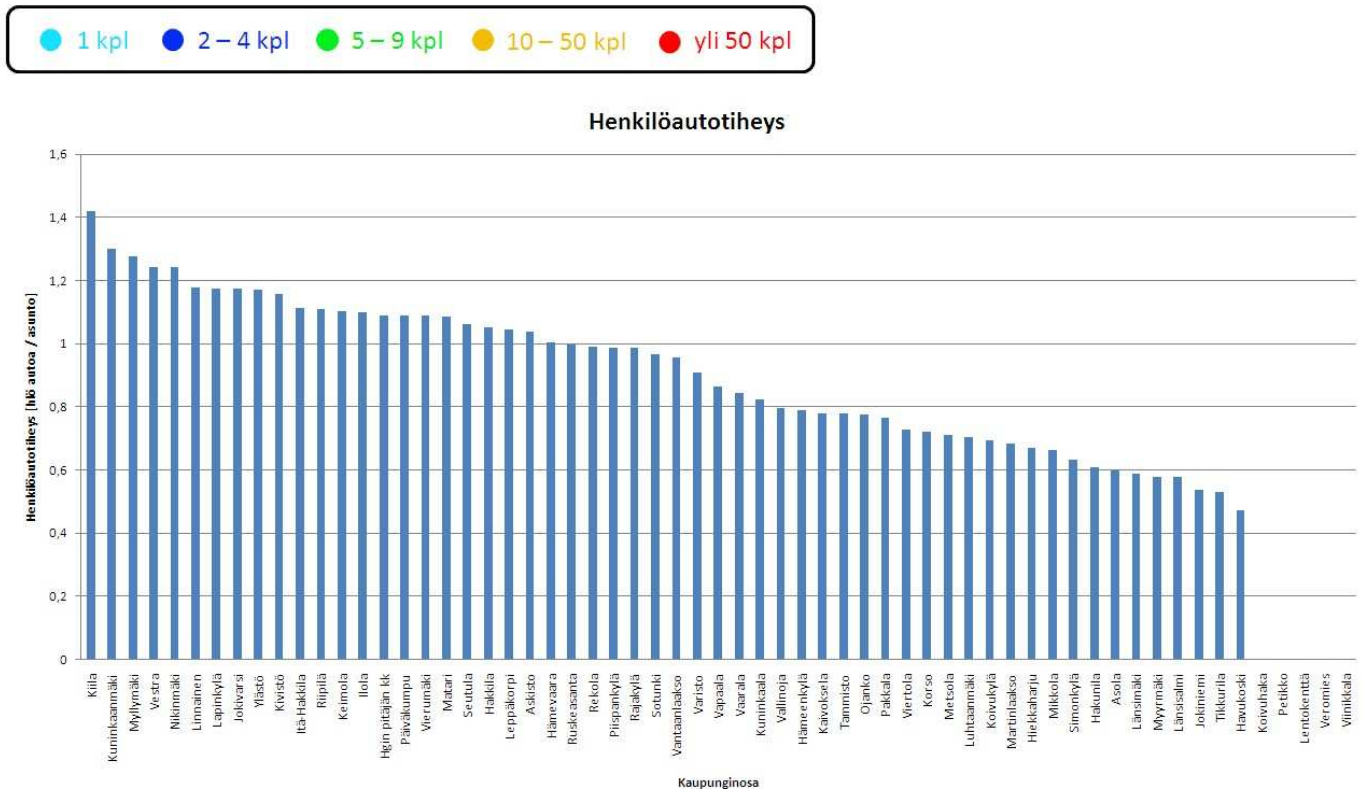
3.2.1 Tietojen siirto verkkotietojärjestelmän tietokantaan

Automäärätiedot³ saatiin Trafin yhteistyökumppanina toimivan 112 Median kautta CSV-tiedostona. Tiedot perustuvat ajoneuvon haltijan osoitteisiin. Tiedot saatiin loppuen lopuksi niin, että tietyn osoitteen kohdalla on ilmoitettu tietty määrä autoja. Esimerkiksi Peltolantie 27:ssä on 5 kpl autoja. Tiedoissa on vielä erikseen eriteltynä autoliikkeiden omistamat henkilöautot. Tietojen muokkaus ja siirtämisprosessissa verkkotietojärjestelmään käytettiin Microsoftin Access tietokantojen hallintaohjelmaa. Datan muokkaamista jouduttiin tekemään kohtuullisen paljon, jotta tiedot saatiin riittävän yhdenmukaisiksi ja luotettaviksi. Suurin työ liittyi osoitteiden kirjain- ja numerotietojen käsittelyyn. Ensin autotiedot siirrettiin tauluksi, joka sisälsi osoitteen ja automäärän. Tämän jälkeen osoitetietoja muokattiin vastaamaan parhaalla mahdollisella tavalla Vantaan kaupungilta saatuja osoitteiden koordinaattitietoja. Nämä kaupungilta saadut tiedot sisältävät kaikki Vantaan osoitteet ja näitä vastaavat koordinaattipisteet. Tämän jälkeen osoitteita vastaavat koordinaatit ajettiin autotiedot sisältävän taulun yhteyteen. Siirrossa keskeisenä työnä osoitteiden numero ja kirjain yhtenäistämisen lisäksi oli ruotsinkielisten osoitteiden huomiointi. Trafian datassa ruotsinkielisten henkilöiden osoitteet ovat ruotsinkielisillä kadunnimillä. Onneksi kuitenkin myös näiden osoitteiden koordinaatit saatiin kaupungilta. Kun data oli saatu yhteen tauluun riittävän yhtenäiseen muotoon, siirrettiin tiedot verkkotietojärjestelmän tietokantaan pisteobjekteiksi, jotka sisältävät osoitteen, koordinaatit ja automäärät. Automäärässä on eriteltynä autoliikkeiden omistamat autot omana kenttäänään. Esimerkki automäärästä esitettynä verkkotietojärjestelmän karttapohjalla on kuvassa 11. Näillä tiedoilla voidaan tehdä erilaisia alueellisia analyysia automäärästä mm. eri kaupunginosissa. Kuvassa 12 on tehty tilasto automäärästä asuntoa kohden eri kaupunginosissa Vantaalla. Tilastosta näkyy hyvin mm. se, että pientalovaltaisilla alueilla autoja asuntoa kohden on enemmän. Autotiheystilastoja voidaan jatkossa käyttää mm. VES:n pitkäntähtäimen ennustamismallissa

sähköautojen mallintamiseen. Tärkein tieto jatkoanalyysejä varten näistä mallinnetuista sähköauto-objekteista saadaan kuitenkin verkkotietojärjestelmän sähkötekniistä laskentaa varten, jolloin autojen aiheuttamat kuormitukset osataan kohdistaa oikeille verkko-osille jakeluverkossa.



Kuva 11. Esimerkki autokannasta Vantaalla verkkotietojärjestelmässä karttaphojalla esitettyä. Karttaphoja ⁶



Kuva 12. Vantaan kaupunginosien autotiheys [henkilöautoa / asunto].

3.3 Kuormitusten laskenta verkkotietojärjestelmässä

Sen lisäksi, että verkkotietojärjestelmässä voidaan tehdä analyysejä autojen alueellisista volyymeista, voidaan sen avulla myös suoraan laskea verkkojen kuormituslaskentaa. Verkkotietojärjestelmän kuormituslaskenta perustuu vuosienergioihin ja kuormitusprofiilia kuvaaviin indeksisarjoihin. Mallintamalla nämä sähköautoille, voidaan myös niiden vaikutus ottaa laskelmissa huomioon. Tällöin laskennassa on oleellista, että nykyverkkomallin laskennat antavat oikeita tuloksia. VES:n kohdalla tilanne tältä osin on hyvä. Tässä kappaleessa kuvataan autojen mallinnus kuormituksina verkossa sekä kerrotaan tuloksia laskennoista.

3.3.1 Sähköautojen energioiden mallinnus pienjänniteliittymille

Jotta kuormituslaskentaa verkkotietojärjestelmässä voidaan tehdä, täytyy kuormituksen vuosienergiat olla mallinnettuina verkossa. Sähköautojen energiat päätettiin mallintaa kytkemällä sähköautojen osoitetiedot pienjänniteliittymien osoitetietoihin. Tämän jälkeen voidaan määrittää kuinka paljon yhdelle autolla halutaan vuosienergiaa ja siirtää tämä pienjänniteliittymän kulutustiedoksi. Perusskenaariolaskennassa päädyttiin oletamaan 15000 km vuotuista ajomatkaa ja 0,2 kWh / km kulutusta. Näin päädytään 3000 kWh vuosikulutukseen. Jos liittymäpisteessä on 50 autoa, tulee sähköautojen vuosienergiaksi 150000 kWh. Energioiden lisäksi laskentaa varten tarvitaan kuormitusprofiili. Verkkotietojärjestelmään mallinnettiin kappaleessa 3.2 läpi käyty vapaa lataus sekä kappaleessa 4 esitelty yölataus. Vapaan latauksen yhteyteen tehtiin myös hajonnat Antti Rautiaisen Tampereen Teknillisessä Yliopistossa tehdyn tutkimuksen² pohjalta. Yölatauksen kuormituskäyrän yhteyteen ei hajontoja mallinnettu. Jotta tiedot saatiin massana rakennettua verkkotietojärjestelmän tietokantaan, jouduttiin tekemään hyvin paljon töitä Accessin ja suoran SQL:n avulla. Isoimpia ongelmia aiheuttivat liittymäpisteiden ja sähköautojen osoitetietojen erilaisuudet, jolloin hyvän ja luotettavan linkityksen aikaansaaminen oli haastavaa. Tässä apuna käytettiin myös asiakastietojärjestelmästä saatavia liittymien osoitetietoja linkkitauluna, jossa osoitteiden kirjain- ja numerotietojen käsittely voitiin tehdä omissa sarakkeissaan. Lopulliseksi autojen linkitysprosentiksi pienjänniteliittymille saatiin 95 %, jota voidaan pitää erittäin hyvänä. Jos parametreja halutaan jatkossa muuttaa erilaisia skenaariolaskentoja varten, on tämä jatkossa huomattavasti helpompaa. Nyt tehtyä työtä voidaan käyttää pohjana näiden toteuttamiseen. Laskemisen joustavampaan ja helpompaan toteuttamiseen voidaan jatkokehityshankkeissa paneutua tarkemmin. Työkaluja suoraan verkkotietojärjestelmään tämän tyyppisten datankäsittelyiden ja analyysien tekoon myös

kaivattaisiin. Verkkotietojärjestelmässä tehdyissä laskelmissa ja seuraavissa esitetyissä tuloksissa käytettiin pääasiassa 40 % sähköautopenetraatiota.

3.3.2 Nykyisellä verkolla laskeminen

Verkkotietojärjestelmässä päätettiin laskea koko 0,4 kV pienjänniteverkko sekä 20 kV keskijänniteverkko. Pienjänniteverkon laskennassa liittymillä olevan energiat summautuvat muuntajille, joita käytetään 20 kV verkon laskennassa. Tämän takia pienjänniteverkko on laskettava ensin.

Kuvissa 13 ja 14 sekä 15 ja 16 nähdään tuloksia kahden muuntopiirin osalta nykytilanteessa sekä tilanteissa sähköautojen kanssa. Muuntamon M373 kohdalla käytettiin vapaanlatauksenkäyrää ja muuntamon M2468 kohdalla yölatauskäyrää sähköautojen mallintamiseen. M373 on puhtaasi kerrostaloja syöttävä muuntopiiri ja M2468 pääasiassa sähkölämmitysaluetta syöttävä. Molemmissa tapauksissa käytettiin 40 % sähköautopenetraatiota. Muuntopiirien asiakasrakenne on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Mallintamalla näin päästään kiinni pahimpiin mahdollisiin tilanteisiin verkon kannalta. Kuvissa 13 ja 14 on esitetty esimerkki, jossa näkyy vastaavien muuntamoiden muuntajat nykykuormituksessa sekä tilanteessa laskelman sähköautojen kanssa. M373 kohdalla ylikuormitusmahdollisuus kasvaa hyvinkin korkeaksi ja kohteeseen jouduttaisiin saneeraamaan suurempi muuntaja. M2468 kohdalla tilanne pysyy vielä hallinnassa, mutta maksimikapasiteetti lähestyy myös sen kohdalla. Nämä muuntajat ovat jo nykyisellään kohtuullisen korkeassa kuormassa ja suurimmat ongelmat sähköautojen yleistymisen myötä tulevat juuri tämän tyyppisissä tilanteissa. Kuten kuvista 15 ja 16 sekä 17 ja 18 nähdään, niin verkon puolella sähköautojen latauksen aiheuttama kuormitus lisää pienjänniteverkon kuormitusta tietyissä osissa merkittävästi. Laskelmissa käytetty kohtuullisen korkea sähköautopenetraatio antaa kuitenkin suuntaa siitä, että verkossa (johdoissa) on kapasiteettiä ottaa vastaan kohtuullinen määrä sähköautoja. Tässä esitetyt alueet ovat valmiiksi rakennettuja, joten muu mahdollinen kuormituksen lisäys tulee lähinnä sähkönkäytön muutoksista. Ominaiskulutusten siirtyminen energiatehokkaampaan suuntaan voi pienentää kulutusta, mutta toisaalta sähkölaitteiden määrän jatkuva kasvu talouksissa nostaa kulutusta. Näissä laskelmissa käytetyn suuren sähköautopenetraation takia tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä. Kaikkien VES:n muuntamoiden tulosten koottu raportointi sähköautolisäyksen kanssa ei tähän tutkimukseen ehtinyt. Myös tätä asiaa on kuitenkin jatkossa tarkoitus tehdä ja jatkohankkeissa tähän tullaan palaamaan. Lähes valmiit työkalut tulosten raportointiin on olemassa. Pikaisen tarkastelun tuloksena kuitenkin nähtiin, että osa

Modeling EV loads in electricity distribution network with NIS tools

muuntajia ja johto-osuuksia menee ylikuormaan näillä oletuksilla laskettaessa. Jatkossa tarkasteluja ja koottuja raportteja on hyvä laskea erityyppisillä skenaarioilla.

M373

| Ryhmän nimi | Kuluttajien lukumäärä | Energia (kWh) |
|---------------------------|-----------------------|---------------|
| Asuminen kerrostalo | 360 | 867210 |
| Kiinteistömittaus | 10 | 436930 |
| Kauppa ja hallinto | 1 | 36860 |
| + | + | + |
| Sähköauton lataus (vapaa) | 258 | 774000 |

Taulukko 6.

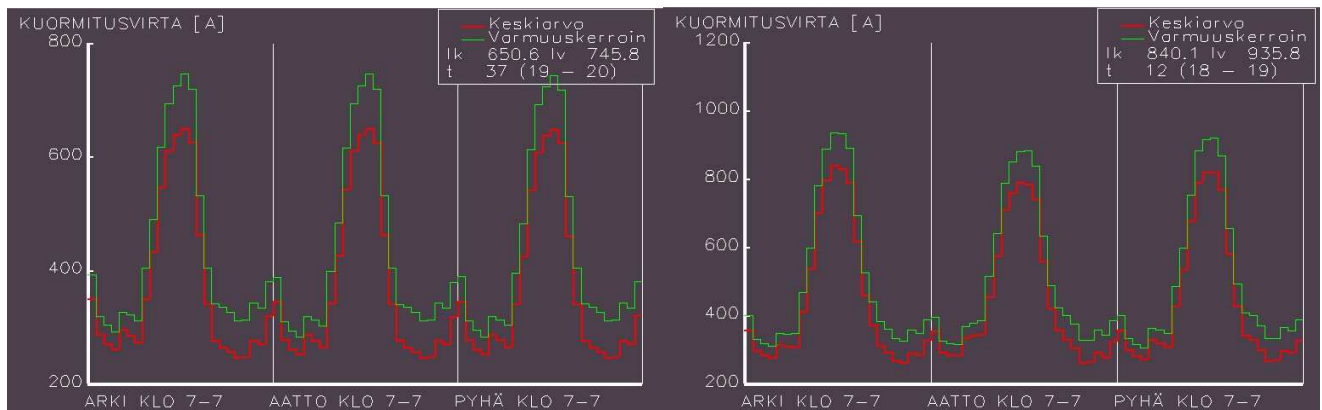
M2468

| Ryhmän nimi | Kuluttajien lukumäärä | Energia (kWh) |
|------------------------------|-----------------------|---------------|
| Sähkölämmitys | 76 | 1358830 |
| Asuminen omakotitalo | 14 | 89150 |
| Kauppa ja hallinto | 4 | 44500 |
| + | + | + |
| Sähköauton lataus (yölataus) | 101 | 303000 |

Taulukko 7.

Nykytilanne

Tilanne sähköautojen kanssa

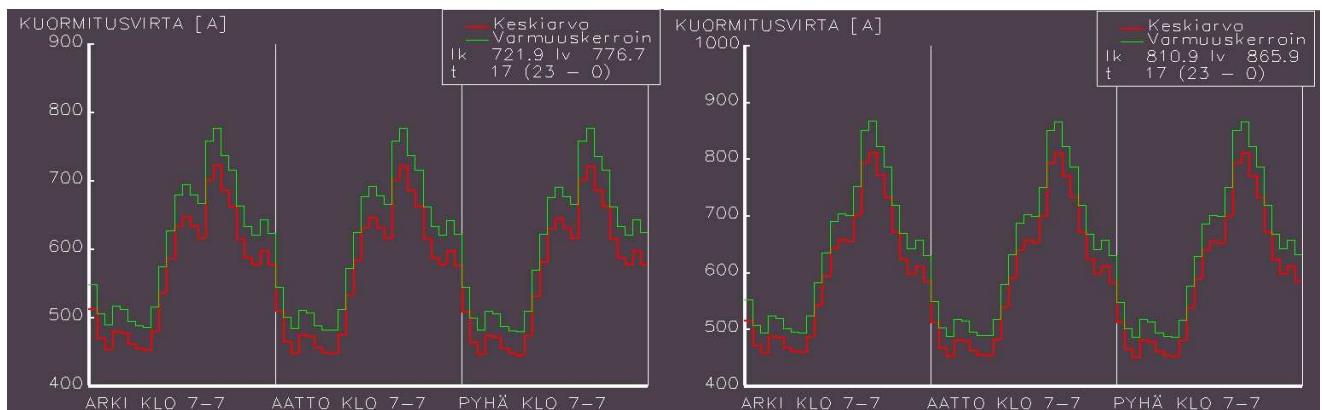


Kuva 13.

M373 muuntajan kuormitusaste kasvaa nykyisestä 97 %:sta sähköautojen kanssa 132 %:iin (90% laskentodennäköisyys). Muuntajan ylikuormitustodennäköisyys kasvaa merkittäväksi.

Nykytilanne

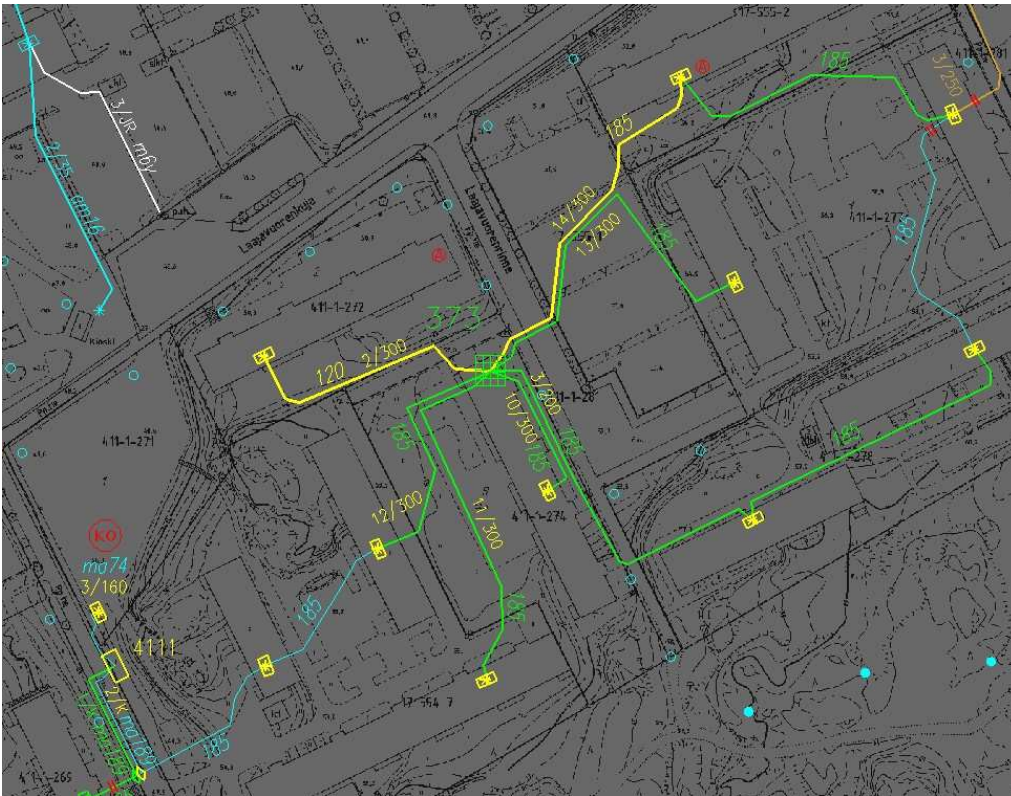
Tilanne sähköautojen kanssa



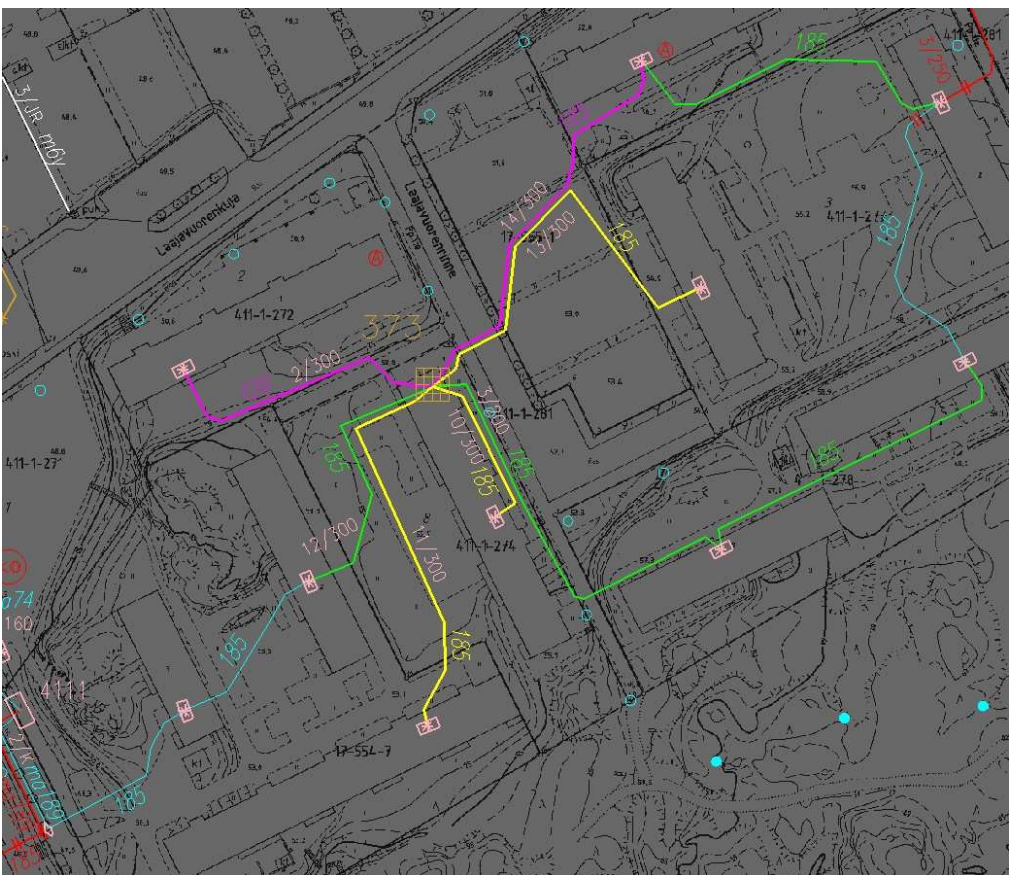
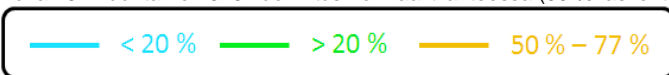
Kuva 14.

M2468 muuntajan kuormitusaste kasvaa nykyisestä 80 %:sta sähköautojen kanssa 95 %:iin (90% laskentodennäköisyys).

Modeling EV loads in electricity distribution network with NIS tools



Kuva 15. Muuntamon 373 kuormitus normaalitilanteessa (90 % laskentatodennäköisyys). Karttapohjat ⁶



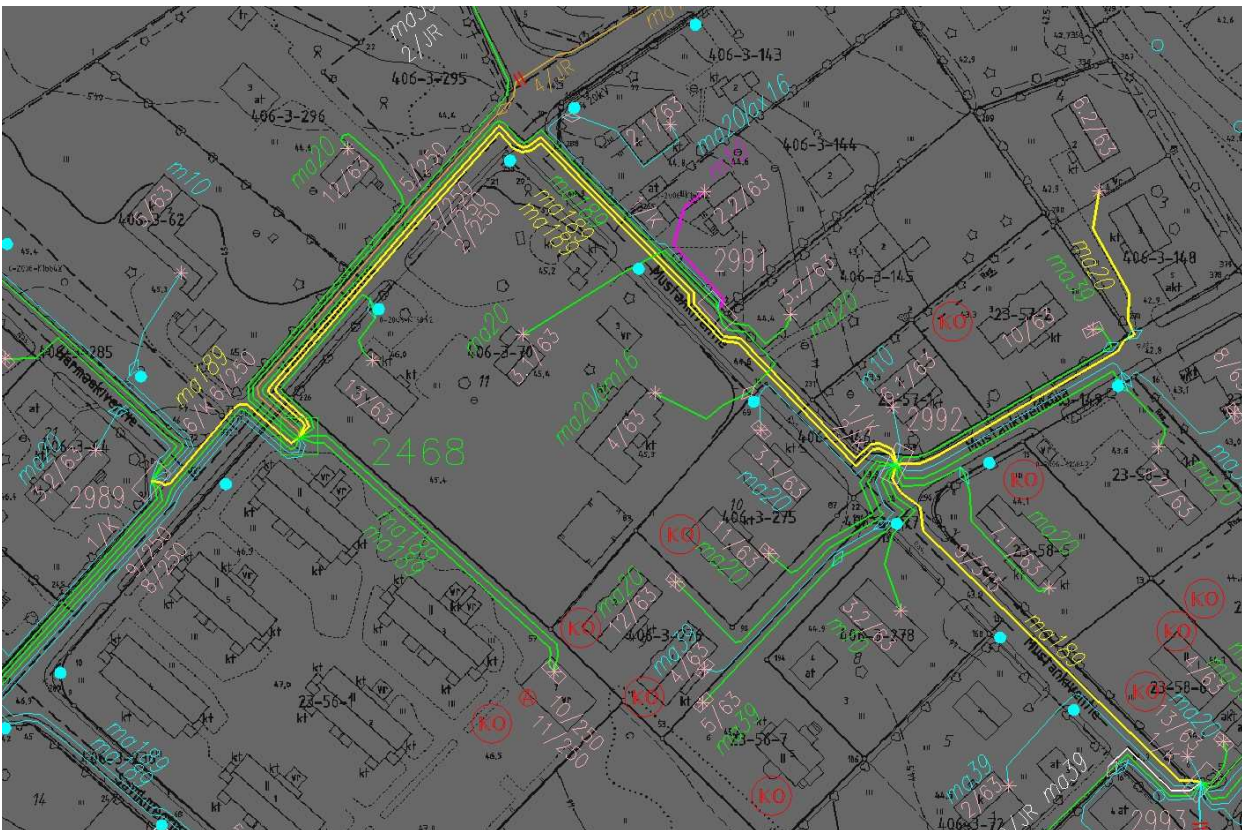
Kuva 16. Muuntamon 373 kuormitus sähköautojen kanssa, 40 % sähköautopenetraatio.



Modeling EV loads in electricity distribution network with NIS tools



Kuva 17. Muuntamon 2468 kuormitus normaalitilanteessa (90 % laskentatodennäköisyys).



Kuva 18. Muuntamon 2468 kuormitus sähköautojen kanssa, 40 % sähköautopenetraatio.

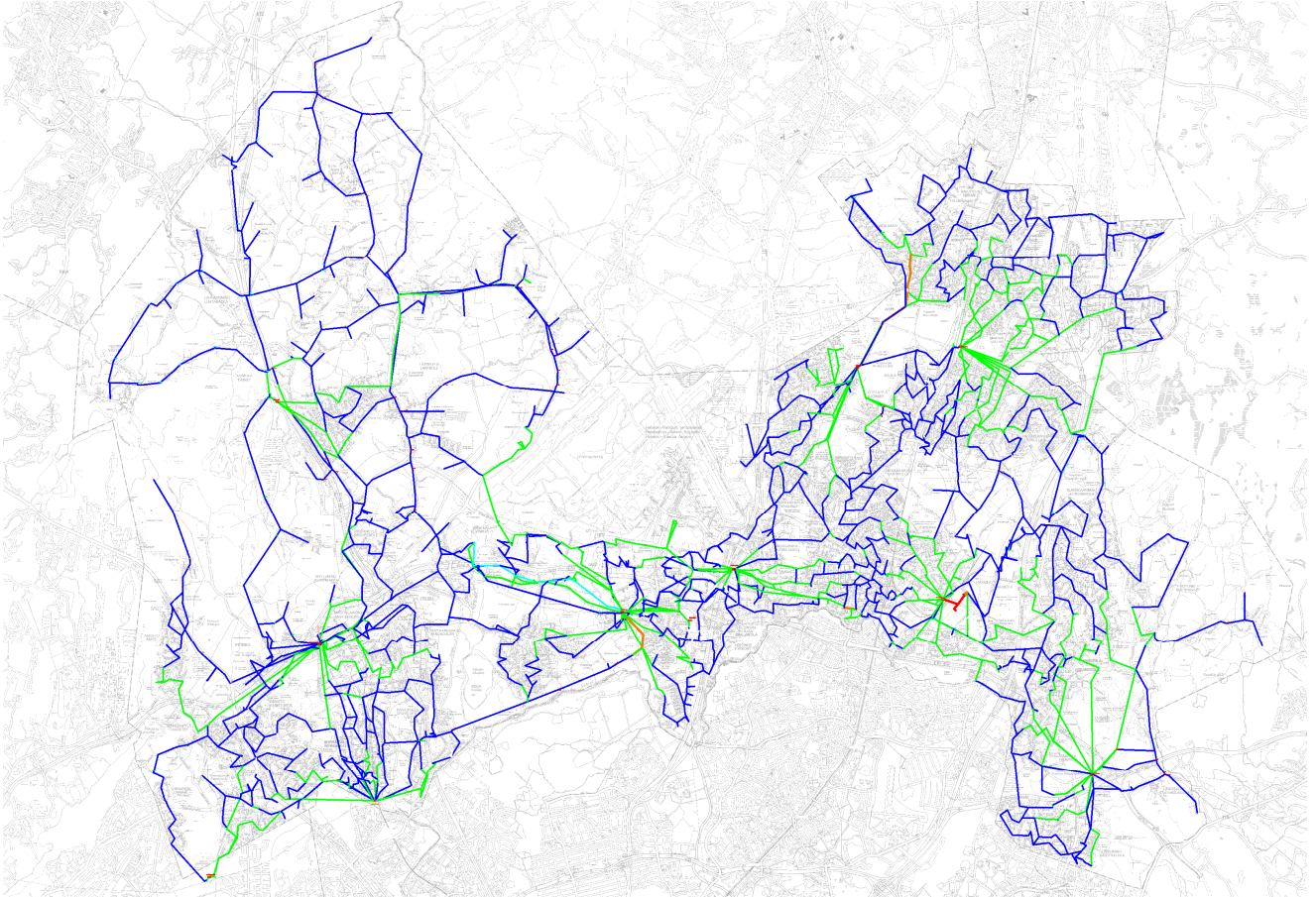


20 kV verkon tarkastelua varten päätettiin laskea tapaukset vapaan latauksen kuormituskäyrillä sekä yölatauksen kuormituskäyrillä. Myös tapaus jossa molempia kuormitusmalleja esiintyy sekaisin, voitaisiin laskea. Tällöin laskelmaan voitaisiin myös yhdistää mm. työpaikka- ja kauppakeskuslatauksen kuormitusmallit. Ajanpuutteen vuoksi ei tässä tutkimuksessa lähdetty näitä tekemään, vaan asia jätetään jatkoselvityksiin.

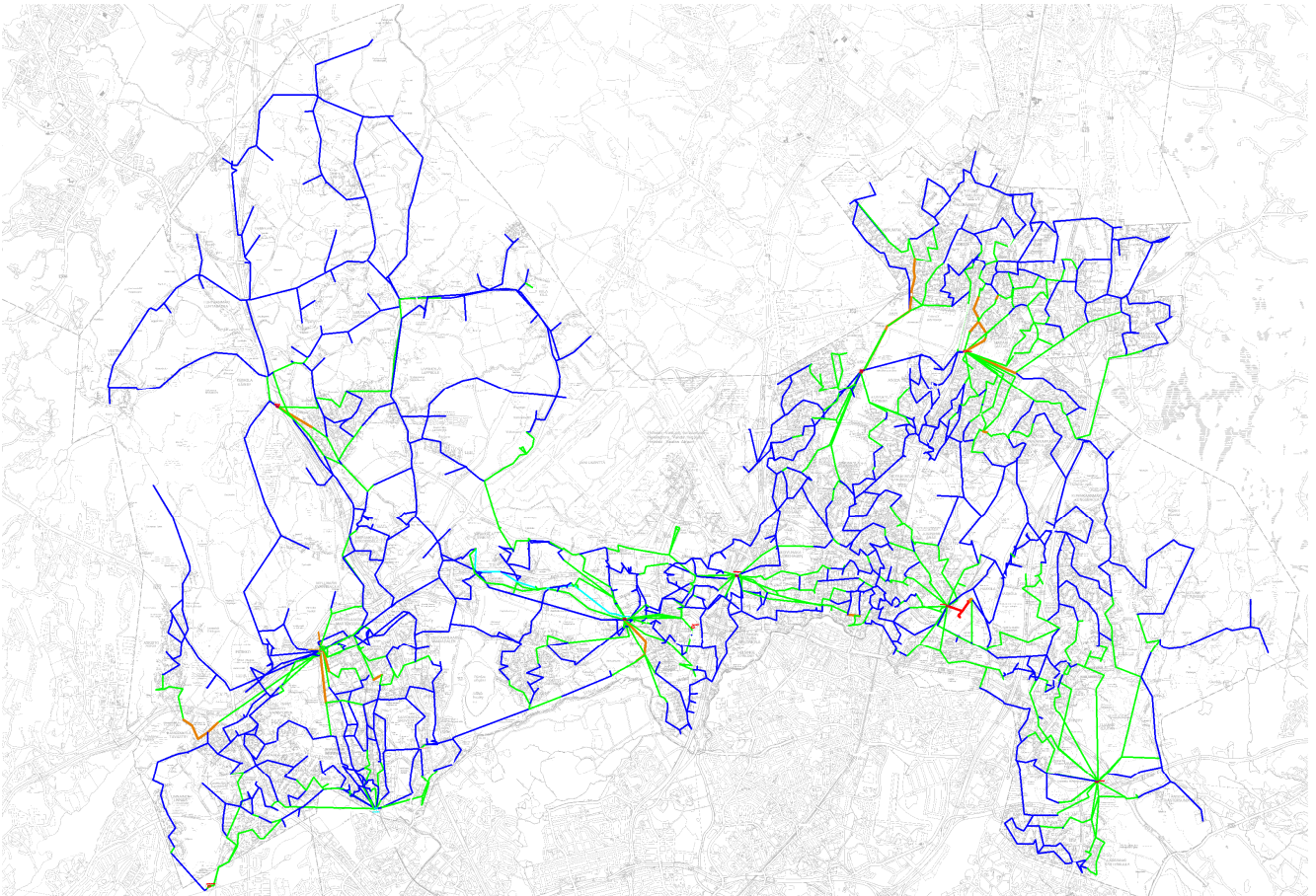
Kuvassa 19 nähdään keskijänniteverkon nykytilanteen kuormitus 90 % todennäköisyydellä laskettuna. Kuormitus ei yksittäistä lyhyttä johto-osuutta lukuun ottamatta ylitä 80 %. Tämä yksittäinen osuus johtuu yhdestä isosta kohteesta, jonka kuormitukseen ei sähköautoilla tule olemaan vaikutusta ja sen huomioiminen tämän tarkastelun valossa ei ole oleellista. Kuten kuvista 20 ja 21 nähdään, ei 40 % sähköautopenetraatio aiheuta kummassakaan tapauksessa ongelmia keskijänniteverkolle. Tietyissä verkon osissa kuormitus nousee, mutta kapasiteettia ottaa vastaan sähköautojen kuormitusta on runsaasti. Suurimmat kuormitusasteet saadaan Ilolan ja Pakkalan sähköasemien eräillä lähdöillä. Ilolassa 75 % ja Pakkalassa 77 %. Tämänhetkisessä tilanteessa lähtöjen kuormitusasteet ovat Ilolassa 67 % ja Pakkalassa 65 %. Sähköasemien päämuuntajien kuormituksia sähköautot puolestaan kohtuullisesti nostavat. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 8. Keskijänniteverkon kohdalla on kuitenkin huomioitava kaupungin muun kasvun aiheuttama kuormituksen lisäys, jotta voitaisiin tilannetta tarkastella luotettavasti. Tulevaisuuden verkolla laskemista on käsitelty kappaleessa 3.3.3. Keskijänniteverkon tulosten raportointi kokonaistasolla on myös tarkoitus tehdä tämän selvityksen tulosten pohjalta.

| Sähköasema | Päämuuntaja | Huipputeho (MVA) nyt | Huipputeho (MVA) sähköautot vapaa lataus | Muutos | Huipputeho (MVA) sähköautot yö-lataus | Muutos |
|-----------------|-------------|-------------------------|---|---------------|--|--------------|
| Hakkila | PM1 | 18,4 | 19,9 | 8,2 % | 18,8 | 2,0 % |
| Hakkila | PM2 | 23,6 | 24,1 | 1,9 % | 24,1 | 2,0 % |
| Ilola | PM1 | 21,8 | 24,1 | 10,3 % | 24,3 | 11,4 % |
| Ilola | PM2 | 15,3 | 18,9 | 23,3 % | 18,7 | 22,0 % |
| Koivuhaka | PM1 | 25,4 | 28,6 | 12,9 % | 26,7 | 5,2 % |
| Koivuhaka | PM2 | 19,4 | 19,5 | 0,5 % | 19,2 | 0,5 % |
| Martinlaakso | PM1 | 19,7 | 23,7 | 20,6 % | 20,9 | 6,2 % |
| Martinlaakso | PM2 | 25,8 | 25,9 | 0,2 % | 24,6 | 0,4 % |
| Myyrmäki | PM1 | 16,8 | 16,9 | 0,4 % | 16,0 | 0,6 % |
| Myyrmäki | PM2 | 15,7 | 17,5 | 11,8 % | 16,0 | 1,9 % |
| Pakkala | PM1 | 28,3 | 28,9 | 2,2 % | 28,9 | 2,1 % |
| Pakkala | PM2 | 29,3 | 32,6 | 11,4 % | 30,8 | 5,1 % |
| Rekola | PM1 | 21,9 | 25,2 | 15,3 % | 23,0 | 4,9 % |
| Rekola | PM2 | 29 | 34,4 | 18,7 % | 36,8 | 26,7 % |
| Vaarala | PM1 | 17,5 | 19,3 | 10,0 % | 17,8 | 1,6 % |
| Vaarala | PM2 | 21,2 | 25,3 | 19,7 % | 23,4 | 10,6 % |
| Keimola | PM1 | 16,2 | 18,2 | 12,9 % | 18,9 | 16,5 % |
| Leppävaara * | PM1 | 8,7 | 10,8 | 23,8 % | 9,3 | 6,4 % |
| Yhteensä | | 374,0 | 413,8 | 10,6 % | 398,0 | 6,4 % |

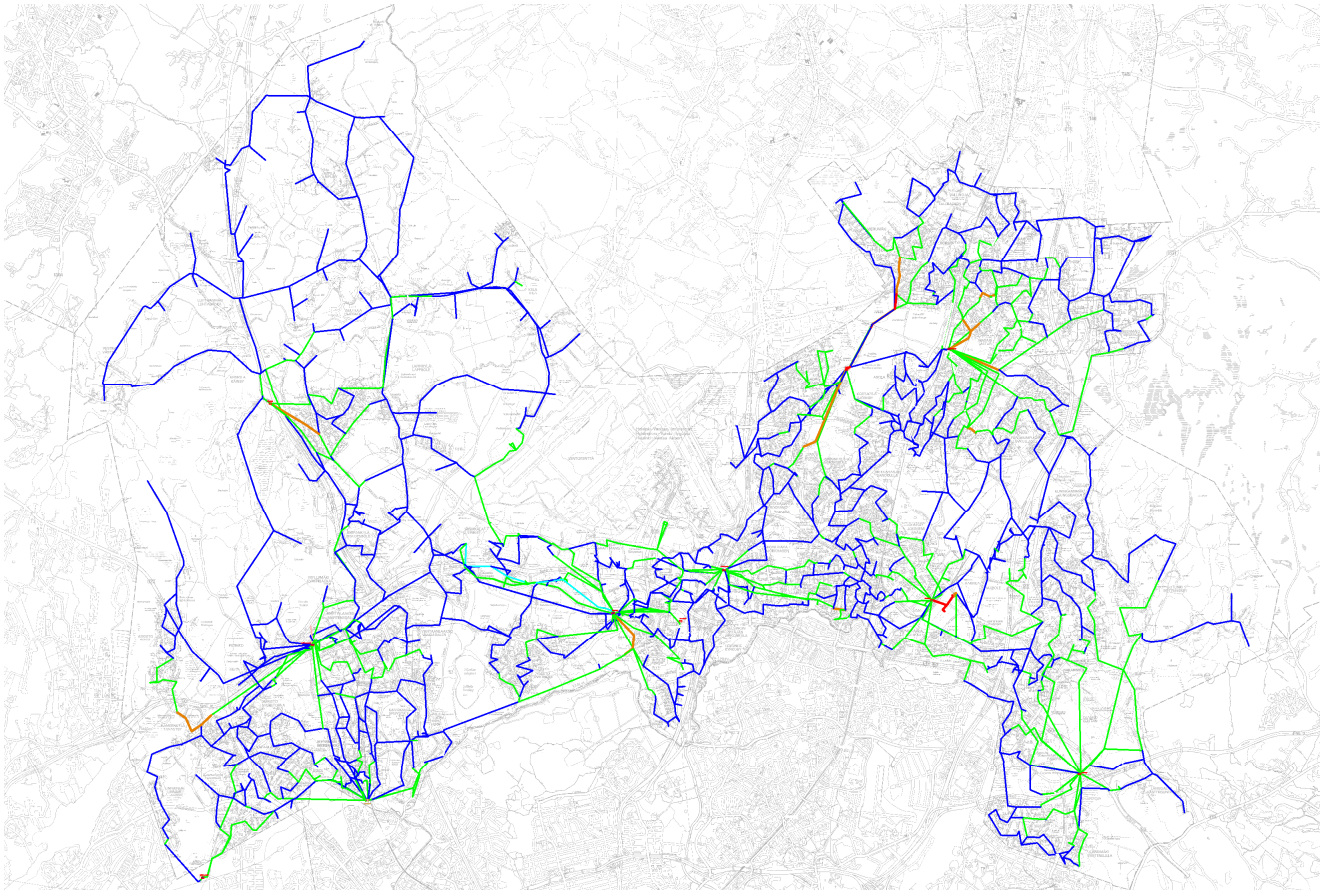
Taulukko 8. Päämuuntajien kuormitukset nykytilanteessa sekä tilanteissa, joissa sähköautojen kuormitukset on mallinnettu nykyverkon päälle vapaan- ja yölatauksen mukaan 40 % penetraatiolla. * VES:n osuus asemasta.



Kuva 19. 20 kV keskijänniteverkon kuormitus tämän hetkisessä tilanteessa. 90 % laskentatodennäköisyys. Karttapohjat⁶



Kuva 20. 20 kV keskijänniteverkon kuormitus. Sähköautopenetraatio 40 % ja kaikille kohteille vapaankäyrän mukaan.



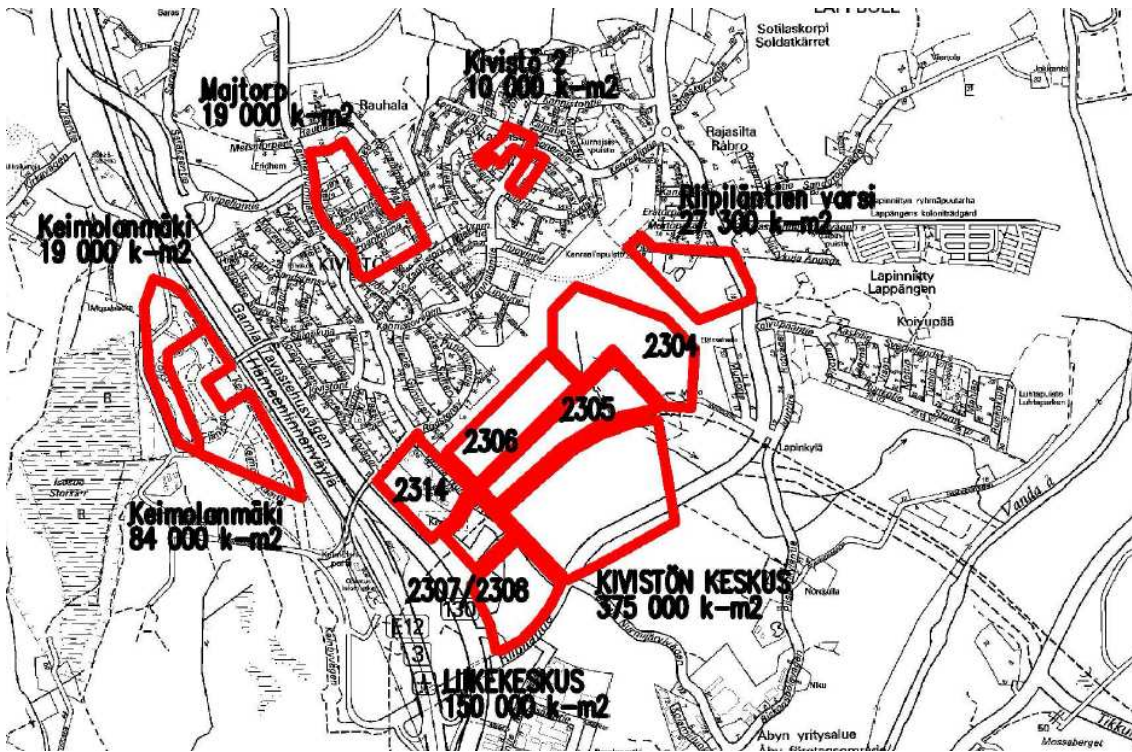
Kuva 21. 20 kV keskijänniteverkon kuormitus. Sähköautopenetraatio 40 %, kaikille kohteille yökäyrän mukaan.

— < 20 % — > 20 % — > 50 % — 80 % - 97 %

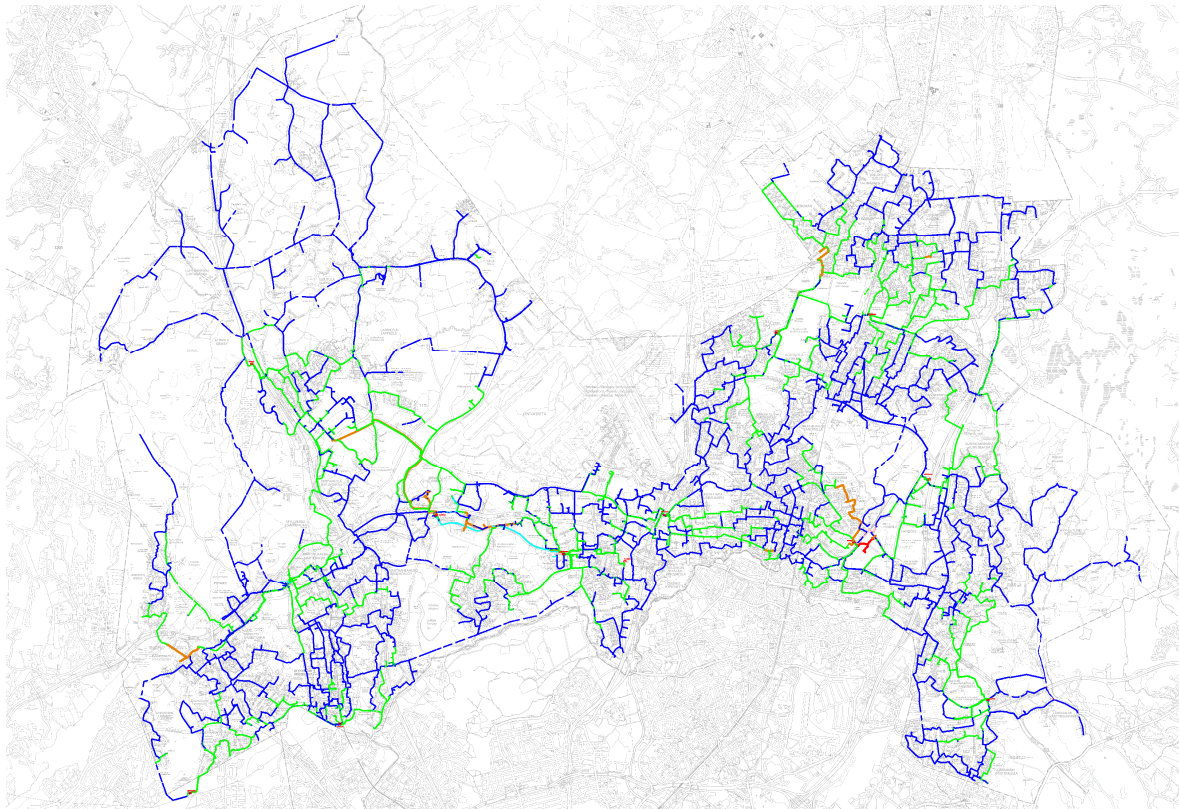
3.3.3 Tulevaisuuden verkolla laskeminen

Verkkotietojärjestelmässä on mallinnettuna myös tulevaisuuden yleissuunniteltu 20 kV verkkomalli. Mallissa on mm. kaksi uutta sähköasemaa ja näiden syöttämät keskijännitelähdöt. Malliin on myös yhdistetty tulevaisuuden kuormitusta kuvaavat tekijät alueellisesti kaupungilta saatujen rakennustietojen mukaan. Nämä ennusteet kattavat tilanteen vuoteen 2025 asti. Esimerkki kaupungilta saatavasta rakentamisennusteesta graafisessa muodossa löytyy kuvasta 22. Tämän mallin avulla on mahdollista laskea tulevaisuuden verkkomallin mukainen tilanne, jossa myös sähköautokuormitukset ovat huomioituna. Oletettava nykyautokantaan perustuva sähköautokuormitus siirrettiin tähän verkkomalliin kuormituksiksi. Tämän jälkeen malliin rakennetuille uusille muuntamoille asetettiin käsin sähköautokuormitusta kuvaavat kuormituskäyrät ja energiat. Lähtökohtana tässä arvioissa pidettiin sitä, että puolella kotitalouksista on uusissa kohteissa auto. Käsin lisättyä uutta sähköautokuormitusta oli n. 6000 auton verran. Kuten kuvista 23 ja 24 nähdään, ei kuormitus 20 kV verkon johdoilla nouse merkittävästi sähköautojen vaikutuksesta. Kuormitus sähköasemien päämuuntajilla sen sijaan nousee merkittävästi, kuten taulukosta 9

nähdään. Tästä voidaankin päätellä, että itse keskijänniteverkko ei tule muodostamaan ongelmia vaan päämuuntajakapasiteetin varaaminen on keskeisempi tehtävä. Tämä on eräs pitkántähtäimen ennustamisen ja yleissuunnittelun tehtäviä. Tämän laskelman pohjalta voidaan kuitenkin sanoa, että nykyisen yleissuunnitelman mukainen tilanne on jo nykyisellään valmis kohtuulliseen määrään sähköautoja.

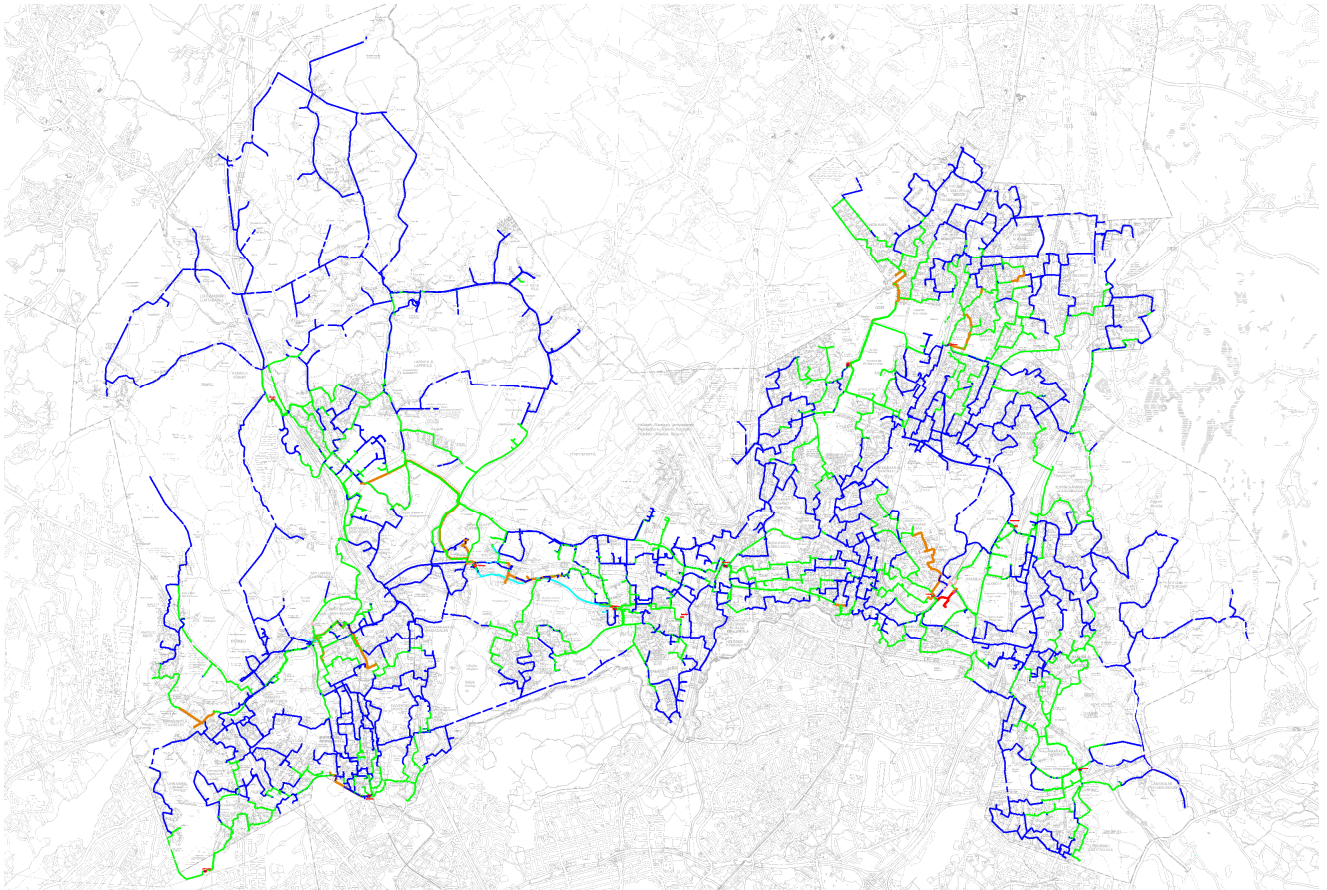


Kuva 22. Esimerkki kaupungin tekemästä rakentamisennusteesta vuoteen 2025. Tiedot on mallinnettu verkkotietojärjestelmään. Lähde 9.



Kuva 23. 20 kV keskijänniteverkon kuormitus yleissuunnitelman mukaisella verkolla vuonna 2025 (90 % laskotdnäk).

Modeling EV loads in electricity distribution network with NIS tools



Kuva 24. Yleissuunnitelman mukaisen 20 kV keskijänniteverkon kuormitus vuonna 2025 sähköautojen kanssa. Sähköautopenetraatio 40 % ja kaikille autoille mallinnettu vapaan käyrän mukaan.

| Sähköasema | Päämuuntaja | Huipputeho (MVA) | Huipputeho (MVA) vuonna 2025 sähköautot vapaalataus | Muutos |
|-----------------|---------------|------------------|---|----------------|
| HONKANUMMI | Suunnitteilla | Suunnitteilla | 23,8 (koko kuorma) | - |
| TUUPAKKA | Suunnitteilla | Suunnitteilla | 26,9 (koko kuorma) | - |
| Hakkila | PM1 | 18,4 | 19,9 | 8,60 % |
| Hakkila | PM2 | 23,6 | 25,4 | 7,50 % |
| Ilola | PM1 | 21,8 | 30,7 | 40,80 % |
| Ilola | PM2 | 15,3 | 21,7 | 41,50 % |
| Koivuhaka | PM1 | 25,4 | 29,9 | 17,70 % |
| Koivuhaka | PM2 | 19,4 | 23,5 | 21,30 % |
| Martinlaakso | PM1 | 19,7 | 30,5 | 55,20 % |
| Martinlaakso | PM2 | 25,8 | 29,3 | 13,50 % |
| Myyrmäki | PM1 | 16,8 | 19 | 13,00 % |
| Myyrmäki | PM2 | 15,7 | 21 | 34,00 % |
| Pakkala | PM1 | 28,3 | 36,6 | 29,30 % |
| Pakkala | PM2 | 29,3 | 31,9 | 9,10 % |
| Rekola | PM1 | 21,9 | 22,5 | 2,90 % |
| Rekola | PM2 | 29 | 28,3 | -2,20 % |
| Vaarala | PM1 | 17,5 | 18,5 | 5,60 % |
| Vaarala | PM2 | 21,2 | 22,1 | 4,40 % |
| Keimola | PM1 | 16,2 | 20,9 | 29,60 % |
| Leppävaara * | PM1 | 8,7 | 13,7 | 56,90 % |
| Yhteensä | | 374 | 496,1 | 32,65 % |

Taulukko 9. Päämuuntajien kuormitus tällä hetkellä ja vuoden 2025 tilanteessa sähköautojen vaikutuksen kanssa. * VES:n osuus asemasta.

Taulukon 9 pohjalta nähdään, että kuormitus tasoittuu uusien sähköasemien myötä jo olemassa olevilla asemilla. Jossain kuormitus jopa laskee. Suurella osalla asemista tapahtuu kuitenkin merkittävää kasvua, johon sähköautoilla on myös merkittävä vaikutus. Ilman uusia sähköasemia nousisivat kuormitukset useilla nykyisillä asemilla liian korkeiksi.

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Sähköautot nähdään merkittävänä sähkönkäyttöä lisäävänä tekijänä tulevaisuudessa ja näiden lataamisen aiheuttamaan kuormitukseen on myös sähkönjakeluverkoissa varauduttava. Tässä työssä on lähdetty liikkeelle analysoimalla autojen liikkumista ja näiden kautta syntyviä mahdollisia latausmalleja. Näistä päästään eteenpäin mallintamaan sähköautojen latauksen verkolle aiheuttamaa kuormitusta. Koska tulevaisuudessa erilaiset kysynnänjousto ja älykkäät ohjausmenetelmät tulevat varmasti kuvaan on tuloksiin suhtauduttava hyvin suuntaa antavasti. Työssä on kuitenkin pyritty laskemaan oletettuja pahimpia mahdollisia tilanteita. Tässä työssä saatujen tulosten mukaan VES:n sähköverkossa ei ole odotettavissa suuria ongelmia eikä merkittäviä investointipaineita sähköautojen yleistymisen myötä. Kaikki riippuu tietenkin autojen yleistymispenetraatiosta, mutta uusimpienkaan³ ennusteiden mukaan ennen vuotta 2030 ei VES:n jakeluverkkoalueella yli 30 % sähköautopenetraatiota tulla näkemään. Tämän suuruisen kuormituksen vastaanottaminen sähköasema- ja keskijänniteverkontasolla ei tule olemaan ongelma nykyisen investointisuunnitelman mukaan mentäessä. Hyvänä esimerkkinä tästä on luvussa 3.3.3 laskettu skenaario, jossa lähtökohtana on käytetty yleissuunnittelun mukaista vuoden 2025 verkko- ja kuormitustilannetta sähköautoilla lisättynä. Tilannetta tulee toki jatkuvasti seurata ja uusia ennusteita laatia kun tietoa sähköautojen yleistymisestä saadaan jatkossa entistä enemmän. Tässä selvityksessä tehdyissä laskelmissa esiin nousi kuitenkin se, että jonkin verran ongelmia tulee esiintymään pienjänniteverkon tietyissä osissa sekä osalla jakelumuuntajista ylikuormitus tilanteiden mahdollisuutena. Näiden tapausten selvitystä voidaan verkkotietojärjestelmässä jatkossa mallintaa ja raportoida tämän selvityksen tuloksina syntyneillä malleilla ja työkaluilla. Keskeistä myös tässä on tilanteen jatkuva seuranta ja tilanteen tasalla pysyminen. Jatkohankkeissa ja selvityksissä tullaan myös huomioimaan paremmin erityyppiset sähköautonlataustavat ja lasketaan uusia skenaarioita sekoittamalla niitä tämän tutkimuksen mallien kanssa.

5 Lähdeviitteet

1. Vantaan kaupunki, Jaana Calenius, Liikennesuunnitteluosasto (liikennevirtamittaukset)
2. Antti Rautiainen, Tampere University of Technology, Statistical charging load modelling of PHEVs in electricity distribution networks using National Travel Survey data
3. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, tietopalvelut (Vantaan automäärät)
4. Eero Saarijärvi, Aalto-TKK, SGEM 3.3.6-1: Gas station conversion to EV fast charging station ja SGEM 3.3.6-3: Shopping centers and park-and-ride facilities in Vantaa region
5. TEM 2009b. Sähköajoneuvot Suomessa – taustaselvitys. Biomeri Oy. 6.8.2009. Työ- ja elinkeinoministeriö Saatavilla: http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa_selvitys.pdf
6. Karttapohjat, Vantaan kaupunki mittausosasto
7. Trafi (AKE) 04/2006, Autokannan tulevaisuustutkimus. Tulevaisuuden autokantaan vaikuttavat tekijät ja skenaarioita vuoteen 2030
8. Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus 04-05, www.hlt.fi
9. Rakennusennuste, Vantaa kaupunki kaavoitusosasto