



Sähköautoilun kannan kasvun aiheuttama saneerauksen tarve Porvoon Energian pienjännitejakeluverkossa

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

Tekijän Tobias Lönnström

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Juha Haakana

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Tobias Lönnström

Sähköautoilun kannan kasvun aiheuttama saneerauksen tarve Porvoon Energian pienjännitejakeluverkossa

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

34 sivua, 7 kuvaa, 1 taulukko

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Juha Haakana

Avainsanat: Muuntopiiri, Sähköauto, Pienjänniteverkko, Saneeraus

Yksityisautoilun kasvihuonepäästöjen lisääntymisen seurauksena yrittävät autonvalmistajat tuoda markkinoille yhä enemmän pienempipäästöisiä malleja. Esimerkiksi erilaiset ladattavat sähköautot ovat yleistyneet viime aikoina voimakkaasti. Tämä herättää kysymyksiä pienjänniteverkon kestävyydestä vastata näiden uusien autojen vaatimaan tehontarpeeseen.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella pienjänniteverkon toimintaa, sähköautoilun eri muotoja sekä niiden lisääntymistä. Tarkoituksena on käsitellä keinoja, joilla pienjänniteverkko saadaan vastaamaan nykyajan tehontarpeita, jos verkkoa joudutaan saneeraamaan. Saneeraukset voivat olla verkkoyhtiöille kalliita ja pitkiä prosesseja. On siksi tärkeää, että saneeraukset ovat taloudellisesti mahdollisimman kannattavia ja pystyvät myös vastaamaan tulevaisuuden tehontarpeisiin.

Työn tavoitteiden käsittelyyn otetaan todellisuuteen perustuva tapaus Porvoon keskustan alueelta. Tapauksen muuntopiiriin T1 tilataan kaksi uutta sähköliittymää sähköautojen latauspisteitä varten. Muuntajassa ei ole tilaa uusille lähdöille. Tarkoituksena on tutkia miten muuntopiirin saneeraus kuuluisi standardit täyttäen ja taloudellisesti järkevästi tehdä.

Työn tuloksia voidaan käyttää pohjana seuraavia samankaltaisia saneerauksia ajatellen. Taloyhtiö, jotka haluavat tilata joko kokonaan uuden liittymän tai nostaa pääsulakkeitaan sähköautojen latauksen vuoksi on nousussa. Voidaan siis olettaa, että samanlaisia saneeraustapauksia kuin tässä työssä tutkittu muuntopiiriin T1 saneeraus, on tulossa jatkossa useita lisää. Tuloksista huomataan, että rajoittavana tekijänä sähkönlaadun varmentamisessa on liittymäjohdon poikkipinta-ala ja kaapelireitti. Rakentamalla tarpeeksi paksuja kaapeleita, jotka kestävät myös tulevaisuuden tehontarpeet ja reitittämällä ne järkevästi olemme hyvin varautuneita tulevaisuutta ajatellen.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical engineering

Tobias Lönnström

The need of restructuring in Porvoo Energias low-voltage network caused by the increase of electric cars

Bachelor's thesis

2022

34 pages, 7 figures, 1 table

Examiners: Associate Professor Juha Haakana

Keywords: Conversion circuit, electric car, distribution network, renovation.

As a result of the increase in greenhouse emissions from private driving, car manufacturers are trying to bring more and more models with lower emissions to the market. For example, various rechargeable electric cars have become very popular recently. This raises questions about the durability of the low-voltage grid to meet the power demand generated by these new cars.

The aim of this bachelor's thesis is to examine the operation of the low-voltage network, the different forms of electric vehicles and their increase. The purpose is to deal with ways to make the low-voltage grid meet today's power needs if the grid has to be renovated. Renovations can be expensive and long processes for network companies. It is therefore important that the renovations are as economically profitable as possible and are also able to meet the power needs of the future

An example case from the central area of Porvoo will be used to discuss the objectives of the work. Two new electrical connections for charging points for electric cars have been ordered. There is no room for new outputs in the transformer, so the purpose is to investigate how the renovation of the transformer circuit should be done while meeting the standards and making economic sense.

The results of the work can be used as a basis for future similar renovations. The number of housing associations that order a completely new one or want to upgrade their main fuses because of electric cars, is on the rise. It can therefore be assumed that there will be many more similar cases like in the example in the future. The results show that the cross-sectional area of the connection line and the cable route are the limiting factors in the verification of electricity quality. By building cables that are thick enough to withstand the power needs of the future and by routing them sensibly, we are well prepared for the future.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical engineering

Tobias Lönnström

Kraven på förändringar i Borgå Energis lågspänningsnät på grund av ökad mängd av elbilar

Bachelor's thesis

2022

34 pages, 7 figures, 1 table

Examiners: Associate Professor Juha Haakana

Nyckelord: Konverterings krets, elbil, distributionsnät, saneering.

Som ett resultat av de ökade utsläppen av växthusgaser från privat körning försöker biltillverkarna ge ut fler och fler modeller med lägre utsläpp till marknaden. Till exempel har olika laddningsbara elbilar blivit mycket vanliga på senaste tiden. Detta väcker frågor om hållbarheten för lågspänningsnätet angående den växande effektbehoven dessa bilar för med sig

Syftet med denna kandidatuppsats är att undersöka lågspänningsnätets funktion, de olika formerna av elbilar och deras ökning. Syftet är att undersöka med vilka medel det småskaliga nätet kan tillverkas för att möta dagens strömbehov, om nätet måste renoveras. Renoveringar kan vara dyra och långa processer för nätföretag. Därför är det viktigt att renoveringarna är ekonomiskt så lönsamma som möjligt och att de även kan möta framtida kraftbehov.

Ett fall från Borgå centrum kommer att användas för att diskutera syftet med arbetet. Två nya elanslutningar är beställda till omvandlingskretsen T1 i mening för laddningspunkter för elbilar. Det finns inte plats för nya utgångar i transformatorn. Syftet är att undersöka hur renoveringen av omvandlingskretsen bör ske i enlighet med standarderna och på ett ekonomiskt rimligt sätt.

Resultatet av arbetet kan användas som exempel för liknande framtida renoveringar. Husföretag som vill beställa antingen en helt ny anslutning, eller utöka sina huvudsäkringar för laddning av elbilar är på ökande. Det kan därför antas att det kommer att ske ytterligare flera liknande renoveringar av omvandlingskretsar som studerats i detta arbete i framtiden. Av resultaten kan man se att anslutningsledningens tvärsnittsarea och kabelvägen är de begränsande faktorerna av el kvaliteten. Genom att bygga kablar som är tillräckligt tjocka för att klara framtidens strömbehov och genom att dra dem förnuftigt är vi väl förberedda för framtiden.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	6
2	Porvoon Sähköverkko Oy.....	8
3	Sähkönjakelujärjestelmä ja sähköajoneuvot.....	9
3.1	Keskijänniteverkko	9
3.2	Pienjänniteverkko.....	10
3.3	Sähköautotyypit.....	12
3.3.1	Lataustavat	13
3.3.2	Yleistyminen.....	13
4	Suunnittelu.....	15
4.1	Kuormitusmallit	17
4.1.1	Huippu ja keskitehon laskenta	18
4.2	Kaapeleiden mitoitukset.....	19
4.2.1	Maadoitus.....	20
4.2.2	Putkitus	22
4.3	Jännitteenalenema	24
4.4	Oikosulkuvirta.....	26
4.5	Jakokaappi.....	29
5	Johtopäätökset	31
6	Lähteet	32

1 Johdanto

Monelle suomalaiselle henkilöauton omistaminen on työ- ja arkirutiinien hoitamisen kannalta välttämättömyys. Kallistuvat polttoainehinnat ohjaavat koko ajan enemmän yksityiskuluttajia ostamaan joko hybridi- tai täyssähköauton ja sähköautoilu yleistyykin Suomessa ennätysvauhtia. Esim. kauppojen, taloyhtiöiden ja kaupunkien edustajille tulee yhä useammin mietittäväksi erilaiset kysymykset sähköautoiluun ja sen lataukseen liittyen. Myös lainsäädäntöä on päivitetty siten, että uusissa kiinteistöissä ja korjausrakennuskohteissa tulee varautua sähköautojen latauspisteiden rakentamiseen.

Autokannan muutos vaikuttaa laajasti myös sähköverkkoihin, sillä sähköautojen latauksen verkkovaikutus kohdistuu lähes aina pienjänniteverkkoihin. Suur- ja keskijänniteverkot kestäisivät kapasiteetin kasvun paremmin, sillä niihin kytkeytyy useimmiten uusiutuvaa ja hajautettua sähköntuotantoa. Koska sähköverkkojen elinikä on pitkä, reilusti yli 40 vuotta, ei pienjänniteverkkojen suunnittelun ja toteutuksen aikana ole useinkaan ollut tietoa sähköautoilun lisääntymisestä eikä autojen latauksen vaatimasta tehon- ja energiatarpeen kasvusta. Pienjänniteverkon tehonsiirron ollessa eniten rajallinen matalan jännitetaso vuoksi, voidaan olettaa, että ongelmiin tulla törmäämään juuri pienjänniteverkoissa ensimmäiseksi.

Tämän työn tarkoituksen on tarkastella sähköautoilun eri muotoja ja niiden vaikutusta pienjänniteverkon kuormitukseen. Osana työtä myös saneerataan Porvoon keskustassa sijaitseva T1 muuntopiiri nykyajan standardien mukaiseksi. Tarkasteltavaan muuntopiiriin tehtiin Porvoon Sähköverkko Oy:lle samanaikaisesti kaksi uutta liittymätilausta, jotka on suunniteltu kahden eri taloyhtiön sähköautojen latausalustoja varten. Molemmat liittymät ovat pääsulakekoolta merkittävän isoja, 3x100A ja 3x125A. Tapauksesta tekee haastavan se, että itse muuntajassa ei ole uusille lähdöille enää tilaa. Joudutaan siis tekemään mittavia saneerauksia, ja samalla myös päivittämään vanhentuneet yli 50 vuotta vanhat liittymäkaapelit uusiin. Työssä myös tarkistellaan yleisesti lisääntyvän sähköautoilun ja sen aiheuttamaa tehontarpeen lisääntymistä pienjännitejakeluverkossa. Työssä käytettävä kuormituksen laskenta on yksinkertaistettu, ja eri käyttäjäryhmien huipputehon ajallista eroavaisuutta ei huomioida laskuissa.

Työssä pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Miten sähköautoilun kasvu on vaikuttanut pienjänniteverkon tehontarpeisiin?
- Mitä näkökulmia pitää ottaa huomioon pienjänniteverkkoa saneerattaessa, ja miten se tehdään taloudellisesti parhaiten myös tulevaisuutta ajatellen?
- Miten voi toimia, jos muuntopiiri ei ole kykenevä tehontarpeiden nousuun sähköautoilun vuoksi?

2 Porvoon Sähköverkko Oy

Porvoon sähköverkko Oy kuuluu Porvoon kaupungin 100 % omistamaan energiaa tuottavaan Porvoon Energia -konserniin. Konserni muodostuu emoyhtiöstä Porvoon Energia Oy;stä sekä tytäryhtiöistä Porvoon Sähköverkko Oy;stä ja Porvoon Kaukolämpö Oy;stä. Emoyhtiö vastaa yhtiöiden yhteisistä palveluista sekä asiakaspalvelusta. Porvoon Sähköverkko Oy vastaa verkko-omaisuuden hallinnasta, kehittämisestä sekä operoinnista, sähkönjakelusta Porvoon, Sipoon, ja Loviisan alueilla, sekä kaukolämmön jakelusta Porvoon alueella. Porvoon sähköverkon verkko alue on kuvattu kuvassa 1.



Kuva 1 Porvoon sähköverkon jakeluverkko alue

3 Sähkönjakelujärjestelmä ja sähköajoneuvot

Sähkönjakeluverkkoliiketoiminta on säädeltyä alueellista monopolitoimintaa. Suomessa toimii vajaat sata sähkönjakeluverkkoyhtiötä, joista suuri osa on kuntien omistamia osakeyhtiöitä. Näille kaikille on määrätty oma Energiamarkkinaviraston vahvistama jakelualue. Tämän alueen rajojen sisäpuolella kellään muulla verkkoyhtiöllä ei ole oikeutta rakentaa sähkönjakeluverkkoja, lukuun ottamatta yksittäisten käyttäjien liittymisjohtoja, joiden rakentamisen kilpailutukseen sähkön loppukuluttajalla on aina oikeus. (Lakervi & Partanen 2008, 19.)

Sähkönjakeluverkon teknisenä tehtävänä on siirtää voimalaitosten tuottama sähköenergia sähkön loppukäyttäjille. Tämä luonnollisesti halutaan tehdä mahdollisimman pienillä häviöillä. Sähkönjakelujärjestelmä oleellisemmat osat ovat (110 kV, 45 kV), sähköasemat (110/20 kV, 45/20 kV), keskijänniteverkko (20 kV), jakelumuuntajat (20/0,4 kV) sekä pienjänniteverkko (0,4 kV). Nämä jännitetasot ovat tavanomaisimmat Suomessa esiintyviä jännitetasoja. Poikkeuksia kuitenkin on. Esimerkiksi pienjännitejakeluverkossa on käytössä myös 1 kV:n verkkoa ja keskijänniteverkossa voi esiintyä joillakin alueilla esimerkiksi 10 kV:n verkkoa. (Lakervi & Partanen 2008, 11.)

Kun vertaillaan eri jännitetasoja sähkönjakeluverkossa, on monesti havaittavissa melko paljon yhtäläisyyksiä. Esimerkiksi sekä keskijännite- että pienjänniteverkkoja käytetään normaalisti säteittäisinä. Tämä tarkoittaa, että verkossa on vain yksi yhteinen syöttöpiste. Näissä tapauksissa syöttöpisteenä keskijänniteverkossa yleensä toimii 110/20 kV sähköasema ja pienjänniteverkossa 20/0,4 kV jakelumuuntamo. Koska molemmissa verkoissa löytyy huomattavasti yhtäläisyyksiä, käytetään molemmissa samankaltaisia mitoitus- ja suojausperiaatteita. (Lakervi & Partanen 2008, 158.)

3.1 Keskijänniteverkko

Suomessa keskijännitejakeluverkon jännitetaso on tavanomaisesti 20 kV, mutta joissakin kaupungeissa on käytössä myös 10 kV:n jännitetasoa. Suomessa keskijänniteverkko on joko maasta erotettu tai ”sammutettu” sammutuskuristimen avulla. Keskijänniteverkon lähdöt tulevat suoraan sähköasemilta. Suojatakseen keskijännitelähtöjä käytetään katkaisijaa, joka sisältää ylivirtareleen, maasulkureleen sekä jälleenkytkentäreleen. Keskijänniteverkkoa

rakennetaan yleisesti silmukoiksi, mutta säteitten käyttö on silti tavallista. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

Keskijänniteverkolla on iso osa verkon käyttövarmuudessa. Sähkökäyttäjien kokemista keskeytyksistä yli 90 % aiheutuu keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. Normaalin sähkönjakelutoiminnan lisäksi keskijänniteverkolla on merkittävä rooli pahoissa 110 kV johtojen ja sähköasemien vikatilanteissa, sillä niissä tapauksissa keskijänniteverkkoa voidaan käyttää varayhteysvaihtoehtona. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

Maaseudun keskijänniteverkostot rakennetaan yleisesti avojohtoina maakaapeloinnin sijaan. Nyrkkisääntönä on, että kaapelit asennetaan sinne missä kuormitusta on. Tämä tarkoittaa, että mahdollisille varayhteysille ei ole oikein tarvetta, eikä tämä ole myöskään taloudellisesti kannattavaa. Tällä tarkoitetaan tapauksia jossa verkon haara palvelee vain yhtä sähkökäyttäjää. Johtojen kuormitusasteet ja muut standartit tarkastellaan aina tapauskohtaisesti. Taajamissa painopiste on enemmän verkkotopologiassa ja suunnitteluohjeistoissa. On olennaista pohtia tarkoin kaapeliverkon muotoa, maksimikuormitusasteita ja sähköasemien sekä lähtöjen korvattavuuskysymyksiä. Mahdollisissa vikatilanteissa voidaan vioittunut piiri kytke irti, ja näin ehjän loppukäyttäjille ei tästä aiheudu sähkökatkoa. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

3.2 Pienjänniteverkko

Suomessa yleisin pienjänniteverkossa esiintyvä pääjännite on 400 V. Tätä käytetään yhdessä 20/0,4 kV:n jakelumuuntajien kanssa. (Lakervi & Partanen 2008, 157). Tämän pienjännitejakelujärjestelmän lisäksi Suomessa paikoitellen on kehitetty 1000 V:n pienjännitettä hyväksikäyttävä sähkönjakelujärjestelmä. Kun 1000 V:n jännitetasoa hyödyntämällä pystytään pienitehoiset ja vika-alttiit keskijännitejohtohaarat muuttamaan kustannustehokkaasti pienjännitteellä toimiviksi. Tämä tehokkaasti pienentää mahdollisten vikojen määrää sekä vaikutusalueetta, sillä 1000 V:n jännitetasolla rakennettu johtohaara muodostaa oman suojausalueensa. Tällöin vaurioituessaan se ei vaikuta muihin saman keskijännitesyöttöalueen takana oleviin asiakkaisiin. 1000 V:n järjestelmä on myös huoltomahdollisuuksiltaan ja huoltovarmuudeltaan keskijänniteverkkoa parempi ratkaisu. Tämä johtuu siitä, että voidaan hyödyntää AMKA kaapeleita. (Lakervi & Partanen 2008, 168.)

Pienjännitejakeluverkon vikavirta- ja ylikuormitussuojaus hoidetaan jakelumuuntamalla. Suomessa jokainen jakelumuuntamon johtolähtö on varustettu sulakealustalla ja sinne laitettavilla sulakkeilla. Jos muuntopiiriä joudutaan saneeraamaan, johtuu tämä tavanomaisesti liian suuresta jännitteenalenemasta pienjänniteverkossa tai vaihtoehtoisesti liian pienestä vikavirrasta verrattaessa lähdön sulakekokoon. Tämä tarkoittaa, että mahdollisessa vikatilanteessa ei automaattinen poiskytkentä toimi säädösten mukaisesti. Vaihtoehtoinen tapa jakelumuuntamoiden saneeraamiselle on pienjännitejohtojen vaihtaminen poikkipinnaltaan isompiin. (Lakervi & Partanen 2008, 157.)

Jakelumuuntamoiden osiin kuuluu keskijännitekisko, vähintään yksi jakelumuuntaja, pienjännitelähdöt sekä mahdollisesti apujännitejärjestelmästä. Se millaista muuntamoä käytetään, määräytyy yleisesti verkkorakenteen sekä seudun mukaan. Tällä tarkoitetaan mitä kaapelityyppiä alueella on käytössä, ja jos alue on haja-asutus tai taajama aluetta. Maaseutujen haja-asutusalueilla on pylväsmuuntamot tavallisimpia. Pylväsmuuntamoissa keskijännitejohto kytkeytyy normaalisti muuntajan ensiöliittimiin erottimen välityksellä. Tämä tarkoittaa, että perinteisestä keskijännitekiskosta ei voida puhua. Pylväsmuuntamot soveltuvat pienille tehoille, enintään 315 kVA:n muuntajille, mutta tavallisesti ne ovat 50 ja 100 kVA luokkaa. Taajamaverkoissa puisto- ja kiinteistömuuntamot ovat varsin yleisiä. Jakelumuuntamo toimii taajamaverkoissa osana keskijännitekaapelirengasta. Jokaisessa pienjännite lähdössä on oma katkaisija tai tehoerotin. Tällaisten muuntajien nimellistehot ovat usein 1000 kVA:n luokkaa.

Kolmantena tyyppinä voidaan myös käyttää ”satelliittimuuntamoja”. Nämä ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja niitä käytetään yleisesti pelkästään maakaapeliverkoissa. Satelliittimuuntajien keskijänniteliitos toteutetaan helppokäyttöisillä elbow-liittimillä ja niiden kytkinlaitteet ovat haara-syötettyjä suuremmilta muuntamoilta. Tällaiset muuntamot sopivat erinomaisesti esimerkiksi tilanteisiin, joissa taajama-alueen tehonsyöttötarve kasvaa. Lisäksi niiden käyttö on koko ajan yleistymässä maaseudun maakaapelialueilla. Satelliittimuuntamoiden muuntajat ovat usein nimellisteholtaan 300 kVA:n luokkaa. (Lakervi & Partanen 2008, 157–158.)

3.3 Sähköautotyypit

Sähköautot jakautuvat tyypillisesti kahteen kategoriaan. Täyssähkö ja hybridautot. Hybridautossa voidaan käyttää voimalähteenä myös polttomoottoria. Täyssähkö malleissa on useimmiten isompi akku, sillä niillä ei ole muita voimalähteitä. Tämän takia niiden akut ovat myös hybridautoja teholtaan suurempia. Tyypillisen sähköauton akun teho on tyypillisesti 40–60 kWh. Tällöin matkaa voi ajaa noin 300–450 kilometriä. (Motiva 2022)

Akkutyypinä tyypillisin sähköautoissa on litium– akut. Sen toimintaperiaate perustuu elektronien kierrättäminen luomalla potentiaaliero kahden elektrodin välillä, joista toinen on negatiivinen ja toinen positiivinen, ja jotka on upotettu johtavaan ioniseen nesteeseen. Nestettä kutsutaan elektrolyytiksi. Kun akku antaa virtaa laitteeseen, negatiiviseen elektrodiin kertyneet elektronit vapautetaan ulkoisen piirin kautta positiiviselle elektrodille. Kun akku latautuu, laturin syöttämä energia lähettää elektronit takaisin positiiviselta elektrodilta negatiiviseen (Jarkko Nevalainen 2015 s5)

Hybridautossa on käytössä kaksi voimalähdettä. Toinen on perinteinen polttomoottori, joka käyttää polttoaineena bensiiniä tai dieseliä. Toinen on auton oma avustava sähkömoottori. Hybridautoissa on akusto, mikä mahdollistaa lyhyiden matkojen ajamisen. Akusto latautuu ajettaessa itsestään esimerkiksi moottorijarrutuksessa. (Motiva 2020a.)

Ladattava hybridi vastaa muutoin normaalia hybridautoa, mutta siihen on asennettu suurempi akusto. Akustoa voi myös ulkoisesti ladata jakeluverkosta. Tämä tarkoittaa, että ladattavan hybridin toimintaetäisyys sähköllä on huomattavasti suurempi. (Motiva 2020b.)

Täyssähköautossa ei ole muuta voimalähdettä kuin sähkömoottori. Se toimii täysin omalla ladattavalla akustolla. Täyssähköauto toimii myös hybridin lailla, kun se lataa omia akkujaan ajossa esim. moottorijarrutuksessa. Suurimpina etuina sähköautossa voidaan pitää sen hiljaisuutta ajossa sekä paikallista päästöttömyyttä. Autotyypin heikkoutena sen sijaan pidetään yleisesti sen kallista hankintahintaa sekä latausasemien vähäisyyttä. (Motiva 2020c.)

3.3.1 Lataustavat

Jotta sähköautoja ladataan turvallisesti, on siinä noudatettava SFS 6000 standardien perusvaatimuksia. Tämä pitää ottaa huomioon sähköautolatauspisteiden sähköverkkosuunnittelussa. Standardissa on määrätty sähköajoneuvoille tietyt latausmenetelmät sekä vaatimukset. (Motiva 2021.)

Lataustapa 1 tapahtuu autonlataukseen tarkoitettua latausjärjestelmästä, mikä sisältää latauksen valvonnan sekä tunnistuksen. Latauksen huipputeho voi olla 24 kW, ja latausteho säättää auton oma laturi, mikä kuuluu auton varusteluun. Tämä ottaa siten huomioon myös latauspisteen mahdollisen tehorajoituksen. (Motiva 2021.)

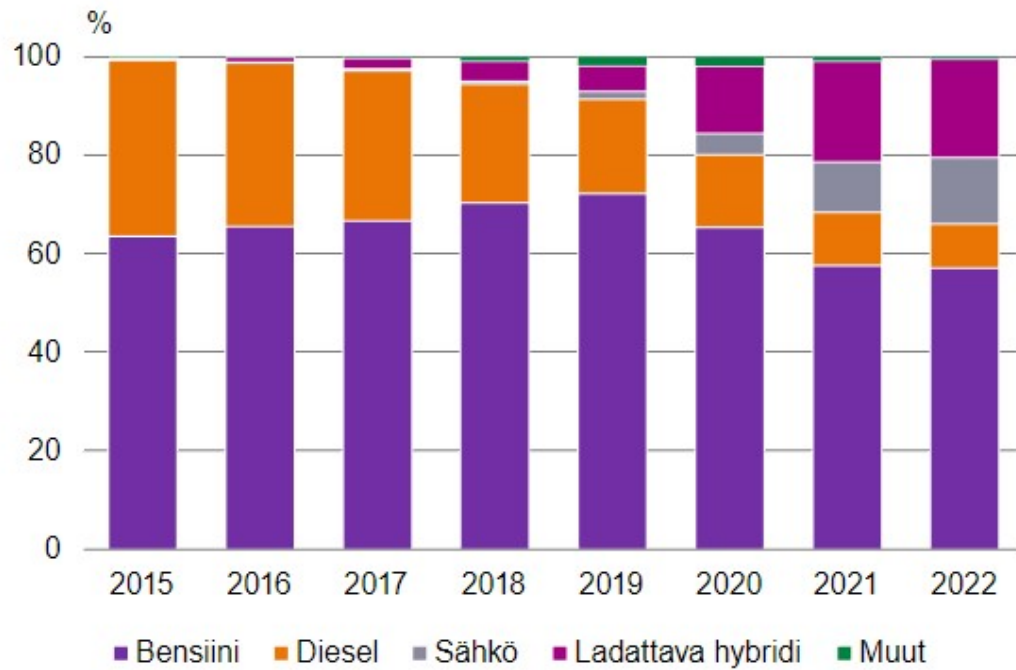
Lataustapa 2 tarkoittaa tilapäistä kotitalouspistorasiasta tapahtuvaa latausta. Tällöin käytetään laturina kotitalouspistorasiaan sopivaa latausjohtoa. Johdossa on ohjauslaite mikä rajoittaa latauksen 6–10 ampeeriin. Lataustapaa ei kuitenkaan suositella pitkäaikaiskäyttöön. (Motiva 2021.)

Lataustavan 3 tarkoittaa pika tai teho latausta. Tällöin sähköauto ladataan lukopuolisesta tasasähkölaturista. Tyypillistä on että latausjohto on kiinteästi liitetty kiinni latauspisteeseen, eikä sitä voi irrottaa. Mikäli sähköauto soveltuu pikalataukseen, on siinä siihen sopiva erillinen liitin. Tämä mahdollistaa akun lataamisen 80€ varausasteeseen noin 15-30 minuutissa. Latausvirrat voivat olla satoja Ampeereja, ja latausteho voi nousta jopa 350 kW tehoihin. (Motiva 2021.)

3.3.2 Yleistyminen

Suomessa liikennekäytössä olevien sähköautojen ensirekisteröintien määrä on kasvanut vauhdilla vuoden 2015 jälkeen. Vuoden 2016 alussa niitä oli 844 kappaletta, vuoden 2017 alussa 1449 kappaletta. Vuonna 2020 rekisteröitiin sähkökäyttöisiä henkilöautoja 4 245 kappaletta, mikä on lähes 124 % enemmän kuin edellisellä vuonna. Vuoden 2021 lopussa lukumäärä oli jo yli 77 000. (Autoalan tiedotuskeskus, 2022.) Ennusteen mukaan sähköautojen määrä kasvaa vuoteen 2030 mennessä 700 000 autoon. Syyskuun 2022 lopussa liikenteessä oli 137 664 sähkökäyttöistä henkilöautoa, joista 39 074 oli täyssähköautoja ja 98 590 ladattavia hybridejä. (Liikennefatka, 2022.) Sähköautojen kehitys on esitetty kuvassa 2, missä

huomataan, että ladattavien hybridien ja sähköautojen määrä kaikista ensirekisteröidyistä henkilöautoista vuonna 2022 oli jo noin 30%. (Liikenne- ja viestintäministeriön, 2021.)



Kuva 2. Käyttövoimien osuus ensirekisteröidyistä henkilöautoista vuodesta 2015–2022 (Tilastokeskus 2022)

4 Suunnittelu

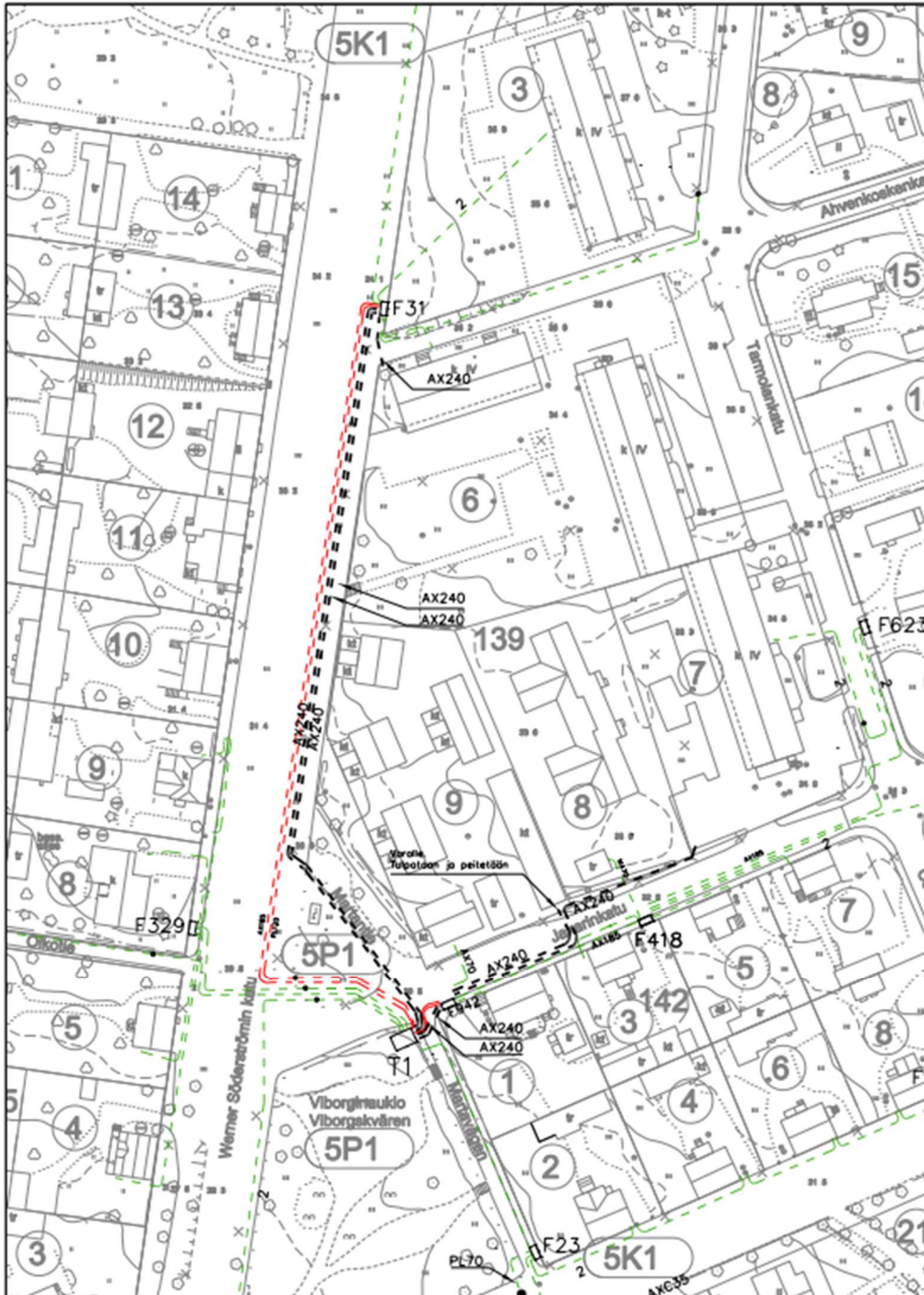
Tässä työssä tarkastellaan Porvoon keskustan alueella sijaitsevaa T1 muuntopiiriä ja kahden sähköautojen latausta varten tehdyn uuden liittymätilauksen vaikutusta muuntopiirin kuormittumiseen. Uudet liittymät ovat Werner Söderströmin kadun liittymä ja Jakarinkadun liittymä.

Ongelmaksi selviää heti alussa, että T1 muuntopiirin muuntajassa ei ole tilaa uusille lähdöille. Eli suoraan kaapeleiden kaivaminen uusiin liittymiin ei onnistu, vaan joko lähtöjä on saatava vapaaksi muuntajasta, tai kokonaan uusi puistomuuntaja pitää rakentaa. Tällä hetkellä uusien muuntajien tilausaika on noin vuoden. Lisäksi Porvoon sähköverkon ei ole kannattavaa investoida kokonaan uuteen muuntajaan vain kahden liittymän takia. Toki tämä parantaisi yleistä sähkön laatua kohteessa ja palvelisi muitakin käyttäjiä, mutta sähkön laatu on jo ennestään hyvällä tasolla. Jäljelle jää siis olemassa olevan muuntopiirin saneeraus.

Tavallisuudesta poiketen on kahden kiinteistön liittymäkaapelit kytketty suoraan T1 muuntopiirin muuntajan pienjännitelähdöistä, eikä tonttien rajalla yleensä sijaitsevasta jakokaapista. Rakentamalla muuntopiiriin T1 uusi jakokaappi, saadaan 2 lähtöä vapaaksi muuntajalta. Näistä kahdesta vapaasta lähdöstä voidaan vetää uudet syöttökaapelit uudelle jakokaapille. Kun jakokaapille tehdään syöttö kohdella paksulla kaapelilla, on jakokaappi hyvin varustettu vastaamaan tulevaisuuden tehontarpeen lisääntymistä, esimerkiksi juuri uusia autonlatauspisteitä ajatellen.

Kun tarkastellaan toisen uuden, Werner Söderströmin kadun liittymän kaapelointia, huomataan myös ongelmia. Tällä hetkelle jakokaapille F31 menee muuntamolta T1 kaksi erityyppistä kaapelia, yksi AX185 ja toinen on PL120. Numerot kirjainten perässä kuvaavat kaapeleiden poikkipintaa. Tämä tarkoittaa, että jakokaappin syöttö on tällä hetkellä epäsymmetrinen. Epäsymmetrisellä kuormalla tarkoitetaan, että syöttökaapelit eivät jaa kuormaa tasaisesti, vaan toinen syöttää enemmän tehoa kuin toinen. Tällä on negatiivinen vaikutus sähkölaatuun, ja esimerkiksi tietokoneet voivat tästä häiriintyä. Virheen korjaamiseksi molemmat kaapelit korvataan uusilla AX240 maakaapeleilla. Tällöin myös niiden pituus on sama. Tämä edistää symmetristä kuormaa ja parantaa sähkönlaatua. PL120 on vanha kaapelityyppi, joka ei vastaa enää nykypäivän turvallisuusvaatimuksia. Eristeenä kaapelille käytetään paperiseosta, joka ei ole paloturvallinen. Pienjännitysverkon saneeraustyö on esitetty

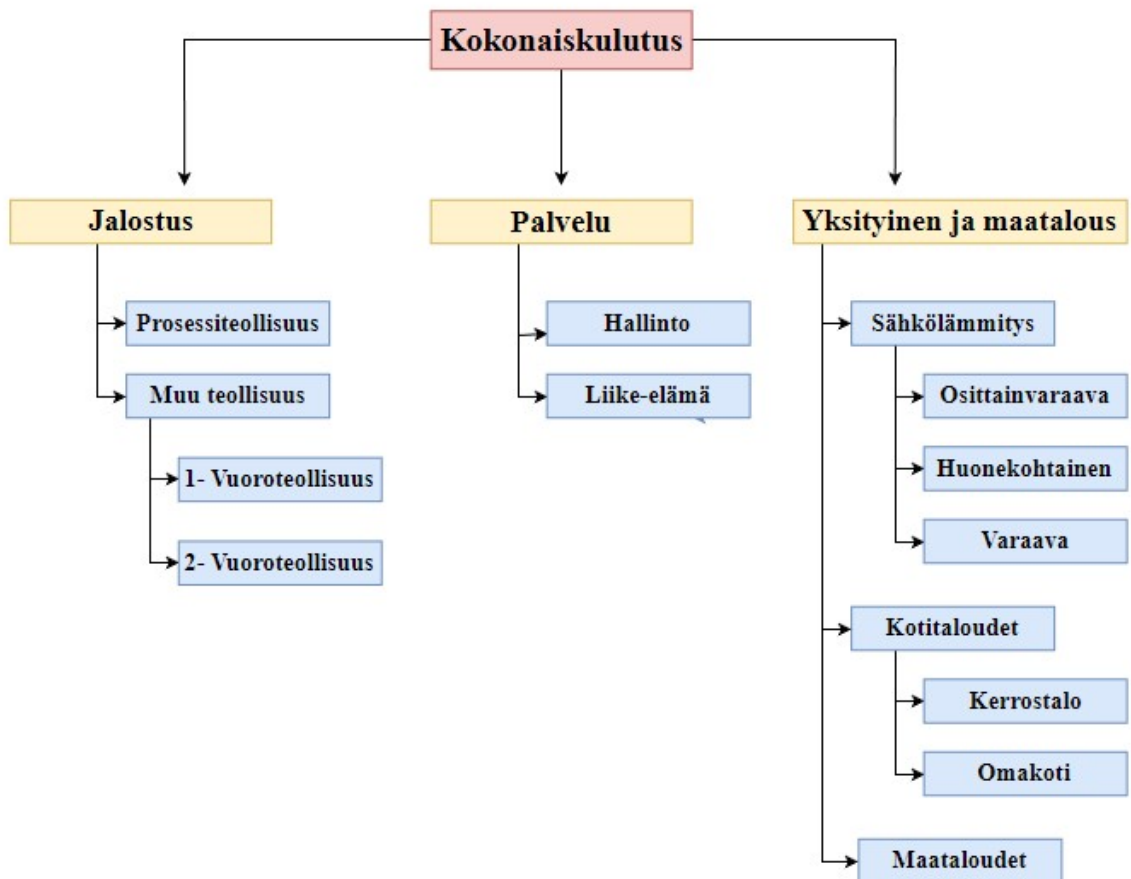
kuvassa 3, missä musta väri kuvaa uutta verkkoa, punainen purettavaa pienjännite verkkoa ja vihreä olemassa olevaa verkkoa.



Kuva 3. Suunnittelun karttakuva (Porvoon Sähköverkko Oy, Maanmittauslaitos maastokartta)

4.1 Kuormitusmallit

Jotta sähkön kokonaiskäyttöä voidaan tarkastella tarkemmin, jaetaan se lukuisien pienien käyttäjäryhmien sijasta kolmeen laajempaan kuormitusmalliin kuvan 4 mukaisesti. Nämä mallit puolestaan jakautuvat omiin alaryhmiinsä, jotka muodostavat kyseisen osa-alueen kokonaiskulutuksen. Tarkoituksena on jakaa ryhmät sellaisiin malleihin ja jaostoihin, joiden kulutus voidaan olettaa riittävällä tarkkuudella yhtenäiseksi. Tämä helpottaa sähkösuunnittelijan työtä, jos halutaan määrittää kuormitusmalli jollekin tietylle ryhmälle, esimerkiksi omakotitaloille. (Lakervi & Partanen 2008, 55)



Kuva 4 Kokonaiskulutus, (Lakervi & Partanen 2008, 55)

4.1.1 Huippu ja keskitehon laskenta

Jos halutaan sähköliittymän sähkönkulutus tietyssä ajankohtana, voidaan laskea suhteellisen 2-viikko ja tunti-indeksisarjojen avulla yhtälöllä;

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8760} \cdot \frac{Q_n}{100} \cdot \frac{q_{ri}}{100}, \quad (4.1)$$

missä;

P_{ri} = Käyttäjryhmä

E_r = Vuosienergia

Q_n = 2 viikon vastaava indeksi

q_{ri} = Ajankohtaa vastaava tunti indeksi

Keskiteho kuvaa suuren käyttäjäryhmän keskimääräistä sähkönkäyttöä tietyssä ajankohtana. Kaava ei sovellu yksittäisten kuluttajien laskemiseen. Voi olla hetkellisesti suurempi tai pienempi kulutus kuin keskimääräinen teho omassa kulutusryhmässä on. Tämän takia keskitehosta saatavaa arvoa ei voida käyttää sähkönkäyttäjän huipputehona. Huipputeho on kuitenkin tärkeä arvo, sillä se on tärkeä tekijä verkoston mitoituksen kannalta. Jos huipputeho voidaan arvioida tai laskea oikein, osataan siten valita oikean paksuinen liittymäkaapeli vastaamaan tehontarvetta. Arvioitu huipputeho voidaan laskea yhtälöllä;

$$P_{max} = n \cdot \bar{P} + z_a \cdot \sqrt{n} \cdot \sigma, \quad (4.2)$$

missä;

n = Usean samantyyppisen sähkönkäyttäjän huipputeho

\bar{P} = Käyttäjryhmän keskiteho

z_a = Huipputehoa laskettaessa käytettävä vakio

σ = Sähkön johtavuus

Pitää kuitenkin huomata, että erityyppisten sähkönkäyttäjien kulutukset ja tehontarpeet eivät aina tapahdu samaan aikaan, vaan voivat ”risteillä” keskenään. Tämä tarkoittaa, että ryhmien summakuormitus on pienempi kuin yksittäisten kohteiden huipputehojen summa. Esimerkiksi kotitalousasiakkaan huipputehon on 15 kW illalla saunomisaikaan, ja sähkölämmitysasiakkaan 12 kW yöllä, kun vesivaraaja on päällä. Huipputeho ei siis ole molempien summa eli 27 kW, vaan yhtälöä käyttäen noin 24 kW. (Lakervi&Partanen2008, 55)

4.2 Kaapeleiden mitoitukset

Kaapelin kuormitettavuuteen liittyvät vaatimukset määritellään standardin SFS 6000 luvussa 523. Kuormituessaan johdin lämpenee siinä kulkevan virran takia. Tämä lämpiäminen puolestaan aiheuttaa tehohäviöitä kaapelissa. Jotta johdinta voidaan käyttää turvallisesti, on sille määrittävä suurin jatkuva kuormituksen virta. Tällöin johdin ei kuumene liika ja esimerkiksi vauriota omia eristeitään.. (Tiainen 2010, 43)

Mahdollisen ylikuormittumisen estämiseksi on sulakesuojaus suunniteltava niin, että kaapelit eivät vikatilanteessa vaurioidu. Kaapelin AXMK 240 suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta on 22,6kA ($70^{\circ}\text{C} > 250^{\circ}\text{C}$). (Johtimet jakaapeliluettelo 2010).

Tarkastellaan ensin uuden jakokaapin tapausta. Porvoon Sähköverkon käytössä olevien atk-ohjelmien avulla saadaan selville kiinteistöjen pääsulakkeet, ja näin ollen myös niiden nimellistehot. Laskemalla ne yhteen saadaan jakelupiirin tämänhetkinen huipputeho. Jakokaappi F942 tulee näillä näkymin palvelemaan neljää kiinteistöä, sekä toimimaan jakokaapin F418 syöttönä. Kiinteistöiden pääsulakkeet ovat 3x16A, 3x120A, 3x63A. Lisäksi huomioidaan kohdassa 4 kerrottu mahdollinen kolmas autonlatausasema osoitteessa Jakarinkatu 8, jonne myös putkitus tehdään valmiiksi. Oletetaan tämän pääsulakkeiksi 3x100A. Laskemalla tehon yhtälön $P=UI$ mukaan saadaan tehot selville. Näin nimellistehot eri kiinteistöille ovat:

$$(16\text{A} * 3) * 230\text{V} = 11,52 \text{ kW}$$

$$(120\text{A} * 3) * 230\text{V} = 82,80 \text{ kW}$$

$$(63\text{A} * 3) * 230\text{V} = 43,47 \text{ kW}$$

$$(100\text{A} * 3) * 230\text{V} = 69,00 \text{ kW}$$

Yhteinen maksimaalinen tehontarve on siis 206,76 kW

Kaapeliluettelo tarkisteltaessa huomataan, että AX240 kuormitettavuus jatkuvalla virransyötöllä on 409A. Voidaan siis todeta, että tupla syöttö kahdella paksulla AX240 kaapelilla riittää hyvin tehontarpeeseen. Varautumalla jo nyt tulevaisuuden mahdollisiin tehontarpeiden nousuun säästetään huomattavia summia rahaa. Verkkoyhtiön näkökulmasta muutaman sadan euron säästö siinä, että nyt asennettaisiin poikkipinta-alaltaan pienin mahdollinen kaapelityyppi ei ole sen arvoista, jos parin vuoden kuluttua urakka pitää tehdä uudestaan.

4.2.1 Maadoitus

Suomessa on yleisesti käytössä 100/20/0,4 KV:n jakelujärjestelmä, jossa 20 KV:n verkko on tähtipisteessä maasta erotettu. Tässä työssä tarkastellussa T1 muuntopiirin tapauksessa uusiin jakokaappeihin asentaa maadoitusjohdot. Maadoitusjohto on pienjänniteverkossa CU-16 mm² kuparikaapelia, joka kytketään yhteen jokaiseen jakokaappiin niihin varattuun PEN liittimeen. Muuntamoilla kuparijohtimet asennetaan muuntamon MEB-kiskoon. Maadoitus yhdistetään vanhaan maadoitusverkkoon siihen tarkoitetuilla liittimillä.

Maadoituksen tehtävänä on pitää kosketusjännitteet standardien sisällä ja mahdollisessa vikatilanteessa, missä jännitteinen johdin kytkeytyy maahan, johtaa vikavirta turvallisesti, jotta ei tapahdu henkilö- tai eläinvahinkoja. (Perämäki 2021, 15)

T1 muuntopiirin tapauksessa kuparikaapeli asennetaan samaan ojaan liittymäkaapeleiden kanssa. Kaapelireitit on näytetty kuvassa 5. Punainen nuoli näyttää Werner Söderströmin jakokaapille menevää maadoitusta, ja musta nuoli Jakarinkadun uudelle jakokaapille menevää.



Kuva 5 Maadoituskartta uusien maadoitusjohtojen asennukseen (Porvoon Sähköverkko Oy, Maanmittauslaitos maastokartta)

4.2.2 Putkitus

Sähköjohtojen suojaamiseksi ne asennetaan yleensä taajama alueilla suojaputkeen. Myös tien alituskaapelit on standardien mukaan laitettava suojaputkeen. Sähkölinjan suojaputki on väriltään aina keltainen. Tämä suojaa kaapeleita maanpäälliseltä kuormalta kuten liikenteeltä ja mahdollisilta maanrakennustöiden aiheuttamilta vahingoilta ja rasiuksilta. Kaapelin suojaamiseen käytettävät suojukset jaetaan standardi SFS5608 mukaan kolmeen eri luokkaan: (Virkajärvi. 2020 s19)

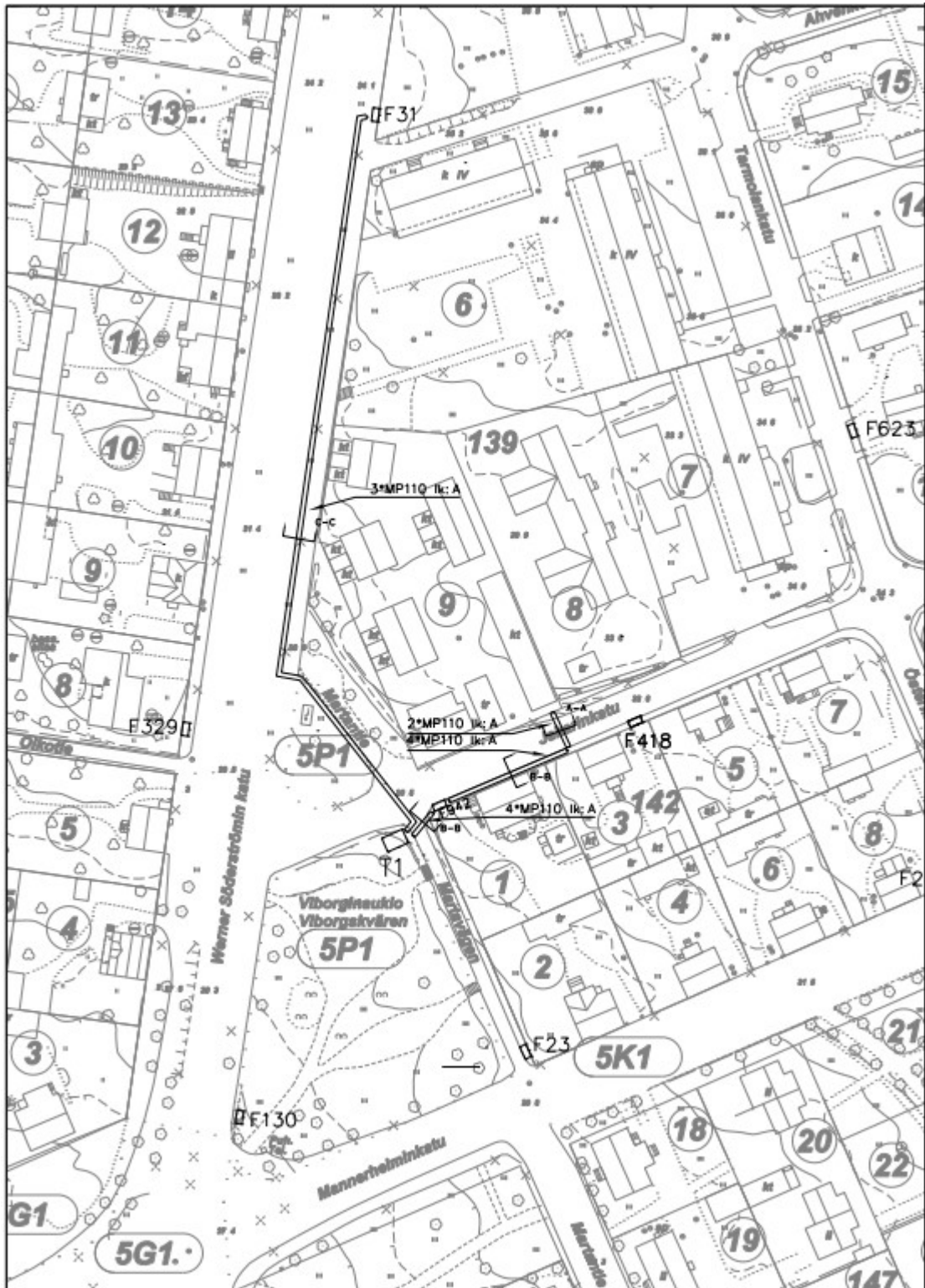
A = raskas käyttö (liikennöidyt alueet) rengasjäykkyys $\geq 16 \frac{kN}{m^2}$

B = keskiraskas käyttö (kevyen liikenteen alueet) rengasjäykkyys $\geq 8 \frac{kN}{m^2}$

C = kevyt käyttö (alueet, joissa ei liikennettä) rengasjäykkyys $\geq 4 \frac{kN}{m^2}$

Tässä työssä tarkasteltavana olevassa T1 muuntopiirin tapauksessa uudet maakaapelit asennetaan suojaputkeen. Kaivantosyvyys on standardien mukaisesti 40 cm. Jokaiselle kaapelille käytetään samantyyppistä suojaputkea MP110 IK. Tämä vastaa B kohdan putkea kestävyydeltään ja soveltuu molemmille jakokaapeille kaivettavaksi.

Koska tilattuja uusia liittymiä varten joudutaan kadulle kaivamaan kaapelikaivanto ja naapuri talonyhtiö on myös kysellyt hintoja uudelle liittymälle juuri autojen latauspistettä varten, niin suunnitellaan heillekin jo valmiiksi suojaputki samaan kaivantoon. Varmuutta ei ole, jos he liittymää tulevat lähitulevaisuudessa tilaamaan, mutta tällä tavoin Porvoon Sähköverkko on parhaiten varautunut tilanteeseen. Jos tilaus tulee, tarvitsee vain kaivaa jakokaapin edessä suojaputken pää esiin. Uusi liittymäkaapeli voidaan tämän jälkeen sujuttaa valmiiseen suojaputkeen, eikä tarvitse kaivaa kaivantoa uudelleen koko matkalta. Suojaputken yksikköhinta on minimaalisen pieni asfalttien kaivamiseen ja uudelleen päällystämiseen verrattuna. Savutetut säästöt asentamalla kaivantoon yksi ylimääräinen suojaputki jo tässä vaiheessa voittaa selvästi mahdolliset kustannukset, jos tie joudutaan muutaman vuoden kuluttua uudelleen kaivamaan täysin auki. Putkituskartta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6 Putkitus kartta uusien suojaputkien asennukseen (Porvoon Sähköverkko Oy, Maanmittauslaitos maastokartta)

4.3 Jännitteenalenema

Jotta sähkölaitteet pystyvät toimimaan suunnitellulla tavalla, tarvitsevat ne tietyn jännitetaso. On tärkeää, että jännitetaso pysyy tietyn standardin raja-arvojen sisällä. Koko jakelujärjestelmän komponenttien, eli keskijännitejakeluverkon, jakelumuuntajien ja pienjännitejakeluverkon jännitteenalenemien summa on sähkönjakelujärjestelmän jännitteen alenema. Suurjännitevoimansiirtoverkkoa tarkasteltaessa huomataan, että sähkön loppukäyttäjillä ei siirtoverkon jännitteen alenema näy. Tämä johtuu muuntajien automaattisista käännytyksistä. Näin ollen suurjännitesiiroverkossa käyttölaitteiden valintaan vaikuttavat vain käyttövarmuus ja taloudellisuus. (Lakervi & Partanen 2008, 38.)

Tarkasteltaessa jakeluverkkolaskelmia huomataan, että jakelujohdon alku- ja loppupäiden itseisarvoisten jännitteiden erotus maksimikuormituksella on keskeisessä tekijässä. Tämän takia juuri näitä kahta arvoa yleisesti tarkistellaan eniten. Jännitteenalenema voidaan laskea alla olevan yhtälön 4.1 avulla. Yhtälöllä 4.2 voidaan määrittää jännitteenalenema prosentuaalisesti. Yhtälöt 4.1 ja 4.2 soveltuvat tavanomaisien tilanteiden laskennassa. Vikatilanteissa niitä ei voi hyödyntää. (Lakervi & Partanen 2008, 38–39.)

$$U_d = |U_1| - |U_2| \approx IR \cos \phi + IX \sin \phi = I_p R + I_q X \quad (4.3)$$

$$U_h' = 100 \cdot \sqrt{3} \cdot (I_p R + I_q X) / U = 100 \cdot P / U^2 (R + X \tan \phi) \quad (4.4)$$

Yhtälöissä 4.1 ja 4.2 I tarkoittavat vaihevirtaa, R resistanssia, X reaktanssia, I_p resistiivistä virtaa, I_q reaktiivista virtaa, U_d jännitehäviötä, U_h prosentuaalista jännitehäviötä, U pääjännitettä, U_1 tarkasteltavan kohteen alkupään pääjännitettä, U_2 tarkasteltavan kohteen loppupään pääjännitettä ja ϕ kulmaa pätötehon ja loistehon välillä.

Energiatoteellisuus vuonna 2009 ohjeistanut sähkön jakeluverkkojen jännitteen vaihteluväliä eri tilanteissa. Liittämiskohdassa, jonka sijainti määritetään jakeluverkon haltijan ja asiakkaan välisessä sopimuksessa, ei jakelujännitteen tulisi vaihdella enempää kuin $230V \pm 10\%$. Uusien 0,4kV:n pienjänniteverkkojen ja saneerattujen pienjänniteverkkojen jännitteen vaihtelurajoina tulisi verkostosuosituksen ja suunnitteluohjeen mukaan olla enintään $230V \pm 6\%$, jolloin jännitteen vaihtelurajat ovat 216–244V.

Tarkastellaan, että molempien T1 muuntopiirin uusien liittymien jännitteen vaihtelut pysyvät $\pm 6\%$ eli 216–244V standardien sisällä. Ensimmäisenä Jakarinkatu, missä käytetään liittymäkaapelina AX240. Tämän reaktanssi per kilometri on 0.070Ω , ja resistanssi $0.148 \Omega/\text{km}$. Matkaa jakokaapilta liittymäpisteeseen on noin 90 metriä, eli reaktanssi yhteensä on

$$X = 0.070\Omega \cdot 0.090\text{km} = 6,3\text{m}\Omega$$

ja resistanssi;

$$R = 0.148\Omega \cdot 0.090\text{km} = 13.3\text{m}\Omega$$

Kokonaisimpedanssiksi saadaan

$$Z = \sqrt{6,3^2\text{m}\Omega + 13,3^2\text{m}\Omega} = 14.7\text{m}\Omega$$

Lasketaan käyttövirran reaalinen ja imaginäärinen osuus kaavoilla;

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (4.5)$$

$$I_q = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (4.6)$$

missä;

P = Teho

Q = Loisteho

U = Jännite

$$I_p = \frac{82800 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 230\text{V}} = 207.8\text{A}$$

$$I_q = \frac{27200 \text{ Wi}}{\sqrt{3} \cdot 230\text{V}} = 68,4\text{Ai}$$

Sijoittamalla käyttövirrat yhtälöön 4.1 saadaan jännitteen alenema

$$U_{alenema} = \sqrt{3} \cdot ((207,8A \cdot 0,0133\Omega) + (68,3A \cdot 0,0063\Omega)) = 5,53V$$

Lyhyen kaapelimatkan sekä kaapelin paksun poikkipinnan vuoksi jännitteen alenema pysyy hyvin standardien määrittämien raja-arvojen sisällä. Kokonaisuudessaan sähköauton latauspistettä palveleva sähkönlaatu on hyvällä tasolla ja valmiina vastaamaan myös mahdollisiin tehontarpeiden nousuihin tulevaisuudessa.

Werner Söderströmin kadun varressa oleva liittymä on pääsulakkeiltaan pienempi ja kaapelireitti on lyhyempi. Käytettävä liittymäkaapeli on sama. Näiden väittämien perusteella voidaan olettaa, että jännitteenalenema on pienempi kuin ensimmäisessä esimerkissä pysyen siten myös standardien määrittämien raja-arvojen sisällä. Tarkastellaan tilanne kuitenkin laskien käyttämällä samaa yllä esitettyä kaava. Matka jakokaapilta liittymäpiteeseen on noin 20 metriä. Tällöin jännitteenalenemaksi saadaan samaa kaava käyttäen 0,7 V. Tämäkin on hyvin standardien sisällä.

4.4 Oikosulkuvirta

Jakeluverkon virtapiiri voi sulkeutua joko suoraan, valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta, mikäli virtapiiriin tulee eristysvika tai se saa ulkoisen kosketuksen. Oikosulku voi tapahtua kahden tai kolmen vaihejohtimen välille, mikä aiheuttaa valokaaren. Valokaaren tapahtuessa on siinä kulkeva virta huomattavasti kuormitusvirtaa suurempi. Oikosulku voi tapahtua myös vaihejohtimen ja maan välille. Sähköverkon tähtipisteen maadoitustavasta voidaan arvioida maasulkuun mahdollisesti muodostavan vikavirran suuruus. Tällaiset viat ovat erittäin vaarallisia ja voivat aiheuttaa vakavia henkilövahinkoja, johtojen ja laitteiden liiallista kuumenemista sekä häiriöitä ja keskeytyksiä sähkönjakeluun. Jos tällaista virtapiirissä tapahtuu, pyritään se kytkemään irti sähkönsyötöstä rele- tai sulakeohjauksen avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 28)

Kolmivaiheisen vikavirran suuruus lasketaan yksivaiheisesta sijaiskytkennästä jakamalla vaihejännite virtapiiriin kokonaisimpedanssilla. Säteiläisverkossa tämä koostuu syöttävän verkon ja vian impedanssien summasta. Myös muuntaja ja sitä syöttävä suurjänniteverkko on otettava mukaan tarkasteluun ja käsiteltävä sen impedansseja osoitinsuureena. (Lakervi & Partanen 2008, 29)

Tässä työssä tarkasteltavan olevassa T1 muuntopiiritapauksessa tarkistetaan, että molempien uusien sähköliittymien oikosulkuvirrat pysyvät standardien määrittämien raja-arvojen sisällä. On tärkeää, että oikosulkuvirta ei alita sille asetettuja rajoja, sillä tämä heikentää erilaisten suojalaitteiden kuten sulakkeiden toimintavarmuutta. Mitä suuremmat pääsulakkeet liittymällä on, sitä suurempi oikosulkuvirran on oltava. Tämä on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Mitoitusoikosulkuvirrat sähköliittymille

Pääsulake	Oikosulkuvirta liittymän päävarokkeella
A	min./ A
3x25	250
3x35	250
3x50	250
3x63	320
3x80	425
3x100	580
3x125	715
3x160	950
3x200	1250
3x250	1650

Oikosulkuvirran laskemiseen käytetään kaavaa;

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{tot}}, \quad (4.7)$$

missä;

I_{k3} = Kolmivaiheinen oikosulkuvirta

c = jännitekerroin

U_n = pääjännite

Z_{tot} = myötä impedanssi verkossa

Kaapeliluettelosta saadaan selville kaapelin AX240 reaktanssi ja resistanssi kilometriä kohden. Jakarinkadun uudelle liittymälle on jakokaapilta F942 matkaa 90 metriä, ja Werner Söderströmin kadun uudelle liittymälle jakokaapilta F31 matkaa 20 metriä. Resistanssin ja reaktanssin arvot ovat samat kuin jännitteenalenemaa laskettaessa. Jännitekerroin on vakio, jota käytetään oikosulkuvirran laskemisessa pienjänniteverkossa. Sen arvo on 0.95.

Koska muuntaja sijaitsee vain muutaman kilometrin päässä Hattulan sähköasemasta, jää keskijänniteverkon impedanssi hyvin pieneksi. Tämän takia sen voi jättää laskuosta pois. Muuntajassa tapahtuvat häviöt on sen sijaan huomioitava. Muuntajan reaktanssi ja resistanssi lasketaan kaavalla;

$$R_k = u_r \frac{U_n^2}{S_n}, \quad (4.8)$$

$$X_k = u_x \frac{U_n^2}{S_n}, \quad (4.9)$$

missä;

S_n = Nimellisteho

U_n = Nimellisjännite

u_r = Suhteellinen resistiivinen oikosulkujännite

u_x = Suhteellinen reaktanssinen oikosulkujännite

$$R_k = 5,2\% \cdot \frac{230V^2}{500 \text{ KVA}} = 5.5 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = 5\% \cdot \frac{230V^2}{500 \text{ KVA}} = 5.29i \text{ m}\Omega$$

Jakarinkatu;

$$I_{k3} = \frac{0.95 \cdot 230V}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(5.5\text{m}\Omega + 13.3\text{m}\Omega)^2 + (5.29\text{m}\Omega + 6.3\text{m}\Omega)^2}} = 5712A$$

Oikosulkuvirtaa tarkastellessa huomataan, että verkon impedanssi on rajoittavana tekijänä keskipisteessä. Koska syötön ja uuden liittymän välissä ei ole muita laitteita, kohdistuu rajoitukset siis kaapelin impedanssiin. Werner Söderströmin kadun varressa oleva liittymä on pääsulakkeiltaan pienempi ja kaapelireitti on lyhyempi. Käytettävä liittymäkaapeli on sama. Näiden väittämien perusteella voidaan olettaa oikosulkuvirta suuremmaksi kuin Jakarinkadun esimerkissä

Koska esimerkin tapauksessa käytetään paksua kaapelia ja sen pituus on lyhyt, on vaikuttava impedanssi myös hyvin pieni. Näin ollen oikosulkuvirrat ovat molemmissa uusissa liittymissä todella hyvällä tasolla.

4.5 Jakokaappi

Jakokaappien tarkoituksena on edistää sähkön jakelua. Kaappiin tuodaan jakelumuuntajalta tai toisesta jakokaapista poikkipinnalta paksu kaapeli, joka kytketään kaapin kiskoon, ja siitä ohuemmat liittymäkaapeleiden lähdöt ottavat syöttönsä. Tällä tavalla kaapeleissa tapahtuvat häviöt ovat mahdollisimman pienet. Jakokaapit pyritään sijoittamaan kahden vierekkäisen tontin rajalle, jolloin ohuempien liittymiskaapeleiden pituudet saadaan mahdollisimman lyhyiksi. Jokaisen tontin rajalle ei kuitenkaan ole kustannussyistä järkevää eikä kannattavaa asentaa jakokaappia, vaan osa liittymistä rakennetaan erillisillä liittymiskaapeleilla jakokaapeilta tonttien rajoille. (Savonen, 2016 s11)

Jokaiseen lähtöön asennetaan aina sulakealusta ja siihen sulakkeet. Sulakkeiden koko riippuu sähköverkon loppupään kuluttajien tehontarpeesta. Kaappiin asennetaan 1 koko isompi sulake kuin loppupään pääsulakkeet ovat. Esimerkiksi jos kiinteistön omat pääsulakkeet ovat 3x25A, niin jakokaappiin sulakealustaan asennetaan 35A sulakkeet.

Muuntopiirin T1 tapauksessa käytettävä jakokaappi on ABB Kabeldon 660. Numerosta ensimmäinen tarkoittaa jakokaapin kiskon nimellisvirtaa (600A) ja jälkimmäiset kaksi jakokaapin leveyttä senteissä (60cm). Syy isomman jakokaapin valitsemiseen on kohteen sijainti. Muuntopiiri T1 palvelee myös monia muita asuntoyhtiöitä ja on oletettavaa, että tulevaisuudessa tehontarve lisääntyy esimerkiksi juuri sähköautojen lisääntymisen vuoksi. Mitoittamalla jakokaappi jo nyt vastaamaan tulevaisuuden sähkönkulutusta, säästetään jatkoa ajatellen rahaa ja työaikaa.



Kuva 7 ABB Kabeldon 660, esimerkissä käytetty jakokaapin malli. (ABB Catalog 2015)

5 Johtopäätökset

Tämän kandidaattityön tarkoituksena oli tarkastella sähköautoilun kasvua ja sen suoraa vaikutusta pienjännitejakeluverkkoon. Tarkastelukohteena on Porvoon keskustassa sijaitsevan muuntopiirin T1 saneerauksen tarve vastaamaan kahden uuden sähköautojen latauspisteiden liittymätilauksen edellyttämää tehontarvetta. Lisäksi työssä otettiin esiin tapoja, joilla verkkoyhtiöt voivat jo nyt saneerauksissaan varautua uusien sähkönlatauspisteiden lisääntymiseen mahdollisimman taloudellisesti.

Työssä tehtiin suunnitelma, jolla uusien liittymien jännitteenalenema ja oikosulkuvirta pysyvät niille määritettyjen standardiraja-arvojen sisällä. Tämä takaa sähkön turvallisen ja hyvälaatuisen käytön. Uudet rakennettavat liittymäkaapelit ovat poikkipinta-alaltaan paksuja, mikä takaa niiden riittävyden myös tulevaisuudessa, jos tehontarve vielä nousisi.

Verkostosaneeraukset ovat verkkoyhtiölle kalliita. Toisena negatiivisena tekijänä voidaan pitää saneeraustyön pitkää kestoja. Jo pienenkin ja yksinkertaisen muuntopiirin saneeraus voi kestää viikkoja tai jopa kuukausia. Yhtenä syynä tähän on mahdollisen asfaltin tai kivetyksen purkamisen ja uudelleen päällystäminen. Verkkoyhtiöt kärsivät myös pitkistä komponenttien tilausajoista. Esimerkiksi puistomuuntamon tilausaika valmistajalta on tällä hetkellä noin vuosi. Vaikka akuutti tarve uudelle muuntamolle tulisi yllättäen, ei sitä vuoteen voida vielä rakentaa.

Sähköautojen ja niiden latauspisteiden nopean yleistymisen vuoksi on tulevaisuutta ajatellen hyvä tarkastella muuntopiirejä yleisesti tarkemmin. Kun suurin osa esimerkiksi Porvoon keskustan muuntopiireistä rakennettiin, ei ollut vielä tietoa, että sähköautojen kaltainen tehontarve voisi toteutua.. Siksi suuri osa liittymäkaapeleista ei ole mitoitettu vastaamaan tällaista kuormaa. Jatkossa on syytä ottaa tarkasteluun vanhempia muuntopiirejä, ja erityisesti niitä, joissa on paljon taloyhtiöitä tai omakotitaloja. Näille sähköauton latauspisteiden hankkimisen todennäköisyys on suurin. Tämän jälkeen luotaisiin suunnitelma koko keskustan alueen saneeraustarpeille ja systemaattisesti päivitettäisiin pienjänniteverkkoa nykypäiväiseksi.

6 Lähteet

ABB Product catalog (2015) <https://library.e.abb.com/public/866a778375b44b73a2385419b5f7cf1f/2015%20-%20Catalog%20-%20Kabel-don%20Fusegear%20and%20Cable%20Distribution%20Cabinets%20-%20English.pdf>

Autoalan Tiedotuskeskus, (2022). ”Ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastot”, Viitattu 12.12.2022. https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot

Johtimet kaapeliluettelo, (2007). http://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/FISTK_0611230_145514.pdf

Kehitä. M (2020). ”Pienjännitemaakaapeliverkon rakentamisohje” Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu; 11.10.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/337845/Keiht%C3%A4_Marko.pdf?sequence=2&isAllowed=y s12

Lakervi, E. & Partanen, J. (2008). Sähkönjakelutekniikka. Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto. 11, 19, 28, 34–35, 38–39, 55, 125, 157–158, 168.

Leinonen. T (2021). ”Sähköisen ajoneuvokannan kasvun aiheuttaman huipputehonsiirron tarpeen muutos Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n pienjännitejakeluverkossa” Kandidaatintyö, Lut-Yliopisto, Viitattu; 02.11.2022. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163660/Kandidaatinty%C3%B6_Leinonen_Tuukka%20%28002%29.pdf?sequence=5&isAllowed=y s15

Liikenne- ja viestintäministeriö, (2021) ”Fossiilittoman liikenteen tiekartta”. Viitattu 12.12.2022. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liikennefakta, ” Liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain” Viitattu 18.12.2022, <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/liikennekaytossa-olevat-henkiloautot-kayttovoimittain>

Motiva. (2020a). Hybridiauto. Viitattu 1.12.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppe/ hybridiauto

Motiva. (2020b). Ladattava hybridiauto (pistokehybridi, lataushybridi). Viitattu 1.12.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppe/ladattava_hybridiauto

Motiva. (2020c). Täyssähköauto. Viitattu 1.12.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppe/taysahkoauto

Motiva. (2021). Sähköauton lataustekniikka ja turvallisuus. Viitattu 1.12.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppe/sahkoauton_lataustekniikka_ja_turvallisuus

Nevalainen. J (2010). ”Sähköajoneuvojen vaikutukset sähköverkkoihin” Kandidaatintyö, Lut-Yliopisto, Viitattu; 08.11.2022. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/87663/kandi.pdf?sequence=1&isAllowed=y> s5

Perämäki. J (2021). ”Sähköjakeluverkon maadoitukset haja-asutusalueen keskijänniteverkossa” Opinnäytetyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu, Viitattu; 05.11.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/502229/Peramaki_Juho.pdf?sequence=2&isAllowed=y 15

Porvoon Energia. (2022). Yritysesittely

Savonen. O (2016). ”Pienjänniteverkon saneerauskonsepti” Insinööri työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu; 10.10.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113263/Savonen_Otto.pdf?sequence=1 s11

Tilastokeskus (2022). Moottoriajoneuvojen ensirekisteröinnit. https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__merek/?tablelist=true

Traficom. (2022). Ajoneuvokannan tilastot. Viitattu 10.1.2022. <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot>

Virkajärvi, J (2014). ”Sähkökaapeleiden asentaminen maan alle” Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Viitattu; 20.9.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75196/Virkajarvi_Jari.pdf?sequence=19