



jamk

Latauspisteet jakeluverkossa

Sami Salmela

Opinnäytetyö,
Syyskuu 2022
Tekniikan ala
Insinööri (ylempi AMK)
Kestävä energia

Salmela, Sami

Latauspisteet jakeluverkossa

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Syyskuu 2022, 61 sivua

Tekniikan ala. Kestävä energia. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää latauspisteiden vaikutusta sähköjakeluverkon tehon kasvuun ja mitoitukseen tulevaisuudessa sekä tarkastella nykyisten suunnitteluperusteiden muutosten tarvetta. Tutkimusta tehtiin paikallisesti Alva Sähköverkko Oy:n (ASV) sähköjakeluverkkoon ja tutkimusajanjaksona oli 2020-luku.

Opinnäytetyötä tehtiin erilaisten skenaarioiden avulla, joissa määriteltiin jakelualueella olevien sähköautojen määrä ja niiden lataustehon tarve eri sähkökäyttäjille. Skenaarioissa käytetyt sähköautojen määrät perustuivat tavoiteltuun 700 000 sähköautoon vuonna 2030 Suomessa. Skenaarioiden mallinnus tehtiin Trimble NIS-verkkotietojärjestelmän avulla, jolla analysoitiin skenaarioiden vaikutuksien tuloksia.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin skenaarioiden aiheuttamat tehojen kasvut ASV:n sähköjakeluverkkoon sekä ylikuormittuneiden komponenttien määrät. Tuloksien ja työn tutkimustiedon perusteella arvioitiin suunnitteluperusteiden muutosten tarvetta. Mallinnusta tehdessä saatiin luotua uusi työkalu Trimble NIS – verkkotietojärjestelmään, jolla voidaan mallintaa vastaavia tehojen kasvun skenaarioita tulevaisuuden sähköjakeluverkkoon.

Johtopäätöksenä tutkimuksessa todettiin, että sähköautojen latauspisteillä on vaikutusta ASV:n sähköjakeluverkon tehon kasvuun ja mitoitukseen tulevaisuudessa.

Avainsanat (asiasanat)

Latauspisteet, sähköautot, jakeluverkko, skenaariot

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Salmela, Sami

Charging points in the distribution network

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, September 2022, 61 pages

Engineering and technology. Degree Programme in Sustainable Energy Technology. Master's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The aim of the thesis was to find out the effect of charging points on the power growth and sizing, specification and calculation of the electricity distribution network in the future, and to examine the need for changes in the current design principles. The research was conducted locally in the electricity distribution network of Alva Sähköverkko Oy (ASV) and the research period was the 2020s.

The thesis work was done with the help of different scenarios, in which the number of electric cars in the distribution area and the need for their charging power for different electricity users were defined. The number of electric cars used in the scenarios was based on the target of 700,000 electric cars in 2030 in Finland. The scenarios were modelled using the Trimble NIS network information system, which was used to analyse the results of the scenarios' effects.

As a result of the thesis, the power increases in ASV's electricity distribution network caused by the scenarios and the number of overloaded components were obtained. Based on the results and the work's research data, the need for changes in the design principles was assessed. While doing the modelling, a new tool was created for the Trimble NIS network information system, which can be used to model similar power growth scenarios for the future electricity distribution network.

As a conclusion, the study concluded that charging points for electric cars will have an impact on the growth and sizing, specification, and calculation of ASV's electricity distribution network in the future.

Keywords/tags (subjects)

Charging points, electric cars, distribution network, scenarios

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Opinnäytetyön tavoitteet ja menetelmät	5
2.1	Tutkimusaihe ja rajaus	5
2.2	Tutkimusmenetelmä ja toteutus.....	6
2.3	Tutkimusaineisto	7
2.4	Tutkimuskysymykset ja tavoitteet	7
2.5	Tutkimuksen luotettavuus	8
3	Sähköautoilu ja latauspisteet	8
3.1	Sähköautoilu Suomessa	9
3.2	Sähköautoilu maailmalla	11
3.3	Sähköautoilu pohjoismaissa	13
3.4	Latausverkosto	14
3.4.1	Suomen latausverkosto ja tavoite	14
3.4.2	Euroopan latausverkosto ja tavoite.....	15
4	Sähköautojen lataus	18
4.1	Lataustavat 1–4	18
4.2	Langaton lataus	20
4.3	Kuormanhallinta.....	21
4.4	Kysynnän jousto ja kaksisuuntainen lataus.....	23
5	Sähköautojen ja latauspisteiden lainsäädäntö	24
5.1	Sähköauton ajoneuvoveron poisto ja hankintatuki	24
5.2	ARA avustus latauspisteille	25
5.3	Laki latauspisteistä ja -valmiudesta rakennuksissa	25
5.4	Latausjärjestelmien määräykset	26
6	Sähköverkon rakenne	26
6.1	Jakeluverkon rakenne	26
6.2	Alva Sähköverkon erityispiirteet	27
6.3	Sähköautojen latauksen vaikutus sähköjärjestelmään	29
6.4	Latauspisteiden nykytilanne ja sähköliittymät ASV:llä.....	29
7	Latauspisteet ja skenaariot	29
7.1	Skenaarioiden määrittelyt.....	30
7.2	Skenaarioiden laskenta	31
7.3	Kotilataus.....	33

7.4	Työpaikkalataus.....	34
7.5	Kaupat ja yritykset.....	35
7.6	Automyymälät ja -korjaamot	35
7.7	Latauspistetoimijat.....	36
8	Skenaarioiden laskentatulokset	36
8.1	Skenaarioissa tarkasteltavat komponentit	36
8.2	Skenaario 1 vaikutukset jakeluverkkoon.....	37
8.3	Skenaario 2 vaikutukset jakeluverkkoon.....	38
8.4	Skenaario 3 vaikutukset jakeluverkkoon.....	39
8.5	Yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista jakeluverkkoon.....	40
9	Latauspisteiden huomioiminen verkostosuunnittelussa	44
9.1	Sähköasemat ja keskijänniteverkko	45
9.2	Pienjännitekaapeloinnit ja liittymät	46
9.3	Muuntamot	48
9.4	Yhteenveto	49
10	Johtopäätökset.....	50
11	Pohdinta.....	55
	Lähteet	58
	Liitteet	61
	Liite 1. Skenaario 2 muuntajat ylikuormassa	61
 Kuviot		
	Kuvio 1. Sähköautokannan kehitys Suomessa	10
	Kuvio 2. Sähköautojen kokonaismäärän myynnin kehitys globaalisti	12
	Kuvio 3. Latausverkoston suhde sähköautokantaan Suomessa	15
	Kuvio 4. Latauspisteiden tavoitemäärät EU:n maissa vuosina 2025 ja 2030	17
	Kuvio 5. Latauspisteillä saatavat kilometrimäärät tunnissa tehoon suhteen	20
	Kuvio 6. Langattoman latauksen komponentit ja lataus asennettuna tierakenteeseen.....	20
	Kuvio 7. Dynaamisen kuormanhallinnan periaate	22
	Kuvio 8. ALVA Sähköverkko Oy:n verkonrakenne	28
	Kuvio 9. Ote verkkotietojärjestelmän analyyseistä.	32

Taulukot

Taulukko 1. Sähköauton lataustavat.....	18
Taulukko 2. Skenaarion 1 vaikutukset jakeluverkkoon.....	37
Taulukko 3. Skenaarion 2 vaikutukset jakeluverkkoon.....	38
Taulukko 4. Skenaarion 3 vaikutukset jakeluverkkoon.....	39
Taulukko 5. Skenaarioiden vaikutukset vaikutuksia muuntajiin.....	40
Taulukko 6. Skenaarion 2 vaikutukset alueellisesti ylikuormittuneihin muuntajiin.....	41
Taulukko 7. Skenaarioiden vaikutukset pienjännitekaapeleihin ja liittymiin.	42
Taulukko 8. Skenaarioiden tehojen kasvun vaikutukset sähkö- ja kytkinasemiin.....	43

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen aiheuttamien päästövähennystavoitteiden myötä liikenne muuttuu sähköiseksi voimakkaasti 2020-luvulla niin globaalisti kuin kansallisesti Suomessakin. Liikenteen sähköistymisen vuoksi tulevat sähköautojen latauspisteet lisääntymään kaikkialla niin kotitalouksissa, yrityksissä kuin julkisissa paikoissakin. Valtioneuvoston tavoitteen mukaan vuonna 2030 Suomessa on 700 000 sähköautoa, joista puolet olisi täyssähköautoja. (Andersson ym 2020.) Tavoitteeseen pääsemiseksi valtio käyttää erilaisia ohjausmekanismeja ja tukimuotoja, kuten esimerkiksi täyssähköautojen ajoneuvoveron poisto, hankintatuki ja ARA-avustukset latauspisteiden rakentamiseen.

Työssä tutkittiin sähköautojen latauspisteiden vaikutuksia sähkönjakeluverkon tehon kasvuun ja mitoitukseen tulevaisuudessa sekä tarkasteltiin nykyisten jakeluverkon suunnitteluperusteiden muutosten tarvetta. Sähkönjakeluverkkoa rakennetaan noin viideksikymmeneksi vuodeksi, joten nyt rakennettava verkko tulisi uusittavaksi vasta 2070-luvulla. Jakeluverkon pitkän elinkaaren vuoksi suunnitteluperusteiden tulee olla kestävä, jotta vältetään jakeluverkossa ennenaikaisilta saneerauksilta ja turhilta lisäinvestoinneilta ainakin lähitulevaisuudessa rakennettavilla alueilla. Tutkimusta tehtiin paikallisesti Jyväskylässä ALVA Sähköverkko Oy:n jakelualueelle ja tutkimusajanjaksona on 2020-luku.

Tutkimusta tehtiin erilaisten skenaarioiden avulla, joissa määriteltiin alueella olevien sähköautojen määrä ja niiden lataustehon tarve eri sähkönkäyttäjille. Skenaarioiden tehot lisättiin nykyisiin sähkönkäyttäjien kulutuksiin. Skenaarioiden mallinnus tehtiin Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän avulla, jolla myös analysoitiin skenaarioiden tuloksia. Tutkimuksessa otettiin huomioon alueella olevat sähköautot ja latauspisteet. Tutkimuksessa otettiin huomioon julkiset tilastot sähköautoista ja sähkönkäyttäjistä sekä aiemmat tutkimukset sähköautojen vaikutuksista sähköverkkoihin.

Tavoitteena oli saada tietoa skenaarioiden perusteella missä jakelualueella tulevaisuudessa latauspisteet aiheuttavat sähköverkon vahvistamistarvetta ja mitkä jakeluverkon komponentit kuormittuvat eniten. Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän analysointityökaluilla oli tavoitteena saada esitettyä tulokset karttapohjalle alueittain, jolloin saataisiin selkeä kuva jakeluverkon tulevaisuuden lisätehon tarpeesta latauspisteille. Analyysien perusteella arvioitiin suunnitteluperusteiden muutosten tarvetta eri sähköverkon komponenteille kuten esimerkiksi muuntajat ja kaapelit. Jatkotutkimukseksi työlle tehdään yleissuunnitelma latauspisteiden vaatimasta verkon vahvistamisesta.

Kokonaiskuvan saamiseksi, minne saneerausinvestointeja tulisi kohdentaa pitkän tähtäimen investointisuunnitelmassa.

ALVA Sähköverkko Oy

Alva Sähköverkko Oy (ASV) on Jyväskylän kantakaupungin alueella toimiva jakeluverkkoyhtiö. ASV on Alva-yhtiöiden omistama tytäryhtiö. Alva-yhtiöt omistaa sataprosenttisesti Jyväskylän kaupunki. ASV:n tehtäviin kuuluu sähköverkon suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito, käyttö, asiakkaiden liittäminen verkkoon ja sähkön mittaus. ASV:llä on ylläpidettävänä 1364 kilometriä sähköverkkoa. Sähköä toimitetaan noin 100 000 asiakkaalle 60 000 käyttöpaikalle vuosittain 656 GWh. ASV:lla on 22 työntekijää. (Alva Sähköverkko Oy esitysmateriaali 2020.)

2 Opinnäytetyön tavoitteet ja menetelmät

2.1 Tutkimusaihe ja rajaus

Työssä tutkimusaihetta tarkastellaan kaupunki sähköjakeluverkon näkökulmasta. Työssä huomiointiin kaupunki sähköjakeluverkon erityispiirteet. Näitä ovat esimerkiksi kauppa-alueiden keskittymät, yritysalueet, omakotitaloalueet ja kerrostaloalueet. Tarkastelujaksona on 2020-luvun puoli-väli ja loppu. Työssä käsitellään Alvan sähköverkon nykytilannetta ja luotujen skenaarioiden muutosten vaikutusta eri sähkökäyttäjärühmien mukaan sekä alueellisten vaikutusten vertailua. Sähkökäyttäjärühmittelyt ja tehoarviot on tehty latauspisteiden tehoon, latausaikaan ja kokemusperäisen tietoon pohjautuen.

Työssä käsitellään sähköautoiluna sellaisia autoja, joiden ajovoima-akkua voidaan ladata ulkoisista latauspisteistä. Sähköautoilla työssä tarkoitetaan ladattavia hybridejä ja täyssähköautoja. Tässä työssä ei käsitellä sähköbussien tai raskaan liikenteen latauspisteiden vaikutusta ASV:n jakeluverkkoon. Sähköbussuja ja raskasta liikennettä ladataan pääasiassa varikoilla ja terminaaleissa, joille tarvittaessa rakennetaan omat suuritehoiset sähköliittymät. Raskaalle liikenteelle ei todennäköisesti tule erillisiä latauspisteitä ASV:n kaupunkimaisen jakeluverkon alueelle. Sähköbussuille voi tulla erillisiä latauspisteitä esimerkiksi pääte pysäkeille, mutta nekin rakennetaan erillisinä sähköliittyminä.

2.2 Tutkimusmenetelmä ja toteutus

Tutkimus oli luonteeltaan kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus. Tutkimuksessa hyödynnettiin kvantitatiivisen tutkimuksen mukaan tilastoja ja tietokantoja vastamaan tutkimuskysymyksiin ja vastaukseksi saatiin lukuja, joita sitten analysoitiin vastaaman tutkimuskysymyksiin. Kananen (2015) mukaan tutkimus edellyttää hyvää ilmiön tuntemista ja ilmiöitä selittävää teoriaa. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa suunta on teoriasta käytäntöön eli deduktio. Teoriaa voidaan testata uusissa tilanteissa kuten tässä tutkimuksessa mallinnetaan tutkimustilannetta tulevaisuuteen skenaarioilla. Kvantitatiivinen tutkimus on tutkijalähtöinen ja se rakennetaan tutkijan tarpeisiin. Tässäkin tutkimuksessa lähtötiedot ovat tutkijan määrittelemät ja rakennettu tutkijan ehdoilla. (Kananen, J 2015.)

Tutkimuksen analyysien aineistona käytettiin olemassa olevia sähköliittymien tehotietoja, joihin lisättiin arviot tulevaisuuden käyttäjäryhmien tehon kasvusta. Käyttäjäryhminä olivat mm omakoti-, kerrostalo, yritys-, kaupan alan kohteet, joissa sähköautoja on mahdollista ladata. Käyttäjäryhmille arvioitiin nykytilanteen ja tulevaisuudenennusteiden perusteella latauspisteen tehontarve. Tutkimusta tehtiin Trimble NIS-verkkotietojärjestelmällä, jolla mallinettiin eri skenaarioiden tulokset verkostolaskennalla nykyiseen Alvan sähköjakeluverkkoon. Verkostolaskennasta saatuja tuloksia analysoitiin Trimble NIS-verkkotietojärjestelmän työkaluilla. Työkaluilla saatiin analysoidua esimerkiksi ylikuormassa olevia jakelumuuntamoita ja kaapeleita maantieteellisesti karttapohjalle sekä niiden määriä jakeluverkossa. Skenaarioiden analyysija tarkasteltiin Trimble NIS-verkkotietojärjestelmässä ja analyysistä saadut tulokset kerättiin taulukoiksi tähän työhön.

Trimble NIS-verkkotietojärjestelmä

Trimble NIS on verkkotietojärjestelmä, johon on dokumentoitu jakeluverkon komponentit tyyppi- ja ikätietoineen. Trimble NIS-verkkotietojärjestelmä on laajasti käytössä Suomessa sähköjakeluverkkoyhtiöillä. Verkkomuoto on topologisesti mallinnettu karttapohjalle. Trimble NIS-järjestelmää käytetään verkostolaskentaan, verkon suunnitteluun, verkko-omaisuudenhallintaan, verkkoinvestointien hallintaan ja kunnossapitoon. Tässä työssä Trimble NIS-verkkotietojärjestelmää on käytetty verkostolaskentaan eri skenaarioissa ja niiden analysointiin. (Trimble NIS Sähköverkoille.)

2.3 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistoa työn aiheesta on paljon saatavilla niin kansainvälisestikin kuin kansallisestikin. Tutkimusaineistona on käytetty julkisista lähteistä saatavista artikkeleista, raporteista, tutkimuksista ja muista aineistosta, sekä tieteellisestä kirjallisuudesta saatavista lähteistä. Tiedonhankinnassa käytettiin hyväksi Jyväskylän Ammattikorkeakoulun kirjaston tiedonhankinnan ohjausta. Ohjauksessa opastettiin hyödyntämään kansainvälisiä aineistohakuja, joihin JAMK:in opiskelijoilla oli pääsy. Tuoreen ja luotettavan tutkimuksen haku Suomen osalta onnistui hyvin, mutta kansainvälinen aineisto oli hyvin pirstaloitunutta. Kansainvälisen tiedon hakuja joutui tekemään paljon ja lähteiden aineistojen tietoja yhdistelemään tutkimuksessa. Tarkoituksena oli löytää mahdollisimman tuoretta tutkimusaineistoa. Varsinkin tuoreiden tutkimustuloksien hakeminen aiheutti nopeasti kehittyvällä alalla haasteita.

Vastaavaa opinnäytetyötä sähköautojen latauspisteiden vaikutuksista jakeluverkkoon ei ole tehty viime vuosina. Sähköautojen latauspisteistä ja niiden vaikutuksista yksittäisille kiinteistöille ja sähköliittymille on tehty paljon opinnäytetöitä viime vuosina, joihin perehtymällä sai syvennettyä tietoperustaa sähköautoiluun ja latauspisteisiin tässä tutkimuksessa. Vuonna 2011 Tammi (2011) on tehnyt diplomityön Alva-yhtiöille sivuten työssään sähköautojen verkostovaikutuksia ASV:n jakeluverkkoon, jonka tuloksia on hyödynnetty ja vertailtu tämän tutkimuksen tuloksiin.

2.4 Tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Työllä on kaksi tavoitetta, joilla saadaan ennakoitua latauspisteiden aiheuttamat muutokset jakeluverkkoon. Ensimmäisenä tavoitteena on saada arvio sähköautojen latauspisteiden vaikutuksesta jakeluverkon mitoittamiseen. Tavoitteena on saada arviot tehonkasvusta alueittain ja löytää haastavimmat alueet ASV:n jakeluverkosta. Näiden tulosten perusteella arvioidaan tehon kasvun vaatimat toimenpiteet jakeluverkon osalta. Alustavana arviona on ennen työtä ollut, ettei pelkillä sähköautojen latauspisteillä ole suurta kokonaisvaikutusta jakeluverkkoon.

Toisena tavoitteena on arvioida latauspisteiden aiheuttamat muutostarpeet nykyisille suunnittelu- perusteille jakeluverkon mitoittamiseen. Jakeluverkkoa rakennetaan noin viideksikymmeneksi vuodeksi, joten nyt rakennettava verkko tulee uusittavaksi vasta 2070-luvulla. Uusilla mitoituskiri-

teereillä pyritään ennakoimaan tulevaisuutta ja välttämään ainakin osin toiseen kertaan rakentaminen uusille alueille latauspisteiden vuoksi. Alustavana arviona on, että nykyisiä suunnitteluperusteita on muutettava. Kaapelien poikkipinnat todennäköisesti tulevat suurenemaan ja mahdollisesti myös ennakkoon rakennettavilla lisäkaapeloinneilla varaudutaan erillisiin latauspisteliittyimiin.

Tutkimuksessa oli tarkoitus saada vastaukset kahteen tutkimuskysymykseen:

1. Miten sähköautojen latauspisteiden lisääntyminen vaikuttaa Alvan sähköjakeluverkkoon vuonna 2025 ja vuonna 2030 eri skenaarioilla?
2. Miten suunnittelussa voidaan varautua tulevaisuuden sähköautojen latauspisteisiin?

2.5 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimusta tehtiin verkkotietojärjestelmällä, jonne voidaan lisätä nykyisiin todellisiin tehoihin tilastollisesti arvioidut tulevat latauspisteiden lisätehot. Luotettavuuden lisäämiseksi tehtiin latauspisteiden lisääntymisestä eri skenaarioita, joiden tuloksia vertaillaan. Tutkimuksessa käsiteltiin lähitulevaisuutta ja luotettavuuden osalta ei haluttu tehdä skenaarioita kauemmas tulevaisuuteen.

Tutkimuksen alussa oli tiedossa, että skenaarioiden perusteella ei saada tarkkaa arviota latauspisteiden vaikutuksesta jakeluverkkoon tulevaisuudessa. Tuloksissa on alueellisia ja muuntamotasoista vaihtelua, mutta saadaan kuitenkin yleiskuva vaikutuksista ASV:n jakeluverkkoon. Sähköautoilu on uusi kehittyvä toimiala, johon niin lainsäädännölliset kuin kaupalliset muutokset voivat vaikuttaa nopeastikin. Tutkimusaineisto jää verkkotietojärjestelmään käyttöön ja tehtyjä skenaarioita voidaan muokata siellä tai tehdä lisää tulevaisuuden muutosten mallintamiseksi uudestaan.

3 Sähköautoilu ja latauspisteet

Sähköautojen määrä on kasvanut viime vuosina ja sen on ennakoitu kasvavan nopeasti lähitulevaisuudessa niin Suomessa kuin globaalistikin. Autonvalmistajille asetettujen hiilidioksidipäästöjen tavoitearvojen saavuttaminen edellyttää sähköautoilun merkittävää kasvua Euroopassa ja muualakin maailmassa (Ladattavien autojen käyttäjätutkimus 2020). Liikenteen sähköistyessä latauspis-

teiden tarve luonnollisesti lisääntyä kaikkialla. Tässä kappaleessa tarkastellaan sähköautoilua ja latauspisteitä niin Suomessa ja muualla maailmassa nyt ja tulevaisuudessa. Tarkastelu painottuu kuitenkin Eurooppaan.

Sähköautot

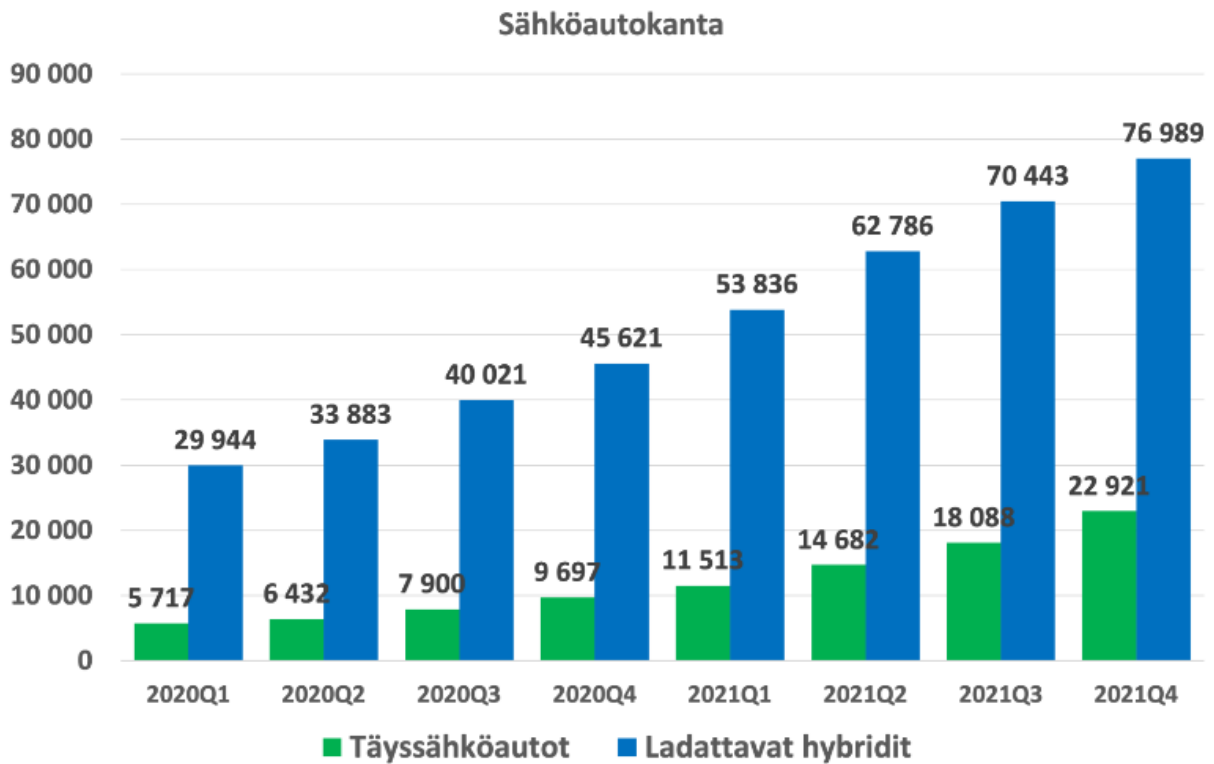
Sähköautoja ovat sähköenergialla toimivat täyssähköautot ja ladattavat hybridautot, joissa polttomoottorin lisäksi sähkömoottori ja ulkoisesti ladattava akku. Täyssähköauton akun kapasiteetti on tyypillisesti 30 - 100 kWh ja yhdellä latauksella voi ajaa noin 150 – 500 kilometriä. Ladattavan hybridauton akun kapasiteetti on tyypillisesti 5 - 30 kWh ja täydellä akulla voi ajaa noin 20 - 80 kilometriä, jonka jälkeen siirrytään käyttämään polttomoottoria. Kulutus sähköllä ajettaessa on luokkaa 16 - 20 Wh/km riippuen automallista. Molemmissa autoissa on suomen olosuhteissa huomioitava, että talvella pakkasella toimintamatka on 20 – 30 % lyhyempi kuin muina vuoden aikoina. (Ladattavien autojen käyttäjätutkimus 2020.)

3.1 Sähköautoilu Suomessa

Hallitusohjelman mukaan Suomen on tavoite olla hiilineutraali vuonna 2035. Myös liikenteen tulee vastata tähän tavoitteeseen päästövähennyksillä. Tavoitteena on vähintään puolittaa liikenteen päästöt vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoon. Lisäksi vuoteen 2045 on tavoitteena täysin fossiiliton liikenne Suomessa. (Andersson ym 2020) Liikenne- ja viestintäministeriön teettämän tiekarttaryhmän loppuraportissa tavoitellaan 700 000 ladattavaa sähköautoa vuonna 2030, joista valtaosan tulee olla täyssähköautoja. Samankaltaista skenaarioita sähköautoilun kasvusta on esittänyt Sitra (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto). Tämä tarkoittaa merkittävää muutosta hybrideistä täyssähköautoihin viime vuosiin verrattuna ja muutos on alkanut näkyä jo nykyhetkellä. (Andersson ym 2020.)

Suomessa oli vuoden 2021 lopussa n 100 000 sähköautoa ja niistä lähes joka neljäs täyssähköinen. Suomessa oli vuonna 2021 n 2,7 miljoonaa henkilöautoa, joten sähköautoja kokonaisautomäärästä on n 4 prosenttia tällä hetkellä (Andersson ym 2020). Kuviossa 1 on esitetty kvartaaleittain sähköautojen määrän kasvu vuodesta 2020, jolloin sähköautoilun suosio on todella alkanut suomessa kasvaa. Vuonna 2021 sähköautojen määrä lisääntyi merkittävästi, 45 000 ajoneuvolla eli 81 pro-

sentilla. Vastaavasti vuoden 2020 alusta on sähköautojen määrä lähes kolminkertaistunut. Voi-
daankin osoittaa sähkön muuttuneen henkilöautoliikenteessä vaihtoehdosta valtavirraksi. Joulu-
kuussa 2021 täyssähköisten mallien osuus kaikista rekisteröinneistä oli 24 % ja oli suurempi kuin
ladattavien hybridien. Tämä tukee arvioituja skenaarioita täyssähköautojen suosiosta hybridiautoi-
hin verrattuna. (Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2021 2022.)



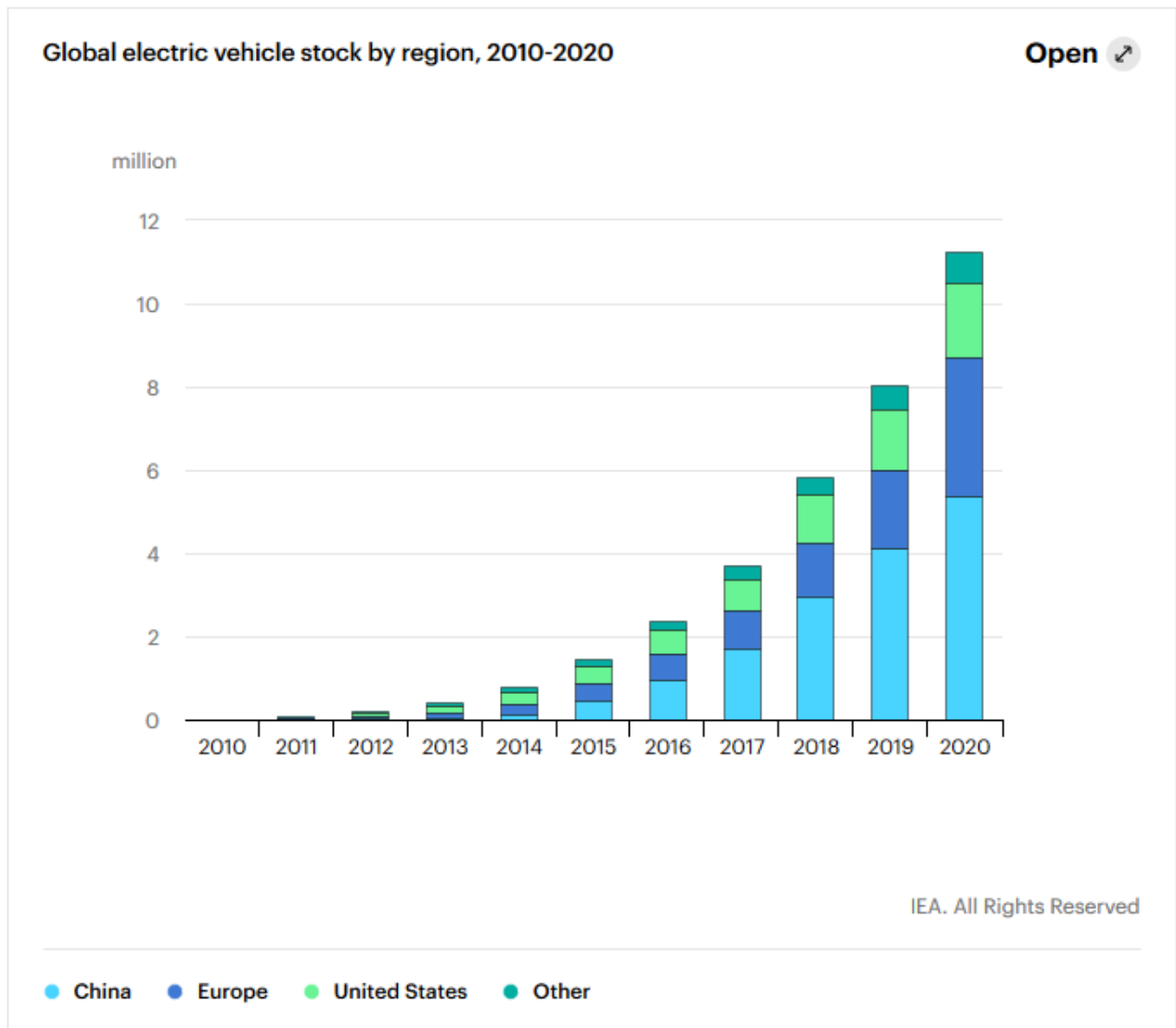
Kuvio 1. Sähköautokannan kehitys Suomessa (Sähköisen liikenteen tilanne katsaus Q4/2021 2022)

Aiemmin on arvioitu, että täyssähköauto hankitaan kakkosautoksi ja hybridiauto ykkösautoksi. Kuitenkin nyt hankitaan niin paljon täyssähköautoja, että täyssähköauto hankitaan ykkösautoksi jo pelkästään edullisempien käyttökustannusten vuoksi. Tärkeimmät syyt hankkia sähköauto ovat; vähäpäästöisyys, mahdollisuus lataamiseen kotona ja edulliset käyttökustannukset. Sähköautoilla ajetaan enemmän kuin vastaavan ikäisillä bensa -ja dieselautoilla. Suurimpana esteenä sähköauton hankinnalle on tällä hetkellä uusien sähköautojen korkea hinta ja käytettyjen sähköautojen suppeat markkinat. Lisäksi osalla täyssähköautoista toimintamatkaa ei pidetä riittävänä. (Ladattavien autojen käyttäjätutkimus 2020.)

Polttomoottoriauton ja sähköauton hintaero johtuu pääosin suuresta akkukustannuksesta. On ennakoitu, että vuosien 2028–2032 välillä täyssähköautojen tuotantokustannukset alenevat polttomoottoriautojen tasolle. Vastaavasti ladattavien hybridien hinnan on ennakoitu laskevan dieselautoja hintaa alemmas jo ennen vuotta 2025. (Ladattavien autojen käyttäjätutkimus 2020) Tämä näkyikin selvästi jo tämän hetken dieselautojen myyntimäärän vähenemisenä ja sähköautojen myyntimäärän nousuna. Todennäköisesti akkukustannuksia saadaan pienennettyä ennakoitua nopeammin ja sähköautojen hinnat ovat polttomoottorisia alempia jo aiemmin akkuteknologian ja -tuotannon kehittyessä. Lisäksi autonvalmistajien lisääntyvät tuotantomäärät sähköautoissa alentavat niiden hintaa ja mahdollisesti pienenevät polttomoottoriautojen tuotantomäärät nostavat niiden valmistuskustannuksia.

3.2 Sähköautoilu maailmalla

Sähköautoilun suosio kasvaa globaalisti 2020-luvulla. Monet eri asiantuntija- ja muut tahot tekevät ennustuksia liikenteen sähköistymisestä eri ajanjaksoille. Heillä on erilaisia skenaarioita, nopeita ja hitaita, mutta kaikissa kuitenkin ennustetaan suhteellisen nopeaa kasvua maailmassa. Sähköisten ajoneuvojen rekisteröinnit kasvoivat 41 % vuonna 2020 siitäkin huolimatta, että pandemian vuoksi autojen kokonaismyyntimäärä oli laskusuhdanteessa. Vuonna 2020 myytiin noin 3 miljoonaa sähköautoa, joka on kuitenkin vaatimattomat 4,6 % ajoneuvojen kokonaismyyntimäärästä. Kuviossa 2 on esitetty sähköautojen myyntimäärät globaalisti. Kuviosta voi huomata, että vuoden 2020 lopussa oli yhteensä yli 10 miljoonaa sähköautoa liikenteessä maailman laajuisesti. Vuoden 2021 lopussa voidaan olettaa luvun ylittävän 15 miljoonaa sähköautoa kokonaisuudessaan. Vuonna 2020 Eurooppa ohitti ensimmäisen kerran Kiinan sähköautojen johtavana markkinana. (Global EV outlook 2021.)



Kuvio 2. Sähköautojen kokonaismäärän myynnin kehitys globaalisti (Global EV outlook 2021)

Monet maat ovat viime vuosina ottaneet käyttöön ohjaus- ja tukitoimia lisätäkseen liikenteen sähköistymistä. Näköpiirissä on myös näiden tukitoimien lisääntyminen tulevaisuudessa. Tämä johtuu yhteisestä halusta vähentää hiilidioksidin päästöjä kaikkialla, myös liikenteessä. Yli 20 maata on kieltänyt tulevaisuudessa muiden kuin päästöttömien autojen myynnin. Tämä tarkoittaa markkinoiden siirtymistä pääasiassa sähköautoihin. Myös autonvalmistajien lisääntyneet sähköautojen mallit ja akkujen hinnan lasku ovat lisänneet sähköautojen myyntiä maailmanlaajuisesti. (Global EV outlook 2021.)

EU:ssa on asetettu autonvalmistajille sitovat hiilidioksidipäästöjen vähentämistä koskevat raja-arvot henkilö- ja pakettiautoille vuodesta 2009 saakka. Raja-arvoja on tiukennettu vuosittain ajoneuvojen kehityksen mukaan. Raja-arvoihin pääsemiseksi autonvalmistajat suosivat sähköautoilua, koska raja-arvoissa huomioidaan ainoastaan käytönaikaiset päästöt. Tämä on eräs syy, miksi Eurooppa on siirtynyt edelläkävijäksi sähköautoilussa. (Kalenoja 2021.)

3.3 Sähköautoilu pohjoismaissa

Norjassa vuoden 2021 syyskuussa alle viisi prosenttia rekisteröidyistä uusista henkilöautoista oli bensiini- tai dieselkäyttöisiä. Vastaavasti ladattavia sähköautoja oli uusista rekisteröidyistä henkilöautoista lähes 95 %. Ruotsissa ja Tanskassa vastaavat luvut ovat noin 45 %. Suomessa ollaan muita pohjoismaita jäljessä uusien ladattavien sähköautojen rekisteröinnissä noin 30 % osuudella. Norja on edelläkävijä ja suunnannäyttävä pohjoismaissa ja globaalisti sähköautojen kasvussa. Muissa pohjoismaissa olisi helppo ottaa mallia Norjan parhaista käytännöistä sähköautoilun lisäämiseksi. (Autokanta sähköistyy Norjassa hurjaa vauhtia 2021.)

Norjassa politiikan resepti on tiukka verotus ennen kuin antelias tuki. Norjassa siis ei ole erillisiä tukia sähköautoille, vaan sähköautoilijat ovat ainakin osin vapautettu useista ajoneuvoveroista. Norjassa kuitenkin tuetaan latauspisteiden rakentamista sähköautoilun lisäämiseksi. Kannustimena sähköautoilijoilla on mahdollisuus käyttää bussikaistoja tietyin rajoituksin. Lisäksi Norjassa julkiset parkkialueet ovat maksuttomia sähköautoille, ja niissä voi olla maksuttomia latauspisteitä sähköautojen käytettäväksi. Pääasiassa Norjassakin autot ladataan kotona edullisen sähkön hinnan vuoksi. Erilaiset verohelpotukset ja kannustimet ovatkin johtaneet Norjassa ennen näkemättömään kasvuun sähköautomarkkinoilla. Ajoneuvot ovat kestäviä hyödykkeitä, joten tukia ja kannustimia pitää suunnitella pitkän tähtäimen aikavälillä. Vaikutus toteutuu täysin vasta seuraavilla vuosikymmenillä. Yhtenä Norjan tulevaisuuden tavoitteena on, että vuodesta 2025 alkaen kaikki rekisteröidyt uudet henkilöautot, tulevat olla päästöttömiä. Norjan mallin mukainen tiukka verotus fossiilista polttoainetta käyttäville ajoneuvoille ja verohelpotukset sekä kannustimet päästöttömille ajoneuvoille ovat kopiotavissa mihin tahansa valtioon, jotta saadaan vähennettyä liikenteen päästöjä. (Fridström 2019.)

3.4 Latausverkosto

Latausverkoston on arvioitu olevan yksi tärkeimmistä sähköautojen kysyntää rajoittavista tekijöistä. Koti- ja työpaikkalataus ovat ylivoimaisesti tärkeimmät latauspaikat, joten varsinkin kotilatauksen puute rajoittaa sähköauton hankintaa. Käyttäjätutkimuksen mukaan käyttäjillä ei ole ollut juurikaan ongelmia julkisten latauspisteiden toimivuuden tai saatavuuden kanssa, joten niiden voidaan olettaa niiden toimivan hyvin. Hybridejä ladataan selvästi harvemmin julkisissa latauspisteissä kuin täyssähköautoja. Viime vuosien aikana latauspisteiden tehot ovat kasvaneet varsinkin julkisissa latauspisteissä. (Ladattavien autojen käyttäjätutkimus 2020.)

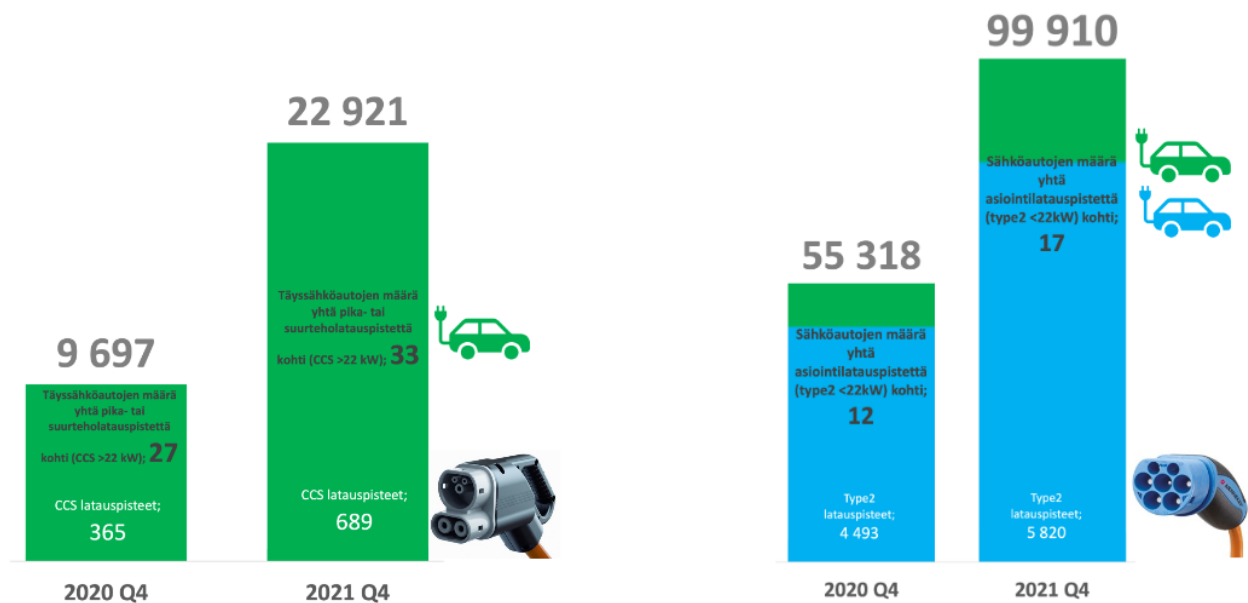
3.4.1 Suomen latausverkosto ja tavoite

Suomessa on hyvä tilanne kotilatauksen puolesta, koska polttomoottoriautoja on totuttu esilämmittämään talvisin niin omakoti- kuin rivi- ja kerrostaloissakin. Näin ollen kiinteistöjen sähköverkosto on ainakin osin valmiina hitaalle lataukselle ja yleensä ensimmäisten sähköautojen vuoksi ei tarvitse tehdä suuria investointeja rivi- ja kerrostaloissakaan. STK (Sähköteknisen kaupan liitto Ry) tilastojen mukaan myytiin vuonna 2021 yli 42 000 latauspistettä taloyhtiöihin ja yrityksiin. Latauspisteiden tehot vaihtelivat 2 kilowatista 22 kilowattiin (Kiinteistöihin myytiin 32000 latauslaitetta 2021. 2022). Tällä hetkellä trendi on rakentaa pienempi tehoisia latauspisteitä saataville paljon. Kuitenkin tulevaisuudessa latauspisteiden tehot tulevat kasvamaan varsinkin työpaikkalatauksessa.

Myös julkisia latauspisteitä on rakennettu Suomessa hyvin vastaamaan sähköautojen määrän kasvuun kuten kuvioista 3 voidaan todeta. EU:n jakeluinfra (2014/94/EU) suosituksen mukaan peruslatauspisteiden määrän tulisi olla pienempi kuin 1:10 ja pikalatauspisteiden osalta 1:100 sähköautokantaan suhteutettuna. Pikalatauspisteiden (33 kpl) osalta suositus täyttyy, mutta peruslatauksen osalta jäädyään suosituksesta (17 kpl). Latauspisteissä tuntuukin pikalatauspisteiden rakentaminen olevan tämän päivän trendi. Latauspisteitä ovat voimakkaasti alkaneet rakentamaan päivittäistavarataloketjut ja kauppakeskukset parkkipaikoilleen houkutellessaan asiakkaita osin jopa ilmaisilla latauksilla. Julkisten latauspisteiden verkko kaupunkiseutujen ulkopuolella on vielä suhteellisen harva Suomessa. Maantieteellisesti latauspisteet sijoittuvat pääasiassa eteläiseen suomeen, vaikka laajentumista tapahtuu myös muualla suomessa.

Q4/2021 - Sähköisen liikenteen tilannekatsaus

Latausverkoston suhde sähköautokantaan



Kuvio 3. Latausverkoston suhde sähköautokantaan Suomessa (Sähköisen liikenteen tilanne katsaus Q4/2021 2022)

Suomen tavoitteena on kasvattaa latauspisteiden määrää suhteessa kasvavaan määrään sähköautoihin EU:n jakeluinfra suosituksen mukaisesti. Sähköautoilun suosion kasvaessa tulevat latauspisteiden määrät kasvamaan niin tuetusti kuin markkinaehtoisesti. Tavoitteen mukaisen 700 000 sähköauton mukaan suomessa pitäisi olla vuonna 2030 3 500 pikalatauspistettä ja 70 000 peruslatauspistettä julkisesti saatavilla. Pikalatauksen osalta määrä viisinkertaistuu ja peruslatauksen osalta määrä yli kymmenkertaistuu nykyisestä. Julkisten latauksen lisäksi rakennetaan merkittävästi koti- ja työpaikkalatauspisteitä. Voidaankin todeta, että tulevaisuudessa latauspisteitä rakennetaan paljon ja latausmahdollisuudet lisääntyvät sähköautoilijoille valtavasti Suomessa.

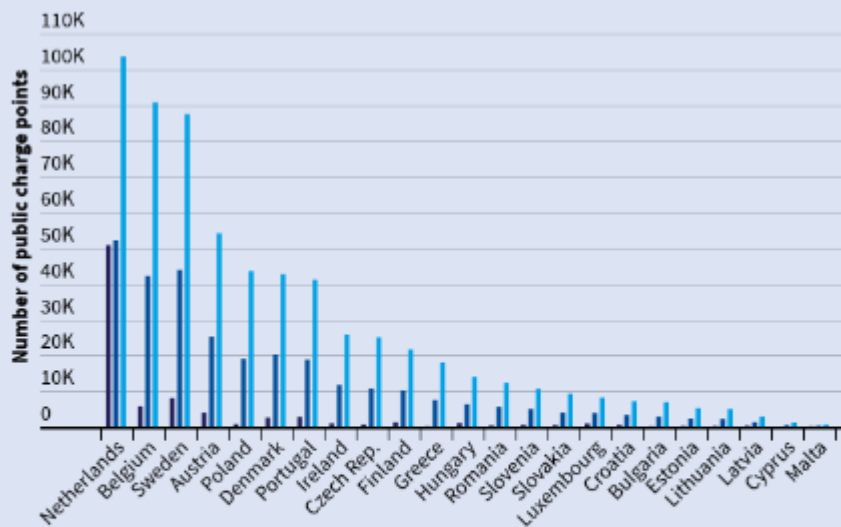
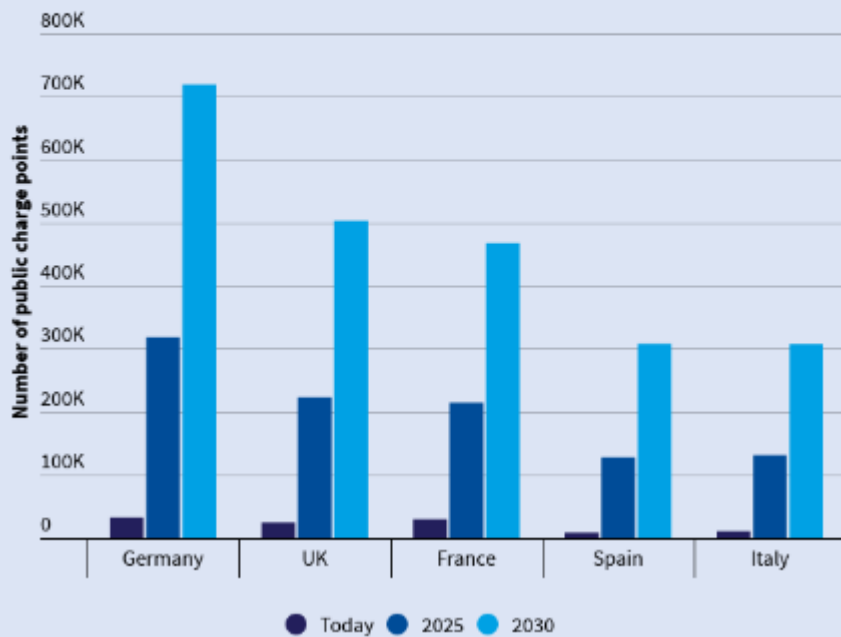
3.4.2 Euroopan latausverkosto ja tavoite

Euroopan unionin alueella oli vuoden 2019 lopussa n 185 000 julkista latauspistettä. Tämä tarkoittaa yhtä latauspistettä seitsemää sähköautoa kohti. Latauspisteet olivat pääasiassa peruslatauspisteitä, mutta pikalatauspisteiden määrät ja tehot ovat kasvaneet koko alueella latausverkoston kasvaessa. Latauspisteiden määrät kasvavat sähköautoilun suosion kasvaessa, mutta EU:ssa olisi yhdenmukaistettava ohjaavia toimia, jotta voidaan taata riittävä latauspisteiden määrä eri puolella

EU:ta. (Recharge EU: how many charge points will Europe and its member states need in the 2020s.)

Tavoitteena EU:lla on, että vuonna 2030 olisi lähes 3 miljoonaa julkista latauspistettä saatavilla EU:n alueella. Kuviossa 4 on esitetty tavoitteet EU:n latauspisteiden kokonaismäärille vuosille 2025 ja 2030 sekä niiden jakautuminen maittain. Kuviosta 4 voidaan todeta, että latauspisteiden määrän hurja lisääntyminen tulevaisuudessa verrattuna vuoden 2019 tasoon. Pikalatauspisteiden verkostoa on tarkoitus kasvattaa varsinkin päätieverkossa. Toisin kuin Suomessa ja muissa pohjoismaissa ei muualla EU:n alueella ole edes osin valmista sähköverkkoa taloyhtiöissä ja yrityksissä sähköautojen latausta varten. Tästä johtuen muualla EU:ssa julkiset latauspisteet lisääntyvät nopeampaan tahtiin kuin esimerkiksi Suomessa ja sähköautoilijat ovat enemmän niistä riippuvaisia. (Recharge EU: how many charge points will Europe and its member states need in the 2020s.)

1.3 million public chargers in 2025 and 2.9 million in 2030 (Road2Zero scenario)



Road2Zero scenario is compliant with the EU's climate ambitions for carbone neutrality by 2050
 About 78% of the EU's public charge points will be needed in the five biggest EU markets

Source: T&E Charging Infrastructure Supply and Cost model

Kuvio 4. Latauspisteiden tavoitemäärät EU:n maissa vuosina 2025 ja 2030 (Recharge EU: how many charge points will Europe and its member states need in the 2020s, 28)

4 Sähköautojen lataus

Työn tässä luvussa tarkastellaan sähköautojen lataustapoja ja laitteistoja. Lisäksi käsitellään kuormanhallintaa, kaksisuuntaista latausta ja kysyntäjoustoa, jotka ovat tulevaisuudessa tärkeässä roolissa koko älykästä sähköjärjestelmää.

4.1 Lataustavat 1–4

Suomessa sähköisten ajoneuvojen käytössä olevia lataustapoja on neljä. Näistä lataustapa 1 on kevyiden ajoneuvojen kuten sähköskootterien lataukseen tarkoitettu, ja lataustapaa 1 ei käsitellä tässä työssä. Taulukossa 1 on kootusti esitetty sähköautojen lataustavat tehotiedoin ja kytkentätapoineen.

Taulukko 1. Sähköauton lataustavat

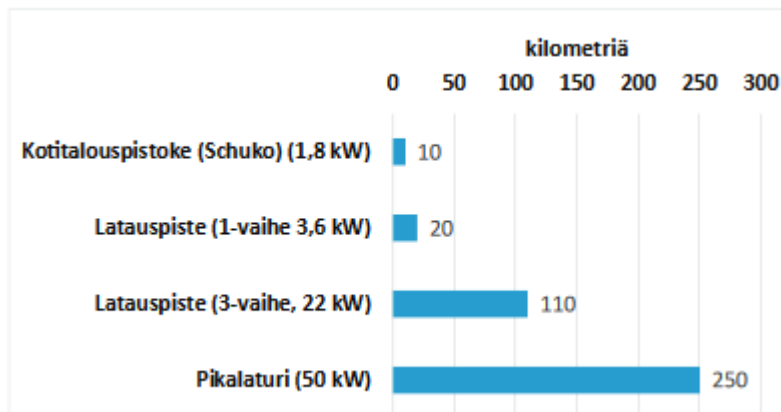
Lataustapa	Kytkentä	Kytkentä	Latausteho
	Latausasema/verkko	Auto	Latausjännite AC / DC
2 Hidaslataus (tilapäinen lataus)	Schuko- tai voimavirtapistorasias	Type 1 tai Type 2	1,4 - < 10kW 1- tai 3-vaihe AC
3 Peruslataus	Type 2 tai kiinteä latauskaapeli	Type 1 tai Type 2	3,6 - 43 kW 1- tai 3-vaihe AC
4 Pikalataus	kiinteä latauskaapeli	CCS tai CHAdeMO	50 - 350 kW DC

Lataustapa 2 on käytössä sähköautoille, ja sillä yleensä tarkoitetaan 1-vaiheista latausta kotitalouspistorasiasta (schuko). Lataustapa 2 on hidaslataus ja pääasiassa lataustehoa rajoitetaan niin että se on alle 2kW. Lataustavassa 2 on mahdollista kuitenkin käyttää 3-vaihevaiheista voimapistorasiasia, jolloin tehoa voi olla yli 10kW. Lataustapaa 2 käsitellään osin tässä työssä, kun sen teho on 4kW tai enemmän. Lataustavan 2 kuormanhallinnan tehon rajoitus yleensä tehdään katkaisemalla latauksia pois. Lataustavassa 2 on huomioitava erityisesti turvallisuus käytettävän latausvirran mukaan ja tarpeen mukaan rajoitettava sitä laitteiden virran kestoisuuden mukaan. Todennäköisesti lataustapaa 2 käytetään tulevaisuudessa runsaastikin tilapäisenä latauksena helpon saatavuuden johdosta, kuten parkkipaikkojen lämmitystolpat. (SESKO 2021.)

Lataustapa 3 on 1- tai 3-vaihelataus, joilla tarkoitetaan sähköautojen lataukseen valmistettuja latausasemia. Latausasemien tehot ovat 1,8 – 43 kW välillä. Lataustavassa 3 käytetään tarkoitukseen valmistettuja latauspistokkeita, joissa on tiedonsiirtoväylä. Tiedonsiirtoväylää käytetään onnistuneen ja turvallisen kytkennän varmistamiseen, kuormanhallintaan sekä kaksisuuntaiseen lataukseen. Lataustavasta 3 käytetään nimikettä peruslataus ja pääasiassa latauslaitteet ovat tehoiltaan 4 kW 1-vaiheisesti ja 11 tai 22 kW 3-vaiheisesti. Perulatausasemat lisääntyvät merkittävästi niin kotitalouksien, parkkihallien kuin työpaikkojen latausasemina. (SESKO 2021.)

Lataustapa 4 on tasasähkö lataustapa. Lataustavasta 4 käytetään nimikettä teho- tai pikalataus, koska lataustehot ovat suuruudeltaan 50 – 350 kW. Lataustavan 4 tasasähköllä voidaan syöttää suurempi teho, koska auton sisäistä laturia (vaihtosähkön tasasuuntaus) ei tarvitse käyttää. Usein auton sisäinen laturi toimii tehon rajoittimena lataustavalla 3. Lataustavan 4 latausasemassa on kiinteä latauspistoke tiedonsiirtoväylällä, ja siinä voidaan hyödyntää vastaavia ominaisuuksia kuin lataustapa 3:ssa. Tulevaisuudessa pikalatausasemat lisääntyvät merkittävästi kaupallisten toimijoiden yhteyteen ja mahdollisesti erillisinä latausasemakokonaisuuksina kuten nykyiset huoltoasemat. (SESKO 2021.)

Lataustavalla on vaikutusta sähköauton latausnopeuteen latauspisteestä. Kuviossa 5 on yksinkertaistettu esimerkki eri tehoisista latauspisteistä, ja kuinka paljon yhdessä tunnissa niistä voi ladata ajokilometrejä. Kuviossa on oletettu sähköauton energian kulutukseksi 19 kWh/100 km. Kuviosta voi helposti huomata pikalatauksen ja hitaan latauksen erot latausajan suhteen. Kuviosta voi myös arvioida latauspisteiden sopivuuden kohteittain kuten koti-, työpaikkalatauksen tai nopean tarpeen latauksen suhteen.



Kuvio 5. Latauspisteillä saatavat kilometrimäärät tunnissa tehoon suhteen (Katsaus liikenteenkäyttövoimiin ja polttoainevaihtoehtoihin)

4.2 Langaton lataus

Sähköauton langaton lataus tarkoittaa, ettei lataukseen tarvitse käyttää latauspistokkeita lataus- asemasta sähköautoon. Sähköauton langaton lataus on mahdollista toteuttaa kahdella eri tavalla. Kiinteä eli staattinen langaton lataus voidaan toteuttaa vastaaviin paikkoihin kuin nykyiset lataus- asemat eli auto tulee olla pysäköitynä. Toinen vaihtoehto langattoman latauksen toteuttamiselle on latauksen mahdollistaminen, kun ajoneuvo on liikkeessä eli dynaaminen lataus. Dynaaminen langaton lataus tarkoittaa latausjärjestelmän integroimista tierakenteeseen. Kuviossa 6 on esitetty langattoman latauksen peruskomponentit ja latauksen integrointi tierakenteeseen. Langattomalla latauksella voidaan jo nykyisellä teknologialla ladata ainakin 75kW:n teholla. (Vidhya ym 2021.)

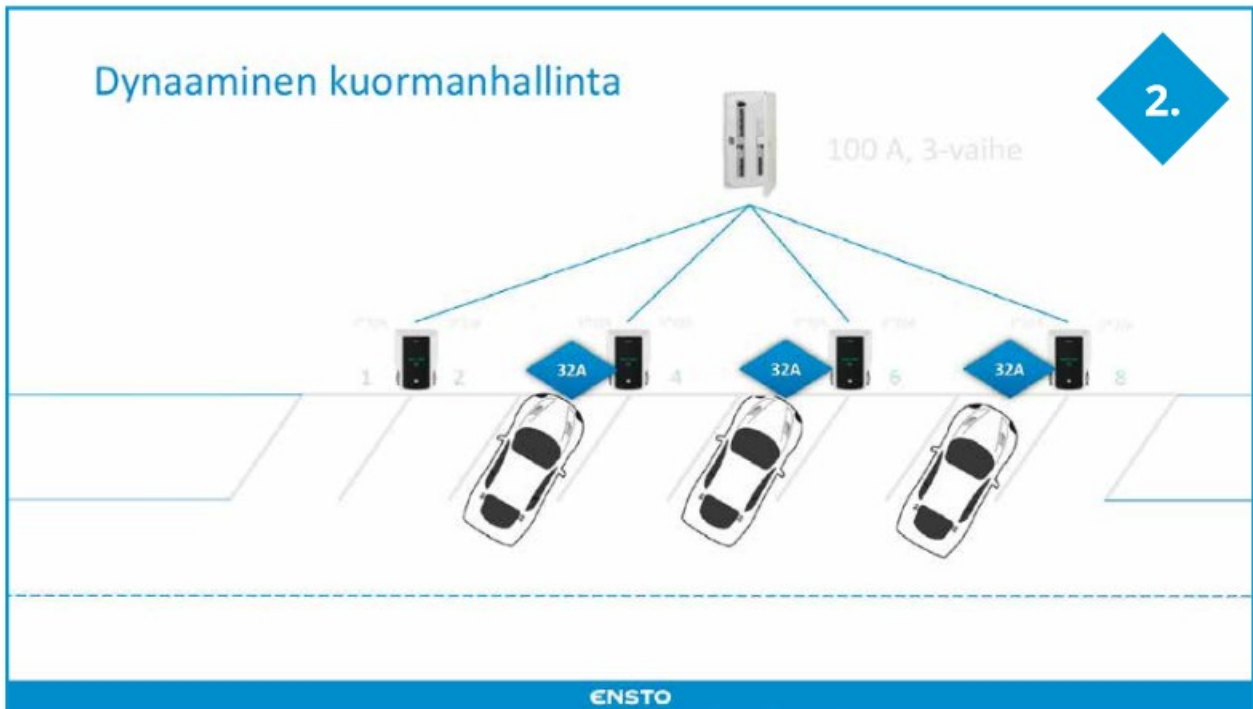


Kuvio 6. Langattoman latauksen komponentit ja lataus asennettuna tierakenteeseen (Tieverkon sähköistämisen mahdollisuudet ja haasteet Suomessa. 2020, s 18)

Dynaamista latausta voidaan alkuvaiheessa asentaa esimerkiksi taksiasemille, liikennevalojen risteysalueille tai lentokentän läheisyyteen, kuten maailmalla useissa kohteissa kokeiluluontoisesti jo pilotoitu. Suomessakin on tehty selvityksiä tieyhteyksien dynaamisesta latauksesta. Langattoman latauksen tulevaisuudessa kaupunkeihin voi tulla erillisiä latauskaistoja ja moottoriteille latausalueita, joiden pituudet määräytyvät tekniikan ja tarpeen mukaan. Langaton lataustekniikka on toistaiseksi selvästi johdollista kalliimpaa, joten todennäköisesti sen käyttökohteet jäänevät taksiasemien kaltaisiksi erikoiskohteiksi vielä tällä vuosikymmenellä. Lisäksi langatonta latausta vastaanottavat sähköautot ovat vielä harvinaisia ja laitteistot ovat pääasiassa jälkiasennettava. Kuitenkin näkemyksien mukaan langaton lataus on tulevaisuutta sen johdottomuuden ja helppokäyttöisyyden ansiosta. (Vidhya ym 2021; Tieverkon sähköistämisen mahdollisuudet ja haasteet Suomessa 2020.)

4.3 Kuormanhallinta

Kuormanhallinnalla sähköautojen latauksessa tarkoitetaan latauksen tehon rajoitusta kuormituksen mukaan verrattuna vapaana olevaan tehokapasiteettiin. Kuormanhallintaa voidaan käyttää niin, että jokaiselle paikalle varataan tietty tehokapasiteetti. Tällöin tehoa ei rajoiteta reaaliaikaisen kuormituksen mukaan, vaan mitoitus on tehty suurimman arvioidun kulutuksen mukaan. Vaihtoehtoisesti on järkevämpää käyttää älykästä dynaamista kuormanhallintaa. Dynaamisessa kuormanhallinnassa järjestelmä tasaa sallittua kuormitusta automaattisesti käyttäjien kesken. Esimerkiksi kiinteistöissä, joissa on parkkipaikkoja dynaaminen kuormanhallinta tasaa kuormitusta kiinteistön ja parkkipaikan kulutuksien mukaan. Lisäksi dynaaminen kuormanhallinta ohjaa tehokkaammin parkkipaikalla olevaa latausta reaaliaikaisen lataustehon ja vapaan kapasiteetin mukaan. Dynaamisella kuormanhallinnalla saadaan latauslaitteista paremmin hyödynnettyä niiden maksimiteho. Kuviossa 7 on esitetty dynaamisen kuormanhallintaa käytössä olevien latauspisteiden mukaan. Dynaamisella kuormanhallinnalla voidaan huomioida latauslaitteiden vaihekierto ja siten hyödyntää niiden maksimiteho. Kuormanhallinta voidaan toteuttaa paikallisesti tai pilvipalveluiden avulla. (Suunnittelijan opas 2021.)



Kuva 2 Dynaaminen kuormanhallinta, lataavat autot eivät ylitä max. sallittua virtarajaa ja jokainen sähköauto voi siten ladata latauslaitteen max. teholla.

Kuvio 7. Dynaamisen kuormanhallinnan periaate (Suunnittelijan opas,2021, s 7)

Kuormanhallinta vähentää liittymien ja kaapelointien ylimitoitusta. Kuormanhallinta sopii skaalautuvasti niin pieniin kuin suuriinkin järjestelmiin. Kun tulevaisuudessa sähköautojen latauspisteet lisääntyvät merkittävästi mm kerrostalojen autopaikoilla, saadaan dynaamisella kuormanhallinnalla tasattua kuormitusta tasaisemmin muun liittymän kulutuksen mukaan. Tämä on paikallisesti liittymän ja jakeluverkkoyhtiön etu, jotta vältetään hetkellisen huippukuormituksen mukaiselta ylimitoitukselta ja ylisuurilta tehomaksuilta. Sähkönjakeluverkkoyhtiöt ovat siirtymässä enenevässä määrin tehoerusteiseen hinnoitteluun aiemman pääsulakkeeseen sidotun hinnoittelun sijaan. Kokonaisuudessaan on myös koko energiajärjestelmän etu, että saadaan kuormitus jaettua tasaisemmin pidemmälle ajalle. Kuormanhallinta on tärkeä osa sähköautojen latauspisteiden suunnittelua ja toteutusta tulevaisuudessa.

4.4 Kysynnän jousto ja kaksisuuntainen lataus

Sähkön kysynnän jousto (kulutusjousto) tarkoittaa sähkönkäytön pienentämistä tai siirtämistä korkean kulutuksen tunneilta toiseen ajankohtaan. Kysyntäjoustoja tarvitaan lisää joustamattoman tuotannon (ydinvoima, tuulivoima) kasvaessa sähköjärjestelmässä. Nykyisen markkinamallin säilyminen yritetään turvata lisäämällä kysyntäjoustoja markkinoilla, jotta sähköjärjestelmän tasapaino säilyy kuormituksessa ja tuotannossa. Sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallinta ja kaksisuuntainen lataus voivat toimia osana kysynnän joustoa. Nämä voivat olla tulevaisuudessa suuressa roolissa sähköautojen kokonaiskuormituksen kasvaessa sähköjärjestelmään suhteutettuna. Kysynnän jousto toimisi hinnoittelun ohjaamana niin sähköauton akun latauksessa kuin akun toimissa tuotantona sähköverkkoon. Tulevaisuudessa koko energijärjestelmä muuttuu yhä enemmän hajautetuksi ja kaksisuuntaiseksi. (Kysyntäjousto 2020.)

Sähköautoissa voidaan hyödyntää kaksisuuntaista latausta eri tavoilla. Kahdensuuntaisia latausvaihtoehtoja ovat; V2V (vehicle to vehicle) ajoneuvosta ajoneuvoon lataus, V2H (vehicle to home) ajoneuvosta kotiin lataus ja V2G (vehicle to grid) ajoneuvosta verkkoon lataus. V2V-latausta voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun lataus ei sähköverkon kautta ei mahdollista, tai kun käytetään toista autoa sähkövarastona esimerkiksi aurinkopaneeleilla tuotetulle sähkölle. Myös V2H-latausta käytetään sähkön varastointiin kiinteistössä tai kiinteistön sähkökatkon varalle. V2G-latausta voidaan käyttää myös kiinteistön sähkövarastona, mutta tärkeimpänä ominaisuutena on yhteys sähköjärjestelmään.

V2G-latauksen ansioista sähköautoja voidaan käyttää osana älykästä sähköjärjestelmää sähkön tuottajana tai -kuluttajana. V2G-latauksen avulla sähköauton akkua voidaan käyttää osana sähköjärjestelmän kysynnän joustoa ja tasaamaan verkon kuormitusta kokonaisuudessaan hyödyttäen kaikkia järjestelmän osapuolia. V2G-Latauslaitteita on myynnissä monissa eri teholuokissa. Toiseksi ei ole tehty kuin pilottikohteita V2G-latauksen toteutuksesta maailmalla. Suomessakin on toteutettu pilottiluonteisesti joitain kohteita V2G-latausmahdollisuudella. Uudemmat sähköautot ovat valmiita käyttämään V2G-tekniikkaa hyödyntämään akkujaan osaksi sähköjärjestelmää. V2G-lataus on siis periaatteessa valmis teknologia käyttöön otettavaksi. Kuitenkin laajemman toteutuksen esteenä on, että sähköautoilu on uusi teknologia ja siihen liittyy muita olennaisempia seikkoja käyttäjien kannalta. Käyttäjien kannalta olennaisempia seikkoja ovat mm riittävä latauspisteiden määrä ja sähköautojen akun kapasiteetti. Lisäksi vielä ei ole kehitetty taloudellisesti kannattavaa

toimintamallia V2G-lataukseen. Tulevaisuudessa mahdollisesti jo vuosikymmenen lopulla voi V2G-teknologia olla laajemmin käytössä, kun sähköautojen akkuja on mahdollisuus saada osaksi sähköjärjestelmää huomattava määrä. Kuitenkin tekniikan käyttöönotto riippuu sähköautomarkkinoiden kehityksestä ja mahdollisesta lainsäädännön ohjauksesta. (Vehicle-to-grid.)

5 Sähköautojen ja latauspisteiden lainsäädäntö

Tässä luvussa tarkastellaan sähköautoilun ja latauspisteiden verotusta, lainsäädäntöä ja niiden tukimuotoja sekä kuinka Suomessa edesautetaan liikenteen sähköistymistä valtion tavoitteiden mukaisesti.

5.1 Sähköauton ajoneuvoveron poisto ja hankintatuki

Hallitus ehdotti syksyllä 2021 muutettavaksi autoverolakia ja ajoneuvoverolakia siten, että alin autoveron osuus laskettaisiin 2,7 prosentista nolnaan. Alinta veron osuutta sovellettaisiin henkilö- ja pakettiautoihin, joiden hiilidioksidipäästöt ovat nolla grammaa kilometriltä. Tämä tarkoittaa, että täyssähköautojen autovero poistuu. Laki tuli voimaan 1.1.2022 ja on takautuvasti voimassa myös ajoneuvoissa, jotka on otettu käyttöön 1.10.2021 tai myöhemmin. Esimerkiksi hankinta-arvoltaan 50 000 € täyssähköauton autovero oli aiemmin 1 350 €, joka poistuu uuden lakimuutoksen myötä. Samalla päätettiin korottaa näistä ajoneuvoista kannettavaa ajoneuvoveron perusveroa 65 € vuodessa vastaavalla aikataululla. (HE 176/2021)

Valtio jatkoi täyssähköautojen hankintakilakia aiempien vuosien 2018 - 2021 tapaan myös vuosille 2022 ja 2023. Hankintatuen suuruus on 2 000 € kotitalouksien täyssähköautoille, joiden kokonais hinta on enintään 50 000 €. Hankintatukea haetaan Liikenne- ja viestintäministeriöstä Traficomista. Tukihakemuksen voi jättää, kun uusi täyssähköauto on tilattu ja tuki maksetaan ajoneuvon ensirekisteröinnin jälkeen. Ajoneuvoveron poisto ja hankintatuki toimii hyvänä kannustimena valtion liikenteen sähköistymisen tavoitteelle. (Hae sähköauton hankintatukea.)

5.2 ARA avustus latauspisteille

ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) myöntää sähköautojen latausinfra -avustuksia sähköautojen latauspisteiden edellyttämiin kiinteistöjen sähköjärjestelmien muutoksiin asuinrakennuksen omistaville yhteisöille (taloyhtiöt, vuokrataloyhteisöt) myös vuonna 2022. Avustuksella on tarkoitus edistää sähköautojen kotilatausmahdollisuuksien yleistymistä ja siten sähköautokannan kasvua kansallisen ilmastostrategian mukaisesti. Avustusta on mahdollista saada 35 % toteutuneista kustannuksista, kuitenkin enintään 90 000 €. Avustuksen edellytyksenä on, että yhteisö rakentaa valmiuden vähintään viidelle latauspisteelle. Avustuksen piiriin kuuluvia kustannuksia ovat: tarvekartoitus, hankesuunnittelu, sähköpääkeskukseen tarvittavat muutostyöt, sähköliittymän tyyppin muutos, putkitukset ja kaapeloinnit sisältäen maanrakennuskustannukset sekä latauslaitteet, jos ovat tuen saajan omistuksessa. Muuten avustusehdot ovat vastaavat kuin aiempina vuosina, mutta vuonna 2022 edellytyksenä on latausaseman ja kaapeloinnin kuormitettavuus, jonka tulee olla vähintään 11 kW kolmivaiheisena. Aiempina vuosina avustusta saivat myös pienempitehoiset latauslaitteet ja kaapeloinnit. Lisäksi ARA suosittelee hankkeissa kuormanhallintaa tukevia latauslaitteita. Tehon kasvun suurentumisella ARA tavoittelee järjestelmän pitkää käyttöikää sähköautojen määrän kasvaessa. (Sähköautojen latausinfra-avustus hakuohje 2022.)

ARA myöntää myös työpaikkojen latauspisteavustusta latausmahdollisuuksien yleistymistä varten työssäkäyntirakennuksen ja -kiinteistön omistaville yhteisöille tai henkilöille. Latauspisteavustus on pääsääntöisesti tarkoitettu työntekijöiden käyttöön tuleville latausasemille, mutta latausasemia voi käyttää myös yrityksen omat ja vierailijoiden autot. Avustusta myönnetään 750 € jokaista käyttökuntoon saatettua latauslaitetta kohden. Yhteen kohteeseen voi avustusta saada 10 latauslaitteelle. Myös työpaikoilla latauslaitteet ja kaapelointi tulee olla mitoitettu vähintään 11 kW latausteholle, mutta toteuttavaan latauspisteeseen on kytkettävä vähintään 3,7kW latausteho. (Työpaikkojen latauspisteavustus hakuohje 2022.)

5.3 Laki latauspisteistä ja -valmiudesta rakennuksissa

Rakennusten latauspisteitä ja -valmiuksia koskeva laki 733/2020 (laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjauksjärjestelmillä) tuli voimaan 11.11.2020. Lain velvoitteet tulivat voimaan 11.3.2021 uusien ja laajasti korjattavien rakennusten osalta. Lain velvoitteen mukaan muussa kuin asuinrakennuskäytössä olemassa

olevaan rakennukseen, jossa on yli 20 pysäköintipaikkaa, on omistajan asennettava vähintään yksi latauspiste 31.12.2024 mennessä. Uusien ja laajamittaisen korjauksen kohteena olevien asuinrakennusten pysäköintialueille latauspisteiden asennus ei ole pakollista, mutta latauspistevalmius on asennettava kaikille pysäköintipaikoille, mikäli pysäköintipaikkoja on yli 4 kappaletta. Uusien ja laajamittaisen korjauksen kohteena olevien muun kuin asuinrakennus käytössä oleville pysäköintialueille, joissa on yli 10 pysäköintipaikkaa, on asennettava yksi suuritehoinen latausasema tai vaihtoehtoisesti 1–3 kappaletta normaalitehoista latausasemaa riippuen pysäköintipaikkojen määrästä. Lisäksi latauspistevalmius on asennettava 20 - 50 % pysäköintipaikoista uusien muuhun kuin asuinrakennus käyttöön rakennettavalle rakennukselle. (L 733/2020)

5.4 Latausjärjestelmien määräykset

Latausjärjestelmien rakentamiseen ja sähkötekniseen mitoitukseen on olemassa määrääviä vaatimuksia, määräyksiä, lakeja ja standardeja kuten esimerkiksi standardi SFS6000-7-722 sähköajoneuvojen syöttö. Lisäksi on olemassa ohjeita, oppaita ja suosituksia rakentamiseen ja mitoitukseen, niin yksityisiltä toimijoilta kuin julkisiltakin, kuten esimerkiksi Motivan Kiinteistöjen latauspisteet kuntoon -opas. Näistä standardien turvallisuusmääräykset ovat velvoittavia. Mitoituksessa puolestaan voidaan käyttää vähimmäisvaatimuksia tai kohteen tilaajalta tulleita lisävaatimuksia latauspisteiden toteutukselle. SESKO ry:n tekemästä sähköautojen lataussuosituksista löytyy kootusti käytössä olevat määräykset ja standardit. (Kalenius, J. 2021.)

6 Sähköverkon rakenne

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Se on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää, jolla on lisäksi tasasähköyhteydet Venäjälle ja Viroon. Tässä luvussa esitellään jakeluverkon rakenne ja ASV:n jakeluverkon kaupunkimaiset erityispiirteet ja latauspisteiden nykytilanne. Lisäksi käsitellään sähköautojen latauksen arvioitu vaikutus koko sähköjärjestelmään.

6.1 Jakeluverkon rakenne

Suomessa on vajaat 80 jakeluverkkoyhtiötä. Jakeluverkkotoiminta maantieteellisesti määriteltyä monopolitoimintaa. Jakeluverkonhaltijalla tulee olla Energiaviraston myöntämä sähköverkkolupa

toiminnan harjoittamiseen. Energiavirasto valvoo verkon sallittua tuottoa ja määrittelee verkonhaltijan oikeudet, velvoitteet ja vastuut. Jakeluverkko on sähköverkkoa, jonka nimellisjännite on alle 110kV:a (kilovoltti). Jakeluverkko liittyy Fingrid:n koko suomen kattavaan valtakunnalliseen sähkön siirtoverkkoon eli kantaverkkoon, joko suoraan tai suurjänniteverkon kautta. Luvun 6.2 Kuviossa 8 on esitetty sähköverkon rakennetta. (Verkkotoiminnan luvanvaraisuus.)

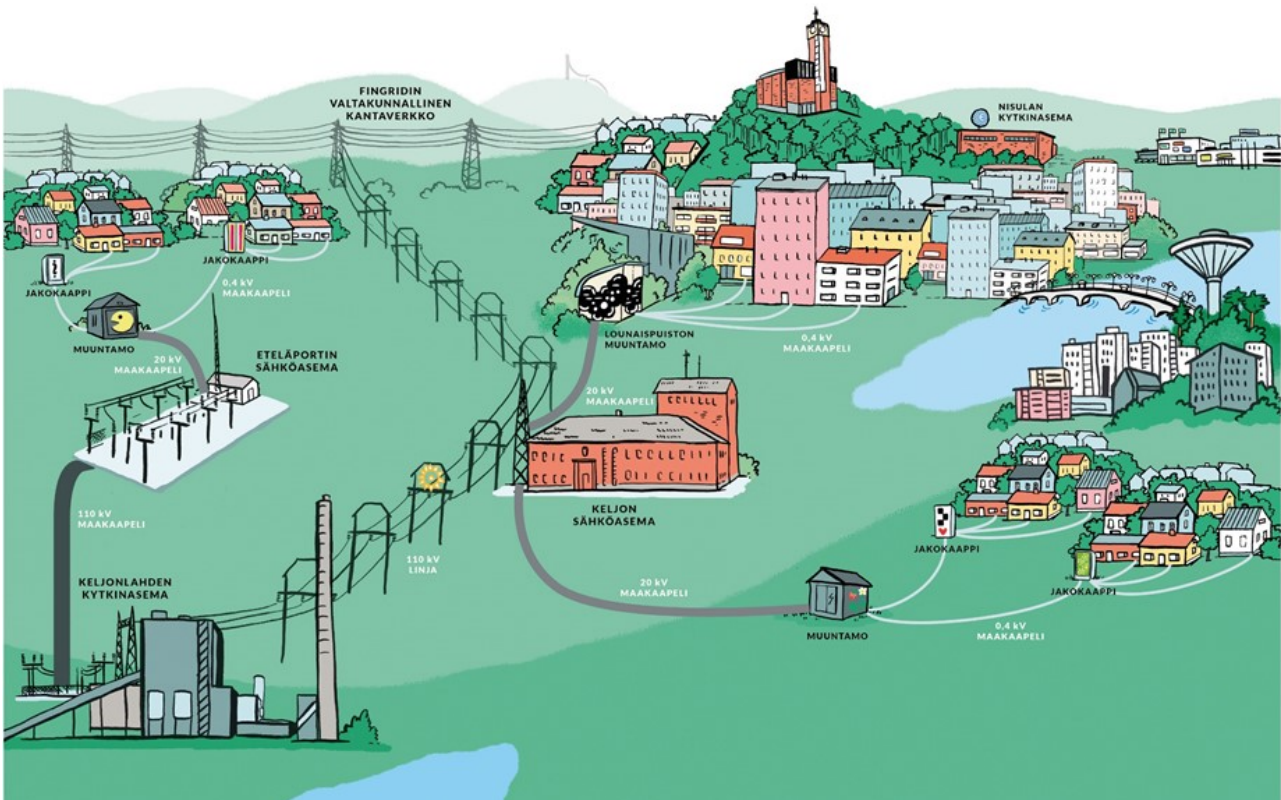
Jakeluverkko koostuu sähköasemista, keskijänniteverkosta, muuntamoista, pienjänniteverkosta ja verkkoihin liittyvistä liittymistä eli kuluttajista. Sähköasemilla 110kV:n jännite muunnetaan keskijännitteelle, yleensä 20kV: in. Sähköasemat toimivatkin jakeluverkon tärkeinä solmukohtina. Sähköasemilla on suojareleet, jotka katkaisevat jännitteet vikatilanteissa vikaantuneista keskijännitteen johtolähdöistä. Sähköasemiin liittyy keskijänniteverkko, joko kaapeleilla tai ilmajohdoilla. Keskijänniteverkko rakennetaan yleisesti rengasverkoksi, mutta harvaan asutuilla seuduilla käytetään myös säteittäisverkon rakennetta. Isommat sähkönkäyttäjät taajamissa liittyvät keskijänniteverkkoon, kuten esimerkiksi isot marketit ja teollisuus. Muuntamoilla keskijännite muunnetaan keskijännitteestä pienjännitteeksi (400 Volttia), josta se jaetaan sähköliittymille. Sähköliittymillä sähkö jaetaan liittyjän sähköverkossa käyttöpaikoille eli kuluttajille. Jokaisella käyttöpaikalla on oma jakeluverkkoyhtiön etäluettava sähkömittari.

Jakeluverkko suunnitellaan ja rakennetaan kestäväksi keskimäärin 50 vuotta. Energiavirasto on määrittellyt jakeluverkon komponenteille pitoajat liittyen verkosta saatavaan tuottoon verkkoyhtiölle. Pitoaika on karkeasti 40 - 50 vuotta per komponentti kuten esimerkiksi muuntamo, muuntaja, jakokaappi, kaapelit yms. Määritetyillä pitoajoilla pyritään välttämään verkon ennenaikainen saaneeraus ja että komponentit pidetään käytössä elinkaaren loppuun asti tai jopa sen yli. Näin ollen jakeluverkon suunnittelu ja rakentaminen pitää olla pitkäjänteistä ja nykyisillä komponenttivalinnoilla määritellään verkon käytettävyys pitkälle tulevaisuuteen.

6.2 Alva Sähköverkon erityispiirteet

Alva Sähköverkko Oy:n jakeluverkon alue on lähes kokonaan taajamaa ja kaupunkia. Jakelualue on suppea maantieteelliseltä laajuudeltaan, mutta sähkön käyttäjien määrä on alueella suuri. Kuviossa 8 on esitetty ASV:n jakeluverkon rakennetta. ASV:n jakelualueella on erilaisia sähkönkäyttöalueita esimerkiksi ok-talo-, kerrostalo-, yritysalueita, kaupungin keskustaa ja kaupan alan keskittyviä. ASV:n sähköliittymillä on runsaasti käyttöpaikkoja eli kuluttajia. Keskijännitejohtolähdöt

(20kV) ovat maantieteelliset lyhyitä, mutta niissä on tiheästi muuntamoita. Muuntamoilla on paljon liittymiä ja muuntajakoneet suurempia kuin taajamien ulkopuolisissa jakeluverkoissa. ASV:n muuntamot ovat lähes kokonaisuudessaan puisto- tai kiinteistömuuntamoita.



Kuvio 8. ALVA Sähköverkko Oy:n verkonrakenne (Alva esitysmateriaali 2020)

Kaupunkimaisesta ympäristöstä johtuen verkko on pääosin maakaapeloitu ja maakaapelointiasteet ovat suuret, keskijännite 89,1 % ja pienjännite 98,3 %. Vertailuna Suomen sähkönjakeluverkkoyhtiöiden keskimäärisiin kaapelointiasteisiin 40,7 % keskijännitteellä ja 57,8 pienjännitteellä, Energiaviraston vuoden 2020 tilastojen mukaan, ovat ASV:n kaapelointiasteet varsin korkeat (Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2020). ASV:n korkeat kaapelointiasteet vaikuttavat merkittävästi alentavasti ilmastollisista syistä aiheutuviin häiriöihin. Verkkorakenteen ansioista häiriöiden määrä on vähäinen ja sähkön keskeytysajat ovat lyhyet. Lisäksi häiriöiden hoitoa ja verkon käyttöä edesauttaa suurehko määrä kaukokäytettäviä muuntamoita rengasverkossa. ASV:n jakeluverkossa on 6 sähköasemaa ja 2 kytkinasemaa, joissa on yhteensä noin 80 kpl keskijännitejohtolähtöjä. Päämuuntajia sähköasemilla on 10 kappaletta.

6.3 Sähköautojen latauksen vaikutus sähköjärjestelmään

Koko Suomen sähköjärjestelmälle ja sähkön tuotantokapasiteetille sähköautojen lataus ei ole suuri haaste. Vaikka suomen kaikki henkilöautot olisivat sähköautoja, niin sähkönkäyttö lisääntyisi alle kymmenen prosenttia eli n 8 terawattituntia. Kuitenkaan kaikkia sähköautoja ei ladata samanaikaisesti. Kuitenkin talven pakkaspäivien huippukulutuksen aikaan saattaa latauksilla olla vaikutusta, mutta silloinkin vaikutukset ovat vain muutamia prosentteja koko kulutushuipusta. Vaikutukset jäävätkin enemmän jakeluverkon paikalliselle tasolle, jota tässäkin työssä tutkitaan. Sähköjärjestelmän osalta sähköautoja pidetään myös mahdollisuutena mm säätövoimana ja sähkövarastoina, joilla pystytään tasaamaan sähkön kulutushuippuja. (Heikkilä 2018.)

6.4 Latauspisteiden nykytilanne ja sähköliittymät ASV:llä

Viime vuosien aikana ASV:lle on tullut kiihtyvällä tahdilla tiedusteluja sähköautojen latauksesta ja niihin liittyvistä sähköliittymistä. Tiedustelut koskevat koti- ja työpaikkalatausta sekä julkisia latauspisteitä, että myös yrityksiensä omien sähköautojen latausta. Normaalisti uudet latauspisteet lisätään nykyiseen liittymään kapasiteetin niin sallissa tai suurennetaan tarvittaessa nykyistä liittymää. Tarvittaessa sähköautojen latausta varten voi tontille tilata toisen sähköliittymän voimassa olevan hinnaston ja toimitusehtojen mukaisesti. Latauspisteitä varten on tehty liittymän suurenoksia olemassa oleviin liittymiin ja uusia erillisiä latauspisteliittymiä on jo rakennettu muutamia pienjännitteelle ASV:n verkkoon. Pienjännitteellä liittymien lisätehot ovat olleet alkaen 10kW ja suurimmat 200kW luokkaa. Lisäksi on tullut julkista pikalatauspistettä varten liittymätilaus vuodelle 2022, jonka kokonaisteho on lähes 2 000 kW:ia. Liittymien suurenoksien ja uusien liittymien kasvutrendin latauspisteitä varten odotetaan kiihtyvän. ASV:n verkkoon voi liittyä pienjännitelliittymänä suurimmillaan 3 x 1000 A pääsulakkeella ja sitä suuremmat liittymät ovat keskijännitelliittymiä eli liittyvät 20kV jakeluverkkoon asiakkaan omalla muuntamalla. Liittymien toimitusrajat (liittymispiste) ASV:llä ovat pienjännitelliittymällä tontin raja ja keskijännitelliittymällä liittyvän muuntamon keskijännitekojeisto.

7 Latauspisteet ja skenaariot

Tässä kappaleessa esitellään tulevaisuuden skenaariot latauspisteistä ja kuinka latauspisteiden mallinukset tehtiin koti- ja työpaikkalataukselle verkkotietojärjestelmään. Lisäksi tarkastellaan

muitakin sähkökäyttäjiä ja kuinka niiden latauspisteet tulee ottaa huomioon sähköverkon mitoituksessa.

7.1 Skenaarioiden määrittelyt

Tavoitteena oli tehdä kolme eri skenaarioita kuvaamaan sähköautojen määrää tulevaisuudessa ASV:n jakelualueella ja niiden tarvitsemaa lataustehoa. Skenaarioissa oli tarkoitus mallintaa nykyistä sähköverkkoa tulevaisuuden tehon tarpeeseen koti- ja työpaikkalataukselle. Skenaariot luotiin vuosille 2025 ja 2030. Alla on esitetty tehdyt skenaariot ja suluissa on esitetty sähköautojen prosentuaalinen määrä henkilöautoista:

- Skenaario 1, Suomessa käytössä 700 000 sähköautoa vuonna 2030 (25 %)
- Skenaario 2, Suomessa käytössä 1 000 000 sähköautoa vuonna 2030 (37 %)
- Skenaario 3, Suomessa käytössä 350 000 sähköautoa vuonna 2025 (13 %)

Ensimmäisenä skenaarioina on hallituksen tavoitemäärä sähköautoille vuodelle 2030. Toisena skenaarioina on hallituksen tavoitetta selkeästi suurempi määrä sähköautoja vuodelle 2030. Kolmantena skenaarioina on vuodelle 2025 arvioitu aiemmista skenaarioista johdatellen välitavoite sähköautojen määrälle. Nämä skenaarioiden määrät on suhteutettu ALVA Sähköverkon alueella asukkaiden sähköautojen määrään ja lisätty satunaisesti kotilatauksien käyttöpaikoille omakoti- ja paritaloille sekä kerros- ja rivitaloille. Työpaikkojen sähköautojen määrät on lisätty skenaarioille vastaavasti prosenttien mukaan satunaisesti työpaikkojen käyttöpaikoille. Kaikki muu kuin kotilataus on työpaikkalatausta. Tutkimuksessa ei ole huomioitu käyttöpaikkojen määrän kasvua tulevaisuudessa, vaan sähköautojen määrät on lisätty nykyisille käyttöpaikoille. Sähköautojen tarvitsema latausteho mallinnettiin tunneittain käyttöpaikoille, niin että latausteho lisättiin nykyiseen kulutuksen lisäksi.

Oletuksena kaikissa skenaarioissa oli, että kaikki lisätyt sähköautot ovat latauksessa yhtä aikaa ja latauksen vuorottelua ei huomioitu muuten kuin, että kotilataus oli pääasiassa yöaikaan ja työpaikkalatauksessa puolet autoista lataisi päivittäin. Näin oli mahdollista löytää alueittain ja komponentein suurimmat kuormituksen kohteet. Lisäksi sähköautot eivät jakaudu tasaisesti alueelle, vaan joillekin alueille tulee varmasti enemmän sähköautoja kuin toisille.

7.2 Skenaarioiden laskenta

Skenaarioiden laskenta tehtiin Trimble NIS -verkkotietojärjestelmässä. Nykyisestä verkkotilanteesta tehtiin kopio virtuaalipalvelimelle, jotta skenaarioiden mukaiset tehon lisäykset lisättiin käyttöpaikoille. Verkkotietojärjestelmää jouduttiin käyttämään virtuaalipalvelimella kopiona, jotta tuotantokäytössä oleva verkkotietojärjestelmää pystyttiin käyttämään normaalisti koko ajan. Simulointi tuotantokäytössä olevassa verkkotietojärjestelmässä olisi aiheuttanut käyttökatkoja muille käyttäjille. Skenaariot ajettiin verkkotietojärjestelmään yksitellen omina tiedostoina ja ajo kesti muutamia minuutteja. Ajossa tiedosto lisäsi skenaarion mukaiset lisätehot määritellylle määrälle käyttöpaikkoja satunnaisesti. Näitä samoja satunnaisesti valittuja käyttöpaikkoja käytettiin kaikissa skenaarioissa. Sen jälkeen tehtiin skenaarion tietojen sisäänajo verkkotietojärjestelmään laskentaa varten. Tätä sisäänajoa kutsuttiin massalaskennaksi, mikä kesti noin kolme tuntia. Nämä toimenpiteet piti tehdä jokaiselle skenaariolle aina erikseen. Tiedostojen ajon jälkeen verkostolasennan tulokset olivat valmiina analysoitavaksi. Tuloksia analysoitiin verkkotietojärjestelmään valmiiksi tehdyillä analyysityökaluilla. Analyysityökalut antoivat tulokset symboleina verkkotietojärjestelmän kartalle, josta ne olivat poimittavissa myös määrinä kohteittain. Analyysien suorittamiseen kului muutamia minuutteja per analyysi. Kuviossa 9 on esitetty ote verkkotietojärjestelmässä tehdyistä analyyseistä. Analyysien tulokset verkkotietojärjestelmästä siirrettiin excel-
taulukoihin, joita työn tuloksissa esitellään.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	Selitys
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Pj-kaapelit yli 100% kuormitus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Pj-kaapelit yli 100% kuormitus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitukset
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus < 20%
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus 20 < 40 %
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus 40 % < 60 %
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus 60 % < 80 %
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus 80 < 100 %
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus > 100%
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Kuormitus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	a	Teksti Kuormitus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Liittymän sähköiset puutteet (tehonjako)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Jännitteenlaatu, ei kupimerkintää
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Jännitteenlaatu, kupi merkintä löytyy

Valitse kohteet Poista tulokset

Sulje Ohje

Kuvio 9. Ote verkkotietojärjestelmän analyyseistä.

Koko mallinnuksen luonti toimivaksi kesti kokonaisuudessaan yli kuukauden. Lisäksi skenaarioiden ajo verkkotietojärjestelmään vei tunteja aikaa, ennen kuin analyysien tuloksia pääsi tutkimaan. Virtuaalipalvelimen käyttöön saattaminen kesti muutamia päiviä. Lisäksi skenaarioiden tiedostojen käynnistämisessä ja analyysien teossa oli hieman vaikeuksia, johon meni myös aikaa. Kaikki saatiin kuitenkin viritettyä käytettäväksi kokonaisuudessaan alle kahdessa kuukaudessa. Kuitenkin viivästyksistä huolimatta skenaarioiden laskenta saatiin käyttöön lähes oikeaan aikaan tutkimuksen kannalta hyvän ennakkoinnin ansioista. Verkkotietojärjestelmän viritämisessä skenaarioihin auttoi ASV:n työntekijä ja ulkopuolinen konsultti, joka on kuukausittain ASV:llä verkkotietojärjestelmän kehittämistyössä mukana.

7.3 Kotilataus

Suomessa oli vuonna 2021 noin 2,7 miljoonaa henkilöautoa eli noin joka toisella asukkaalla oli henkilöauto. ALVA sähköverkon alueella oli vuonna 2021 asukkaita 100 000 ja oletuksena on, että asukasmäärä kasvaa noin tuhannella asukkaalla vuodessa kuten viime vuosina on tapahtunut. Näistä luvuista johdattaen asukasmäärä ASV:n alueella vuonna 2025 on 104 000 asukasta ja 6 800 sähköautoa skenaarioon kolme. Vastaavat määrät vuoden 2030 skenaarioille 1 ja 2 ovat 109 000 asukasta sekä 13 500 ja 20 000 sähköautoa. Mallinuksien määrästä vähennetään vuoden 2021 arvioitu sähköautojen määrä eli 1 500 sähköautoa, joita jo ladataan nykyisestä sähköverkosta. Kerros- ja rivitalojen käyttöpaikkoja on seitsenkertainen määrä suhteessa omakoti- ja paritalo käyttöpaikkoihin, kuten kaupunkimaisessa ympäristössä voikin olettaa. Tutkimuksen mallinnuksessa kotilataukselle omakoti- ja paritalojen käyttöpaikoille määriteltiin skenaarion mukainen prosentuaalinen määrä sähköautoja ja loput sähköautot kerros- ja rivitalojen käyttöpaikoille. Näin saatiin käyttöpaikkojen suhteen omakoti- ja paritaloille suuremmat määrät. Näin voitiin olettaa, että lähes jokaisessa omakoti- ja paritalon käyttöpaikalla on auto verrattuna kerros- ja rivitaloihin, joissa on suhteessa vähemmän autoja käyttöpaikkoihin.

Omakoti- ja paritalot

Omakoti- ja paritalojen käyttöpaikkoja on ASV:n verkossa hieman yli 8000 kappaletta. Skenaarioiden mukaiset sähköautojen määrät omakoti- ja paritaloille olivat seuraavat: skenaario 1 2000 sähköautoa, skenaario 2 3200 sähköautoa ja skenaario 3 1100 sähköautoa. Nämä skenaarioiden sähköautojen määrät on lisätty satunaisesti omakoti- ja paritalojen käyttöpaikoille. Sähköautojen tarvitsema latausteho mallinnettiin tunneittain käyttöpaikoille niin että latausteho lisättiin nykyiseen kulutukseen. Lataustehona käytettiin tunneittain 0, 4 tai 6 kilowatin tehoa niin, että lataus tapahtui pääasiassa yöaikaan.

Kerros- ja rivitalot

Vastaavasti kerros- ja rivitalojen käyttöpaikkoja on ASV:n verkossa hieman yli 56 000 kappaletta. Skenaarioiden mukaiset sähköautojen määrät kerros- ja rivitaloille olivat seuraavat: skenaario 1 10 000 sähköautoa, skenaario 2 16 800 sähköautoa ja skenaario 3 1550 sähköautoa. Nämä skenaario

rioiden sähköautojen määrät on lisätty satunaisesti kerros- ja rivitalojen käyttöpaikoille. Sähköautojen tarvitsema latausteho mallinnettiin tunneittain käyttöpaikoille niin että latausteho lisättiin nykyiseen kulutukseen. Lataustehona käytettiin tunneittain 0 tai 4 kilowatin tehoa niin, että lataus tapahtui pääasiassa yöaikaan.

7.4 Työpaikkalataus

Työpaikkalatauksien automäärissä käytettiin hyödyksi Tammen (2011) ASV:lle tehdyn aiemman tutkimustyön sähköautojen vaikutuksesta jakeluverkkoon määrityksiä. Tammen mukaan työpaikoilla ASV:n alueella on päivittäin 32 000 autoa, jossa autojen määrissä on huomioitu myös jakeluverkon ulkopuolelta tulevat autot työpaikoille. Tässä työssä oletettiin autojen määrän pysyneen samana työpaikoilla ja sähköautoja työpaikoille autoista on skenaarioiden mukaiset prosenttimäärät. Sähköautojen työpaikkalatauksen määrissä käytettiin Räisäsen (2020) tutkimustyötä työpaikkalatauksen kiinnostavuudesta. Räisäsen mukaan noin kolmannes käyttäisi jatkuvasti ja hieman yli kolmannes käyttäisi joskus työpaikkalatausta sähköautolleen. Tässä työssä arvioitiin, että työpaikkalatausta käyttäisi puolet sähköautoista työpaikoilla. (Tammi 2011; Räisänen 2020.)

Työpaikkojen käyttöpaikkoja on ASV:n verkossa hieman alle 6 000 kappaletta. Skenaarioiden mukaiset sähköautojen määrät työpaikoille olivat seuraavat: skenaario 1 4000 sähköautoa, skenaario 2 6400 sähköautoa ja skenaario 3 2100 sähköautoa. Nämä skenaarioiden sähköautojen määrät on lisätty satunaisesti työpaikkojen käyttöpaikoille. Huomioitavaa on, että skenaarion 2 mukaista määrää ei voitu lisätä käyttöpaikoille, koska työpaikkojen käyttöpaikkoja kokonaisuudessaan oli hieman alle 6000 kappaletta ja useampaa kuin yhtä tehonlisäystä käyttöpaikalle ei voinut lisätä ohjelmiston rajoitusten vuoksi. Skenaariossa 2 kaikille työpaikoille tuli yksi sähköauto ladattavaksi, mutta tavoitemäärästä jäätii n 500 käyttöpaikan verran. Skenaariossa 2 työpaikkojen käyttöpaikkojen kokonaismäärästä puuttuva osuus oli n 8 %. Sähköautojen tarvitsema latausteho mallinnettiin tunneittain käyttöpaikoille niin että latausteho lisättiin nykyiseen kulutukseen. Lataustehona käytettiin tunneittain 0, 4 tai 6 kilowatin tehoa niin, että lataus tapahtui pääasiassa toimistotyöaikaan eli päivällä.

7.5 Kaupat ja yritykset

Kauppojen ja yritysten yhteyteen on tullut ja tulee jatkuvasti lisää latauspisteitä niin omille työteki-jöille kuin myös asiakkaillekin. Työpaikkalataus käsiteltiin edellisessä kappaleessa, joten tässä keskitytään asiakaslataukseen. Monet kaupan alan toimijat ovat houkutelleet asiakkaita kokonaan ilmaisella tai rajoitetun ajan ilmaisella latauksella. Kuitenkin tulevaisuudessa todennäköisesti kaikki julkiset latauspisteet muuttuvat maksulliseksi, koska ns. ”ilmaisen bensa” hakijoita varmasti riittäisi sähköautoilun suosion kasvaessa. Päivittäistavarakaupan toimijat ovat ottaneet käyttöön omat latauspisteet tai sopineet erillisten latauspistetoimijoiden kanssa yhteistyöstä parkkialueil-laan. Latauspisteiden tehot ja määrät vaihtelevat vielä suuresti, mutta jo nykytilanteessa voi nähdä, että mitä suurempi myymälä niin sitä useampi ja tehokkaampi latauspiste. Voidaan arvi-oida, että tulevaisuudessa jokaisen kauppa- tai yritysrakennuksen pihaan tulee latauspisteitä, jotka voivat olla yhteisteholtaan 22 – 500kW tai mahdollisesti enemmänkin. Jos samassa kiinteistössä on useita toimijoita, niin luonnollisesti latauspisteet ovat tarkoitettu yhteisesti kiinteistön asiakkaille. Tämä tarkoittaa, että varsinkin kauppakeskittymien latauspisteiden huipputehot voivat olla yh-teenlaskettuna suuret. Suurilla kaupanalan sähkökäyttäjillä kuten supermarketit on yleisesti kes-kijänniteliittymä ja niissä yleensä on vapaata kapasiteettia latauspisteiden tehoja varten, koska keskijänniteliittymät on alun perin mitoitettu suuritehoisiksi, yhdestä kahteen megawattia. Toimi-joilla, joilla on pienjänniteliittymät latauspisteiden lisäys tarkoittaa yleensä liittymän suurennosta tai toista erillistä latauspisteiden liittymää tontille.

7.6 Automyymälät ja -korjaamot

Autoalan toimijoille sähköautoilu tarkoittaa myös murrosta. Automyymälöissä ja -korjaamoilla on tulevaisuudessa oltava mahdollisuus ladata sähköautoja, koska niitä myydään, huolletaan tai kor-jataan näissä yrityksissä. Jo tänä päivänä joutuvat autoja maahantuovat myymälät rakentamaan latauspisteitä automerkkikohtaisten vaatimusten mukaisesti. Merkkikohtaiset latauspisteiden te-hovaatimukset ja niiden toteutusaikataulut vaihtelevat. Kuitenkin viime aikoina tulleiden liittymä-kyselyiden perusteella lähivuosina tulee automyymälöissä olla useampi peruslatauspiste ja myö-hemmin tulevaisuudessa tehokkaampia pikalatauspisteitä lisäksi. Automyymälöiden liittymäkyselyiden ja liittymäneuvottelujen perusteella todennäköisesti tehdään kaikki latauspis-teet kerralla valmiiksi jo ensivaiheessa ja suurennetaan nykyistä liittymää riittävästi tai ostetaan

toinen liittymä latauspisteitä varten. Tämä tarkoittaa karkeasti 100–200 kW tehon lisäystä per automyymälä. Vastaavasti autokorjaamoille tulee ainakin peruslatauspisteitä, joten niiden tehot voidaan arvioida kasvavan 20 - 50 kW per korjaamo riippuen korjaamon koosta.

7.7 Latauspistetoimijat

Suomessa toimii myös erillisiä latauspistetoimijoita, jotka eivät ole minkään aiemmin mainitun ryhmän kuten kaupparyhmien omia latauspistetoimijoita. Latauspistetoimijat pyrkivät tekemään latauksesta kaupallisesti kannattavaa toimintaa. Latauspistetoimijalla tarkoitetaan myös automerkkien omia latauspistetoimijoita, jolloin niiden latauspisteet ovat ainakin pääasiassa tarkoitettu oman automerkin käyttöön ja sitä kautta edistävät automerkin myyntiä, mutta myös palvelevat muiden merkkien sähköautojen lataajia. Latauspistetoimijat aloittivat pienillä peruslatauspisteillä vuosia sitten, mutta nyt latauspisteiden määrät ovat kasvaneet ja tehot ovat nousseet pikalataustasolle. Teholuokat sähköliittymien osalta voivat näissä vaihdella suuresti, 100 kW:sta kahteen megawattiin saakka. Latauspisteiden osalta tehot ovat lataustavan 4 mukaisia 50 – 350 kW:n välillä. Latauspistetoimijoiden latauspisteitä tulee pääasiassa sinne missä autoja pysäköidään ja missä on tarvetta nopealle lataukselle kuten esimerkiksi kauppakeskittymät, valtateiden huoltoasemat, kaupunkien keskustat ja muut liikenteen solmukohtien nopean pysähdyksen paikat. Sähkönjakeluverkon kannalta lataustoimijan liittymä tarkoittaa toista liittymää samalla tontilla. Liittymä voi olla joko suuri tai suurehko pienjänniteliittymä tai suuritehoisella latauspisteellä keskijänniteliittymä. ASV:n verkkoon on jo liittynyt useampi latauspistetoimija tarjoamaan sähköautojen latauspistepalvelua.

8 Skenaarioiden laskentatulokset

Tässä luvussa tarkastellaan koti- ja työpaikkalatauksien skenaarioiden vaikutusta ASV:n jakeluverkkoon verkkotietojärjestelmästä saaduista laskentatuloksista.

8.1 Skenaarioissa tarkasteltavat komponentit

Verkkotietojärjestelmän laskentatuloksista tutkittiin vaikutuksia muuntajien, pienjännitekaapeleiden ja liittymien kuormitusasteeseen sekä liittymien jännitteenalenukseen. Lisäksi tarkasteltiin vai-

kutuksia keskijännitejohtolähtöjen ja sähköasemien päämuuntajien kuormitukseen. Näiden perusteella oli tarkoitus saada kattava kuva latauspisteiden vaikutuksista ASV:n jakeluverkkoon. Muuntajien ja liittymien kuormitusasteita tarkasteltiin kappalemäärissä. Ylikuormassa olevia pienjännitekaapeleita tarkasteltiin johtometreittain. Jännitteenalenemaa liittymillä tarkasteltiin sähkönlaatustandardin (SFS-EN 50160 2010) mukaista 10 % muutosta nimellisjännitteestä eli alijännitettä. Kokonaismäärinä komponentteina oli tarkasteluhetkellä seuraavat: 10209 kpl liittymiä, 965 000 m pj-kaapelia ja 73 kpl keskijännitejohtolähtöjä. Kokonaismäärät eivät vastaa täysin laskettua verkkoa, koska kokonaismäärästä on poistettu puutteellisten tietojen vuoksi muutamia tutkimuskohteita esimerkiksi liittymiä miltä puuttui pääsulaketieto. Skenaarioiden tuloksien määrissä ei ole huomioitu lähtötilanteen määriä, mitkä olivat valmiiksi yli raja-arvojen dokumentointivirheiden vuoksi. Nämä yli raja-arvojen määrät on valmiiksi vähennetty skenaarioiden tuloksista. Keskijännitejohtolähtöjen ja päämuuntajien kuormituksia tarkasteltiin vertailemalla nykytilanteen kuormitusta skenaarioiden lisääntyneeseen kuormitukseen. Lähtötilanteen keskijännitejohtolähtöjen laskennallinen huippukuorma oli n 150 MW:a. Laskennallinen huippukuorma ei ota huomioon kuormitusten risteilyä. Todellisuudessa ASV:n talven huippukuorma on noin 120 MW:ia.

8.2 Skenaario 1 vaikutukset jakeluverkkoon

Skenaarion 1 mukaan 25 % autokannasta olisi sähköautoja. Skenaario 1 on hallituksen tavoitteiden mukainen vuodelle 2030. Taulukossa 2 on esitetty skenaarion 1 vaikutuksia jakeluverkkoon.

Taulukko 2. Skenaarion 1 vaikutukset jakeluverkkoon

Muuntajia yli- kuormassa		pienjännitekaapelia ylikuormassa		Liittymiä ylikuormassa		Jännitteenalenema liittymät		kuormituksen kasvu	
kpl	%	m	%	kpl	%	kpl	%	MW	%
84	16	4596	0,5	514	5,0	68	0,7	60	40

Kuten taulukosta 2 voi nähdä niin vaikutukset ovat prosenttiosuuksia tarkastellessa varsin maltilliset muuntajia lukuun ottamatta. Muuntajien osalta ylikuormassa on noin joka kuudes muuntaja,

joka on merkittävä osuus kokonaismäärästä. Pienjänniteverkon vaikutukset kaapeleilla ovat vähäiset ja jäävät puoleen prosenttiin kokonaismäärästä. Liittymillä jännitteenalenemaa on vähän, mutta ylikuormittuneita liittymiä on 5 %. Vaikutukset jäävät pienjänniteverkon osalta paikallisiksi.

Keskijänniteverkon verkon kuormitus kasvaa kokonaisuudessaan skenaariossa 1 noin 60 MW:a, joka on merkittävästi ASV:n verkossa. Kasvu merkitsisi noin 40 % prosentin huippukuormituksen kasvua laskennalliseen verrattuna. Se tarkoittaisi uuden sähköaseman rakentamista ja kolmen päämuuntajan lisäämistä verkkoon, joten niiden osalta kasvun vaikutus on merkittävä. Keskijännitejohtolähdön teho kasvaa keskimäärin n 0,8 MVA, minkä nykyinen keskijänniteverkko normaalilanteessa kestää hyvin. Skenaarion 1 vaikutukset jäävät keskijänniteverkon osalta sähköasemille.

8.3 Skenaario 2 vaikutukset jakeluverkkoon

Skenaarion 2 mukaan 37 % autokannasta olisi sähköautoja. Skenaario 2 on hallituksen tavoitteita suurempi vuodelle 2030. Taulukossa 3 on esitetty skenaarion 2 vaikutuksia jakeluverkkoon.

Taulukko 3. Skenaarion 2 vaikutukset jakeluverkkoon

Muuntajia yli- kuormassa		pienjännitekaapelia ylikuormassa		Liittymiä ylikuormassa		Jännitteenalenema liittymät		kuormituksen kasvu	
kpl	%	m	%	kpl	%	kpl	%	MW	%
140	27	9853	1,0	621	6,1	104	1,0	96	64

Kuten taulukosta 3 voi nähdä niin vaikutukset ovat prosenttiosuuksia tarkastellessa varsin maltilliset muuntajia lukuun ottamatta kuten skenaariossa 1. Muuntajien osalta ylikuormassa on noin joka neljäs muuntaja, joka on merkittävä osuus kokonaismäärästä. Pienjänniteverkon vaikutukset kaapeleille skenaariossa 2 jäävät prosenttiin kokonaismäärästä. Kuitenkin kokonaismäärä on lähes 10 km, joka on suuri määrä. Liittymillä jännitteenalenemaa vähäisesti, mutta ylikuormassa olevia liittymiä yli 6 %. Vaikutukset ovat skenaarion 1 suuntaisia, mutta on ylikuormitus vaikutusta muuntajille, liittymille ja pienjännitekaapeleille. Vaikutukset jäävät pienjänniteverkon osalta kuitenkin paikallisiksi.

Keskijänniteverkon verkon kuormitus kasvaa kokonaisuudessaan skenaariossa 2 noin 96 MW:a, joka on todella merkittävästi ASV:n verkossa. Kasvu merkitsisi yli 60 % prosenttien huippukuormituksen kasvua laskennalliseen verrattuna. Se tarkoittaisi vähintään kahden uuden sähköaseman rakentamista ja viiden päämuuntajan lisäämistä verkkoon, joten niiden osalta kasvun vaikutus on todella merkittävä. Keskijännitejohtolähdön teho kasvaa keskimäärin n 1,3 MVA, minkä nykyinen keskijänniteverkko normaalitilanteessa kestää hyvin. Skenaarion 2 vaikutukset jäävät keskijänniteverkon osalta myös sähköasemille.

8.4 Skenaario 3 vaikutukset jakeluverkkoon

Skenaarion 3 mukaan 13 % autokannasta olisi sähköautoja. Skenaario 3 oli skenaarioista 1 ja 2 johdatellen välitavoite vuodelle 2025. Taulukossa 4 on esitetty skenaarion 3 vaikutuksia jakeluverkkoon.

Taulukko 4. Skenaarion 3 vaikutukset jakeluverkkoon

Muuntajia ylikuormassa		pienjännitekaapelia ylikuormassa		Liittymiä ylikuormassa		Jännitteenalenema liittymät		kuormituksen kasvu	
kpl	%	m	%	kpl	%	kpl	%	MW	%
18	3	1219	0,1	117	1,1	16	0,2	18	12

Kuten taulukosta 4 voi nähdä niin vaikutukset ovat prosenttiosuuksia tarkastellessa varsin maltilliset myös muuntajien osalta skenaariossa 3. Muuntajien osalta ylikuormassa on noin joka kolmas-kymmenes muuntaja, joka on vähäinen osuus kokonaismäärästä. Pienjänniteverkon liittymillä ja kaapeleilla vaikutukset ovat myös vähäiset. Ylikuormassa liittymiä on noin prosentti tai jännitteenalenemaliittymiä vähäisesti kokonaismäärästä. Vaikutukset jäävät pienjänniteverkon osalta vähäisiksi ja paikallisiksi.

Keskijänniteverkon verkon kuormitus kasvaa kokonaisuudessaan skenaariossa 3 noin 18 MW:a, joka on paljon ASV:n verkossa. Kasvu merkitsisi noin 12 % prosenttien huippukuormituksen kasvua laskennalliseen verrattuna. Se tarkoittaisi uuden sähköaseman rakentamista ja päämuuntajan lisäämistä verkkoon, joten niiden osalta kasvun vaikutus on merkittävä. Keskijännitejohtolähdön

teho kasvaa keskimäärin noin 0,25 MVA, minkä nykyinen keskijänniteverkko normaalitilanteessa kestää hyvin. Skenaarion 3 vaikutukset jäävät keskijänniteverkon osalta sähköasemien päämuuntajille.

8.5 Yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista jakeluverkkoon

Tässä kappaleessa esitetään yhteenveto skenaarioiden laskentatuloksista sekä niiden vertailua.

Taulukko 5. Skenaarioiden vaikutukset muuntajiin

	Muuntajia ylikuormassa		tehon kasvu keskimäärin muuntaja		Yli 200 % kuormitusaste
	kpl	%	kVA	%	kpl
Skenaario 1, 25%	84	16	124	55	12
Skenaario 2, 37%	140	27	197	88	26
Skenaario 3, 13%	18	3	40	18	1

Taulukosta 5 voi huomata, että vaikutukset eri skenaarioilla vaikuttavat suuresti muuntajiin. Skenaariossa 2 yli neljännes muuntajista on ylikuormassa ja skenaariossa 1 joka kuudes, kun taas skenaariossa 3 ylikuormittuneiden muuntajien määrä on vähäinen. Kaikki ylikuormassa olevat muuntajat ovat ASV:n omistamissa jakelumuuntamoissa. Keskijänniteliittymien asiakkaiden muuntajia ei ylikuormittanut tarkastelussa. Tämä johtuu siitä, että KJ-liittymillä on vain yksi käyttöpaikka ja sen kuormituksen vaikutus vähäinen liittymän kokoon ja vapaaseen kapasiteettiin. Skenaarioissa keskimääräinen tehon lisäys per muuntaja vaihtelivat 40 – 197 kW:n välillä ja prosenteissa tarkasteluna 18 - 88 % välillä verrattuna laskennalliseen nykyiseen kuormitukseen. ASV:n verkossa käytetään muuntajissa vakiokoot ovat pääasiassa 315, 500 ja 800 kVA. Tarvittaessa tapauskohtaisesti käytetään suurempiakin muuntajia 1000 tai 1250 kVA. Tehon lisäykset ovat monessa muuntajassa merkittäviä varsinkin skenaarion 2 suurimmat tehon lisäykset. Esimerkiksi eniten ASV:n käytössä olevalla 500 kVA:n muuntajakoneella tehon lisäykset vaihtelevat eri skenaarioilla 8 – 40 % välillä verrattuna laskennalliseen nykyiseen kuormitukseen.

Kaikissa skenaarioissa muuntajien kuormitus nousee joillain muuntajilla yli kaksinkertaiseksi nykyiseen muuntajaan verrattuna. Taulukossa 5 on esitetty yli 200 % kuormitusasteisten muuntajien

määrät, jotka vaihtelevat 1 – 26 muuntajaan eri skenaarioilla. Skenaarioilla 1 ja 2 suurimmat kuormitusasteet muuntajilla ovat yli 300 %. Suuret kuormitusasteet ovat pääosin työpaikka- ja kerrostaloalueilla, mutta mukana on myös muuntajia, joilla on suuri määrä omakotitaloja. Suuren kuormitusasteen muuntajilla on syötettävänä paljon käyttöpaikkoja, ja muuntajat ovat jo nykyisellään suuressa kuormituksessa. Kokonaisuudessaan kuormitusasteista voidaan todeta, että joillain muuntajilla latauspisteiden vaikutukset voivat olla merkittäviä.

Taulukko 6. Skenaarion 2 vaikutukset alueellisesti ylikuormittuneihin muuntajiin

Postinumero	Muuntajat ylikuormassa / kpl
40100 Keskusta	32
40320 Seppälän teollisuusalue	18
40520 Kuokkala-Ristikivi	17
40530 Keljonkangas	16
40340 Huhtasuo	12
40200 Mannila-Taulumäki	10
40250 Ritoniemi-Lohikoski	10
40740 Kortepohja	7
40600 Mattilanpelto	6
40700 Mäki-Matti	5
40500 Keljo-Ristonmaa	4
40640 Keltinmäki	4
40720 Nisula	4
40400 Halssila	3
40700 Keljo-Ristonmaa	1

Taulukossa 6 on esitetty suurimman kulutuksen skenaarion 2 ylikuormittuneet muuntajat alueellisesti postinumeron perusteella. Alueellisesti ylikuormittuneet muuntajat ovat hajautuneet ympäri ASV:n jakeluverkkoa kuten taulukosta 6 voi huomata. Ylikuormittuneita muuntamoita on niin omakotitalo-, kerrostalo- kuin työpaikka-alueillakin. Kuitenkin eniten ylikuormittuneita on keskustan alueella, koska siellä on myös eniten käyttöpaikkoja. Yli 15 kpl ylikuormittuneita muuntajia on Seppälän, Kuokkala-Ristikiven ja Keljonkankaan alueella eli hajautetusti ympäri ASV:n jakelualuetta. Myös näillä alueilla paljon on käyttöpaikkoja. Toisaalta alueet ovat erilaisia; Seppälän alue on työpaikka- ja kerrostaloalue ja Kuokkala-Ristikivi ja Keljonkangas rivitalo- ja omakotitaloalueita. Kokonaisuudessaan latauspisteiden vaikutukset siis hajautuvat ympäri ASV:n jakelualuetta ja erilaisille

sähkökäyttäjille. Trimble NIS -verkkotiejärjestelmässä muuntajien tuloksia pystyy analysoimaan visuaalisesti alueellisesti paremmin kuin taulukkomuodossa. Liitteessä 1 on esitetty maantieteellisesti ylikuormassa olevat muuntajat skenaariossa 2 ASV:n jakelualueella.

Taulukko 7. Skenaarioiden vaikutukset pienjännitekaapeleihin ja liittymiin.

	Liittymiä ylikuormassa		Jännitteenalenema liittymät		Pienjännitekaapelia ylikuormassa	
	kpl	%	kpl	%	m	%
Skenaario 1, 25%	514	5,0	68	0,7	4596	0,5
Skenaario 2, 37%	621	6,1	104	1,0	9853	1,0
Skenaario 3, 13%	117	1,1	16	0,2	1219	0,1

Nykyisessä tilanteessa ASV:n jakeluverkossa on laskennallisesti noin 100 liittymää ylikuormassa, joka on noin prosentti kokonaismäärästä. Ylikuormitetut liittymät nykytilanteessa johtuvat muutamilta osin dokumentointivirheistä, mutta pääosin pienistä liittymistä (pääsulake 25A tai pienempi) joissa kulutus on hieman yli pääsulakkeen. Skenaarioiden ylikuormitettujen liittymien osuus vaihteli välillä 1,1 – 6,1 % kokonaismäärästä. Skenaarioiden ylikuormitetuista liittymistä kolmasosa oli omakoti- tai paritaloliittymiä. Loput kaksi kolmasosaa oli suurempia liittymiä. Suuremmat liittymät ovat pääosin rivi- tai kerrostaloja, mutta mukana myös muutamia työpaikkakiinteistöjä. Skenaarioissa 1 ja 2 liittymien kuormitusaste oli yli 200 % joka kuudennessa liittymässä. Tämä tarkoittaa, että niiden liittymien käyttöpaikoille oli lisätty paljon sähköauton latausta tai liittymä oli jo valmiiksi suuressa kuormitusasteessa. Osin liittymillä kuormitus kasvoi liiaksi ja vaikutti ylikuormitetuihin kaapeleiden sekä alijännitteisten liittymien tuloksiin kasvattavasti.

Tällä hetkellä ASV:n jakeluverkossa laskennallisesti ei ole alijännitteisiä liittymiä yhtään kappaletta. Tästä johtuen alijännitteisiä liittymiä ei skenaarioissa juuri ole. Jännitteenalenemaa ei ole ongelma ASV:n kaupunkimaisessa verkossa, jossa kaapelointimatkat ovat lyhyitä ja muuntajakoot suuria verrattuna esimerkiksi taajamien ulkopuolelle rakennettuihin jakeluverkkoihin. Taulukon 7 skenaarioiden jännitteenalenema liittymät johtuvat pääosin suurista muuntajan kuormitusasteista, jolloin jännitteenalenema on jo muuntajalla useamman prosentin lähtötilanteessa. Kuitenkin joillain liit-

tymillä on liian pieni poikkipintaisten liittymiskaapelit ja niitä ketjutettu tontilta toiselle, jolloin jännitteenalenemaa liittymällä tulee kuormituksen kasvaessa. Osin jännitteenalenemat johtuvat skenaarion aiheuttamasta ylisuuresta liittymän kuormituksesta. Alueellisesti jännitteenalenemaliittymät painottuvat samoihin alueihin kuin ylikuormassa olevat liittymät ja muuntamot eli koko ASV:n jakelualueelle. Kokonaisuudessaan jännitteenaleneman osalta ASV:n jakeluverkossa tilanne on hyvä.

Nykytilanteessa ASV:n jakeluverkossa laskennallisesti ei ole juurikaan ylikuormassa olevia pienjännitekaapeleita. Käytettävät kaapelipoikkipinnat ovat kaupunkimaisesta verkosta johtuen suurehkoja, ja niissä on kapasiteettia kuormituksen kasvuun. Tästä johtuen taulukossa 7 esitetyt skenaarioiden ylikuormassa olevat pienjännitekaapelien osuudet ovat vähäisiä kokonaismäärästä.

Skenaariossa 2 on pienjännitekaapelia ylikuormassa lähes 10 km, joka on suuri määrä. Varsinkin jos kaapelit ovat uusia tai sijoittuvat vaikean kaivuolosuhteen alueelle kuten esimerkiksi keskustaan. Ylikuormassa olevat kaapelit skenaarioissa johtuvat osin ylisuuresta liittymän kuormituksesta ja ketjutetuista liittymiskaapeleista kuten jännitteenalenemaliittymillä. Kuitenkin joukossa on myös muutamia jakokaappien runkokaapeleita ylikuormassa. Alueellisesti ylikuormassa olevat pienjännitekaapelointit painottuvat samoihin alueihin kuin ylikuormassa olevat muuntamot ja liittymät eli koko ASV:n jakelualueelle. Kokonaisuudessaan pienjännitekaapelointien kuormitusasteiden osalta ASV:n jakeluverkossa tilanne on hyvä ja vaikutukset jäävät paikallisiksi.

Keskijänniteverkko sekä sähkö- ja kytkinasemat

Taulukko 8. Skenaarioiden tehojen kasvun vaikutukset sähkö- ja kytkinasemiin

	Sähköasemat / MVA						Yhteensä	Kytkinasemat / MVA	
	Eteläportti	Hämeenlahti	Kangasvuori	Keljo	Savela	Tourula		Kirkkopuisto	Nisula
Skenaario 1, 25%	5,0	4,0	17,6	2,3	15,1	15,4	59,4	3,1	11,8
Skenaario 2, 37%	7,0	10,3	23,3	6,3	25,4	23,4	95,8	4,4	16,1
Skenaario 3, 13%	0,4	1,1	4,4	1,0	6,5	5,0	18,3	2,1	5,9

Taulukosta 8 voi huomata, että skenaarioiden tehojen kasvun vaikutukset ovat merkittäviä. ASV:n jakeluverkon huippukuorma on talvella noin 120 MVA, joten skenaarioiden kasvaneet tehot siihen suhteutettuna todella suuria. Skenaarioiden tehojen kasvut vaatisivat uusien sähköasemien rakentamista. Skenaarioiden 1 ja 2 osalta tehojen kasvun tulokset ovat liian suuria ja niiden tuloksia ei voida

pitää koko jakeluverkon osalta realistisena toteutua skenaarioiden sähköautojen määrillä. Syynä tähän on, että laskennassa ei otettua huomioon kulutuksien risteilyä. Kuormitukset summautuivat liiaksi samaan ajankohtaan ja vääristivät tuloksia liikaa tehon kasvusta koko jakeluverkkoon ja sähköasemille.

Skenaarion 3 tulokset ovat puolestaan osin suuria, mutta osin myös maltillisia joidenkin sähköasemien osalta. Tehon kasvu jakeluverkossa kokonaisuudessaan skenaariossa on yli 18 MVA, joka tarkoittaa lähes päämuuntajan verran tehon kasvua jakeluverkkoon. ASV:n jakeluverkossa on tällä hetkellä 10 päämuuntajaa, jotka ovat teholtaan 25 – 32 MVA. Skenaariossa 3 sähköautoja on 13 % prosenttia autokannasta ja niitä ladattaisiin kaikkia yhtä aikaa. Tämä on mahdollista, mutta ei ole todennäköistä vielä oletettuna vuonna 2025 vaan myöhemmin tulevaisuudessa. Kokonaisuudessaan skenaarioista saatuja tuloksia tehon kasvuista sähkö- ja kytkinasemille sekä jakeluverkkoon ei voida pitää realistisina vielä vuosina 2025 tai 2030. Kuitenkin on huomioitava, että sähköautojen latauksella on merkittäviä vaikutuksia sähkö- ja kytkinasemille, jos latausajankohdat ajoittuvat samaan aikaan huippukuormituksen kanssa myös skenaariossa 3.

Sähköasemien keskijännitejohtolähtöjen tehojen kasvut skenaarioissa vaihtelivat keskimäärin 250 – 1300 kVA:iin. KJ-johtolähdöissä on laskettu mukaan kytkinasemien syöttämät johtolähdöt, jotka hieman kasvattavat tuloksia suuren tehojen kasvun johdosta. Suurimmillaan kj-johtolähdön teho kasvoi 6000 kVA, mutta pääosin tehojen kasvut olivat maltillisia alle 1 000 kVA:n. Nykyisellään keskimääräinen kj-johtolähdön teho on noin 2000 kVA, joten kasvu suurimmillaan skenaariossa 2 tarkoittaisi keskimäärin kuitenkin alle 3500 kVA:n tehoa johtolähdössä. ASV:n jakeluverkkoon on asennettu jo vuosia keskijännitekaapeleita, joiden kuormitettavuus on yli 10 000 kVA. Keskijännitekaapelointien osalta tehojen kasvu skenaarioissa on hallittavissa. Vaikutukset ovat joidenkin johtolähtöjen osalta suuria. Näissä johtolähdöissä on jo nykyiselläänkin paljon kuormitusta.

9 Latauspisteiden huomioiminen verkostosuunnittelussa

Latauspisteiden määrän lisääntyessä tulevaisuudessa on verkostosuunnittelussa varauduttava jo nyt rakennettavalla verkolla tulevaisuuden tarpeisiin taloudellisesti järkevien mahdollisuuksien mukaan. Tässä luvussa tarkastellaan verkostosuunnittelun varautumista latauspisteisiin jänniteta-soittain ja komponentein. Tarkastelua on tehty skenaarioiden tulosten ja oman kokemuseräisen tiedon sekä alan toimijoiden tutkimusten ja johtopäätösten perusteella.

9.1 Sähköasemat ja keskijänniteverkko

Tutkimuksen verkostolaskentatuloksien perustella todettiin, että koti- ja työpaikkalatauksilla on merkittäviä vaikutuksia jakeluverkon kokonaiskuormituksen tehon kasvuun tulevaisuudessa. Jakeluverkkoon tulisi skenaarioiden perusteella rakentaa uusia sähköasemia. Keskijännitejohtolähtöjen osalta tilanne on kuitenkin hallittavissa vielä tehojen kasvun osalta. Sähköasemien ja johtolähtöjen korvaustilanteita varten tulee niissä olla vapaata kapasiteettia normaalissa tilanteessa myös tulevaisuudessa. Näin ollen suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota sähköasema ja päämuuntaja tarpeisiin tulevaisuudessa. Keskijännitekaapelointien osalta nykyiset käytettävät kaapeloinnit ovat riittäviä.

Suuret latauspistetoimijat saattavat rakentaa suuritehoisia pikalatausasemia parkkialueille ja muihin liikenteen solmukohtiin ASV:n jakelualueelle. Sähköliittymän osalta tämä tarkoittaa mahdollisesti omaa keskijänniteliittymää latauspistetoimijalle. Tällöin muuntamon rakentaminen ja rakennuslupa-asiat kuuluvat liittyjälle ja ASV:n toimitukseen kuuluu keskijännitekaapeloinnit muuntamolle. ASV:n kaupunkiverkossa kaapelointi ei ole ongelma tiheästi rakennetun verkkomuodon ansiosta, ja rakentamiskustannukset pysyvät maltillisina lyhyiden etäisyyksien ansiosta vaikkakin haasteellisia rakentamiskohteita on mm kaupungin keskusta ja sen tuntumassa olevat tiiviit alueet.

Latauspistetoimijan keskijännitesähköliittymän teho jäänee yleisesti alle 2 MVA:in, vaikka sisältäisi useita suuritehoisia (yli 100 kW) pikalatauspisteitä. Latauspistetoimijan keskijänniteliittymän kuormitettavuus ei ole ongelma keskijännitejakeluverkon osalta. Toinen mahdollisuus suuritehoisien pikalatausasemien rakentamisella on ainakin kauppakeskittymien alueella liittyä nykyiseen keskijänniteliittymään ja suurentaa nykyistä keskijänniteliittymää tarvittaessa vapaan kapasiteetin mukaan. Liittymän korotuksissa todennäköisesti kuormitettavuus ei ole ongelma, koska silloinkin keskijänniteliittymän teho jäänee kokonaisuudessa alle 3 MVA:n. Kuitenkin jos samaan johtolähtöön tulee paljon latauskuormaa jo ennestään suuren kulutuksen lisäksi, on syytä tarkastella keskijänniteverkon jakorajojen muutosta ja mahdollisesti sähköaseman uuden johtolähdön rakentamista alueen syöttämiseksi. ASV:n jakelualueella tämä tarkoittaa ainakin Seppälän ja Keljon kauppakeskusalueiden syöttävien keskijännitejohtolähtöjen tehojen vuosittaista tarkkailua. Latauspistetoimijoiden uusien keskijänniteliittymien tarkempia paikkoja on lähes mahdotonta ennustaa, joten on

vaikea valmistautua niihin muuten kuin varautua katujen alituksissa varaputkituksilla tuleviin kaapelointeihin.

9.2 Pienjännitekaapeloinnit ja liittymät

Tulevaisuudessa sähköautojen latauspisteitä varten suurennetaan olevia liittymiä ja lisäksi tulee uusia liittymiä oleville tonteille. Liittymien suurennokset koskevat kaikkia sähkönkäyttäjiä ja uudet latauspisteliihtymät muita kuin omakoti- ja paritaloja. Jo tällä hetkellä omakoti- ja paritaloissa liittymiä suurennetaan seuraavaan pääsulake kokoon ASV:n jakeluverkossa kuukausittain. Syynä on normaalisti sähköauton latauksen aiheuttama kuormituksen kasvu. Myös rivi- ja kerrostaloissa suurennetaan sähköliittymiä jo tällä hetkellä, mutta enemmänkin satunaisesti sähköautojen latauspisteiden vuoksi. Rivi- ja kerrostaloissa ensimmäiset muutamat latauspisteet pystytään normaalisti lisäämään liittymän vapaaseen kapasiteettiin. Kuitenkin tulevaisuudessa sähköautojen lataus lisääntyy merkittävästi rivi- ja kerrostaloissa.

Työpaikkakiinteistöistä ei ole juurikaan tullut liittymän suurennuskyselyjä tai suurennoksia ASV:n jakeluverkon suunnitteluun. Normaalisti työpaikkakiinteistöjen pääsulakkeet ovat suurehkoja ja niissä yleensä vapaata kapasiteettia ensimmäisiä sähköautojen latauspisteitä. Työpaikkalatauksen laskutuskäytännöt työntekijöiltä vielä kirjavia ja sekin osin jarruttaa latauspisteiden lisääntymistä työpaikoilla ainakin toistaiseksi. Kuitenkin tulevaisuudessa sähköautojen lisääntyä on työpaikoille tultava runsaasti latauspisteitä työntekijöille. Tilanne on työpaikkakiinteistöjen sekä rivi- ja kerrostalojen osalta samansuuntainen tulevaisuudessa.

Omakoti- ja paritaloliittymille ASV:n jakeluverkossa nykyisin käytettävä liittymiskaapeli on riittävä myös liittymän suurennokselle, joten sitä ei ole tarvetta muuttaa. Muille asuin- ja työpaikkakiinteistöjen liittymille tilanne onkin haastavampi ja on pohdittava, muutetaanko käytettävää kaapelilajia vahvemmaksi vai asennettaanko liittymille rinnalle toinen kaapeli jo valmiiksi. Toisella kaapelilla saavutetaan ainakin riittävän suuri pääsulake yhdelle liittymälle ja mahdollisesti kuorman jakautumisen kahdelle liittymälle ja kaapelille, kiinteistölle ja parkkialueen latauspisteille. Toisaalta toinen kaapeli lisää kustannuksia ja on mahdollista, ettei kaapeli tulekaan käyttöön liittymällä. Vahvemman kaapelin käyttäminen liittymille on varmempaa ja sitä onkin jo käytetty suunnittelussa joillain alueilla. Kuitenkin kokemukseräisesti on arvioitava tulevaisuudessa, kumpaan käyttöön suunnittelussa kaapelointiratkaisuista päädytään liittymillä.

Pysäköintialueille on suunniteltu erilliset liittymiskaapeloinnit jo nykyisellään, jos se on ollut erillisenä tonttina. Suunnittelussa on tulevaisuudessa varauduttava pysäköintialueiden liittymien koon kasvuun niin olevien kuin uusienkin osalta. Uusille pysäköintialueille on suunniteltava nykyistä liittymääräviä vahvempaa kaapelointia. On varauduttava, että pysäköintialueille tulee muutamia tehokkaampia (22 kW) peruslatauspisteitä muiden latauspisteiden lisäksi. Kiinteistöjen yhteydessä samalla tontilla olevien pysäköintialueiden kanssa on myös sama tilanne, että mahdollisia tehokkaampia peruslatauspisteitä tulee myös niihin.

Autoalan toimijoiden osalta tulee liittymän korotuksia korjaamoille, automyymälöille ja huoltoasemille. On mahdollista, että automyymälöille ja huoltoasemille tilataan toinen liittymä tontille latauspisteitä varten tulevaisuudessa. Korjaamoilla tehon lisäys on todennäköisesti maltillinen, yleensä yksi tai kaksi porrasta nykyistä pääsulaketta suurempi. Tämä tarkoittaa liittymiskaapelin uusimista niin liittyjän kustannuksella tontilla kuin ASV:n jakeluverkon osalta tontin ulkopuolella. Automyymälöiden ja huoltoasemien tehon lisäykset voivat olla merkittäviä muuntopiirin osalta. Tehon kasvut voivat olla satoja kilowatteja, joten uudet liittymiskaapelit joudutaan rakentamaan joka tapauksessa. Suurennettiin sitten tontilla olevaa nykyistä liittymää tai tilattaisiin uusi toinen liittymä latauspistettä varten. Suunnittelussa on saneerausalueilla lisäkaapelointiin helpompi varautua, kun tiedetään millä tonteilla autoalan toimijat ovat. Uusilla alueilla suunnittelun onkin mahdotonta tietää, mille tontille autoalan toimijoita on tulossa, jos ei ole tiedottanut aikeistaan ennen alueen katurakentamista esimerkiksi paikallislehdessä.

Kaupan alan toimijoiden parkkipaikoilla on vastaava tilanne kuin autoalan toimijoilla. Latauspisteet voivat olla tehokkaita pikalatauspisteitä tai sitten peruslatauspisteitä riippuen sijainnista ja toimijasta. Kaupanalan toimija voi sopia latauksen järjestämisestä erillisen latauspistetoimijan kanssa. Tämä yleensä tarkoittaa tehokkaita pikalatauspisteitä. Lisäksi erillisten latauspistetoimijoiden pikalatauspisteitä voi tulla jakeluverkon kannalta minne vain. Suunnittelun osalta kaupan ala ja erilliset latauspistetoimijat ovat hyvin haastavia, koska latauspisteiden tehoskaala on laaja. Suunnittelussa on varauduttava vahvemmillä ja uusilla kaapeloinneilla sekä varaputkituksilla mahdollisuuksien mukaan muun infran rakentamisen mukana.

Suunnittelussa on varauduttava pienjänniteliittymien koon kasvuun kaikkien sähkön käyttäjien osalta. Lisäksi tapauskohtaisesti on varauduttava mahdolliseen toiseen liittymään tonteilla latauspisteelle. Latauspisteisiin voi varautua asentamalla varaputkituksia katujen alle muun rakentamisen yhteydessä nykyistä enemmän, jolloin kustannukset pysyvät maltillisina. Juuri katujen poikutukset pintarakenteineen ja liikennejärjestelyineen lisäävät kaapelointikustannuksia merkittävästi. Varaputkitukset ovat käytössä myös muihin kaapelointeihin tarvittaessa.

9.3 Muuntamot

ASV:llä on omia jakelumuuntamoita alueellaan hieman yli 500 kappaletta ja lisäksi asiakasmuuntamoita on yli 100 kappaletta. Vanhimmat ASV:n muuntamot ovat 70-luvulta ja vuosittain muuntamoita saneerataan muutamia kappaleita. Muuntamot ovat pääasiassa puisto- tai kiinteistömuuntamoita, mutta ASV:n jakeluverkossa on myös ilmajohtoon liittyviä pylväsmuuntamoita noin 15 kappaletta. Muuntamoiden kuormitusasteet vaihtelevat suuresti, kun alueet ja niiden kuormitukset ovat osin muuttuneet vuosien aikana. ASV:n jakeluverkossa käytetään suurehkoja muuntajakoneita. Vakiomuuntajakoot ovat 315, 500 ja 800kVA ja lisäksi tarvittaessa käytetään suurempiakin, mutta kuitenkin vältetään yli 1000 kVA:n muuntajakoneita niiden haastavan korvattavuuden osalta, huolto- ja vikatilanteissa. Osa muuntamoista on hyvinkin korkeassa kuormitusasteessa jo tällä hetkellä, mutta keskiarvokuormitusaste ASV:n muuntamoissa 46 %, joten uusien ja nykyisten liittymien lisäkuormitusta varten on vapaata kapasiteettia yleensä käytettävissä.

Skenaarioissa tutkittiin latauspisteiden vaikutuksia muuntamoiden kuormitukseen ja todettiin, että ylikuormassa olevien muuntamoiden määrä lisääntyy sähköautojen ja latauspisteiden määrän kasvussa. Uusia muuntamoita suunniteltaessa onkin huomioitava tulevaisuuden skenaariot sähköautojen latauksesta ja mahdollisesti valittava seuraava suurempi muuntajakoko, mitä nykymitoituksella valittaisiin. Skenaarioissa tehon kasvut vaihtelivat 40 – 197 kW:n välillä per muuntaja. Suuremman muuntajakoneen hinta on muutaman tuhat euroa kalliimpi hankintahetkellä, mutta myöhemässä vaiheessa muuntajakoneen vaihtotyö maksaa noin tuhat euroa sekä lisäksi uuden muuntajakoneen hinta. Näin ollen muuntajakoneen mitoitusta riittäväksi on yksi suunnittelun tärkeimmistä asioista, jotta tehdään oikea investointi jakeluverkkoon.

Nykyisissä muuntamoissa on rajallinen määrä jonovarokeytkimiä eli sulakelähtöjä, jotka syöttävät jakeluverkon liittymiä ja jakokaappeja. Uusimissa muuntamoissa on enemmän jonovarokeytkimiä

noin 14 - 17 kpl, mutta vanhemmissa muuntamoissa saattaa olla vain 8 – 10 kpl. Joissain tapauksissa uusia liittymiä varten ei ole enää vapaita jonovarokelähtöjä, joten koko muuntamo joudutaan saneeraamaan uudeksi tai rakentamaan muuntamon viereen jakokaappi uusia liittymiä varten. Muuntamon viereen rakennettavaa jakokaappia pyritään välttämään, koska se ei ole järkevää verkon rakenteen eikä kustannusten kannalta pitkällä tähtäimellä. Uusien muuntamoiden jonovarokekytkimien määrä on pääosin riittävä, mutta joillain uusilla alueilla ei ole jäänyt vapaaksi jonovarokelähtöjä mahdollisille uusille liittymille. Jonovarokkeiden määrään suunnittelussa ei voida vaikuttaa, koska muuntamot ovat vakioratkaisuja sisällöltään. Tulevaisuudessa ASV:n onkin neuvoteltava muuntamoiden toimittajien kanssa, kuinka jonovarokemäärää saadaan lisättyä nykyiseen muuntamorakenteeseen. Jakokaapit mitoitetaan nykyäänkin niin, että niihin voidaan lisätä tarvittaessa jonovarokytkeviä uusia liittymiä varten, joten jakokaappien osalta suunnittelu on kunnossa jo tällä hetkellä.

Uusien ja saneerattavien alueiden suunnittelussa tulee kiinnittää enemmän huomioita muuntamon sijoitukseen ja sen syöttämään verkkoon ja kuormitukseen. Olisikin suositeltavampaa sijoittaa useampi muuntamo alueelle, niin ettei yhden muuntamon kuormitusteho kasva liian korkeaksi. Lisäksi käyttöön tulevien jonovarokkeidenkin määrä olisi riittävä, kun muuntamon syötössä olisi vähemmän liittymiä. Tämä helpottaisi huolto- ja vikatilanteissakin muuntamoiden korvattavuutta. Suunnittelussa tulee kiinnittää enemmän huomioita muuntamoiden sijoitukseen lähelle parkkialueita mahdollisten latausasemien uusien liittymien vuoksi. On myös huomioitava mahdolliset autoalan toimijat ja heidän tuleva lisätehon tarpeensa, jolloin muuntamot tulisi sijoittaa lähelle autoalan toimijoita. Kuitenkin muuntamoiden sijoitukseen vaikuttavat ainakin kaavoitus, olevat rakennukset, maanomistajat ja Jyväskylän Kaupungin rakennusvalvonta lupaviranomaisena. Saneerausalueilla muuntamot ovat pääasiassa sijoitettava nykyisen muuntamon viereen liittymien kiinteistöjen sähkötekniikan suojausten vuoksi. Suunnittelussa on kiinnitettävä enemmän huomiota muuntamoiden sijoitukseen ja päästävä neuvottelemaan kaavoituksen ja lupa viranomaisen kanssa aiempaa paremmin muuntamoiden sijoituksesta huomioiden latauspisteliittymät.

9.4 Yhteenveto

Sähköasemien ja päämuuntajien osalta tulee suunnittelussa varautua latauspisteiden aiheuttamaan tehojen kasvuun. Uusien sähköasemien suunnittelua on edistettävä ja nykyisten kytkinasemien muuttamista sähköasemiksi on tarkasteltava. Suunnitteluperusteisiin ei keskijänniteverkon

(20kV:n) kaapelointien mitoituksien osalta tarvitse tehdä muutoksia. Nykyinen kuormitettavuustaso keskijänniteverkon kaapeleilla on riittävä myös tulevaisuudessa ja uusien johtolähtöjen tarvetta arvioidaan alueen kokonaiskuorman kasvun mukaan. Keskijänniteverkkoon liittyvien muuntamoiden sijoitukseen ja tiheyteen on suunnittelussa kiinnitettävä huomioita. Muuntamoiden sijoitusta suunniteltaessa on huomioitava varsinkin erilliset parkkipaikat, autoalan toimijat ja kaupanalan toimijat. Muuntamot tulisi sijoittaa näiden lähituntumaan mahdollisuuksien mukaan, ainakin uusilla alueilla. Oletuksena on, että niihin tulee tulevaisuudessa lisätehon tarvetta tai nykyistä suunniteltua suuremmat liittymät. Muuntamoissa mitoituksen osalta muuntajakoneiden vakiokoista on yleensä valittava seuraava koko täyttämään tulevaisuuden tarve verrattuna nyky päivän mitoitukseen. Muuntamoiden jonovarokkeiden määrien lisäyksestä on neuvoteltava muuntamovalmistajien kanssa yhteistyössä.

Pienjännitekaapelointien osalta mitoituksessa on enemmän haasteita tulevaisuudessa, koska nykyiset liittymät suurenevat ja tonteille voi tulla useampi sähköliittymä. Varsinkin työpaikkakiinteistöissä sekä kerros- ja rivitaloissa varautuminen latauspisteisiin tarkoittaa pääasiassa vahvemman kaapelin valintaa verrattuna nykyiseen. Mahdollisesti joissain tapauksissa kannattaa asentaa rinnalle toinen kaapeli jo asennusvaiheessa, jos on tiedossa, että tontilla on suuri pysäköintialue. Pienjännitekaapelointien osalta on varauduttava vastaavasti kuin muuntamoiden sijoituksissa autoalan ja kaupanalan suureneviin tehoihin latauspisteiden vuoksi. Omakotialueilla nykyiset pienjännitekaapelointien mitoitusperusteet ovat riittävät. Varaputkituksia katujen alituksissa kannattaa asentaa useammalle kaapelille kuin nykyperusteilla suunnitellaan.

10 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää eri skenaarioilla, miten sähköautojen latauspisteiden kuormitukset vaikuttavat tulevaisuudessa jakeluverkon kuormitukseen alueittain ja eri komponenttien kuormituksiin. Suurimmat vaikutukset skenaarioiden tehojen kasvusta tulivat sähköasemille ja päämuuntajille. Koko verkon kuormitus kaikilla skenaarioilla kasvoi niin suureksi, että sähköasemia tulisi rakentaa lisää ja päämuuntajia lisätä nykyisille sähköasemille. Lisäksi nykyisten kahden 20kV:n kytkinaseman kuormitukset kasvoivat suureksi niin, että ne kannattaisi muuttaa sähköasemiksi tulevaisuudessa. Kytkinasemat sijaitsevat keskustassa, jossa oli suurin kuormituksen kasvu

kaikissa skenaarioissa. Keskustan lisäksi kuormitus kasvoi koko verkon alueella, mutta joillain erillisillä alueilla selkeästi enemmän kuin toisilla kuten Seppälä, Kuokkala-Ristikivi ja Keljonkangas. Alueelliset kuormitusten erot voi huomata liitteestä 1.

Seuraavaksi suurin vaikutus skenaarioiden tehojen kasvusta oli muuntajille. Suurimmillaan skenaariossa 2 joka neljäs muuntaja oli ylikuormassa ja silloin huipputehon kasvu keskimäärin oli lähes 200 kVA per muuntaja. Ylikuormassa olevien muuntajien määrät ja tehon kasvu ovat merkittäviä jakeluverkon kannalta. Kuitenkin skenaariossa 3 ylikuormassa olevien muuntajien määrät ja tehon kasvu olivat maltillisempia ja ovat paremmin hallittavissa. Ylikuormassa oli 18 muuntajaa ja huipputehon kasvu oli keskimäärin 40 kVA per muuntaja. Muuntajan koon valintaan tulee suunnittelussa erityisesti kiinnittää huomioita tulevaisuudessa. Nykyisillä suunnitteluperusteilla pienin muuntajakone on 315 kVA, joka on suhteellisen suuri muuntaja Suomen jakeluverkossa käytettäväksi. Tämä on ollut aikoinaan hyvä valinta varautuessa tulevaisuuden tehon kasvuun kaupunkimaisessa jakeluverkossa. Kuitenkin seuraavaksi tulisi pohtia ja selvittää kannattaisiko käyttää pienimpänä muuntajana 500 kVA ja suurentaa muuntajien vakiokokoja 1000 kVA:n saakka jakeluverkossa.

Kolmanneksi suurin vaikutus skenaarioiden tehon kasvusta oli liittymille. Suurimmillaan ylikuormassa oli 6,1 % eli noin joka viidestoista liittymä. Pienimmässä skenaariossa vain hieman yli prosentti liittymistä oli ylikuormassa. Joihinkin liittymiin osui paljon käyttöpaikkoja, joihin latausteho oli satunaisesti lisätty. Näin ollen liittymän kuormitusaste suureni kaksin- tai kolminkertaiseksi liittymällä nykyiseen pääsulakkeeseen verrattuna. Tämä aiheutti liiallista tehon kasvua myös kokonaiskuormitukseen ja näin ollen myös muuntajille. Kuitenkin pelkkiä määriä ylikuormitetuista liittymistä tarkastellessa ovat niiden määrät hallittavissa jakeluverkossa. Suunnittelun osalta tulee tulevaisuudessa varautua liittymäkokojen kasvuun nykyiseen verrattuna. Tämä tarkoittaisi yhden tai kaksi suurempaan pääsulakekokoon varautumista. Varautuminen koskee kaikkia sähkökäyttäjien liittymäkokoja. Yleensä liittymän kokoa voidaan kasvattaa olevilla kaapeleilla seuraavaan pääsulakekokoon.

Skenaarioiden vaikutukset olivat vähäisempiä PJ-kaapeleihin ja jännitteenalennemaliittymiin. Suurimassa skenaariossa 2 pj-kaapeleita oli ylikuormassa lähes 10 km. Kuitenkin se on vain prosentti ko-

konaismäärästä. Ylikuormittuneet pj-kaapelit olivat pääosin liittymiskaapeleita. Suuri määrä ylikuormassa pj-kaapeleista, johtuu osin skenaarioiden aiheuttamasta ylisuuresta kuormituksesta liittymälle. Lisäksi ylikuormassa olevat pj-kaapelit tulevat kuntoon, kun liittyjät suurentavat liittymäänsä oikealle pääsulakkeelle. Tällöin rakennetaan tarvittavat kaapeloinnit ja muut verkkomuutokset liittymän suurennoksen vuoksi. Suunnittelussa tulee arvioida suuremmaksi tulevien liittymien koot ja varautua niihin liittymiskaapeleiden ja runkojohtojen suunnittelussa. Jännitteenalaliittymät aiheutuvat myös pääosin ylisuuresta liittymän kuormituksesta sekä ylikuormittuneesta muuntajasta, jossa jännitteenalenema on jo muuntajalla muutamia prosentteja. Jännitteenalaliittymät poistuvat, kun liittymiskaapelit vastaavat pääsulaketta ja muuntajat eivät ole ylikuormassa. Jännitteenalaliittymät eivät aiheuta suunnittelussa toimenpiteitä, vaan ovat kunnossa jo nykyisellä mitoituksella.

Vähiten vaikutusta skenaarioiden tehojen kasvusta oli keskijännitejohtolähdöille ja -kaapeleille. Nykyisellään johtolähtöjä on runsaasti eikä, skenaarioiden aiheuttamat tehojen kasvun kuormitukset keskimäärin nousseet sen vuoksi suuriksi per johtolähtö, vaikka skenaarioiden kokonaiskuormitukset olivat merkittävän suuria. Kuitenkin joillain johtolähdöillä tehot kasvoivat hyvinkin runsaasti, kuten skenaarioiden suurimman kuormituksen alueella keskustassa.

Normaalikytkentätilanteessa keskijänniteverkon kuormitettavuus on skenaarioissa pääosin hallittavissa. Kuitenkin epänormaaleissa kytkentätilanteissa ja sähköasemien korvaustilanteissa todennäköisesti jakeluverkko ylikuormittuu myös kaapeleiden osalta. Tämä korjaantuu, kun sähköasemien ja päämuuntajien määrät vastaavat skenaarioiden kuormitusta. Keskijännitejohtolähdöt ja -kaapeloinnit eivät aiheuta suunnittelussa muutoksia, vaan ovat kunnossa nykyisellä mitoituksella.

Skenaarioissa tehojen kasvut olivat merkittäviä varsinkin sähköasemille ja jakeluverkon kokonaiskuormitukselle. Skenaarioissa 1 ja 2 kokonaiskuormituksen tehot kasvoivat liian suuriksi, eikä niiden ole realistista toteutua, kun vertaa Fingrid:n arvioon sähköautojen kokonaisvaikutuksesta sähkön kulutukseen Suomessa tulevaisuudessa. Tehojen suuri kasvu johtui siitä, että huippukuormitus osui samoille tunneille samanlaisilla käyttöpaikoilla. Käyttöpaikoilla ei ollut kulutuksen risteilyä ajan suhteen riittävästi ja liittymillä ei ollut mahdollista laskennassa huomioida kuormanhallintaa. Joillain liittymillä tehot kasvoivat yli kaksin- tai kolmikertaisiksi verrattuna nykyiseen pääsulakkeeseen. Tämä aiheuttaisi liittymillä suuria investointeja, jotka olisivat hallittavissa kuormanhallin-

nalla. Joten ei voida pitää suurta tehon kasvua liittymillä todennäköisenä, vaan ne vääristivät tehon kasvua kokonaiskuormituksen osalta tuloksia liian suuriksi. Skenaarion 3 tulokset ovat kokonaiskuormituksen kasvun osalta realistisin tälle vuosikymmenelle. Kuitenkin skenaarion 3 toteutuminen arvioidulle vuodelle 2025 on epätodennäköinen, mutta jo vuonna 2030 mahdollinen sähköautojen määrän suuresti lisääntyessä.

Skenaarioiden ylikuormittuneiden komponenttien määrät olivat realistisia. Muuntajien osalta oli odotettavissa tehon aiheuttavan ylikuormitusta suurehkoilla määrällä muuntajia. Kaapeleiden ja liittymien ylikuormitusmäärät olivat maltillisempia. Liittymien osalta 1-vaihe liittymien ylikuormitus vääristi osin tuloksia liittymien ylikuormituksen määrän osalta. Ne ovat helposti muutettavissa 3-vaihe liittymiksi pääasiassa ilman verkostomuutoksia. Jännitteenaleneman osalta kaupunkiverkoissa harvoin on ongelmaa ja näin oli myös tässä tutkimuksessa suurten muuntajakokojen ja lyhyiden pj-kaapelointien ansioista.

Skenaarioissa lisättiin satunaisesti tehoja käyttöpaikoille ja tulokseksi saatiin skenaarioiden arviot tulevaisuuteen sähköautojen latauksien vaikutuksesta ASV:n jakeluverkkoon. Opinnäytetyötä tehtiin jakeluverkon kokonaisuuden osalta. Opinnäytetyössä ei tarkoituksellisesti lähdetty tutkimaan yksittäisiä skenaarioiden vaikutuksia tiettyyn kohteeseen esimerkiksi muuntajakohtaisesti. Näin opinnäytetyössä saatiin kokonaiskuva skenaarioiden vaikutuksista jakeluverkkoon. Vastaavat tulokset ja kokonaiskuva todennäköisesti saataisiin, vaikka skenaarioiden tehoja lisättäisiin satunaisesti eri käyttöpaikoille ja verkostolaskenta tehtäisiin uudestaan. Todennäköisesti alueellisesti tulokset olisivat osin erilaisia, mutta kokonaiskuvan kannalta tulokset samanlaiset. Vertailevaa laskentaa ei voida vielä tehdä, koska silloin menetettäisiin nykyinen skenaarioiden tilanne verkko-tietojärjestelmässä. Tätä ei haluta tehdä, koska nykyisiä tuloksia ja skenaarioita tutkitaan vielä lisää jatkossa.

Kun saatuja tuloksia vertaillaan Tammen vuonna 2011 (Tammi 2011) tuloksiin niin voidaan todeta, että tulokset ovat samansuuntaisia tämän opinnäytetyön skenaarion 3 kanssa. Tammi oli tehnyt skenaarion, jossa oli arvioitu että 43 % henkilöautoista olisi sähköautoja. Tässä opinnäytetyössä oli skenaariossa 2 arvioitu sähköautoja olevan 37 % autokannasta. Skenaariot vastaavat prosenttimääriltään toisiaan, mutta tulokset eivät. Tammen tutkimuksen mukaan kokonaiskuormitus kasvaisi 10 MVA ja ylikuormitettuja muuntajia olisi 6 %. Tässä opinnäytetyössä kokonaiskuormitus

kasvoi 96 MVA ja ylikuormitettuja muuntajia oli 27 %. Erot tutkimustuloksissa johtuvat siitä, että Tammi käytti pienempää 3 KW lisätehoa käyttöpaikoille sekä huomattavasti enemmän kulutuksen risteilyä. Tässä opinnäytetyössä skenaariolla 2 mallinnettiin suurinta kuormitusta vuodelle 2030, jossa lataukset olivat yhtä aikaa käytössä käyttöpaikoilla. Vastaavat tulokset tämän tutkimuksen skenaariossa 3 olivat 18 MVA ja 3 %. Nämä skenaarion 3 tulokset ovat samansuuntaisia Tammen saamiin tutkimustuloksiin. Voidaankin arvioida, että tämän opinnäytetyön skenaarion 2 sähköautomäärällä tulokset ovat skenaarion 3 suuruisia, kun huomioidaan todennäköinen liittymien kulutuksen risteily ja kuormanhallinta näiden kahden tutkimuksen pohjalta.

Skenaarioissa tutkittiin koti- ja työpaikkalatauksen vaikutuksia verkkotietojärjestelmän avulla. Lisäksi on todettu, että myös muita latauspisteitä on tulossa lisäämään jakeluverkon kuormitusta. Näistä merkittävämpiä ovat julkiset pikalatauspisteet, jotka voivat olla liittymäteholtaan jopa kahden megawatin suuruisia. Myös autoalan toimijat lisäävät perus- ja pikalatauspisteitä toimipaikoilleen, kun liikenne sähköistyy. Kaupanalan toimijoiden parkkialueille tulee latauspisteitä palvelemaan ja houkutellakseen lisää asiakkaita. On myös todennäköistä, että julkisille parkkialueille tulee ainakin peruslatauspisteitä. Latauspisteitä on tulossa koko jakelualueelle ja latauspisteiden rakentamista tuetaan ja osin uusissa rakennuksissa latauspistemääriä määrätään määräyksillä. Nämä lisäkuormitukset tulee ottaa tulevaisuudessa huomioon verkon suunnittelussa ja mitoituksessa.

Tulevaisuudessa liikenteen sähköistyessä myös kodin viilennys ja lämmitys muuttuvat enemmän käyttämään sähköä kehittyvän pumpputeknologian ansioista. Tämä lisää myös kotien sähkön kulutusta. Lisäksi Suomessa on paljon sähkösaunoja, joiden kuormitus osuu samaan ajankohtaan muun kuormituksen kanssa. Näin ollen sähkön käytön kuormanhallinta lisääntyy sähköliittymillä, jotta pääsulakkeita ei tarvitsisi liikaa suurentaa. Varsinkin latauspisteiden kuormanhallinta kannattaa ajoittaa, niin ettei lataus tapahdu yhtä aikaa liittymän huippukuormituksen kanssa. Tämä tarkoittaa, että kotitalouksissa sähköautojen lataus tapahtuisi pääosin yöaikaan. Lisäksi on mahdollista, että ohjaustoimilla valtakunnallisesti ohjataan sähkön käyttöä tasaisemmin vuorokauden eri tunneille. Myös jakeluverkon siirtomaksun muutos tehoerusteiseksi vähentäisi liittymien huippukuormitusta. Myös sähkön myynnin muutos käyttämään enemmän pörssisähkön kaltaisia tuotteita kannustaisi asiakkaita tarkkailemaan sähkön käyttöönsä ja muuttamaan kulutustaan edullisemman sähkön tunneille ainakin osittain. Muutokset tasaisemmasta kuormituksesta hyödyntäisivät koko

sähköjärjestelmän käyttäjiä. Verkkoja ei tarvitsisi ylimitoittaa ja tuotanto sekä kulutus olisi paremmin tasapainossa, jolloin on todennäköisesti, hinnat laskisivat sähkön käyttäjille niin sähkön siirron kuin myynnin osalta.

Nykytilanteessa ASV:n jakeluverkossa on arviolta 1500 sähköautoa, joita ladataan kotona ja työpaikoilla. Lisäksi pumpputeknologia lämmityksessä ja viilennyksessä on lisääntynyt jo viime vuosikymmenellä paljon. Kuitenkaan ASV:n jakeluverkon huipputeho ei ole kasvanut vuoden 2008 jälkeen, vaikka kokonaisenergia on kasvanut ja jakeluverkon sähkökäyttäjät ovat lisääntyneet kaupungin laajentuessa. Tämä tarkoittaa, että kuormanhallinta on jo nykyisellään käytössä sekä uudet teknologiat ovat entistä energiatehokkaampia.

Tulevaisuudessa tulee jakeluverkon tilaa ja muutoksia seurata tekemällä tarkemmin verkkotietojärjestelmällä verkon seurantalaskentaa. Nykyisellään seurantalaskentaa tehdään vuosittain pääasiassa etsimään korjattavia kohteita verkosta sekä tarkkailemaan keskijänniteverkon kuormitusta. Seurantalaskennassa tulisi jatkossa tarkemmin analysoida verkossa tapahtuvia muutoksia vuosittain esimerkiksi muuntajien ja liittymien kuormituksia. Näin voidaan ennakoida paremmin kuormituksen kasvua ja verkon muutostarpeita kohteittain ja alueellisesti.

11 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää miten sähköautojen latauspisteet vaikuttavat tällä vuosikymmenellä eri skenaarioilla ASV:n jakeluverkkoon ja miten suunnittelussa tulee varautua sähköautojen latauspisteisiin. Tuloksina saatiin koti- ja työpaikkalatauksen osalta verkkotietojärjestelmästä laskentatulokset tarkasteltaville jakeluverkon komponenteille sekä kokonaiskuormituksen kasvu jakeluverkkoon eri skenaarioilla. Laskentatulosten ja muun opinnäytetyössä hankitun tiedon pohjalta saatiin tietoa, kuinka suunnittelussa voi varautua latauspisteisiin. Suunnittelun osalta todettiin, että nykyisin käytettävät suunnitteluperusteet ovat pääasiassa kunnossa myös tulevaisuuden osalta.

Opinnäytetyössä mallinnettiin skenaarioita lisäämällä latauspisteiden tehoja satunaisesti oleville käyttöpaikoille. Tämä osin johti siihen, että alueellisesti tai muuntajakohtaisesti kuormitukset keskittyivät tiheästi asutuille alueille kuten keskusta, missä on paljon käyttöpaikkoja. Kuitenkin keskustassa on vähemmän autopaikkoja verrattuna muihin kaupunginosiin ja tulokset osin ylisuuret

keskustan osalta. Vastaavasti joillain liittymillä, millä on paljon käyttöpaikkoja, kuormitusta lisääntyi liikaa ja liittymä ylikuormittui moninkertaisesti myös muualla kuin keskusta-alueella. Tämä suurennsi liikaa tuloksia joillain muuntajilla ja sähköasemilla sekä kasvatti kokonaiskuormituksen määrää jakeluverkossa. Tuloksien saamisessa komponenteille eri skenaarioilla onnistuttiin muuten kokonaisuudessaan hyvin. Kokonaiskuormitus kasvoi liian suureksi ja siksi sähkö- ja kytkinasemilla tulokset ovat liian suuria skenaarioiden sähköautojen määriin verrattuna. Kuormituksen liian suuri kasvu johtui siitä, että liittymillä ei huomioitu todennäköistä kulutuksien risteilyä ja kuormanhallintaa verkostolaskennassa riittävästi.

Opinnäytetyössä oli tarkoitus mallintaa verkkotietojärjestelmällä myös muita sähköautojen latauspisteitä kuin koti- ja työpaikkalatausta. Niitä ei voitu kuitenkaan järkevästi toteuttaa verkkotietojärjestelmässä, joten niistä ei saatu laskentatuloksia. Muut latauspisteet käsiteltiin kuitenkin tutkimuksen tekstiosioissa ja kuinka niihin tulee varautua suunnittelun ja mitoituksen osalta. Varsinkin autoalan toimijoiden lähivuosien tulevat lisätehon tarpeet on hyvä tieto suunnitteluun jo tässä vaiheessa. Parkkipaikkojen ja kaupan alan latauspisteiden lisääntyminen onkin ollut jo tiedossa.

Tuloksien osalta oletuksena oli, että sähköautojen latauspisteillä ei suurta vaikutusta jakeluverkkoon ja vaikutukset jäivät paikallisiksi muuntajatasolle. Kuitenkin tutkimuksen perusteella latauspisteillä on vaikutusta tulevaisuudessa jakeluverkon kokonaiskuormitukseen, jolloin vaikutukset voivat olla merkittäviä. Merkittäviä siksi, että kuormituksen kasvaessa tulisi rakentaa lisää sähköasemia. Sähköasemat ovat miljoonainvestointeja ja rakentamisprosessi kestää lupahakuineen vähintään kaksi vuotta kaupunkialueella. Muuten tulokset jäivät paikallisiksi ja voidaan todeta, että nykyiset suunnitteluperusteet ja käytettävät komponentit ovat pääasiassa kunnossa. Saadut tulokset ovat arvioita tälle vuosikymmenelle, mutta voivat realisoitua aiemmin tai myöhemmin mitä skenaarioissa on arvioitu riippuen sähköautojen määrän kehityksestä.

Saatuja tuloksia hyödynnetään suunnittelussa niin, että jatkossa ainakin käytettäviä muuntajakoja ja liittymiskaapeleita tarkastellaan tarkemmin kohteittain. Lisäksi verkon seurantalaskennan tuloksia tulee analysoida tarkemmin ja vertailla vuosittaista muutosta kuormituksien osalta. Huomioidaan myös verkkoon tulevat latauspisteet ja niiden vaatimat tehot sekä tehdä niiden perusteella arvioita tulevista latauspisteistä.

Tutkimuksen perusteella jatkossa yleissuunnittelussa otetaan huomioon latauspisteiden vaikutukset jakeluverkkoon. Yleissuunnittelun osalta tarkastellaan tarkemmin latauspisteiden vaikutuksia kokonaiskuormitukseen ja sähköasemiin sekä alueittain jakeluverkossa. Lisäksi jatkossa tulee tehdä tarkastelu, miten muuntajakoon kasvattaminen vaikuttaa hankintakustannuksiin sekä pitoajan häviösähkön kustannuksiin. Vastaava tarkastelu hankintakustannusten osalta tulee tehdä myös käytettäville pienjännitekaapeleille.

Opinnäytetyön skenaarioiden mallinnusta tehtiin verkkotietojärjestelmässä, jossa latauspisteiden tehoja lisättiin tiedostojen ajolla käyttöpaikoille satunaisesti. Latauspisteiden kulutukset lisättiin nykyisiin kulutuksiin käyttöpaikoille. Näin ei ole aiemmin tehty, vaan lisätehoja lisätty verkkotietojärjestelmään käsin. Tiedostojen ajo nopeutti merkittävästi kulutusten lisäystä verrattuna käsin lisäämiseen. Vaikka skenaarioiden tiedostojen ajo kesti kokonaisuudessaan muutaman tunnin, niin se vapautti tekemään muuta tutkimusta sen ajaksi. Verkon mallinnusta tiedostojen ajolla ei ollut ASV:llä aiemmin tehty ja mahdollisesti muuallakaan Suomessa Trimble NIS -verkkotietojärjestelmällä. Jatkossa on tarkoitus käyttää ja kehittää tehtyä mallinnustyökalua myös muiden vastaavien jakeluverkon lisätehojen mallinnukseen tulevaisuudessa. Tarkoitus on myös esitellä mallinnustyökalua muille jakeluverkkoyhtiöille ja mahdollisesti jatkokehittää sitä yhdessä. Voidaankin todeta, että opinnäytetyön lisätuloksena tuli kehitettyä uusi hyödyllinen mallinnustyökalu verkkotietojärjestelmän lisätehojen mallinnukseen jakeluverkkoon.

Liikenne sähköistyy tulevaisuudessa merkittävästi tulevaisuudessa. Sähköistymistä tuetaan, jotta saadaan vähennettyä liikenteen hiilidioksidipäästöjä. Aiempien vuosien arviot sähköautojen määrästä ovat osoittautuneet alakanttiin, ja määrät ovat todellisuudessa lisääntyneet arvioitua nopeammin. Oletettavaa onkin, että Suomessa 700 000 sähköauton tavoite vuodelle 2030 toteutuu jo arvioitua aiemmin. Latauspisteiden määrällä ja saatavuudella on vaikutusta liikenteen sähköistymisen nopeuteen. Latauspisteiden rakentamista ja valmiutta ohjataan määräyksillä ja tuetaan ARA:n toimesta, joten tulevaisuudessa on valmiudet lisätä latauspisteitä kiinteistöihin ilman suuria kaapelointi-investointeja. Lisäksi julkisia latauspisteitä rakennetaan kiihtyvällä tahdilla. Sähköautojen langaton ja kaksisuuntainen lataus sekä kysynnän jousto ovat tulevaisuutta, jolloin sähköautojen akut voisivat toimia osana älykästä sähköjärjestelmää.

Lähteet

ALVA Sähköverkko Oy esitysmateriaali. 2021. ALVA-yhtiöt Oy. Viitattu 2.2.2022

Andersson, A., Jääskeläinen, S., Saarinen, N., Mänttari, J & Hokkanen, E. 2020. Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Viitattu 3.12.2021 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-602-3>

Autokanta sähköistyy Norjassa hurjaa vauhtia. 2021. Uutinen Yle:n verkkopalvelussa. 4.10.2021. Viitattu 7.1.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-12126459>

Fridström, L. 2019. Electrifying the Vehicle Fleet: Projections for Norway 2018-2050. Viitattu 7.1.2022 <https://www.toi.no/getfile.php/1350199/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2019/1689-2019/1689-2019-sum.pdf>

Global EV outlook 2021. 2021. IEA (International Energy Agency). Viitattu 15.1.2022. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

Jakeluinfra (2014/94/EU) suositus. Viitattu 18.1.2022

Hae sähköauton hankintatukea 1.1.2022 alkaen. N.d. Traficom Liikenne- ja viestintävirasto. Viitattu 15.1.2022. <https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/hae-sahkoauton-hankintatukea-112022-alkaen?toggle=Vaihtoehtoiset%20asiointitavat>

HE 176/2021 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi autoverolain 10 §:ja liitteen sekä ajoneuvoverolain 10 §:n muuttamisesta. Viitattu 31.1.2022. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_176+2021.aspx

Heikkilä, M. 2018. Sähköautot uhka vai mahdollisuus. Fingrid Oyj. Viitattu 19.2.2022 <https://www.fingridlehti.fi/sahkoautot-uhka-vai-mahdollisuus/>

Kalenius, J. 2021. Sähköautojen lataustehon muodostuminen kiinteistöverkoissa ja pysäköintialueilla. Opinnäytetyö, DI. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 24.1.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021072041615>

Kalenoja, H. 2021. Autoalan käyttövoimatiekartta 2021. Helsinki: Autoalan Tiedotuskeskus. Viitattu 30.11.2021 https://www.aut.fi/files/2356/Kayttovoimatiekartta_raportti_1502_2021.pdf

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.1.2022

Katsaus liikenteenkäyttövoimiin ja polttoainevaihtoehtoihin. N d. Helsinki: Autoalan tiedotuskeskus. Viitattu 28.11.2021 https://www.aut.fi/files/2044/Kayttovoimaopas_2019.pdf

Kiinteistöihin myytiin 32000 latauslaitetta 2021. 2022. Myyntitilasto. Sähkötekniikan kaupan liitto (STK) Viitattu 18.2.2022 <https://www.stkliitto.fi/ajankohtaista/kiinteistoihin-32000-latauslaitetta-2021>

Kysyntäjousto. 2020. Fingrid Oyj. Viitattu 30.1.2022. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/pilottihankkeita/kysyntajousto/>

L 733/2020. Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. Viitattu 24.1.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200733>

Ladattavien autojen käyttäjätutkimus. 2020. Selvitys ladattavien hybridien ja sähköautojen käyttötavoista. Helsinki: Autoalan tiedotuskeskus. Viitattu 30.11.2021 [https://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien autojen tutkimusraportti liitteinen.pdf](https://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien_autojen_tutkimusraportti_liitteinen.pdf)

Recharge EU: how many charge points will Europe and its member states need in the 2020s. 2020. European federation for transport and Environment AISABL. Viitattu 18.2.2022 <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>

Räisänen, A. 2020. Sähköautojen latauspisteiden kartoitus Senaatti-kiinteistöissä. Opinnäytetyö, YAMK. Tampereen ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 21.2.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020051511735>

SESKO ry, Sähköajoneuvojen lataussuositus, 17.2.2021. 5.p. Helsinki. Viitattu 31.1.2012. https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf

SFS-EN 50160. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 4.3.2022

Suunnittelijan opas, Sähköautojen latausjärjestelmien huomioiminen kiinteistöjen sähkösuunnittelussa 2021. Ensto. Viitattu 31.1.2022. <https://www.ensto.com/globalassets/whitepapers/suunnittelijan-opas-sahkoautojen-latausjarjestelmat.pdf>

Sähköautojen latausinfra-avustus hakuohje 2022. 2021. ARA. Viitattu 15.1.2022. <https://www.ara.fi/download/noname/%7B476B71D5-4945-4504-A665-7C97962DAA0A%7D/148167>

Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2021. 4.2.2022. Sähköinen Liikenne Ry. Viitattu 3.2.2022 <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2021%20Q4%20Sa%CC%88hko%CC%88inen%20liikenne%20tilannekatsaus%202022%2002%2003%20%20jaettava.pdf>

Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2020. 2020. Tilasto. Energiavirasto. Viitattu 4.3.2022. <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>

Tammi, A. 2011. Sähköautojen vaikutukset sähköverkkoyhtiön jakeluverkkoon ja liiketoimintaan. Opinnäytetyö. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 21.2.2022.

Tieverkon sähköistämisen mahdollisuudet ja haasteet Suomessa. 2020. Helsinki. Väyläviraston julkaisu 40/2020. Väylävirasto. Viitattu 10.1.2022 https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-40_tieverkon_sahkoistamisen_web.pdf

Trimble NIS Sähköverkoille. N.d. Trimble Inc. Viitattu 15.1.2022. <https://upa.trimble.com/fi/tuotteet/trimble-nis-sahkoverkoille>

Työpaikkojen latauspisteavustus hakuohje 2022. 2021. ARA. Viitattu 15.1.2022 <https://www.ara.fi/download/noname/%7B1475A2E6-1F99-4761-936F-C2B8A05831E5%7D/171961>

Vehicle-to-Grid (V2G): Everything you need to know. N.d. Liikennevirta Oy. Viitattu 28.1.2022. <https://www.virta.global/vehicle-to-grid-v2g>

Verkkotoiminnan luvanvaraisuus. N.d. Energiavirasto. Viitattu 15.1.2022. <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus>

Vidhya, K. Sharmeela. C. Balaji. S. Elango. Sanjeevikumar, P. Bhaskar, M. 2021. Tecno-Economic aspets of the wireless EV charging systems. Viitattu 9.1.2022. <http://https://ianet.finna.fi/> , IEEE Xplore

LIITE 1
SKENAARIO 2 MUUNTAJAT YLIKUORMASSA

